

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique Urbaine

Par : BOUDJEMA Achweq & OUNADJELA Saadia

Sujet

Réalisation d'une Start-Up de valorisation des Output des STEP en vue de réutilisation pour l'irrigation : Etude de cas.

Soutenu publiquement, le **10 juillet 2023**, devant le jury composé de :

Mme. BABA HAMED Kamila	Professeur	Université de Tlemcen	Présidente
Mr. BESSEDIK Madani	MCA	Université de Tlemcen	Examineur
Mr. BENNACER Abdelkader	Ingénieur	Direction des Services Agricole Tlemcen	Examineur
Mr MAACHOU Omar	MAA	I2E	Examineur
M.TERKI HASSAINE Taha El Amine	MCB	Université de Tlemcen	Encadreur
M. BENADDA Lotfi	MCB	Université de Tlemcen	Encadreur
Mme. MESLI Siham	Doctorante	Université de Tlemcen	Co-Encadreur

Année universitaire : **2022 /2023**



Remerciements



Tout d'abord, nous voudrions remercier ALLAH le tout puissant, le miséricordieux qui nous a donné la force et la patience pour accomplir ce modeste travail.

Également nous tenons à remercier :

Nos chers encadreurs M. TERKI HASSAINE Taha El Amine, M. BENADDA Lotfi et Mlle. MESLI Siham pour leurs précieux conseils et leur assistance pendant toute la période de travail.

Notre honorable membre de jury qui se compose de la présidente Mme. BABA HAMED Kamila, les examinateurs M. BESSEDIK Madani et M. MAACHOU Omar d'avoir accepté examiner ce mémoire.

M. BENNACER Abdelkader le délégué de la DSA qui nous a accueillis et orienté vers la meilleure façon de réaliser notre prototype, ainsi nous remercions M. HAOULIA Mohammed (mon oncle Mohammed) qui nous a ouvert son terrain et il nous a traité comme ses deux filles.

L'équipe de la station d'épuration d'Ain El-Houtz, en particulier la directrice Mme. HABI, la coordinatrice d'exploitation Mme. DOURMANE et le personnel du laboratoire à savoir M. KHAOUANI et Mme. TAHRAOUI.

M. et Mme CHOGUEUR pour leur soutien.

À la fin, nous remercions notre promo Hydraulique Urbaine 2022/2023 et toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin pour réaliser ce travail.

Achweq & Saadia





Dédicace



*Merci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire
Et la patience d'aller jusqu'au bout de rêve et le bonheur
De lever mes mains vers le ciel et de dire « ya Kayoum »
Je dédie ce modeste travail
A mon idole, le plus généreux, qui m'a toujours dit
Que la science est une source inépuisable qu'Allah t'accueille
Dans son vaste paradis. Mon cher père «Abdelkader». Je vous souhaite
Une longue vie et une bonne santé.
A ma source de tendresse et la fontaine de la compassion,
La plus chère et la plus patiente femme dans le monde. Ma chère
Mère «Bahidja » qui m'a soutenu à tous moments.
Je vous dis «la vie sans toi est rien».
A mes chers frères qui me donnent la force et le courage
Afin d'accomplir ce travail et m'aident à marcher dans
Cette vie et attendent avec patience mon succès « Kamel,
Chiheb et djoud ».
Tout respect et appréciation à mes familles « Khaldi et Boudjema »
A ma compagne et ma sœur avant tout « Saâdia »
À mes collègues et mes chères ami(e)s pour leur soutien
« Charihène, Zineb, Hanan, Bouchra, Mouna et Rachid ».
A tous les étudiants de la faculté de technologie particulièrement de l'option
«Hydraulique urbaine »

À tous mes enseignants.
À tous ceux qui m'aiment
A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin
À ma formation.*

Achweq





Dédicace



Merci ALLAH de m'avoir donné la force et la patience afin d'atteindre mon Objectif de mon parcours.

Je dédie ce mémoire à mes parents :

A ma mère « Leila » qui a travaillé dure pour ma réussite, par son amour, son Soutien, ses sacrifices consentis et ses précieux conseils, j'exprime mes sentiments et mon éternelle gratitude à travers ce modeste travail. Merci ma mère pour votre assistance et votre présence dans ma vie.

A mon père « Belkacem », qui m'a aidé à avancer dans la vie, et qui m'a élevé aux valeurs nobles inculquées.

Je lui dis merci :

A mes frères « Nesreddine et Amer »

A ma chère sœur « Hanane » et ses enfants « Hadjer, Abdelwakil et Sinaa »

A ma grande famille OUNADJELA et MOKEDDEM.

A mon partenaire « Achweq » et sa famille qui m'a accompagné durant

Tout mon parcours universitaire.

A mes amis et amies « Charihène, Hanan, Ikram ,Hind, Hadjer ,Mouna, Rachid et Abdeldjalil »

Que je remercie pour leur soutien pendant toutes ces années.

Saâdia



Résumé

Dans le cadre de l'amélioration de la situation hydrique et de la lutte contre la pénurie d'eau et le stress hydrique, la valorisation des outputs des stations d'épuration (STEP) tels que : les eaux usées épurées et la boue, est considérée comme une solution idéale dans différents secteurs notamment le secteur agricole qui est le plus consommateur de l'eau.

Par conséquent, l'objectif de notre étude est de mettre en valeur la réutilisation des sorties de la STEP d'Ain El-Houtz destinées à l'irrigation de la ferme de Haoulia (commune de Hennaya) par la réalisation d'un prototype.

Ce travail a été effectué par l'ajout de différents types d'amendement, notamment : la boue, les engrais et la matière organique animale aux tubercules de pomme de terre dans le sol, en irriguant avec les eaux usées épurées et l'eau douce.

Les résultats obtenus montrent que la boue et les eaux usées épurées ont un impact significatif sur la culture pomme de terre à savoir le poids et le nombre de tubercules, ainsi la hauteur et le nombre de tiges. Autrement dit, ces outputs jouent un rôle de fertilisant.

Mots clés : Valorisation, Outputs, la boue, eau épurée, ferme de Houalia, Amendements, Tubercules de pomme de terre.

ملخص

كجزء من تحسين حالة المياه ومكافحة ندرة المياه والإجهاد المائي، يُنظر إلى استغلال نواتج محطات معالجة المياه (STEP) مثل: مياه الصرف الصحي المنقاة والحماة، على أنه حل مثالي في مختلف القطاعات، بما في ذلك القطاع الزراعي، وهو الأكثر كثافة في استخدام المياه.

لذلك، فإن الهدف من دراستنا هو تسليط الضوء على إعادة استخدام نواتج STEP لعين الحوت المخصصة للري في المزرعة حولية (بلدية الحناية) من خلال إنجاز نموذج أولي.

تم تنفيذ هذا العمل بإضافة أنواع مختلفة من التعديلات على التربة، بما في ذلك: الحماة والأسمدة والمواد العضوية الحيوانية إلى درنات البطاطس في التربة، ويتم الري بمياه الصرف الصحي النقية والمياه العذبة.

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن الطين ومياه الصرف الصحي المنقاة لهما تأثير كبير على محصول البطاطس بما في ذلك وزن وعدد الدرنات، وأيضا ارتفاع وعدد السيقان، بعبارة أخرى، تلعب هذه المخرجات دور الأسمدة.

الكلمات الرئيسية: التثمين، المخرجات، الحماة، المياه المعالجة، مزرعة حولية، التعديلات على التربة، درنات البطاطس.

Abstract

As part of the improvement of the water situation and the fight against water scarcity and water stress, the exploitation of the outputs of sewage treatment plant (STEP) such as: purified wastewater and sludge, is seen as an ideal solution in various sectors, including the agricultural sector, which is the most water-intensive.

Therefore, the objective of our study is to highlight the reuse of the outputs of the STEP of Ain El-Houtz intended for irrigation to the farm of Haoulia (commune of Hennaya) by the realization of a prototype.

This work was carried out by adding different types of amendments, including: mud, fertilizers and animal organic matter to potato tubers in the soil, irrigating with purified wastewater and with fresh water.

The results obtained show that the mud and the purified sewage have a significant impact on the potato crop including the weight and number of tubers, so the height and number of stems, in other words, these outputs play a role of fertilizer.

Keywords: Valorization, Outputs, Mud, sewage treatment plant, Houalia farm, Amendments, Potato tubers.

Liste des figures

Figure I.1 : Schéma d'une chaîne de traitement des eaux usées	8
Figure I. 2 : Les étapes du prétraitement	8
Figure I. 3 : Dégrillage fin	9
Figure I. 4 : Dégrillage grossier	9
Figure I. 5 : Grille manuelle	9
Figure I. 6 : Grille mécanique	9
Figure I. 7 : Dessaleur	9
Figure I. 8 : Schéma d'un procédé à boues activées	10
Figure I. 9 : Système d'irrigation par écoulement	13
Figure I. 10 : Système d'irrigation par aspersion	14
Figure I. 11 : Système d'irrigation goutte-à-goutte	14
Figure I. 12 : Système d'irrigation par submersion	15
Figure II 1 : répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines	17
Figure III.1 : Vue générale de la station d'épuration ONA – Tlemcen	27
Figure III.2 : Schéma explicatif du traitement des eaux usées de la STEP d'Ain El-Houtz ..	28
Figure III.3 : Plan de la situation géographique du périmètre de Hennaya	30
Figure III 4 : Périmètre du plateau de Hennaya	30
Figure III.5 : Graphique en secteurs de classification des cultures du périmètre de Hennaya	32
Figure III.6 : Situation géographique de la ferme Haoulia	33
Figure IV. 1 : Culture pomme de terre	35
Figure IV. 2 : Filtres	46
Figure IV. 3 : Les capsules	46
Figure V.1 : Histogramme des différentes hauteurs de tige	55
Figure V. 2 : Histogramme des différents nombre des tiges	56
Figure V. 3 : Histogramme des différents nombre des tubercules	57
Figure V.4 : Répartition des calibres en fonction de nombre des tubercules pour différents amendements	58
Figure V.5 : Histogramme des différents poids moyen de tubercule	59

Liste des photos

Photo IV. 1 : Engrais	38
Photo IV. 2 : Matière organique animal	38
Photo IV. 3 : La boue	38
Photo IV. 4 : Futs en plastique d'une capacité de 200 L pour irrigation	38
Photo IV. 5 : La gaine	38
Photo IV. 6 : Robiniers.....	38
Photo IV. 7 : Les aiguilles.....	39
Photo IV. 8 : Les tubulures de santé.....	39
Photo IV. 9 : Matériel aléatoire	39
Photo IV 10 : préparation du sol	39
Photo IV 11 : Epanchage de fertilisant	40
Photo IV 12 : semis de pomme de terre	40
Photo IV 13 : Conception de réseau d'irrigation	41
Photo IV. 14 : Traitement par anti mildiou	42
Photo IV. 15 : Installation final de dispositif	43
Photo IV. 16 : PH mètre	44
Photo IV. 17 : Conductimètre	44
Photo IV. 18 : Turbidimétrie	45
Photo IV. 19 : Oxymètre	45
Photo IV. 20 : Dispositif de filtration.....	45
Photo IV. 21 : Photo de l'étuve de séchage	46
Photo IV. 22 : Photo de la balance de pesée	46
Photo IV. 23 : Digesteur (réacteur DCO pour le chauffage).....	47
Photo IV 24 : Cristaux NaOH	48
Photo IV 25 : Incubateur bactériologie IN55-Memmert.....	48
Photo IV 26 : Bouteilles oxytopes	48
Photo IV. 27 : Méthode de changement du couleur de mesure TH	49
Photo IV. 28 : Méthode de changement du couleur de mesure Cl^-	50
Photo IV. 29 : Photométrie de flamme.....	51

Liste des tableaux

Tableau II 1 : Statistiques sur la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ...	20
Tableau II 2 : Normes de rejets internationales OMS	25
Tableau II 3 : Les valeurs limite des paramétrés de rejet dans un milieu récepteur (JORA) .	25
Tableau III.1 : Tableau récapitulatif des données de base de la STEP d'Ain El-Houtz	28
Tableau III.2 : Paramètres d'entrée de la STEP d'Ain El-Houtz	29
Tableau III.3 : Paramètres de sortie de la STEP d'Ain El-Houtz	29
Tableau III.4 : Consistance de l'aménagement de la plaine de Hennaya.....	31
Tableau III.5 : Classification des cultures du périmètre de Hennaya en 2018.....	31
Tableau III.6 : Campagne d'irrigation p.Hennaya (2011-2020)	32
Tableau III.7 : Cultures irriguées dans la ferme Haoulia	33
Tableau III.8 : Caractéristiques du puits de la ferme Haoulia.....	33
Tableau III.9 : Caractéristiques des pompes de la ferme Haoulia.....	34
Tableau III.10 : Caractéristiques du bassin de la ferme Haoulia	34
Tableau III.11 : Caractéristiques des tuyauteries de la ferme Haoulia.....	34
Tableau IV 1 : Les jours d'irrigation	41
Tableau IV. 2 : Facteur de conversion de la DBO5 en fonction du volume de prise	48
Tableau IV. 3 : Les analyses physico-chimique d'eau épurée.....	49
Tableau IV. 4 : Analyse supplémentaire.....	49
Tableau IV. 5 : Analyses d'eau de puits	51
Tableau IV. 6 : DO et la concentration en PPM de appareiller de Photométrie de flamme ...	52
Tableau IV. 7 : Résultat d'analyse du sodium	52
Tableau IV 8 : Résultat d'analyse du potassium	52
Tableau IV 9 : résultat des analyses des éléments traces de la boue et de sol.....	54
Tableau V.1 : Hauteur moyenne de tige	55
Tableau V.2 : Nombre des tiges.....	56
Tableau V. 3 : Nombre des tubercules	57
Tableau V. 4 : Poids moyenne de tubercule	59

Liste des abréviations

MES : Matière En Suspension (mg/l).

MMS : matière minérales sèche (mg/l).

MO : matière organique.

MOA : matière organique animal.

M.V.S : matières volatiles en suspension.

°C : Degré Celsius.

E.U : eaux usées

DBO5 : Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours (mg/l).

DCO : Demande Chimique en Oxygène (mg/l).

PH : potentiel Hydrogène.

STEP : Station d'épuration.

T : température

ONA : Office national d'assainissement

ED : eau douce

EE : eau épurée

TM : témoins

ppm : partie par million

Table des matières

Remerciement	i
Dédicaces.....	ii
Résumé	iv
Liste des figures.....	v
Liste des photos	vi
Liste des tableaux.....	vii
Liste des abréviations	viii

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Recherche Bibliographique « Généralité sur les eaux usées, les procédés de l'épuration et l'irrigation »

I.1. Introduction	3
I.2. Généralité sur les eaux usées	3
I.2.1. Définition des eaux usées	3
I.2.2. Origines des eaux usées.....	3
I.2.3. Caractéristiques des eaux usées.....	4
I.2.4. Systèmes de collecte des eaux usées	6
I.3. Généralité sur les procédés de l'épuration des eaux usées	7
I.3.1. Définition du procédé de l'épuration des eaux usées	7
I.3.2. Procédés d'épuration	7
I.3.3. Traitement des boues.....	11
I.3.4. Avantages et inconvénient des boues activées	12
I.4. Généralité sur l'irrigation	12
I.4.1. Définition	12
I.4.2. Besoins en eau d'irrigation.....	13
I.4.3. Types d'irrigation.....	13

Chapitre II : Réutilisation des eaux usées épurées et de la boue

II.1. Introduction	16
II.2. Réutilisation des eaux épurées.....	16
II.2.1. Différents types de réutilisations des eaux épurées.....	16
II.2.2. Réutilisation des eaux usées épurées dans le monde.....	17
II.2.3. Réutilisation des eaux épurées en Algérie.....	19

II.2.4.	Avantages de la réutilisation des eaux usées épurées	21
II.2.5.	Inconvénients de la réutilisation des eaux usées épurées	22
II.3.	Réutilisation des boues	22
II.3.1.	Types de la réutilisation des boues.....	22
II.3.2.	Réutilisation des boues dans le monde.....	23
II.3.3.	Défis de la réutilisation des boues.....	23
II.4.	Normes des rejets.....	24
II.4.1.	Normes de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé)	24
II.4.2.	Normes du Journal Officiel de la République Algérienne (JORA 2012)	25
II.4.3.	Normes des boues sèches.....	26

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude

III.1.	Introduction	27
III.2.	Station d'épuration d'Ain El-Houtz	27
III.2.1.	Situation géographique de la station d'Ain El-Houtz	27
III.2.2.	Présentation de la station d'épuration d'Ain El-Houtz	27
III.3.	Périmètre de Hennaya	29
III.3.1.	Présentation du périmètre de Hennaya.....	29
III.3.2.	Situation géographique du périmètre de Hennaya	29
III.3.3.	Consistance de l'aménagement de la plaine de Hennaya.....	30
III.3.4.	Cultures irriguées par les eaux usées traitées (périmètre de Hennaya)	31
III.3.5.	Campagne d'irrigation dans le périmètre de Hennaya (2011-2020)	32
III.4.	Présentation de la ferme de Haoulia.....	32
III.4.1.	Identification de l'exploitation agricole	32
III.4.2.	Localisation géographique de la ferme	32
III.4.3.	Cultures et irrigation.....	33
III.4.4.	Caractéristiques du réseau d'irrigation.....	33

Chapitre IV : Matériels et méthodes

IV.1.	Introduction.....	35
IV.2.	Généralités sur la culture pomme de terre	35
IV.2.1.	Conditions de croissance de la pomme de terre	35
IV.2.2.	Méthodes de culture de la pomme de terre	35
IV.2.3.	Classification de la culture pomme de terre	35
IV.2.4.	Besoins en eau de la pomme de terre	36
IV.3.	Dispositif expérimental (mise en place de la culture).....	36

IV.3.1. Matériels utilisés	37
IV.3.2. Mise en place.....	39
IV.3.3. Conduit et suivent de l'expérimentation	41
IV.3.4. Récolte.....	43
IV.3.5. Eaux utilisées pour l'irrigation.....	43
IV.3.6. Comparaison de K et Na entre le sol avec boue et sol sans boue	51
IV.3.7. Analyse chimique des boues et du sol.....	52
IV.4. Conclusion	53

Chapitre V : Résultats et interprétations

V.1. Introduction	54
V.2. Expression des résultats de prototypes	54
V.2.1. Hauteur de tige	55
V.2.2. Nombre des tiges	56
V.2.3. Nombre des tubercules	57
V.2.4. Poids moyenne de tubercule.....	59
V.3. Conclusion.....	60
Conclusion générale	61
Bibliographie.....	62
Annexes.....	66

Introduction générale

Introduction générale

La réutilisation des produits issus des Stations d'Épuration des Eaux Usées (STEP) pour l'irrigation représente un domaine d'étude croissant. Dans un contexte où la préservation des ressources en eau et la recherche de solutions durables sont primordiales, la création de start-ups spécialisées dans cette activité offre des perspectives prometteuses.

La valorisation des outputs des STEP, tels que les boues et l'eau épurée, pour leur réutilisation en irrigation est un sujet de recherche essentiel dans le domaine de la gestion durable des ressources en eau. Cette étude de cas se concentre sur la mise en place d'une start-up spécialisée dans la valorisation de ces outputs des STEP, en mettant l'accent sur les aspects techniques, économiques et environnementaux.

La réutilisation des boues issues du traitement des eaux usées et de l'eau épurée présente de nombreux avantages potentiels. Elle permet non seulement de réduire la quantité de déchets générés par les STEP, mais également de fournir une source alternative d'irrigation pour l'agriculture et l'aménagement paysager. Cela contribue à la préservation des ressources en eau douce, tout en offrant des opportunités pour une utilisation plus efficace et durable de l'eau.

Face à cette problématique, la question de recherche suivante se pose :

"Quels sont les défis techniques, économiques et environnementaux à relever lors de la création et du développement d'une start-up spécialisée dans la valorisation des boues et de l'eau épurée des STEP en vue de leur réutilisation pour l'irrigation, et comment surmonter ces défis afin d'assurer une exploitation durable et rentable de l'entreprise ?"

Cette problématique soulève plusieurs questions clés, telles que :

- Quels sont les besoins et les attentes du marché en matière d'irrigation avec des produits valorisés des STEP, et quelles sont les opportunités commerciales qui en découlent ?
- Quels sont les impacts environnementaux potentiels de la réutilisation des boues et de l'eau épurée pour l'irrigation, et quelles sont les mesures permettant de les minimiser ou de les gérer de manière responsable ?

