



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

Option : Réutilisation des Eaux -Non Conventionnelles

THEME :

**ETUDE DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES DE LA
STEP DE SIDI LAKHDAR (W. MOSTAGANEM) A DES FINS
AGRICOLAS**

Présenté par :

DRIS Amira

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
DJELLAB Mohamed	Professeur	Président
LEULMI MEDJDOUB Sonia	M.C. B	Examineur
BETATACHE Hayat	M.C.A	Examineur
KOLIAI Djaffar	M.A.A	Examineur
YAHIAOUI Samir	M.A. A	Promoteur

Session : octobre 2023

Dédicace

Avant toute chose, je rends grâce à Dieu pour le chemin parcouru jusqu'ici

Je souhaite dédier humblement ce travail, fruit de nombreuses années d'études, en premier lieu à :

- *Ma chère mère, que Dieu la protège, à qui je dois tant pour ses sacrifices, son assistance, son amour et son soutien qui m'ont permis d'atteindre le stade où je me trouve aujourd'hui.*
- *Mon cher père, que Dieu le garde, toujours présent à mes côtés, me soutenant dans les moments difficiles.*
 - *À toute ma famille, pour leur soutien et leurs encouragements.*
- *À tous mes amis et collègues, depuis l'école primaire jusqu'au sein de l'École Nationale Supérieure de l'Hydraulique.*
 - *Je tiens à faire une dédicace spéciale à ma chère, LOUNIS MASSYLIA, pour son amour profond et son soutien inconditionnel tout au long de notre relation.*

Avec gratitude,

[DRIS AMIRA]

Remerciement

Je remercie Allah le tout puissant, pour m'avoir accordé la santé et le courage pour poursuivre mes études et pour me permettre de concrétiser ce humble de travail.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma profonde gratitude à :

- *Mon encadrant, SAMIR YAHIAOUI, pour sa précieuse guidance, ses conseils avisés et son expertise académique qui ont orienté cette recherche vers l'excellence.*
- *Les enseignants de l'ENSH, Mme Betatache et Mme Medjdoub, dont les contributions ont été essentielles pour la réalisation de ce mémoire.*
- *Mes amis et mes camarades, qui m'ont apporté un soutien moral, des encouragements et partagé leurs connaissances tout au long de ce parcours académique.*
- *J'adresse également mes sincères remerciements et mon profond respect aux membres du jury qui auront l'honneur d'apprécier et d'examiner ce travail.*

Enfin, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers, pour leur précieuse présence et leur influence positive dans ma vie.

ملخص

تتناول هذه الأطروحة موضوع إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة لمحطة سيدي لخضر لأغراض زراعية، من أجل تقييم جدوى ومزايا هذه الممارسة في مواجهة التحديات المتعلقة بنقص الموارد المائية.

وفي نطاق هذه الدراسة تم التركيز على تحديد المعالجات الثلاثية المناسبة لضمان توافق نوعية المياه مع معايير الري واختيار المحاصيل الزراعية، بهدف تعزيز إعادة الاستخدام الآمن والمستدام لهذه الموارد غير التقليدية في القطاع الزراعي.

Résumé

Ce mémoire traite la problématique de la réutilisation des eaux usées épurées de la station de Sidi Lakhdar à des fins agricoles, afin d'évaluer la faisabilité et les avantages de cette pratique face aux enjeux liés au déficits des ressources hydriques.

Dans le cadre de cette étude, l'accent est mis sur l'identification des traitements tertiaires appropriés permettant de garantir la conformité de la qualité de l'eau aux normes d'irrigation, ainsi la sélection de cultures adéquates. L'objectif est de promouvoir une réutilisation fiable et durable de ces ressources non conventionnelles dans le secteur agricole.

Abstract

This dissertation addresses the problem of reusing purified wastewater from the Sidi Lakhdar station for agricultural purposes. With aim of assessing the feasibility and advantages of this practice in the face of challenges related to water scarcity. With the scope of this study, emphasis is placed on the identification of appropriate tertiary treatments to ensure compliance of water quality with irrigation standards, as well as the selection of suitable crops. The objective is to promote reliable and sustainable reuse of these unconventional resources in the agricultural sector.

Table des matières

Chapitre I : Généralité sur la réutilisation des eaux usées épurées

Introduction générale	1
I.1.Introduction	3
I.2. Généralité sur les eaux usées	3
I.2.1. Définition	3
I.2.2. Origine des eaux usées	3
I.2.2.1. Les eaux usées domestiques	3
I.2.2.2. Les eaux industrielles	3
I.2.2.3. Les eaux agricoles	4
I.2.2.4. Les eaux pluviales et de ruissellement	4
I.3. Caractéristiques des eaux usées	4
I.3.1. Les paramètres physiques.....	4
I.3.1.1. La température	4
I.3.1.2. La couleur	4
I.3.1.3. La turbidité	4
I.3.1.4. Les matières en suspension (MES)	5
I.3.1.5. Les matières volatiles en suspension (MVS)	5
I.3.1.6. Les matières minérales en suspension (MMS)	5
I.3.2. Les paramètres chimique	5
I.3.2.1. La demande biochimique en oxygène (DBO)	5
I.3.2.2 la demande chimique en oxygène (DCO)	5
I.3.2.3 Carbone totale organique COT	5
I.3.2.4 Azote totale NT	6
I.3.2.5 les formes de phosphore	6
I.3.2.6. PH	6
I.3.2.7. La conductivité électrique	6
I.3.3. Les paramètres bactériologique	7
I.3.3.1. Les coliformes totaux (CT)	7
I.3.3.2. Les coliformes fécaux (CF)	7
I.3.3.3. Les streptococcus fécaux.....	7
I.3.3.4. Les clostridium sulfito-réducteurs	7

I.4. La réutilisation des eaux usées épurée	8
I.4.1. Définition :	8
I.4.2. Les principales voies de la réutilisation des eaux usées	8
I.4.2.1. La réutilisation agriculture	8
I.4.2.2. La réutilisation industrielle.....	8
I.4.2.3. La réutilisation urbaine	8
I.4.2.4. Production de l'eau potable.....	9
I.4.2.5. La recharge des nappes.....	9
I.4.2.6. Autres.....	9
I.4.3. Avantages et contraintes liées à la réutilisation des eaux usées épurées	9
1.4.3.1. Avantages	9
I.4.3.2. Contraintes	9
I.5. La réutilisation des eaux usées dans le monde.....	10
I.6. Les normes de qualité des eaux usées mondiale destinées à l'irrigation	11
I.7. La réutilisation des eaux usées en agriculture en Algérie.....	12
I.7.1. Le secteur agricole en Algérie	13
I.8. Les normes de qualité des eaux usées en Algérie destinées à l'irrigation.....	14
I.9. Conclusion	14

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1. Introduction	16
II.2. Présentation de la zone d'étude	16
II.2.1. Situation géographique	16
II.2.2. Délimitation de la zone d'étude	17
II.3. La Situation climatique.....	17
II.3.1. Choix de la station de référence.....	17
II.3.2. La température.....	18
II.3.3. L'insolation.....	19
II.3.4. L'évaporation	19
II.3.5. L'humidité.....	20
II.3.6. Le vent	21
II.3.7. La précipitation.....	22
II.3.8. Classification du climat	23
II.3.8.1. L'indice d'aridité de MARTON (IA).....	23
II.3.8.2. Quotient Ombrothermique d'EMBERGER (QOE)	24

II.3.8.3. Diagramme de Bagnouls et Gausson	25
II.4. La Situation pédologique	26
II.4.1. Classification des sols du périmètre	26
II.4.1.1 Description et classification du Profil pédologique	26
II.4.1.2. Analyse physico-chimique des sols.....	27
II.5 Conclusion	29

Chapitre III : Etude hydrologique

III.1. Introduction	31
III.2. Etude des pluies annuelles	31
III.2.1. Présentation de la station pluviométrique	31
III.2.2. Répartition de la pluie moyenne annuelle	31
III.2.3. Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique	33
III.3. Ajustement des pluies annuelles	34
III.3.1. Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss « loi normal ».....	34
III.4. Détermination de l'année de calcul	35
III.5 Conclusion	36

Chapitre IV : Présentation de la STEP de Sidi Lakhdar

IV.1. Introduction	38
IV.2. La station d'épuration des eaux usées de Sidi Lakhdar	38
IV.2.1. Localisation géographique de la STEP	38
IV.2.2. Présentation de la STEP	38
IV.3. Gestion de la station d'épuration	41
IV.3.1 Filière de l'eau	41
IV.3.2 Filière des boues.....	42
IV.3.3 Principaux ouvrage et équipements	42
IV.4. Les procédés d'épuration des eaux usées de la STEP	42
IV.4.1. L'arrivée des eaux brutes	43
IV.4.2. Déversoir d'orage (bassin de réception)	43
IV.4.3. Pré-traitement.....	43
IV.4.3.1. Dégrillage.....	43
IV.4.3.2. Dégraissage-Dessablage	45
IV.4.4. Traitement primaire	47
IV.4.5. Traitement biologique (traitement secondaire)	49

IV.4.5.1. Bassin de répartition	49
IV.4.5.2 Bassin d'aération	49
IV.4.5.3. Clarificateur	51
IV.4.6. Traitement tertiaire	53
IV.4.7. Traitement des boues	54
IV.4.7.1. Extraction des boues	54
IV.4.7.3. Stabilisation par des boues.....	58
IV.4.7.4. Lits de séchage (déshydratation)	59
IV.5 : Conclusion	60

Chapitre V : Les paramètres dimensionnels du traitement tertiaire

V.1. Introduction.....	62
V.2.Le traitement tertiaire.....	62
V.3. L'objectif du traitement tertiaire.....	62
V.4. Evaluation de la qualité d'eau épurée de la STEP	63
V.5.1. Interprétation des analyses physico- chimiques de l'eau traitée :	65
V.6. Dimensionnement des ouvrages du traitement tertiaire	71
V.6.1. Le filtre à sable	71
V.6.1.1 Dimensionnement du filtre à sable.....	71
V.6.1.2. Dimensionnement du rétro-lavage.....	73
V.7. Conclusion	76

Chapitre VI : Evaluation des besoins en eau des cultures

VI.1. Introduction	78
VI.2. Besoins en eau des cultures.....	78
VI.2.1. L'évapotranspiration de référence ETO	78
VI.2.1.1. Calcul de l'évapotranspiration ETO	78
VI.2.2. Calcul de l'évapotranspiration maximale ETM.....	80
VI.2.2.1. Le coefficient cultural Kc	80
VI.3. Besoin en eau d'irrigation.....	80
VI.3.1. Calcul la pluie efficace	81
VI.3.2. Choix des cultures	81
VI.3.2.1. Occupation du sol.....	82
VI.3.2.2. Les cultures proposées	82
VI.4. Estimation des besoins en eau des cultures choisies.....	83

VI.5. Calcul du débit spécifique.....	85
VI.7. Estimation des volumes d'eau d'irrigation	85
VI.8. Conclusion.....	86
Conclusion générale.....	87

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralité sur la réutilisation des eaux usées épurées

Tableau I.1: L'utilisation des eaux usées en quelques domaines _____	11
Tableau I.2: Les valeurs limites des paramètres bactériologiques _____	12
Tableau I.3: Les valeurs limites des paramètres parasitologiques _____	12
Tableau I.4: Quelques chiffres des volumes des eaux usées épurées réutilisées en Algérie ____	13
Tableau I.5: Les normes d'irrigation en Algérie pour les eaux usées épurées _____	14

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tableau II.1: Les caractéristiques géographiques de la station de Mostaganem _____	17
Tableau II.2: Répartition des températures mensuelles et annuelles _____	18
Tableau II.3: Répartition des moyennes mensuelles de la durée d'insolation _____	19
Tableau II.4: Répartition des moyennes mensuelles de l'évaporation _____	20
Tableau II.5: Répartition des valeurs moyennes mensuelles de l'humidité _____	20
Tableau II.6: Répartition des moyennes mensuelles du vent _____	21
Tableau II.7: Répartition de la précipitation mensuelle moyenne _____	22
Tableau II.8 : Classification du climat selon MARTONNE _____	27
Tableau II.9: Analyse physico-chimiques des horizons étudiés _____	28

Chapitre III : Etude Hydrologique

Tableau III.1: Les caractéristiques principales de la station pluviométrique de Mostaganem	31
Tableau III.2: Répartition des précipitations moyennes mensuelles _____	32
Tableau III.3: Les caractéristiques de la série pluviométrique _____	33
Tableau III.4: Résultats du Test de Mood _____	34
Tableau III.5: Quantiles de pluies de la station de Mostaganem _____	35
Tableau III.6: La pluviométrie moyenne mensuelle de probabilité 80% _____	36

Chapitre IV : Présentation de la STEP de Sidi Lakhdar

Tableau IV.1: Les caractéristiques de l'eau usée entrant la STEP en 2022 _____	39
Tableau IV.2: Les caractéristiques de l'eau sortant de la STEP de Sidi Lakhdar en 2022 ____	40
Tableau IV.3: Récapitulatif des principaux paramètres de la station d'épuration de Sidi Lakhdar _____	41
Tableau IV.4: Les caractéristiques principales du poste de relevage _____	44
Tableau IV.5: Les caractéristiques principales du dégrilleur fin _____	44
Tableau IV.6: Récapitulatif des données du refus de dégrillage _____	45
Tableau IV.7: Les caractéristiques principales du dégraisseur / dessableur _____	46
Tableau IV.8: Récapitulatif des charges nominales de sables _____	47
Tableau IV.9: Récapitulatif des charges nominales de graisses _____	47
Tableau IV.10: Les caractéristiques principales du décanteur primaire _____	48
Tableau IV.11: Les abattements envisagés pour la décantation primaire _____	49
Tableau IV.12: Les caractéristiques principales de l'aération _____	50
Tableau IV.13: Les caractéristiques principales du bassin biologique _____	51
Tableau IV.14 : Les données de dimensionnement du bassin de dégazage _____	51

Tableau IV.15: Les caractéristiques principales du clarificateur _____	52
Tableau IV.16: Récapitulatif des données de recirculation des boues issues de traitement biologique _____	53
Tableau IV.17: Les caractéristiques principales du bassin de désinfection. _____	54
Tableau IV.18: Récapitulatif des données de l'extraction des boues primaires _____	55
Tableau IV.19: Récapitulatif des données de l'extraction des boues biologiques _____	56
Tableau IV.20: Les caractéristiques principales des boues mixtes _____	56
Tableau IV.21: Les caractéristiques principales de l'épaisseur _____	57
Tableau IV.22: Récapitulatif des données de boues épaissies _____	58
Tableau IV.23: Les caractéristiques principales du stabilisateur aérobie _____	58
Tableau IV.24: Récapitulatif des données des boues digérées _____	59
Tableau IV.25: les caractéristiques principales du lit de séchage _____	60

Chapitre V : Les paramètres dimensionnels du traitement tertiaire

Tableau V.1: Les caractéristiques de l'eau épurée sortant de la STEP de Sidi Lakhdar _____	64
Tableau V.2: Les normes d'irrigation en Algérie pour les eaux usées épurées _____	65
Tableau V.3: Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique _____	68
Tableau V.4 : Risque d'alcalinisation en fonction du SAR _____	69
Tableau V.5: Classification complète des eaux d'irrigation _____	70
Tableau V.6: Les paramètres de base du filtre à sable _____	72
Tableau V.7: Propriétés du lit de filtration _____	73
Tableau V.8: Caractéristique des fluides du rétro-lavage _____	74
Tableau V.9: Résultats des calculs d'un filtre à sable _____	76

Chapitre VI : Les besoins en eau des cultures

Tableau VI.1: Les calculs de l'évapotranspiration de référence ET ₀ _____	79
Tableau VI.2: Coefficients culturaux des cultures _____	80
Tableau VI.3: Précipitation efficace dans la zone d'étude _____	81
Tableau VI.4: Scénarios d'occupation du sol en fonction des cultures _____	82
Tableau VI.5: Système de cultures proposées _____	82
Tableau VI.6: Calcul des besoins en eau pour l'orge en grain _____	83
Tableau VI.7: Calcul des besoins en eau de l'olivier _____	83
Tableau VI.8: Calcul des besoins en eau des agrumes _____	84
Tableau VI.9: Récapitulatif des besoins pour les cultures _____	84
Tableau VI.10: Volume d'eau d'irrigation _____	86

Liste des figures

Chapitre I : Généralité sur la réutilisation des eaux usées épurées

Figure I. 1: Répartition des expériences mondiales en réutilisation des eaux résiduaires urbaine	10
--	----

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Figure II.1: Carte de situation géographique de Sidi Lakhdar	16
Figure II.2: Plan de délimitation du site d'étude	17
Figure 3: Répartition des températures mensuelles et annuelles	18
Figure 4: Représentation graphique des moyennes mensuelles de l'insolation	19
Figure 5: Représentation graphique des moyennes mensuelles de l'évaporation	20
Figure 6: Représentation graphique des moyennes mensuelles de l'humidité	21
Figure 7: Représentation graphique des moyennes mensuelles de la vitesse du vent	22
Figure 8: Représentation graphique des moyennes mensuelles des précipitations	23
Figure 9: Diagramme bioclimatique d'EMBERGER	25
Figure 10: Diagramme ombrothermique de Gaussen.	26

Chapitre III : Etude Hydrologique

Figure 11: Courbe d'ajustement des pluies à la loi normale	35
--	----

Chapitre IV : Présentation de la STEP de Sidi Lakhdar

Figure 13: Localisation de la station d'épuration de Sidi Lakhdar	38
Figure 14: Représentation d'un système de by-pass	43
Figure 15: Le refus de l'opération de dégrillage	45
Figure 16: Bassin de dégraissage-dessablage	46
Figure 17: Décanteur primaire circulaire	48
Figure 18: Bassin d'aération rectangulaire	50
Figure 19: Décanteur secondaire	52
Figure 19: Schéma représentatif de l'extraction des boues	55
Figure 19: Epaissement gravitaire	57
Figure 20: Stabilisateur des boues aérobies	59
Figure 21: Lits de séchage	60

Liste des planches

- **Planche N°01** : Plan de masse de la station d'épuration de Sidi Lakhdar.
- **Planche N°02** : Plan des ouvrages de la STEP de Sidi Lakhdar.
- **Planche N°03** : Profil en long de la STEP de Sidi Lakhdar

Liste des abréviations

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

CE : Conductivité électrique

DBO : Demande biologique en oxygène

DCO : Demande chimique en oxygène

DRE : Direction des ressources en eaux

EH : équivalent habitant

ETM : évapotranspiration maximale

Eto : évapotranspiration potentielle de référence

ETM : évapotranspiration maximale

EUE : eaux usées épurées

MES : Matière en suspension

MV : matière volatile

MVS : Matière volatile en suspension

NGL : Azote Global

NH₄⁺ : Azote Ammoniacal

NO₂⁻ : Azote Nitreux

NO₃⁻ : Azote Nitrique

NTK : Azote total Kjeldahl

ONA : Office National de l'Assainissement

ONM : Office National de Météorologie

PH : potentiel d'Hydrogène

P_T : Phosphore

RN : Route nationale

SAU : surface agricole utilisée

STEP : Station d'épuration des eaux usées

UV : Les rayons ultraviolet

Ms/cm : Microsiemens par centimètre

Introduction générale

L'eau est une ressource essentielle à la survie, à la santé et à la production alimentaire. Elle est également indispensable pour diverses activités telle que l'industrie, les ménages et l'agriculture. Toutefois, sa gestion durable est aujourd'hui l'un des défis majeurs qui soumis à une pression accrue, notamment avec la croissance démographique, l'urbanisation rapide, l'industrialisation et le changement climatique. Face à cette pression croissante, la réutilisation des eaux usées épurées apparaît comme une solution innovante visant à optimiser l'utilisation des ressources hydriques et à réduire la pénurie d'eau. Cette pratique émerge comme une stratégie clé pour répondre à la demande croissante en eau, notamment dans le secteur agricole, et contribuer ainsi à la sécurité alimentaire.

Dans ce contexte, cette étude se focalise sur l'évaluation de la réutilisation des eaux usées épurées de la station de Sidi Lakhdar à des fins agricoles. Cette station, en tant que source potentielle d'eau recyclée, offre une opportunité d'étude significative pour déterminer la qualité de l'eau traitée, proposer des améliorations et évaluer. L'objectif majeur de cette étude est de contribuer à une gestion efficiente et équilibrée des ressources hydriques en mettant en lumière l'impact de la réutilisation des eaux usées épurées dans le secteur agricole.

Pour encadrée cette étude, nous avons suivi un plan de travail axé sur trois parties principales :

- La première partie, donne un aperçu sur la situation climatique, pédologique et hydrologique de la zone d'étude.
- La deuxième partie, concentre sur la présentation de la station d'épuration de Sidi Lakhdar et évaluer la qualité de l'eau usée épurée.
- La troisième partie, propose les ouvrages du traitement tertiaire adéquats pour améliorer la qualité et faire le choix des cultures adaptées à cette qualité.

