

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHESCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté de Technologie

Département Génie Des Procédés

Mémoire de Master

Présenté par :

- Ghazli Dounia Zed.
- Hamadache Roza Lina.
- Taibaoui Zineb.

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie d'environnement

**Contrôle physico-chimique et microbiologique des
eaux usées épurées et des produits agricoles
irrigués avec ces eaux**

Soutenu le 11/07/2023 devant le jury :

Président	H.BALOUL	MCA	UMBB
Promotrice	F.BOUMECHHOUR	MCA	UMBB
Examineur	N.OUAZEN	MCA	UMBB

2022-2023

Remerciement

Nous remercions d'abord le bon DIEU de nous avoir donné le courage et la force d'aboutir à la fin de notre modeste projet.

On adresse nos vifs remerciements à notre promotrice Mme F.BOUMECHHOUR, de nous avoir encadré et pour son aide, ses conseils et sa disponibilité durant toute la période de notre projet.

Nos sincères remerciements à tout le personnel de C.R.D et à notre encadreur Mme S.HAIDER.

On remercie d'avance les membres de jury Mr H.BALOUL et Mme N.OUAZEN qui auront la bienveillance d'évaluer et critiquer ce travail.

Nous remercions sincèrement tous les enseignants qui nous ont enseigné au long de toutes nos années d'études spécialement nos enseignants de la FACULTE DE TECHNOLOGIE département de génie des procédés ainsi que notre chef de département Mr H.AKSSAS.

On n'oublie surtout pas de remercier nos parents ainsi que tous nos amis pour leurs encouragements et leurs soutiens dans cette importante période de notre vie.

Merci

Dédicace

C'est avec un immense plaisir que je dédie ce travail à :

Au dieu le tout puissant le miséricordieux

A mes très chers parents OMAR et SAMIA

Papa tu as toujours été pour moi un exemple du père respectueux, honnête, de la personne méticuleuse, je tiens à honorer l'homme que tu es.

Grâce à toi papa j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Je voudrais te remercier pour ton amour, ta générosité, ta compréhension...

Maman, ton soutien fut une lumière dans tout mon parcours. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour toi.

Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que vous avez déployés pour mon éducation et ma formation. Je vous aime papa et maman et j'implore le tout-puissant pour qu'il vous accorde une bonne santé et une vie longue et heureuse.

A mes sœurs NADA, SOUNDIOUS, BOUCHRA, LOUBNA et à ma chouchou KHOULOU.

A une personne très chère pour moi, merci pour ton soutien et merci d'être là à m'encourager.

A mes trinômes GHAZLI DOUNIA ZED et TAIBAOUI ZINEB

A ma chère promotrice BOUMECHHOUR FATIMA.

Et sans oublier moi-même, je me remercie car j'étais toujours forte, courageuse, combattante, je n'ai pas baissé les bras et je ne les baisserai jamais.

ROZA LINA

Dédicace

J'ai le grand plaisir d'exprimer mon profond respect et ma sincère gratitude aux êtres qui me sont les plus chères, je leur offre ce précieux travail.

D'abord à mes très chers Parents pour leur soutien, conseils, encouragement ; et surtout leur patience car sans eux je ne pourrai jamais être ou Je suis.

*À mes chères sœurs **Ikram et Sarah.***

À mes grands-parents.

À ma tante et oncles.

À mes cousins et cousines.

*À mes trinôme **Hamadache Roza Lina et Taibaoui Zineb.***

*À mon promotrice **Boumchhour fatima***

À tous mes amis(es).

Dounia zed

Dédicace

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents ma mère et mon père Et sans oublier mon mari Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements et à mes frères.

A mes amies et mes camarades Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur

Sommaire

	Introduction générale	
	Chapitre I : Présentation de la STEP et de CRD	
I.1	Office National de l'Assainissement	01
I.1.1	L'Office National d'Irrigation et de Drainage (ONID)	01
I.1.2	Définition d'une station d'épuration	02
I.1.3	Les concentrations admissibles des paramètres de pollution	02
I.1.4	LES Concentrations admissibles des paramètres d'une eau épurée de la STEP de Boumerdès	03
I.1.5	les Concentrations admissibles des métaux lourds d'une eau épurée de la STEP de Boumerdès (ONA, 2021)	03
I.1.6	Analyse bactériologie d'un échantillon d'eau usée épurée (ONA, 2020)	04
I.1.7	Fondamentaux du traitement	04
I.1.8	Arrivée d'eau, comptage, bassin d'eau de pluie	04
I.1.9	Caractéristiques statistiques des données de la STEP de BOUMERDES	05
I.2	Présentation de centre de recherche et de développement (C.R.D)	06
I.2.1	Mission de la division CRD	06
I.2.2	Activité de la division CRD	07
I.2.3	Organisation	07
I.3	Présentation de la ferme agricole de Corso	08
	Chapitre II : Traitement des eaux usées.	
II.1	Caractéristiques des eaux usées	10
II.1.1	Les eaux locales	10
II.1.2	Les eaux industrielles	11
II.1.3	Les eaux pluviales	11
II.1.4	Eau agricole	11
II.2	Les différentes étapes du traitement des eaux usées	11
II.2.1	Le prétraitement	11
II.2.2	Le traitement primaire	12
II.2.2.1	Effets du traitement primaire	12
II.2.2.2	Limites du traitement primaire	13
II.3	Traitement biologique (traitement secondaire)	13
II.3.1	Rôle et objectifs du traitement biologique	13
II.3.2	Méthodes de traitement biologique	14
II.3.3	Facteurs influençant l'efficacité du traitement biologique	14
II.4	Traitement tertiaire	15
II.4.1	Qualité de l'eau	16
II.4.2	Normes et réglementations	16
II.4.3	Applications de l'eau traitée pour l'irrigation	16
II.4.4	Avantages et inconvénients	17
	Chapitre III : Réutilisation des eaux usées épurées en irrigation	

III.1.	Définitions d'eau usée épurée (EUE)	19
III.2	Perspectives d'utilisation des eaux usées traitées	19
III.3	Les différentes réutilisations des eaux usées épurées	20
III.4	La réutilisation des eaux usées épurées en irrigation	20
III.5	Épuration des eaux usées	21
III.5.1	Le traitement tertiaire	21
III.6	La qualité de l'eau issue d'une station d'épuration	21
III.7	Critères de qualité des eaux usées épurées pour l'irrigation	21
III.7.1	Salinité des eaux	22
III.7.1.1	Effet de la salinité	23
III.7.2	Alcalinité	24
III.7.3	Sodisation	24
III.7.4	Toxicité spécifiques des ions	25
III.7.5	Elément traces métallique	25
III.7.6	fertilisant dans les eaux usées traitées	26
III.7.7	Valeur nutritive de l'eau usée traitée	26
III.8	Recommandation de l'OMS et de l'USEPA	27
III.9	Les bénéfices de l'utilisation des eaux usées épurées en irrigation	28
III.10	Pourquoi des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation	29
	Chapitre IV : Cultures des légumes	
IV.1	Les systèmes d'irrigation	30
IV.1.1	L'irrigation gravitaire	30
IV.1.1.1	L'irrigation par planche	31
IV.1.1.2	L'irrigation par cuvette (bassin)	31
IV.1.1.3	L'irrigation par rigole	33
IV.1.1.4	L'irrigation par gaine souple	34
IV.1.1.5	L'irrigation par rampe à vannettes	35
IV.1.1.6	L'irrigation par siphon	37
IV.1.2	Irrigation goutte à goutte	38
IV.1.2.1	l'irrigation goutte à goutte de surface	39
IV.1.2.2	Goutte à goutte souterrains	39
IV.1.3	L'irrigation par aspersion	40
IV.1.3.1	L'irrigation par aspersion traditionnelle	41
IV.1.3.2	L'irrigation par aspersion mécanique	42
IV.1.3.3	Les installations mobiles	42
IV.1.3.4	Les installations semi-mobiles	43
IV.1.3.5	Les installations permanentes	43
IV.1.3.6	les installations temporaires	44
IV.1.3.7	Les enrouleurs	44
IV.2	Techniques de plantation	45
IV.3	Les techniques de culture des légumes	45
IV.4	Les conditions optimales de croissance des légumes	48
IV.5	Les outils nécessaires pour la culture des légumes	49
IV.6	Les caractéristiques des légumes	49
	Chapitre V : Méthodologie	

V.1	Analyses physico-chimiques de l'eau	51
V.1.1	les méthodes d'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau	52
V.2	Analyses microbiologique de l'eau	52
V.2.2	principe de détermination de coliforme	52
V.2.3	Principe de détermination de streptocoque	52
V.3	Analyses métaux lourds des eaux	52
V.4	Analyse du sol avant irrigation et des sols irrigués par différentes eaux	53
V.4.1	Analyses physico-chimiques de sol	53
V.4.2	Analyses microbiologiques des sols	53
V.4.3	Analyse des métaux lourds	54
V.5	Analyse des plantes	55
V.5.1	Analyse microbiologique des végétaux	55
V.5.2	Détermination des éléments traces métalliques des légumes	55
	Chapitre VI : Résultats et discussions	
VI.1	Analyse des eaux d'irrigation	56
VI.1.1	Analyse physico-chimique	56
VI.1.2	Analyse microbiologique des eaux	57
VI.1.3	Les analyses des métaux lourds des eaux	59
VI.2	Analyses du sol avant irrigation et des sols irrigués par différentes eaux	60
VI.2.1	Analyses physico-chimiques de sol	60
VI.2.2	Analyses microbiologique de sol	62
VI.2.3	Caractérisation des éléments traces métalliques dans le sol	63
VI.3	Analyse des plantes	65
VI.3.1	Évolution des légumes durant les deux mois et demi	65
VI.3.2	Les métaux lourds dans les légumes	68
VI.3.3	Les analyses microbiologiques des légumes	69
	Conclusion générale	
	Résumé	
	Annexe	
	Références bibliographiques	

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les concentrations admissibles des paramètres de pollution (ONA, 2020)	03
Tableau I.2 : LES Concentrations admissibles des paramètres d'une eau épurée de la STEP de Boumerdès (ONA. 2021)	03
Tableau I.3 : les Concentrations admissibles des métaux lourds d'une eau épurée de la STEP de Boumerdès (ONA, 2021)	03
Tableau I.4 : Analyse bactériologie d'un échantillon d'eau usée épurée (ONA, 2020)	04
Tableau I.5 : Tableau récapitulatif des structures de traitement pour les filières eau et boues (R. OULEBSIR, 2020).	04
Tableau I.6 : Caractéristiques statistiques des données de la STEP de BOUMERDES (R.OULEBSIR, 2020).	05
Tableau II.1 : la qualité de l'eau traitée	16
Tableau III.1 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées (JORA, 2012)	22
Tableau III.2 : Tolérance à la salinité de quelques plantes cultivées (adapté de FAQ, 1985)	24
Tableau III.3 : Charge maximum en élément traces permise sur les terres agricoles en kg/ha.an	25
Tableau III.4 : limites recommandée en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation	26
Tableau VI.1 : Les caractéristiques physico-chimiques des eaux d'irrigation.	56
Tableau VI.2 : Dénombrement des coliformes et des streptocoques	57
Tableau VI.3 : Les résultats des analyses microbiologiques des 3 types de l'eau	58
Tableau VI.4 : Les résultats des analyses des métaux lourds dans les eaux	59
Tableau VI.5 : Les résultats des analyses physico-chimiques de sol de l'agriculteur avant et après irrigation	60
Tableau VI.6 : Analyses physico-chimiques de sols avant et après plantation des légumes.	61

Tableau VI.7 : Résultats microbiologiques de sol après irrigation de l'orange de l'agriculteur.	62
Tableau VI.8 : Résultats des analyses microbiologiques des différents types de sol.	63
Tableau VI.9 : Résultats des éléments traces métalliques trouvés dans le sol de l'agriculteur avant et après irrigation.	63
Tableau VI.10 : résultats des analyses des métaux lourds trouvés dans le sol de plantation des légumes avant et après irrigation.	64
Tableau VI.11 : Les remarques après deux mois et demi	67
Tableau VI.12 : La longueur des tiges des légumes après un mois et demi	68

Liste des figures

Figure I.1 : Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration.....(2)

Figure IV.1 : systèmes d'irrigation gravitaire.....	(28)
Figure IV.2 : systèmes d'irrigation par bassin	(30)
Figure IV.3 : systèmes d'irrigation par rigole.....	(31)
Figure IV.4 : systèmes d'irrigation par gaine souple.....	(32)
Figure IV.5 : systèmes d'irrigation par rampe à vannettes.....	(34)
Figure IV.6 : système d'irrigation par siphon.....	(35)
Figure IV.7 : systèmes d'irrigation goutte à goutte	(36)
Figure IV.8 : l'irrigation par aspersion.....	(39)
Figure V.1 : une lixiviation de trois types de sol différents.....	(51)
Figure VI.1 : Plantation de tomate irriguée avec l'eau potable.....	(64)
Figure VI.2 : Plantation de tomate irriguée avec l'eau usée décantée.....	(64)
Figure VI.3 : Plantation de tomate irriguée avec l'eau usée épurée.....	(64)
Figure VI.4 : La tomate irriguée avec l'eau potable.....	(64)
Figure VI.5 : la tomate irriguée avec l'eau usée épurée décantée.....	(64)
Figure VI.6 : la tomate irriguée avec l'eau usée épurée.....	(64)
Figure VI.7 : l'évolution de la tomate irriguée avec l'eau potable.....	(64)
Figure VI.8 : l'évolution de la tomate irriguée avec l'eau usée épurée décantée.....	(64)
Figure VI.9 : l'évolution de la tomate irriguée avec l'eau usée épurée.....	(64)
Figure VI.10 : la plantation de piment irriguée avec l'eau potable.....	(65)
Figure VI.11 : la plantation de piment irriguée avec l'eau usée épurée décantée.....	(65)
Figure VI.12 : la plantation de piment irriguée avec l'eau usée épurée.....	(65)
Figure VI.13 : piment irriguée avec l'eau potable.....	(65)
Figure VI.14 : piment irriguée avec l'eau usée épurée décantée.....	(65)
Figure VI.15 : piment irriguée avec l'eau usée épurée.....	(65)

Figure VI.16 : l'évolution de piment irriguée avec l'eau potable.....	(65)
Figure VI.17 : l'évolution de piment irriguée avec l'eau usée épurée décantée.....	(65)
Figure VI.18 : l'évolution de piment irriguée avec l'eau usée épurée.....	(65)
Figure VI.19 : la plantation de la menthe irriguée avec l'eau potable.....	(66)
Figure VI.20 : la plantation de la menthe irriguée avec l'eau usée épurée décantée.....	(66)
Figure VI.21 : la plantation de la menthe irriguée avec l'eau usée épurée.....	(66)
Figure VI.22 : l'évolution de la menthe irriguée avec l'eau potable.....	(66)
Figure VI.23 : l'évolution de la menthe irriguée avec l'eau usée épurée décantée.....	(66)
Figure VI.24 : l'évolution de la menthe irriguée avec l'eau usée épurée.....	(66)

Liste des annexes :

Annexe 01 : Les paramètres physico-chimiques des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 41)

Annexe 02 : Les méthodes d'analyse des paramètres physico-chimiques.

Annexe 03 : Recherche et dénombrement des Coliformes et des streptocoques en milieu liquide.

Annexe 04 : Les résultats des analyses microbiologiques de l'eau potable, l'eau usée épurée et l'eau usée épurée décantée.

Annexe 05 : Les résultats des analyses microbiologiques de différents types de sol de plantation.

Annexe 06 : Les résultats des analyses microbiologiques de la tomate.

Annexe 07 : paramètres microbiologiques.

Annexe 08 : les normes des métaux lourds dans le sol (AFNORE NFU 44-041).