Afin de répondre à ces questions, ce mémoire a été élaboré pour mieux comprendre les défis associés à la valorisation des outputs des stations d'épuration par le biais de la création d'une start-up spécialisée. L'étude est structurée en cinq chapitres majeurs qui abordent les différents aspects de cette problématique, qui sont les suivants :

- Le premier chapitre de ce mémoire consiste en une recherche bibliographique divisée en trois parties. La première partie traite des généralités sur les eaux usées, abordant notamment leur origine, leur composition et les enjeux associés à leur gestion. La deuxième partie explore les différents procédés d'épuration des eaux usées, en mettant l'accent sur les technologies couramment utilisées et les critères de sélection appropriés. Enfin, la troisième partie examine les différents types d'irrigation.
- Le deuxième chapitre se focalise sur la réutilisation des produits issus des stations d'épuration, à savoir les eaux épurées et les boues. Ce chapitre examine minutieusement les diverses opportunités de valorisation de ces produits, en mettant en évidence les avantages potentiels de leur réutilisation dans des domaines tels que l'agriculture, l'industrie ou la dépollution des sols. Il aborde également les défis techniques, organisationnels et économiques associés à la réutilisation des outputs, en

Introduction générale

fournissant des exemples concrets d'utilisation des boues et des eaux traitées dans différents pays à travers le monde, ainsi qu'en Algérie.

- Le troisième chapitre se focalise sur la zone d'étude, en mettant en avant la station d'épuration d'Ain El-Houtz. Ensuite, nous présentons la zone qui bénéficie de l'eau traitée, à savoir le périmètre agricole du HENNAYA. De plus, nous décrivons en détail la ferme HAOULIA, située dans le périmètre du HENNAYA, où nous avons réalisé notre prototype. Dans ce chapitre, nous détaillons les caractéristiques et les spécificités de cette ferme, mettant en évidence son rôle essentiel dans notre étude sur la réutilisation des produits issus des stations d'épuration.
- Le quatrième chapitre est dédié à la présentation des matériels et méthodes utilisés dans la réalisation de notre prototype. Nous décrivons en détail l'équipement utilisé, ainsi que les différentes étapes de mise en place et de fonctionnement du prototype. En parallèle, nous exposons les analyses que nous avons effectuées sur l'eau traitée, ainsi que sur l'eau provenant du puits situé à la ferme HAOULIA. De plus, nous avons réalisé deux analyses de sol afin de comprendre les changements survenus suite à l'ajout de boues. Ces analyses nous permettent d'évaluer l'impact de la réutilisation des produits de la station d'épuration sur la qualité de l'eau et des sols dans la zone d'étude.
- Le dernier chapitre de cette mémoire est consacré à la présentation des résultats obtenus à partir du prototype. Ces résultats sont illustrés sous forme d'histogrammes à barres, accompagnés d'interprétations appropriées en lien avec l'étude. Dans ce chapitre, nous analysons et discutons les données recueillies, en mettant en évidence les effets de la réutilisation des produits de la station d'épuration sur les paramètres étudiés. Nous examinons les tendances observées, les variations significatives et les implications des résultats obtenus, en les reliant aux objectifs de notre étude.

Chapitre I :

***Recherche Bibliographique « Généralité sur les
eaux usées, les procédés de l'épuration et
l'irrigation »***

Chapitre I : Recherche Bibliographique « Généralité sur les eaux usées, les procédés de l'épuration et l'irrigation »

I.1. Introduction

Le recyclage de l'eau et en particulier la réutilisation des eaux usées devient un élément essentiel de la gestion économique de nos ressources en eau. Une autre raison de réutiliser les eaux usées est que leur volume augmente constamment avec l'expansion et l'intensification de l'urbanisme [1].

L'eau traitée peut être réutilisée à diverses fins, telles que l'irrigation agricole, l'industrie, l'irrigation des espaces verts et même la production d'eau potable dans certains cas. Les eaux usées traitées peuvent également être rejetées dans les rivières, les lacs ou les océans, à condition qu'elles respectent les normes environnementales.

Ce chapitre présente notre recherche théorique sur des généralités sur les eaux usées et les procédés de leur épuration, ainsi des généralités sur l'irrigation.

I.2. Généralité sur les eaux usées

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, altérés par les activités anthropiques à la suite d'un usage domestique, industriel, artisanal, agricole ou autre. Elles sont considérées comme polluées et doivent être donc traitées avant toute réutilisation ou injection dans les milieux naturels récepteurs. C'est pourquoi, dans un souci de respect de ces différents milieux naturels récepteurs, des traitements d'abattement ou d'élimination de ces polluants sont effectuées sur tous les effluents urbains ou industriels. Ces traitements peuvent être réalisés de manière collective dans une station d'épuration ou de manière individuelle également par des procédés intensifs ou extensifs [2].

I.2.1. Définition des eaux usées

Les eaux usées, appelées des effluents liquides qui sont des eaux polluées, constituées de toutes eaux de nature à contaminer, par des polluants physiques ou chimiques ou biologiques. Ainsi que sont des eaux qui ont été altérées par l'activité humaine. Il peut ainsi s'agir d'eaux polluées provenant d'usines ou d'eau ruissellement provenant d'un parc de stationnement. Elles sont également les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement. Elles englobent aussi les eaux de pluies et leurs charges polluantes [3].

I.2.2. Origines des eaux usées

On distingue 4 origines des eaux usées :

I.2.2.1. Eaux usées domestiques

Elles sont essentiellement porteuses de pollutions organiques. Elles se répartissent en deux catégories : les eaux ménagères des salles de bain et des cuisines qui sont généralement chargées de substances biodégradables, de détergents, de produits nettoyants, désinfectants, et détartrants ainsi que de pesticides pour usage domestique et de solvants pour le bricolage ; ces eaux peuvent aussi contenir des polluants cosmétiques et médicamenteux. La deuxième

catégorie d'eaux usées domestiques sont les « eaux vannes » comprenant les rejets de toilettes. Ces dernières sont chargées de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux [3].

I.2.2.2. Eaux usées industrielles

Elles peuvent également être introduites dans les systèmes d'assainissement collectifs publics. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre (métaux lourds, micropolluants organiques, hydrocarbures...). Ainsi, ces effluents ne sont pas toujours compatibles avec le système d'épuration public destiné à l'assainissement des effluents urbains et la présence d'éléments indésirables peut dégrader la qualité des boues d'épuration. Dès lors, une politique d'assainissement des eaux résiduaires industrielles est nécessaire [4]

I.2.2.3. Eaux usées agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle cause essentiellement des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargés d'engrais nitrates et phosphates, sous une forme ionique ou en quantité telle qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, 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 [5].

I.2.2.4. Eaux usées pluviales

Ce sont les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours). Les eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marchés entraînent toutes sortes de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des déchets végétaux, etc., et toutes sortes de micropolluants (hydrocarbures, pesticides, détergents...etc. [6].

I.2.3. Caractéristiques des eaux usées

I.2.3.1. Paramètres organoleptiques

A. Couleur

La coloration d'une eau peut être soit d'origine naturelle (éléments métalliques, matières humiques, micro-organismes liés à un épisode d'eutrophisation...), soit associée à sa pollution (composés organiques colorés). La coloration d'une eau est donc très souvent synonyme de la présence de composés dissous et corrélativement la présence de solutés induit une coloration qui ne se limite pas au seul du domaine du visible [7].

B. Odeur

Toute eau possède une odeur, qui est due aux gaz dissous. Souvent, l'odeur et la saveur de l'eau peuvent être modifiées, soit par la présence de matières organiques en décomposition, soit par la présence de matière sécrétée par les organismes vivants dans l'eau, en particulier les algues et les champignons [8].

I.2.3.2. Paramètres physiques

A. Température

La température est un facteur écologique important du milieu. Elle permet de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment)[9].

B. Turbidité

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoutes [10].

C. Matières en suspension (MES)

Les MES représentent les matières qui ne sont ni à l'état dissous ni à l'état colloïdales, donc filtrable. Elles sont organiques et/ou minérales et permettent une bonne évaluation du degré de pollution d'une eau [11].

D. Matières volatiles en suspension (MVS)

Elles sont recueillies soit par filtration, soit par centrifugation, séchées à 105°C, puis pesées, ce qui fournit la teneur en MES (g/l), ensuite elles sont chauffées à 500-600°C, les matières volatiles disparaissent, et la perte de poids est attribuée aux MVS (g ou mg/l)[12].

E. Matières minérales sèches (MMS)

Elles représentent la différence entre les matières en suspension (MES) et les matières volatiles en suspension (MVS) et correspondent à la présence de sel, et de silice [13].

I.2.3.3. Paramètres chimiques

A. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH joue un rôle important dans le traitement biologique. Il exprime le degré d'acidité ou d'alcalinité des eaux usées. Le pH d'une eau domestique ou urbaine se situe généralement entre 6.8 et 7.8, au-delà, c'est l'indice d'une pollution industrielle [14].

B. Demande chimique en l'oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu [15].

C. Demande biochimique en l'oxygène (DBO)

Pratiquement, la demande biochimique en oxygène devrait permettre d'apprécier la charge du milieu considéré en substances putrescibles, son pouvoir auto-épurateur et d'en déduire la charge maximale acceptable, principalement au niveau des traitements primaires des stations d'épuration [16].

La demande biochimique en oxygène après 5 jours (DBO_5) d'un échantillon est la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes aérobies présents dans cet échantillon pour l'oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganiques [15].

D. Azote

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral (ammoniacque, nitrate, nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total [16]

E. Nitrites et nitrates

- **Les nitrites (NO_2^-)**

Les ions nitrites (NO_2^-) sont un stade intermédiaire entre l'ammonium (NH_4^+) et les ions de nitrates (NO_3^-). Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites c'est la nitratisation [17].

- **Les nitrates (NO_3^-)**

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitratâtes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates [17].

F. Azote ammoniacal

Pour désigner l'azote ammoniacal, on utilise souvent le terme d'ammoniacque qui correspond aux formes ionisées (NH_4^-) et non ionisées (NH_3) de cette forme d'azote. L'ammoniacque constitue un des maillons du cycle de l'azote. Dans son état primitif, l'ammoniac (NH_3) est un gaz soluble dans l'eau, mais suivant les conditions de pH, il se transforme soit en un composé non combiné, soit sous forme ionisée (NH_4^-) [16].

G. Phosphore

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension, à l'état minéral ou organique. Les composés phosphorés qui, sans hydrolyse ou minéralisation, répondent au test spectrophotométriques sont considérés comme étant des ortho phosphatés. L'hydrolyse en milieu acide fait apparaître le phosphore hydrolysable et minéralisation, le phosphore organique. Chaque fraction (phosphore en solution ou en suspension) peut être séparée analytiquement en ortho phosphatés, phosphore hydrolysable et phosphore organique. Suivant les cas, la teneur en phosphates peut être exprimée en mg/l de PO_4 ou de P_2O_5 [16].

$$1\text{mg/l } PO_4 = 0,747 \text{ mg/l } P_2O_5 = 0,326 \text{ mg/l P}$$

I.1

I.2.4. Systèmes de collecte des eaux usées

Les principaux systèmes de collecte utilisés en assainissement sont :

- Le système unitaire ;
- Le système séparatif ;
- Le système pseudo-séparatif.

I.2.4.1. Système unitaire

Ce réseau collecte l'ensemble des eaux noires, claires et grises d'une ville ou d'une région. Les avantages de ce système sont la conception simple dont il est constitué d'un seul collecteur avec un seul branchement, ainsi que pas de risque d'inversion de ce dernier. Les inconvénients sont lors d'un orage, les eaux usées sont diluées par les eaux pluviales avec l'apport de sable important à la station d'épuration [18]

I.2.4.2. Système séparatif

Ce système consiste à spécialiser chaque réseau selon la nature des effluents, le réseau d'évacuation des eaux domestique et parfois industrielles (selon le plus caractéristique) est séparé du réseau d'évacuation des eaux de pluie qui sont rejetées le plus souvent directement dans le milieu récepteur (mer, fleuve ou lac).

Ce système a l'avantage de permettre l'assurance d'un régime permanent dans les STEP et la diminution du diamètre moyen du réseau de collecte des eaux usées, l'inconvénient réside dans le coût élevé d'investissement [18].

I.2.4.3. Système pseudo-séparatif (mixte)

Un système dit pseudo-séparatif pour lequel une partie des eaux pluviales est évacuée avec les eaux usées, il s'agit notamment des eaux des terrasses et des cours. Les eaux de ruissellement sont évacuées directement dans la nature par des caniveaux et des fosses [18].

I.3. Généralité sur les procédés de l'épuration des eaux usées

I.3.1. Définition du procédé de l'épuration des eaux usées

L'épuration des eaux usées est un processus qui vise à éliminer les polluants des eaux usées avant leur rejet dans l'environnement. Les eaux usées sont générées par les activités humaines, telles que les ménages, les industries, les commerces et les installations municipales. Ces eaux usées contiennent des polluants tels que les matières organiques, les produits chimiques, les bactéries, les virus et les métaux lourds, qui peuvent être nocifs pour l'environnement et la santé humaine [19].

I.3.2. Procédés d'épuration

Le processus d'épuration des eaux usées se déroule en plusieurs étapes, qui peuvent inclure la séparation des solides et des liquides, la filtration, la désinfection et le traitement biologique. Le but ultime est de produire de l'eau propre et sûre pour le milieu naturel ou pour le traitement supplémentaire avant sa réutilisation. L'épuration des eaux usées est une étape essentielle pour protéger l'environnement et maintenir la santé publique, car elle réduit la quantité de polluants rejetés dans les rivières, les lacs et les océans. [18]

Les eaux usées sont des eaux qui ont été issues par diverses activités domestiques, industrielles ou agricoles et qui doivent être traitées avant d'être rejetées dans l'environnement. De ce fait leur traitement comprend généralement trois étapes principales : le prétraitement, le traitement primaire et le traitement secondaire. [20]

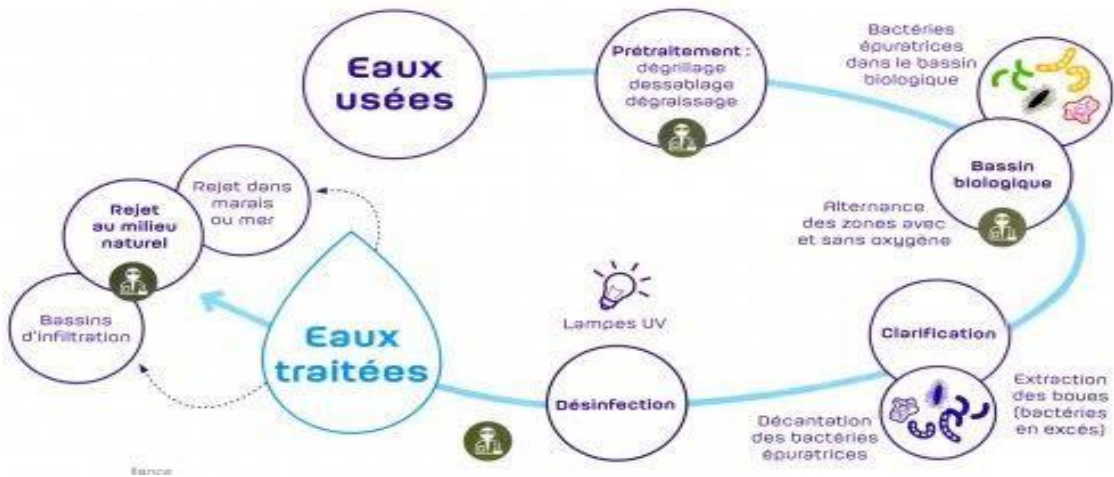


Figure I.1 : Schéma d'une chaîne de traitement des eaux usées [22]

I.3.2.1. Prétraitement

Le prétraitement des eaux usées est une étape essentielle dans le processus d'épuration des eaux usées. Le but du prétraitement est de retirer les solides, les matières organiques et les graisses des eaux usées avant qu'elles ne soient envoyées aux étapes de traitement ultérieures. [21]

On peut distinguer les différentes étapes de prétraitement qui sont couramment utilisés présentées dans la figure I.2.

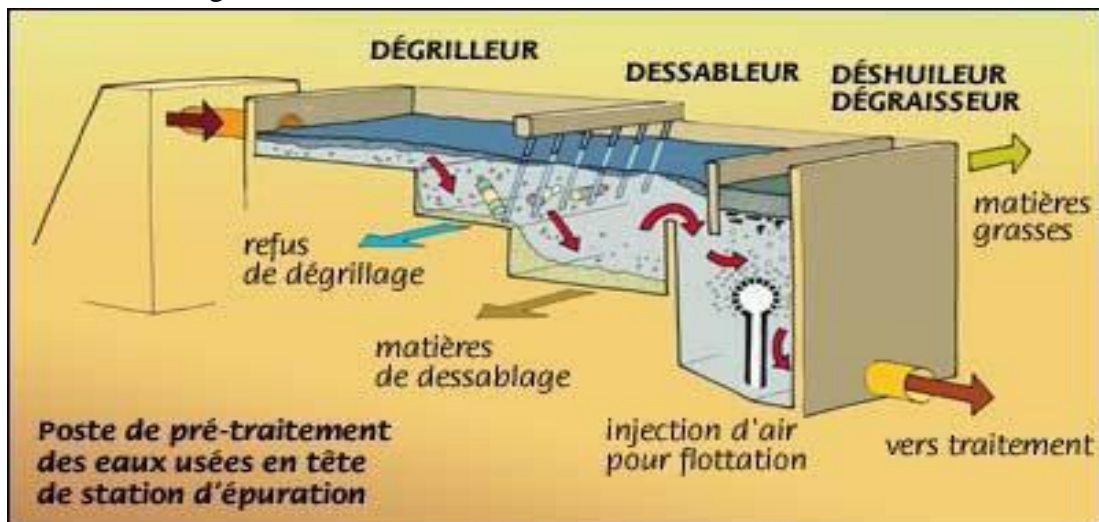


Figure I. 2 : Les étapes du prétraitement [23]

I.3.2.1.1. Ddégrillage

Il retient les solides de taille importante. Il y en a deux, un grossier pour les objets volumineux et un autre plus fin (environ de 10 à 20 mm). Les déchets, appelés « refus de dégrillage » sont soit incinérés, soit envoyés en décharge. [22]



Figure I.4 : Dégrillage grossier [25]



Figure I.3 : Dégrillage fin [24]



Figure I.6 : Grille manuelle [26]



Figure I.5 : Grille mécanique [27]

A. Dessablage

Il permet d'éliminer des solides fins grâce à leur poids sans prendre encore le temps d'une décantation. On fait passer l'eau dans un canal à une vitesse modérée pour que le sable et les graviers tombent au fond. Ceux-ci peuvent être réutilisés ou mis en décharge selon la qualité du lavage auquel ils seront soumis. [22]



Figure I.7 : Dessaleur [28]

I.2.3.1.3. Déshuilage/dégraissage

Il consiste à enlever les matières flottantes en surface. L'injection de bulles aide à séparer les matières grasses de l'eau. On parle de déshuilage pour une séparation liquide – liquide et de dégraissage pour une séparation solide-liquide. Les matières ainsi recueillies seront incinérées ou mises en décharge, elles auraient nuit au traitement biologique. [22]

I.3.2.2. Traitement biologique

Les traitements biologiques des eaux usées sont des processus dans lesquels des micro-organismes sont utilisés pour décomposer et éliminer les polluants organiques présents dans les eaux usées. Les traitements biologiques sont souvent utilisés en combinaison avec d'autres procédés de traitement pour obtenir des résultats optimaux. [29]

Il existe plusieurs types de traitements biologiques des eaux usées, notamment :

B. Traitement biologique en aération prolongée

Dans ce processus, de l'oxygène est fourni aux micro-organismes pour qu'ils puissent décomposer les polluants organiques. Cette méthode est souvent utilisée pour traiter les eaux usées municipales. [29]

I.3.2.2.2. Traitement biologique en boues activées

Ce processus implique la croissance de micro-organismes dans un milieu liquide en suspension (boues activées), qui est ensuite mélangé avec les eaux usées. Les micro-organismes décomposent les polluants organiques dans l'eau, puis sont éliminés du système par sédimentation. [29]

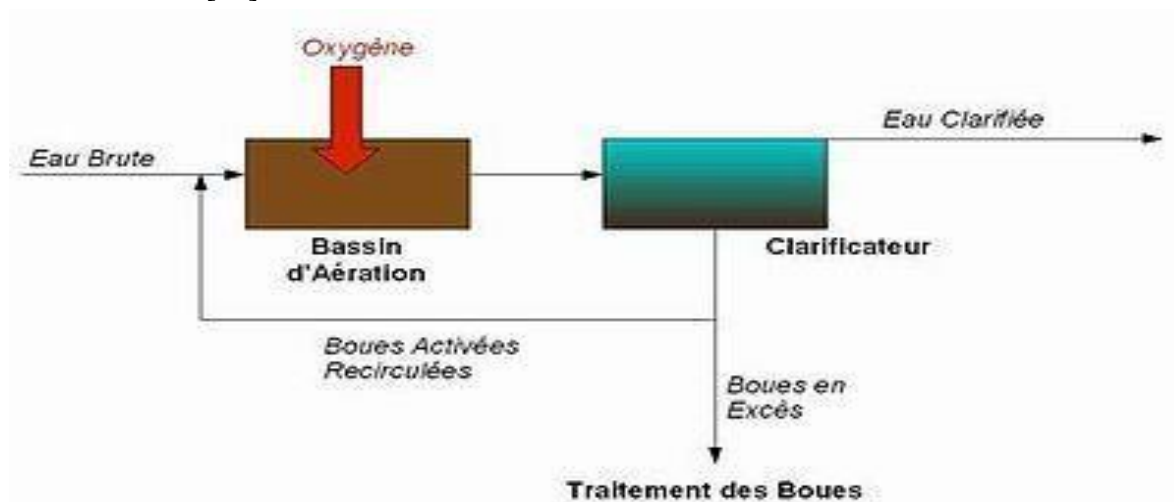


Figure I.8: Schéma d'un procédé à boues activées [30]

I.3.2.2.3. Lagune de traitement

Dans ce processus, les eaux usées sont stockées dans des étangs peu profonds, où des micro-organismes naturels décomposent les polluants organiques. Ce traitement est souvent utilisé pour les petites communautés rurales qui n'ont pas accès aux systèmes de traitement plus sophistiqués. [29]

I.3.2.2.4. Traitement par filtration biologique

Ce processus implique l'utilisation de biofiltres pour décomposer les polluants organiques. Les biofiltres contiennent des matériaux de support pour les micro-organismes, qui décomposent les polluants organiques alors que l'eau passe à travers le filtre. [29]

Les traitements biologiques des eaux usées sont souvent efficaces pour éliminer les polluants organiques, mais ils ne sont pas toujours suffisants pour éliminer tous les contaminants présents dans les eaux usées. Par conséquent, d'autres traitements peuvent être nécessaires pour éliminer complètement les polluants de l'eau.