*Généralité sur la réutilisation des
eaux usées épurées*

I.1.Introduction

Parmi les enjeux majeurs préoccupant la planète, la réutilisation des eaux usées épurées, notamment dans le domaine agricole qui consomme plus de 80% des ressources hydriques exploitées. Cette utilisation dans le secteur agricole est considérée comme une alternative pour répondre aux besoins en eau d'irrigation, particulièrement à la lumière de la rareté croissante des ressources hydriques. En Algérie, où le volume annuel d'eaux usées dépasse 1,8 milliard de mètres cube, justifiant ainsi la large utilisation de la réutilisation des eaux usées surtout dans les zones arides et semi-arides. La réutilisation des eaux usées traitées représente une source de nutriments pour les plantes, réduisant ainsi la dépendance à l'égard des fertilisants et des matières organiques.

I.2. Généralité sur les eaux usées

I.2.1. Définition

Les eaux usées proviennent de la modification des eaux suite à leur utilisation domestique (lessivage, cuisine, bain et toilette), ainsi que leur utilisation dans le secteur industriel, artisanal, agricole et autres. En moyenne, chaque individu consomme quotidiennement entre 150 et 200 litres d'eau potable, qui se transforment par la suite en eaux usées.

I.2.2. Origine des eaux usées

On peut classer les eaux usées en quatre catégories en fonction de l'origine des substances polluantes qu'elles contiennent :

I.2.2.1. Les eaux usées domestiques

Ce type des eaux dérivent des divers usages de l'eau, principalement chargées de contaminants d'origine organique. Elles se subdivisent comme suit :

- Eaux ménagères : issues des salles de bains et cuisines, elles contiennent souvent des détergents, des graisses, des solvants et des débris organiques.
- Eaux vannes : issues des toilettes et contiennent des matières organiques azotées et des germes fécaux.

I.2.2.2. Les eaux industrielles

Les eaux usées industrielles diffèrent considérablement des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient selon l'industrie en question. En plus des matières organiques contenant

de l'azote et du phosphore, elles peuvent également contenir des substances toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques ou des hydrocarbures.

I.2.2.3. Les eaux agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte des engrais et des pesticides qui présentent un risque pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux. Les eaux agricoles conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues

I.2.2.4. Les eaux pluviales et de ruissellement

Ces eaux peuvent présenter une forte contamination, notamment en début de pluie, en raison de plusieurs facteurs :

- a) La dissolution des émissions gazeuses dans l'atmosphère.
- b) Le nettoyage des chaussées grasses et des toits poussiéreux.
- c) Le ruissellement des zones agricoles.

I.3. Caractéristiques des eaux usées

On peut classer les caractéristiques ou propriétés des eaux usées selon les catégories suivantes :

I.3.1. Les paramètres physiques

I.3.1.1. La température

La température de l'eau joue un rôle important sur la solubilité des sels et des gaz dont, l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique. Aussi, Elle accroît la vitesse des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 (°C). L'activité métabolique des organismes aquatiques est donc également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît [10].

I.3.1.2. La couleur

Elle est liée principalement aux éléments dissous ou colloïdales, on distingue :

- La couleur grise est provenue des égouts dont l'origine est domestique
- Les autres nuances indiquent un rapport d'eaux résiduares industrielles.

I.3.1.3. La turbidité

L'opacité des eaux usées est un indicateur du degré de non-transparence de l'eau, qui est associé à la présence de matières en suspension. Elle offre une première indication sur la

nature colloïdale de la matière, qu'elle soit organique ou minérale.

I.3.1.4. Les matières en suspension (MES)

C'est un indicateur important du degré de pollution d'un effluent. Elles englobent les matières minérales (MMS) et les matières organiques (MVS) qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Ces particules restent en suspension grâce aux mouvements turbulents des fluides, et leur quantité varie en fonction des saisons et du régime d'écoulement des eaux.

I.3.1.5. Les matières volatiles en suspension (MVS)

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension. La mesure de cette fraction est réalisée en calcinant un échantillon à une température de 650°C, exprimés en mg/l.

I.3.1.6. Les matières minérales en suspension (MMS)

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire « extrait sec » constitué à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates...

I.3.2. Les paramètres chimiques

I.3.2.1. La demande biochimique en oxygène (DBO)

C'est la quantité des matières organique biodégradable présentes dans l'eau, et plus précisément ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire utilisée par les micro-organismes (bactéries) pour décomposer les matières organiques présentes dans les effluents sur une période de 5 jours à une température spécifique. Dans le domaine de l'assainissement, cette consommation d'oxygène est connue sous le nom de DBO₅. Pour l'épuration biologique aérobie, un temps de 21 jours (appelé DBO₂₁ ou DBO ultime) est nécessaire pour l'oxydation des composés azotés biodégradables, tandis que pour certaines familles d'hydrocarbures, cela peut prendre 28 jours ou 35 jours.

I.3.2.2 la demande chimique en oxygène (DCO)

C'est la quantité d'oxygène requise pour l'oxydation complète de toutes les matières organiques et minérales présentes dans les eaux usées par les microorganismes. Cette mesure est effectuée en évaluant la consommation d'oxygène à une température de 20°C.

I.3.2.3 Carbone totale organique COT

Le carbone organique est constitué d'une grande diversité de composés organiques à plusieurs états d'oxydation, dont certains sont susceptibles d'être oxydés par procédés chimiques ou biologiques. Ces fractions sont caractérisées par la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène (DBO).

I.3.2.4 Azote totale NT

Ce représente la somme de l'azote des formes réduites (organique et ammoniacal), aussi appelé l'azote de KJELDHAL.

L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que les protéines, les polypeptides, les acides aminés et l'urée. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations.

Quant à l'azote minéral (ammoniacal, nitrate, nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total. La présence d'azote ammoniacal (NH_4^+) dans les eaux usées est un indicateur de pollution organique.

I.3.2.5 les formes de phosphore

Le phosphore est présent dans les eaux usées sous différentes formes :

- Ortho-phosphate : la forme la plus fréquente est PO_4^{3-} .
- Phosphore total : cumul du phosphore contenu dans les ortho-phosphates, les polyphosphates et les composés phosphorés organiques.

L'addition de ces différentes formes compose le phosphore total, et chaque forme peut être mesurée individuellement par spectrométrie.

I.3.2.6. PH

Ce paramètre joue un rôle essentiel dans le traitement chimique des eaux usées et contribue à la corrosion des équipements. Il exprime le potentiel en hydrogène et indique la concentration en ions H^+ . Le pH influence sur :

- Les propriétés physiques-chimiques de l'eau (l'acidité et l'alcalinité).
- L'efficacité de certains procédés (coagulation- floculation).
- Le processus biologique.

I.3.2.7. La conductivité électrique

Elle est directement liée à la quantité de sels ionisables dissous. Elle fournit une indication fiable du degré de minéralisation des eaux usées.

II.3.3 Les paramètres bactériologiques :

Les bactéries sont couramment recherchées dans l'eau, principalement pour détecter la présence de contamination fécale. L'OMS a sélectionné plusieurs indicateurs répondant à certaines exigences, notamment les coliformes, les streptocoques fécaux du groupe D et parfois les

Clostridium perfringens. Cette sélection repose sur le fait que le dénombrement de ces bactéries est plus simple et rapide, généralement entre 24 et 48 heures, que celui des agents pathogènes qui nécessitent souvent plusieurs jours avec une identification sérologique.

I.3.3.1. Les coliformes totaux (CT)

Les coliformes sont des bactéries à forme de bâtonnets, anaérobies facultatifs, à Gram négatif et non sporulantes, capables d'hydrolyser le lactose à 35°C. Les genres regroupés sous le terme "coliformes" comprennent *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Yersinia* et *Serratia*.

La recherche et le dénombrement de tous les coliformes totaux, sans préjuger de leur classification taxonomique ou de leur origine, sont essentiels pour évaluer l'efficacité d'un traitement de désinfection et peuvent fournir des indications sur une éventuelle contamination d'origine fécale.

I.3.3.2. Les coliformes fécaux (CF)

Les coliformes fécaux, également connus sous le nom de coliformes thermotolérants, constituent une subdivision des coliformes totaux, capables de fermenter le lactose à une température de 44°C. Ce groupe est caractérisé par des bâtonnets Gram négatifs, aérobies et facultativement anaérobies, non sporulants. Bien qu'ils soient souvent désignés sous le terme d'*Escherichia Coli*, ils regroupent plusieurs souches différentes telles que *Citrobacter Freundii*, *Entérobacter Aéroènes*, *Klebsiella Pneumoniae*, parmi d'autres. La recherche et le dénombrement des coliformes fécaux sont des analyses recommandées en raison de la corrélation entre leur présence et l'indication quasi certaine d'une contamination fécale.

I.3.3.3. Les streptococcus fécaux

Les streptocoques fécaux se réfèrent à toutes les bactéries à Gram positif, de forme oblongue ou de cocci sphérique légèrement ovale, qui se disposent généralement en diplocoques ou en chaînettes.

Selon la classification sérologique de Lancefield, cinq espèces sont reconnues parmi les streptocoques fécaux (streptocoques du groupe D). Il s'agit de *S.bovis*, *S.equinus*, *S.avium*, *S.faecalis* et *S.feacium*, car les autres streptocoques ont une origine fécale incertaine.

I.3.3.4 les clostridium sulfito- réducteurs

Ces germes peuvent être considérés comme d'origine fécale, mais ils sont également présents dans le sol, ce qui rend difficile l'attribution spécifique à une contamination fécale. Dans une telle perspective d'interprétation, il est préférable de se concentrer sur les espèces les plus susceptibles d'être d'origine fécale. C'est notamment le cas des *Clostridium perfringens*, des

bâtonnets anaérobies à Gram positif, sporulants, qui réduisent les sulfites en sulfures en 24 à 48 heures.

I.4. La réutilisation des eaux usées épurée

I.4.1. Définition :

Par définition, La réutilisation des eaux usées épurées est une action qui permet de réutiliser les eaux traitées dans certaines conditions pour des usages ultérieure aux lieux d'être rejetées dans l'environnement.

I.4.2. Les principales voies de la réutilisation des eaux usées

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées épurées est de fournir une source supplémentaire d'eau de bonne qualité tout en contribuant à l'équilibre du cycle des ressources hydriques et à la protection de l'environnement. Elle est considérée comme une stratégie planifiée visant à produire des quantités d'eau complémentaires pour divers usages afin de combler les déficits hydriques

À l'heure actuelle, les possibilités de réutilisation des eaux usées sont très étendues, à condition que la qualité de l'eau soit adaptée à l'usage prévu.

I.4.2.1. La réutilisation agriculture

La grande quantité d'eaux usées rejetées incite les agriculteurs à utiliser cette source d'eau, car elle présente des avantages en termes de fertilisation. En effet, les eaux usées sont riches en éléments nutritifs tels que l'azote, le phosphore et le potassium, essentiels à la croissance des plantes et à la fertilité du sol. En utilisant les eaux usées, les agriculteurs peuvent économiser sur l'achat d'engrais tout en augmentant leur production agricole.

I.4.2.2. La réutilisation industrielle

Les eaux usées traitées peuvent être employées dans diverses activités industrielles, telles que la production d'énergie qui nécessite une grande quantité d'eau pour le refroidissement des machines, ainsi que dans les stations de lavage de voitures, l'industrie papetière, la production d'acier, l'industrie textile, et bien d'autres.

I.4.2.3. La réutilisation urbaine

En milieu urbain et périurbain, la réutilisation des eaux usées constitue une source importante d'approvisionnement en eau. Les utilisations les plus courantes incluent l'irrigation des espaces verts tels que les parcs, les terrains de golf et les terrains de sport, l'aménagement paysager avec des cascades, des fontaines et des plans d'eau, le lavage des rues et des véhicules, ainsi que la protection contre les incendies.

I.4.2.4. Production de l'eau potable

Certains pays ont des normes très strictes en matière de production d'eau potable, exigeant notamment l'élimination totale des virus. C'est le cas de pays tels que l'Afrique du Sud et l'Australie.

Les avancées technologiques dans le domaine de la gestion de l'eau ont permis de produire une eau de très haute qualité, même à partir des eaux usées. De nombreuses études ont démontré que les eaux usées peuvent être utilisées de manière sûre et appropriée si les procédures de traitement sont suivies de manière à éliminer tous les éléments pathogènes.

I.4.2.5. La recharge des nappes

La principale raison pour laquelle la recharge des nappes phréatiques est pratiquée est la détérioration de leur qualité environnementale et la diminution de leurs réserves en eau. Ce mode de réutilisation est principalement mis en œuvre dans les zones arides confrontées à des problèmes de dessèchement des nappes, ainsi que dans les zones côtières où les nappes sont envahies par l'eau de mer.

I.4.2.6. Autres

Les eaux usées peuvent être utilisées dans d'autres domaines tels que la pisciculture et l'aquaculture.

I.4.3. Avantages et contraintes liées à la réutilisation des eaux usées épurées**I.4.3.1. Avantages**

Les principales raisons justifiant un projet de réutilisation des eaux usées épurées (EUE) consistent à réaliser des économies d'eau et à accroître la disponibilité de cette ressource. Selon la FAO (2003), l'utilisation des EUE présente plusieurs avantages :

- Réduire la demande croissante pour les eaux conventionnelles.
- Economiser les investissements coûteux pour le captage des aquifères, ce qui nous permettra de les préserver
- Limiter le besoin en fertilisants commerciaux et utiliser de ceux trouvés dans les eaux usées épurées.

I.4.3.2. Contraintes

Les projets de réutilisation des eaux usées épurées (EUE) ont de nombreuses applications. Cependant, il est important de noter que l'utilisation d'EUE peut également avoir des effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine.

Les principaux dangers pour l'environnement associés à l'eau usée sont :

- Altération des écosystèmes sensible par des produits chimiques utilisés dans le traitement.

- Risques sanitaires et environnementaux en cas de contrôles inadéquats.
- Investissements et coûts d'exploitation élevés.

I.5. La réutilisation des eaux usées dans le monde

La réutilisation des eaux usées épurées est une pratique largement répandue dans les régions du monde souffrant des pénuries d'eau. Elle est particulièrement développée aux États-Unis, au Mexique, dans plusieurs pays d'Amérique du Sud, en Australie, en Afrique du Sud, au Japon, en Chine et dans les pays du Golfe persique. Certains pays se fixent pour objectif de satisfaire entre 10% et 60% de leur demande en eau grâce à cette ressource alternative d'ici les 5 à 10 prochaines années.

Selon Lazarova et al. (2013), au cours des dix dernières années, la réutilisation des eaux usées a connu une croissance annuelle de l'ordre 10% à 29% en Europe, aux États-Unis, en Chine, et jusqu'à 41% en Australie. Cependant, seule une petite partie des eaux usées dans le monde, soit environ 5%, est actuellement réutilisée, représentant un volume total de 7,1 milliards de mètres cubes par an, soit 0,18% de la demande mondiale en eau.

La région méditerranéenne est l'une des zones où la réutilisation agricole des EUE est de plus en plus répandue. Par exemple, elle est largement pratiquée en Palestine, en Tunisie et en Espagne [8].

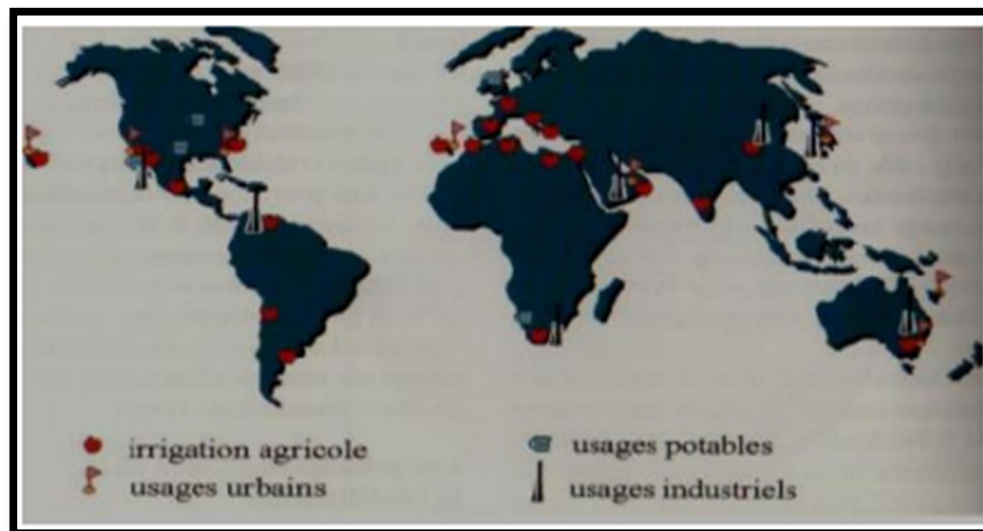


Figure I.1: Répartition des divers usages pour la réutilisation des eaux résiduaires urbaine

La figure ci-dessus met en évidence les voies principales de réutilisation observées dans les pays possédant une expertise notable dans ce secteur. On constate que la réutilisation à des fins d'irrigation est principalement répandue dans les nations réputées pour leur agriculture, mais dont les ressources en eau sont limitées, comme c'est le cas dans le bassin méditerranéen et le Sud des États-Unis.

Tableau I.1: L'utilisation des eaux usées épurées en quelques domaines

Utilisation	Pays
La fertilisation du sol	Chine, Thaïlande, Inde, Japon
La production de biogas	Chine, Inde
La production des plantes aquatiques	Sud Est d'Asie, Vietnam
L'utilisation de la boue des eaux usées en agriculture	Kenya, Uk, USA
La production des algues par stabilisation des étangs	Palestine, Japon, Mexique

I.6. Les normes de qualité des eaux usées mondiale destinées à l'irrigation

Depuis les années 1970, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a reconnu et souligné l'importance de la réutilisation des eaux usées en irrigation en raison de ses avantages environnementaux et socio-économiques. Cependant, les experts de l'OMS ont conclu que la consommation d'aliments provenant de cultures irriguées avec ces eaux peut avoir des effets néfastes sur la santé publique en raison de la présence d'organismes pathogènes d'origine fécale. Par conséquent, l'OMS a défini quatre mesures pour réduire les risques liés à la réutilisation des eaux usées sur la santé publique : le traitement des eaux usées, la limitation des cultures, le contrôle de l'utilisation des eaux usées et leur exploitation.

Ainsi, l'OMS a élaboré une directive intitulée "Directive concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en agriculture" qui prend en compte ces quatre mesures afin de garantir une réutilisation appropriée des eaux usées en agriculture. Cette directive établit des normes en ce qui concerne le nombre de bactéries coliformes, considérées comme un indicateur d'organismes pathogènes, ainsi que le nombre d'œufs de nématodes acceptables dans un effluent final pouvant être destiné à l'irrigation. Selon ces normes, la pollution microbiologique des eaux usées traitées, conformément aux recommandations de l'OMS, doit être inférieure à 1000 coliformes fécaux par 100 ml et moins de 1 œuf d'helminthes par litre. L'objectif principal de ces normes est d'éliminer les risques sanitaires afin de permettre une irrigation sans restriction.

Tableau I.2 : les valeurs limites des paramètres bactériologiques.

Paramètres	Valeurs limites
Coliformes fécaux	1000/100ml
Salmonelle	Absence dans 5 L
Vibrien cholérique	Absence dans 450 ml

(Source :www.eau-tensift.net, 2012)

Tableau I.3 : les valeurs limites des paramètres parasitologiques.

Paramètres	Valeurs limites
Parasites pathogènes	Absence
Œufs, kystes de parasites	Absence
Larves de d'ankylostomides	Absence
Fluococercaires de schistosomes Hoematobium	Absence

(Source :www.eau-tensift.net, 2012).

I.7. La réutilisation des eaux usées en agriculture en Algérie

Selon la loi n°05-12 de 2005 sur l'eau en Algérie, les ressources en eau non conventionnelles font partie du domaine public hydraulique naturel et comprennent :

- Les eaux de mer dessalées et les eaux saumâtres déminéralisées utilisées à des fins d'utilité publique.
- Les eaux usées épurées utilisées à des fins d'utilité publique.
- Les eaux de toute origine injectée dans les systèmes aquifères par la technique de recharge artificielle.

Face aux besoins en eau agricole dans les régions présentant des déficits en ressources en eau conventionnelles, une nouvelle stratégie a été adoptée par les autorités nationales, celle de la réutilisation des eaux usées épurées.

À l'heure actuelle, trois projets sont en exploitation depuis 2007, situés dans les wilayas de Boumerdès, Bordj Bou Arreridj et Tlemcen. Le volume des eaux usées épurées est estimé à 9,81 hm³ par an, permettant l'irrigation d'une superficie d'environ 1285 hectares.

En plus de ces volumes, 79 hm³ d'eaux usées épurées doivent être mobilisés pour l'irrigation de plus de 7570 hectares dans les wilayas de Constantine, Souk Ahras, Sétif et Oran.

Sept autres études ont été achevées pour les wilayas d'Alger, Ouargla, Mascara, Médéa, Chlef et Saida. Les résultats de ces études ont montré qu'il était possible de mobiliser jusqu'à 54,43 hm³ d'eaux usées épurées par an pour satisfaire plus de 9799 hectares [9].