La liste des abréviations :

ONA : Office National de l'Assainissement

STEP : Station d'Épuration

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne

OMS : Organisation mondiale de la santé

USEPA : (Agence de protection de l'environnement des États-Unis)

EUE : Eau usée épurée

REUE : réutilisation des eaux usées épurées

ETM : Élément trace métallique

MES : Matières en suspension

DCO : Demande chimique en oxygène

DBO₅ : Demande biochimique en oxygène durant 5 jours

B : Bore

T : Température

pH : potentiel d'hydrogène

CE : Conductivité électrique

CRD : centre de recherche et développement

ICP-OES : Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectroscopy

E.COLI : Echerichia coli

Introduction générale :

L'eau est un facteur limitant du développement de l'agriculture. La rareté est appréhendée en termes de stress hydrique et d'irrégularité de la ressource, deux facteurs susceptibles de s'accroître avec le changement climatique. Donc, devant la rareté de la ressource conventionnelle en eau, la mauvaise gestion des ressources en eau ainsi que la pollution causée par les rejets des eaux usées dans le milieu naturel, ces énormes quantités des eaux usées rejetées, de ce fait, et pour minimiser les dépenses financières pour créer des nouvelles ressources en eau et pour protéger le milieu naturel contre la pollution, l'Algérie ne peut plus se permettre de tourner le dos à la possibilité de réutiliser les énormes quantités des eaux usées rejetées dans la nature ou à la mer, ces eaux qui incite les agriculteurs à les utiliser surtout pour sa richesse en éléments fertilisants tel que l'azote, le phosphore et le potassium, nécessaires pour le développement des plantes et aussi pour la fertilisation du sol, permet d'économiser l'achat des engrais et d'augmenter la production agricole. Ce type de réutilisation se heurte cependant à la qualité microbiologique des eaux usées qui doit satisfaire un certain seuil admissible prescrit par les différentes normes de réutilisation.

Les dirigeants, publics et privés, ont des décisions à prendre en matière de réutilisation des eaux usées en agriculture. Ils sont confrontés à la nécessité d'exploiter des quantités en augmentation, afin de répondre à des demandes toujours plus grandes. La gestion intégrée des eaux usées épurées en Algérie, désormais institutionnellement reconnue comme un modèle de partenariat public-privé, est la meilleure approche pour une mise en valeur et une gestion efficace et durable des eaux usées épurées, face à des demandes en eau en augmentation. L'objectif de la présente étude est axé essentiellement sur la valorisation des eaux usées épurées en irrigation des fourrages. L'étude porte sur la caractérisation des eaux potable, l'eau usée épurée et l'eau usée épurée décantée et leurs effets sur le milieu récepteur (sol et plante).

Chapitre I : Présentation de la STEP et de CRD.

Introduction :

Les eaux usées utilisées par les entreprises et les collectivités peuvent contenir des polluants tels que des métaux lourds, des produits chimiques et des micro-organismes. Ces polluants peuvent être nocifs à la fois pour la santé humaine et pour l'environnement (**Dahraoui et al, 2022**). Le traitement des eaux usées est nécessaire avant leur rejet dans l'environnement. Être acheminés vers des installations d'épuration où ils seront traités pour éliminer les polluants avant d'être rejetés dans l'environnement (**kaddouri et al, 2020**).

Les buts des stations d'épuration sont de traiter l'eau utilisée pour éliminer les polluants tels que les matières organiques, les produits chimiques et les micro-organismes. Pour obtenir ou se débarrasser de ces polluants, les stations d'épuration utilisent plusieurs méthodes de traitement dont la filtration, la décantation et l'oxydation (**Amir, 2005**).

I.1. Office National de l'Assainissement :

L'Office National de l'Assainissement (ONA) est un établissement public national, à caractère industriel et commercial. Il a été créé par le décret exécutif n° 01-102 du 27 Moharrem 1422 correspondant au 21 Avril 2001. L'Office est placé sous la tutelle du ministre des ressources en eau. L'Office National de l'Assainissement est chargé dans le cadre de la politique national de l'assainissement : de l'exploitation, de la maintenance, du renouvellement, de l'extension et de la construction de tout ouvrage destiné à l'assainissement des agglomérations (des infrastructures d'assainissement) et surtout, les réseaux de collecte des eaux usées, les stations de relevage, les stations d'épuration, dans les périmètres urbains et communaux. L'ONA assure la réalisation des ouvrages des projets d'infrastructures d'assainissement et d'épuration des eaux usées ainsi que l'exploitation de ces ouvrages. Et surtout, les réseaux de collecte des eaux usées, les stations de relevage, les stations d'épuration, dans les périmètres urbains et communaux. (Djaffar, 2015). Il assure aussi :

- La protection de l'environnement hydrique et la sauvegarde des ressources en eau.
- La lutte contre toutes les sources de pollution hydrique.
- La préservation de la santé publique.
- L'élaboration et de la réalisation des projets en relation avec le traitement des eaux usées.

I.1.1. L'Office National d'Irrigation et de Drainage (ONID) :

La nouvelle politique de l'eau mise en place par le ministère des ressources en eau est basée sur des principes nouveaux de gestion intégrée, participative, économique et écologique. Cette politique s'est concrétisée notamment par la création de l'Office national de l'irrigation et du drainage (ONID) en tant qu'outil privilégié du secteur pour la relance du programme de développement de l'hydraulique agricole et l'utilisation rationnelle du facteur d'eau comme un élément de base pour l'accroissement de la production agricole. Pour obtenir une gestion optimale d'irrigation : l'adoption de procédés d'irrigation économiseurs d'eau et l'utilisation des eaux non conventionnelles (eaux usées traitées), contribueront à l'extension notable des superficies irriguées, l'objectif global de l'Algérie est d'atteindre une L'Office National pour l'Irrigation et le Drainage, C'est une structure chargée de l'ensemble de l'activité hydraulique agricole dans les Grands périmètres d'irrigations (GPI), créée en 18 mai 2005. Elle est subdivisée en 5 directions régionales selon le découpage hydrographique adopté par le secteur.

Elle est présente dans l'ensemble des grands périmètres d'irrigation, soit plus d'une vingtaine d'unités. Son potentiel humain dépasse les 2.000 personnes. Devant le déficit hydrique accru que connaît le pays, L'ONID a lancé une nouvelle expérience dans un vaste programme qui permet d'augmenter sensiblement les superficies irriguées. Il consiste et la réutilisation des eaux usées épurées, produites par les stations d'épuration de l'ONA pour irriguer des périmètres à l'aval de chaque station d'épuration et lagune. A ce titre, l'ONID a commencé par la réalisation et l'aménagement de deux périmètres hydro-agricoles alimentés par des STEP. Il s'agit des périmètres d'irrigation de Hennaya dans la wilaya de Tlemcen et celui de Mléta dans la wilaya d'Oran qui sont déjà en exploitation. Particulièrement, dans les périmètres d'irrigation,(**BOUZIDI, Y. 2020**).L'ONID est chargé de :

- ✓ gérer, exploiter et entretenir les réseaux d'irrigation.
- ✓ diriger les irrigations.
- ✓ commercialiser l'eau agricole.
- ✓ apporter assistance et conseils aux usagers de l'eau agricole.

Actuellement, l'office exploite et entretient 25 périmètres d'irrigation d'une superficie équipée globale de plus de 200.000 ha, dont plus de 162.000 ha sont irrigables. (**Bouzidi, 2021**).

I.1.2. Définition d'une station d'épuration (STEP) :

Une station d'épuration présente un site de dépollution des eaux usées avant leurs rejets dans le milieu naturel, les cours d'eau et l'environnement en général, elle est installé généralement à L'extrémité d'un réseau de collecte, sur l'émissaire principal, juste en amont de la sortie des eaux vers le milieu naturel. (**Bispo et al, 2009**).



Figure I.1 : Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration.

I.1.3. Les concentrations admissibles des paramètres de pollution :

Les résultats des concentrations des paramètres de pollution sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau I.1 : Les concentrations admissibles des paramètres de pollution (ONA, 2020).

Paramètre	Entrée		Sortie	
	Concentration (mg/l)	Flux (T/J)	Concentration (mg/l)	Flux (T/J)
MES	350	5.25	30	0.45
DBO5	270	4.05	30	0.45
DCO	750	11.25	90	1.35

I.1.4. LES Concentrations admissibles des paramètres d'une eau épurée de la STEP de Boumerdès :

Les résultats des Concentrations admissibles des paramètres d'une eau épurée de la STEP de Boumerdès (ONA, 2021). Sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau I.2 : LES Concentrations admissibles des paramètres d'une eau épurée de la STEP de Boumerdès (ONA, 2021) :

Paramètre	Résultats	Unités
TA	0	Mg/L
TAC	4.1	Mg/L
Chlorures	119.3	Mg/L
Nitrates N-NO ₃	10.88	Mg/L
Manganèse	<0.05	Mg/L
Cobalt	<0.1	Mg/L

I.1.5. les Concentrations admissibles des métaux lourds d'une eau épurée de la STEP de Boumerdès (ONA, 2021) :

Les résultats des Concentrations admissibles des métaux lourds d'une eau épurée de la STEP de Boumerdès sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau I.3 : les Concentrations admissibles des métaux lourds d'une eau épurée de la STEP de Boumerdès (ONA, 2021) :

Paramètre	Résultats	Unités
Nickel	<0.1	Mg/L
Chrome	<0.5	Mg/L
Cadmium	<0.05	Mg/L
Plomb	<0.2	Mg/L
Zinc	<0.05	Mg/L
Fer	<0.1	Mg/L
Mercure	<1	Mg/L
Cuivre	<0.05	Mg/L

I.1.6. Analyse bactériologie d'un échantillon d'eau usée épurée (ONA,

2020) :

Les résultats des analyses de bactériologie d'un échantillon d'eau usée épurée sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau I.4 : Analyse bactériologie d'un échantillon d'eau usée épurée (ONA, 2020) :

Paramètre	Résultat
Coliforme	21/100 ml
E. coli	21/100 ml
Streptocoque fécaux	0/100 ml

I.1.7.Fondamentaux du traitement :

La STEP de BOUMERDES comprend deux filières de traitement : le traitement à l'eau courante eau qui comprend le prétraitement, le traitement biologique aux bactéries actives, la décantation et la demande qui comprend le prétraitement, le traitement biologique avec des bactéries actives, la décantation et la proposition. Traitement au câble : épaissement, déshydratation et lit de séchage.

Tableau I.5 : Tableau récapitulatif des structures de traitement pour les filières eau et boues (R. OULEBSIR, 2020).

Ligne eau	ligne boue
◆ Arrivée gravitaire équipée d'un déversoir d'orage.	◆ Poste de pompage des boues primaires.
◆ Dé grilleur x 2 de 20 mm.	◆ Poste de recirculation des boues biologiques.
◆ Déshuileur / dés sableur x 2.	◆ Poste d'extraction des boues biologiques en excès.
◆ Réception des matières de vidange.	◆ Epaisseurs des boues
◆ Bassins d'aération x 3.	◆ Déshydrations mécanique des boues par bandes presseuses.
◆ Répartiteur.	
◆ Clarificateurs x 3.	
◆ Traitement tertiaire (Désinfection).	

I.1.8.Arrivée d'eau, comptage, bassin d'eau de pluie :

Les eaux usées sont pompées, d'une part par 3 pompes directement dans le canal d'alimentation du prétraitement, et d'autre part par gravité dans le bac de récupération via deux canalisations de diamètre 60 mm.

Cette station de relevage permet :

- Fournir le prétraitement en aval.
- Contournement total des équipements par exploitation de batardeaux contrôlés Entrée générale de la gare.

Le déversoir alimente en eau le bassin d'orage à tout débit supérieur au débit acceptable Installer en fonction du réservoir d'aération utilisé. Deux pompes submersibles Sur la base d'une vidange de l'ensemble du bassin, cette eau est autorisée à remonter jusqu'au prétraitement, laisse rapidement un volume qui peut être utilisé pour réguler le débit entrant, mais ne dépasse pas Charger pour un traitement ultérieur. **Cherif, L. R. (2017).**

I.1.9.Caractéristiques statistiques des données de la STEP de BOUMERDES :

Les Caractéristiques statistiques des données de la STEP de BOUMERDES sont données dans le tableau suivant :

Tableau I.6 : Caractéristiques statistiques des données de la STEP de BOUMERDES (R.OULEBSIR, 2020).

Paramètre	Entré				Sortie			
	MIN	MAX	MOY	Ecart-type	MIN	MAX	MOY	Ecart-type
PH	6.71	8.08	7.32	0.14	6.39	8.03	7.27	0.16
Température (C°)	7.55	35.93	10.35	3.82	2.43	29.9	20.9	4
MES (mg/l)	24	2400	240.18	137.31	1	160	13.53	8.21
DBO5 (mg/l)	20	2500	248.64	156.38	1	55	10.69	8.28
DCO (mg/l)	110	32.64	472.98	251.27	1	173	42.14	24.83
NH ₄ (mg/l)	0.8	126.54	30.98	18.49	<0.1	40.1	5.37	8.24
NTK (mg/l)	1.5	218.96	40.98	21.97	0.050	644	14.48	32.33
NO ₂ (mg/l)	0	2.7	0.20	0.28	0.001	9.4	0.44	0.96
NO ₃ (mg/l)	0	145	4.62	9.50	0.001	1529	34.98	156.73
PO ₄	0.35	64.44	6.88	5.40	0.1	22.4	3.18	2.58
Débit (m ³ /j)	40	22491	11991	4186.17	/	/	/	/
Energie (kwh/h)	11	8355	3932.8	1082.98	/	/	/	/
Boues (m ³ /j)	0	27170	16497	4885.05	/	/	/	/

Conclusion :

En conclusion, la station d'épuration de Boumerdès, également connue sous le nom de STEP, joue un rôle essentiel dans le traitement des eaux usées de la région. Située à Boumerdès, en Algérie, cette installation joue un rôle crucial dans la préservation de l'environnement, la protection de la santé publique et la gestion durable des ressources en eau. La STEP de Boumerdès est équipée de technologies avancées et de processus de traitement efficaces qui permettent de traiter les eaux usées provenant des zones résidentielles, industrielles et commerciales. Elle joue un rôle clé dans l'élimination des contaminants et des polluants présents dans les eaux usées, réduisant ainsi leur impact sur les écosystèmes aquatiques et préservant la qualité de l'eau des cours d'eau et des nappes souterraines. (Lamri, (2017)).

I.2.Présentation de centre de recherche et de développement (C.R.D) :

Historique :

Depuis sa création en 1973 la direction de laboratoire d'hydrocarbure a vécu plusieurs phases, elle a d'abord bénéficié du patrimoine humain et matériel des laboratoires de la division hydrocarbures installée à Hydra et assure déjà une solution scientifique et technique dans les domaines de la recherche de l'exploitation des hydrocarbures.

En 1975, le laboratoire central des hydrocarbures a été transféré à BOUMERDES ses objectifs ont porté sur l'installation et la mise en service des équipements, ce qui a permis à la plupart des laboratoires d'être opérationnels en 1976-1977 parallèlement la DLCH a hérité en 1976 de l'activité de surveillance géologique que des forages au paravent assurée par ALCOR, filiale SONATRACH, ce pendant le démarrage de laboratoire s'est effectué avec beaucoup de difficultés de diverses, l'insuffisance de l'encadrement scientifique et technique en nombre et en qualité. Quant à l'appel à l'assistance technique qui aurait pu constituer une solution provisoire a été volontairement limitée dans le souci de préserver l'indépendance de la décision. Ce n'est qu'à partir de 1982 qu'un effort considérable a été consenti :

- Sur le plan matériel par l'acquisition d'équipements modernes et performants.
- Sur le plan humain par la formation de post-graduation, donc cet investissement devait amener à une approche réelle d'une recherche scientifique et technique dans l'entreprise c'est ainsi que le laboratoire central ce qu'est devenu depuis juillet 1987 centre de recherche et développement, un outil scientifique et technique indispensable à l'exploitation et aux développements des unités de production de l'entreprise.

Statut : le centre de recherche et développement a été créé par décision A-00-R7 de la 04/04/1987 portant réorganisation de la SONATRACH sous tutelle de ministre des mines.

Siège social : installé à BOUMERDES, avenue de 1 Novembre 1975. Le CRD dispose des laboratoires scientifiques et techniques indispensables pour les directions opérationnelles de l'entreprise.

I.2.1- Mission de la division CRD :

La division CRD a pour missions essentielles :

- Le développement de l'activité de recherche appliquée.
- La réalisation des études, synthèses, prestations d'analyses d'expérimentations et de soutiens se rapportant aux besoins d'exploitation, de production et de transport d'hydrocarbures de liquéfaction et valorisations des gaz naturels .
- L'introduction et le développement technique, procédés, concepts, méthodes d'analyses et d'intervention.

- La promotion de l'expertise dans le domaine des hydrocarbures, de la pétrochimie et de l'environnement.
- Le développement et la mise en œuvre d'une stratégie politique et technique nécessaires à la protection de l'environnement.
- L'intégration de potentiel national et international dans les processus de développement de l'activité de recherche de l'entreprise.
- La contribution à l'effort de l'entreprise dans la pétrochimie pour la valorisation des hydrocarbures, augmentation et la diversification des produits plastiques, fibres synthétiques et autres.