I.3.2.3. Traitements tertiaires

Le traitement tertiaire des eaux usées est la dernière étape du traitement des eaux usées et est utilisé pour éliminer les polluants restants qui n'ont pas été éliminés par les étapes de traitement primaire et secondaire. Les traitements tertiaires sont souvent utilisés dans les zones où la qualité de l'eau doit être très élevée avant d'être rejetée dans l'environnement ou réutilisée. [31]

I.3.2.3.1. Filtration sur charbon actif

La filtration sur charbon actif est un processus dans lequel l'eau est filtrée à travers une couche de charbon actif, qui élimine les polluants organiques résiduels tels que les produits pharmaceutiques, les produits chimiques industriels et les hydrocarbures. [31]

I.3.2.3.2. Osmose inverse

L'osmose inverse est un processus de séparation par membrane dans lequel les polluants sont éliminés de l'eau en la faisant passer à travers une membrane semi-perméable. Ce processus est souvent utilisé pour éliminer les sels, les métaux lourds, les nitrates et les virus. [31]

I.3.2.3.3. Traitement par rayonnement ultraviolet

Le traitement par rayonnement ultraviolet est utilisé pour éliminer les micro-organismes qui peuvent être présents dans l'eau traitée. Les rayons ultraviolets tuent les bactéries et les virus, ce qui rend l'eau propre et sûre à utiliser. [31]

I.3.2.3.4. Élimination des nutriments

L'élimination des nutriments est un processus dans lequel les phosphates et les nitrates sont éliminés de l'eau. Ces nutriments peuvent provoquer une prolifération excessive d'algues et de plantes aquatiques, ce qui peut affecter la qualité de l'eau et la santé des écosystèmes. [31]

I.3.2.3.5. Élimination des métaux lourds

L'élimination des métaux lourds est un processus qui permet de retirer les métaux lourds tels que le plomb, le mercure et le cadmium de l'eau. Ces métaux peuvent être toxiques pour les humains. [31]

I.3.3. Traitement des boues

Il existe plusieurs méthodes pour le traitement des boues, qui dépendent notamment de la quantité et de la qualité des boues à traiter, ainsi que des réglementations locales en matière de gestion des déchets. [32]

I.3.3.1. Déshydratation

Cette méthode permet de réduire le volume des boues en éliminant l'excès d'eau. Elle peut être réalisée à l'aide d'une centrifugeuse, d'un filtre-pressé ou d'une presse à vis. Les boues sont ainsi transformées en un matériau solide, appelé "cake". [32]

I.3.3.2. Digestion anaérobie

Cette méthode consiste à utiliser des bactéries pour dégrader la matière organique présente dans les boues, en l'absence d'oxygène. Ce processus permet de produire du biogaz, qui peut être utilisé comme source d'énergie renouvelable. [32]

I.3.3.3. Incinération

Cette méthode permet de brûler les boues pour les transformer en cendres. Elle est souvent utilisée dans les usines de traitement d'eau pour éliminer les boues en toute sécurité. [32]

I.3.3.4. Compostage

Cette méthode consiste à mélanger les boues avec d'autres matières organiques, comme des déchets alimentaires ou des feuilles mortes, pour créer du compost. Cette méthode est utile pour recycler les nutriments contenus dans les boues et produire un engrais naturel. [32]

I.3.3.5. Stockage en décharge

Cette méthode consiste à stocker les boues dans une décharge, où elles seront recouvertes de terre ou de matériau similaire. Cette méthode est souvent utilisée pour les boues qui ne peuvent pas être traitées par les autres méthodes, ou qui sont jugées trop dangereuses pour être relâchées dans l'environnement. [32]

I.3.4. Avantages et inconvénient des boues activées

I.3.4.1. Avantages

- Adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites) ;
- Bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (MES, DCO, DBO₅, N par nitrification et dénitrification) ;
- Adaptée pour la protection de milieux récepteurs sensibles ;
- Boues légèrement stabilisées ;
- Facilité de mise en œuvre d'une déphosphatation simultanée [33].

I.3.4.2. Inconvénients

- Coûts d'investissement assez importants ;
- Consommation énergétique importante ;
- Nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière ;
- Sensibilité aux surcharges hydrauliques ;
- Décantabilité des boues pas toujours aisées à maîtriser ;
- Forte production de boues qu'il faut concentrer [33].

I.4. Généralité sur l'irrigation

I.4.1. Définition

L'irrigation est le processus qui consiste à fournir artificiellement de l'eau aux terres ou aux cultures afin d'aider à leur croissance et à leur développement. Cela se fait généralement

dans les zones où les précipitations naturelles sont insuffisantes ou irrégulières, ou lorsque la topographie ou les conditions du sol nécessitent un apport d'eau supplémentaire.

I.4.2. Besoins en eau d'irrigation

Les besoins dépendent de la culture pratiquée, du climat (soit de la pluviométrie et de l'évaporation), de la nature du sol, du mode d'irrigation et des dispositifs d'alimentation du périmètre et de répartition dans la parcelle irriguée.

Les besoins annuels peuvent varier de quelques centaines à quelques milliers de mètres cubes par hectare. Parmi les besoins les plus élevés, il faut citer ceux des gazons (des espaces verts et terrains de golf), des cultures maraîchères et des vergers.

I.4.3. Types d'irrigation

Il existe plusieurs types d'irrigation, chacun ayant ses avantages et ses inconvénients en fonction des conditions locales, à savoir :

I.4.3.1. Irrigation par gravité (par écoulement)

L'irrigation par écoulement de surface, aussi appelée irrigation gravitaire, consiste à distribuer l'eau par le biais de canaux et de rigoles sous l'effet de la gravité :

- Les canaux distribuent l'eau à des canaux secondaires jusqu'aux parcelles ;
- Comme tout le dispositif est à ciel ouvert, beaucoup d'eau est perdue par absorption du sol et évaporation. [34]



Figure I.9 : Système d'irrigation par écoulement [37]

I.4.3.2. Irrigation par aspersion

Sur la parcelle, les canalisations principales et les canalisations d'approches (dites secondaires) servent à transporter l'eau de la pompe jusqu'aux rampes d'arrosage. Des canalisations enterrées distribuent l'eau par le biais de tuyaux mobiles appelés « enrouleurs », alimentant des systèmes d'aspersion. À la façon d'une pluie fine, ceux-ci arrosent les plantations, en projetant de l'eau sous pression à partir d'un asperseur ou d'un canon. Il existe un autre type d'installation mobile : les rampes pivotantes ou pivots. Là encore, des canalisations enterrées ou parfois directement un forage alimentent en eau un système d'aspersion. Celui-ci se déplace dans le champ de façon circulaire, autour d'un point central fixe. [35]



Figure I.10 : Système d'irrigation par aspersion [38]

I.4.3.3. Irrigation goutte-à-goutte

Cette technique consiste à apporter l'eau sous faible pression jusqu'aux racines et à la distribuer au compte-goutte, à l'aide de petits tuyaux, posés sur le sol ou enterrés. Les goutteurs peuvent être externes (à poser), en ligne ou en gaine. On irrigue avec précision et l'on fait des économies d'eau considérables. Ce système n'humidifie que la partie de terre située au voisinage immédiat des racines et limite les pertes par évaporation, ruissellement ou infiltration profonde. Aujourd'hui, le goutte-à-goutte s'utilise pour des cultures fruitières, maraîchères... [35]



Figure I.11 : Système d'irrigation goutte-à-goutte [39]

I.4.3.4. Irrigation par submersion

Cette technique nécessite un apport important d'eau, qui peut se faire par des fossés, soit par des conduites de gros diamètre. Ces équipements délivrent l'eau sur un bord de la parcelle et ne nécessitent pas d'équipements compliqués ou de précision (ce sont des déversoirs, des vannes...). [36]



Figure I.12 : Système d'irrigation par submersion [40]

I.4.3.5. Irrigation souterraine

Il existe également d'autres méthodes d'irrigation plus récentes et plus avancées, telles que l'irrigation par capillarité, l'irrigation par injection, l'irrigation sous pression, etc. Chacune de ces méthodes a ses propres avantages et inconvénients, et le choix dépendra des conditions locales et des besoins de la culture.

L'irrigation peut être utilisée dans l'agriculture, l'horticulture, l'aménagement paysager et d'autres applications où les plantes ont besoin d'eau pour pousser. C'est un outil important pour augmenter les rendements des cultures et assurer la sécurité alimentaire dans de nombreuses régions du monde. Cependant, l'irrigation peut également avoir des impacts environnementaux négatifs, tels que la salinisation des sols, l'engorgement et l'épuisement des ressources naturelles en eau, si elle n'est pas gérée correctement. [41]

I.4.3.6. L'irrigation localisée

L'irrigation localisée est une méthode précise et efficace qui apporte de l'eau directement aux racines des plantes. Elle utilise des systèmes tels que le goutte-à-goutte et l'irrigation par micro-aspersion. Cette approche permet une utilisation efficace de l'eau, réduit les pertes et permet une gestion précise des nutriments. Elle est couramment utilisée dans l'agriculture pour les cultures fruitières, maraîchères et viticoles, ainsi que dans les jardins résidentiels, les parcs et les espaces verts. [42]

Chapitre II :

Réutilisation des eaux usées épurées et la boue

Chapitre II : Réutilisation des eaux usées épurées et de la boue

II.1. Introduction

La réutilisation des sorties des Stations d'Épuration des Eaux Usées (STEP) émerge comme une approche prometteuse et innovante pour la gestion durable de l'eau. Les STEP jouent un rôle essentiel dans le traitement des eaux usées afin de préserver l'environnement en éliminant les contaminants. Au lieu de considérer les effluents traités comme des déchets, il est possible de les exploiter de manière responsable pour diverses applications [44].

Ce chapitre se concentre sur la recherche bibliographique de la réutilisation des sorties des STEP, en mettant l'accent sur les eaux épurées et la boue générées lors du traitement des eaux usées. Nous explorerons les différentes opportunités et les avantages de la réutilisation de ces ressources, tout en abordant les défis techniques, réglementaires et socio-économiques qui y sont associés. L'objectif est de valoriser ces sorties pour contribuer à la préservation des ressources hydriques et à une gestion plus durable de l'eau.

II.2. Réutilisation des eaux épurées

II.2.1. Différents types de réutilisations des eaux épurées

La réutilisation des eaux épurées offre diverses possibilités d'utilisation en fonction des besoins locaux et des normes réglementaires. On cite les principaux types de réutilisation des eaux épurées dans les suivants :

II.1.1.1. Irrigation agricole

L'une des utilisations les plus courantes des eaux épurées est l'irrigation des terres agricoles. Les eaux épurées peuvent être utilisées pour l'irrigation des cultures, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire et à la préservation des ressources en eau douce. Des systèmes de distribution appropriés sont utilisés pour assurer une irrigation efficace tout en respectant les exigences de qualité de l'eau pour l'agriculture [43].

II.1.1.2. Arrosage des espaces verts et des parcs

Les eaux épurées peuvent être utilisées pour l'arrosage des espaces verts urbains tels que les parcs, les jardins publics, les terrains de sport et les golfs. Cela permet de réduire la dépendance à l'égard de l'eau potable et de préserver les ressources en eau douce [43].

II.1.1.3. Utilisation industrielle

Les eaux épurées peuvent être utilisées dans certaines industries pour des usages tels que le refroidissement des équipements, les procédés industriels ou la production d'énergie. Cela permet de réduire la demande en eau potable dans ces secteurs et de préserver les ressources en eau douce [44].

II.1.1.4. Utilisation récréative

Dans certaines régions, les eaux épurées peuvent être utilisées pour des activités récréatives telles que la création de plans d'eau artificiels, la navigation de plaisance, la pêche ou la baignade. Des mesures de sécurité et de traitement supplémentaires sont généralement mises en place pour s'assurer de la qualité de l'eau pour ces utilisations [44].

Il est important de noter que chaque type de réutilisation des eaux épurées peut nécessiter des traitements spécifiques et doit se conformer aux réglementations locales en matière de qualité de l'eau et de santé publique. Des études approfondies, des évaluations des risques et des systèmes de surveillance sont essentiels pour garantir que les eaux épurées réutilisées sont sécuritaires et conformes aux normes applicables [44].

II.2.2. Réutilisation des eaux usées épurées dans le monde

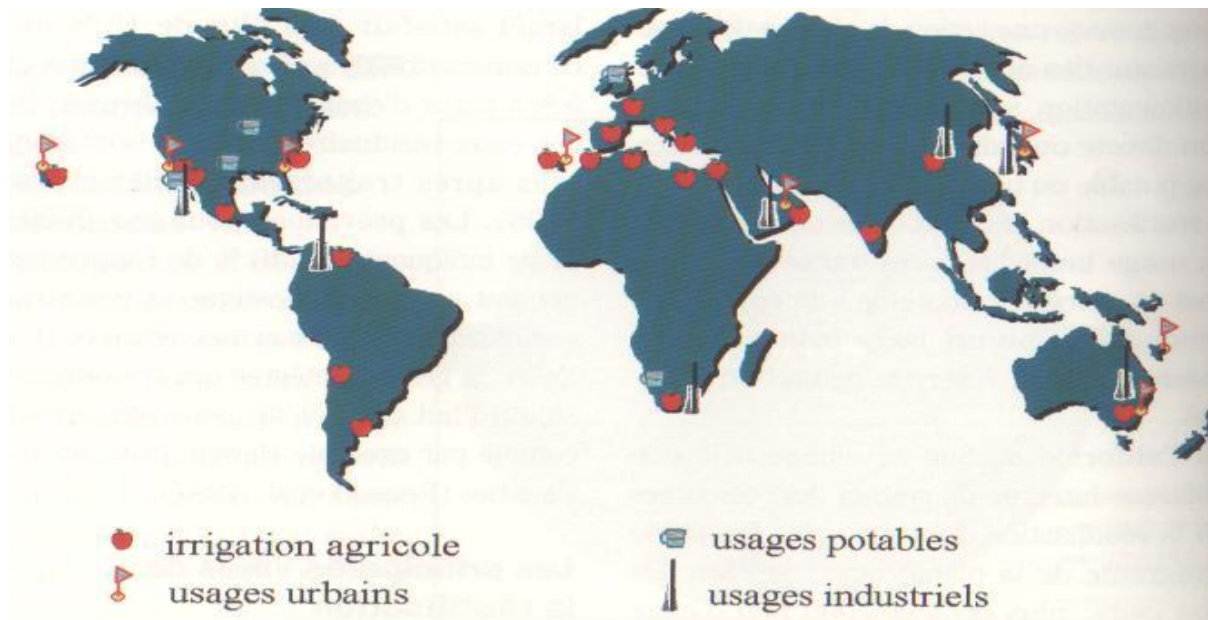


Figure II.1 : Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines [45]

II.2.2.1. Secteur agricole

La réutilisation des eaux usées traitées dans le secteur agricole présente des avantages importants tels qu'une amélioration des rendements des cultures et des bénéfices économiques. Cependant, pour garantir la sécurité sanitaire, il est essentiel d'établir des normes et des réglementations strictes, telles que les recommandations de l'OMS. Ces normes visent à éliminer les risques sanitaires associés à l'utilisation des eaux usées traitées [45].

Dans certains pays, notamment ceux ayant des exigences strictes pour les cultures destinées à la consommation humaine, les normes sont rigoureuses. Par exemple, l'Afrique du Sud exige une qualité d'eau potable pour cette utilisation, tandis que l'état d'Arizona a ajouté l'absence de virus comme nouveau critère microbiologique.

Dans les pays où les normes sont rigoureuses, tels que l'Australie, les États-Unis et certains pays du Moyen-Orient, un traitement secondaire, voire tertiaire, est généralement requis.

En France, en raison de l'abondance des ressources en eau, le développement de la réutilisation des eaux usées est limité. Les projets existants sont principalement de petite taille et se concentrent dans les zones côtières de l'Atlantique et de la Méditerranée. L'irrigation des golfs est l'application qui connaît la plus grande croissance [46].

Le projet de réutilisation des eaux usées de Mexico City est considéré comme le plus grand au monde. Près de 100% des eaux usées brutes de la capitale mexicaine sont réutilisées pour l'irrigation de plus de 85 000 hectares de cultures agricoles diverses [47].

En résumé, la réutilisation des eaux usées traitées dans le secteur agricole offre des avantages significatifs, mais nécessite la mise en place de normes strictes pour assurer la protection de la santé publique. La mise en œuvre de projets de réutilisation des eaux usées varie d'un pays à l'autre en fonction des ressources en eau, des normes et des réglementations en vigueur.

II.2.2.2. Secteur industriel

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont maintenant techniquement et économiquement réalisables. Dans certains pays et industries, jusqu'à 85% des besoins en eau sont couverts par l'eau recyclée. Les secteurs industriels les plus gros consommateurs d'eau sont les centrales thermiques et nucléaires (pour le refroidissement) et les papeteries. La qualité de l'eau réutilisée est réglementée et dépend de l'application ou de la production industrielle spécifique. Les eaux usées urbaines représentent généralement moins de 15% du volume total d'eau réutilisée dans l'industrie. Aux États-Unis, par exemple, environ 790 000 m³/jour d'eaux usées sont réutilisés en industrie, dont 68% sont utilisés pour le refroidissement [45].

II.2.2.3. Secteur urbain et périurbain

II.2.2.3.1. Réutilisation pour un usage non-alimentaire

Les utilisations urbaines et périurbaines des eaux usées correctement traitées sont en plein essor, devenant un élément essentiel de la politique de gestion intégrée de l'eau dans les grandes agglomérations. Le Japon, en tant que pionnier dans ce domaine, et certaines villes des États-Unis ont mis en place des systèmes de distribution à double réseau, permettant la réutilisation des eaux usées traitées pour divers usages. Environ 8% du volume total des eaux usées traitées au Japon, soit environ 8 millions de mètres cubes par an, sont réutilisés. Cette tendance reflète l'importance croissante de la réutilisation des eaux usées pour répondre aux besoins en eau et promouvoir une gestion durable des ressources hydriques dans les zones urbaines et périurbaines [46].

En ce qui concerne les usages urbains, l'Afrique du Sud et l'Australie se distinguent en ayant les normes les plus strictes. En effet, ces pays exigent respectivement une qualité d'eau potable et l'élimination complète des virus pour la réutilisation des eaux usées traitées. Dans ces cas particuliers, les filières de traitement des eaux usées se rapprochent davantage des processus de production d'eau destinée à la consommation humaine [45].

II.2.2.3.2. Réutilisation pour un usage alimentaire (eau « potable »)

Les progrès technologiques dans le domaine de l'eau ont rendu possible la production d'une eau de qualité à partir des eaux usées. Les études montrent que la réutilisation des eaux usées correctement traitées à des fins d'eau potable est réalisable. Cependant, les obstacles principaux résident dans les aspects psychologiques et culturels liés à la perception négative de l'eau usée. Ainsi, la tendance actuelle privilégie généralement l'usage indirect, où l'eau usée traitée est laissée temporairement dans le milieu naturel avant d'être réutilisée. Selon l'usage final de l'eau réutilisée, elle peut être classée comme eau potable ou pour des usages non potables. Dans le premier cas, il est important de noter l'impact positif sur la perception de cette transition par le milieu naturel, permettant à l'eau de perdre son identité d'eau usée [45].