Par ailleurs, six autres projets, pour lesquels les études de faisabilité sont en cours, sont prévus à Tipaza, Beni Messous, Skikda, Annaba, et laghouat.

Les projets en cours à Laghouat et dans six autres wilayas permettront de générer un volume supplémentaire de 51,36 hm³ par an, destiné à l'irrigation de 838 hectares.

En 2019, un volume total de 12 325 269 m³ d'eaux usées épurées a été utilisé pour l'irrigation de 10 045 hectares de terres agricoles, ce qui représente un taux de réutilisation des eaux usées épurées en agriculture de 31% [9].

Tableau I.4: Quelques chiffres des volumes des eaux usées épurées réutilisées en Algérie

Domaines de réutilisation	volumes des eaux
Agriculture	13 424 789 m ³
Lutte contre l'incendie	138 066 m ³
Arrosages des arbres	1 077 665 m ³
Lavages des chaussées	370 m ³

(Source : ONA,2014)

I.7.1. Le secteur agricole en Algérie

Le secteur agricole en Algérie englobe l'agriculture, l'hydraulique agricole, les forêts et la pêche. Il fait face à des défis liés à la disponibilité limitée des ressources hydriques, en raison notamment d'un climat aride et semi-aride. Cette contrainte hydrique constitue une menace pour l'équilibre écologique des différentes régions naturelles. La surface agricole utilisée (SAU), estimée à 8,458 millions d'hectares en 2020, est donc soumise à cette fragilité.

La SAU par habitant ne cesse de se détériorer, selon le Conseil National Économique et Social. Les cultures céréalières occupent la majeure partie de la SAU, représentant 57,49% de celle-ci. Elles sont suivies par d'autres types de cultures telles que les légumes secs, les cultures maraîchères, l'arboriculture fruitière et la viticulture. Cette diversification des cultures vise à répondre aux besoins alimentaires de la population et à améliorer la sécurité alimentaire.

Dans ce contexte, il est essentiel de développer des stratégies agricoles durables qui prennent en compte la disponibilité limitée de l'eau, la préservation des ressources naturelles et la promotion de pratiques agricoles respectueuses de l'environnement. Des investissements dans l'irrigation efficiente, la recherche agricole et la formation des agriculteurs sont nécessaires pour relever ces défis et améliorer la productivité et la rentabilité du secteur agricole en Algérie.

I.8. Les normes de qualité des eaux usées en Algérie destinées à l'irrigation

- Les normes d'irrigation pour les paramètres microbiologiques et toxicologique selon le journal officiel de la république Algérienne sont représentées dans les annexes.
- La listes des cultures pouvant être irriguées avec les eaux usées épurées est dans les annexes.

Tableau I.5: Les normes d'irrigation en Algérie pour les eaux usées épurées (**journal officiel de la République Algérienne. N26° du 2012**)

Paramètres	Unité	Valeur limitée maximale
Température	°C	30
pH	-	6.5-8.5
MES	mg/l	30
CE	ds/m	3
SAR	meq/l	15
DBO ₅	mg/l	30
DCO	mg/l	90
Chlorure	meq/l	10
Bicarbonate (HCO ₃)	meq/l	8.5
Azote ammoniacal	mg/l	3
Phosphore	mg/l	2
Ca ++	mg/l	20 – 400
Mg ++	mg/l	5 - 60,75
Na +	mg/l	40 – 920

(Source : arrêté interministériel 2012)

I.9. Conclusion

La réutilisation agricole des eaux usées épurées nécessite le respect des normes nationales et internationales. Des études ont montré que ces eaux peuvent entraîner des changements dans la nappe phréatique et altérer les caractéristiques physicochimiques et microbiologiques. Il est essentiel de surveiller et de contrôler la qualité de l'eau usée épurée afin de minimiser les risques pour l'environnement et la santé publique. La mise en place de bonnes pratiques de gestion des eaux usées traitées et d'un système d'irrigation approprié est importante pour assurer une réutilisation sûre et durable.

Présentation de la zone d'étude

II.1. Introduction

Afin déterminer les principaux facteurs qui influencent le traitement des eaux usées et par conséquent, la qualité de l'eau traitée, il est primordial d'avoir une connaissance approfondie de la zone d'étude. Cela nécessite une prise en compte de l'environnement du site notamment la situation géographique, les conditions climatiques ainsi que les caractéristiques pédologiques.

II.2. Présentation de la zone d'étude

II.2.1. Situation géographique

La commune de Sidi Lakhdar une daïra située à 50 km à l'est de la ville de Mostaganem sur la route nationale RN 11 et à environ 400 km d'Alger. Elle couvre une superficie de 140 km² avec une densité de 247 hab/km².

Les frontières de la commune de Sidi Lakhdar sont délimitées :

- Au Nord par la mer Méditerranée
- Au Sud par la commune de Sidi Ali et Tazgait
- A l'Est par la commune de Khedra.
- A l'Ouest par la commune de Hadjadj



Figure II.1: Carte de situation géographique de Sidi Lakhdar

II.2.2. Délimitation de la zone d'étude

La délimitation spatiale de la zone d'étude dépend :

- Du site accueillant la station d'épuration de Sidi Lakhdar.
- De la région concernée par la réutilisation des eaux usées épurées.
- Des terres à irriguer à partir des eaux usées épurées de la STEP de Sidi Lakhdar.

Le périmètre à irrigué de Boucheraï est situé à la commune de Sidi Lakhdar, dans la willaya de Mostaganem, à proximité d'oued El-Abid et la route RN11, et à côté de la station d'épuration des eaux usées. Il s'étend sur une superficie de 100 ha.



Figure II.2: Plan de délimitation du site d'étude

II.3. La Situation climatique

La climatologie est focalisée sur l'étude et la classification du type de climat en fonction des facteurs climatiques qui constituent l'un des paramètres importants affectant le sol, la végétation et permettent d'évaluer les besoins en eau des cultures.

II.3.1. Choix de la station de référence

Afin d'obtenir une bonne précision des paramètres climatiques, le choix de la station de référence est important, on se base sur la station de Mostaganem qui est la plus représentative, caractérisée par les éléments suivants :

Tableau II.1: Les caractéristiques géographiques de la station de Mostaganem

Nom de la station	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Période d'observation	Nombre d'observation
Mostaganem	35°53 N	00°07 E	137	1995-2008	14 ans

(Source : ONM, Alger)

II.3.2. La température

La température de l'air est l'un des éléments météorologiques, qui influence sur le système d'épuration biologique, la qualité de l'eau traitée et le séchage des boues.

Les valeurs de températures mensuelles et annuelles (maximale, moyenne et minimale) de la période (1995-2008) sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau II.2: Répartition des températures mensuelles et annuelles

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy Ann
Tmax(°C)	28.4	25.3	19.7	16.9	16.4	17.2	19.5	21.3	24.1	28.5	31.20	31.7	23.35
Tmin(°C)	17.6	14.5	9.6	7.5	6.0	6.4	7.8	10.0	13.6	17.0	19.5	20.2	12.47
Tmoy(°C)	23.0	19.9	14.7	12.2	11.2	11.8	13.7	15.6	18.8	22.8	25.4	26.0	17.92

(Source : ONM, Alger)

La figure suivante représente la répartition des températures mensuelles (maximale, minimale et moyenne).

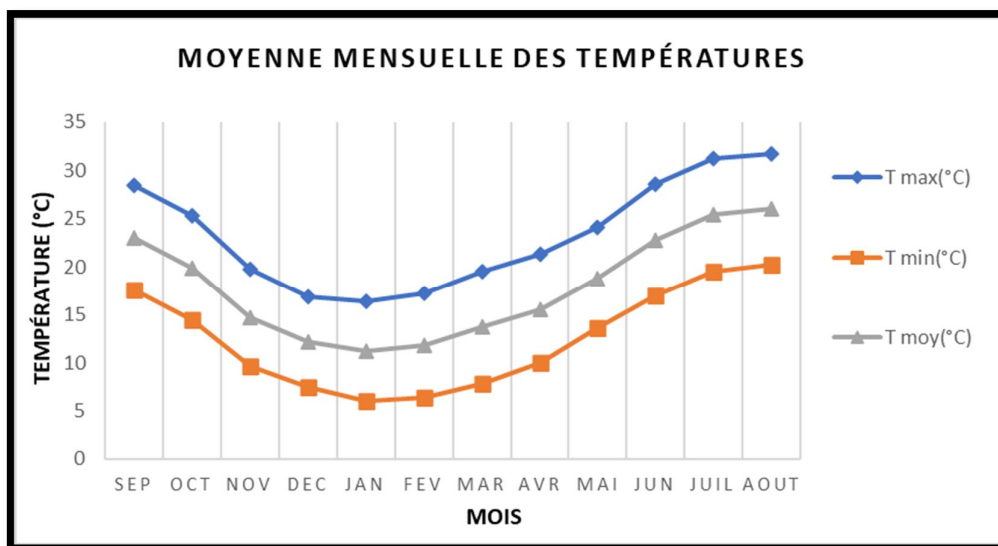


Figure II.3: Répartition des températures mensuelles et annuelles

Les données précédentes montrent la variation des températures en (°C). La température moyenne annuelle est de 17.92°C

On remarque que la température diminue pendant l'hiver et atteint un minimum de 6°C en janvier (le mois le plus froid), tandis qu'elle augmente pendant l'été et atteint un maximum de 31.2°C en aout (le mois le plus chaud).

II.3.3. L'insolation

Les niveaux d'insolation varient d'un endroit à l'autre en fonction de la position géographique de la période de l'année, de l'exposition au soleil et de la couverture nuageuse.

Tableau II.3: Répartition des moyennes mensuelles de la durée d'insolation

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy Ann
Insolation (heure)	261.8	230.4	186.4	172.5	194.1	204.3	251	250.4	288.4	319.1	328.8	312.1	249.94

(Source : ONM, Alger)

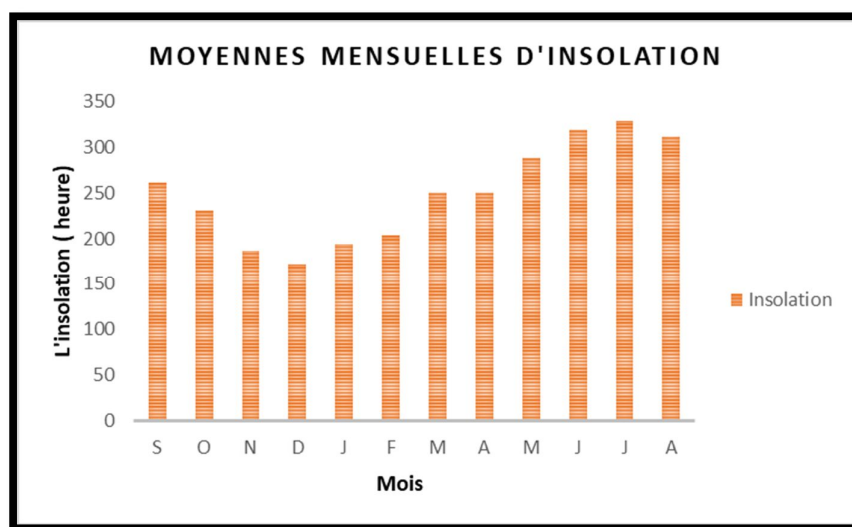


Figure II.4: Représentation graphique des moyennes mensuelles de l'insolation

D'après les données présentées ci-dessus, on observe que les valeurs d'insolation les plus élevées sont enregistrées durant la période allant de mai jusqu'au mois d'août, avec un maximum atteignant (328.8) en juillet.

II.3.4. L'évaporation

L'évaporation est un processus naturel au cours duquel l'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux en raison de l'énergie thermique reçue de l'environnement.

La variation de l'évaporation mensuelle est représentée dans le tableau suivant :

Tableau II.4: Répartition des moyennes mensuelles de l'évaporation

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy Ann
Evaporation (mm)	112.8	89.8	64.1	63.4	62.2	58.9	81.9	97.9	109.9	133.5	145.7	142.7	96.9

(source :ONM, Alger)

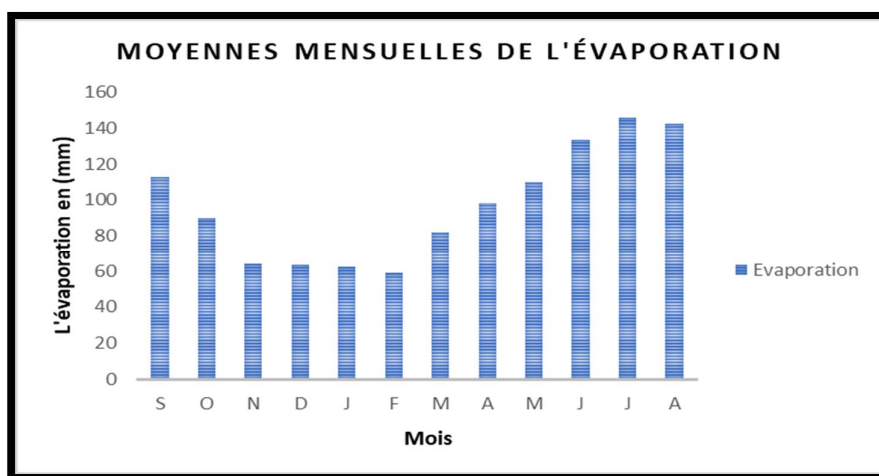


Figure II.5: Représentation graphique des moyennes mensuelles de l'évaporation

Les données présentées ci-dessus montrent que la variation de l'évaporation est importante en été, car elle atteint son maximum au mois de juillet (145.7 mm), tandis que le minimum est enregistré au mois de février (58.9 mm), avec une moyenne annuelle de 96.9 mm.

II.3.5. L'humidité

L'humidité relatif est un élément important du cycle hydrologique, elle exprime le rapport entre la tension de vapeur et la tension maximale.

Tableau II.5: Répartition des valeurs moyennes mensuelles de l'humidité

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy Ann
Humidité (%)	72	75	78	78.2	78.5	78.1	74	71	72	68	69	69	74

(Source : ONM, Alger)

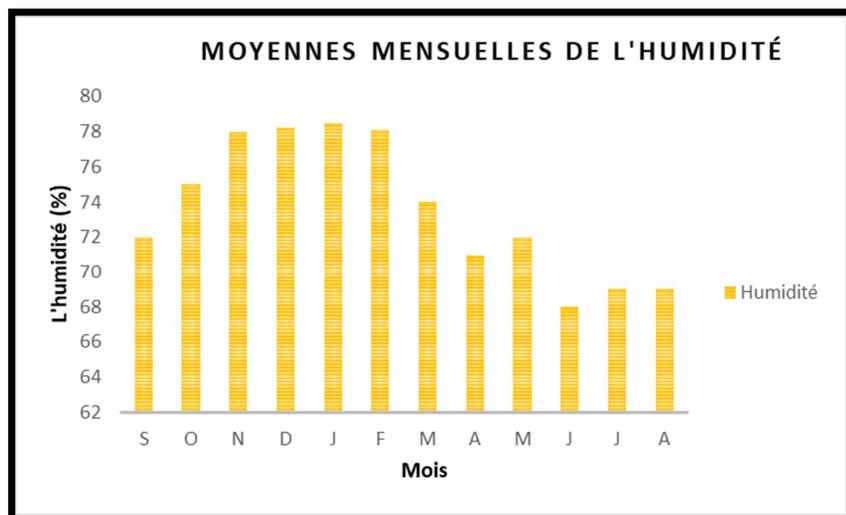


Figure II.6: Représentation graphique des moyennes mensuelles de l'humidité

La lecture de tableau ci-dessus montre que l'humidité est importante en hiver, elle augmente pendant les trois mois d'hiver (soit 78 %), tandis qu'elle diminue en été pour atteindre les 68% avec une moyenne annuelle de 74 %.

II.3.6. Le vent

Le vent est l'un des éléments qui influence sur le système de protection d'une station d'épuration, les cultures et le choix du système d'irrigation.

Tableau II.6: Répartition des moyennes mensuelles du vent

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy Ann
Vitesse (m/s)	1.7	1.5	1.7	1.8	1.7	1.8	2	2.4	2.3	2.1	1.9	1.8	1.9

(Source : ONM, Alger)

Le graphique ci-dessous présente la variation du vent au cours du fil des mois :

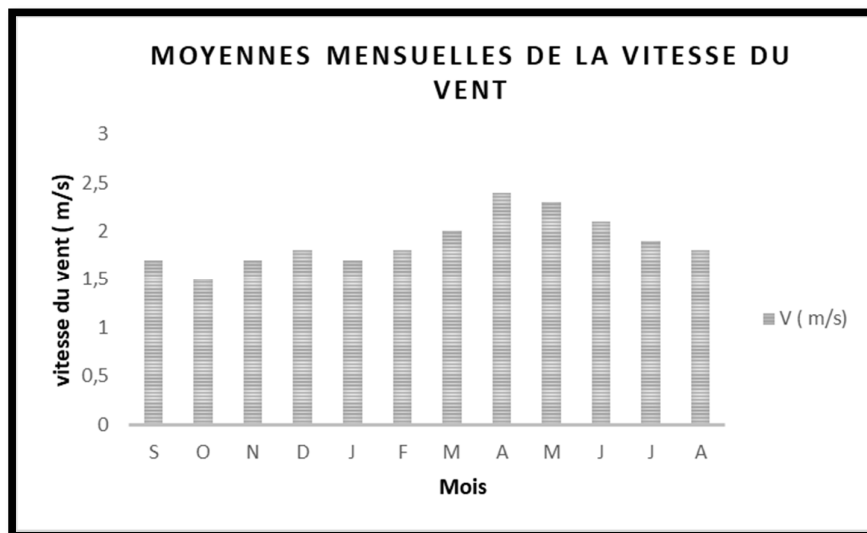


Figure II.7: Représentation graphique des moyennes mensuelles de la vitesse du vent

La vitesse moyenne du vent présente une petite variation pendant toute l'année, en oscillant entre une valeur minimale en octobre de l'ordre 1.5 m/s et une valeur maximale de 2,4 m/s en avril, la moyenne annuelle est de l'ordre 1.9 m/s.

II.3.7. La précipitation

La précipitation est l'un des éléments météorologiques indispensable désigne l'ensemble des eaux qui tombent sur le sol terrestre, sous forme liquide (bruine, pluie, averse) ou sous forme solide (neige, grésil, grêle). Son estimation précise permet de caractériser les périodes humides et secs.

Les valeurs de la pluie moyenne mensuelle sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau II.7: Répartition de la précipitation mensuelle moyenne

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuelle
P moy (mm)	18.10	28.65	57.64	47.2	47.14	38.62	29.60	35.92	25.45	2.69	1.47	2.87	364.9

(source :ANRH, Oran)

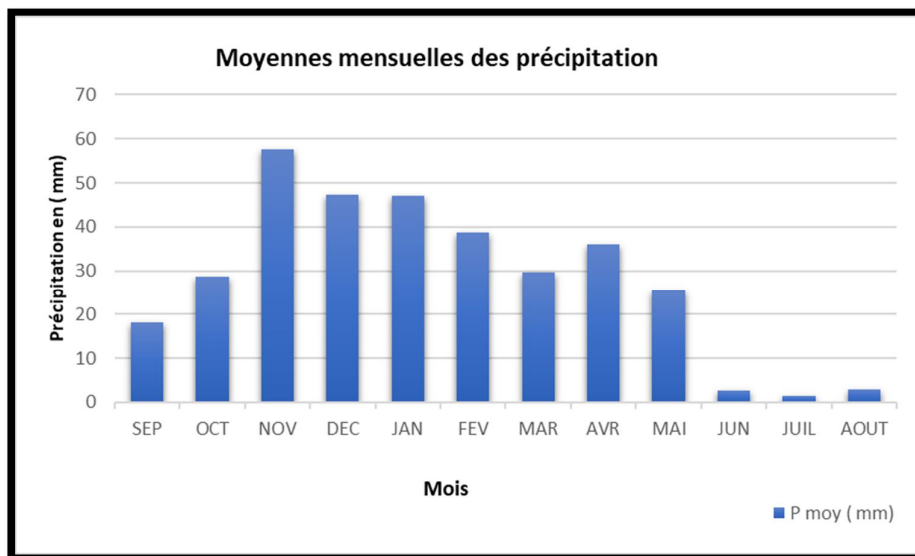


Figure II.8: Représentation graphique des moyennes mensuelles des précipitations

L'analyse des données pluviométriques montre que la moyenne annuelle est de l'ordre 364.9 mm, la valeur maximale des pluies est enregistrée au mois de novembre (57.64 mm) qui est le mois le plus pluvieux, tandis que le mois le moins pluvieux est celui de juillet (1.47 mm).

II.3.8. Classification du climat

Afin de déterminer le type du climat de notre zone d'étude ainsi que l'impact des différents facteurs climatiques sur les cultures, il est essentiel d'identifier deux paramètres importants : la pluviométrie et la température, et d'analyser leur interaction.