I.2.2- Activité de la division CRD :

La division centre de recherche et développement constitue un support scientifique et technique des services d'exploitation et de production de la SONATRACH.

Sa mission située dans le cadre général de la recherche, de l'exploitation et de développement de gisements d'hydrocarbures.

L'activité de la division centre de recherche et développement regroupe des aspects divers complémentaires comme :

- Une fonction constante des laboratoires de service pour les analyses ayant un caractère systématique ou périodique.
- Une activité de recherche scientifique afin de traiter des problèmes à moyen et long terme.
- La division de centre de recherche et développement CRD est organisée en trois directions de laboratoire situées à Boumerdes, et une direction d'opération à Hassi Messaoud, plus particulièrement liée à l'exploration pétrolière et à l'amélioration des techniques de production et de récupération.

Disposant de laboratoires et des supports analytiques classiques, dotés d'un matériel moderne et sophistiqué, la division centre de recherche et développement de la SONATRACH s'est spécialisée dans les domaines très précis (la géologie pétrolière et ses diverses spécialités), en utilisant une technique de pointe.

La division CRD est chargée de :

- Réaliser tous les travaux de géologie de laboratoire nécessaires à l'étude d'un puit, d'un bassin ou d'une région et de synthétiser les résultats obtenus.
- L'étude des gisements par la connaissance des caractéristiques pétrochimiques des roches réservoirs et des phénomènes d'écoulement des fluides en milieu poreux.

Etudier le comportement thermodynamique et les phénomènes de miscibilité et de récupération ainsi que le traitement des hydrocarbures et l'assistance aux unités industrielles (BOUDAUD, A. 2017).

I.2.3-Organisation :

Pour répondre aux tâches qui lui sont assignées la division centre et de recherche et développement CRD est composée de différentes directions structurées comme suit :

Les structures opérationnelles : Constituées conformément à l'organigramme.

- Direction gisement
- Direction géologie.
- Direction traitement des hydrocarbures.
- Direction recherche.

Les structures fonctionnelles : Constituées conformément à l'organigramme :

- Département technique et sécurité industrielle.
- Cellule étude et conseil
- Direction administration générale.
- Projet musée et géologie des hydrocarbures.
- Conseil scientifique.

En Algérie la SONATRACH constitue avec d'autre entreprise un véritable pôle de performance et une référence pour l'économie du pays.

Sur le plan international, l'objectif de la SONATRACH, est de se positionner sur le marché mondial des hydrocarbures pour pouvoir rivaliser avec les multinationales concurrentes.

Il s'agit d'une opportunité certaine pour l'Algérie de se positionner et de négocier, à travers la SONATRACH, dans les meilleures conditions qui soient, son accès au marché mondial des activités relevant des hydrocarbures.

En conclusion, la division Centre de Recherche et de Développement (C.R.D) de Boumerdès est un centre de recherche de premier plan qui se consacre à la recherche scientifique, au développement technologique et à la promotion de la durabilité dans le domaine de l'eau et de l'environnement. Grâce à ses activités de recherche, de formation et de collaboration avec différents acteurs, le C.R.D contribue à l'amélioration de la gestion des ressources en eau et à la protection de l'environnement dans la région de Boumerdès (REDJIMI, (2021).

I.3.Présentation de la ferme agricole de Corso :

Ci-après la situation par satellite de la ferme.



Figure I.2 : Situation par satellite de la ferme agricole de corso.

Cette ferme reçoit environ 8500 à 10000 m³ d'eau épurée provenant de la STEP de Boumerdes à une distance de 5 Km, l'eau après sa décantation dans un bassin, de diamètre 45 × 45 × 5 (largeur, longueur, profondeur) est utilisé comme eau non conventionnelle pour l'irrigation de l'orange et des

raisins.

Chapitre II : Traitement des eaux usées.

Introduction :

Le traitement des eaux usées est crucial pour protéger notre environnement et notre santé publique. Les eaux usées contiennent des polluants tels que des produits chimiques, des bactéries et des virus qui peuvent causer des maladies et endommager les écosystèmes aquatiques si elles ne sont pas traitées correctement (**BEN MABROUK, MELLAK, 2020**).

En plus de cela, les eaux usées peuvent être une source précieuse de ressources telles que l'eau et les nutriments pour l'agriculture. En recyclant les eaux usées, nous pouvons économiser de l'eau potable et réduire notre empreinte carbone en évitant d'utiliser des produits chimiques synthétiques pour fertiliser les cultures. Le traitement des eaux usées est donc non seulement bénéfique pour l'environnement et la santé publique, mais aussi pour l'économie et la durabilité (**LAGHOUIL, KHELLAF**).

II.1.Caractéristiques des eaux usées :

L'eau domestique, l'eau industrielle et les précipitations sont les trois principales catégories d'eaux usées. Les voies d'eau ont une capacité de filtration intégrée. Cependant, cette capacité épuise l'oxygène de la rivière et a un impact sur la flore aquatique et la faune. Lorsque la signification de la décharge dépasse la capacité de la rivière à se purifier elle-même, la dégradation de l'environnement peut être durable. Les zones polluées qui sont épuisées par l'oxygène provoquent la mort de la faune et des plantes ou construisent des barrières impénétrables qui entravent le mouvement des poissons. Les phénomènes d'eutrophisation, ou la croissance des algues qui affectent la vie aquatique, peuvent rendre la natation risquée et interférer avec la production d'eau potable. La présence excessive de phosphates, en particulier, encourage cette apparition.

II.1.1.Les eaux locales :

Ils proviennent de divers usages domestiques de l'eau. La plupart sont des polluants organiques. Ils sont séparés en eaux de « baignade », qui sont des décharges de toilette qui sont chargées de différents composés organiques azotés et de germes fécaux, et des eaux domestiques, qui proviennent des salles de bains et des cuisines et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris biologiques, etc. Selon les estimations, une personne qui utilise 150 à 200 litres d'eau par jour provoquerait :

- 70 à 90 grammes de matières en suspension.
- Substance organique pesant 60 à 70 grammes.
- Entre 15 et 17 grammes d'azote.
- 4 grammes de phosphore.
- Chargée en micro-organismes.

II.1.2. Les eaux industrielles :

L'eau fait référence à l'eau produite par les activités industrielles. Des eaux à usage domestique ; ses caractéristiques changent en fonction de l'industrie. Comprennent également les substances toxiques, les solvants, les métaux lourds, les micropolluants organiques et les hydrocarbures en plus des matières organiques, azotées ou phosphorescentes. Pour être rejetés dans les réseaux de collecte, certains d'entre eux doivent subir un prétraitement industriel. Associées à l'eau sanitaire afin de moins menacer les réseaux de collecte et de ne pas perturber le fonctionnement des installations de traitement.

II.1.3. Les eaux pluviales :

C'est la principale source de contamination importante des cours d'eau, notamment en période orographique. Lorsque la pluie tombe, elle capte les impuretés de l'air (fumées industrielles) puis ramasse les résidus des toits et des rues des villes (carburants, huiles de vidange, etc.). Rendant les sols imperméables et augmentent le risque d'inondation en plus du risque de pollution.

II.1.4. Eau agricole :

Ces eaux ont été contaminées par des composés utilisés dans le secteur agricole. Les agriculteurs sont contraints d'utiliser une variété de produits d'origine industrielle ou agricole dans le cadre d'une agriculture efficace et intensive, dont certains portent ou peuvent porter des risques pour l'environnement, notamment la qualité de l'eau. Déchets (produits sur ou hors exploitation), ainsi que des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides, etc.).

II.2. Les différentes étapes du traitement des eaux usées :

Lorsque l'on parle de **traitement des eaux usées**, il est inévitable que la première chose qui nous vienne à l'esprit soit la station d'épuration. Ces usines traitent l'eau avant de la rejeter et de reprendre le cycle naturel.

Les eaux usées des zones habitées sont acheminées vers la station d'épuration via les réseaux d'assainissement.

II.2.1. Le prétraitement :

L'objectif de tels prétraitements consiste à extraire le ou les composés considérés comme polluants ou non valorisables, afin que le déchet puisse être transformé en une matière première secondaire, utilisable dans un processus industriel de production de matière ou d'énergie.

- a) Dégrillage :** L'eau brute passe à travers des grilles ou des dégrilleurs pour éliminer les gros objets tels que les branches, les feuilles, les débris plastiques et autres déchets solides qui pourraient obstruer ou endommager les équipements de traitement ultérieurs.
- b) Tamisage :** Dans cette étape, l'eau prétraitée est passée à travers des tamis pour éliminer les particules plus fines, telles que le sable, les graviers et les petites particules solides. Cela permet de protéger les pompes et les équipements de traitement ultérieurs contre l'abrasion et les dommages.

- c) **Dégaisseur** : L'eau prétraitée est dirigée vers un dégraisseur où les graisses, les huiles et les matières flottantes sont séparées. Les graisses et les huiles plus légères remontent à la surface et sont collectées, tandis que les solides plus lourds se déposent au fond. Cela permet d'éliminer une partie des matières grasses et des solides qui peuvent perturber les processus de traitement ultérieurs.
- d) **Dessablage et décantation primaire** : Dans cette étape, l'eau prétraitée est dirigée vers un réservoir de dessablage où les particules de sable et de gravier plus lourdes se déposent au fond. Ensuite, l'eau passe à travers un réservoir de décantation primaire où les particules plus fines se déposent au fond sous l'effet de la gravité. Les solides décantés, appelés boues primaires, sont collectés et évacués pour un traitement ultérieur.

II.2.2.Le traitement primaire

Le traitement primaire vise principalement à éliminer les solides en suspension plus lourds de l'eau brute. Il ne parvient pas à éliminer complètement les matières organiques dissoutes et les polluants chimiques. Les boues primaires générées dans le processus de traitement primaire doivent ensuite être traitées dans les étapes ultérieures du traitement des eaux usées, tandis que l'eau clarifiée passe aux étapes de traitement biologique ou tertiaire pour une purification plus approfondie.

- a) **Décantation** primaire : L'eau prétraitée est acheminée vers un réservoir de décantation primaire où les particules solides plus lourdes se déposent au fond par gravité. Ces solides, connus sous le nom de boues primaires, sont collectés et pompés vers une installation de gestion des boues pour un traitement ultérieur. L'eau clarifiée, située en surface du réservoir de décantation, est dirigée vers les étapes de traitement suivantes.
- b) **Flottation** : Dans certaines installations, une étape de flottation peut être utilisée comme alternative ou complément à la décantation primaire. Elle implique l'introduction de petites bulles d'air dans l'eau prétraitée, ce qui favorise la formation d'agrégats de particules solides qui flottent à la surface de l'eau. Ces particules flottantes, appelées écumes, sont ensuite éliminées.

Le traitement primaire des eaux usées présente à la fois des effets bénéfiques et des limites. Voici une explication des effets et des limites du traitement primaire :

II.2.2.1.Effets du traitement primaire :

- **Réduction des solides en suspension** : Le traitement primaire permet de réduire significativement la quantité de matières solides en suspension dans les eaux usées. Cela améliore la clarté de l'eau et réduit la turbidité, ce qui facilite les étapes ultérieures du traitement.
- **Élimination des matières flottantes** : Le dégraisseur utilisé dans le traitement primaire permet de séparer et d'éliminer les graisses, les huiles et autres matières flottantes présentes dans les eaux usées. Cela contribue à réduire les problèmes d'obstruction des canalisations et des équipements de traitement ultérieurs.

- **Production de boues primaires** : Le processus de décantation primaire génère des boues primaires, qui sont constituées des solides sédimentés au fond du réservoir de décantation. Ces boues peuvent être traitées ultérieurement pour en récupérer l'énergie ou être éliminées de manière appropriée.

II.2.2.2.Limites du traitement primaire :

- **Élimination limitée des matières dissoutes** : Le traitement primaire est principalement axé sur l'élimination des solides en suspension et des matières flottantes. Il ne parvient pas à éliminer efficacement les matières organiques dissoutes, les nutriments et les polluants chimiques dissous dans l'eau.
- **Faible réduction de la demande biochimique en oxygène (DBO)** : Bien que le traitement primaire puisse réduire la quantité de matières organiques présentes dans les eaux usées, il ne parvient pas à réduire de manière significative la DBO, qui est une mesure de la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes lors de la dégradation des matières organiques.
- **Limitations en termes de qualité de l'eau traitée** : Le traitement primaire ne permet pas d'atteindre les normes de qualité de l'eau pour certains paramètres, tels que la turbidité, la concentration de matières organiques et la présence de certains polluants spécifiques. Des étapes de traitement supplémentaires, telles que le traitement biologique ou le traitement tertiaire, sont nécessaires pour une purification plus approfondie.

Il est important de comprendre que le traitement primaire ne constitue qu'une première étape dans le processus global de traitement des eaux usées. Pour obtenir une qualité d'eau suffisamment élevée pour une utilisation sûre et respecter les normes environnementales, d'autres étapes de traitement, comme le traitement biologique et le traitement tertiaire, doivent être mises en œuvre.

II.3.Traitement biologique (traitement secondaire) :

II.3.1.Rôle et objectifs du traitement biologique :

Le traitement biologique est une étape essentielle du traitement des eaux usées qui vise à éliminer les contaminants organiques dissous et en suspension en utilisant des micro-organismes spécifiques. Les principaux rôles et objectifs du traitement biologique sont les suivants :

- **Dégradation des matières organiques** : Le traitement biologique favorise la dégradation des matières organiques présentes dans les eaux usées par l'action de micro-organismes, tels que les bactéries et les protozoaires. Ces micro-organismes utilisent les matières organiques comme source de nourriture, les décomposant ainsi en produits finaux plus simples, tels que le dioxyde de carbone, l'eau et les biomasses microbiennes.
- **Réduction de la demande biochimique en oxygène (DBO)** : La DBO est une mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader biologiquement les matières organiques présentes dans les eaux usées. Le traitement biologique vise à réduire la

DBO, ce qui permet de diminuer la demande en oxygène de l'eau traitée lors de son rejet dans l'environnement.

- **Élimination des nutriments** : Certains types de traitement biologique, tels que le traitement des boues activées, sont conçus pour éliminer les nutriments, tels que l'azote et le phosphore, présents dans les eaux usées. Cela contribue à prévenir la pollution des écosystèmes aquatiques, car des niveaux élevés de ces nutriments peuvent entraîner une eutrophisation excessive.

II.3.2.Méthodes de traitement biologique :

Il existe différentes méthodes de traitement biologique utilisées dans le traitement des eaux usées. Voici trois méthodes couramment utilisées :

- **Lits bactériens** : Les lits bactériens consistent en des supports poreux, tels que des pierres ou des plastiques, sur lesquels les bactéries se fixent et forment un biofilm. Les eaux usées sont ensuite traitées en passant à travers ces lits bactériens, où les bactéries dégradent les matières organiques.
- **Boues activées** : Dans le processus des boues activées, les eaux usées sont mélangées avec un mélange de boues activées (un mélange de micro-organismes) dans un bassin d'aération. Les micro-organismes dégradent les matières organiques et les nutriments présents dans les eaux usées. Après l'aération, les boues sont séparées de l'eau traitée dans un clarificateur.
- **Lagunes d'épuration** : Les lagunes d'épuration sont de vastes bassins peu profonds où les eaux usées sont stockées pendant une période prolongée. Les micro-organismes présents naturellement dans l'eau et dans le sol de la lagune dégradent les matières organiques. La lumière solaire, l'aération naturelle et les processus biologiques favorisent la décomposition des contaminants.

II.3.3.Facteurs influençant l'efficacité du traitement biologique :

Plusieurs facteurs peuvent influencer l'efficacité du traitement biologique :

- **Charge organique** : La quantité et la nature des matières organiques présentes dans les eaux usées influencent directement l'efficacité du traitement biologique. Une charge organique élevée peut entraîner une surcharge des micro-organismes, ce qui peut réduire leur efficacité à dégrader les contaminants.
- **Ratio C/N/P** : Les micro-organismes responsables du traitement biologique ont besoin de carbone (C), d'azote (N) et de phosphore (P) pour leur croissance et leur activité métabolique. Un ratio équilibré entre ces éléments est essentiel pour maintenir une efficacité optimale du traitement biologique. Des déséquilibres dans les ratios peuvent entraîner une croissance excessive de certains micro-organismes, ce qui peut affecter négativement l'efficacité du traitement.
- **Température** : La température influence la vitesse des réactions biochimiques et la croissance des micro-organismes. Les processus de traitement biologique sont généralement plus rapides et plus efficaces à des températures plus élevées, car les micro-organismes sont plus actifs. Des variations importantes de température peuvent perturber l'équilibre biologique et réduire l'efficacité du traitement.
- **PH** : Le pH des eaux usées peut affecter l'activité des micro-organismes responsables du traitement biologique. Les micro-organismes ont généralement des plages de pH optimales

pour leur croissance et leur activité. Des variations significatives du pH en dehors de ces plages peuvent inhiber leur fonctionnement, entraînant une réduction de l'efficacité du traitement biologique.