II.2.3. Réutilisation des eaux épurées en Algérie

En Algérie, la réutilisation des eaux épurées est pratiquée dans certaines régions, notamment pour l'irrigation agricole. L'ONA gère plusieurs stations d'épuration à travers les 43 wilayas du pays, dont certaines sont impliquées dans cette pratique. Le volume d'eau épurée réutilisée a augmenté de manière significative au fil du temps, passant d'environ 17 millions de mètres cubes en 2011 à environ 45 millions en 2012, puis à environ 300 millions en 2014. Cette réutilisation contribue à une utilisation plus efficiente des ressources en eau et à la réduction du stress hydrique dans les régions où l'eau conventionnelle est limitée. Cependant, il est important de respecter les réglementations environnementales et sanitaires en vigueur pour garantir la sécurité et la qualité de l'eau utilisée dans l'agriculture et d'autres domaines.

II.2.3.1. Réutilisation pour l'irrigation

Selon l'enquête, il y a actuellement 25 stations d'épuration (STEP) impliquées dans des projets de réutilisation des eaux épurées pour l'irrigation de plus de 70 000 hectares de terres agricoles (voir Tableau II.1). Par ailleurs, un projet visant à élaborer des normes algériennes et un guide technique sur les bonnes pratiques de la réutilisation des eaux usées à des fins agricoles est en cours d'approbation par l'Institut Algérien de Normalisation (IANOR).

La législation algérienne ne permet pas l'utilisation d'eau traitée pour tous les types de cultures, notamment les cultures destinées à l'alimentation humaine directe (cultures maraîchères). Seules certaines cultures sont autorisées à être irriguées avec de l'eau traitée conformément à la réglementation en vigueur.

Et ce sont les cultures qui sont autorisées à être irriguées avec de l'eau usée traitée.

- L'arboriculture ;
- Les agrumes;
- Les cultures fourragères ;
- Les cultures industrielles ;
- Les cultures céréalières et oléagineuses ;
- Les cultures de production de semences ;
- Les arbres arbustes fourragers ;
- Les plantes florales à sécher ou à usage industriel.

Chapitre II : Réutilisation des eaux usées épurées et la boue

Tableau II.1 : Statistiques sur la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles [48]

Désignation	Capacité (Eq/H)	Débit nominal (m³/j)	Volume mensuel épuré (m³)	Volume mensuel réutilisé (m³)	Agricole (ha)	Type de culture	Utilisateurs (Concessionnaire)
Station d'épuration à boues activées de Boumerdes	75000	15000	484480	62282.4	Flici : 49	Pépinière d'Olivier Oranger et Vignes	Flici
				62282.4	Rahmon: 76		Rahmoun
Station de lagunage aéré d'Ouargla	260102	56997	991950	99195	16.5	4000 palmiers dattiers et 100 Oliviers	Autorisation DRE
Station de lagunage aéré de kouinine (El Oued)	239134	44335	567600	33600	15	Arbres/(Eucaly ptus et kazarina)	ONA
Station d'épuration à boues activées de Tlemcen	150000	30000	510300	484785	Plaine de HennaYa 912.22	Arboriculture	ONID
Station d'épuration à boues activées de Guelma	200000	32000	550560	550560	Guelma Boumahra et Bouchegouf 6980	Les cultures Maraîchères et Les vergers	O.N.I.D Réutilisation indirecte Apport à Oued Seybousse
Station d'épuration à boues activées de Bordj Bou Arreridj	150000	30000	324720	324720	Dhaïssa 150	Céréales	/
Station d'épuration à boues activées de Souk Ahras	150000	30000	182460	182460	200	Arboriculture	Réutilisation indirecte Apport à Oued Medjerda
Station d'épuration à boues activées de Mascara	100000	13000	276240	276240	400	Oliviers	Associations agriculteurs Réutilisation indirecte
Station de lagunage aéré de Ghriss	48000	5800	34950	34950	420		
Station de lagunage aéré de Bouhanifia	32500	3900	STEP à l'arrêt		143	Oliviers	Associations agriculteurs Réutilisation indirecte
Station de lagunage aéré de Hacine	20000	3200	24630	24630	390		
Station de lagunage naturel d'Oued Taria	21000	2520	19440	19440	196		
Station de lagunage naturel de Hachem	15000	1800	38400	/	220		
Station de lagunage naturel de Sehaouria	12600	1513	STEP à l'arrêt		143		
Station de lagunage naturel de Tizi	12000	1440	26490	26490	200		
Station de lagunage naturel de Mohammadia Est	19000	2280	35100	35100	175		
Station d'épuration à boues activées d'Ain El Hadjar	30000	4800	101670	22150	58	Arboriculture, Céréales	Autorisation DRE
Total des 17 STEP	1534336	278585	4168990	2238885		11076	

II.2.3.2. Réutilisation municipale

En Algérie, la réutilisation des eaux épurées en milieu urbain est largement répandue. Les principaux utilisateurs d'eaux usées épurées sont la Protection Civile, qui récupère un volume mensuel de 18 763 m³ d'eaux épurées de la station d'épuration de Tipaza pour lutter contre les incendies, ainsi que les collectivités locales, qui utilisent 12 m³ d'eaux épurées par mois pour le nettoyage de la ville à partir de la station d'épuration de Boumerdès. Ces exemples illustrent la diversité des applications de la réutilisation des eaux épurées en milieu urbain en Algérie.

II.2.3.3. Réutilisation industrielle

En Algérie, un exemple notable est celui de la station d'épuration de Jijel, qui fournit un volume de 15 000 m³ d'eau usée par mois à la tannerie de Jijel. Cela illustre la possibilité de réutilisation des eaux épurées à des fins industrielles dans le pays.

II.2.4. Avantages de la réutilisation des eaux usées épurées

La pratique de la réutilisation des eaux usées épurées, présente de nombreux avantages à différents niveaux. On note ci-dessous les trois principaux bénéfices observés :

II.2.4.1. Bénéfices environnementaux

- Les eaux usées traitées contiennent des matières organiques qui permettent de réduire l'utilisation de pesticides et d'autres intrants toxiques dans la nature, notamment dans les cultures agricoles;
- La réutilisation des eaux usées traitées contribue à maintenir un niveau satisfaisant des nappes phréatiques, évitant ainsi leur détérioration;
- Comparée à la désalinisation de l'eau de mer, la réutilisation des eaux usées épurées est un procédé moins polluant;
- Les eaux usées traitées peuvent être déversées dans les zones côtières sans risque pour l'environnement [44].

II.2.4.2. Bénéfices sociétaux

- La réutilisation des eaux usées épurées applique les principes de l'économie circulaire, contribuant ainsi à la lutte contre le gaspillage et permettant de bénéficier de nouvelles ressources sans avoir recours à l'eau potable;
- Elle aide à réduire l'indice mondial de stress hydrique, étant donné que plus de 40% de la population mondiale est confrontée à un risque élevé de stress hydrique [44].

II.2.4.3. Bénéfices économiques

- La réutilisation des eaux usées épurées en circuit interne permet aux industries de réduire leur consommation d'eau de 40 à 90%, ce qui entraîne d'importantes économies pour les entreprises.
- La réutilisation des eaux usées épurées favorise une tarification plus adaptée de l'eau.
- En cas d'épisodes de sécheresse intense avec des restrictions sur l'eau potable, la réutilisation des eaux usées épurées permet de limiter les pertes économiques en offrant une alternative durable dans la gestion de l'eau [44].

II.2.5. Inconvénients de la réutilisation des eaux usées épurées

La réutilisation des eaux usées présente des inconvénients potentiels tels que les préoccupations sanitaires liées à la présence de contaminants résiduels, la perception négative du public, les coûts élevés de la mise en œuvre, la complexité réglementaire et l'impact environnemental sur les écosystèmes locaux. Cependant, ces inconvénients peuvent être atténués par une planification adéquate, l'utilisation de technologies de traitement avancées, la sensibilisation du public, la mise en place des réglementations claires et une gestion responsable des effluents. Malgré ces défis, la réutilisation des eaux usées épurées peut être une approche durable et bénéfique pour la gestion de l'eau [44].

II.3. Réutilisation des boues

La réutilisation des boues, également connue sous le nom de valorisation des boues, est un processus qui vise à donner une nouvelle utilité aux boues issues du traitement des eaux usées ou d'autres processus industriels. Plutôt que de les considérer comme des déchets, les boues peuvent être transformées en ressources précieuses ou utilisées de manière écologique.

II.3.1. Types de la réutilisation des boues

Il existe plusieurs types de réutilisation des boues, en fonction des applications et des processus utilisés.

II.3.1.1. Utilisation agricole

Les boues peuvent être traitées et utilisées comme engrais ou amendements organiques dans l'agriculture. Elles peuvent fournir des éléments nutritifs aux sols et favoriser la croissance des plantes. Cependant, il est important de veiller à ce que les boues soient traitées conformément aux normes réglementaires pour minimiser les risques pour la santé et l'environnement.

II.3.1.2. Production d'énergie

Les boues peuvent être utilisées pour la production d'énergie. Par exemple, elles peuvent être digérées anaérobiquement pour produire du biogaz, qui peut ensuite être utilisé pour générer de la chaleur, de l'électricité ou du gaz naturel. Cela permet de valoriser les boues et de réduire la dépendance aux combustibles fossiles.

II.3.1.3. Construction et génie civil

Les boues peuvent être mélangées à d'autres matériaux de construction, tels que le ciment ou les briques, pour fabriquer des produits de construction. Cela permet de réduire l'utilisation de matériaux vierges et de valoriser les boues.

II.3.1.4. Récupération de métaux

Les boues peuvent contenir des métaux précieux, tels que l'argent, l'or ou le cuivre. Des techniques de récupération des métaux peuvent être utilisées pour extraire ces éléments des boues et les recycler.

II.3.1.5. Utilisation dans les zones humides ou les habitats naturels

Les boues peuvent être utilisées pour la restauration des zones humides ou des habitats naturels. Elles peuvent contribuer à améliorer la qualité des sols et à favoriser la biodiversité.

Il convient de noter que la réutilisation des boues doit être réalisée conformément aux réglementations et aux normes en vigueur dans chaque pays. Des procédures de traitement appropriées doivent être suivies pour éliminer les contaminants et minimiser les risques potentiels pour la santé humaine et l'environnement.

II.3.2. Réutilisation des boues dans le monde

La réutilisation des boues peut varier d'un pays à un autre en fonction des politiques environnementales, des normes de traitement des eaux usées et des pratiques agricoles ou industrielles.

Europe : De nombreux pays européens ont adopté des réglementations strictes concernant la réutilisation des boues. En général, les boues sont soumises à un traitement rigoureux avant d'être utilisées comme engrais agricole. Certains pays, comme les Pays-Bas, encouragent également la production du biogaz à partir des boues.

États-Unis : Aux États-Unis, la réutilisation des boues est réglementée par l'Environmental Protection Agency (EPA). Les boues peuvent être utilisées comme engrais agricole, mais doivent respecter des critères stricts pour la protection de l'environnement et de la santé publique.

Chine : La Chine est confrontée à d'importants défis en matière de gestion des boues en raison de la croissance rapide de sa population et de son développement industriel. Le pays met en œuvre des politiques de réutilisation des boues, notamment dans l'agriculture, la production d'énergie et la construction.

Japon : Le Japon est connu pour ses avancées dans la gestion des boues. Des technologies de pointe sont utilisées pour le traitement et la réutilisation des boues, notamment dans la production du biogaz et d'engrais.

Afrique : Dans certains pays africains, la réutilisation des boues reste limitée en raison de contraintes techniques et financières. Cependant, des initiatives sont en cours pour promouvoir l'utilisation des boues dans l'agriculture, notamment en fournissant des équipements et des formations aux agriculteurs.

Il convient de noter que la réutilisation des boues doit être réalisée de manière responsable pour prévenir les risques potentiels pour la santé humaine et l'environnement. Les normes et réglementations appropriées doivent être en place pour garantir une utilisation sûre et efficace des boues réutilisées.

II.3.3. Défis de la réutilisation des boues

La réutilisation des boues présente certains défis qui doivent être pris en compte pour assurer une gestion appropriée. On mentionne quelques-uns des défis courants associés à la réutilisation des boues :

II.3.3.1. Contaminants et risques pour la santé

Les boues peuvent contenir des contaminants tels que des métaux lourds, des substances chimiques toxiques et des agents pathogènes. Avant toute réutilisation, les boues doivent être traitées de manière à éliminer ou à réduire ces contaminants afin de minimiser les risques pour la santé humaine et l'environnement.

II.3.3.2. Normes et réglementations

La réutilisation des boues est soumise à des normes et réglementations strictes dans de nombreux pays. Ces règlements définissent les critères de qualité, les procédures de traitement, les limites d'utilisation et les exigences en matière de suivi. Il est essentiel de se conformer à ces normes pour garantir une réutilisation sûre et responsable des boues.

II.3.3.3. Acceptation sociale

L'acceptation sociale de la réutilisation des boues peut être un défi important. Certaines personnes peuvent avoir des préoccupations concernant l'utilisation de boues traitées dans l'agriculture ou d'autres applications. Une communication efficace, la sensibilisation du public et la transparence sont essentielles pour susciter la confiance et l'acceptation de la réutilisation des boues.

II.3.3.4. Coûts de traitement

Le traitement des boues pour les rendre appropriées à la réutilisation peut être coûteux. Il peut nécessiter des infrastructures et des technologies spécifiques, ainsi que des processus de contrôle de la qualité. Les coûts de traitement doivent être évalués pour déterminer la viabilité économique de la réutilisation des boues.

II.3.3.5. Logistique et transport

La gestion des boues implique également des défis logistiques et de transport. Les boues doivent être collectées, stockées, transportées et distribuées vers les sites d'utilisation appropriés. La planification efficace de ces étapes est essentielle pour assurer un flux de matières sécurisé et efficient.

Il est important de souligner que la réutilisation des boues doit être réalisée de manière à prévenir les impacts négatifs sur l'environnement et à protéger la santé publique. Des évaluations de risques approfondis, une surveillance continue et une gestion adéquate des boues sont essentielles pour relever les défis associés à leur réutilisation.

II.4. Normes des rejets

II.4.1. Normes de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé)

Dans plusieurs pays, des normes de rejet ont été établies afin d'atténuer les impacts négatifs de rejet des eaux usées épurées dans les milieux récepteurs, et d'éviter de causer des problèmes environnementaux. Une norme est fixée par une loi, une directive, un décret de loi. Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé pour les eaux usées sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau II.2 : Normes de rejets internationales selon l'OMS

Paramètres	Unité	Normes utilisés
PH	-	6,5 - 8,5
DBO ₅	mg/l	< 30
DCO	mg/l	< 90
MES	mg/l	< 20
NH ₄ ⁺	mg/l	< 0,5
NO ₂	mg/l	1
NO ₃	mg/l	< 1
P ₂ O ₅	mg/l	< 2
Température	°C	< 30
Couleur	-	Incolore
Odeur	-	Incolore

II.4.2. Normes du Journal Officiel de la République Algérienne (JORA 2012)

Concernant l'Algérie, les valeurs limitent spécifiées aux eaux usées épurées utilisées à des fins agricoles, sont fixées par les décrets du journal officiel de la république algérienne en 2012 indiquées dans le tableau suivant :

Tableau II.3 : Valeurs limites des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (JORA 2012)

	Paramètres	Unité	Concentration maximale admissible
Physiques	PH	—	6,5 à 8,5
	MES	mg/l	30
	DBO ₅	mg/l	30
Chimiques	DCO	mg/l	90
	Chlorure (Cl)	mg/l	10
	Azote (NO ₃ - N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO ₃)	mg/l	8,5
	Aluminium	mg/l	20
Éléments toxiques (*)	Arsenic	mg/l	2
	Béryllium	mg/l	0,5
	Bore	mg/l	2
	Cadmium	mg/l	0,05
	Chrome	mg/l	1
	Cobalt	mg/l	5
	Cuivre	mg/l	5
	Cyanures	mg/l	0,5
	Fluor	mg/l	15
	Fer	mg/l	20
	Phénols	mg/l	0,002
	Plomb	mg/l	10
	Lithium	mg/l	2,5
	Manganèse	mg/l	10
	Mercure	mg/l	0,01
	Molybdène	mg/l	0,05
	Nickel	mg/l	2
	Sélénium	mg/l	0,02
	Vanadium	mg/l	1
	Zinc	mg/l	10

(*) : Pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin.

II.4.3. Normes des boues sèches

Teneurs en éléments traces métalliques dans les boues [54].

La concentration maximale admissible, exprimée en milligramme par kilogramme de matière sèche (mg/kg de MS) est la suivante :

Cadmium.....	40
Chrome.....	1750
Cuivre.....	1750
Mercure.....	25
Nickel.....	400
Plomb.....	1200
Zinc.....	4000

Aucune teneur des boues en l'un de ces éléments traces ne doit excéder de 25% la teneur maximale correspondante.

Chapitre III :
Présentation de la zone d'étude

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous avons exposé notre zone d'étude qui comprend la station d'épuration d'Ain El-Houtz, la plaine de Hennaya et en particulier, la ferme de Haoulia, en mettant en évidence les paramètres d'entrée et de sortie de la STEP, ainsi les caractéristiques de la plaine mentionnée précédemment et de la ferme étudiée.

III.2. Station d'épuration d'Ain El-Houtz

Les stations d'épuration (STEP) sont les équipements épuratoires qui assurent une dépollution plus ou moins poussée des eaux usées, et une production de boues. Elles font en général intervenir des traitements biologiques aérobies (boues activées et lagunages). Des procédés physico-chimiques (décantation, coagulation...).

III.2.1. Situation géographique de la station d'Ain El-Houtz [49]

La station d'épuration de la ville de Tlemcen se situe au Nord du chef-lieu « Tlemcen Ville », à l'Ouest de Chetouane « Daïra » sur la Route d'Ain El-Houtz conçue pour une population de 150 000 eq/hab d'une capacité de 30 000 m³/j, elle a été réalisée par l'Entreprise Hydrotraitement gérée et exploitée actuellement par l'Office National de l'Assainissement (ONA).



Figure III.1 : Vue générale de la station d'épuration ONA – Tlemcen

III.2.2. Présentation de la station d'épuration d'Ain El-Houtz

La station d'épuration de la ville de Tlemcen est de type « Boues activées » à faible charge. Dans le traitement biologique des effluents, on fait généralement appel aux processus aérobies par lesquels les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau (Figure III.2).

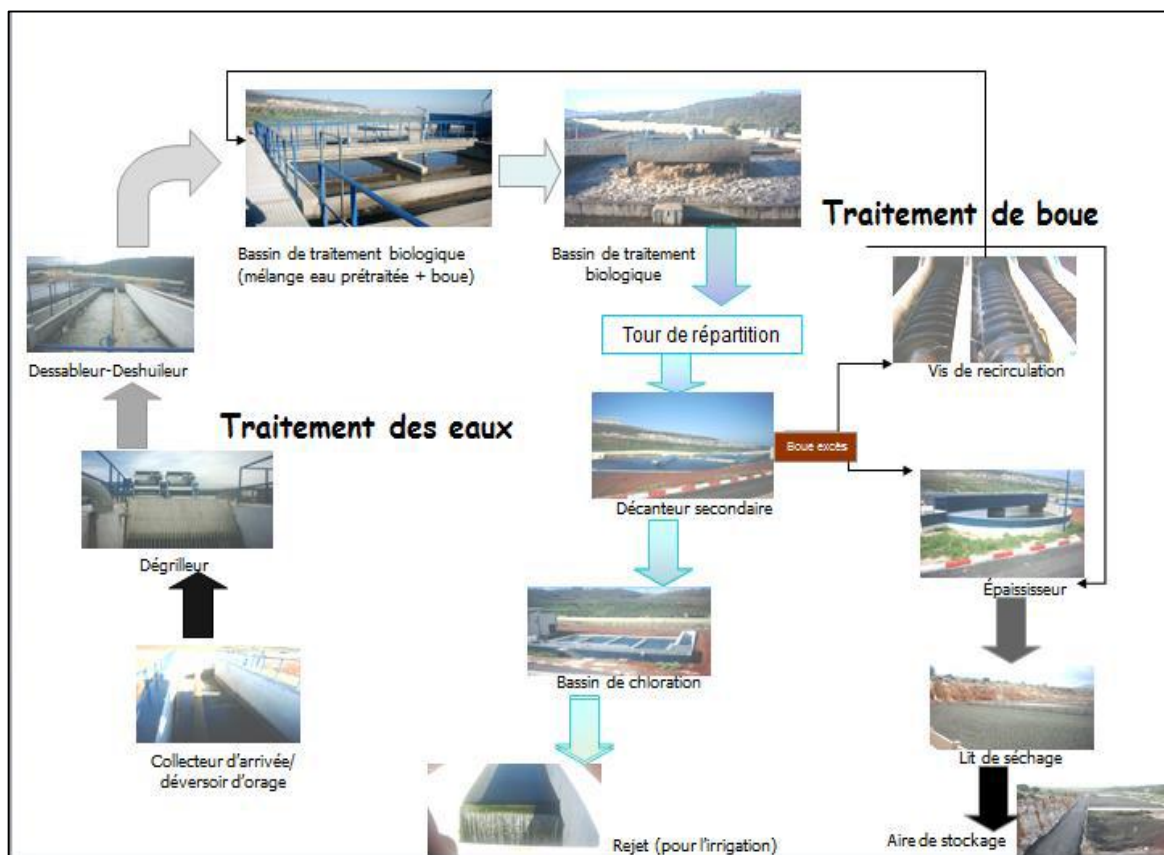


Figure III.2 : Schéma explicatif du traitement des eaux usées de la STEP d'Ain El-Houtz

Le centre d'assainissement de Tlemcen gère un réseau d'environ 148 km.