II.3.8.1. L'indice d'aridité de MARTON (IA)

L'indice d'aridité, également appelé l'indice de MARTONNE est indicateur numérique du degré de sécheresse du climat à un endroit donné, qui nous permet d'identifier, de localiser ou de délimiter les régions qui souffrent d'un déficit d'eau disponible. Donc savoir si l'irrigation est indispensable ou pas en fonction de type de climat.

L'indice de MARTONNE est donné par l'expression suivante : $I_A = \frac{P}{(T+10)}$

Avec :

I_A : indice de MARTONNE

P : précipitation annuelle totale de la région en (mm/an)

T : température moyenne annuelle en (°c)

La classification du climat selon l'indice de MARTONNE est donnée dans le tableau suivant :

Tableau II.8 : Classification du climat selon MARTONNE

Valeur de I	Type de climat	Irrigation
I<5	Désertique	Indispensable
5<I<10	Très sec	Indispensable
10<I<20	Sec	Souvent indispensable
20<I<30	Relativement humide	Parfois utile
I>30	Humide	Inutile

Dans notre cas, nous avons : $P_{\text{annuelle}} = 364.9 \text{ mm}$ et $T_{\text{moy}} = 17.92 \text{ }^\circ\text{C}$

On aura : $I_A = 13.07$

On constate d'après la classification présentée ci-dessus, que la région est soumise à un régime de **climat sec** et par conséquent, **l'irrigation est souvent indispensable**

II.3.8.2. Quotient Ombrothermique d'EMBERGER (QOE)

Le coefficient d'Emberger est utilisée pour évaluer le degré d'humidité. Il prend en compte les précipitations annuelles (P), la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (M), et la moyenne des températures minimales du mois le plus froid (m). Ce coefficient permet de différencier les différents niveaux climatiques et de déterminer le type de climat.

Le quotient d'EMBERGER est donnée par la relation suivante :

$$Q = \frac{2 \cdot 1000 \cdot p}{M^2 - m^2}$$

Q : coefficient pluviométrique d'EMBERGER.

P : précipitation moyenne annuelle en (mm)

M : température moyenne maximale du mois le plus chaud en ($^\circ\text{K}$)

m : température moyenne minimale du mois le plus froid chaud en ($^\circ\text{K}$)

Pour : $P = 364.9 \text{ mm}$

$$M = 31.20 + 273 = 304.2^\circ\text{k}$$

$$m = 6 + 273 = 279^\circ\text{k}$$

On aura : $Q = 49.66$

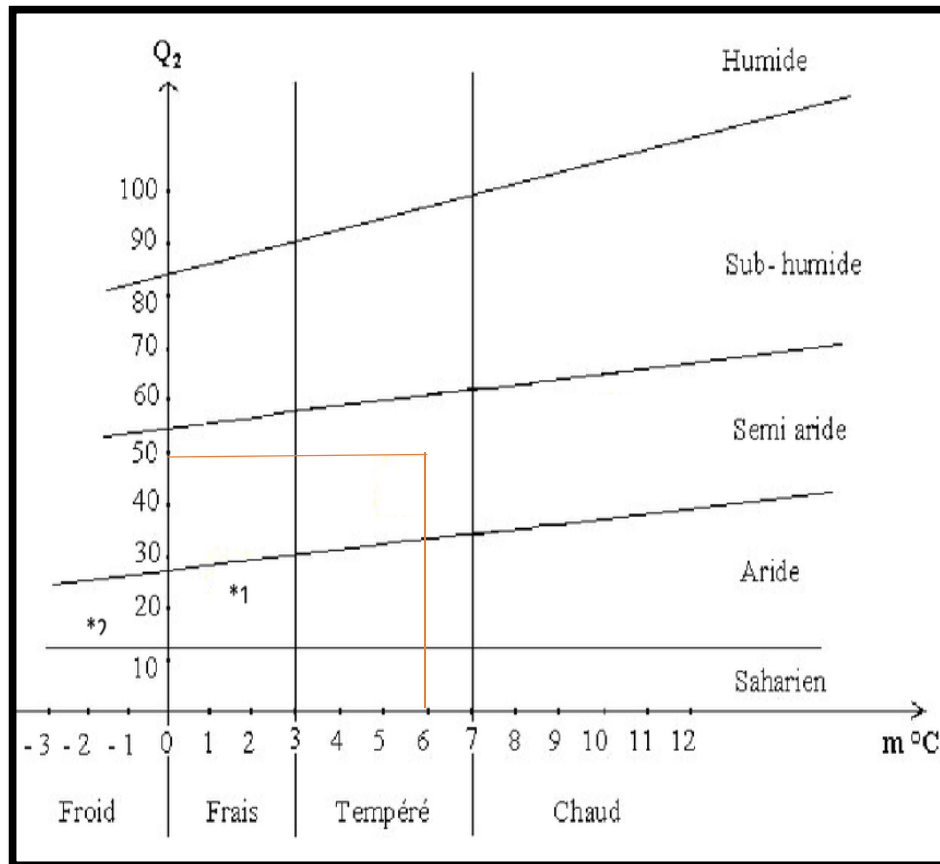


Figure II.9: Diagramme bioclimatique d'EMBERGER

En portant la valeur de Q dans le diagramme bioclimatique d'EMBERGER et en fonction de la température moyenne minimale du mois le plus froid $m=6^{\circ}\text{C}$.

L'analyse de diagramme ci-dessus montre que notre zone d'étude est située dans :

L'étage bioclimatique : **semi-aride**

Sous étage : **tempéré**

II.3.8.3. Diagramme de Bagnouls et Gaussen

BAGNOULS et GAUSSEN ont élaboré un diagramme ombrothermique pour évaluer la durée et l'intensité de la saison sèche au cours de l'année. Ils ont utilisé la formule $P=2T+^{\circ}\text{C}$; les mois secs sont déterminés lorsque la courbe des précipitations se situe en dessous de celle des températures moyennes.

Ce graphique permet de suivre aisément la progression des saisons et d'apprécier l'ampleur de leur période de sécheresse.

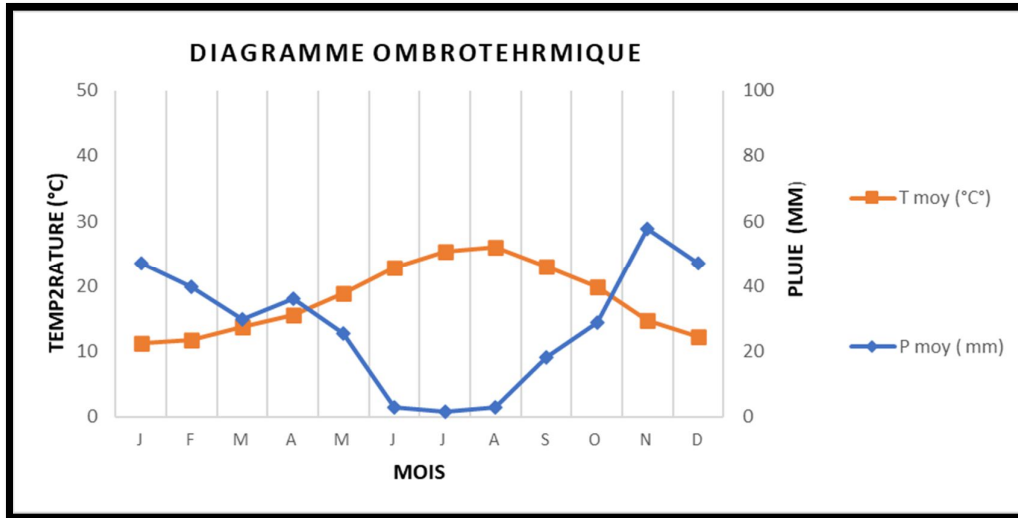


Figure II.10: Diagramme ombrothermique de Gaussen.

En observant le graphique, on remarque clairement que les deux courbes se croisent, et la zone délimitée représente l'intensité de saison sèche et humide. La saison sèche s'étale du mois d'avril jusqu'au mois de septembre, tandis que la saison humide va d'octobre jusqu'à mars.

II.4. La Situation pédologique

L'étude pédologique consiste à évaluer les propriétés physiques, chimiques du sol d'une région donnée, en vue d'une exploitation agricole ou autre. Les résultats de l'analyse ont permis de classer les sols pour déterminer ceux à bon potentiel agronomique et d'identifier les usages agricoles les plus adaptés.

II.4.1. Classification des sols du périmètre

L'étude des caractères morphologiques du sol et l'analyse physico-chimique des échantillons de notre zone d'étude ont permis de l'identifier dans les sols fersiallitique de classe : sol à sesquioxydes de fer.

L'individualisation des sesquioxydes de fer de ces sols leur confère une couleur très accusée, rouge, ocre et parfois rouille.

II.4.1.1 Description et classification du Profil pédologique

L'essentiel du sol de notre périmètre se rapporte à la classe sesquioxydes de fer. Ses caractéristiques sont résumées par le profil N°1 [2] :

Profil N° 1 :**a. Caractéristique morphologique**

- Classe : sols à sesquioxydes
- Groupe : sols rouges non lessivés
- Famille : sols issus de formations alluviales indifférenciées

b. Description des horizons

On définit les horizons suivant les profondeurs :

[0-25 cm] : horizon caractérisé par une couleur rouge, texture limono-argileuse, structure grumeleuse, enracinement abondant de céréales, nodules de calcaire, horizon poreux, peu compact, effervescence à l'HCl moyennement forte.

[25-80 cm] : horizon caractérisé par une couleur rouge de texture limono-argileuse, structure polyédrique plus ou moins grossière, faible enracinement de céréales, nodules de calcaire, horizon relativement poreux, moins compact que l'horizon superficiel avec la présence de gravier, effervescence HCl moyenne.

[>80-140 cm] : horizon caractérisé par une couleur rouge vif, de texture argilo-sableuse avec la présence de cailloux et de blocs, de couleur brun clair à l'état sec, structure polyédrique fine ou prismatique horizon poreux, compact. Complexe absorbant presque saturé, l'effervescence à l'HCl est moyenne.

II.4.1.2. Analyse physico-chimique des sols

Cette analyse se fait généralement au laboratoire après sélection des échantillons de chaque horizon du sol.

Tableau II.9: Analyse physico-chimiques des horizons étudiés

Horizons		Horizon 1	Horizon 2	Horizon 3
Profondeur de prélèvement des échantillons (cm)		0-25	25-80	80-140
Granulométrie	Argile [%]	35,20	32,50	30,60
	Limon fin [%]	18,25	18,20	20,10
	Limon grossier [%]	9,50	12,45	11,36
	Sable fin [%]	20,60	18,20	26,89
	Sable grossier [%]	16,45	18,65	10,96
Matière organique	Matière organique [%]	1,45	0,56	0,39
	Carbone C [‰]	8,55	3,3	2,3
	Azote N [‰]	0,74	0,63	0,67
	Rapport C/N	11,56	5,23	3,43
Réserve minérale	CaCO ₃ Total %	12,04	22,8	21,5
	CaCO ₃ Actif [%]	2 393	2 184	2 315
	P ₂ O ₅ Assimilé	28,95	30,44	31,45
	P ₂ O ₅ Total [‰]	39,45	39,46	34,75
	K ₂ O Assimilé [mécq /100 g]	28,95	30,44	31,45
	K ₂ O Total [%]	39,45	39,46	34,75
Complexe absorbant	Ca ⁺⁺ [mécq /100 g]	22,5	16,5	16,5
	Mg ⁺⁺ [mécq /100 g]	4,17	5,11	5,21
	K ⁺ [mécq /100 g]	1,13	0,36	0,47
	Na ⁺ [mécq /100 g]	1,52	2,04	1,39
Solution du sol	pH Eau	7,3	7,4	7,5
	C.E. [mmhos/cm]	0,1	0,05	0,11

(Source : ENHYD)

- **Analyse de la texture :**

D'après les analyses de granulométrie des échantillons de sol et suivant le triangle de

texture, On peut classifier la texture du sol de périmètre comme étant un sol limono-sableux.

II.5 Conclusion

La commune de Sidi Lakhdar qui située dans la wilaya de Mostaganem jouit d'un climat méditerranée caractérisée par un hiver semi-aride et un été chaud, avec une pluviosité relativement variable. Cependant, compte tenu les conditions climatiques et les potentialités pédologiques de la zone d'étude, l'introduction de l'irrigation est donc indispensable pour un développement des cultures.

Etude Hydrologique

III.1. Introduction

L'étude de l'hydrologie constitue un pilier fondamental dans divers domaines tels que ; l'agriculture, planification urbaine, prévention des catastrophes naturelles...etc, elle permet de déterminer les caractéristiques des précipitations à des fréquences données. Dans ce chapitre nous avons identifié les pluies de fréquence qui sont des éléments essentiels à prendre en compte lors de l'étude d'un périmètre donné. Ces caractéristiques sont cruciales pour le calcul des besoins en eau des cultures.

III.2. Etude des pluies annuelles

Les précipitations représentent un élément climatique fondamental pour déterminer le moment où l'irrigation est nécessaire. Afin d'évaluer cette composante, nous avons procédé à une analyse des données pluviométriques recueillies sur une période de 31 années.

III.2.1. Présentation de la station pluviométrique

La station pluviométrique choisie est celle de la « station de Mostaganem », qui présente les caractéristiques suivantes :

Tableau III.1: Les caractéristiques principales de la station pluviométrique de Mostaganem

Station	Code	Coordonnées		Altitude	Période d'observation	Nombre d'observation
		X (km)	Y (km)	Z (m)		
Mostaganem	040612	266.45	293.3	151	1986-2012	27ans

III.2.2. Répartition de la pluie moyenne annuelle

On présente un échantillon de pluies dans une série moyenne mensuelle qui vas de 1982 jusqu'à 2012 :

Tableau III.2: Répartition des précipitations moyennes mensuelles

année	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout	ANN
1986	71.5	27.3	17.1	66.2	34.8	71.8	5.6	1.2	13.6	2.5	6.3	0.4	318.3
1987	4.4	25.8	56.1	28	78	18.6	15.8	36.6	84.1	2.1	0	1.2	350.7
1988	8.3	9.8	30.5	17.1	12.7	20.7	76.8	18.4	2.1	3	1.4	8.9	209.7
1989	11	4	17.5	42	104.7	0.3	32.8	49.6	13	0	4	0.7	279.6
1990	6.9	23.9	58.9	28.6	27.2	58.5	130.2	4	25.1	1.3	1.1	0	365.7
1991	8.8	35.9	67.9	10.1	38.1	28.3	30.4	8.8	36.2	25.7	3.6	0.3	294.1
1992	1.5	2.9	34.7	19.4	0	58	16.6	40.9	19	4.2	0	2.4	199.6
1993	4.9	52.1	55.7	7.9	33.1	40	0	27.7	7.2	0	0	0	228.6
1994	16.6	23.7	29.3	4.9	31.6	23.5	44.3	10.4	0.6	2.7	5.7	3	196.3
1995	22.3	12.7	78.4	58.4	125.4	94.6	39.9	47.3	24.6	0	5.6	0.3	509.5
1996	37.9	29	2.2	45	79.4	4.2	0	111.7	15	1.6	2	8.5	336.5
1997	23.4	37.5	56.1	50.2	46.6	29.1	11.4	30.6	42.8	0	1.4	8.9	338
1998	4.2	8.5	26.5	58.6	72.2	69.2	40.2	0.4	3	1.2	0.7	13.1	297.8
1999	19.3	17.6	74.2	51.9	3.1	0	12.5	17.9	29.3	0.5	0	0	226.3
2000	86.8	43.9	115.1	25.1	42	135.5	1.8	63.5	12	0.7	0	0.1	526.5
2001	8.4	17.3	145.4	43.1	6.2	0	62.8	47.5	40.2	1.1	0	9.7	381.7
2002	0.6	31.9	54.2	7.2	54	46.9	7.4	51.3	10.3	1.6	0	0.1	265.5
2003	0	25.7	29.9	68	24.4	32.5	10.9	8.3	79.1	10.9	0	0	289.7
2004	2.2	52.1	85.3	104.7	7	518	25.1	3.9	0	1	0.7	0	339.5
2005	11.2	43.2	100.8	40.3	108.2	64.4	10.2	24	92.1	3.1	0	0	497.5
2006	35.7	0	0	189.3	48.7	20.1	51.2	77.3	0	0	0	0	422.3
2007	32.9	68.4	62.5	22.3	27.9	5.8	16.3	4.4	14.7	6.2	4.1	0	265.5
2008	31.6	40.5	144.5	119.4	60.6	8.2	32.6	32.1	15.4	0.8	0	1.6	487.3
2009	15.1	2.7	18.7	34.8	44.3	42.7	44.7	37.3	11.6	0.4	0	16.4	268.7
2010	3.6	66.1	58.6	16	70.3	26.2	28.5	76.6	45.5	2.2	0	0	393.6
2011	4.3	41.2	76.2	38.7	31.9	62.7	20.4	62.3	2.4	0	0	0	340.1
2012	14	30	60	77.2	54.8	29.3	30.9	75.9	48.4	0	3.3	2	425.8

La série des pluies annuelles (1982 –2012) présente les caractéristiques statistiques suivantes :

Tableau III.3: Les caractéristiques de la série pluviométrique

Taille de la série	31
Moyenne	335.35
Ecart type	196.3
Cv	0.28
Min	196.3
Max	526.5

III.2.3. Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique

Le test de Mood est utilisé pour déterminer si une série pluviométrique est homogène ou non.

Cette méthode se fonde sur la procédure suivante :

- Soit un échantillon x_1, x_2, \dots, x_n . On détermine sa médiane M après avoir classé l'échantillon par ordre croissant.
- La médiane M est une valeur constante telle que la moitié (50%) des valeurs x_i sont inférieures à elle et l'autre moitié (50%) des valeurs x_i sont supérieures à elle.
- Remplaçons donc la série des valeurs non classées par une suite de signe « + » pour le $x_i > M$
« - » Pour le $x_i < M$
- Calculons les quantités N_s et T_s avec :
 - N_s : nombre totale de séries de (+) ou de (-).
 - T_s : taille de la plus grande série de (+) ou de (-).
- Les conditions du test sont les suivantes ;

$$\frac{1}{2} (N + 1 - 1.96\sqrt{N - 1}) < N_S < \frac{1}{2} (N + 1 + 1.96\sqrt{N - 1})$$

$$T_S < 3.3 (\log_{10} N + 1)$$

Le tableau suivant détaille le procédé du Test d'homogénéité pour notre station.

Tableau III.4: Résultats du Test de Mood

Pmoy	318.3	350. 7	209.7	279.6	365.7	294. 1	199.6	228.6	196.3
	-	+	-	-	+	-	-	-	-
P moy	509.5	336.5	338	297.8	226.3	526. 5	381.7	265.5	289.7
	+	+	+	-	-	+	+	-	-
P moy	339.5	497.5	422.3	265.5	487.3	268.7	393.6	340.1	425.8
	+	+	+	-	-	-	+	+	+

On vérifie les deux conditions :

- $N_s > \frac{1}{2} (N + 1 - 1.96\sqrt{N + 1}) = 8.81$
- $N_s < \frac{1}{2} (N + 1 + 1.96\sqrt{N + 1}) = 19.18$
- $N_s = 14$ et $8.81 < N_s = 14 < 19.18$
- D'autre part on : $T_s < 3.3 (\log_{10} 30 + 1)$
- Donc : $T_s = 4$ et $4 < 8.02$

On constate que les deux conditions de Mood sont vérifiées, donc la série des précipitations moyennes annuelles est homogène.

III.3. Ajustement des pluies annuelles

Pour obtenir le meilleur ajustement possible des séries pluviométriques, nous utilisons une loi statistique qui est adaptée à notre cas. Les lois d'ajustement les plus couramment utilisées sont :

- « La loi de Gauss » ou « la loi de normale ».
- « La loi de Gibrat-Galton » ou « la loi log normale ».