- **Oxygène dissous** : Certains processus de traitement biologique, tels que les boues activées, nécessitent de l'oxygène dissous pour maintenir une bonne aération et favoriser la croissance des micro-organismes aérobies. Un apport adéquat en oxygène dissous est crucial pour assurer une efficacité optimale du traitement biologique.

- **Toxines et inhibiteurs** : La présence de toxines, de produits chimiques nocifs ou d'inhibiteurs dans les eaux usées peut avoir un impact négatif sur les micro-organismes responsables du traitement biologique. Ces substances peuvent inhiber leur activité métabolique, réduisant ainsi l'efficacité globale du traitement.

Il est important de surveiller et de contrôler ces facteurs lors du traitement biologique des eaux usées afin de maintenir une efficacité optimale du processus. Des ajustements appropriés des conditions de fonctionnement, tels que la charge organique, le ratio C/N/P, la température et le pH, peuvent être nécessaires pour optimiser les performances du traitement biologique.

II.4. Traitement tertiaire :

Le traitement tertiaire de l'eau usée est une étape supplémentaire du traitement des eaux usées après les traitements primaire et secondaire. L'objectif du traitement tertiaire est de produire une eau de qualité supérieure qui peut être réutilisée à des fins spécifiques telles que l'irrigation agricole, l'arrosage des espaces verts, ou d'autres utilisations non potables.

Voici quelques méthodes couramment utilisées dans le traitement tertiaire de l'eau usée en vue de son utilisation pour l'irrigation :

- **Filtration** : La filtration peut être réalisée à l'aide de différents médias tels que le sable, le charbon actif ou des membranes spéciales pour éliminer les particules, les matières en suspension et les micro-organismes présents dans l'eau.

- **Désinfection** : L'eau usée traitée peut être désinfectée pour éliminer les pathogènes restants. Les méthodes de désinfection couramment utilisées comprennent l'utilisation de produits chimiques tels que le chlore, l'ozone ou les rayons ultraviolets (UV).

- **Élimination des nutriments** : Pour éviter une surcharge en nutriments dans les sols et les eaux souterraines, il est souvent nécessaire d'éliminer les nitrates et les phosphates présents dans l'eau traitée. Cela peut être réalisé par des processus biologiques tels que la nitrification et la dénitrification, ainsi que par des techniques d'adsorption ou de précipitation chimique.

- **Traitement avancé par membranes** : Les membranes d'ultrafiltration et d'osmose inverse sont utilisées pour éliminer de manière très efficace les particules, les bactéries, les virus, les sels et autres contaminants de l'eau usée.

Il convient de noter que le traitement tertiaire peut varier en fonction des normes et des réglementations spécifiques de chaque pays ou région. Avant d'utiliser l'eau traitée pour

l'irrigation, il est important de s'assurer que les exigences en matière de qualité de l'eau sont respectées afin de protéger la santé humaine et l'environnement.

II.4.1. Qualité de l'eau :

La qualité de l'eau traitée doit répondre à des normes strictes ainsi qu'à des prérequis environnementaux afin d'assurer son utilisation sûre pour l'environnement. Les paramètres de qualité de l'eau sont généralement réglementés en fonction de la catégorie d'utilisation prévue.

- **Tableau II.1 : la qualité de l'eau traitée :**

Paramètres	Normes pour l'irrigation
pH	6-9
Conductivité	Moins de 1000 μS/cm
Taux de matières en suspension (MES)	Moins de 120 mg/L
Taux de matières organiques	Moins de 20 mg/L
Taux de nutriments	moins de 10 mg/L pour le phosphore et 30 mg/L pour l'azote

II.4.2. Normes et réglementations :

Les normes et les réglementations qui régissent l'utilisation de l'eau usée traitée pour l'irrigation varient en fonction des endroits. Les normes diffèrent selon les pays, les États ou les provinces. Les normes limitent généralement l'irrigation des cultures comestibles ou laissent une période de « temps de carence » avant la récolte pour des raisons de sécurité alimentaire.

II.4.3. Applications de l'eau traitée pour l'irrigation :

L'utilisation de l'eau usée traitée pour l'irrigation est une pratique courante dans les régions arides où les ressources en eau douce sont rares. Les applications incluent l'irrigation des parcs, jardins, terrains de sport, terrains de golf, et des cultures non comestibles, tels que le papier, la pâte à papier et le bois.

- **Jardins et espaces verts :**

L'eau usée traitée est souvent utilisée pour l'irrigation des pelouses, arbres et jardins publics pour atténuer les effets de la sécheresse.

- **Agriculture non alimentaire :**

L'eau usée traitée peut être utilisée pour l'irrigation des cultures non comestibles, telles que les arbres, les papiers, les pâtes à papier, et le bois.

- **Terrains de golf :**

L'eau usée traitée est devenue la source d'irrigation la plus courante pour les terrains de golf, ce qui leur permet de maintenir des greens et des fairways sains et verdoyants.

II.4.4. Avantages et inconvénients :

Avantage :

- ✓ Réduction de la demande en eau potable.
- ✓ Limitation des prélèvements sur les nappes phréatiques.
- ✓ Diminution de la pollution de l'eau.

Inconvénients :

- ✓ Les contaminants non éliminés peuvent affecter la qualité du sol et des cultures.
- ✓ Le coût relativement élevé de la mise en place et de la maintenance des infrastructures de traitement tertiaire.

CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons étudié en détail le traitement des eaux usées. Nous avons constaté que les eaux usées provenant de diverses sources, telles que les ménages, les industries, les précipitations et l'agriculture, contiennent des substances polluantes qui peuvent avoir un impact significatif sur l'environnement et la santé publique. Parmi ces substances, on trouve des matières organiques, des nutriments, des produits chimiques toxiques, des métaux lourds et des micro-organismes. Si les eaux usées ne sont pas traitées, elles peuvent causer une dégradation de l'environnement aquatique, entraînant la mort de la faune et de la flore, la prolifération d'algues nocives et la contamination des sources d'eau potable. Il est donc essentiel de soumettre les eaux usées à un traitement approprié afin de réduire leur impact négatif sur l'environnement.

Le traitement des eaux usées comprend plusieurs étapes, notamment le prétraitement, le traitement primaire et le traitement biologique (ou traitement secondaire). Le prétraitement consiste à éliminer les gros objets, les particules solides et les matières flottantes présentes dans les eaux usées. Le traitement primaire permet de se débarrasser des solides en suspension plus lourds, mais il est limité dans son efficacité pour éliminer les matières organiques dissoutes et les polluants chimiques. Le traitement biologique est une étape cruciale du traitement des eaux usées, où des micro-organismes sont utilisés pour décomposer les matières organiques et réduire la demande biochimique en oxygène. Différentes méthodes de

traitement biologique, telles que les lits bactériens, les boues activées et les lagunes d'épuration, sont employées pour atteindre ces objectifs. Il est important de noter que le traitement primaire et le traitement biologique ne représentent que des étapes initiales du processus global de traitement des eaux usées. Pour obtenir une qualité d'eau suffisamment élevée pour une utilisation sûre et pour respecter les normes environnementales, des étapes de traitement supplémentaires, comme le traitement tertiaire, peuvent s'avérer nécessaires.

En conclusion, une gestion adéquate des eaux usées est indispensable pour protéger l'environnement, préserver la santé publique et garantir la disponibilité d'eau potable sûre. Il est nécessaire de mettre en place des infrastructures de traitement des eaux usées efficaces et de promouvoir des pratiques durables afin de réduire la pollution et de préserver les ressources en eau.

Chapitre III : Réutilisation des eaux usées épurées en irrigation.

Introduction :

«Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre à leurs propres besoins » cette phrase a été issue du rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement, également connu sous le nom de rapport Brundtland en 1987. (Baba, 2021).

Pour cela, découvrir des solutions pratiques qui répondront aux besoins mondiaux croissants en eau est d'une importance primordiale pour plusieurs raisons. Premièrement, l'eau est essentielle à la survie humaine et à la majorité des écosystèmes. (Dufour, 2019) La population mondiale augmente rapidement, ce qui entraîne une demande croissante en eau à des fins agricoles, industrielles et domestiques. En pratiquant des méthodes durables comme la conservation de l'eau, le recyclage des eaux usées, l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation et la protection des bassins versants, nous pouvons préserver cette précieuse ressource pour les générations futures. De plus, le changement climatique et la dégradation de l'environnement affectent négativement la disponibilité de l'eau, ce qui rend encore plus crucial le développement de solutions durables pour gérer cette ressource de manière équitable et efficace. En découvrant des méthodes innovantes et pratiques d'arrosage des terres, rendant encore plus urgent le développement de solutions durables pour gérer cette ressource de manière équitable et efficace. En trouvant des moyens innovants et durables de répondre aux besoins en eau, nous contribuons à assurer la sécurité alimentaire, à promouvoir le développement économique et à préserver notre environnement fragile.(Loke, 2021)

Par ailleurs, la réutilisation des eaux usées dans l'irrigation consiste à traiter et à utiliser les eaux usées des activités domestiques, industrielles ou agricoles pour irriguer les cultures et les espaces verts. Cette approche pourrait mettre un prix sur la précieuse ressource tout en réduisant la demande en eau douce.

Les eaux usées sont généralement traitées dans des installations de traitement des eaux usées pour éliminer les polluants et les rendre aptes à la réutilisation. Le traitement peut comprendre plusieurs étapes telles que la filtration, la désinfection, l'élimination des nutriments et des produits chimiques et la biodégradation de la matière organique.

Le recyclage des eaux usées pour l'irrigation est de plus en plus courant dans différentes régions du monde. C'est une méthode abordable pour répondre aux besoins croissants en eau tout en favorisant une utilisation plus durable des ressources en eau. Cependant, cette méthode n'est efficace que si elle est planifiée avec soin, en utilisant les technologies appropriées et en mettant en place les réglementations appropriées.(Bouzidi, 2020)

III.1. Définitions d'eau usée épurée (EUE) :

L'eau usée épurée est une expression utilisée pour désigner l'eau qui a été traitée et purifiée dans une station d'épuration ou une installation de traitement des eaux usées. Elle fait référence à l'eau qui a subi différents processus de traitement, tels que le traitement physique, chimique et biologique, visant à éliminer les polluants et les contaminants présents dans l'eau usée d'origine.

III.2. Perspectives d'utilisation des eaux usées traitées :

Selon le rapport BETEC (2000), l'utilisation des eaux usées épurées (EUE) en agriculture nécessite une application prudente et doit être réalisée sous la supervision d'experts agronomes locaux qui s'intéressent à la ressource facilement disponible provenant des stations

d'épuration des eaux usées. Le principal défi réside dans la salinité de ces eaux, ce qui demande une attention particulière. Il est recommandé d'intervenir techniquement et de diffuser des informations pour aider les agriculteurs dans le choix de cultures adaptées ainsi que de systèmes d'irrigation appropriés. Cela inclut également l'adoption de techniques de lessivage et de drainage des eaux d'irrigation excédentaires afin de prévenir la salinisation secondaire des sols irrigués. (Saifouni, 2021).

III.3. Les différentes réutilisations des eaux usées épurées :

- Irrigation d'aires de pâturages
- Irrigation des vergers
- Irrigation de plantes énergétiques
- Irrigation de jardins maraichers
- Irrigation de cultures céréalières
- Irrigation de boisés urbains
- Irrigation des espaces récréatifs
- Irrigation des espaces commerciaux
- Irrigation de pépinières
- Irrigation des serres
- Irrigation des bois
- Irrigation des parcs urbains
- Irrigation des terrains de football
- Irrigation des terrains de golf
- Irrigation des haies/barrières antiérosives

III.4. La réutilisation des eaux usées épurées en irrigation :

La réutilisation des eaux usées traitées en irrigation est un procédé qui consiste à traiter les eaux usées provenant des stations d'épurations d'origine domestique, industrielle ou agricole afin de les rendre utilisables pour l'irrigation des cultures et l'arrosage des espaces verts. (Nada, 2021). Ce processus de recyclage implique généralement plusieurs étapes dans le traitement des eaux usées, notamment la filtration, la désinfection, l'élimination des contaminants et des polluants et la réduction de la charge organique. Ces procédures visent à éliminer les substances nocives et à minimiser les risques pour la santé humaine et l'environnement.

Une fois les eaux usées assainies, elles peuvent être utilisées pour irriguer les cultures, les parcs, les cours et d'autres paysages. L'irrigation avec des eaux usées traitées peut aider à conserver les ressources en eau, à réduire la demande d'eau douce et à préserver les sources d'eau naturelles.

La plupart des projets de réutilisation des eaux usées sont utilisés à des fins agricoles. Pour ce secteur, la réutilisation de l'eau augmente les rendements des cultures et fournit des avantages économiques.

Selon Monod (1989), l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture est ancienne et le champ d'épuration constitue le premier système d'épuration. Le recyclage des eaux usées épurées pour l'irrigation n'est pas seulement considéré comme créant une nouvelle ressource, mais surtout un traitement complémentaire pour empêcher tout rejet direct dans le milieu naturel (Heodman et Kishimoto, 2010)

Aujourd'hui, l'objectif principal de la réutilisation de cette eau dans les cultures est de l'approvisionnement en eau ou en éléments nutritifs nécessaires aux plantations (zones sèches)

et améliorer l'efficacité des systèmes d'irrigation.

III.5. Épuration des eaux usées :

Avant qu'elles ne soient réutilisées pour l'irrigation ou l'agriculture ; les eaux usées doivent impérativement obéir à des normes établies pour protéger les milieux récepteurs contre la pollution. Pour cela, elles sont acheminées vers une station d'épuration où elles subissent plusieurs phases de traitement.

- Le prétraitement.
- Le traitement primaire (traitement physico-chimique).
- Le traitement secondaire (épuration biologique).
- Le traitement tertiaire.

III.5.1 Le traitement tertiaire :

Après le traitement secondaire, les eaux usées épurées sont généralement rejetées dans le milieu naturel. Cependant, dans certains cas, elles peuvent subir un traitement complémentaire appelé « affinage ». Ce traitement supplémentaire vise soit à réutiliser les eaux épurées à des fins industrielles ou agricoles, soit à protéger le milieu récepteur pour des usages spécifiques. La désinfection est souvent appliquée lorsque le milieu récepteur est sensible, par exemple dans les zones de baignade ou d'élevage de coquillages, car le traitement classique ne suffit pas à éliminer la pollution bactériologique. Le chlore est généralement ajouté en sortie de la station d'épuration dans un bassin de « contact », ou bien les eaux sont traitées aux ultraviolets. Les traitements visant à éliminer l'azote et le phosphore sont considérés comme des traitements complémentaires.(Farch, 2021).

III.6. La qualité de l'eau issue d'une station d'épuration :

L'eau issue d'une station d'épuration est généralement de haute qualité. Elle est exempte de la plupart des contaminants, y compris les agents pathogènes comme les bactéries et les virus. Cependant, certaines substances comme les nitrates, les phosphates et les métaux lourds peuvent être présentes en concentrations élevées. Ces polluants peuvent être dangereux pour la santé humaine, les animaux et l'environnement si l'eau n'est pas correctement traitée.

III.7. Critères de qualité des eaux usées épurées pour l'irrigation :

La consommation d'eau a augmenté régulièrement au cours de la dernière décennie. Cela conduit également au développement de la pollution de l'eau, qui à son tour pollue l'environnement et altère les eaux souterraines si elle n'est pas contrôlée. Le rejet d'eaux usées est d'environ 900 millions de mètres cubes, ce qui représente environ 20% du stockage des eaux de surface dans le parc barrage. L'Algérie souffre de pénuries chroniques d'eau, et toutes les solutions sont envisagées pour en limiter les conséquences. En conséquence, des politiques ont été récemment élaborées pour la mobilisation et l'utilisation des eaux conventionnelles (souterraines et de surface) ainsi que des eaux non conventionnelles (dessalement, eau saumâtre, eaux usées). A l'intérieur un cadre réglementaire pour les eaux usées traitées, un arsenal juridique est en place pour protéger les usagers et les gestionnaires. Afin de mieux protéger le milieu aquatique, l'eau traitée doit répondre à certaines normes de rejet.