La STEP de Tlemcen a été mise en service le 29/10/2005. Elle a pour impact de protéger le barrage Sekkak et l'alimentation du réseau d'irrigation de la plaine de Hennaya (912 ha).

Cette station a été dimensionnée sur la base des données suivantes (Tableau III.1) :

Tableau III.1 : Tableau récapitulatif des données de base de la STEP d'Ain El-Houtz

Horizon	2005
Type de réseau	Unitaire
Nature des eaux brutes	Domestiques
Population	150000 eq/hab
Débit journalier	30000 m ³ /j
Débit de pointe horaire admis au traitement	3800 m ³ /h
DBO ₅ journalière	9300 kg/j
Matière en suspension	13950 kg/j
Azote à nitrifier	1980 kg
Équivalence calculée sur la DBO	172000 eq/hab

Les tableaux III.2 et III.3 présentent les concentrations maximales admissibles pour les paramètres physico-chimiques des eaux usées à l'entrée de la STEP d'Ain El-Houtz et des eaux épurées à la sortie de cette STEP.

❖ **Les indicateurs d'entrée**

Tableau III.2 : Paramètres d'entrée de la STEP d'Ain El-Houtz

Paramètre	Unité	Concentration maximale admissible
PH	-	5,5 – 8,5
MES	mg/l	600
DCO	mg/l	1000
DBO ₅	mg/l	500
Température	C°	< 30

❖ **Les indicateurs de sortie**

Tableau III.3 : Paramètres de sortie de la STEP d'Ain El-Houtz

Paramètre	Unité	Concentration maximale admissible
PH	-	6,5
MES	mg/l	30
DCO	mg/l	90
DBO ₅	mg/l	30
Azote (N-NO ₃)	mg/l	30

À la fin, toutes ces eaux épurées seront dirigées vers un bassin occupée par l'ONID (Office National de l'Irrigation et de Drainage) qui va le partager entre les Arbor agriculteurs.

III.3. Périmètre de Hennaya [50]

III.3.1. Présentation du périmètre de Hennaya

Le périmètre de Hennaya (Tlemcen) est un périmètre agricole irrigué par des eaux usées traitées issue de la station d'épuration d'Ain El-Houtz, il s'étend sur une superficie de 912 ha réparties sur 28 exploitations agricoles collectives (EAC) et individuelles (EAI) spécialisées dans les agrumes, l'arboriculture, les céréalicultures dont 170 agriculteurs bénéficient.

III.3.2. Situation géographique du périmètre de Hennaya

La direction régionale de l'Oranie a pris en charge le périmètre d'irrigation de Hennaya (Wilaya de Tlemcen) à partir du mois de Mars 2011.

III.3.2.1. Localisation

Le périmètre de Hennaya se situe au Nord du chef-lieu de la commune, à 11 km en aval de la station d'épuration des eaux usées « Ain El-Houtz ». Il est limité (Figure III.3):

- ✓ À l'Est par la route départementale CW 45 reliant Hennaya à Bensekrane;
- ✓ À l'Ouest par la route nationale RN°22 reliant la ville de Tlemcen à la ville d'Oran;
- ✓ Au Nord par la route départementale qui mène au village d'Ain Youcef;
- ✓ Au Sud par la ville de Hennaya.

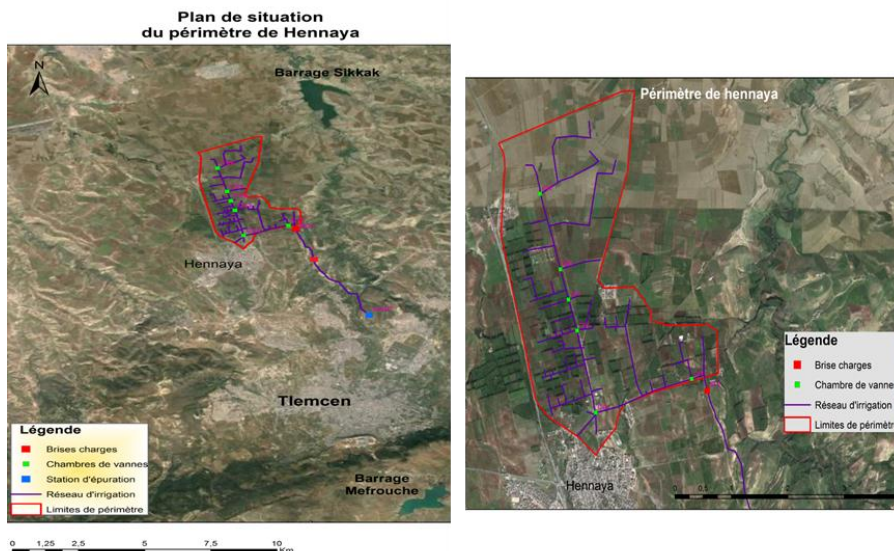


Figure III.3 : Plan de la situation géographique du périmètre de Hennaya

III.3.2.2. Superficie du périmètre de Hennaya

Le périmètre d'irrigation de Hennaya a une superficie de 912 ha équipé dont 745 ha exploité. Les terrains pris en considération pour l'irrigation ont un caractère fortement plat avec une pente régulière de 1,7%. L'altitude des terrains prise en considération est entre 304 m et 358 m.



Figure III 4 : Périmètre du plateau de Hennaya

III.3.3. Consistance de l'aménagement de la plaine de Hennaya

L'alimentation en eau du périmètre est assurée par les eaux recyclées en provenance de la station d'épuration de la ville de Tlemcen située à Ain El-Houtz et les eaux issues des forages.

Le volume recyclé est environ 11 million m³/an soit un volume de 30 000 m³/jour est le volume qui reste non atteint à ce jour. Cette eau sera stockée au niveau du bassin de régulation qui assurera la distribution au niveau du périmètre.

III.3.3.1. Bassin de régulation

Il s'agit d'un bassin en béton armé d'une capacité de 9300 m³, il est implanté à la cote 525 m. Il est localisé juste à la sortie de la station d'épuration équipé de deux chambres de vanne, suite à la sortie de cette eau elle sera transportée par deux types de réseau qui sont un réseau d'adduction et un réseau de distribution.

III.3.3.1.1. Réseau d'adduction

Le réseau d'adduction permettant la liaison entre le bassin de régulation et l'entrée du périmètre s'étend sur un total de 13 835 mètres linéaires.

III.3.3.1.2. Réseau de distribution

Le réseau de distribution, situé à l'entrée du périmètre, est constitué de 14 conduites principales avec leurs ramifications, ayant des diamètres allant de 90 mm à 500 mm en PVC. Il s'étend sur une longueur totale de 26 720 mètres linéaires. De plus, il comprend 1 622,2 mètres linéaires de conduites en acier, avec des diamètres variant de 80 mm à 800 mm.

Tableau III.4 : Consistance de l'aménagement de la plaine de Hennaya

Désignation	Valeur	Nature
1 Réservoir	9300 m ³	
2 Bassins	200 m ³	Brise charge
Réseau d'adduction linéaire	13835 ml	Frété béton de Φ 600 à Φ 800
Réseau distribution linéaire	26720 ml	PVC de Φ 90 à Φ 500
Bornes d'irrigation	102	

III.3.4. Cultures irriguées par les eaux usées traitées (périmètre de Hennaya)

Le tableau ci-dessous (Tableau III.5) résume les différentes cultures irriguées à partir des eaux épurées dans le périmètre irrigué de Hennaya :

Tableau III.5 : Classification des cultures du périmètre de Hennaya en 2018

Cultures	Agrumes	Arbres fruitiers divers	Oliviers	Céréales
Superficie (ha)	475	150	70	50

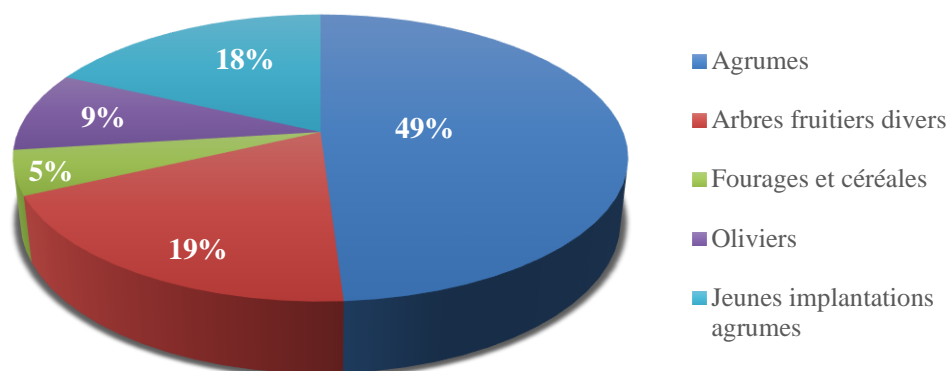


Figure III.5 : Graphique en secteurs de classification des cultures du périmètre de Hennaya

III.3.5. Campagne d'irrigation dans le périmètre de Hennaya (2011-2020)

La campagne d'irrigation dans le périmètre de Hennaya est une période pendant laquelle les cultures sont irriguées de manière planifiée et coordonnée. Elle vise à fournir aux cultures les quantités d'eau nécessaires pour leur croissance et leur développement optimal. La campagne d'irrigation peut varier en fonction des besoins spécifiques des différentes cultures et des conditions climatiques de la région. Et la campagne d'irrigation de périmètre sur le tableau suivant :

Tableau III.6 : Campagne d'irrigation p.Hennaya (2011-2020)

Année	Volume distribué (m ³)	Superficie souscrite (ha)	Superficie irriguée (ha)	Nombre d'irrigants
2011	1904660	350	350	150
2012	791470	350	350	150
2013	988695	350	350	150
2014	1527520	350	350	150
2015	2953600	665	665	170
2016	2853000	665	665	170
2017	1958400	735	735	170
2018	2454300	735	695	170
2019	1346200	800	705	170
2020	2145440	800	800	170

III.4. Présentation de la ferme de Haoulia

III.4.1. Identification de l'exploitation agricole

La ferme de Haoulia, située dans le village d'Abdeljabar, a débuté son activité agricole en 1991. Elle s'étend sur une superficie totale de 12 hectares. La ferme s'est consacrée à l'agriculture et a développé ses activités sur l'ensemble de sa superficie.

III.4.2. Localisation géographique de la ferme

La ferme de Haoulia est localisée par sa latitude de 34°58'54,00'' et sa longitude de 1°22'20,83''.

Elle est limitée au Nord du Foyers du village Abdeljabar « wilaya de Tlemcen », à l'Ouest de Route nationale, à l'Est du village Mokassem et au Sud de la commune de Hennaya.

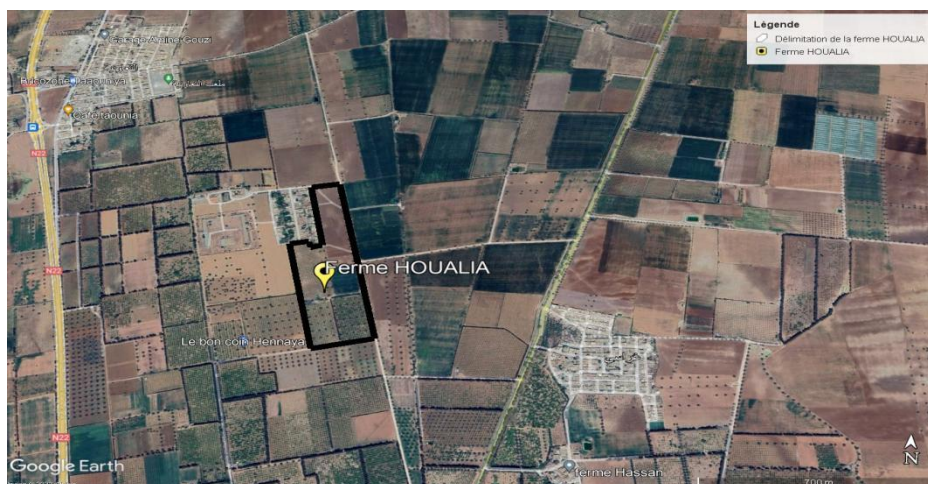


Figure III.6 : Situation géographique de la ferme Haoulia

III.4.3. Cultures et irrigation

Les différents types de cultures dans la ferme de Haoulia, leurs superficies, les méthodes d'irrigation utilisées, les périodes d'irrigation, les besoins annuels en eau douce et les sources d'eau utilisées pour l'irrigation sont indiqués dans le Tableau III.7.

Tableau III.7 : Cultures irriguées dans la ferme Haoulia

Type de culture	Superficie (Ha)		Type d'irrigation	Période d'irrigation	Besoin en eau douce annuel (m ³)	Source d'eau utilisée pour l'irrigation
Agrumes	7	3	Goutte à goutte	Mai→Fév 9 mois	9000	Eau douce (puits) + eaux épurées
		4	Gravitaire			
Céréales (blé dur)	2		Aspersion	Fév→Mai 4 mois	2800	Eau douce (puits)
Maraîchères	1		Goutte à goutte	Mai→Juin 2 mois	200	Eau douce (puits)
Pastèques	2		Goutte à goutte	Avr→Juin 3 mois	1600	Eau douce (puits)
		$\Sigma = 12$			$\Sigma = 13600$	

III.4.4. Caractéristiques du réseau d'irrigation

III.4.4.1. Caractéristiques du puits

Le Tableau III.8 présente les caractéristiques du puits de la ferme étudiée.

Tableau III.8 : Caractéristiques du puits de la ferme Haoulia

Profondeur du puits	Diamètre du puits	Niveau statique de l'eau	Niveau dynamique de l'eau
45 m	2 m	25 m	31 m

III.4.4.2. Caractéristiques des pompes utilisées

Le Tableau III.9 présente les caractéristiques des pompes existantes dans la ferme étudiée.

Tableau III.9 : Caractéristiques des pompes de la ferme Haoulia

Nombre de pompes	Puissance des pompes (watt)	Type du couplage des pompes	Type des pompes	Profondeur d'emplacement des pompes (m)	Date d'installation des pompes
2	5148.49 W (7 chevaux)	Parallèle	Immergée	42	1997
	7354.99 W (10 chevaux)		Immergée	42	2018

III.4.4.3. Caractéristiques du bassin

Le Tableau III.10 présente les caractéristiques des pompes existantes dans la ferme étudiée.

Tableau III.10 : Caractéristiques du bassin de la ferme Haoulia

Volume du bassin	Hauteur du bassin	Longueur du bassin	Largeur du bassin
200 m ³	2 m	10 m	10 m

III.4.4.4. Caractéristiques des tuyauteries

Le Tableau III.11 présente les caractéristiques des tuyauteries utilisées dans la ferme étudiée.

Tableau III.11 : Caractéristiques des tuyauteries de la ferme Haoulia

Paramètre	Entre le puits et le bassin	Entre le bassin et la parcelle la plus lointaine
Longueur de conduite	25 m	700 m
Diamètre de conduite	75 mm	75 mm

Chapitre IV :
Matériels et méthodes

Chapitre IV : Matériels et méthodes

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les détails sur les matériels et les méthodes utilisés dans notre étude sur la culture de pommes de terre. Nous commencerons par fournir des informations générales sur la culture de la pomme de terre, y compris les conditions de croissance, les méthodes de culture et la classification de cette culture. Ensuite, nous décrirons le dispositif expérimental que nous avons mis en place, y compris les matériels utilisés, la mise en place de la culture, le suivi de l'expérimentation et la récolte des données. Nous expliquerons également les types d'eau utilisés pour l'irrigation et nous comparerons les niveaux de potassium (K) et de sodium (Na) dans le sol avec et sans l'ajout de boue, et aussi nous élaborons quelques analyses des éléments trace (Pb, Cr et Cd) de la boue et le sol.

Il est essentiel de souligner que les plantes de pommes de terre utilisées dans notre étude étaient cultivées à des fins expérimentales et de comparaison uniquement. Elles n'étaient pas destinées à la consommation directe, car la culture de pommes de terre dans un contexte maraîcher ne permet pas l'irrigation avec de l'eau épurée.

IV.2. Généralités sur la culture pomme de terre

La culture de la pomme de terre est d'une grande importance économique et alimentaire, fournissant une source importante de nourriture dans de nombreux pays. Elle offre également une variété de variétés avec différentes tailles, formes et couleurs, adaptées à diverses utilisations culinaires. [52]



Figure IV. 1 : Culture pomme de terre [51]

IV.2.1. Conditions de croissance de la pomme de terre

Les pommes de terre poussent dans un large éventail de climats, mais elles préfèrent généralement des températures fraîches à modérées. Elles nécessitent un sol bien drainé, riche en matière organique et en nutriments. Les variétés de pommes de terre peuvent varier en termes de besoins en lumière du soleil, d'humidité et de résistance aux maladies. [52]

IV.2.2. Méthodes de culture de la pomme de terre

La culture de la pomme de terre peut être réalisée à partir de graines, mais elle est généralement réalisée en utilisant des tubercules de pomme de terre comme semences. Les tubercules sont plantés dans des sillons ou des trous et sont généralement recouverts de terre. Les plants de pomme de terre nécessitent un arrosage adéquat et peuvent être sensibles aux mauvaises herbes, aux maladies et aux ravageurs. [52]

IV.2.3. Classification de la culture pomme de terre

La pomme de terre (*Solanum tuberosum*) est une espèce de plante appartenant à la famille des Solanaceae (ou solanacées). La classification taxonomique de la pomme de terre est la suivante : [2]

Règne : Plantae (règne des plantes)
Division : Magnoliophyta (plantes à fleurs)
Classe : Magnoliopsida (dicotylédones)
Ordre : Solanales
Famille : Solanaceae (solanacées)
Genre : Solanum
Espèce : Solanum tuberosum

IV.2.4. Besoins en eau de la pomme de terre

La culture de la pomme de terre nécessite des quantités variables d'eau en fonction du stade de croissance de la plante, des conditions climatiques, du type de sol et des pratiques agricoles spécifiques. Les besoins en eau sont modérés à élevés, et voici les principaux points à retenir : [52]

IV.2.4.1. Phase de croissance initiale

Une humidité adéquate est nécessaire pour favoriser la germination et l'établissement des plants. Un arrosage régulier et une surveillance de l'humidité du sol sont importants. [52]

IV.2.4.2. Période de croissance active

À mesure que les plants de pomme de terre se développent, leurs besoins en eau augmentent. La quantité d'eau nécessaire dépend des précipitations, de l'évaporation potentielle, de l'humidité du sol, et d'autres facteurs. Dans les régions où les précipitations sont insuffisantes, un arrosage supplémentaire peut être nécessaire pour maintenir une humidité adéquate du sol. [52]

IV.2.4.3. Période de tubérisation

Pendant cette phase, lorsque les tubercules commencent à se former, les besoins en eau augmentent davantage. Une irrigation régulière et suffisante est essentielle pour soutenir la croissance et le développement des tubercules. [52]

IV.2.4.4. Maturité et récolte

À mesure que la pomme de terre atteint sa maturité, les besoins en eau peuvent être réduits pour faciliter le processus de maturation et de durcissement des tubercules avant la récolte. Cependant, un déficit hydrique important peut affecter la qualité et la taille des tubercules. [52]

Il est important de noter que les besoins en eau précis varient en fonction des conditions locales, telles que le climat, le type de sol, la variété de pomme de terre, et les pratiques de gestion de l'eau. Les agriculteurs utilisent différentes méthodes d'irrigation, comme l'aspersion, l'irrigation goutte à goutte ou l'irrigation gravitaire, en fonction de ces facteurs. [52]

IV.3. Dispositif expérimental (mise en place de la culture)

Le dispositif expérimental a pour but de mettre en valeur les sous-produits issus soit des transformations des produits agricoles ou d'autres tels que la boue qui est un sous-produit des traitements des eaux domestiques utilisé.

Ces sous-produits résident dans la boue et l'eau épurée.

Donc la réutilisation ou l'utilisation de ces matières dans le domaine de l'agriculture et plus particulièrement dans la production agricole végétale et sont utilisés comme fertilisant.

Pour cela un dispositif a été mis en place sur une culture de multiplication de pomme de terre en utilisant la boue comme fertilisant est aussi d'autre fertilisant ont été utilisés dans le premier est d'origine animale est l'autre d'origine minérale.