Dans notre cas on va utiliser la loi normale « loi de Gauss »

III.3.1. Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss « loi normal »

Le procédé de calcul est comme suite :

- On classe par ordre croissant les valeurs de l'échantillon
- On donne à chaque valeur un numéro de l'ordre
- On calcule la fréquence expérimentale (formule de Hazen)
- Variable réduite de Gauss : $U = \frac{X + \bar{X}}{\delta}$
- On calcule les caractéristiques empiriques de la loi : $(\bar{X}; \delta; C_v; C_s=0)$

- On calcule le coefficient de la variation : $CV = \frac{\delta}{X}$
- On calcule le quantile de pluie pour une période de retour par l'équation de droite :

$$X_p\% = X' + \delta + Up\%$$

Avec : $X_p\%$: précipitation de probabilité

X : Moyenne arithmétique

δ : Ecart type

$Up\%$: Variable réduite de Gauss

Pour les calculs on a utilisé le logiciel HYFRAN. Les résultats obtenus présentent à la Figure suivante :

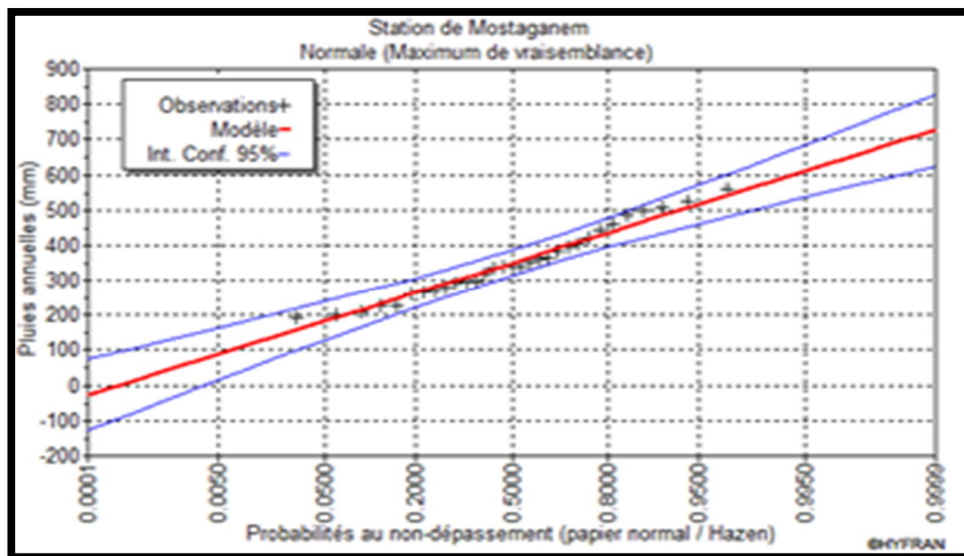


Figure III.1: Courbe d'ajustement des pluies à la loi normale

III.4. Détermination de l'année de calcul

Le but principal de la détermination de l'année de calcul est de connaître la quantité de pluie qui peut être utilisée par la plante, c'est une fraction de la pluie efficace (pluie de probabilité 80%).

Tableau III.5: Quantiles de pluies de la station de Mostaganem

Période de retour	Fréquence	Quantile	Intervalle de confiance (95%)	
2	0.50	355	293	377
1.25	0.2	255	213	297

La probabilité pour laquelle on assure l'irrigation est donnée souvent pour la fréquence 80 %

$$\text{est : } P_{\text{moy 80\% de chaque mois}} = P_{\text{moy de chaque mois}} * \frac{P_{\text{théorique (80\%) annuelle}}}{P_{\text{théorique (50\%) annuelle}}}$$

$$\text{Avec : } P_{\text{théorique (80\%) annuelle}} = 255$$

$$P_{\text{théorique (50\%) annuelle}} = 355$$

On remplace dans la formule précédente :

$$P_{\text{moy (80\%) de chaque mois}} = 0.76 * P_{\text{moy de chaque mois}}$$

Les pluies de fréquence 80%, sont données comme suit :

Tableau III.6: La pluviométrie moyenne mensuelle de probabilité 80%

Mois	sep	oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P_{moy} (mm/mois)	18.1	28.7	57.6	47.2	47.1	38.6	29.6	35.9	25.5	2.7	1.5	2.9
P_{moy80%} (mm/mois)	13.7	21.8	43.8	35.9	35.8	29.3	22.5	27.3	19.3	2.0	1.1	2.2

III.5 Conclusion

L'étude hydrologique joue un rôle crucial dans le secteur agricole, en particulier pour évaluer avec précision les besoins en eau des cultures. Elle permet également de planifier une irrigation efficace et durable tout en anticipant les périodes de sécheresse ou d'excès d'eau. Ces objectifs sont atteints grâce à une analyse minutieuse des caractéristiques des précipitations, un processus que nous avons exploré en détail dans ce chapitre.

*Présentation de la STEP de Sidi
Lakhdar*

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons aborder la station d'épuration des eaux usées de Sidi Lakhdar, en détaillant son état, les différentes annexes existantes, son principe de fonctionnement, ainsi que les divers processus de traitement utilisés dans cette station.

IV.2. La station d'épuration des eaux usées de Sidi Lakhdar

IV.2.1. Localisation géographique de la STEP

La station de traitement des eaux usées se trouve dans la commune de Sidi Lakhdar à l'est-nord du chef-lieu de la ville de Mostaganem, dans une zone agricole entourée de périmètres d'irrigation. Ses frontières sont définies par un large terrain agricole au nord et à l'est, la route nationale RN11 au sud et l'oued El-Abid à l'ouest.



(Source : google earth, 2023)

Figure IV.1: Localisation de la station d'épuration de Sidi Lakhdar

IV.2.2. Présentation de la STEP

La station d'épuration de Sidi Lakhdar est une station urbaine de type « boues activées à moyenne charge », Elle a été conçue pour traiter les effluents résiduaires issus de l'agglomération de la commune, afin de les rendre conformes aux normes de rejet en vigueur. La station a commencé de fonctionner en janvier 2016. Une fois purifiées, les eaux usées sont directement rejetées dans Oued El-Abid.

Les tableaux suivants présentent les données fondamentales actuelles (année 2022) de la station d'épuration de Sidi Lakhdar :

Tableau IV.1: Les caractéristiques de l'eau usée entrant la STEP en 2022

Paramètre	Unité	Valeur
Charge hydraulique		
Débit moyen journalier	m ³ /j	2251
Débit moyen horaire	m ³ /h	94
Débit de pointe par temps sec	m ³ /h	186.12
Débit de pointe par temps de pluie	m ³ /h	281.37
Débit diurne	m ³ /h	141
Charge polluante		
DBO ₅	kg/j	1125.5
DCO	kg/j	1477
MES	kg/j	675
Concentration		
DBO ₅	mg/l	500
DCO	mg/l	656
MES	mg/l	300
Phosphore	mg/l	2.5
NH ₄	mg/l	24

Tableau IV.2: Les caractéristiques de l'eau épurée sortant de la STEP de Sidi Lakhdar

Paramètre	Unité	Valeur	
PH		7.3	
Conductivité	(us/cm)	1020	
Charge hydraulique			
Débit journalier	m ³ /j	2132.24	
Débit moyen horaire	m ³ /h	89	
Débit de pointe par temps sec	m ³ /h	177	
Débit de pointe par temps de pluie	m ³ /h	267	
Concentration			
Mg ++	meq/l	4.7	
Na+	meq/l	14.91	
Ca ++	meq/l	7	
Phosphore	mg/l	1.16	
NH ₄	mg/l	2.1	
DBO ₅	Max	mg/l	18.69
	Moy	mg/l	13.13
DCO	Max	mg/l	34.6
	Moy	mg/l	24.20
MES	Max	mg/l	53.27
	Moy	mg/l	10.80

Tableau IV.3: Récapitulatif des principaux paramètres de la station d'épuration de Sidi Lakhdar

Paramètre	Unité	Quantité (l'horizon 2032)
Capacité de la station	Eq.Hab	35 000
Charges hydrauliques		
Débit moyen journalier	(m ³ /j)	3 360
Débit moyen horaire	(m ³ /h)	140
Débit de pointe par temps sec	(m ³ /h)	266
Débit de pointe par temps de pluie	(m ³ /h)	420
Charges polluantes		
DBO5	Kg/j	1775
DCO	Kg/j	3150
MES	Kg/j	2100
NTK	Kg/j	420
NH4	Kg/j	294
P totale	Kg/j	123
Concentration moyenne		
DBO5	mg/l	1 529
DCO	mg/l	1 938
MES	mg/l	1 625
NTK	mg/l	1 125
NH4	mg/l	1 87.5
P totale	mg/l	1 37

(Source : direction de la station d'épuration de sidi Lakhdar)

IV.3. Gestion de la station d'épuration

La STEP de Sidi Lakhdar se compose de deux parties :

- Filière des eaux usée
- Filière des boues

IV.3.1 Filière de l'eau

La filière d'eau comprend :

- 1) Réception by-pass (déversoir d'orage)

- 2) Relevage d'eau équipé d'un panier de dégrillage
- 3) Dégrillage fin
- 4) Dessablage / déshuilage
- 5) Décantation primaire (2 files)
- 6) Zone d'aération « bassin biologique » (2 files)
- 7) Dégazage
- 8) Clarification (2 files)
- 9) Recirculation
- 10) Désinfection au chlore
- 11) Stockage des eaux traitées
- 12) Rejet

IV.3.2 Filière des boues

- 1) Extraction et recirculation des boues des puits (boues primaires et biologiques).
- 2) Epaissement des boues mixtes par décantation statique.
- 3) Stabilisation des boues épaissies par digestion aérobie.
- 4) Déshydratation des boues par lits de séchage.

IV.3.3 Principaux ouvrage et équipements

- Dégrilleur grossier
- Dégrilleur fin
- Dessableur-Dégraisseur
- Décanteur primaire
- Bassin d'aération
- Clarificateur
- Bassin de stockage et régulation
- Bassin de désinfection au chlore
- Puits à boues
- L'épaisseur des boues
- Bassin de stabilisation des boues
- Lits de séchage

IV.4. Les procédés d'épuration des eaux usées de la STEP

Avant leur rejet, les eaux usées polluées passent par plusieurs étapes de traitement, qui sont les suivantes :

IV.4.1. L'arrivée des eaux brutes

L'ensemble des effluents résiduaires arrive gravitairement à la station d'épuration par le biais d'une conduite DN 300 mm, puis ils sont acheminés directement vers le déversoir d'orage.

IV.4.2. Déversoir d'orage (bassin de réception)

C'est un ouvrage indispensable installé en amont de la station d'épuration, comporte un système de by-pass (équipé de deux couloirs), l'un pour acheminer les eaux usées vers les équipements, et l'autre pour évacuer le surplus des eaux brutes en cas de trop plein.



(Source : Step de Sidi Lakhdar)



(Source: Step de Sidi Lakhdar)

Figure IV.2: Représentation du déversoir d'orage

IV.4.3. Pré-traitement

Les eaux brutes doivent généralement subir avant leur traitement proprement dit un prétraitement, qui comporte des opérations physiques et mécaniques visant à éliminer les éléments susceptibles de gêner les traitements ultérieurs en raison de leur nature ou de leur taille.

IV.4.3.1. Dégrillage

a. Dégrillage grossier

C'est la première étape du prétraitement consiste à retenir les matières volumineuses, il permet les eaux usées passent à travers d'une grille verticale dont les barreaux plus au moins espacés (entrefer 40 mm) ainsi de protéger la station contre l'arrivée intempestive des gros objets susceptibles de provoquer les bouchages dans les différentes unités de l'installation.

b. Poste de relevage

Les eaux brutes arrivant au poste de relevage sont pré-dégrillées à l'aide d'un panier de dégrillage grossier, ce panier est équipé de 3 pompes, dont 1 en secours, il permet de prélever les échantillons d'eau et acheminer vers le dégrilleur fin. Ses caractéristiques sont les suivantes :

Tableau IV.4: Les caractéristiques principales du poste de relevage

Paramètre	Unité	Valeur
Débit maximum à l'entrée de relevage	m ³ /h	266
Nombre de pompes installées	U	3
Nombre de pompe en secours	U	1
Débit par pompe	m ³ /h	133
Dimensions du poste de relevage	m	3.00*3.00
Diamètre de canalisation de refoulement	-	Ø 250 – PEHD

(Source : step de sidi lakhdar)

c. Dégrillage fin

Cette étape du traitement a pour objectif :

- D'éliminer de manière efficace la plupart des matières solides.
- De protéger les équipements électromécaniques situés en aval.

Le dégrillage fin est assuré par dégrilleur vertical automatique (entrefer 8 mm) en acier galvanisé

Tableau IV.5: Les caractéristiques principale du dégrilleur fin

Paramètre	Unité	Valeur
Débit de dimensionnement	m ³ /h	266
Nombre de dégrilleur total	u	1
Largeur de grille	mm	432
Espacement des barreaux	mm	8
Largeur de canal	mm	500

En cas de disfonctionnement de dégrilleur il existe une grille de secours manuelle

- **Refus de dégrillage**

Après l'opération de dégrillage, les refus sont évacués manuellement vers le container à refus



(Source : Step de Sidi Lakhdar)

Figure IV.3: Le refus de l'opération de dégrillage

Tableau IV.6: Récapitulatif des données du refus de dégrillage

Paramètres	Unité	Charges Nominales
Production journalière de refus	Kg/j	84
Densité		0,9
Volume journalier de refus	l/j	105

- **Le comptage**

Un ouvrage est installé après le traitement de dégrillage, il permet de comptabiliser les effluents bruts à l'aide d'un canal venturi équipé de sonde de niveau à ultrason

IV.4.3.2. Dégraissage-Dessablage

Les effluents dégrillés subissent une opération de dessablage-dégraissage qui permet une élimination de toutes les matières perturbatrices (graisse et sable) de dimension > 2 mm ; décantation des résidus les plus denses (sable, gravier et les matières minérales) et flottation des déchets plus légers (graisses, huiles et les matières flottants).

- L'élimination du sable permet d'éviter l'abrasion des équipements ainsi que l'ensablement des bassins.
- L'élimination des graisses et huiles permet d'éviter une baisse du rendement de transfert d'oxygène dans le traitement biologique.
- Le traitement de dessablage-dégraissage s'effectue dans un ouvrage circulaire combinée les deux opérations, ce dernier contient un dispositif (pont mobile) équipé d'un racleur de surface et des suppresseurs de l'insufflation d'air implantés au fond du bassin.
- L'insufflation d'air permet d'assurer la flottation des graisses et des huiles à la surface de

l'ouvrage ; où les bulles d'aires augmentent la vitesse de monter les particules grasses.

- Le racleur de surface recueille les graisses et les achemine vers la fosse à graisse.
- Les sables décantent au fond du bassin, puis ils sont aspirés par une pompe.
- Le mélange eau/sable du dessableur-dégraisseur est envoyé par air lift vers le classificateur à sables.



(Source : Step de Sidi Lakhdar)

FigureIV.4: Bassin de dégraissage-dessablage

Le tableau suivant représente les caractéristiques de base du dégraisseur-dessableur :

Tableau IV.7: Les caractéristiques principales du dégraisseur / dessableur

Paramètres	Unités	Charges nominales
Nombre de dessableur /dégraisseur	U	1
Hauteur verticale	M	2.50
Diamètre de l'ouvrage	M	5
Débit de pointe	m ³ /h	266
Volume utile total de l'ouvrage	m ³	38
Vitesse ascensionnelle au débit de pointe	m/h	11.8
Temps de séjour au débit de pointe	min	12.5

- **Volume de sous-produits**

Sables :

Tableau IV.8: Récapitulatif des charges nominales de sables

Paramètres	Unité	Charges nominales
Production des sables estimée dans l'effluent brute	Kg/1.000 m ³	30
Quantité de sable extraite du dessableur	kg/j	101
Concentration mélange eau/sable extrait	g/l	30

Graisses :

Tableau IV.9: Récapitulatif des charges nominales de graisses

Paramètres	Unité	Charges nominales
Production de graisses dans l'effluent brut	% DCO	20
Quantité de graisses estimée dans les eau brutes	Kg DCO/j	630
Rendement déshuileur DCO	%	25
Graisses extraites des déshuileurs	Kg DCO/j	158
Concentration des graisses extraites	g/l	150
Volume journalier de graisses extraites	m ³ /j	1.1

IV.4.4. Traitement primaire

Les effluents prétraités sont dirigés vers un processus de traitement primaire connu sous le nom de « décantation primaire », cette étape consiste à répartir les eaux usées vers deux bassins circulaires de décantation, permettant ainsi de séparer physiquement les substances sédimentables, y compris les polluants et les matières en suspension.

À la station de Sidi Lakhdar, la méthode de décantation utilisée est la "décantation classique", où les matières décantables ayant une densité plus élevée que celle de l'eau se déposent au fond du bassin par gravité, formant ainsi des "boues primaires". Ces boues sont récupérées à l'aide d'un racleur de fond (forme de V) et dirigées vers un traitement ultérieur. L'efficacité de ce processus dépend de la vitesse de chute des MES et du temps de séjour dans le bassin.

L'intérêt de la présence d'une décantation primaire est de permettre :

- De certain lissage de la qualité des effluents.
- De disposer d'un effluent débarrassé de particules en suspension.
- D'éliminer de 50% des MES ,35% de (DBO5 et DCO) et 9.1% de NTK



(Source : Step de Sidi Lakhdar)

Figure IV.5: Décanteur primaire circulaire

Tableau IV.10: Les caractéristiques principales du décanteur primaire

Paramètre	Unité	Valeur
Nombre d'ouvrage	U	2
Débit de pointe admissible par l'ouvrage	m ³ /h	133
Diamètre du décanteur primaire retenu	m	10
Surface du bassin	m ²	79
Vitesse ascensionnelle sur pointe	m/h	1.7
Hauteur d'eau	m	3.0
Volume unitaire	m ³	236
Temps de séjour en pointe	h	1.8

Tableau IV.11: Les abattements envisagés pour la décantation primaire

Paramètres	Unité	Valeur
DBO ₅	%	35
DCO	%	35
MES	%	50
NTK	%	9.1
PT	%	11.1

Les effluents en sortie des décanteurs primaires sont dirigés vers la zone de contact ensuite vers la zone aérée.

IV.4.5. Traitement biologique (traitement secondaire)

La phase de traitement biologique représente le pivot central du processus de traitement des eaux usées. En effet, c'est à ce stade que se produit la dégradation de la matière organique et inorganique présente dans l'effluent, grâce à l'action de micro-organismes en contact avec celle-ci. L'objectif est de réduire la quantité de DCO, de DBO₅ et de MES présentes dans l'eau.

La Station de Sidi Lakhdar est utilisée un traitement biologique de type « boues activées à moyennes charges » composé d'un :

- Bassin de répartition
- Bassin d'aération sur deux fils parallèles
- Clarificateur sur deux fils parallèles
- Bâche de recirculation des boues

IV.4.5.1. Bassin de répartition

À la sortie du traitement primaire, les effluents prétraités alimentent un ouvrage de répartition situé en tête des bassins d'aérations, il permet l'équipartition du débit vers les deux lignes de traitement. Ce répartiteur est équipé de trois pompes submersibles qui assurent la recirculation des boues vers les bassins biologiques (boues de retour).

IV.4.5.2 Bassin d'aération

Les eaux prétraiter de la STEP sont soumis à un traitement biologique aérobie à culture libre « boues activées », où elles sont mises en contact avec des micro-organismes dans un bassin d'aération pour dégrader la matière organique présente, ainsi qu'une partie des autres composés. Pour que ces bactéries puissent développer, elles nécessitent un apport d'oxygène, qui est assuré par quatre turbines d'aération de surface (deux par bassin).



(Source : Step de sidi lakhdar)

Figure 11: Bassin d'aération rectangulaire

Le bassin biologique est équipé d'un système d'aération en surface et des agitateurs (deux pour chaque bassin) assurent le brassage et l'homogénéisation du système, ainsi que des sondes de mesures d'oxygène et du potentiel redox qui permettent le contrôle des paramètres de fonctionnement de l'unité de traitement biologique.

Remarque : L'ensemble de la pollution avec les microorganismes vivants forme « la liqueur mixte » ou « la boue biologique » contenue dans des bassins de traitement biologique.

Tableau IV.12: Les caractéristiques principale de l'aération

Paramètres	Unité	Charges nominales
Besoins pour la dégradation « DBO ₅ »	kg O ₂ /j	517
Temps de fonctionnement de l'aération	h/j	20
Besoin en O ₂ réel		
- journalier	kg O ₂ /j	867
-horaire	kg O ₂ /h	43
Nombre d'aérateurs de surface	U	4
Capacité d'oxygénation unitaire nécessaire par Turbine	kg O ₂ /h	15.5

Le tableau suivant présente les caractéristiques du bassin biologique par « boues activées à moyennes charges » ;

Tableau IV.13: Les caractéristiques principales du bassin biologique

Paramètres	Unité	Charges nominales
Nombre des bassins	U	2
Nombre d'aération du surface	U	4
Débit moyen journalier total	m ³ /j	3325
Charge DBO ₅ admis	kg/j	1024
Charge massique	kg DBO ₅ /kg MVS/j	0,293
Paramètres	Unité	Charges nominales

Paramètres	Unité	Charges nominales
Charge volumique	kg DBO ₅ /kg MVS/j	0,819
Pourcentage en matières volatiles (boues Biologiques)	%	80
Largeur du bassin	m	10
Hauteur d'eau	m	3,2
Longueur du bassin	m	20
Paramètre	Unité	Charge nominale
Taux de recirculation des boues	%	80
Volume du bassin d'aération	m ³	640
Temps de séjour dans bassins	h	8,6
Besoin en O ₂ journalier	Kg O ₂ /j	867
Age des boues	J	4.78

- **Dégazage**

La liqueur mixte est récupérée par un déversoir sur chaque deux bassins d'aération. Elle s'écoule ensuite jusqu'à un ouvrage de dégazage, qui assure les deux principales fonctions :

- Eliminer les bulles d'air préjudiciables à la décantation des boues dans le clarificateur.
- Piéger les mousses et les flottants qui s'accumulent en surface et sont transférés dans la fosse de reprise des flottants.