Les paramètres physiques et chimiques des eaux usées épurées à utiliser pour l'irrigation, doivent, d'après les autorités Algériennes, se conformer aux normes suivantes :

Tableau III.1 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées (JORA, 2012).

PARAMETRES		UNITE	CONCENTRATION MAXIMALE ET ASMISSIBLE
Physiques	PH	-	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
Chimiques	DBO ₅	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (Cl)	meq/l	10
	AZOTE (NO ₃ -N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO ₃)	meq/l	8.5
	Aluminium	mg/l	20.0
Eléments toxiques (*)	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	meq/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	meq/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercuré	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	vanadium	mg/l	1.0
	Zinc	mg/l	10.0

Les caractéristiques de qualité chimique et physique de toute eau d'irrigation sont les mêmes. À cet égard, des lignes directrices générales peuvent être appliquées pour évaluer la composition chimique des eaux usées traitées à des fins d'irrigation, telles que les sels dissous, la teneur en sodium et les ions toxiques. La procédure est la même que pour les autres types d'eau.

III.7.1. Salinité des eaux :

Du point de vue de l'ingénierie de l'irrigation, le principal critère d'évaluation de la qualité de l'eau naturelle est la concentration totale en sels solubles. Dans la plupart des pays, l'eau utilisée pour l'approvisionnement municipal en eau est de la meilleure qualité disponible et sa salinité est généralement faible. Cependant, dans des conditions de pénurie d'eau, la salinité

peut être un problème. La quantité et le type de salinité sont importants pour évaluer la pertinence des eaux usées traitées pour l'irrigation. Le problème sous-jacent est lié à la teneur totale en sel, au type de sel ou à une concentration excessive d'un ou plusieurs éléments.

Les effets d'une salinité excessive de l'eau d'irrigation peuvent être divisés en deux catégories :

- les dommages causés aux sols et, par conséquent, aux rendements des cultures,
- les dommages causés aux cultures.

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), Chlorure (Cl^-), Sulfate (SO_4^{2-}) et Bicarbonate (HCO_3^-). Une valeur de salinité élevée signifie qu'il y a beaucoup d'ions dans la solution, ce qui rend plus difficile pour les plantes d'absorber l'eau et les éléments minéraux. Une salinité excessive peut causer des brûlures aux racines.

III.7.1.1. Effet de la salinité :

La salinité est l'état de la concentration des sels minéraux dissous dans le sol, si la valeur de la salinité est trop faible ou nul (cas de l'eau pure). Les plantes ont un apport insuffisant en sels minéraux, et à l'inverse, si l'apport est trop important, les plantes meurent. De ce point de vue, selon l'espace, les conditions végétales et environnementales (type de sol, climat), une salinité inférieure à une dose létale variable est nécessaire pour les plantes. Ce sont donc des concentrations relativement excessives qui causent des problèmes pour le sol et les plantes. Si l'eau d'irrigation contient une grande quantité d'ions sodium (Na^+) par rapport aux ions magnésium (Mg^{++}) et calcium (Ca^{++}) présents, et surtout si des ions bicarbonate (HCO_3^-) sont également présents, les ions Na^+ peuvent être saturés. Des sites d'échange colloïdaux, qui sont à l'origine de la formation du sol sodique.

Sur le terrain, les sols salins se reconnaissent à l'état sec par l'apparition de croûtes blanches salines. Les plantes qui y poussent apparaissent en flocons bleus (tendant au bleu) à verts, et leur croissance est considérablement réduite.

Cependant, une salinité modérée et uniforme dans le sol est difficile à détecter à l'œil nu. Dans ces conditions, les plantes ne répondent plus à la fertilisation. En fait, comme la plupart des nitrates inorganiques et du potassium sont des sels solubles, leur application augmente souvent la salinité.

La croissance des plantes est affectée par les effets osmotiques ou par la toxicité de certains ions par la salinité, qu'elle soit due à l'eau d'irrigation ou au sol. La concentration de sels dans le sol augmente de 2 à 5 fois de sa valeur initiale entre deux irrigations successives alors que l'humidité du sol diminue. En conséquence, la pression osmotique de la solution du sol augmente, une quantité qui ne peut être dépassée par la succion des racines de la plupart des plantes.

Tableau III.2 : Tolérance à la salinité de quelques plantes cultivées (adapté de FAQ, 1985)

Conductivité électrique de l'eau d'irrigation (dS/m, et mg/l)*					
<2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 7	>7
<1280	1280-1920	1920-2560	2560-3200	3200-4480	>4480
Citrus	Figues	Sorgho	Soja	Carthame	Coton
Pommes	Olives**	Arachide	Palmier dattier***	Blé	Orge
Pêche	Brocoli	Riz	Phalaris aquatique	Betterave sucrière	Agropyre
Raisins	Tomates	Betteraves	Trèfle	Rye grass	
Fraise	Concombre	fétuque	Artichauts	Orge des rats	
Pomme de terre	Cantaloup			Chiendent pied de poule	
Poivron	Pastèques			Sudax (sorgho hybride)	
Carottes	Epinards				
Oignons	Vesce commune				
Haricot	Sorgho du Soudan				
Maïs	Luzerne				

*1 dS/m=640mg/l

** des niveaux de EC beaucoup plus élevé ont été rapportés (jusqu'à 6 dS/m) pour des olives en Tunisie.

*** des niveaux plus élevés de EC ont été également rapportés pour des palmiers dattiers en Algérie (jusqu'à 7-8dS/m).

III.7.2. Alcalinité :

L'augmentation de l'alcalinité du sol, qui peut se produire avec l'eau usée traitée à cause de la concentration élevée en Na⁺, réduit la perméabilité du sol, particulièrement en surface, même si le lessivage a lieu. Ce phénomène est lié à la dispersion et au gonflement des argiles lorsque la concentration en Na échangeable augmente. Toutefois, pour une certaine valeur du Rapport d'Adsorption du Sodium (SAR : Sodium Adsorption Ratio), la vitesse d'infiltration augmente ou diminue avec le niveau de salinité (Boukhalfa et al, 2013).

III.7.3. Sodisation :

L'accumulation de sodium (sodisation) sur le complexe adsorbant des sols peut dégrader les propriétés physiques des sols. Leur capacité de drainage, donc leur perméabilité, conditionne la productivité des terres irriguées. Un excès de sodium par rapport aux alcalino-terreux (calcium, magnésium, ...) dans le complexe adsorbant provoque une défloculation des argiles, une déstructuration du sol qui se traduit par une réduction de la perméabilité et de la porosité des couches superficielles du sol (Boukhalfa et al, 2013).

$$\text{Le SAR} = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}}$$

III.7.4. Toxicité spécifiques des ions :

Le sodium (Na), le chlorure (Cl) et le bore (B) sont les ions les plus toxiques rencontrés dans l'eau usée traitée et causent la plupart des cas de toxicité courants. Le bore est essentiel aux cultures, mais des concentrations supérieures à 0,5 mg/l peuvent nuire aux cultures sensibles.

III.7.5. Élément traces métallique :

C'est un problème majeur dans la réutilisation des eaux usées traitées dans les pays industriels. Les métaux lourds {cadmium (Cd), cuivre (Cu), molybdène (Mo), nickel (Ni) et zinc (Zn)} qui peuvent être présents dans les eaux usées peuvent poser des risques importants pour la santé des humains et des animaux, ainsi qu'affecter les cultures irriguées. Dans la plupart des cas, ces métaux s'accumulent dans les plantes et nuisent aux humains ou aux animaux domestiques qui se nourrissent de ces plantes. Pour cette raison, de nombreux pays développés ont formulé la charge maximale autorisée de métaux lourds dans les terres agricoles, et combinée avec les boues d'épuration, la question des métaux lourds a été discutée plus en détail. Biswas (1987) a signalé des charges de métaux lourds admissibles pour les terres agricoles dans certains pays européens (tableau 5).

Tableau III.3 : Charge maximum en élément traces permise sur les terres agricoles en kg/ha.an (adapté de Biswas, 1987).

Pays	Cd	Cu	Cr	Pb	Hg	Ni	Zn
France	5.4	210	360	210	2.7	60	750
Allemagne	8.4	210	210	210	5.7	60	750
Pays-Bas	2.0	120	100	100	2.0	20	400
Angleterre	5.0	280	1000	1000	2.0	70	560

Tableau III.4 : limites recommandée en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation^a.

Constituent	Utilisation à long terme ^b (mg/l)	Court terme ^c (mg/l)
Aluminium	5.0	20.0
Arsenic	0.10	2.0
Béryllium	0.10	0.5
Bore	0.75	2.0
Cadmium	0.01	0.05
Chrome	0.1	1.0
Cobalt	0.05	5.0
Cuivre	0.2	5.0
Fluor	1.0	15.0
Fer	5.0	20.0
Plomb	5.0	10.0
Lithium	2.5	2.5
Manganèse	0.2	10.0
Molybdène	0.01	0.05
Nickel	0.2	2.0
Sélénium	0.02	0.02
Vanadium	0.1	1.0
Zinc	2.0	10.0

^aadapté de : académie nationale des sciences- national academy of engineering (1973)

^bpour l'eau utilisée sans interruption sur tous les sols

^cpour l'eau utilisée pendant une période d'au plus 20 ans sur des sols de texture fine, neutres ou alcalins

III.7.6. fertilisant dans les eaux usées traitées :

La fertilisation de l'eau usée traitée par des nutriments peut être un atout pour les cultures mais peut également être une source de pollution pour l'environnement, principalement en fonction de la gestion des eaux usées utilisée par les agriculteurs. Les agriculteurs sont particulièrement intéressés par les nutriments de l'eau usée traitée. Pour cette raison, ce manuel développe et présente un code de bonnes pratiques agricoles en matière de fertilisation. Il est prévu de donner une nouvelle dimension à l'utilisation raisonnée, profitable et saine de l'eau usée traitée utilisée en irrigation.

III.7.7. Valeur nutritive de l'eau usée traitée :

Les macro et micronutriments essentiels à la nutrition des plantes sont présents dans les solides en suspension et les éléments colloïdaux et dissous de l'eau usée.

Cependant, la teneur nutritive de l'eau usée peut dépasser les besoins de la plante, ce qui peut entraîner la pollution des eaux de nappe. Elle peut également rencontrer des problèmes tels qu'un développement végétatif excessif, un retard de maturité ou une mauvaise qualité des cultures irriguées. Ainsi, le programme global de fertilisation des cultures irriguées doit prendre en compte les nutriments présents dans les effluents traités. À cet égard, il est

nécessaire d'effectuer une analyse de l'eau usée au moins une fois au début de la saison culturale.

L'azote, le phosphore et parfois le potassium, le zinc, le bore et le soufre sont des nutriments présents en grandes quantités dans l'eau usée et cruciaux pour l'agriculture et la gestion des paysages. Il est possible que d'autres macro- et micronutriments soient présents. De plus, la présence de matière organique dans l'eau usée peut contribuer à la stabilité structurale du sol en raison de son impact à long terme sur la fertilité du sol. Les engrais sont nécessaires, les eaux usées pourraient être la réponse pour obtenir un rendement élevé de bonne qualité.

La teneur en azote dans l'eau usée urbaine après traitement secondaire est comprise entre 20 et 60 mg/l. La quantité d'azote présente dans l'eau usée traitée peut dépasser la quantité nécessaire aux cultures. Pour surmonter les problèmes liés à une concentration élevée en N, il est essentiel de connaître la concentration en N dans l'eau usée et de gérer correctement la charge en NPK.

La teneur en phosphore des eaux usées après traitement secondaire est de 6 à 15 mg/l (15-35 mg/l P_2O_5) à moins d'être éliminé par traitement tertiaire. L'évaluation de P dans les eaux usées traitées devrait combiner avec l'analyse du sol pour des recommandations de fertilisation.

Le potassium contenu dans les eaux usées n'a pas d'effets nocifs sur les plantes ou l'environnement. C'est un macronutriment essentiel qui affecte positivement la fertilité du sol, le rendement et la qualité des cultures. Concentration de K dans les eaux usées traitées secondaire de 10 à 30 mg/l (12-36 mg/l KO). Cette quantité doit être prise en compte afin de planifier la fertilisation en fonction des besoins de la culture.

Autres nutriments. La plupart des eaux usées contiennent généralement des concentrations adéquates en soufre, de zinc, de cuivre et d'autres micronutriments. Une attention particulière doit être portée au bore. Les eaux usées traitées contiennent suffisamment de bore pour corriger toute carence en bore. Cependant, lorsque cet élément est trouvé en excès, il peut poser des problèmes de phytotoxicité. Pour surmonter le problème de B, l'action corrective est quelque chose comme les sels très solubles sont recommandés (choix des cultures, lessivage, calendrier d'irrigation et système d'irrigation).

- Les arbres fruitiers sont plus sensibles au B que les légumes,
- En cas de concentration relativement élevée de B dans les eaux usées, les cultures annuelles doivent être privilégiées.

III.8. Recommandation de l'OMS et de l'USEPA

L'OMS (Organisation mondiale de la santé) et l'USEPA (Agence de protection de l'environnement des États-Unis) ont formulé des recommandations pour la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation. Voici un résumé de leurs principales recommandations :

- **Évaluation de la qualité de l'eau :** Il est recommandé de réaliser une évaluation approfondie de la qualité de l'eau, en se concentrant sur les paramètres microbiologiques, chimiques et physiques. Cela permet d'identifier les risques potentiels et de déterminer les mesures de traitement nécessaires.

- **Traitement approprié** : Les eaux usées doivent subir un traitement adéquat pour éliminer les contaminants et les agents pathogènes. Les procédés de traitement recommandés incluent la désinfection, la filtration, la clarification et l'élimination des nutriments.
- **Gestion des risques** : Il est crucial de mettre en place des mesures de gestion des risques pour réduire les dangers potentiels pour la santé humaine et l'environnement. Cela comprend l'identification des zones d'irrigation appropriées, la mise en place de pratiques d'irrigation sûres, le respect de périodes de sécurité avant la récolte et l'application de bonnes pratiques d'hygiène pour les travailleurs agricoles.
- **Surveillance régulière** : La surveillance de la qualité de l'eau tout au long du processus d'irrigation est essentielle pour détecter les éventuels problèmes et prendre les mesures correctives nécessaires. Cela permet de garantir la conformité aux normes de qualité de l'eau et de protéger la santé publique.
- **Cadre réglementaire** : Les gouvernements et les autorités réglementaires doivent mettre en place un cadre réglementaire solide pour encadrer la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation. Cela inclut l'établissement de normes de qualité de l'eau, la délivrance de permis et la supervision des activités de réutilisation.

Ces recommandations visent à assurer une réutilisation sûre et durable des eaux usées traitées en irrigation, en minimisant les risques pour la santé publique et en préservant l'environnement. Il est important de noter que les recommandations peuvent varier en fonction des régions et des contextes spécifiques, et il est donc essentiel de se conformer aux réglementations locales et aux lignes directrices en vigueur.

III.9. Les bénéfices de l'utilisation des eaux usées épurées en irrigation.

La réutilisation des eaux usées épurées en irrigation présente plusieurs avantages importants :

- **Conservation des ressources en eau** : En réutilisant les eaux usées épurées, on réduit la demande sur les sources d'eau douce naturelles, préservant ainsi cette ressource précieuse. Cela est particulièrement bénéfique dans les régions où l'eau est rare ou confrontée à des stress hydriques.
- **Réduction des coûts** : L'utilisation d'eaux usées épurées en irrigation peut réduire les coûts liés à l'approvisionnement en eau. L'eau réutilisée peut être moins chère que l'eau potable, ce qui peut représenter une économie significative pour les agriculteurs et les utilisateurs d'eau à grande échelle.
- **Valorisation des eaux usées** : La réutilisation des eaux usées épurées permet de transformer un déchet en une ressource précieuse. Au lieu de déverser les eaux usées dans les cours d'eau ou les océans, elles sont traitées et réutilisées de manière productive pour l'irrigation agricole.
- **Amélioration de la fertilité du sol** : Les eaux usées épurées contiennent des nutriments bénéfiques pour les plantes, tels que l'azote, le phosphore et le potassium. En les utilisant pour l'irrigation, on peut améliorer la fertilité du sol et réduire la dépendance aux engrais chimiques.