IV.3.1. Matériels utilisés

IV.3.1.1. Matériel Végétale

Tubercules de pomme de terre destinée à la multiplication

IV.3.1.1.1. Les amendements (fertilisants)

1. Boues issues de station d'épuration AIN EL HOUTZ
2. Matière organique animale
3. Engrais minéraux composes (N P K)

IV.3.1.1.2. Eaux utilisées

Eau douce (eau de puits)

Eau épurée de la Station d'épuration Ain el Houtz

IV.3.1.1.3. Matériel et équipement d'irrigation

4. Les futs en plastique (réservoir de 200 l)
5. Futs en métal (utilises comme supports)
6. Madriers
7. Les robinets
8. La gaine utilisée en électricité Bâtiments
9. Les tubulures de santé (tubes de sérum)
10. Les aiguilles (utilises pour infusion)
11. Colle
12. Pistolet électrique à souder
13. Autre matériel de quincaillerie (raccords et autres)

IV.3.1.1.4. Matériel aléatoire

- Houe
- La cisaille
- Le fil de fer
- Les supports
- La pelle
- Mètre ruban
- Pompe centrifuge
- Scotch



Photo IV. 3 La boue



Photo IV. 2 : Matière organique animal

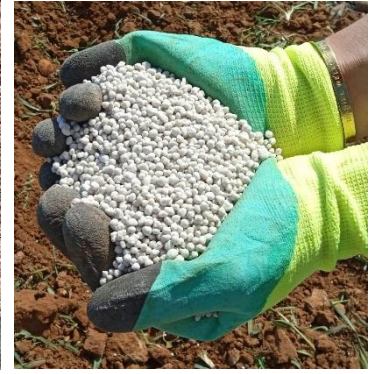


Photo IV. 1 : Engrais



Photo IV. 4: Futs en plastique d'une capacité de 200 L pour irrigation



Photo IV. 6: Robiniers



Photo IV.5: La gaine

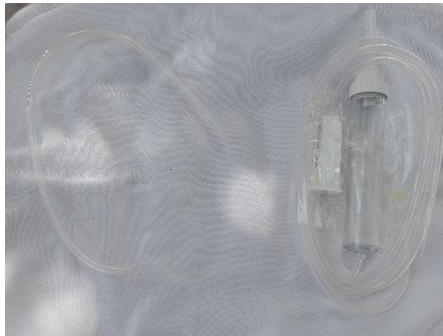


Photo IV. 8 : Les tubulures de santé

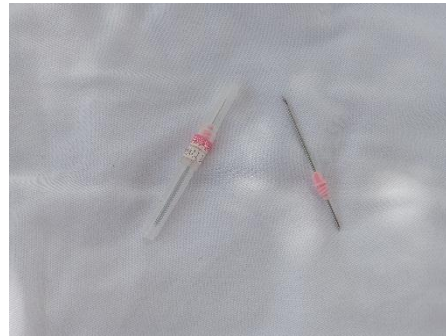


Photo IV.7: Les aiguilles



Photo IV.9 : Matériel aléatoire

IV.3.2. Mise en place

La parcelle expérimentale utilisée d'une superficie de 15 m² soit une longueur de 3m et d'une largeur de 5m.

1. Préparation du sol :

- a) Il s'agit de renverser le sol à l'aide d'une houe afin d'ameublir le sol et de dégager les mauvaises herbes.
- b) Ouverture de sillons d'une longueur de 3m est une profondeur de 10 à 15cm au nombre de 8 ligne espacé de 80cm.



Photo IV.10 : Préparation du sol

2. Epannage de fertilisant :

L'opération consiste à épandre de fertilisant dans chaque sillon notamment (la boue, MOA, engrais minéraux et ligne témoin).



Photo IV 11 : Epannage de fertilisant

3. Semis :

L'opération consiste à mettre en place les tubercules de pomme de terre dans les sillons espacés de 20 cm soit un nombre de 14 tubercules par ligne, ensuite de recouvrir de terre.



Photo IV.12 : Semis de pomme de terre

4. Conception de réseau d'irrigation :

Incorporer des aiguilles fixes par une colle menée des tubulures de 20 à 30 cm constituant les goutteurs sur la gaine qui constitue la ligne d'irrigation.

Les gaines servant de ligne d'irrigation sont jointes (rattachées) à un répartiteur qui a son tour est relié un robinet d'alimentation fixe au fut qui constitue le réservoir d'alimentation.

Le fut en plastique conçu comme réservoir d'eau destinée à l'irrigation est suspendu sur un fut en métal servant de support à une hauteur d'un mètre afin d'assurer une pression au niveau des goutteurs.

L'opération a été répétée deux fois car on a utilisé deux types d'eau d'irrigation notamment l'eau épurée et l'eau douce (puits).

Dans le but de faciliter le control des goutteurs, le réseau a été suspendu et ce en utilisant des piquets enfoncés sur la périphérie de la parcelle et reliés avec le fil de fer à une hauteur de 30 cm au-dessus des lignes.

On a procédé à des essais d'irrigation afin de déterminer le débit, le temps et le volume d'eau d'irrigation.



Photo IV 13 : Conception de réseau d'irrigation

IV.3.3. Conduit et suivi de l'expérimentation

Conduit et suivi de l'expérimentation consiste aux opérations suivantes :

IV.3.3.1. Irrigation

Pour le calcul du débit goutteur, on a mesuré le volume d'eau irrigué pour chaque ligne et on a pris leur moyenne pour un temps fixe d'une heure.

Besoin en eau de la pomme de terre en tenant compte de tous les contraintes est de **3 à 5 mm/j**

On a : **1mm → 1l/m²**

Pour 3 mm/j = 3 l/m²/j

La surface pour 4 lignes est de 10 m² donc :

3 l/m²/j * 10 m² = 30 l/j

30 l/j * 7 = 210 l/semaine

On a procédé à un calendrier d'irrigation hebdomadaire depuis la mise en place présenté dans le tableau suivant :

Tableau IV 1 : Les jours d'irrigation

Semaine	Jour d'irrigation	Quantité d'eau (litres *2)
1	09/04/2023	210
2	16/04	210
3	23/04	210
4	30/04	210
5	06/05	210
6	14/05	210
La 7 ^{ème} semaine nous avons un pluviomètre de 15 mm 1mm = 5m ³ /hectare → 15mm = 75m³/ha		
8	28/05	210
9	1/06	210
10	06/06	210

11	11/06	210
12	17/06	210
13	21/06	210
		$\Sigma = 5000 \text{ l} =$ environ $3500\text{m}^3/\text{hectare}$

IV.3.3.2. Le traitement sanitaire

Durant le suivie on a constaté une maladie cryptogamique suite à laquelle on a procédé au traitement à l'aide d'un produit fongicide «anti mildiou » le 11/06/2023.



Photo IV. 14: Traitement par anti mildiou

IV.3.3.3. Entretien

Nous avons entrepris la tâche de désherber manuellement et d'effectuer des travaux d'entretien, notamment en éliminant les mauvaises herbes et une opération de buttage (Réalisation de butte le sol autour des tubercules).



Photo IV. 15 : Installation final de dispositif

IV.3.4. Récolte

Elle consiste à la récolte de trois plants aléatoirement de chaque ligne et de procéder aux mesures de paramètres biométriques suivant :

- La hauteur de tige ;
- Les nombres des tiges ;
- Les nombres des tubercules ;
- Le poids total des tubercules ;
- Calibre des tubercules (inférieur « < 35 », supérieur « >55 » et entre « 35-55 ») ;
- Le poids des différents calibres.

IV.3.5. Eaux utilisées pour l'irrigation

Dans cette étude, nous avons comparé deux types d'eau : l'eau de puits, qui est une source d'eau douce provenant d'un puits, et l'eau épurée. Initialement, notre intention était de réaliser les mêmes analyses pour les deux types d'eau. Cependant, en raison de limitations de capacité, nous n'avons pas pu effectuer toutes les analyses prévues.

Nous avons donc effectué les analyses disponibles dans les laboratoires universitaires ainsi que celles obtenues avec l'aide d'experts extérieurs. Les analyses que nous avons réalisées sont les suivantes :

IV.3.5.1. Eau épurée

IV.3.5.1.1. Ph et température

En utilisant un pH-mètre portatif (voir Photo IV.16), On a plongé la sonde dans les échantillons d'eau. On a attendu que la lecture se stabilise et puis on a agité légèrement

l'échantillon pour confirmer la fiabilité du résultat. Le pH et la température sont affichés sur l'écran de l'appareil.



Photo IV.16 : pH mètre

IV.3.5.1.2. Conductivité

Pour commencer, nous devons ajuster le conductimètre (voir Photo IV.17) en le réglant sur le mode « $\mu\text{s}/\text{cm}$ », ce qui signifie micro-siemens par centimètre. Ensuite, nous immergerons la sonde du conductimètre dans les échantillons d'eau épurée, et nous lirons le résultat en micro-siemens par centimètre.



Photo IV. 17 : Conductimètre

IV.3.5.1.3. Turbidité

Nous avons utilisé la méthode de turbidimétrie (voir Photo IV.18) pour mesurer la turbidité. Nous avons rempli une cuvette propre et transparente avec notre échantillon d'eau épurée. Ensuite, nous avons démarré la mesure en appuyant sur le bouton de démarrage du turbidimètre. Une fois que la mesure s'est stabilisée, nous avons lu la valeur de la turbidité affichée sur l'écran de l'appareil, exprimée en unités de néphélogéométrie turbidité (NTU).

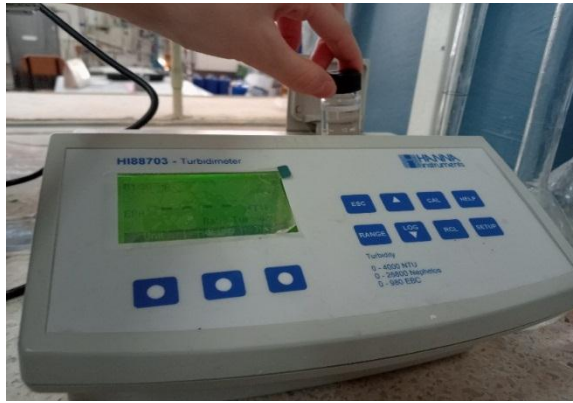


Photo IV.18 : Turbidimétrie

IV.3.5.1.4. Oxygène

La valeur de l'oxygène est mesurée à l'aide d'un oxymètre portatif (voir Photo IV.19). Pour effectuer cette mesure, on laisse la sonde à l'air libre jusqu'à ce que l'afficheur indique 102 mg/L, ce qui représente la saturation de l'air en oxygène. Ensuite, on plonge la sonde dans l'échantillon et on attend que la mesure se stabilise avant de noter le résultat.



Photo IV.19: Oxymètre

IV.3.5.1.5. Matières en suspension (MES)

Matériels utilisés



Photo IV.20: Dispositif de filtration



Figure IV. 3 : Les capsules



Figure IV. 2 : Filtres



Photo IV.22: Photo de la balance de pesée



Photo IV. 21: Photo de l'étuve de séchage

Mode opératoire

- Rincer le filtre à l'eau distillée et le sécher à l'étuve à 105 °C environ 30 à 60 min
- Laisser refroidir puis peser le filtre sec et noter son poids P1 ;
- Homogénéiser l'échantillon à analyser ;
- Filtrer sous vide un volume V de l'échantillon mesuré à l'aide d'une éprouvette graduée
- Déposer les filtres dans l'étuve pendant 4 h à 105°C ;
- Peser une seconde fois le filtre et noter son poids P2.

Expression des résultats

La concentration de la matière en suspension (en mg/l) dans l'échantillon analysé est obtenue par la relation suivante :

$$[\text{MES}] = ((\text{P2} - \text{P1})/\text{V}) \times 1000 \quad (\text{IV.1})$$

Avec :

P1 : Poids du filtre sec avant filtration (en mg).

P2 : Poids du filtre sec après filtration (en mg).

P2 - P1 : Poids de la matière retenue par le filtre sec (en mg).

V : Volume de la prise d'eau (en ml).

Notre est résultat est :

P1=170 mg

P2 =171 mg

V= 100 ml

Calculs des résultats :

$$[\text{MES}] = ((171-170)/100) \times 1000$$

$$[\text{MES}] = 10 \text{ mg/l}$$

IV.3.5.1.6. La demande chimique en oxygène (DCO)

Matériels utilisés



Photo IV. 23: Digesteur (réacteur DCO pour le chauffage)

Mode opératoire

- Dans un tube de réaction, introduire 10ml d'échantillon. Si la DCO de l'échantillon est supérieure à 800 mg/l, une dilution appropriée devra réalisée ;
- Ajouter 5 ml de la solution de dichromate de potassium (0.04) ;
- Ajouter, lentement et avec précaution ; 15ml de la solution d'acide sulfurique contenant le sulfate d'argent, en agitant soigneusement le tube ;
- Placer le tube dans le bloc chauffant et porter à ébullition ($150^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) pendant 2 heures ;
- Retirer les tubes et les laisser refroidir ;
- Transvaser le contenu du tube dans un erlenmeyer de 250 ml ;
- Ajouter 2 à 3 gouttes de féroïen et titrer avec la solution de sulfate de fer et d'ammonium jusqu'au moment où la couleur de la solution change de vert bleu a orangé.

Expression des résultats

La demande chimique en oxygène (DCO) exprimé en milligrammes d'oxygène par litre est égale à :

$$\text{DCO} = 8000(\text{V1}-\text{V2}) * (\text{N}/\text{V}) \quad (\text{IV.2})$$

Avec :

V2 : Volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage (ml) de l'échantillon.

V1 : Volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire à l'essai à blanc (ml).

N : Concentration de la solution de sel Mohr déterminée par étalonnage, soit dans le cas présent 0,12 mol/l.

V : Volume de la prise d'essai (en ml)

Notre est résultat est :

$$\text{V1} = 10\text{ml}$$

$$\text{V2} = 8.1 \text{ ml}$$

$$\text{V} = 10 \text{ ml}$$

$$\text{N} = 0.12 \text{ mol/l}$$

Calculs des résultats :

$$[\text{DCO}] = 8000(10-8.1) * (0.12/10)$$

$$[\text{DCO}] = 182.4 \text{ mg/l}$$

IV.3.5.1.7. La demande biologique en oxygène (DBO)

Matériels utilisés



Photo IV.24: Cristaux NaOH



Photo IV.25: Bouteilles oxytopes



Photo IV.26: Incubateur bactériologie IN55-Memmert

Mode opératoire

Introduire un volume d'eau à analyser (V) dans la bouteille de DBO mètre en fonction de la concentration de l'eau ;

- Mettre un barreau magnétique dans la bouteille ;
- Mettre dans le premier bouchon en plastique une ou deux cristaux de NaOH pour absorber l'humidité ;
- Fermer la bouteille de la DBO mètre par le deuxième bouchon qui est sous forme d'une tête avec un afficheur électronique ;
- Laisser le DBO mètre sous une agitation magnétique pendant cinq jours.

Expression des résultats

On lit la valeur affichée sur le DBO mètre.

On multiplie cette valeur par un facteur selon le volume (V) introduit :

$$DBO_5 \text{ (mg/l)} = \text{Lecteur} \times \text{Facteur} \quad \text{(IV.3)}$$

Tableau IV.2 : Facteur de conversion de la DBO₅ en fonction du volume de prise

La charge	Porté de mesure	Volume (ml)	Facteur
Très faible	0-40	432	1
Faible	0-80	365	2
Moyenne	0-200	250	5
Plus que moyenne	0-400	164	10
Un peu chargée	0-800	97	20
Chargée	0-2000	43.5	50
Très chargée	0-4000	22.7	100

Calculs des résultats

$$[\text{DBO}_5] \text{ (mg/l)} = 32 \times 1$$

$$[\text{DBO}_5] = 32 \text{ mg/l}$$

IV.3.5.1.8. Les résultats

Voici un résumé des résultats d'analyse de l'eau épurée

Tableau IV.3 : Les analyses physico-chimiques d'eau épurée

Paramètres	Température	pH	conductivité	turbidité	oxygène	MES	DCO	DBO ₅	Pb
Unité	°C		μ s/cm	NTU	mg/l	mg/l	mg /l	mg /l	ppm
Résultat	24.6	7.99	821	16	1	10	182.4	32	3.383

Tableau IV. 4 : Analyse supplémentaire

Paramètres	unité	Résultat	Normes d'analyse
Chlorure	mg/l	1,2	ISO 9297 : 1989
Azote Kjeldahl		9,6	ISO 5663 :1984
Phosphore total		1,4	ISO 6878 :2004
Ortho phosphate		0,03	
Huiles et graisses		7,8	Norme japonaise JIS K 0102.2402

Les analyses établis dans la figure ci-dessus sont effectuées par laboratoire de la station de surveillance de l'environnement de la willaya de Tlemcen et à cause des priorités de laboratoire nous avons donné les échantillons aux employés et après on a pris les résultats inséré dans le tableau IV.4.

IV.3.5.2. Analyses d'eau douce (Puits)

IV.3.5.2.1. Dureté de l'eau TH

La mesure hydrotimétrique de l'eau, couramment appelée dureté de l'eau, est utilisée pour évaluer la concentration des ions calcium et magnésium dissous dans l'eau. Cette mesure est habituellement exprimée en milligrammes par litre (mg/L) de carbonate de calcium (CaCO₃) équivalent.



Photo IV.27: Méthode de changement du couleur de mesure TH

IV.3.5.2.2. Calcium Ca^{2+}

La concentration en ions calcium (Ca^{2+}) dans l'eau est une mesure de la quantité de calcium présent, exprimée en milligrammes par litre (mg/L). Le calcium est un minéral essentiel qui se trouve naturellement dans l'eau ou provient de sources telles que les roches calcaires. La concentration de Ca^{2+} peut varier et avoir un impact sur la dureté de l'eau, la formation de dépôts calcaires et d'autres aspects liés à la qualité de l'eau. Mesurer la concentration en Ca^{2+} en mg/L est important pour évaluer la présence et la quantité de calcium dans l'eau, ce qui peut être utile dans des applications spécifiques nécessitant un certain niveau de calcium ou pour diagnostiquer des problèmes associés à la dureté de l'eau.

IV.3.5.2.3. Bicarbonate HCO_3^-

L'ion bicarbonate est un ion polyatomique composé d'un atome d'hydrogène (H), d'un atome de carbone (C) et de trois atomes d'oxygène (O). Il est également connu sous les noms d'hydrogénocarbonate ou de carbonate acide. Lorsque du dioxyde de carbone (CO_2) se dissout dans l'eau, il réagit avec celle-ci pour former de l'acide carbonique (H_2CO_3), qui se dissocie ensuite en ions H^+ et HCO_3^- . Ainsi, l'ion bicarbonate est présent dans l'eau en tant que constituant de l'équilibre chimique du système carbonaté.

La concentration en ions bicarbonate peut être mesurée en laboratoire en utilisant des méthodes analytiques spécifiques, telles que la chromatographie ionique ou la titration. Ces techniques permettent de déterminer la quantité d'ions bicarbonate présents dans l'eau, ce qui est important pour évaluer la composition chimique de l'eau et comprendre ses propriétés et son potentiel tampon.

IV.3.5.2.4. Chlorures Cl^-

Les chlorures (Cl^-) font référence aux ions chlorure présents dans l'eau. Ces ions négatifs proviennent principalement du chlorure de sodium (NaCl) et d'autres sels chlorés. La concentration en chlorures dans l'eau peut varier en fonction de divers facteurs tels que la géologie de la région, les activités humaines et les sources d'eau.

La mesure de la concentration en chlorures dans l'eau peut être réalisée en laboratoire à l'aide de différentes méthodes analytiques, telles que la chromatographie ionique, la spectrophotométrie et la conductivité. Ces techniques permettent de déterminer la quantité d'ions chlorure présents dans l'eau et d'exprimer les résultats en milligrammes par litre (mg/L) ou en parties par million (ppm). Ces mesures sont importantes pour évaluer la qualité de l'eau, surveiller la salinité et identifier les sources de contamination.



Photo IV. 28 : Méthode de changement du couleur de mesure Cl^-

Tableau IV. 5 : Analyses d'eau de puits

Paramètres	pH	T°C	TH mg/L	Ca ²⁺ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L
normes	6.5-9	/	500	200	/	500
Résultat	7.55	19.3	341	172.54	265.08	355

IV.3.6. Comparaison de K et Na entre le sol avec boue et sol sans boue

Pour effectuer cette analyse a été utilisée l'analyse minérale par photométrie de flamme.

IV.3.6.1. Matériel utilisé



Photo IV.29: Photométrie de flamme

IV.3.6.2. Mode opératoire

Pour le dosage des éléments minéraux (Na, K) dans le sol, la méthode utilisée consiste en plusieurs étapes. Tout d'abord, une prise d'essai de 1 gramme de sol est calcinée au four à une température de 530-550°C pendant 3 heures. Cette calcination permet de préparer l'échantillon pour l'analyse ultérieure.