En sortie de dégazage, les eaux rejoignent les deux files de clarification.

Remarque : Le puits à flottants est positionné à proximité du dégazeur et reçoit les flottants des dégazeurs et des clarificateurs.

Tableau IV.14: Les données de dimensionnement du bassin de dégazage

Paramètres	Unités	Valeurs
Nombre d'ouvrage	u	1
Nombre de files de dégazage	u	2
Surface de dégazage	m ²	6
Débit de pointe	m ³ /h	266

IV.4.5.3. Clarificateur

La décantation est un processus indissociable permet de séparer l'eau épurées des boues (secondaires) issues du bassin d'aération. Cette décantation se fait dans des ouvrages spéciaux,

les plus souvent circulaires appelés « clarificateur » ou « décanteur secondaire » équipés d'un pont de racleur qu'est également contient un système de nettoyage automatique. Les boues vont décanter en fond du bassin, d'où elles seront raclées, retirées par des tubes suceurs à l'aide d'une pompe à vide et ce le même cas pour les boues flottantes aussi seront extraites à l'aide d'un racleur de surface et dirigées vers une fosse de boues flottantes.



(Source : Step de Sidi Lakhdar)

Figure IV.7: Décanteur secondaire

Tableau IV.15: Les caractéristiques principales du clarificateur

Paramètres	Unités	Valeurs
Nombre d'ouvrages	U	2
Débit de pointe admissible par ouvrage	m ³ /h	133
Diamètre de l'ouvrage	M	12
Vitesse ascensionnelle (moyenne charge)	M	1.2
Surface utile d'un clarificateur	m ²	113
Volume d'un clarificateur	m ³	339
Hauteur verticale en eau	M	3
Volume total	m ³	678

- **Recirculation des boues**

Les boues issues de clarificateurs sont dirigées vers le puits à boues, une partie est évacuée en aval vers le traitement des boues (épaissement, déshydratation...), tandis que, l'autre partie est recyclée vers le bassin biologique pour maintenir la masse biologique nécessaire au fonctionnement de l'installation.

Tableau IV.16: Récapitulatif des données de recirculation des boues issues de traitement biologique

Paramètres	Unités	Charges nominales
Débit de pointe admis sur le biologique	m ³ /h	266
Taux de recirculation	%	80
Débit de recirculation maxi	m ³ /h	210
Nombre de pompes installées	U	2
Nombre de pompe en secours	U	1
Débit par pompe	m ³ /h	210

Dans la plupart des cas, l'effluent peut être rejeté dans le milieu Naturel après la clarification.

- **Comptage des eaux épurées**

Les eaux épurées sont comptabilisées au moyen d'un canal venturi, puis dirigées vers la bache de stockage d'eau.

- **Bassin de stockage et de régulation des eaux épurées**

Après l'épuration des eaux usées, les eaux épurées vont acheminer directement vers un bassin de stockage et de régularité de l'eau de 80 m³.

IV.4.6. Traitement tertiaire

Les eaux traitées issues des clarificateurs sont ensuite acheminées vers un réservoir dans lesquelles vont subir une désinfection par chlore à l'aide d'un réactif d'hypochlorite de sodium « NACLO » appelé « l'eau de javel » afin de :

- Désinfecter les effluents pour pouvoir les réutiliser en arrosage, agriculture
- Garantir ainsi des rejets conformes en terme bactériologies
- Obtenir un effluent avec un taux de MES < à 5 mg/l

Tableau IV.17: Les caractéristiques principales du bassin de désinfection.

Para mètres	Unités	Charges nominales
Débit de pointe	m ³ /h	266
Volume retenu	m ³	135
Nombre d'ouvrages	U	1
Longueur de l'ouvrage	M	14.3
Largeur de l'ouvrage	M	7
Temps de séjour effectif dans le bassin de contact	Min	30,4

Remarque : Cet ouvrage de traitement n'est pas fonctionnel, du coup les eaux traitées sont acheminées directement vers le bassin de stockage.

IV.4.7. Traitement des boues

Les eaux usées urbaines génèrent des quantités variables des boues ; boues primaires issues du traitement primaire, boues secondaires « boues activées » issues du traitement biologique, boues mixte issues du mélange des boues ,Ces derniers sont très liquides (contient environ 95% à 99% d'eau), souvent fermentescibles, porteuses de germes et d'agents photogènes et généralement de mauvaise odeurs, d'où la nécessité de les traitée suivant un traitement qui compose des techniques développées notamment :

- Extraction des boues
- L'épaissement des boues
- Stabilisation des boues
- Lits de séchage

Les objectifs du traitement des boues sont :

- La réduction du volume des boues
- La réduction voire l'élimination du pouvoir fermentescible
- La réduction du risque sanitaire et environnemental [6]

IV.4.7.1. Extraction des boues

a. Boues primaires

L'extraction des boues primaires s'effectue à partir de la fosse à boues primaire accolée à l'ouvrage de prétraitement. Elle est assurée par deux pompes centrifugeuses immergées (dont une en secours installé).

Tableau IV.18: Récapitulatif des données de l'extraction des boues primaires

Paramètres	Unités	Charges nominales
Quantité de boues à traiter	kgMS/j	1050
Concentration des boues primaires	g/l	30
Temps d'extraction journalier	h/j	10
Debit unitaire d'extraction necessaire	m ³ /h	3,5

b. Boues secondaires

L'extraction des boues secondaires et des flottants (dégazeur + clarificateurs) s'effectue à partir de la fosse à flottants.

Le schéma ci-dessous représente le trajet d'extraction des boues ;

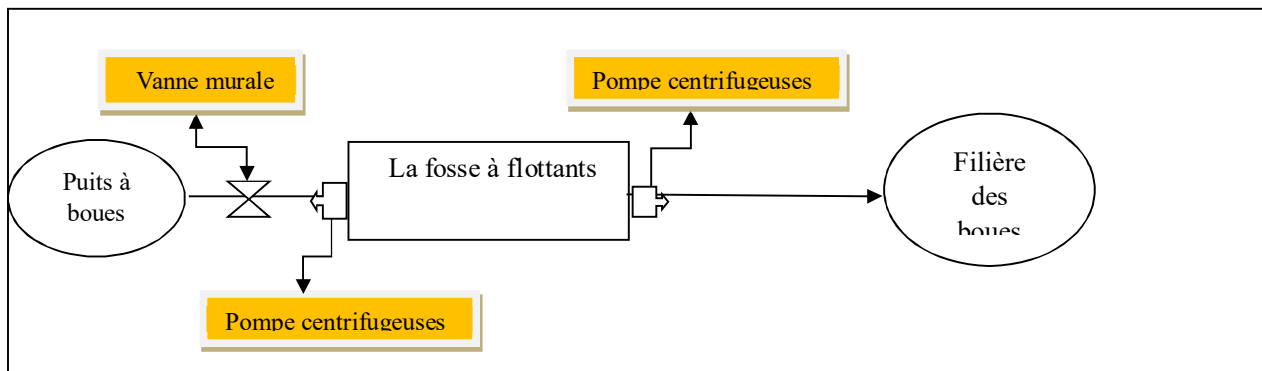


Figure IV.8: Schéma représentative de l'extraction des boues

Remarque :

- La mise en œuvre d'une vanne entre la fosse à flottants et le puits à boues permet une «chasse» des boues depuis le puits à boues vers la fosse à flottants.
- Deux pompes centrifugeuses immergées (1+1 en secours installé) installées dans la fosse à flottants permettent l'extraction des boues et des flottants simultanément vers la filière boues.

Ce système d'extraction présente plusieurs avantages :

- Diminution du volume du puits à boues (qui ne compte que les pompes de recirculation),
- Meilleure homogénéisation des boues et des flottants.

Tableau IV.19: Récapitulatif des données de l'extraction des boues biologiques

Paramètres	Unités	Charges nominales
Quantité de boues à traiter	Kg MS/j	915
Concentration des boues	g/l	8
Débit unitaire d'extraction	m ³ /h	5,7
Nombre de pompes d'extraction en service	u	1
Nombre de pompes d'extraction en secours	u	1
Débit par pompe	m ³ /h	11,4

c. Boues mixtes

Les boues mixtes sont constituées des boues primaires extraites des décanteurs primaires et des boues biologiques extraites des clarificateurs, celles-ci se retrouvent mélangées au sein de l'épaississeur statique équipé d'un pont hersé.

Tableau IV.20: Les caractéristiques principales des boues mixtes

Paramètres	Unités	Valeur
Volume de boues primaires	m ³ /j	35
Volume de boues biologique	m ³ /j	114
Quantité de boues mixtes à traiter	Kg MS/j	1965
Volume de boues mixtes	m ³ /h	149
Concentration des boues mixtes	g/l	13

IV.4.7.2. Epaississement des boues

C'est un procédé simple de traitement des boues extraites, Il sert principalement à réduire le volume des boues par extraction de l'eau et constitue une étape préalable aux traitements suivants.

Dans le cas de la Step de Sidi Lakhdar, la technique utilisée est celle de « l'épaississement gravitaire », en effet de sa consommation basse de l'électricité en comparaison les autres techniques, la simplicité de l'exploitation et l'augmentation du taux de siccité des boues (entre 6% à 8%).

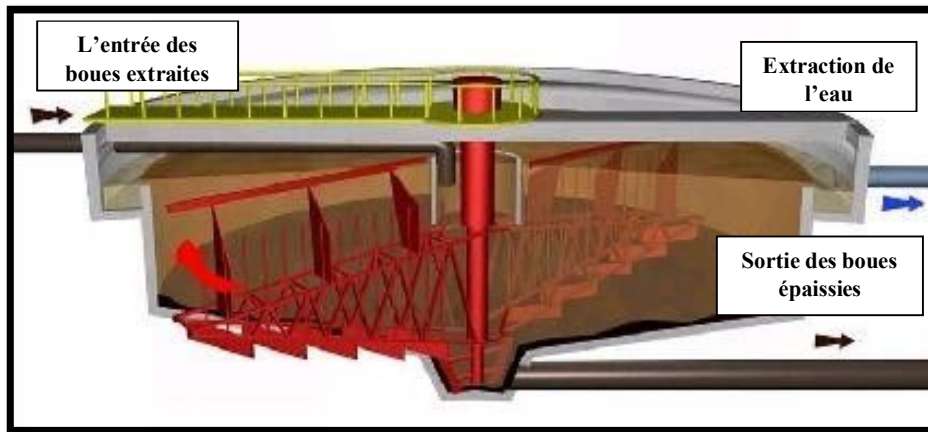


Figure IV.9: Epaisseur gravitaire

L'épaississement gravitaire permet de mélanger les boues primaires, biologiques et de les concentrer, sous la seule action de la force de pesanteur, pour les amener jusqu'à une concentration de 50 g/l (boues mixtes), ces boues seront évacuées, puis soutirées en fond d'ouvrage par une pompe à rotor située dans un local attenant à l'ouvrage de digestion aérobie.

Tableau IV.21: Les caractéristiques principales de l'épaisseur

Paramètres	Unités	Valeurs
Nombre d'ouvrages	U	1
Diamètre retenu	M	8
Surface correspondante retenue	m ²	50
Hauteur liquid	M	4,0
Temps de séjour dans l'ouvrage	J	5,1
Charge au radier correspondante	Kg/MS/m ² /J	40

Tableau IV.22 : Récapitulatif des données de boues épaissies

Paramètres	Unités	Charges nominales
Quantité de boues extraites	kg MS/j	1965
Concentration en entrée des épaisseurs	g/l	13,2
Débit journalier de boues entrée épaisseurs	m ³ /j	149
Concentration des boues épaissies	g/l	50
Débit de soutirage des boues	m ³ /j	39
Nombre des pompes en service	U	1

Les boues épaissies extraites sont dirigées vers le stabilisateur par l'intermédiaire d'une pompe d'extraction à vis excentrée de 4 m³/h unitaire.

IV.4.7.3. Stabilisation par des boues

Après l'épauement, les boues dirigées vers un traitement de stabilisation qui consiste à réduire au maximum l'activité biologiques des boues et plus particulièrement leur fermentation. Elle se fait au moyen de digestion aérobie pendant une période prolongée, où la dégradation de la matière organique est obtenue par oxydation biologique.

Remarque : Dans un procédé à moyenne charges, l'âge des boues plus faible induit une production de boues peu stabilisées et plus fermentescibles que dans le cas d'une boue activée à faible charge. Il est donc nécessaire de les stabiliser pour stopper toute réaction pouvant mener au dégagement d'odeurs néfastes.

Tableau IV.21 : Les caractéristiques principales du stabilisateur aérobie

Paramètres	Unités	Valeur
Quantité de boues à traiter	kg MS/j	1965
Concentration de boues à l'entrée	g/l	50
Volume de boues à traiter	m ³ /j	39
Nombre d'ouvrage	u	1
Longueur d'ouvrage	m	10
Largeur d'ouvrage	m	10
Heuteur d'ouvrage	m	4
Volume de l'ouvrage	m ³	400

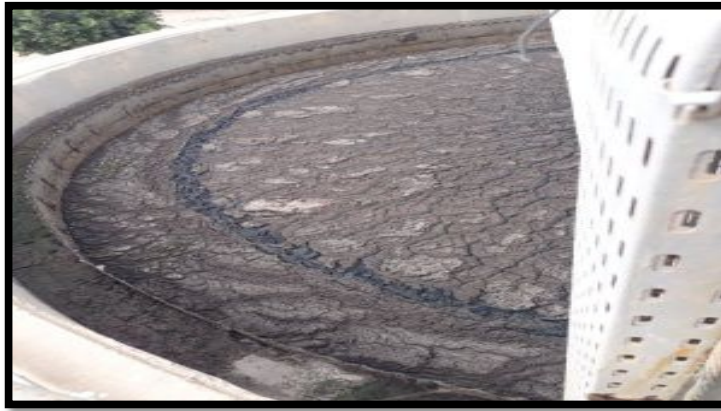


Figure IV.10: Stabilisateur des boues aérobie

Tableau IV.24: Récapitulatif des données des boues digérées

Paramètres	Unités	Valeur
Abattement des MV	%	20
Concentration de boues à la sortie	g/l	50
Volume de boues en sortie	m ³ /j	34
Durée de pompage par jour	h	10
Débit d'extraction vers les lits de séchage	m ³ /h	3,4

IV.4.7.4. Lits de séchage (déshydratation)

Les boues épaissies et digérées sont acheminées directement de l'ouvrage de stabilisation vers les lits de séchage (12 lits) à l'aide d'une pompe d'extraction des boues, ces lits permettent la déshydratation naturelle, où les boues seront exposées directement aux rayons du soleil pour assurer l'évaporation de l'eau. L'eau ainsi est récupérée dans une fosse (fosse toutes eaux) est dirigée par pompes submersibles vers le répartiteur des bassin biologiques.



Figure IV.11: Lits de séchage

Tableau IV.25: les caractéristiques principales du lit de séchage

Paramètres	Unité	Charges nominales
Débit de boues	m ³ /j	34
Temps de séjour	j	15
Volume total	m ³	504
Hauteur	m	0,4
Surface totale nécessaire	m ²	1260
Longueur d'un lit	m	15
Largeur d'un lit	m	7
Surface d'un lit	m	105
Nombre de lits retenus	u	12

IV.5 : Conclusion

La station d'épuration joue un rôle crucial dans le traitement des eaux usées de la commune de Sidi Lakhdar pour préserver l'environnement, protéger la santé publique et assurer une gestion durable des ressources en eau. Grâce à ses processus et ses techniques utilisées, elle élimine les contaminants et les polluants présents dans les effluents et ceci pour avoir une eau traitée qui respecte les normes de rejet, est c'est notre objectif qui nous recherche.

*Les paramètres dimensionnels du
traitement tertiaire*

V.1. Introduction

Au cours de ce chapitre, nous allons présenter les divers procédés du traitement tertiaire (avancés et classiques), qui sont utilisés pour éliminer les matières restantes indésirables, ont choisissant ceux qui conviennent à la qualité des eaux de la STEP de Sidi Lakhdar et en veillant à ce qu'ils répondent aux normes requises pour la réutilisation.

V.2. Le traitement tertiaire

À la suite du traitement secondaire, l'eau traitée est parfois directement déversée dans le milieu naturel. Cependant, si elle est destinée à des zones sensibles ou à des usages particuliers, elle subit un traitement avancé supplémentaire. Ce traitement tertiaire vise à éliminer toutes les substances contaminantes résiduelles non désirées, conformément à des normes de qualité prédéfinies. Par exemple, lors de la réutilisation en irrigation maraîchère (cultivation de fruits et légumes sans traitement thermique industriel), l'accent est mis sur l'élimination prioritaire des pathogènes. En revanche, pour une réutilisation en milieu urbain ou pour la recharge de nappes, l'élimination de l'azote et du phosphore est essentielle pour prévenir tout risque d'eutrophisation.

V.3. L'objectif du traitement tertiaire

Le but du traitement tertiaire d'aller au-delà des étapes traditionnelles du traitement des eaux et éliminer les contaminants résiduels restants pour améliorer la qualité de l'eau traitée, il vise à atteindre les objectifs suivants :

- **Élimination des contaminants résiduels** : Le traitement tertiaire vise à éliminer les polluants restants dans l'eau traitée telle que les nutriments, les produits chimiques, les métaux lourds et les micro-organismes pathogènes, qui peuvent attaquer la santé humaine et dégrader l'environnement.
- **Protection de l'environnement** : l'élimination des substances résiduelles permet de réduire l'impact de l'eau traitée sur les écosystèmes aquatiques. Cela aide à préserver la biodiversité, à maintenir l'équilibre écologique et à prévenir la pollution des ressources en eau.
- **Réutilisation de l'eau** : Le traitement tertiaire permet la réutilisation des eaux traitées dans divers domaines ; fins agricoles, l'arrosage des espaces verts, recharge des nappes et usage industriel...etc. ce qui assure une gestion durable des ressources en eau et réduit la pression sur les sources d'eau douce.

- Conformité aux normes réglementaires : Les autorités réglementaires établissent des critères stricts pour la qualité de l'eau usée épurée rejetée dans l'environnement.

V.4. Evaluation de la qualité d'eau épurée de la STEP

Ces derniers temps, l'évaluation de la qualité de l'eau usée traitée est devenue cruciale. Elle permet de déterminer les composants résiduels présents dans l'eau afin de garantir qu'elle respecte les normes requises pour le rejet ou, le cas échéant, pour une réutilisation ultérieure, si elle est destinée à d'autres usages.

Il existe plusieurs paramètres et indicateurs qui sont généralement utilisés pour évaluer la qualité de l'eau épurée :

- **Les paramètres physiques** : cela comprend des mesures telles que la température, la couleur, les MES. Ces paramètres donnent une indication de la composition physique de l'eau.
- **Les paramètres chimiques** : il s'agit de mesure des composés chimiques présents dans l'eau. Certains paramètres chimiquement évalués comprennent les métaux lourds tels que le plomb et le mercure, les composés organiques (DCO, DBO₅), les nutriments (azote, phosphore), les produits chimiques toxiques, le pH (acidité ou alcalinité), la conductivité électrique. Les normes réglementaires définissent les niveaux acceptables de ces paramètres pour garantir la sécurité de l'eau.
- **Les paramètres bactériologiques** : cela comprend l'évaluation des organismes vivants présents dans l'eau, tels que les bactéries, les virus et les parasites. Des tests microbiologiques sont effectués pour détecter la présence des microorganismes pathogènes qui pourraient causer de problèmes complexes dans d'usage agricole.

Les tableaux suivants présentent les caractéristiques d'eau usée sortant de la STEP de Sidi Lakhdar en 2022 ;

Tableau V.1: Les caractéristiques de l'eau épurée sortant de la STEP de Sidi Lakhdar

Paramètre		Unité	Valeur
PH			7.3
Conductivité		(us/cm)	1020
Charge hydraulique			
Débit journalier		m ³ /j	2132.24
Débit moyen horaire		m ³ /h	89
Débit de pointe par temps sec		m ³ /h	177
Débit de pointe par temps de pluie		m ³ /h	267
Concentration			
Mg ++		meq/l	4.7
Na+		meq/l	14.91
Ca ++		meq/l	7
Phosphore		mg/l	1.16
NH ₄		mg/l	2.1
DBO ₅	Max	mg/l	18.69
	Moy	mg/l	13.13
DCO	Max	mg/l	34.6
	Moy	mg/l	24.20
MES	Max	mg/l	53.27
	Moy	mg/l	10.80

(Source : STEP de Sidi Lakhdar)

On fait une comparaison entre les caractéristiques de l'eau usée épurée sortant de la step et les normes d'irrigation en Algérie, pour savoir si l'eau est réutilisable ou non et choisir les technique du traitements tertiaire adéquats ;

Tableau V.2: Les normes d'irrigation en Algérie pour les eaux usées épurées (**journal officiel de la République Algérienne. N26° du 2012**)

Paramètres	Unité	Valeur limitée maximale
Température	°C	30
pH	-	6.5-8.5
MES	mg/l	30
CE	ds/m	3
SAR	meq/l	15
DBO ₅	mg/l	30
DCO	mg/l	90
Chlorure	meq/l	10
Bicarbonate (HCO ₃)	meq/l	8.5
Azote ammoniacal	mg/l	3
Phosphore	mg/l	2
Ca ++	mg/l	20 – 400
Mg ++	mg/l	5 - 60,75
Na +	mg/l	40 – 920

(Source : arrêté interministériel 2012)

V.5.1. Interprétation des analyses physico- chimiques de l'eau traitée :

Pour interpréter les résultats des paramètres physico-chimiques de l'eau usée épurée, en les comparant aux normes de réutilisation (dans notre cas ; réutilisation agricole), il est important de noter que les normes spécifiques peuvent varier en fonction des réglementations locales ou des recommandations spécifiques notamment ; la réglementation algérienne, internationale..., voici une interprétation générale des données en comparaison avec les normes d'irrigation en Algérie représentées dans le chapitre I :

1. DBO₅ (Demande Biochimique en Oxygène après 5 jours)

La DBO₅ est l'un des paramètres les plus importants utilisés pour déterminer le degré de traitement requis. Elle mesure la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer la matière organique biodégradable présente dans l'eau au cours d'une période de 5 jour.