- **Réduction de la pollution** : La réutilisation des eaux usées épurées contribue à réduire la pollution environnementale. En évitant le rejet direct des eaux usées dans les cours d'eau ou les océans, on préserve la qualité de l'eau et on limite les impacts négatifs sur les écosystèmes aquatiques.
- **Sécurité alimentaire** : En permettant l'irrigation avec des eaux usées épurées, on peut augmenter la disponibilité d'eau pour l'agriculture et contribuer ainsi à la sécurité alimentaire. Cela est particulièrement pertinent dans les régions où les ressources en eau sont limitées et où l'agriculture joue un rôle crucial dans l'alimentation des populations.

III.10. Pourquoi des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ?

L'agriculture représente le plus gros consommateur des ressources en eau. Ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent, et leur contact éventuel avec des sources de pollution ont des caractéristiques très diversifiées. De plus, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies, les agriculteurs, notamment dans les régions continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées. C'est ainsi que des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ont été établies afin de :

- protéger le public et les ouvriers agricoles
- protéger les consommateurs des produits agricoles
- protéger les ressources en eau superficielle et souterraine et les sols
- protéger le matériel d'irrigation
- maintenir des rendements acceptables.

Conclusion :

Pour conclure, la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation est une solution prometteuse pour résoudre les problèmes de gestion de l'eau dans un contexte de ressources limitées. Les procédés de traitement avancés rendent les eaux usées appropriées pour l'irrigation des espaces verts et des cultures non destinées à la consommation humaine, réduisant les concentrations de polluants à des niveaux sécuritaires. Plusieurs avantages découlent de cette pratique, notamment la préservation des ressources en eau douce, la réduction de la dépendance aux sources d'eau traditionnelles et la réduction des effets environnementaux associés à l'élimination des eaux usées.

Chapitre IV : Cultures des légumes.

Introduction :

Cultiver des légumes est une expérience enrichissante qui nécessite une planification minutieuse et une attention aux détails. L'eau est essentielle à la culture des légumes, car elle aide à nourrir les plantes et à leur fournir les nutriments essentiels (Ficher, 2023). L'arrosage est une partie importante de la culture des légumes, car il garantit que l'eau atteint toutes les parties du jardin, permettant aux plantes de pousser plus uniformément. Des caractéristiques telles que le type de sol, le climat et la sélection des cultures sont également essentielles pour déterminer la quantité d'eau à utiliser pendant l'irrigation. Avec des techniques d'irrigation appropriées et une compréhension de la façon dont différents légumes nécessitent différentes quantités d'eau, les jardiniers peuvent cultiver avec succès une variété de légumes.

Les systèmes d'irrigation sont essentiels au maintien de la santé des plantes et des cultures. Parmi les différents types d'irrigation disponibles, l'irrigation goutte à goutte, par aspersion et par aspersion sont les plus populaires. Chacun de ces systèmes a ses propres avantages et inconvénients, qui peuvent être pris en considération lors du choix du type d'irrigation adapté à vos besoins. Nous allons examiner les différents types d'irrigation afin que vous puissiez prendre la meilleure décision pour exploiter votre culture. (Nadone et al, 2016).

Le secteur de l'irrigation agricole en Algérie souffre d'un retard notable ces derniers temps dans les projets de développement en Algérie, malgré la disponibilité des capacités en eau et des terres propices à l'irrigation (Nene, 2017).

Inventer des méthodes pour conserver et utiliser l'eau de manière rationnelle sans gaspillage, pour le bon et juste usage de l'eau (maarouffe et all, 2022).

IV.1. Les systèmes d'irrigation :

IV.1.1. L'irrigation gravitaire :

L'irrigation gravitaire c'est la plus ancienne technique dans le monde et elle a une place très importante mais elle est moins complexe à mettre en travail et moins exigeants en moyens à l'échelle de la parcelle que d'autres systèmes. Mais elle a besoin d'une initialisation interne correct des parcelles, et souvent le mauvais état des arroseurs et du nivellement rend impossible l'application des doses d'eau préconisées recommandé dans le plan d'aménagement (Taky et all, 2004).



Figure IV.1 : systèmes d'irrigation gravitaire

IV.1.1.1.L'irrigation par planche :

Définition

L'irrigation par planche est une technique d'irrigation agricole qui consiste à diviser le champ en différentes sections ou planches séparées par des crêtes de terre. Chaque planche est irriguée individuellement à l'aide de canaux d'irrigation spécifiques, permettant un contrôle précis de l'apport en eau pour chaque section (koronzey, 2009).

Les inconvénients :

L'irrigation par submersion consomme énormément d'eau et a très peu d'efficacité et son taux d'efficacité oscille entre 40 et 50 %, car la distribution de l'eau n'est souvent pas uniforme. Aussi il remplit le sol d'eau très rapidement cela exposera la plante au risque de maladie, également L'irrigation par inondation nécessite beaucoup de travail.

Les avantages :

- ✓ Utilisation efficace de l'eau : En divisant le champ en sections, l'irrigation par planche permet une utilisation plus précise et ciblée de l'eau. L'eau est fournie uniquement là où elle est nécessaire, ce qui réduit les pertes dues à l'évaporation et à l'infiltration excessive dans le sol.
- ✓ Contrôle de l'apport en eau : Chaque planche peut être irriguée individuellement, ce qui permet de contrôler précisément la quantité d'eau fournie à chaque section du champ. Cela permet aux agriculteurs de répondre aux besoins spécifiques des cultures et de gérer efficacement l'humidité du sol.
- ✓ Réduction des maladies et des mauvaises herbes : En utilisant des canaux d'irrigation spécifiques pour chaque planche, l'eau peut être appliquée directement aux racines des plantes, réduisant ainsi l'humidité des feuilles. Cela peut contribuer à réduire le risque de maladies fongiques et le développement des mauvaises herbes.
- ✓ Contrôle de l'érosion du sol : L'irrigation par planche permet de réduire l'érosion du sol en canalisant l'eau le long des crêtes de terre entre les planches. Cela aide à prévenir le ruissellement excessif de l'eau et la perte de nutriments du sol.
- ✓ Facilité de gestion : La division du champ en planches facilite la gestion des cultures. Les agriculteurs peuvent suivre plus facilement les pratiques culturales, telles que la fertilisation et les traitements phytosanitaires, spécifiquement pour chaque section.

IV.1.1.2.L'irrigation par cuvette (bassin) :

Définition :

L'irrigation par bassin est une méthode d'irrigation agricole qui consiste à retenir l'eau d'irrigation dans des dépressions peu profondes ou des bassins aménagés sur le terrain. Les bassins sont généralement construits de manière à créer une surface plane ou légèrement inclinée, permettant une répartition uniforme de l'eau. L'eau est introduite dans les bassins par des canaux ou des tuyaux d'irrigation et est ensuite absorbée par le sol pour l'irrigation des cultures. Cette technique est souvent utilisée dans les régions arides ou semi-arides pour

économiser l'eau, réduire les pertes par évaporation et maximiser l'utilisation efficace des ressources hydriques (paquin, 2020).



Figure IV.2 : systèmes d'irrigation par bassin

Les inconvénients :

- ✓ Coût initial élevé : La construction des bassins et des systèmes d'irrigation peut nécessiter des investissements initiaux importants. Cela peut être un obstacle pour les agriculteurs disposant de ressources limitées.
- ✓ Besoin de terrains plats ou légèrement inclinés : L'irrigation par bassin fonctionne mieux sur des terrains plats ou légèrement inclinés. Dans les régions montagneuses ou accidentées, il peut être difficile de construire des bassins de manière efficace.
- ✓ Risque de salinisation : Si l'eau utilisée pour l'irrigation contient des niveaux élevés de sels dissous, l'irrigation par bassin peut entraîner une accumulation de sels dans le sol. Cela peut conduire à la salinisation du sol et à des problèmes de fertilité à long terme.
- ✓ Gestion complexe de l'eau : L'irrigation par bassin nécessite une gestion minutieuse de l'eau pour s'assurer d'une répartition équilibrée et adéquate dans les bassins. Cela peut nécessiter une surveillance régulière et une planification précise pour éviter les problèmes de sous-irrigation ou de sur-irrigation.

Les avantages :

- ✓ Conservation de l'eau : L'irrigation par bassin permet de retenir l'eau dans les bassins, réduisant ainsi les pertes par évaporation et permettant une utilisation plus efficace de l'eau d'irrigation. Cela peut être particulièrement bénéfique dans les régions où l'eau est rare ou limitée.
- ✓ Réduction de l'érosion du sol : En retenant l'eau dans les bassins, cette méthode réduit le ruissellement de l'eau et aide à prévenir l'érosion du sol. Cela contribue à maintenir la fertilité du sol et à prévenir la dégradation des terres agricoles.
- ✓ Adaptation aux sols à faible perméabilité : L'irrigation par bassin est souvent utilisée dans les sols à faible perméabilité, où l'eau a du mal à s'infiltrer rapidement. Les

bassins permettent une infiltration lente et contrôlée de l'eau dans le sol, permettant aux cultures de bénéficier d'un approvisionnement régulier en eau.

- ✓ Adaptation aux cultures sensibles à l'eau stagnante : Certaines cultures sont sensibles à l'eau stagnante, ce qui peut provoquer des problèmes de pourriture des racines. L'irrigation par bassin permet de contrôler le niveau d'eau et d'éviter l'accumulation excessive d'eau autour des racines, ce qui peut être bénéfique pour ces cultures.

IV.1.1.3.L'irrigation par rigole :

Définition :

L'irrigation par rigole est une technique qui implique la création de petits canaux peu profonds, appelés rigoles, qui acheminent l'eau directement vers les cultures. Ces rigoles sont généralement creusées à la main ou à l'aide d'outils simples.



Figure IV.3 : systèmes d'irrigation par rigole

Les inconvénients :

- ✓ Perte d'eau par évaporation : Les rigoles exposent l'eau à l'air libre, ce qui entraîne une évaporation plus importante par rapport à d'autres méthodes d'irrigation plus sophistiquées. Cela peut entraîner une utilisation inefficace de l'eau et une perte de rendement potentiel.
- ✓ Distribution inégale de l'eau : Il peut être difficile de maintenir une distribution uniforme de l'eau le long des rigoles, en particulier sur des terrains en pente ou dans des conditions de sols inégaux. Certains secteurs peuvent recevoir trop d'eau, tandis que d'autres peuvent être insuffisamment irrigués.
- ✓ Limitation de la distance : L'irrigation par rigole est plus adaptée aux petites parcelles ou aux cultures situées à proximité des points d'eau. En raison de la perte d'eau par évaporation et de la distribution inégale, il devient moins efficace sur de longues distances.

Les avantages :

- ✓ Coût initial faible : L'irrigation par rigole nécessite peu d'investissement initial, car elle ne nécessite pas d'infrastructures complexes telles que des pompes ou des systèmes de tuyauterie sophistiqués.
- ✓ Facilité de mise en œuvre : Cette méthode est relativement simple à mettre en place et à entretenir. Elle peut être mise en œuvre avec des ressources et des compétences locales, ce qui la rend accessible aux agriculteurs disposant de moyens limités.
- ✓ Flexibilité : Les rigoles peuvent être ajustées facilement en fonction des besoins spécifiques des cultures. Il est possible de modifier la distribution de l'eau en modifiant la taille, la forme et la pente des rigoles.

IV. 1.1.4. L'irrigation par gaine souple :

Définition :

L'irrigation par gaine souple est une méthode d'irrigation précise, économique et efficace qui permet d'apporter de l'eau directement aux racines des plantes, favorisant ainsi leur croissance et leur développement



Figure IV.4 : systèmes d'irrigation par gaine souple

Les inconvénients :

- ✓ Risque de colmatage : Les perforations des gaines souples peuvent se boucher au fil du temps en raison de la présence de particules de sol ou de dépôts minéraux dans l'eau. Cela peut entraîner une diminution de l'efficacité de l'irrigation et nécessiter un entretien régulier pour le débouchage.
- ✓ Coût initial : L'installation initiale d'un système d'irrigation par gaine souple peut être relativement coûteuse, notamment en ce qui concerne l'achat des gaines souples et des équipements nécessaires. Cependant, ces coûts peuvent être compensés par les économies d'eau et d'énergie à long terme.

- ✓ Sensibilité aux dommages : Les gaines souples peuvent être endommagées par des outils agricoles ou par des animaux, ce qui peut entraîner des fuites d'eau ou une dégradation du système d'irrigation.
- ✓ Besoin de surveillance : Comme pour tout système d'irrigation, l'irrigation par gaine souple nécessite une surveillance régulière pour s'assurer du bon fonctionnement, de l'absence de fuites ou de problèmes de colmatage.

Les avantages :

- ✓ Économie d'eau : L'irrigation par gaine souple permet une utilisation efficace de l'eau en fournissant directement l'eau aux racines des plantes, réduisant ainsi les pertes d'eau par évaporation et ruissellement.
- ✓ Économie d'énergie : Étant donné que l'eau est distribuée de manière ciblée aux racines des plantes, cela réduit la nécessité de pomper de grandes quantités d'eau, ce qui permet d'économiser de l'énergie.
- ✓ Réduction des mauvaises herbes : En utilisant des gaines souples, l'eau est acheminée directement aux racines des plantes, évitant d'arroser les zones environnantes. Cela limite la croissance des mauvaises herbes qui ne reçoivent pas d'eau, réduisant ainsi la concurrence pour les nutriments.
- ✓ Contrôle précis de l'irrigation : Les gaines souples perforées permettent de contrôler avec précision la quantité d'eau distribuée à chaque plante, ce qui permet d'adapter l'irrigation aux besoins spécifiques de chaque culture.
- ✓ Flexibilité : Les gaines souples sont faciles à installer et à déplacer, ce qui offre une grande flexibilité pour s'adapter aux changements de culture ou de configuration du terrain.

IV.1.1.5.L'irrigation par rampe à vannettes :

Définition :

L'irrigation par rampe à vannettes est une méthode d'irrigation utilisée dans l'agriculture pour fournir de l'eau aux cultures de manière efficace. Cette méthode implique l'utilisation d'une série de vannettes ou de vannes disposées le long d'une rampe, qui est généralement placée au-dessus du niveau du sol. Les vannettes sont des dispositifs qui contrôlent le débit de l'eau qui passe à travers eux. Chaque vannette peut être réglée individuellement pour délivrer un débit spécifique, ce qui permet d'adapter l'apport en eau aux besoins spécifiques de chaque zone de la culture.

Lorsque l'eau est acheminée par la rampe à vannettes, elle s'écoule de chaque vannette et est distribuée de manière uniforme sur la surface du champ ou du jardin. Cette méthode d'irrigation permet de minimiser les pertes d'eau par évaporation ou ruissellement, car l'eau est délivrée directement aux racines des plantes.



Figure IV.5 : systèmes d'irrigation par rampe à vannettes.

Les inconvénients :

- ✓ Perte d'eau : Les rampes à vannettes ont tendance à entraîner une perte d'eau importante. Les vannettes ne permettent pas un contrôle précis du débit d'eau, ce qui peut entraîner un arrosage excessif et un gaspillage d'eau. En outre, l'évaporation peut être élevée en raison de la pulvérisation de l'eau dans l'air.
- ✓ Uniformité de l'arrosage : Les rampes à vannettes peuvent avoir une répartition inégale de l'eau sur la surface irriguée. Certaines zones peuvent recevoir plus d'eau que d'autres, ce qui peut entraîner des problèmes d'inondation dans certaines parties du champ et des zones sèches dans d'autres.
- ✓ Sensibilité aux obstructions : Les vannettes peuvent se boucher facilement en raison de la présence de particules solides ou de débris dans l'eau d'irrigation. Cela peut entraîner une diminution du débit d'eau et une distribution inégale de l'eau sur la surface.
- ✓ Coûts de maintenance : Les rampes à vannettes nécessitent une maintenance régulière pour s'assurer que les vannettes fonctionnent correctement et ne sont pas obstruées. Cela peut entraîner des coûts supplémentaires en termes de main-d'œuvre et de remplacement des pièces défectueuses.

Les avantages :

L'irrigation par rampe à vannettes offre plusieurs avantages. Elle permet un contrôle précis de l'apport en eau, ce qui favorise une utilisation efficace des ressources hydriques. De plus, elle permet une répartition uniforme de l'eau sur toute la surface irriguée, ce qui contribue à une croissance homogène des plantes. Enfin, cette méthode réduit le risque de compactage du sol, car l'eau est délivrée doucement sans forcer le sol.