Ensuite, l'insolubilisation de la silice présente dans l'échantillon est réalisée en ajoutant 5 ml d'acide chlorhydrique (HCl). Cela permet de rendre la silice insoluble et de préparer la solution pour la mesure ultérieure.

La solution obtenue est ensuite diluée à un rapport à 1/100 (v/v) avec de l'eau ultra-pure. Cette dilution permet d'obtenir une concentration optimale pour le dosage des éléments minéraux.

Enfin, la solution diluée est analysée à l'aide de la photométrie de flamme. La flamme utilisée et les pressions de gaz sont les mêmes pour les dosages de K et Na. Les concentrations optimales de dosage se situent entre 2 et 50 unités de mesure par millilitre (y/ml), et les courbes étalons présentent une légère inflexion pour les concentrations élevées.

IV.3.6.3. Expression des résultats

Tableau IV. 6 : DO et la concentration en PPM de l'appareil de Photométrie de flamme

concentration en PPM	DO NA	DO K
1000	1,6	1,49
500,00	1,27	1
250,00	1,1	0,75
125,00	0,9	0,55
62,50	0,82	0,4
31,25	0,66	0,28
15,63	0,64	0,16
7,81	0,6	0,06
3,906	0,55	0,02
1,9531250	0,46	0

Sodium Na

3,906 PPM → 0,55 DO

Tableau IV. 7 : Résultat d'analyse du sodium

	Extrait avec Boue	extrait sans Boue
DO	0,13	0,11
PPM en Na	0,936	0,792
*100 PPM	93,6	79,2

Potassium K

125,00 PPM → 0,55 DO

Tableau IV 8 : Résultat d'analyse du potassium

	extrait avec Boue	extrait sans Boue
Do	0,05	0,05
PPM en K	11,363	11,363
*100 PPM	1136,36	1136,36

Les résultats de nos analyses ont révélé que l'ajout de boues au sol n'affectait pas la concentration en potassium, tandis que la concentration en sodium augmentait. Ces observations suggèrent que les boues sont riches en sodium mais ne contiennent pas de potassium.

IV.3.7. Analyse chimique des boues et du sol

Nous avons préparé un traitement pour le sol et la boue de la manière suivante : On dissous 0,5 g de substance dans 5 ml d'eau regal et on l'a laissé reposer toute la nuit. Ensuite, on a ajouté de l'eau distillée jusqu'à atteindre un volume total de 100 ml. Et nous obtenons les résultats suivants :

Le plomb Pb

Sol : 4.483 ppm

Boue : résultat très concentré ; de ce fait, on a effectué une dilution supplémentaire comme suit :

2ml de solution mère précédente est diluée dans 500 ml d'eau distillée.

Résultat : 5.71 mg/L de Pb.

Le chrome Cr

Les 2 sont négatifs

Le cadmium Cd

Sol : négatif

Boue : résultat très concentré. De ce fait, on a effectué une dilution supplémentaire comme suit :

3ml de sol mère précédente est diluée dans 250 ml d'eau distillée.

Résultat : 0,142mg/l de Cd.

Tableau IV 9 : résultat des analyses des éléments traces de la boue et de sol

	Elément	Pb	Cr	Cd
Le sol	Concentration en ppm	4.483	négatif	Négatif
La boue	Concentration en ppm	5.71	négatif	0.142

IV.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté en détail les matériels et les méthodes utilisés dans notre étude sur la culture de la pomme de terre. Ce qui nous a permis de mettre en place une méthodologie rigoureuse et de recueillir les informations nécessaires pour mener à bien notre étude sur la culture de la pomme de terre irriguée avec de l'eau épurée et de la boue. Les résultats de cette étude seront analysés et interprétés dans le chapitre suivant.

Chapitre V :
Résultats et interprétations

Chapitre V : Résultats et interprétations

V.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous avons interprété les résultats obtenus pour les différents amendements en utilisant les deux types de l'eau (eau épurée, eau douce) que nous avons comparé en raison de mettre en évidence l'importance de la valorisation des eaux épurées et de la boue dans notre prototype.

V.2. Expression des résultats de prototypes

Les résultats obtenus mettent en évidence l'importance des amendements du sol dans la culture de pommes de terre et leur impact significatif sur plusieurs aspects de la plante, notamment la hauteur et le nombre de tiges ainsi que le nombre, le poids et le calibre des tubercules.

Il est important de noter que ces observations sont spécifiques à cette étude et que les résultats peuvent varier en fonction des facteurs et conditions environnementales propres à chaque situation.

Les résultats complets de cette étude, incluant les différentes mesures effectuées le 25/06/2023 sur notre prototype, sont présentés dans le tableau récapitulatif de l'annexe 1.

V.2.1. Hauteur de tige

Tableau V.1 : Hauteur moyenne de tige

Variantes (Les amendements)	Hauteur de tige moyenne (cm)
Eau Douce avec boue (ED boue)	59,3
Eau Douce avec MO animal (ED MOA)	49,7
Eau Douce Témoin (ED TM)	50,7
Eau Douce engrais (ED engrais)	62,7
Eau Epurée Témoin (EE engrais)	46,0
Eau Epurée avec MO animal (EE MOA)	54,0
Eau Epurée avec boue (EE boue)	70,0
Eau Epurée avec engrais (EE engrais)	59,3

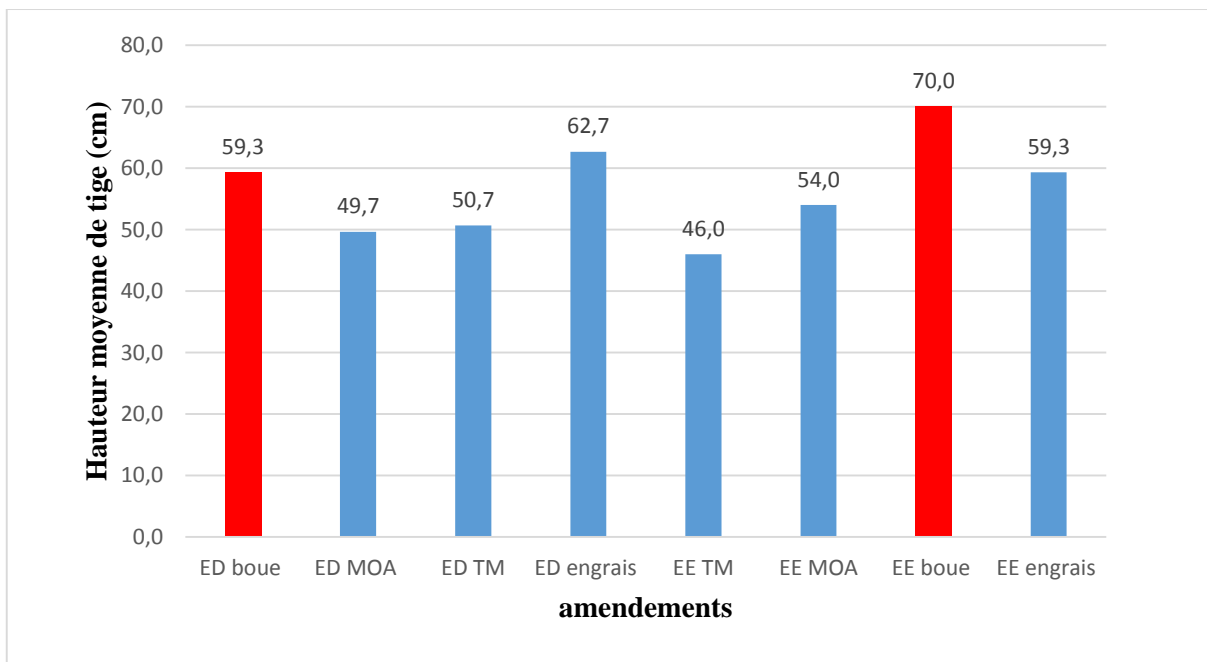


Figure V.1 : Histogramme des différentes hauteurs de tige

La figure ci-dessus représente la variable de la hauteur moyenne de tige en fonction des amendements.

La condition "Eau Epurée avec boue" (EE boue) présente la hauteur de tige moyenne la plus élevée, avec une valeur de 70,0 cm. En revanche, la condition "Eau Epurée Témoin" (EE TM) présente la hauteur de tige moyenne la plus faible, avec une valeur de 46,0 cm. Cela implique que l'ajout de boue à l'eau épurée favorise la croissance de la tige de la plante de pomme de terre, tandis que la condition témoin avec uniquement de l'eau épurée a un effet moins prononcé sur la hauteur de tige.

V.2.2. Nombre des tiges

Tableau V.2 : Nombre des tiges

Variantes (Les amendements)	Nombre des tiges
Eau Douce avec boue	9
Eau Douce avec MO animal	11
Eau Douce Témoin	9
Eau Douce engrais	10
Eau Epurée Témoin	9
Eau Epurée avec MO animal	8
Eau Epurée avec boue	10
Eau Epurée avec engrais	6

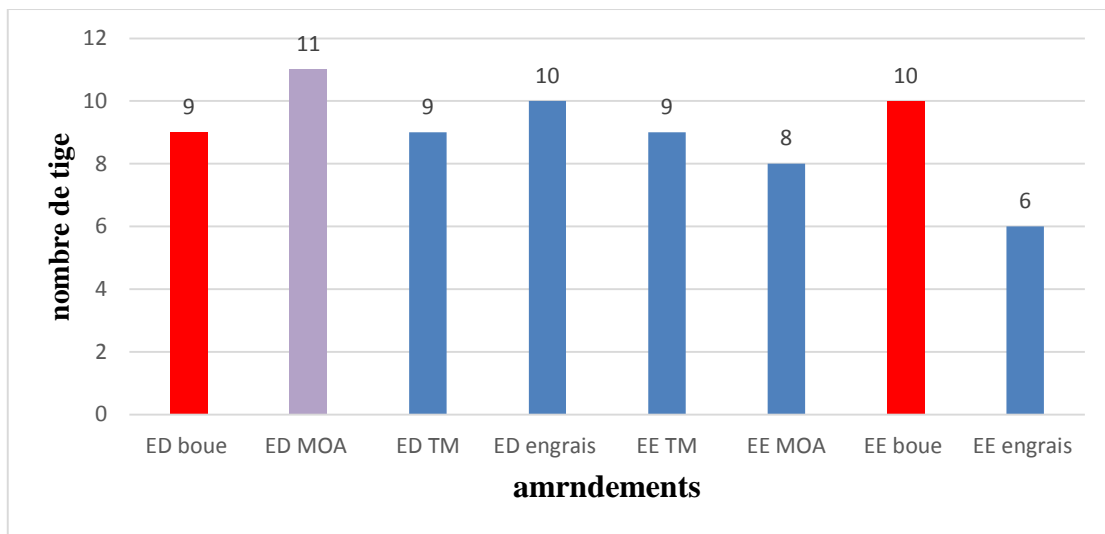


Figure V. 2 : Histogramme des différents nombre des tiges

La figure V 2 présente le nombre de tiges de la culture de pomme de terre en fonction des différents types de lignes de cultures.

Nous observons que la ligne de la culture en matière organique animal (ED MOA) présente le nombre de tiges le plus élevé et la valeur la plus faible est observée dans la condition "Eau Epurée avec engrais". On peut dire que l'ajout de matière organique d'origine animale avec l'eau douce a favorisé une augmentation du nombre de tiges des plantes de pomme de terre. En revanche, l'ajout d'engrais à l'eau épurée a un effet moins favorable sur le développement du nombre de tiges.

La boue joue un rôle positif sur la formation du nombre de tiges quelque soit l'eau utilisée (eau douce ou eau épurée).

V.2.3. Nombre des tubercules

Tableau V. 3 : Nombre des tubercules

Variantes (Les amendements)	Nombre des tubercules
Eau Douce avec boue	22
Eau Douce avec MO animal	25
Eau Douce Témoin	19
Eau Douce engrais	12
Eau Epurée Témoin	19
Eau Epurée avec MO animal	16
Eau Epurée avec boue	15
Eau Epurée avec engrais	28

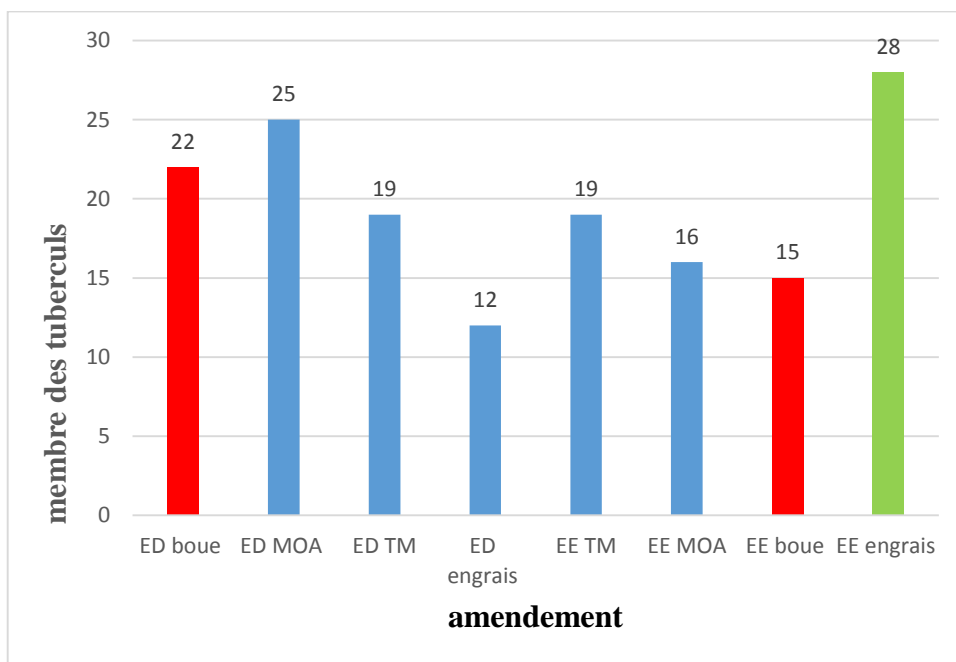


Figure V. 3 : Histogramme des différents nombre des tubercules

La figure V.3 représente la variation des nombres de tubercule en fonction des différents types d'amendements. Nous remarquons que les résultats de l'irrigation de l'eau douce avec la matière organique animale (ED MOA) et la boue (ED boue) ainsi que celle de l'eau épurée avec engrais (EE Engrais), favorisent la formation d'un nombre élevé de tubercules. Par contre celle de l'eau douce avec engrais (ED Engrais) présente la valeur la plus faible. De plus, les amendements témoins n'ont pas montré un effet significatif sur la formation de tubercules quel que soit le type de l'eau utilisée. Cependant, l'irrigation avec la matière organique animale en eau épurée (EE MOA) ou de la boue (EE boue) a conduit à un nombre de tubercules moyennement faibles. En revanche, l'ajout de l'engrais à l'eau épurée a entraîné un nombre maximal de tubercules parmi toutes les conditions de notre expérience.

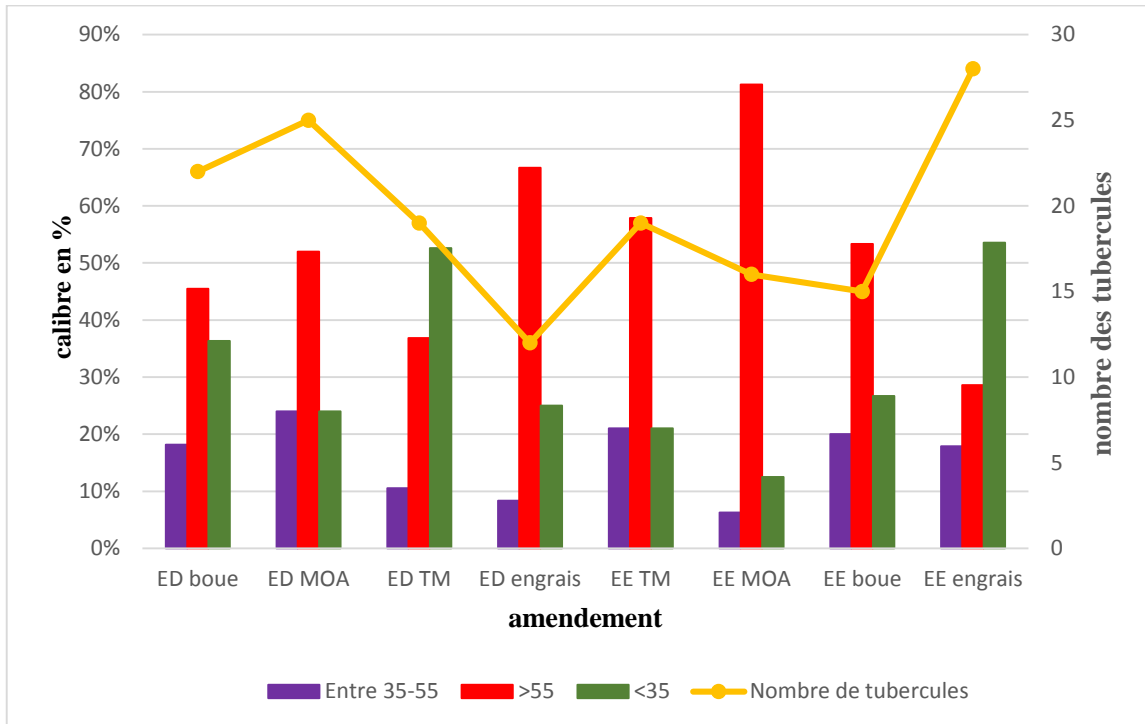


Figure V.4 : Répartition des calibres en fonction de nombre des tubercules pour différents amendements

Sur la figure ci-dessus nous avons opté pour la configuration de la répartition des calibres en fonction de nombre des tubercules pour différents amendements, pour mettre en évidence les meilleurs pourcentages de tubercules qui seront mise en vente sur le marché. Nous observons pour les amendements ED MOA, ED engrais, EE TM, EE MOA, et EE boue donnent des pourcentages supérieurs à 50% pour les calibres de tubercule supérieur à 55 mm.

Dans ce contexte, nous remarquons que les amendements avec l'irrigation en eau épurée donnent les meilleurs résultats par rapport à l'eau douce, ce qui confirme les résultats établis aux laboratoires (voir le chapitre IV).

V.2.4. Poids moyenne de tubercule

Tableau V. 4 : Poids moyenne de tubercule

Variantes (Les amendements)	poids de tubercule moyen (g)
Eau Douce avec boue	790,0
Eau Douce avec MO animal	805,0
Eau Douce Témoin	495,0
Eau Douce engrais	520,0
Eau Epurée Témoin	518,3
Eau Epurée avec MO animal	880,0
Eau Epurée avec boue	751,7
Eau Epurée avec engrais	851,7

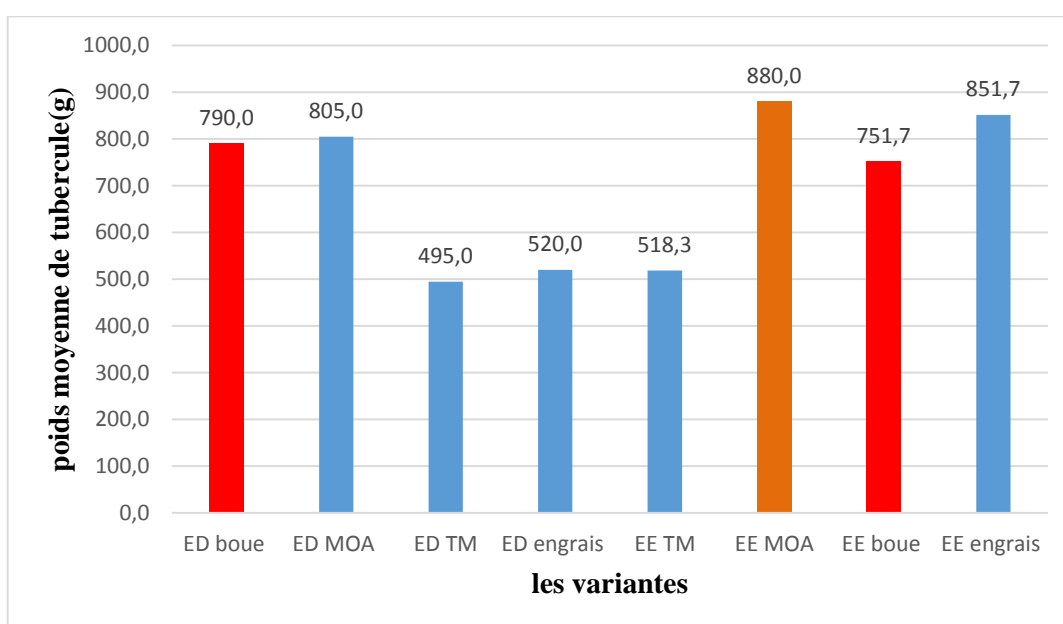


Figure V.5 : Histogramme des différents poids moyen de tubercule

L’histogramme de la figure V.4 représente les différents poids moyens de tubercules en fonction des amendements. Nous remarquons que les poids moyens les plus élevés désignent les amendements de boue et de la matière organique animale pour les deux types d’eaux utilisées et celle d’engrais irriguée avec l’eau épurée. Ces derniers ont un effet positif sur le poids moyen des tubercules de pomme de terre par rapport aux conditions témoins et celle de l’engrais avec eau douce.