Les valeurs de DBO₅ pour notre station d'épuration varient entre 13,13 mg/l en moyenne et atteignent jusqu'à 18,69 mg/l en valeur maximale, Cette plage de variation s'explique par la quantité de matière organique restante dans l'eau. Cependant, ces valeurs demeurent inférieures aux normes d'irrigation avec les eaux usées traitées (30 mg/l), ce qui les rend acceptables pour une réutilisation agricole.

2. DCO (Demande Chimique en Oxygène)

La DCO est un indicateur essentiel pour évaluer la qualité de l'eau traitée, elle présente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les matières organiques et inorganiques présentes dans l'eau. Dans notre cas, la plage de valeurs de DCO varie entre 24,20 mg/l et 34,60 mg/l au maximum. Cela indique que la quantité de matières oxydables dans l'eau épurée est modérée et reste conforme aux normes d'irrigation fixées à 90 mg/l.

3. MES (Matières en Suspension) :

C'est la quantité des matières solides présentes dans l'eau sous forme des fines particules en suspension, elles influencent sur la clarté et la qualité de l'eau traitée. Une concentration importante des MES peuvent entraîner une réduction de la transparence de l'eau, perturber la photosynthèse des plantes et altérant l'habitat des organismes aquatique.

Le résultat de MES obtenu à la station d'épuration s'élève à 53,27 mg/l en valeur maximale, révélant ainsi un dépassement par rapport aux normes d'irrigation fixées

4. Le phosphore totale (Pt)

Le phosphore est l'un des composants cruciaux de la matière vivant, provient du métabolisme humain et des détergents et même de produits chimiques, il peut être présent sous forme des sels minéraux et de composés organiques. La réduction de la concentration de l'entrée de la station à la sortie (1.16 mg/l) est due à sa consommation par les bactéries

au cours de processus d'épuration. En comparant cette valeur avec les normes d'irrigation, on constate qu'elle est modérée et se situe dans les limites des normes.

5. Le potentiel hydrogène (pH)

Le pH est un facteur essentiel pour évaluer l'agressivité ou le pouvoir incrustant d'une eau. Il participe à des interactions complexes avec d'autres paramètres tels que la dureté, le dioxyde de carbone, l'alcalinité et la température. La plage de pH considérée comme optimale pour l'irrigation s'étend de 6,5 à 8,5. Cependant, il est possible que certaines eaux en dehors de cette plage puissent encore donner satisfaction.

Dans notre cas, le pH des eaux traitées prélevées se situe dans la plage recommandée pour l'irrigation, avec une valeur de 7,3. Cela indique que l'eau traitée présente une alcalinité faible et compatible avec les exigences de pH pour l'irrigation.

6. La conductivité :

La conductivité électrique d'une eau (CE) exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$, est définie comme étant la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 . Elle permet d'évaluer rapidement la minéralisation globale de l'eau, déterminer le système de culture ainsi la gestion des terres irriguées avec l'eau traité.

La valeur de la conductivité électrique enregistrée au sein de la station d'épuration pour l'eau traitée est de $1020\ \mu\text{S}/\text{cm}$, cette valeur est importante en vue de la réutilisation de l'eau, en comparant cette valeur avec les normes du tableau suivant « classement des eaux selon la conductivité », il est possible de classer cette eau dans la catégorie C3 [$750\ \mu\text{S}/\text{cm}$ - $2250\ \mu\text{S}/\text{cm}$], Cette catégorie correspond à des eaux présentant une salinité élevée, qui ne conviennent pas aux sols à faible drainage. De plus, ce type d'eau ne doit pas être utilisé pour l'irrigation des plantes sensibles aux sels (sauf les cultures tolérant à moyennement tolérants)..

Tableau V.3: Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique

Classe	Conductivité électrique CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Qualité des eaux	Les cultures
C1	$CE \geq 250$	Risque faible de salinité	Pour toutes les cultures
C2	$250 \leq CE \leq 750$	Risque moyen de salinité	Pour les plantes moyennement tolérantes.
C3	$750 \leq CE \leq 2250$	Risque élevé de salinité	Ne convient qu'à des sols drainés et des plantes tolérantes à moyennement tolérantes .
C4	$CE > 2250$	Risque très élevé de salinité	Eau difficilement utilisable

De plus, la conductivité électrique de cette eau reste inférieure à la limite spécifiée pour l'irrigation, qui est de $3000 \mu\text{S}/\text{cm}$ selon le tableau des normes d'irrigation. Par conséquent, cette eau demeure appropriée pour une réutilisation dans le cadre de l'irrigation.

7. Le coefficient d'absorption du sodium (S.A.R) :

La qualité des eaux utilisées pour l'irrigation est évaluée au moyen de la méthode du Sodium Absorption Ratio (S.A.R.). Cette méthode mesure la relation entre la concentration d'ions sodium et la somme des concentrations d'ions calcium et magnésium dans l'eau. Elle prend en compte le risque d'alcalinisation des eaux, calculé par la formule suivante :

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

On trouve après le calcul : **SAR = 6.2**

D'après le résultat de calcul, on remarque que notre eau est de classe **S1** comme il est mentionné dans le tableau ci-dessous qui représente un risque faible d'alcalinité.

Tableau V.4 : Risque d'alcalinisation en fonction du SAR

Classe	SAR	Danger d'alcalinisation
S1	$SAR \leq 10$	Risque faible
S2	$10 < SAR \leq 18$	Risque moyen
S3	$18 < SAR \leq 26$	Risque élevé
S4	$SAR > 26$	Risque très élevé

D'autre part, les valeurs d'ions de Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , ne dépassent pas les normes d'irrigation avec les eaux usées traitées.

- **Classification chimique de l'eau d'irrigation**

Selon le calcul de la conductivité électrique ($CE = 1020 \mu S/cm$) et du rapport d'absorption du sodium (SAR) de l'eau traitée (qui est de 6.2), notre eau peut être classée conformément au tableau au-dessous dans la **catégorie (C3-S1)**. Cette catégorie se distingue par une forte salinité avec un degré d'alcalinité faible. Ce qui stipule que notre eau est utilisée avec précaution dans les sols mal drainée et beaucoup de précaution pour les plantes sensibles.

Tableau V.5: Classification complète des eaux d'irrigation

Classification complète des eaux d'irrigation		
Classe	Qualité	Observations
C1-S1	Bonne	A utiliser avec précaution pour plantes
C1-S2 C2-S1	Moyenne à bonne	A utiliser avec précaution Nécessité de drainage avec doses de lessivage et/ou apport de gypse.
C2-S2 C1-S3 C3-S1	Moyenne à médiocre	A utiliser avec précaution dans les sols lourds mal drainés et pour les plantes sensibles (arbres fruitiers).
C1-S4 C2-S3 C3-S2 C4-S1	Médiocre à Mauvaise	Exclure les plantes sensibles et les sols lourds utilisables avec beaucoup de précaution dans les sols légers et bien drainés avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.
C2-S4 C4-S2 C3-S3	Mauvaise	A n'utiliser qu'avec beaucoup de précaution que dans les sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes. Risques élevés Lessivage et apport de gypse indispensable.
C3-S4 C4-S3	Très mauvaise	A n'utiliser que dans des circonstances exceptionnelles
C4-S4	Déconseillée pour l'irrigation	

8. Azote ammoniacal

L'ammoniac est un élément central du cycle complexe de l'azote. À l'état initial, il se présente sous forme de gaz soluble dans l'eau. Cependant, selon le pH de l'environnement, il peut subir des transformations, se convertissant soit en une forme non combinée, soit en une forme ionisée. Dans les eaux usées urbaines, la concentration en azote varie généralement de 30 à 100 mg/l, dont la majeure partie est composée d'azote ammoniacal, représentant environ 60 % du total, équivalant ainsi à une teneur de 18 à 60 mg/l d'azote ammoniacal.

Le résultat d'analyse de l'eau traitée en NH_4 montre que la valeur est environ 2.1 mg/l, qui est une valeur faible et reste conforme aux normes d'irrigation. Cela indique l'efficacité du traitement d'élimination de la pollution.

V.6. Dimensionnement des ouvrages du traitement tertiaire

Afin d'améliorer la qualité de l'eau usée épurée avant sa réutilisation, nous avons opté pour des techniques spécifiques de traitement tertiaire. Ces techniques sont sélectionnées en vue d'une réutilisation plus efficace de l'eau et visent à résoudre les problèmes évoqués.

V.6.1. Le filtre à sable

Après le traitement biologique, les eaux sont ensuite dirigées vers un filtre à sable afin de permettre une élimination plus poussée des particules en suspension. Cette étape permet d'atteindre des niveaux d'élimination de MES d'environ 90%. Dans notre étude, nous proposons l'utilisation d'un filtre à sable rapide en raison de sa capacité à répondre aux exigences hydrauliques élevées et à traiter les eaux présentant une charge de contaminants. Il convient de noter que les filtres à sable lents nécessitent des surfaces plus importantes.

V.6.1.1 Dimensionnement du filtre à sable

- **Horizon 2032**

- a. **Les paramètres de base d'un filtre à sable**

La vitesse de filtration est comprise généralement entre 2,4m/h à 10 m/h,

TableauV.6: Les paramètres de base du filtre à sable

Paramètre	Unité	Valeur
Débit moyen journalier	m ³ /j	3360
Débit moyen horaire	m ³ /h	140
Débit de pointe par temps de pluie	m ³ /h	420
Heure de fonctionnement / jour	Heure	16
Vitesse de filtration	m/h	8

a. La surface du lit de sable :

La surface de filtration dépend de la vitesse de filtration optimale ($v=8$ m/h) et du débit de pointe ($Q_P = 420$ m³/h).

On a:
$$Q_P = V * S_{lit}$$

Avec : S_{lit} : Surface de lit sable (m²).

V : Vitesse de filtration (m/h).

D'où:
$$S_{lit} = \frac{Q_P}{V} = 52.5 \text{ m}^2$$

Il faudrait donc une surface de filtration d'environ **53 m²** pour traiter ce débit.

b. La hauteur du lit de sable

La hauteur du lit de sable peut varier, mais généralement une hauteur de 0,6 à 1,2 mètre est utilisée. On choisit **H= 1 mètre** pour cette étude.

c. La granulométrie

Le type européen de granulométrie moyenne entre (**0,8 à 1,5 mm**) et d'épaisseur plus élevée (**0,9 à 1,2 m**). [3]

d. Les pertes de charge

Les pertes de charge engendrées par le filtre à sable selon la méthode adaptée au régime d'écoulement. Pour calculer les pertes de charges quel que soit le régime d'écoulement on utilisera la formule d'Ergun [1].

$$\frac{\Delta P}{H} = \frac{150 * (1-\varepsilon)^2 * \mu * v}{\varepsilon^3 * dp^2} + \frac{1,75 * (1-\varepsilon) * \rho * v^2}{\varepsilon^3 * dp}$$

Avec :

ΔP : Perte de charge (m) ;

H : Hauteur du lit de sable ;

v : vitesse de filtration m/s ;

dp : Diamètre moyen des particules (m) ;

ρ : Masse volumique du sable (kg / m³) ;

μ : Viscosité dynamique de l'eau à 20 °c (Pa. s) ;

ε : Porosité initiale du lit.

Tableau V.7: Propriétés du lit de filtration

Paramètre	d (mm)	ρ_p (kg/m ³)	μ (Pa.s)	ε	H(m)
Valeur	1	2610	10 ⁻³	0,4	1

$$\Delta P = \left[\frac{150 * (1 - 0.4)^2 * 2.22 * 10^{-3}}{0.4^3 * 10^{-3}} + \frac{1.75 * (1 - 0.4) * 2610 * (2.22 * 10^{-3})^2}{0.4^3 * 10^{-3}} \right] * 1$$

$$\Delta P = 2.08 \text{ m}$$

V.6.1.2. Dimensionnement du rétro-lavage

Au fur à mesure de filtration, les particules retenues provoquent un colmatage du lit de filtration, entraînant une augmentation des pertes de charge et une diminution de l'efficacité de procédé. Lorsqu'une perte de charge significative est atteinte, une étape de rétro-lavage devient nécessaire. Cette étape implique la fluidisation du lit de sable en injectant de l'eau et de l'air à contre-courant, qui permet la séparation des particules et l'augmentation de la porosité du milieu. Les petites particules retenues précédemment dans le média filtrant, qui ont une vitesse de sédimentation inférieure à celle des grains de sable, sont alors emportées vers la surface. L'eau de lavage, contenant ces particules en suspension, est collectée par une goulotte placée au-dessus du lit de sable.

a) Vitesse de sédimentation du média filtrant

Le calcul de la vitesse se fait avec la relation de Haider et Levenspiel : [7]

$$U_t = U_t^* * [\rho_f^2 / (\mu_f * (\rho_p - \rho_f) * g)]^{-1/3}$$

$$U_t^* = [(18 / d_p^2) + ((2,355 - 1,744 * \phi) / d_p^{0,5})]^{-1}$$

Avec :

d_p : diamètre moyen des particule (m) ;

U_t : Vitesse de sédimentation (m/s) ;

U_t^* : Vitesse terminal sans dimension de particule (m/s) ;

ρ_f : masse volumiques des fluides (kg/m^3) ;

ρ_p : masse volumique du sable (kg/m^3) ;

Φ : Facteur de la forme de sable =1 ;

μ_f : Viscosité dynamique (pa. s) ;

g : L'accélération de la pesanteur ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

Tableau V.8: Caractéristique des fluides du rétro-lavage

	Masse volumique à 20 °C (ρ_f) (kg/m^3)	Viscosité dynamique (Pa.s) à 20°C
L'eau	1000	10^{-3}
L'air	1,204	$1,85 \cdot 10^{-5}$

$$D'où : U_t^* = [(18 / (10^{-3})^2) + (2,355 - 1,744 * 1) * / (10^{-3})^{0,5}]^{-1} \implies U_t^* = 5,55 * 10^{-8} \text{ m/s}$$

a.1) Vitesse de sédimentation de l'eau du média filtrant

$$U_{t \text{ eau}} = 5,55 * 10^{-8} * [1000^2 / (10^{-3} * (2610 - 1000) * 9,81)]^{-1/3} \implies U_{t \text{ eau}} = 1,39 * 10^{-9} \text{ m/s}$$

a.2) Vitesse de sédimentation de l'air du média filtrant

$$U_{t \text{ air}} = 5,55 * 10^{-8} * [1,204^2 / (10^{-3} * (2610 - 1,204) * 9,81)]^{-1/3} \implies U_{t \text{ air}} = 3,14 * 10^{-9} \text{ m/s}$$

b) Débit de lavage

La vitesse ascendante de l'eau et l'air doit être égale à approximativement 10% de la vitesse de sédimentation du média filtrant. [5]

$$Q = 0,1 * U_t * S_{\text{lit}}$$

b.1) Débit d'eau de lavage :

$$Q_{\text{eau}} = 0,1 * 1,39 * 10^{-9} * 53 = 7,37 * 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$$

b.2) Débit d'air de lavage

$$Q_{\text{air}} = 0,1 * 3,14 * 10^{-9} * 53 = 1,66 * 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$$

c) La perte de charge du média filtrant

On utilise la formule suivante :

$$\Delta P = H * g * (1 - \varepsilon_{lit}) * (\rho_p - \rho_f)$$

Avec : **H** : hauteur du lit à sable en m.

ΔP : perte de charge engendrée par le média filtrant (m)

• ε_{lit} : Porosité initiale du lit

c.1) La perte de charge de l'eau du média filtrant

$$\Delta P_{eau} = 1 * 9,81 * (1 - 0,4) * (2610 - 1000) \implies \Delta P_{eau} = 9,47 \text{ m}$$

c.2) La perte de charge de l'air du média filtrant

$$\Delta P_{air} = 1 * 9,81 * (1 - 0,4) * (2610 - 1,204) \implies \Delta P_{air} = 15,35 \text{ m}$$

d) La durée d'une phase de rétro-lavage

La durée d'une phase de rétro-lavage est variée généralement entre 10 à 12 minute, on prend une durée de 10 min ; avec une première injection d'air pendant 4 min puis une injection d'eau pendant 6 min.

e) Le volume nécessaire à la phase de rétro-lavage

$$V_i = Q_i * t$$

e.1) Le volume d'eau à la phase de rétro-lavage

Avec : $t = 6 \text{ min}$

$$V_{eau} = 7,37 * 10^{-9} * 6 * 60 = 4,50 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

e.2) Le volume d'air à la phase de rétro-lavage

Avec : $t = 4 \text{ min}$

$$V_{air} = 1,66 * 10^{-8} * 4 * 60 = 3,98 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

Tableau V.9: Résultats des calculs d'un filtre à sable

Paramètre	Unité	Horizon 2032
La surface du lit de sable (S_{lit})	m^2	53
Les pertes de charge d'un filtre à sable (ΔP)	m	2.08
La vitesse de sédimentation de l'eau du média filtrant ($U_{t_{\text{eau}}}$)	m/s	$1.39 \cdot 10^{-9}$
La vitesse de sédimentation de l'air du média filtrant ($U_{t_{\text{air}}}$)	m/s	$3.14 \cdot 10^{-9}$
Débit d'eau de lavage (Q_{eau})	m^3/s	$7.37 \cdot 10^{-9}$
Débit d'air de lavage (Q_{air})	m^3/s	$1.66 \cdot 10^{-8}$
La perte de charge de l'eau du média filtrant (ΔP_{eau})	m	9.47
La perte de charge de l'air du média filtrant (ΔP_{air})	m	15.35
Volume d'eau à la phase de rétro-lavage (V_{eau})	m^3	$2.68 \cdot 10^{-6}$
Volume d'air à la phase de rétro-lavage (V_{air})	m^3	$4 \cdot 10^{-6}$

V.7. Conclusion

Les eaux usées épurées de la STEP de Sidi Lakhdar contiennent encore des polluants qu'il faut éliminer avant de leur réutilisation par des procédés adéquats en fonction des caractéristiques des eaux ainsi que les normes de réutilisation des eaux épurées en agricole. Ces polluants sont éliminés par le biais de différentes techniques du traitement tertiaire et par des étapes réalisées comme décrit en détails au long de ce chapitre.

*Evaluation des besoins en eau des
cultures*

VI.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'évaluer les besoins en eau des cultures, en prenant en considération les divers paramètres tels que ; les conditions climatiques, pédologique, la qualité de l'eau épurée utilisée pour l'irrigation. Ces dernières ont été établies dans les chapitres antérieurs.

VI.2. Besoins en eau des cultures

Le besoin en eau des cultures est la quantité d'eau requise apportée aux plantes, pour les maintenir dans des conditions optimales d'humidité du sol et afin d'obtenir leur rendement maximal. L'évaluation de ces besoins repose sur la détermination des exigences spécifiques de chaque culture. Pour ce faire, nous définissons :

VI.2.1. L'évapotranspiration de référence ET0

C'est l'évapotranspiration maximale d'un gazon recouvrant complètement le sol, bien alimenté en eau, en phase active de croissance et situé au sein d'une parcelle suffisamment étendue [4]

VI.2.1.1. Calcul de l'évapotranspiration ET0

Il existe plusieurs méthodes pour le calcul de ET0, ces méthodes sont réparties en deux classes :

- Les méthodes directes (instruments et appareils)
- Les méthodes indirectes (formules empiriques)

Étant donné la complexité de la mise en place d'un dispositif de mesure directe de l'évapotranspiration potentielle et en l'absence de telles mesures, il est recommandé d'utiliser des formules empiriques variées et adaptées à différents climats.

Dans notre cas, on utilise la méthode des formules empiriques ; celle de la formule **Penman_Monteith Modifiée**, qui reste la meilleure formule à utiliser et elle est recommandée par le FAO.