IV.1.1.6.L'irrigation par siphon :

Définition :

L'irrigation par siphon est une méthode d'irrigation qui utilise la gravité pour déplacer l'eau d'une source vers les zones à irriguer. Le siphon est un tube en forme de U qui permet à l'eau de s'écouler d'une extrémité à l'autre en utilisant la différence de pression.

Le fonctionnement du siphon repose sur le principe physique selon lequel l'eau cherche à égaliser les niveaux de pression dans les tubes connectés. Pour créer un siphon, il faut remplir complètement le tube avec de l'eau, puis le placer de manière à ce que l'extrémité qui sera immergée dans la source d'eau soit plus basse que l'extrémité qui irriguera les champs. Lorsque l'eau commence à s'écouler dans le tube, elle crée une dépression à l'extrémité immergée, ce qui tire l'eau de la source vers le tube et permet à l'irrigation de se produire. L'irrigation par siphon est généralement utilisée dans les systèmes d'irrigation à faible coût et à petite échelle. Elle peut être utilisée pour irriguer des jardins, des cultures maraichères ou d'autres zones de petite taille. Elle ne nécessite pas d'énergie supplémentaire, car elle se base uniquement sur la gravité.



Figure IV.6 : système d'irrigation par siphon.

Les inconvénients :

- ✓ Distribution inégale de l'eau : L'irrigation par siphon peut entraîner une distribution inégale de l'eau sur le champ, ce qui peut provoquer des zones sèches ou sur-irriguées. Cela peut affecter la croissance et le rendement des cultures.
- ✓ Perte d'eau par ruissellement : Lorsque l'eau est appliquée par siphon, il peut y avoir des problèmes de ruissellement, en particulier sur les sols en pente. Cela peut entraîner une perte d'eau précieuse et une érosion du sol.
- ✓ Main-d'œuvre intensive : L'irrigation par siphon nécessite souvent une main-d'œuvre intensive pour installer et entretenir les équipements de siphon, ainsi que pour gérer la distribution de l'eau sur le terrain. Cela peut être contraignant en termes de ressources humaines et de coûts de main-d'œuvre.

- ✓ Difficulté de contrôle : Il peut être difficile de contrôler précisément la quantité d'eau appliquée avec l'irrigation par siphon. Cela peut entraîner un gaspillage d'eau si la quantité appliquée dépasse les besoins réels des plantes.

Les avantages :

- ✓ Coût abordable : L'irrigation par siphon est relativement peu coûteuse à mettre en place et à entretenir par rapport à d'autres systèmes d'irrigation plus complexes.
- ✓ Simplicité : La technique du siphon est relativement simple à comprendre et à mettre en œuvre, ce qui la rend accessible aux agriculteurs avec des ressources et des compétences limitées.
- ✓ Utilisation efficace de l'eau : L'irrigation par siphon permet une application directe de l'eau sur les racines des plantes, réduisant ainsi les pertes par évaporation. Cela peut contribuer à une utilisation plus efficace de l'eau et à une meilleure économie d'eau.
- ✓ Adaptabilité : Les systèmes d'irrigation par siphon peuvent être utilisés sur différents types de sols et pour diverses cultures, ce qui en fait une option polyvalente.

IV.1.2.Irrigation goutte à goutte :

Définition :

L'irrigation goutte à goutte est un réseau de tuyaux dans lesquels l'eau d'irrigation est acheminée à travers des trous il laisse passer l'eau pour irriguer les cultures et forme une rangée, respectivement, Habituellement, l'eau est pompée à travers les tubes à l'aide d'une pompe à basse pression. L'irrigation goutte à goutte elle-même a deux types, qui sont l'irrigation goutte à goutte de surface et l'irrigation goutte à goutte enterrée :



Figure IV.7 : systèmes d'irrigation goutte à goutte.

IV. 1.2.1. l'irrigation goutte à goutte de surface :

Définition :

Ce type d'irrigation convient aux champs petits ou irréguliers.

Les inconvénients :

Souvent, le coût de l'entretien continu des systèmes d'irrigation goutte à goutte est quatre ou cinq fois plus élevé que dans d'autres systèmes d'irrigation.

Les spécialistes ont besoin car il est très difficile d'ajuster les systèmes d'irrigation goutte à goutte de surface

Le blocage des points, et il devient très stressant et difficile d'atteindre les lieux de blocage.

Les avantages :

Grâce à l'irrigation goutte à goutte, une grande quantité est connectée au système racinaire et par conséquent, la croissance des herbes diminue autour de la plante, et avec eux, les risques de maladie diminuent. L'irrigation goutte à goutte sera considérée comme la meilleure technologie d'irrigation de tous les temps, et utilisé pour tous les types de sol et dans diverses conditions météorologiques

L'irrigation goutte à goutte est la méthode d'irrigation la plus efficace, jusqu'à 90- 98%

L'irrigation goutte à goutte maintient l'humidité dans la zone racinaire et convient aux terrains plats et inégaux Avec l'irrigation goutte à goutte, les engrais peuvent être ajoutés à l'eau d'irrigation, ce qui entraîne des économies de main-d'œuvre

Les coûts de fonctionnement du système d'irrigation goutte à goutte sont minimales et il faut 10 à 15 ans avant qu'il ne soit nécessaire de les remplacer.

IV. 1.2.2. Goutte à goutte souterrains :

Définition :

Le goutte-à-goutte enterré, également connu sous le nom d'irrigation goutte-à-goutte souterraine, est un système d'irrigation utilisé pour fournir de l'eau directement aux racines des plantes en utilisant des tuyaux perforés ou des émetteurs de gouttelettes enterrés dans le sol. Voici quelques avantages et inconvénients associés à ce système :

Les inconvénients :

- ✓ Coût initial : Le système de goutte-à-goutte enterré peut nécessiter un investissement initial plus élevé par rapport aux méthodes d'arrosage traditionnelles, en raison du coût des tuyaux perforés, des émetteurs et des équipements nécessaires.
- ✓ Maintenance complexe : Ce système peut nécessiter une maintenance régulière, notamment pour vérifier les émetteurs obstrués ou endommagés, ainsi que pour s'assurer que les tuyaux ne sont pas bloqués par des racines ou des débris.

- ✓ Risque de mauvaise installation : Une mauvaise installation du système peut entraîner des problèmes tels que des fuites, une distribution inégale de l'eau ou une mauvaise performance globale.
- ✓ Limitation de la flexibilité : Une fois le système installé, il peut être difficile de le déplacer ou de l'ajuster en fonction des changements dans le jardin ou du type de culture.
- ✓ Dépendance à l'électricité : Certains systèmes de goutte-à-goutte enterrés nécessitent une alimentation électrique pour fonctionner, ce qui peut augmenter les coûts d'exploitation et les contraintes en termes d'accès à l'électricité.

Les avantages :

- ✓ Économie d'eau : Le goutte-à-goutte enterré permet une utilisation efficace de l'eau en délivrant directement l'eau aux racines des plantes, réduisant ainsi les pertes par évaporation et l'arrosage excessif.
- ✓ Economie de temps et d'énergie : Ce système automatique d'irrigation nécessite moins d'intervention manuelle, ce qui permet de gagner du temps et de l'énergie par rapport d'autres méthodes d'arrosage.
- ✓ Réduction des mauvaises herbes : L'eau est fournie directement aux plantes ciblées, ce qui limite l'humidité sur le reste du sol, réduisant ainsi la croissance des mauvaises herbes.
- ✓ Distribution uniforme de l'eau : Les émetteurs de gouttelettes enterrés garantissent une distribution uniforme de l'eau, évitant les zones sèches ou saturées dans le jardin.
- ✓ Réduction des maladies des plantes : L'irrigation goutte-à-goutte enterrée permet d'éviter de mouiller les feuilles et les parties aériennes des plantes, ce qui réduit le risque de développement de maladies fongiques.

IV. 1.3.L'irrigation par aspersion :

Définition :

Le système d'irrigation par aspersion dépendra de l'utilisation des asperseurs dans le champ, selon les zones utilisées pour la culture.



Figure IV.8 : l'irrigation par aspersion.

Les inconvénients :

Coûts de constructions élevées et la possibilité d'infection de la plante, en particulier les champignons l'irrigation par aspersion sont affectés par les facteurs météorologiques, en particulier les vents .Outre la possibilité de précipitation de sels sur les feuilles

Les avantages :

Économie d'eau d'irrigation Outre l'uniformité de la distribution de l'eau d'irrigation Les engrais peuvent être ajoutés avec de l'eau d'irrigation par aspersion L'irrigation par aspersion fonctionne mieux dans les terres sablonneuses Mais je veux vous dire que l'irrigation par aspersion a deux types, et chaque type a ses défauts et ses avantages.

IV.1.3.1.l'irrigation par aspersion traditionnelle :

Définition :

Ce seront des gicleurs qui tourneront et nécessiteront une pression élevée pour pomper l'eau.

Les inconvénients :

Nous avons besoin d'une expérience pratique afin d'être en mesure d'obtenir une distribution homogène de l'eau et que cette méthode nécessite des coûts de construction quelque peu élevés

De plus son entretien est permanent et coûteux et souvent ne réussissent pas dans les zones très venteuses. Mais parmi les avantages de cette méthode

Les avantages :

Très économique pour l'eau d'irrigation par rapport aux autres méthodes Grâce à elle, l'exploitation totale de la superficie du terrain est achevée

C'est une solution appropriée pour l'irrigation des terres accidentées car elle se caractérise par une distribution uniforme de l'eau.

IV.1.3.2. L'irrigation par aspersion mécanique :

Définition :

Cette méthode est considérée comme très développée et moderne dans son utilisation, elle est utilisée dans les grandes terres agricoles.

Les inconvénients :

Inconvénients, il est très coûteux et nécessite une expertise spécialisée et nécessite une forte pression pour le faire fonctionner.

Les avantages :

Il améliore considérablement la qualité de la récolte. Le lissage de l'eau aura lieu avec une grande efficacité et un contrôle automatique de la quantité.

IV.1.3.3. Les installations mobiles :

Définition :

Les installations mobiles dans l'irrigation par aspersion sont des systèmes d'irrigation temporaires et transportables utilisés pour apporter de l'eau aux cultures agricoles. Contrairement aux systèmes d'irrigation fixes, tels que les systèmes enterrés ou les systèmes de pivot central, les installations mobiles peuvent être déplacées et installées rapidement sur différents sites (Murray, 2022).

Les inconvénients :

- ✓ Coût initial plus élevé
- ✓ Maintenance accrue
- ✓ Risques de déplacement involontaire
- ✓ Complexité de la gestion

Les avantages :

Elles permettent une flexibilité dans la gestion de l'eau, car les agriculteurs peuvent ajuster l'emplacement de l'irrigation en fonction des besoins des cultures et de la disponibilité de l'eau. De plus, ces systèmes peuvent être utilisés dans des zones où l'irrigation permanente n'est pas réalisable ou économiquement viable. Cependant, il est important de noter que les installations mobiles nécessitent une surveillance et une gestion étroites pour s'assurer que l'eau est utilisée de manière efficace et appropriée pour éviter le gaspillage et la sous-irrigation.

IV.1.3.4.Les installations semi-mobiles :

Définition :

Les installations semi-mobiles dans l'irrigation sont des systèmes d'irrigation qui permettent de déplacer les éléments de l'infrastructure d'irrigation d'un champ à un autre. Ces installations comprennent généralement des pompes, des conduites d'eau, des canalisations et des équipements d'irrigation tels que des asperseurs ou des goutteurs. Elles sont conçues pour offrir une certaine flexibilité et la possibilité d'adapter l'irrigation à différents endroits (Mecheri, 2022).

Les inconvénients :

- ✓ Coûts initiaux élevés
- ✓ Maintenance complexe
- ✓ Limitations de portée

Les avantages :

- ✓ Flexibilité
- ✓ Utilisation efficace de l'eau
- ✓ Adaptabilité

IV.1.3.5.Les installations permanentes :

Définition :

Les installations permanentes dans l'irrigation sont des systèmes d'irrigation qui comprennent des composants fixes tels que des tuyaux souterrains, des canaux, des goutteurs, des asperseurs ou des pivots d'irrigation (sadek et al.,2023) . Ces systèmes sont généralement installés une fois et peuvent être utilisés pendant de nombreuses saisons de croissance.

Les inconvénients :

- ✓ Coût initial élevé
- ✓ Maintenance requise
- ✓ Dépendance à l'énergie

Les avantages :

- ✓ Efficacité de l'utilisation de l'eau
- ✓ Automatisation
- ✓ Flexibilité des cultures

IV.1.3.6.les installations temporaires :

Définition :

Les installations temporaires dans l'irrigation désignent des systèmes d'irrigation qui sont installés pour une période déterminée, généralement pour répondre à des besoins spécifiques et temporaires en eau pour l'agriculture, les projets de construction, les événements spéciaux ou d'autres utilisations similaires

Les inconvénients :

- ✓ Durabilité limitée
- ✓ Capacité de débit limitée
- ✓ Contraintes techniques

Les avantages :

- ✓ Flexibilité
- ✓ Coût réduit
- ✓ Installation rapide
- ✓ Adaptabilité

IV. 1.3.7.Les enrouleur :

Définition :

Dans le domaine de l'irrigation, un enrouleur est un équipement mécanique utilisé pour déployer et enrouler des tuyaux d'irrigation. Il est conçu pour faciliter le processus d'arrosage en permettant un déplacement efficace du tuyau sur une grande surface (Aouta, 2015).

Les inconvénients :

- ✓ Entretien et réparation
- ✓ Limitation de la portée
- ✓ Le coût initial élevé

Les avantages :

Les enrouleurs d'irrigation offrent plusieurs avantages. Ils permettent une distribution uniforme de l'eau sur une grande surface, réduisant ainsi les risques de sous-irrigation ou de sur-irrigation. De plus, ils offrent une grande mobilité, ce qui permet d'irriguer différentes parties d'un terrain sans avoir besoin de multiples sources d'eau ou de systèmes fixes. Les enrouleurs peuvent être ajustés en fonction des besoins spécifiques en termes de débit d'eau, de pression et de rayon d'arrosage.

IV.2. Techniques de plantation :

Il existe deux types de plantations : manuelle et mécanique.

La plantation manuelle : s'effectue à l'aide d'un plantoir, le plant est mis en terre de 6 à 10 cm de profondeur.

La plantation mécanique : se fait à l'aide d'une repiqueuse qui assure une bonne homogénéité traduisant ainsi un faible taux de manquants (Hadjaz et Hadj Larbi, 2017).

IV.3. Les techniques de culture des légumes :

➤ Préparation de sol :

En agriculture, le sol est l'élément de base. Le sol est la couche superficielle de la croûte terrestre qui peut être modelée et sur laquelle les végétaux poussent. La préparation du sol avant la culture des légumes est essentielle pour favoriser une croissance saine des plantes et maximiser les rendements. Voici quelques étapes clés pour préparer le sol :

Retirez les mauvaises herbes : Avant de commencer, enlevez toutes les mauvaises herbes présentes dans la zone de culture. Cela permet d'éliminer la concurrence pour les nutriments, l'eau et la lumière.

➤ Améliorez le drainage :

Un bon drainage est important pour éviter l'accumulation d'eau qui pourrait entraîner la pourriture des racines. Si votre sol a un mauvais drainage, vous pouvez ajouter du sable, du compost ou du paillis organique pour améliorer sa structure.

Testez le pH du sol : Le pH du sol affecte l'absorption des nutriments par les plantes. Effectuez un test de pH à l'aide d'un kit disponible dans les jardinerie. Si le pH est trop acide ou trop alcalin, vous pouvez ajuster en ajoutant des amendements tels que de la chaux pour augmenter le pH ou du soufre pour le diminuer...

Enrichissez le sol : Ajoutez du compost ou du fumier bien décomposé pour améliorer la fertilité du sol. Ces matières organiques fournissent des nutriments essentiels aux plantes et améliorent la rétention d'eau du sol.

➤ Ameublissez le sol :

Utilisez une fourche ou une bêche pour ameublir le sol en le retournant sur une profondeur d'environ 20 à 30 centimètres. Cela permet de briser les mottes de terre, d'améliorer la circulation de l'air et de faciliter la pénétration des racines.