V.3. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté et interprété les résultats obtenus à partir des mesures effectués sur le prototype. Nous avons utilisé deux types d'eau, de l'eau épurée et de l'eau douce, pour mettre en évidence l'importance de la valorisation des eaux épurées et de la boue.

En conclusion, nos résultats soulignent l'importance des amendements du sol dans la culture de pommes de terre et mettent en évidence l'effet positif de l'ajout de boue par rapport à la matière organique animale et l'engrais sur les différents aspects de la plante. Ces résultats peuvent contribuer à optimiser les pratiques agricoles pour une meilleure production de pommes de terre.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Face aux défis correspondants à la gestion durable de la ressource en eau, la valorisation des outputs des stations d'épuration (STEP) en agriculture représente un axe de recherche immense, où la recherche des solutions durables sont essentielles pour la préservation de cette ressource.

Ce travail a pour but de mettre en relief la réutilisation des sorties de la STEP d'Ain El-Houtz pour l'irrigation qui sont dédiées à la ferme de Haoulia (commune de Hennaya), en raison de bien comprendre leur comportement sur la croissance de la culture agricole.

De ce fait, nous avons réalisé un prototype qui se compose d'un système d'irrigation goutte à goutte localisé, en plus, de huit rangés implantés par des tubercules de pomme de terre, de telle façon à réaliser une alternance en plaçant deux rangées de boue, deux rangées de matière organique animale, deux rangées d'engrais, et enfin deux rangées témoins, sans rien ajouter. L'irrigation se fait avec des eaux usées épurées et de l'eau douce.

Les analyses effectuées sur l'eau épurée illustrent que les paramètres physico-chimiques sont en dessous des valeurs admissibles recommandées par le journal officiel de la république algérienne, mis à part la DBO₅ et la DCO. Par contre, les analyses de l'eau douce montrent que les valeurs sont inférieures de la norme de l'exploitation. En outre, les analyses faites à la boue révèlent qu'elle est riche en sodium et ne contient pas de potassium.

Les traitements réalisés ont mis en évidence la condition "Eau Épurée avec boue" (EE boue) donne un développement positif concernant la hauteur et le nombre de tiges, ainsi qu'une croissance moyennement bonne pour le poids et le nombre de tubercules. Nous avons observé aussi que "Eau Épurée avec boue" (EE boue) donne des pourcentages supérieurs à 50% pour les calibres de tubercule supérieur à 55 mm pour consommation.

Cette étude n'est qu'un début pour les futures recherches. Par ailleurs, elle aide à la décision d'établir une Start-up pour mieux gérer les ressources hydriques non conventionnelles à les valoriser dans le secteur agricole. Pour cela nous recommandons :

- ◆ D'améliorer la qualité de la boue par l'ajout des produits naturels pour booster sa fertilisation ;
- ◆ De commercialiser la boue aux agriculteurs avec un prix abordable pour remplacer l'engrais par cette boue pour mieux améliorer la production des cultures, et la possibilité de l'exporter à l'étranger ;
- ◆ De sensibiliser les agriculteurs à réfléchir d'utiliser les eaux épurées et la boue dans l'irrigation pour préserver les nappes souterraines contre la surexploitation.

Références bibliographique

- [1] rizk, n. (2016, juillet 21). Caracterisation du colmatage chimique et biologique et leurs interactions au sein d'un dispositif de micro-irrigation dans le contexte de la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation. MARSEILLE, Sciences et Techniques, France : Ecole Doctorale des Sciences pour l'Environnement. (SELGHI, 2001).
- [2] SALGHI R. (2001), Différentes filières de traitement des eaux, ed univ IZ Rabat, 22 p.
- [3] J. Rout, M. Misra, S. S. Tripathy, S. K. Nayak, A. K. Mohanty, « The influence of fiber treatment on the performance of coir-polyester composites », Composites Science and Technology, 61, 2001, P1303–1310.
- [4] Elskens M., 2010 : Analyse des eaux résiduaires, Mesure de la pollution. Techniques de l'ingénieur, P4200v2
- [5] Belahmadi M. S. O., 2011 : Etude de la biodégradation du 2,4 dichlorophénol par le microbisme des effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d'Ibn Ziad. Université Mentouri, Constantine, p 83. (Desjardins., 1997).
- [6] Thomas, O. 1995. Météorologie des eaux résiduaires. Ed. Cedeboc. 135p.
- [7] Bouziane M., 2000 : l'eau de la pénurie aux maladies. Ed. Ibn Khaldoun, p 130.
- [8] RODIER J. (1996) : Analyse de l'eau ; eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8^{ème} édition.
- [9] REJESK, F., 2005, « Analyse des eaux ; aspects réglementaires et techniques » ; centre régional de
- [10] Zeghoud M., 2014 : Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra ; mémoire de fin d'étude de Master en hydraulique Université d'El-Oued
- [11] RODERT Thomazeau, Station d'épuration, Eau potable Eaux usées, Edition technique Documentation, Paris, 1981.
- [12] GAID Abdelkader, Epuration biologique de l'eau urbaine, tome-1 OPU, Alger, 1984, pp261.
- [13] DALI H., ZOUAOUI K., 2007. Réutilisation des eaux usées épurées en irrigation.
- [14] Mém. Ing. Génie des procédés. Génie de l'environnement. Univ d'Ouargla. 68p.
REJSEK.F(2002) : Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques. Edition Centre Régional
- [15] de Documentation Pédagogique d'Aquitaine. Paris [15] (RODIER, 2005).

Références bibliographique

- [16] RODIER.J(2009) : L'analyse de l'eau, édition Dunod, Paris. Guide Technique de l'assainissement 2eme édition.
- [17] Catherine Boutin, A. H.-M. (2009, novembre). Camagref science,eaux, territoires . Récupéré sur professionnels.ofb : [https://professionnels.ofb/fr/](https://professionnels.ofb.fr/)
- [18] Les principes du traitement des eaux usées. (2023, mars). Récupéré sur meusegrandsud: <https://www.meusegrandsud.fr/>
- [19] La qualité de l'eau et l'assainissement en France (annexes) annexe 78, document internet html, disponible sur le site web <https://www.senat.fr/rap/102-215-2/102-215-2.html> (consulte 10/03/2023).
- [20] Schéma d'une chaîne de traitement des eaux usées, document internet html, disponible sur le site web : <http://etab.ac-poitiers.fr/coll-acamus-la-rochelle/spip.php?article603> (consulte 23/03/2023).
- [21] Les procédés de prétraitement et le Schéma du prétraitement des eaux usées d'une STEP, document internet html, disponible sur le site web : <http://www.caue60.com/amenagement-paysager/eau-et-amenagements/les-principes-de-base-de-lepuration-des-eaux-usees> (consulte le 23/03/2023).
- [22] Photo d'un dégrillage grossier, document internet html, disponible sur le site web : <https://www.taprogge.fr/wp-content/uploads/2018/03/grobrechen-g.jpg> (consulte le 23/03/2023).
- [23] Photo d'un dégrillage fin, document internet html, disponible sur le site web : https://img.directindustry.fr/images_di/photo-g/34052-14749311.jpg (consulte le 23/03/2023).
- [24] Photo d'une grille manuelle, document internet html, disponible sur le site web : <https://estruagua.com/wp-content/uploads/2019/04/Reja-manual-HANDRAKE.jpg> (consulte le 23/03/2023).
- [25] Photo d'une grille droite, document internet html, disponible sur le site web: https://www.hubertechnology.ru/fileadmin/_processed_/d/7/csm_rakemax_hybrid_profil_440c94abf2.jpg (consulte 23/03/2023).
- [26] Photo d'un déshuileur aéré utilisé dans l'épuration des eaux usées, document internet html, disponible sur le site web <https://www.suezwaterhandbook.fr/var/degremont/storage/images/procedes-et-technologies/pretraitements/degraisage-et-deshuilage/degraisseurs/13271-22-fre-FR/degraisseurs.png> (consulte le 26/03/2023).
- [27] TOUAFEK Aicha (2015), Etude expérimentale de l'épuration des effluents par procédés a culture fixée, Mémoire pour obtenir le diplôme de Master, université MOHAMED BOUDIAF, de Oran, 110p.

Références bibliographique

- [28] Schéma d'un procédé à boues activées document internet html, disponible sur le site web https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/ab/Boues_activ%C3%A9es.jpg/400px-Boues_activ%C3%A9es.jpg (consulte le 10/04/2023).
- [29] : Franck R, (2002), « Analyse des eaux, Aspects règlementaires et techniques », Edition Scérén CRDP AQUITAINE. Bordeaux, pp165-239.
- [30] Banzaoui N Et Elbouz F, (2009), « Epuration des eaux usées par les procédés des boues activées au niveau de la commune de Touggourt ».
- [31] Document procédés extensifs d'épuration, Office International de l'Eau, Année 2001.
- [32] Les types d'irrigation document internet html, disponible sur le site web <https://arrosage.ooreka.fr/astuce/voir/744035/irrigation-agricole> (consulte le 20/04/2023).
- [33] Les types d'irrigation document internet html, disponible sur le site web <https://aquanide.fr/l-irrigation/l-irrigation-au-champ-equipements-et-methodes.html> (consulte le 20/04/2023).
- [34] Cours Monsieur Boumediene 2022/2023 « REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES »page8
- [35] Photo d'irrigation par écoulement, document internet html, disponible sur le site web <https://images.app.goo.gl/4GXApocRYrquoizrMA> (consulte le 20/04/2023).
- [36] Photo d'irrigation par aspersion, document internet html, disponible sur le site web : <https://images.app.goo.gl/Mqqe4z4q6nzC7dzP6> (consulte le 20/04/2023).
- [37] Photo d'irrigation goutte-à-goutte, document internet html, disponible sur le site web : <https://images.app.goo.gl/pAgo5cms1bR1yAk1A> (consulte le 20/04/2023).
- [38] Photo d'irrigation par submersion, document internet html, disponible sur le site web : <https://images.app.goo.gl/xg5y1V6ekS8YDzuU9> (consulte le 20/04/2023).
- [39] AZUD. (2023, 5 30). Récupéré sur <https://azud.com/fr/contact/>
- [40] PDF irrigation localisée CNRS, INRA, 2016. De multiples systèmes d'irrigation. Dossier scientifique.<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/usages/multSys.html>(Consulté le 16/03/2016).
- [41] LE CENTRE D'INFORMATION SUR L'EAU. (s.d.). Récupéré sur [cieau](https://www.cieau.com/): <https://www.cieau.com/>
- [42] SA, D. (30/10/2004). Mémento technique de l'eau - Tomes 1.
- [43] V. Lazarova (CIRSEE - Lyonnaise des Eaux) et al « La réutilisation des eaux usées : un enjeu de l'an 2000 » ; « L'eau, l'industrie, les nuisances », n°212, pp.39-46, mai 1998.
- [44] P. Renaud et al., « Wastewater reuse » ; « International Report - 21st World Congress », Madrid, Espagne, sept.1997.

Références bibliographique

[45] B. Jiménez-Cisneros et A. Chavez-Mejia, « treatment of Mexico City wastewater for irrigation purposes », Env. Techn, 1997.

[46] PDF « RESSOURCES HYDRIQUES : TRAITEMENT ET REUTILISATION DES EAUX USEES EN ALGERIE »

[47] B. Jiménez-Cisneros et A. Chavez-Mejia, « treatment of Mexico City wastewater for irrigation purposes », Env. Techn., 1997

[48] BOUCHAALA L., C. N. (2017, Mai 12). RESSOURCES HYDRIQUES : TRAITEMENT ET REUTILISATION DES EAUX USEES EN ALGERIE. Constantine, Algérie : Centre de Recherche en Biotechnologies (C.R.Bt).

[49] Document station d'épuration Ain El-HOUTZ, année2023

[50] Document ONID

[51] Photo de culture pomme de terre, document internet html, disponible sur le site web : https://fr.wikipedia.org/wiki/Pomme_de_terre#/media/Fichier:234_Solanum_tuberosum_L.jpg (consulte le 15/05/2023)

[52] .P.Rouselle.Y.Robert, J. (1996). La pomme de terre. Paris : Inra.

[53] <https://www.joradp.dz/FTP/jo-francais/2012/F2012041.pdf>

[54] Office nationale de l'assainissement

Annexes

Annexe 1

	Hauteur de la tige (cm)				Nombre de tiges				Nombre de tubercules				Poids (g)				Calibre			Poids de calibre (g)				
	H1	H2	H3	H _M	N1	N2	N3	N _M	N1	N2	N3	N _M	P1	P2	P3	P _M	C1	C2	C3	P1	P2	P3	P _M	
ED boue	58	60	60	59,3	2	3	4	9	9	6	7	22	880	805	685	790	Entre 35-55	3	0	1	165	/	45	70
																	>55	3	4	3	695	775	590	686,66
																	<35	3	2	3	/	/	/	/
ED MOA	46	47	56	49,7	5	3	3	11	10	9	6	25	1210	830	375	805	Entre 35-55	1	2	3	65	115	170	116,66
																	>55	6	5	2	1105	680	190	658,33
																	<35	3	2	1	/	/	/	/
ED TM	49	47	56	50,7	4	1	4	9	7	4	8	19	495	250	740	495	Entre 35-55	1	0	1	55	/	40	31,66
																	>55	2	2	3	340	225	615	393,33
																	<35	4	2	4	/	/	/	/
ED engrais	60	60	68	62,7	1	1	4	6	3	3	6	12	600	355	605	520	Entre 35-55	1	0	0	85	/	/	28,33
																	>55	2	2	4	515	320	555	463,33
																	<35	0	1	2	/	/	/	/
EE TM	53	45	40	46,0	5	3	2	10	11	5	3	19	805	500	250	518,3	Entre 35-55	2	1	1	150	55	70	91,66
																	>55	5	4	2	570	445	180	398,33
																	<35	4	0	0	/	/	/	/
EE MOA	50	55	57	54,0	2	4	3	9	4	6	6	16	610	1210	820	880	Entre 35-55	0	0	1	/	/	75	25
																	>55	3	5	5	570	1175	745	830
																	<35	1	1	0	/	/	/	/
EE boue	80	65	65	70,0	1	5	2	8	5	7	3	15	860	835	560	751,7	Entre 35-55	2	1	0	160	85	/	81,66
																	>55	3	3	2	700	695	525	640
																	<35	0	3	1	/	/	/	/
EE engrais	53	58	67	59,3	3	5	2	10	11	11	6	28	860	1045	650	851,7	Entre 35-55	1	3	1	105	200	85	130
																	>55	3	3	2	610	750	475	611,66
																	<35	7	5	3	/	/	/	/

Business model canevas

1- Value proposition:



- Approvisionnement en eau alternative : Fournir aux agriculteurs, aux entreprises de paysagisme et aux municipalités une source d'eau alternative issue des outputs des STEP, réduisant ainsi leur dépendance aux ressources en eau conventionnelles.
- Valorisation de la boue : Transformer la boue issue du traitement des eaux usées en un amendement organique de haute qualité pour les sols agricoles et les espaces verts.
- Solution durable : Contribuer à la préservation des ressources en eau en réutilisant l'eau épurée et en valorisant la boue, tout en offrant des solutions respectueuses de l'environnement.



2- Customer segments:

- Agriculteurs : Les exploitants agricoles qui ont besoin d'une source d'eau alternative pour l'irrigation de leurs cultures.
- Entreprises de paysagisme : Les entreprises spécialisées dans la création et l'entretien des espaces verts qui peuvent bénéficier d'une source d'eau alternative pour l'irrigation.
- Municipalités : Les autorités locales qui sont intéressées par des solutions innovantes de valorisation des outputs des STEP pour une utilisation dans les parcs, jardins publics, etc.



3-Customer Relationship:

- Service client personnalisé : Fournir un soutien et des conseils aux clients sur l'utilisation efficace de l'eau épurée et de la boue, ainsi que sur les meilleures pratiques d'irrigation et d'amendement des sols.
- Suivi de la qualité : Effectuer des analyses régulières de la qualité de l'eau épurée et de la boue pour garantir leur conformité aux normes et assurer la satisfaction des clients.



4- Channels

- Vente directe : Établir des relations directes avec les agriculteurs, les entreprises de paysagisme et les municipalités pour promouvoir les avantages de l'utilisation des outputs des STEP et conclure des contrats de fourniture d'eau et de vente de boue.
- Partenariats : Collaborer avec les exploitants de STEP existantes pour obtenir l'accès aux outputs des STEP et établir des partenariats avec des distributeurs d'engrais organiques pour atteindre une plus grande clientèle.

5-Key partners :



- Dans le cadre de notre étude de cas sur la réutilisation des sorties des stations d'épuration (STEP) pour l'irrigation, nous identifions plusieurs partenaires clés qui jouent un rôle essentiel dans la mise en place et le fonctionnement d'une start-up de valorisation. Ces partenaires comprennent les autorités locales et les gestionnaires de STEP. Les autorités locales et les organismes responsables de la gestion des stations d'épuration sont des partenaires essentiels. Leur soutien est nécessaire pour accéder aux outputs des STEP, telles que l'eau épurée et la boue, et pour obtenir les autorisations nécessaires à leur réutilisation pour l'irrigation.

6-Key Activities:



-Accès aux outputs des STEP : Réaliser des infrastructures de distribution et de stockage de l'eau et de la boue. Accords avec des partenariats pour la mise en vente des lesdites Outputs.

7-Key ressources:



-Accès aux outputs des STEP : Établir des partenariats ou des accords d'approvisionnement avec les opérateurs de STEP pour obtenir un approvisionnement régulier en eaux usées traitées et en boue.

8-Cost structure :



Investissement initial : La création d'une start-up de valorisation des outputs de STEP nécessite un investissement initial pour l'acquisition des équipements et des installations nécessaires au traitement de l'eau épurée et de la boue. Cela inclut les coûts liés à l'achat des équipements de traitement, des systèmes de stockage et de distribution, ainsi que des installations de laboratoire et des infrastructures de base.









9-Revenue streams :



-Vente d'eau épurée : Facturer les clients en fonction du volume d'eau épurée fournie pour l'irrigation, basé sur un modèle de tarification convenu.

-Vente de boue : Commercialiser la boue valorisée en tant qu'amendement organique et facturer les clients en fonction du volume acheté.

-Services de conseil : Proposer des services de conseil en matière d'irrigation et d'amendement des sols pour optimiser les résultats des clients.

<p>Partenaires </p> <ul style="list-style-type: none"> - Stations d'épuration (STEP) pour l'approvisionnement en outputs traités des eaux usées. - Organismes de réglementation et autorités locales pour obtenir les autorisations nécessaires. 	<p>Activités </p> <ul style="list-style-type: none"> - Collecte et traitement des outputs des STEP. - Contrôle de la qualité de l'eau réutilisée. - Développement de solutions d'irrigation adaptées aux besoins des agriculteurs. 	<p>Proposition de valeur </p> <ul style="list-style-type: none"> - Fournir une source d'eau alternative durable et de qualité pour l'irrigation agricole. - Réduire la dépendance aux ressources en eau conventionnelles et contribuer à la préservation de l'eau. 	<p>Relations </p> <ul style="list-style-type: none"> - Offrir un soutien technique et des conseils aux agriculteurs sur l'utilisation de l'eau réutilisée. - Établir des relations de confiance avec les municipalités et les collectivités locales en démontrant les avantages de la réutilisation des eaux usées. 	<p>Clients </p> <ul style="list-style-type: none"> - Agriculteurs et exploitants agricoles cherchant des sources alternatives d'eau pour l'irrigation. - Municipalités et collectivités locales ayant besoin de solutions durables pour la gestion des eaux usées.
<p>Ressources clés</p> <ul style="list-style-type: none"> - Accès aux outputs des STEP (eau épurée). - Expertise technique en gestion de l'eau et en irrigation. - Infrastructures de distribution et de stockage de l'eau. 			<p>Canaux </p> <ul style="list-style-type: none"> - Partenariats avec les STEP pour obtenir les outputs traités des eaux usées. - Mise en place d'un réseau de distribution pour acheminer l'eau réutilisée vers les zones agricoles. 	
<p>Coûts </p> <ul style="list-style-type: none"> - Coûts d'acquisition et de traitement des outputs des STEP. - Coûts d'exploitation des infrastructures de distribution de l'eau. - Coûts de surveillance et de contrôle de la qualité de l'eau réutilisée. 			<p>Revenue </p> <ul style="list-style-type: none"> - Ventes régulières d'eau réutilisée aux clients agricoles et municipaux. - Honoraires pour les services de conseil et d'accompagnement. 	