- **La formule Modifiée de Penman_ Monteith**

Elle est détaillée comme suite :

$$ET0 = \frac{0.408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{Cste}{T+273} u2(es-ea)}{\Delta + \gamma(1+0.34u2)}$$

Avec :

ET0 : L'évapotranspiration de référence [mm /jour] ;

Δ : Pente de la courbe de pression de vapeur saturante [kPa °C-1] ;

Rn :Le rayonnement net à surface de culture [MJ /m² jour] ;

G : densité de flux de chaleur dans le sol [$\text{MJ}/\text{m}^2 \text{ jour}$] ;

T : température journalière moyenne de l'air à une hauteur de 2 m [$^{\circ}\text{C}$]

u2 : vitesse du vent à une hauteur de 2 m [m/s] ;

es : pression de vapeur saturante [kPa] ;

ea : pression de vapeur réelle [kPa] ;

es-ea : déficit de pression de vapeur saturante [kPa] ;

D : pente de la courbe de pression de vapeur saturante [$\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$] ;

g : constante psychrométrique [$\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$].

Les calculs de l'évapotranspiration de référence (ET0) sont réalisés à l'aide du logiciel CROPWAT (FAO, 2008), qui se base sur la formule modifiée de Penman-Monteith. Où on a introduit les données nécessaires pour effectuer les calculs.

Température (température minimale et maximale), l'insolation, l'humidité, la vitesse du vent :

Les résultats trouvés par logiciel CROPWAT (FAO,2008) sont récapitulés dans le tableau suivant :

TableauVI.1: Les calculs de l'évapotranspiration de référence ET0

Pays : Algérie Station : Mostaganem Altitude : 151m. Latitude: 35.53 °N Longitude: 0.07 °E							
Mois	T° (min)	T°(max)	Humidité	Vitesse du Vent	Isolation	Radiation	ET0
	($^{\circ}\text{C}$)	($^{\circ}\text{C}$)	(%)	(m/s)	(h/j)	$\text{MJ}/\text{m}^2.\text{j}$	mm/j
Janvier	6.0	16.4	78	1.7	6.3	10.0	43,36
Février	6.4	17.2	78	1.8	7.0	13.5	53,26
Mars	7.8	19.5	74	2.0	9.0	17.5	90.68
Avril	10	21.3	71	2.4	8.3	21.5	112.38
Mai	13.6	24.1	72	2.3	9.3	23.9	139.22
Juin	17	28.5	68	2.1	10.6	25.7	164.90
Juillet	19.5	31.2	69	1.9	10.6	24.2	176.63
Août	20.2	31.7	69	1.8	10.0	23.0	163.82
Septembre	17.6	28.4	72	1.7	8.7	19.1	1118.86
Octobre	14.5	25.3	75	1.5	7.4	14.1	82.98
Novembre	9.6	19.7	78	1.7	6.2	10.5	50.11
Décembre	7.5	16.9	78	1.8	5.6	9.1	40.72
Moy	12.5	23.4	74	1.9	8.3	17.7	1236.91

VI.2.2. Calcul de l'évapotranspiration maximale ETM

Les besoins en eau d'une culture souvent exprimés en évapotranspiration maximale (ETM) représentent la quantité maximale d'eau perdue par évapotranspiration d'une culture spécifique pendant une phase végétative. Pour estimer cette évapotranspiration maximale (ETM) à partir de l'évapotranspiration de référence (ET0), on utilise des coefficients culturaux (Kc) adaptés au type de culture, à son stade de développement et aux conditions climatiques environnantes.

L'évapotranspiration maximale (ETM) est mesurée comme suit :

$$ETM = Kc * ET0$$

VI.2.2.1. Le coefficient cultural Kc

Le coefficient cultural (Kc) spécifique à chaque culture a été déterminé conformément aux recommandations de Doorenbos (FAO, 2003). Ce coefficient varie en fonction du stade végétatif de la plante ainsi que des conditions climatiques particulières prises en compte. Cette valeur est répertoriée dans le tableau suivant

Tableau VI.2 : Coefficients culturaux des cultures

Cultures	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
L'Orge en grain	-	0.30	0.40	0.60	0.60	0.60	1.00	1.20	0.87	0.23	-	-
Agrumes	0.75	0.75	0.75	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.75	0.75
Oliviers	0.75	0.75	0.75	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.75	0.85	0.85	0.85

VI.3. Besoin en eau d'irrigation

Par définition le bilan hydrique d'une culture donnée est la différence entre d'une part les besoins en eau des cultures tels que déterminés par le climat et les caractéristiques végétales (ETM) et d'autre part la somme des apports effectifs des précipitations.

Le calcul des volumes d'eau à apporter par irrigation est réalisé en effectuant période par période le bilan : [4]

$$Bi = ETM - (Pe_{eff} + R_s)$$

ETM : évapotranspiration potentielle de référence en (mm/mois) ;

Pe_{eff} : pluie efficace en (mm) ;

R_s : c'est la réserve facilement utilisable par les cultures, dans cette approche elle exprime l'humidité du sol du mois précédent accessible aux cultures.

$$R_s = K.RFU$$

$$RFU = Y (H_{cc} - H_{pf}) * D_a * Z$$

Y : Coefficient qui dépend de la nature du sol on prend généralement (2/3) ;

Da : densité apparente du sol ;

Z : profondeur racinaire en (mm) ;

Hcc : humidité à la capacité au champ ;

Hpf : humidité au point de flétrissement

L'irrigation est faite lorsque Bi (bilan hydrique) > 0.

VI.3.1. Calcul la pluie efficace

Elle représente la portion des précipitations totales qui est réellement assimilée par la culture, et cela dépend du lieu géographique, de la nature de la pluie et du type de sol. Détaillée comme suite :

$$\text{Pluies efficaces} = A * P_{moy}$$

Avec :

A : coefficient de pertes généralement égal à 0.8.

Le résultat de calcul par cette méthode est donné dans le tableau VI.3.

Tableau VI.3: Précipitation efficace dans la zone d'étude

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
P_{moy} (mm)	13.7	21.8	43.8	35.9	35.8	29.3	22.5	17.3	19.3	2.0	1.1	2.2
P_{eff} (mm)	10.96	17.44	35.04	28.72	28.64	23.44	18.00	13.84	15.44	1.60	0.88	1.76

VI.3.2. Choix des cultures

La sélection des cultures à cultiver doit prendre en compte les aspects suivants :

- Les conditions climatiques de la zone étudié.
- La disponibilité et la qualité de l'eau pour l'irrigation.
- L'adéquation des sols pour la culture, basée sur l'analyse pédologique.

- La disponibilité des ressources de production.
- Les besoins du marché, reflétant les préférences des agriculteurs.

VI.3.2.1. Occupation du sol

Avant de quantifier les besoins en eau des cultures dans la zone d'étude, il est nécessaire de préalablement établir la répartition et la nature des cultures dans la région, en tenant compte des diverses contraintes climatiques, sociales et agro-pédologiques. Le schéma d'occupation de sol en fonction des cultures est présenté dans le tableau suivant :

Tableau VI.4 : Scénarios d'occupation du sol en fonction des cultures

Les cultures	Surface occupée en %
La céréaliculture: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Blé ▪ Orge en grain 	35
Les cultures fourragères <ul style="list-style-type: none"> ▪ Orge en vert ▪ Luzerne 	15
Le maraîchage : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pomme de terre ▪ Ail /Oignon vert ▪ Tomate ▪ Carotte ▪ Petit pois ▪ Choux ▪ Concombre ▪ Haricot 	35
L'arboriculture : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vigne ▪ Olivier ▪ Agrume 	15

VI.3.2.2. Les cultures proposées

Les cultures proposées dans le tableau ci-dessous ont été sélectionnées en fonction de leur adaptation aux conditions climatiques, pédologiques, économiques l'occupation du sol spécifiques de la région. Nous avons opté pour des cultures qui présentent une tolérance modérée à élevée à la salinité du l'eau.

Tableau VI.5: Système de cultures proposées

Céréales	Cultures arboricoles
L'orge en grain	Olivier
	Agrumes

VI.4. Estimation des besoins en eau des cultures choisies

Pour chaque culture on calcule les besoins suivant son stade végétatif :

VI.4.1 Estimation des besoins en eau des céréales**Tableau VI.6:** Calcul des besoins en eau pour l'orge en grain

Mois	Pmoy (mm)	Pe _{eff} (mm)	ET ₀ (mm/mois)	Z(m)	RFU (mm)	RS (mm)	K _c	ETM (mm)	B _{net} (mm)
Sep	13.70	10.96	118.86						
Oct	21.80	17.44	82.98						
Nov	43.80	35.04	50.11	0.30	34.08	0	0.40	20.044	0.00
Dec	35.90	28.72	40.72	0.50	56.8	11.36	0.60	24.432	0.00
Jan	35.80	28.64	43.36	0.60	68.16	28.4	0.75	32.52	0.00
Fev	29.30	23.44	53.26	0.60	68.16	34.08	0.90	47.934	0.00
Mars	22.50	18.00	90.68	0.60	68.16	34.08	0.95	86.146	34.07
Avr	17.30	13.84	112.38	0.60	68.16	34.08	0.75	84.285	36.37
Mai	19.30	15.44	139.22	0.60	68.16	0.00	0.60	83.532	68.09
Juin	2.00	0.00	164.90	0.60	68.16	0.00	0.40	65.96	65.96
Juill	1.10	0.00	176.63						
Aout	2.20	0.00	163.82						

Tableau VI.7: Calcul des besoins en eau de l'olivier

Mois	Pmoy (mm)	Pe _{eff} (mm)	ET ₀ (mm/mois)	Z(m)	RFU (mm)	RS (mm)	K _c	ETM (mm)	B _{net} (mm)
Sep	13.70	10.96	118.86	1.50	170.4	0.00	0.75	89.15	78.19
Oct	21.80	17.44	82.98	1.50	170.4	0.00	0.75	62.24	44.80
Nov	43.80	35.04	50.11	1.50	170.4	56.8	0.75	37.58	0.00
Dec	35.90	28.72	40.72	1.50	170.4	56.8	0.65	26.47	0.00
Jan	35.80	28.64	43.36	1.50	170.4	56.8	0.65	28.18	0.00
Fev	29.30	23.44	53.26	1.50	170.4	56.8	0.65	34.62	0.00
Mars	22.50	18.00	90.68	1.50	170.4	56.8	0.65	58.94	0.00
Avr	17.30	13.84	112.38	1.50	170.4	56.8	0.65	73.05	59.21
Mai	19.30	15.44	139.22	1.50	170.4	0.00	0.75	104.42	88.98
Juin	2.00	0.00	164.90	1.50	170.4	0.00	0.85	140.17	140.17
Juill	1.10	0.00	176.63	1.50	170.4	0.00	0.85	150.14	150.14
Aout	2.20	0.00	163.82	1.50	170.4	0.00	0.85	139.25	139.25

Tableau VI.8: Cacul des besoins en eau des agrumes

Mois	Pmoy (mm)	Peff (mm)	ET ₀ (mm/mois)	Z(m)	RFU (mm)	RS (mm)	Kc	ETM (mm)	B _{net} (mm)
Sep	13.70	10.96	118.86	1.50	170.4	0.00	0.75	89.145	78.19
Oct	21.80	17.44	82.98	1.50	170.4	0.00	0.75	62.235	44.80
Nov	43.80	35.04	50.11	1.50	170.4	85.2	0.75	37.5825	0.00
Dec	35.90	28.72	40.72	1.50	170.4	85.2	0.65	26.468	0.00
Jan	35.80	28.64	43.36	1.50	170.4	85.2	0.65	28.184	0.00
Fev	29.30	23.44	53.26	1.50	170.4	85.2	0.65	34.619	0.00
Mars	22.50	18.00	90.68	1.50	170.4	85.2	0.65	58.942	0.00
Avr	17.30	13.84	112.38	1.50	170.4	85.2	0.65	73.047	0.00
Mai	19.30	15.44	139.22	1.50	170.4	85.2	0.65	90.493	0.00
Juin	2.00	0.00	164.90	1.50	170.4	0.00	0.65	107.185	107.19
Juill	1.10	0.00	176.63	1.50	170.4	0.00	0.75	132.4725	132.47
Aout	2.20	0.00	163.82	1.50	170.4	0.00	0.75	122.865	122.47

Tableau VI.9: Récapitulatif des besoins pour les cultures

Mois	Orge en grain	Agrumes	Oliviers	Bes/max	Total
Septembre	0	78.19	78.19	78.19	156.38
Octobre	0	44.80	44.80	44.80	89.60
Novembre	0	0	0	0	0
Décembre	0	0	0	0	0
Janvier	0	0	0	0	0
Février	0	0	0	0	0
Mars	34.07	0	0	34.07	34.07
Avril	36.37	0	59.21	59.21	95.58
Mai	68.09	0	88.98	88.98	140.98
Juin	65.96	107.19	140.17	140.17	313.32
Juillet	0	132.47	150.14	150.14	282.61
Août	0	122.87	139.25	139.25	262.12

VI.5. Calcul du débit spécifique

Les débits spécifiques sont établis en fonction des besoins en eau de chaque culture préalablement évaluée. La quantité d'eau nécessaire pour l'irrigation pendant les périodes de pic est déterminée en tant que débit permanent fourni 24 heures sur 24, visant à couvrir les besoins mensuels en eau.

$$qs = \frac{Bnet * 10 * 1000}{Nj * Ni * 3600 * Ei} \text{ l/s/ha}$$

Bnet : besoin net du mois de pointe en (mm/mois) ;

Ni : nombre des heures d'irrigation = 24h ;

Nj : nombre de jours du mois de pointe = 30 jours ;

Ei : Efficience d'irrigation = 75% ;

Selon le tableau ci-dessous, les besoins en pointe se situent au mois de septembre avec un total de : **Bnet = 313.32 mm/mois**

D'où: **qs=1.61 l/s/ha > 1.5 l/s/ha**

Cela indique un risque de surdimensionnement des conduites d'irrigation, que ce soit en refoulement ou en gravitaire.

Dans ce cas, on opte pour le débit spécifique de la culture la plus exigeante pendant le mois de pointe. Ainsi, le débit spécifique à considérer (pour les oliviers en juillet) est de **qs = 0.77 l/s/ha**.

VI.6. Calcul du débit caractéristique

Le calcul du débit caractéristique vise à établir la quantité d'eau maximale que le système d'approvisionnement devra fournir pour l'irrigation de chaque parcelle. Ce calcul est réalisé en multipliant le débit de pointe par la superficie agricole exploitable, comme indiqué dans la formule suivante :

$$Q_{car} = qs * S$$

qs : débit spécifique de mois de pointe en (l/s/ha)

S : la superficie nette à irriguer = 100 ha

Donc: $Q_{car} = qs * S = 0.77 * 100 = 77 \text{ l/s}$

VI.7. Estimation des volumes d'eau d'irrigation

L'évaluation des volumes d'eau nécessaires à l'irrigation permet d'anticiper les volumes d'eau qui seront stockés dans la réserve

Le volume des besoins en eau = Besoins bruts de la culture (m3) * la surface

Tableau VI.10: Volume d'eau d'irrigation

Les cultures	Surface occupée en (ha)	Besoin net	Efficiencie	Besoin brut (m ³ /ha)	Besoin totaux (m ³)
La céréaliculture	50	2044.9	0.75	2726.53	136326.5
- Orge grain					
L'arboriculture	25	7007.4	0.75	9343.2	233580
- Olivier					
- Agrumes	25	6179.90	0.75	8238.93	154497.5
Totale	100	15232.2		20308.66	524404

Le volume nécessaire pour les cultures durant toute leur période végétative est de **524404m³**.

VI.8. Conclusion

On se basant sur les informations présentées dans ce chapitre, nous avons identifié les besoins en eau pour l'irrigation des cultures proposées. Il est à noter que le mois de pointe est le mois de septembre, ce qui a conduit au calcul du débit spécifique ($q_s = 0.77$ l/s/ha) en prenant en considération le débit spécifique de la culture la plus exigeante. Par ailleurs, il est important de souligner que le volume total des besoins en eau s'élève à 524404m³.

Conclusion générale

Ce travail a été consacré à l'évaluation de la réutilisation des eaux usées épurées de la station de Sidi Lakhdar à des fins agricoles, notre objectif a été de déterminer la faisabilité et les avantages de cette pratique en termes de durabilité et d'efficacité.

Pour atteindre cette visée, nous avons d'abord procédé à une analyse de la qualité de l'eau usées épurée issue de la station d'épuration. Cela a impliqué une évaluation des paramètres physico-chimiques pertinents, permettant ainsi d'identifier les éléments clés et les niveaux de contamination. En se basant sur ces données, des traitements tertiaires ont été proposés notamment ; le filtre à sable et l'ozonation pour réduire les contaminants, éliminer les polluants microbiologiques restants, améliorer la qualité de l'eau et la rendre conforme aux exigences de qualité requises pour l'irrigation agricole.

La direction finale de ce traitement des eaux usées épurées vise une réutilisation stratégique et bien réglée dans l'irrigation des cultures végétaux, dans notre cas on a choisi celles qui sont adéquat avec la qualité de l'eau en termes de salinité et alcalinité pour éviter toute baisse de rendement des cultures. Cette initiative nécessite une implémentation avisée et des suivis réguliers pour s'assurer de son efficacité et de sa conformité avec les normes d'irrigation.

En conclusion, l'adoption de la réutilisation des eaux usées épurées pour l'agricole se révèle être une perspective prometteuse, bien que requérant une approche rigoureuse. Cette démarche répond à des besoins croissants en eau tout en apportant une contribution à la sécurité alimentaire. En outre, elle aborde de manière significative des enjeux d'une importance capitale, notamment la préservation des ressources hydriques, la réduction de la pression exercée sur les sources d'eau douce et la gestion responsable des effluents liquides.

Références bibliographiques

- [1] : **S. ERGÜN**, (1952), Fluid Flow Through Packed Columns, Chemical Engineering Progress.
- [2] : **P. SEGALEN**, (1970), classification des sols, Pédologie et environnement, Paris, P 122-126.
- [3] : **A. HAIDER**, et **O. LEVENSPIEL**, (1989), Drag coefficient and terminal velocity of spherical and non-spherical particles, Powder Technology, P 63-70.
- [4]: **W. GRAF**, **M. ALTINAKAR**, (1993). Hydraulique fluviale, Tome 1. Ecoulement uniforme et non uniforme, Traité de Génie Civil de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- [5]: (2001), Suez water office des publications universitaire, Ben-Aknoun, Alger.
- [6]: **F. LADJEL**, (2006), Exploitation d'une station à boue activée niveau 02, centre de formation au métier de l'assainissement, CFMA- Boumerdes, P 80.
- [7]: **H. CABANA**, (2013).
- [8]: **V. Lazarova**, **F. Brissaud**, (Juin 2013), bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France [Article] // L'eau, l'industrie, les nuisances.
- [9] : **ONA**, (2014). Investir dans le développement durable : la réutilisation des eaux usées épurées.
- [10] : **J. DEVILLERS**, **M. SQUILBIN**, **C. YOURASSOWSKY**, Qualité physico -chimique des eaux de surface, l'IBGE (institut Bruxellois pour la gestion de L'environnement).

Les annexes

Annexe I : Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.

Groupes de cultures pouvant être Irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres fruitiers (*)	Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, rhubarbe, arachides, noix, olive.
Agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
Cultures fourragères (**)	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce et luzerne.
Culture industrielles	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, tabac, lin.
Cultures céréalières	Blé, orge, triticales et avoine.
Cultures de production de semences	Pomme de terre, haricot et petit pois.
Arbustes fourragers	Acacia et atriplex.
Plantes florales à sécher	Rosier, iris, jasmin, marjolaine et romarin.

(Source : arrêté interministériel 2012).

**Annexe II : Les paramètres toxicologiques journal officiel de la République Algérienne.
N26° du 2012**

Paramètre	Unité	Valeur limitées maximales
Aluminium	mg/l	20,0
Cyanures	mg/l	0,5
Fluore	mg/l	15,0
Phénols	mg/l	0,002
Cadmium	mg/l	0,05
Cuivre	mg/l	5,0
Plomb	mg/l	10,0
Chrome	mg/l	1,0
Manganèse	mg/l	10,0
Zinc	mg/l	10,0
Nickel	mg/l	2,0
Fer	mg/l	20,0
Arsenic	mg/l	0,2
Bore	mg/l	0,5
Cobalt	mg/l	2,0
Lithium	mg/l	5,0
Mercure	mg/l	0,01
Sélénium	mg/l	0,02
Vanadium	mg/l	1,0

**Annexe III : Les paramètres microbiologiques (journal officiel de la République
Algérienne. N26° du 2012)**

Groupe des cultures	-coliformes fécaux (CFU/100ml) (moyenne géométrique)	Nématodes intestinaux (œufs/1) (moyenne arithmétique)
Irrigation non restrictive	< 100	Absence
Culture de produits pouvant être consommés crus		
Légumes qui ne sont consommés que cuits		
Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation alimentaire	< 250	< 0,1
Arbres fruitiers		
Cultures et arbustes fourragers		
Cultures céréalières	Seuil recommandé 1000	< 1
Culture industriel		
Arbres forestiers		
Plantes florales et ornementales		
Cultures du groupe précédente (CFU/100ml) utilisant l'irrigation localisée	Pas des normes recommandés	Pas des normes recommandés