➤ Ajoutez des engrais :

Si nécessaire, incorporez des engrais spécifiques pour les légumes afin de fournir des nutriments supplémentaires. Choisissez un engrais équilibré avec des proportions adéquates d'azote, de phosphore et de potassium (NPK) pour répondre aux besoins spécifiques des légumes que vous souhaitez cultiver.

➤ Nivelez le sol :

Après avoir effectué toutes les étapes précédentes, nivelez le sol en utilisant un râteau pour obtenir une surface uniforme et lisse.

Une fois que le sol est préparé, vous pouvez planter vos légumes selon les recommandations spécifiques à chaque plante en termes d'espacement, de profondeur de plantation et de soins

ultérieurs. N'oubliez pas d'arroser régulièrement et d'entretenir votre jardin en enlevant les mauvaises herbes et en ajoutant du paillis pour garder le sol humide et éviter l'évaporation excessive de l'eau.

➤ Choix des variétés :

Lorsqu'il s'agit de choisir les variétés à cultiver, il est important de prendre en compte plusieurs facteurs pour garantir de bons résultats. Voici quelques étapes à suivre pour vous aider dans ce processus :

➤ Déterminez vos besoins :

Réfléchissez à l'usage que vous souhaitez faire de vos cultures. S'agit-il de légumes pour la consommation familiale, de fleurs pour un jardin ornemental ou de plantes spécifiques pour des raisons particulières (par exemple, des plantes médicinales). Comprenez vos objectifs et vos préférences personnelles.

➤ Conditions de culture :

Évaluez les conditions de culture disponibles dans votre région, telles que le climat, la durée de la saison de croissance, le type de sol et l'exposition au soleil. Certaines variétés sont mieux adaptées à des climats chauds, d'autres résistent mieux au froid, tandis que certaines nécessitent une période de croissance plus longue. Assurez-vous de sélectionner des variétés adaptées à votre environnement

➤ Renseignez-vous sur les variétés disponibles : Consultez des catalogues de semences, des sites web spécialisés et des forums de jardinage pour trouver des informations sur les différentes variétés disponibles. Prenez note de leurs caractéristiques telles que la taille, la couleur, le goût, la précocité, la résistance aux maladies et les exigences de culture spécifiques.

➤ Demandez des conseils :

N'hésitez pas à demander des conseils à des jardiniers expérimentés, des pépiniéristes locaux ou des agriculteurs de votre région. Ils pourront vous donner des recommandations basées sur leur propre expérience et sur les variétés qui ont bien fonctionné dans votre zone géographique.

➤ Diversifiez :

Optez pour une diversité de variétés pour profiter d'une plus grande variété de saveurs, de couleurs et de textures dans votre jardin. Cela peut également aider à prévenir les épidémies de maladies ou les ravageurs qui peuvent cibler spécifiquement certaines variétés.

➤ Testez et expérimentez :

La culture des plantes est souvent un processus d'apprentissage continu. N'hésitez pas à essayer de nouvelles variétés chaque année et à noter celles qui fonctionnent le mieux dans votre jardin. Cela vous permettra d'affiner vos choix et d'optimiser vos résultats au fil du temps.

➤ Gestion de l'eau :

La gestion de l'eau est un aspect crucial de l'agriculture, et il est essentiel de trouver des moyens efficaces pour utiliser l'eau de manière responsable. En tant qu'agricultrice, voici quelques conseils pour une bonne gestion de l'eau (Chitima, 2016)

➤ Collecte et stockage de l'eau :

Explorez les moyens de collecter et de stocker l'eau de pluie. Vous pouvez installer des réservoirs d'eau sur votre ferme pour récupérer l'eau de pluie à utiliser ultérieurement dans l'irrigation des cultures.

➤ Irrigation efficace :

Optez pour des systèmes d'irrigation efficaces tels que le goutte-à-goutte ou l'irrigation par aspersion. Ces méthodes permettent une utilisation plus précise de l'eau, en la distribuant directement aux racines des plantes, réduisant ainsi les pertes par évaporation.

➤ Planification de l'irrigation :

Établissez un calendrier d'irrigation basé sur les besoins en eau spécifiques de chaque culture à différents stades de croissance, Évitez l'irrigation excessive ou insuffisante, car les deux peuvent avoir des effets néfastes sur les rendements.

➤ Évaluation des besoins en eau :

Surveillez régulièrement l'humidité du sol pour déterminer si l'irrigation est nécessaire. Utilisez des capteurs d'humidité ou des outils similaires pour évaluer avec précision les besoins en eau des plantes.

➤ Pratiques de conservation de l'eau :

Adoptez des pratiques agricoles qui favorisent la conservation de l'eau, comme la gestion des mauvaises herbes pour réduire la concurrence avec les cultures, l'utilisation de paillis pour réduire l'évaporation de l'eau du sol et la rotation des cultures pour améliorer la structure du sol et réduire les pertes d'eau.

➤ Choix des cultures :

Sélectionnez des cultures adaptées à votre région et à votre disponibilité en eau. Certaines cultures sont plus résistantes à la sécheresse et nécessitent moins d'eau pour une production adéquate. En choisissant les bonnes cultures, vous pouvez optimiser l'utilisation de l'eau disponible.

➤ Sensibilisation à l'eau :

Eduquez-vous et sensibilisez les membres de votre communauté agricole à l'importance de la gestion de l'eau. Partagez des informations sur les pratiques agricoles durables et les technologies innovantes qui peuvent aider à économiser l'eau.

En mettant en pratique ces conseils, vous pourrez optimiser l'utilisation de l'eau dans votre exploitation agricole et contribuer à une gestion durable des ressources hydriques. Et dans

notre projet on réutilisé les eaux usées épurées pour l'irrigation pour la gestion de l'eau et en l'absence d'eau pour l'irrigation

➤ **Rotation des cultures :**

La rotation des cultures est une pratique agricole consistant à changer les types de cultures cultivées sur une même parcelle de terre d'une année à l'autre. Cette rotation permet de préserver la fertilité du sol, de réduire les maladies et les parasites, et d'améliorer les rendements agricoles de manière durable (Ratnadass et al, 2012).

IV.4. Les conditions optimales de croissance des légumes :

Les plantes (légumes) ont besoin de lumière pour croître et se développer de façon optimale (Lopez, 2022). Voici quelques-unes des conditions clés :

- ❖ **Lumière** : Les légumes ont besoin d'une exposition adéquate à la lumière pour la photosynthèse, qui est le processus par lequel les plantes produisent leur propre nourriture. Assurez-vous de planter vos légumes dans un endroit ensoleillé où ils recevront au moins 6 à 8 heures de lumière directe par jour.
- ❖ **Température** : Chaque légume a une plage de température optimale pour sa croissance. En général, la plupart des légumes poussent bien dans des températures comprises entre 15 et 25 degrés Celsius. Cependant, il est important de consulter les recommandations spécifiques pour chaque légume, car certaines espèces ont des préférences particulières.
- ❖ **Humidité** : Les légumes ont besoin d'un bon équilibre d'humidité pour croître. Trop d'humidité peut favoriser le développement de maladies fongiques, tandis que trop peu peut entraîner un stress hydrique. Arrosez régulièrement vos légumes en évitant de mouiller excessivement les feuilles, ce qui peut également augmenter le risque de maladies.
- ❖ **Sol** : Le sol joue un rôle crucial dans la croissance des légumes. Assurez-vous que votre sol est bien drainé, fertile et riche en matière organique. Avant la plantation, vous pouvez amender le sol avec du compost ou d'autres matières organiques pour améliorer sa structure et sa nutrition.
- ❖ **Nutriments** : Les légumes ont besoin d'une bonne alimentation pour croître de manière optimale. Assurez-vous que votre sol contient les nutriments essentiels tels que l'azote, le phosphore et le potassium. Vous pouvez utiliser des engrais organiques ou des engrais spécialement formulés pour les légumes pour répondre à leurs besoins nutritionnels.
- ❖ **Espacement** : Il est important de laisser suffisamment d'espace entre les plants pour permettre une croissance saine. Un espacement adéquat favorise une bonne circulation de l'air et réduit le risque de maladies. Consultez les recommandations spécifiques pour chaque légume en ce qui concerne l'espacement approprié.
- ❖ **Protection contre les ravageurs et les maladies** : Les légumes sont souvent sujets aux ravageurs et aux maladies. Surveillez régulièrement vos plantes pour détecter les signes d'infestation ou de maladie et prenez des mesures appropriées pour les contrôler. Il existe

des méthodes de lutte biologique, telles que l'utilisation d'insectes prédateurs ou de pièges, qui peuvent être préférables aux pesticides chimiques.

IV.5. Les outils nécessaires pour la culture des légumes :

La culture de légumes peut varier en fonction de divers facteurs tels que le climat, le type de sol, la saison et les préférences personnelles. Cependant, voici quelques outils couramment utilisés pour la culture de légumes :

- ❖ **Pelle et râteau** : Utilisés pour préparer le sol, enlever les mauvaises herbes et niveler le terrain.
- ❖ **Bêche** : Utile pour creuser des tranchées et ameublir le sol,
- ❖ **Arrosoir ou tuyau d'arrosage** : Essentiels pour l'irrigation régulière des plantes.
- ❖ **Sécateur** : Utilisé pour tailler les plantes et enlever les parties endommagées,
- ❖ **Pincettes ou binette** : Aide à enlever les mauvaises herbes entre les rangs de légumes

IV.6. Les caractéristiques des légumes :

La tomate :

Le nom scientifique de la tomate est *Solanum lycopersicum* et elle appartient à la famille des Solanacées. Cette famille comprend également d'autres légumes couramment utilisés comme les pommes de terre, les poivrons et bien d'autres. C'est une plante vivace, bien que la plupart des producteurs la cultivent comme une annuelle. Le plant de tomate est une plante herbacée et dicotylédone. La plante forme une racine de monticule qui pousse Jusqu'à une profondeur de 2 mètres (6,6 pieds) (Rouibah, 2021).

La plante de tomate est sensible au gel, mais il tolère les basses températures pendant une courte période

Longtemps, le plant de tomate peut supporter des températures aussi basses que 10° (Akpo, 2022).

Pour l'irrigation Les tomates doivent être arrosées régulièrement afin que les feuilles ne soient pas mouillées en permanence car elles deviennent alors sensibles aux maladies du pays. Cela conduit également à entraver les processus de pollinisation et de fertilisation. La meilleure façon d'irriguer les tomates est la méthode d'irrigation goutte à goutte. La quantité d'eau d'irrigation par plante dépend de l'âge,

La menthe :

Les menthes forment un genre de plantes herbacées vivaces de la famille des Lamiacées, sous-famille des Nepetoideae, tribu des Mentheae, sous-tribu des Menthinae. Ce genre comprend de nombreuses espèces, dont beaucoup sont cultivées comme plantes aromatiques et condimentaires, ornementales ou médicinales (Boutella et Zellaghi, 2014).

Nous arrosons fréquemment, pour conserver le sol humide (mais pas spongieux), en particulier depuis le début du printemps jusqu'à la dernière récolte. Un arrosage ou une fertigation (injection d'un fertilisant hydrosoluble dans le système d'arrosage) entre les 2 ou 3 récoltes est nécessaire. De cette manière, on encourage les plantes à se régénérer rapidement et à produire suffisamment de matériau végétal pour la coupe suivante, qui se tiendra 45 jours

plus tard. Lorsqu'il ne pleut pas, les plantes ont besoin d'eau 2-3 fois par semaine entre les récoltes. La menthe s'arrose avec un système goutte-à-goutte ou par Arrosage par aspersion .récolte peut généralement avoir lieu de la fin du printemps au début de l'automne

Piment :

Le piment ou piment de Cayenne est le fruit de certaines variétés du type (*Capsicum annuum*) de la famille des Solanacées. Fruit de plantes du genre *Capsicum*, qui appartient à la famille des solanacées. Les piments sont largement utilisés dans de nombreuses cuisines comme épice pour ajouter de la chaleur aux plats (sangané, 2021).

En principe, les piments préfèrent être arrosés le matin ou le soir et jamais en plein soleil. Attention : les feuilles ne doivent pas être mouillées. En été, il est conseillé d'arroser les plantes au moins une fois par jour en fonction des températures (gaignardet Mathias, 2023)

Conclusion :

En conclusion, la culture des légumes joue un rôle crucial dans notre alimentation et notre santé. Elle présente des avantages nutritionnels et environnementaux, mais nécessite également une gestion responsable pour faire face aux défis actuels et futurs. La promotion de pratiques agricoles durables est essentielle pour assurer une production de légumes saine, respectueuse de l'environnement et durable à long terme (Meynard et al. 2013).

Chapitre V : Méthodologie.

Pour notre travail qui consiste à l'étude d'impact de la réutilisation des eaux usées épurée pour l'irrigation de légume, les investigations effectuées incluent :

1. Plantation de trois plantes consommables, sur une parcelle de jardin située à Boudouaou : **(La tomate, La menthe et le piment).**
2. Irrigation de ces plantes par trois types d'eaux différentes : **(L'eau potable, L'eau épurée décantée (provenant d'un agriculteur situé à corso) et L'eau épurée provenant de la station d'épuration des eaux usées de Boumerdes.**
3. L'identification au laboratoire des contaminants présents dans l'eau d'irrigation, dans le sol et dans les plantes **(les paramètres physico-chimiques, les paramètres microbiologiques et les métaux lourds).**

Les méthodes de caractérisation des eaux d'irrigation, du sol et des plantes sont données ci-après :

V.1. Analyses physico-chimiques de l'eau :

La caractérisation physico-chimiques des eaux épurées a été effectuée au niveau du laboratoire de la division Centre de Recherche et Développement CRD. Selon les protocoles résumés dans le tableau suivant :

Paramètres	Principe de la méthode	La référence de l'appareil
pH	Mesure directe avec le pH mètre	SensION™ +
Conductivité	Mesure directe avec conductimètre	Senven2Go pro
Les matières en suspension	Filtration, séchage	
La demande chimique en oxygène	DCO mètre	LCK 514
Les nitrates (NO₃⁻)	Spectroscopie d'absorption moléculaire (Méthode au salicylate de Na)	LCK 340
Les nitrites (NO₂⁻)	Spectroscopie d'absorption moléculaire	LCK341 LCK 342
Les ortho-phosphates (PO₄⁻³)	Spectroscopie d'absorption moléculaire	LCK 349
phosphore total (PT)	Spectroscopie d'absorption moléculaire.	LCK 349
La turbidité		2100N Turbidimètre

V.1.1.les méthodes d'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau :

Les détails des méthodes d'analyse physico-chimiques de l'eau sont donnés en **annexe 02**

V.2. Analyses microbiologique de l'eau :

Un examen ou analyse microbiologique permet de rechercher et d'identifier les bactéries en cause dans une infection, le but de cet analyse est le dénombrement des bactéries présentes dans l'eau d'irrigation (potable, épurée et décanté).

Matériels et réactifs :

- Bec benzène.
- Flacons stériles.
- Etuve
- La hotte
- Réactifs: BCPL, ROTH, SHUBER, EVA LITSKY, KOVACS.

On utilise la méthode de détermination du nombre le plus probable (**NPP**) par inoculation de tubes en milieux liquides :

V.2.2. principe de détermination de coliforme :

 Le principe de la méthode est donné en annexe 03.

V.2.3. Principe de détermination de streptocoque :

 Le principe de la méthode est donné en annexe 03.

V.3. Analyses métaux lourds des eaux :

L'analyse des métaux lourds dans l'eau est une procédure complexe qui nécessite des équipements de laboratoire spécialisés. Voici la méthodologie utilisée pour effectuer des analyses de métaux lourds dans l'eau :

Matériel requis :

1. Échantillons d'eau à analyser.
2. Équipement de protection individuelle (gants, blouse, lunettes de sécurité, etc.).
3. Bouteilles en plastique propres pour la collecte des échantillons.
4. Acides nitrique à 0.5 % pour la digestion des échantillons.
5. Appareils de mesure ICP-OES.

Méthode d'analyse :

On mélange 9 ml d'eau à analyser à 1 ml d'acide nitrique à 0.5 % , on agite bien puis on injecte dans l'appareil ICP-OES.

V.4. Analyse du sol avant irrigation et des sols irrigués par différentes eaux :

V.4.1. Analyses physico-chimiques :

Pour mesurer les paramètres physico-chimiques du sol, on doit préparer un lixiviat de ce dernier avec de l'eau distillé.

La lixiviation du sol est un processus utilisé pour extraire les substances solubles d'un sol.

Lixiviation du sol :

On pèse 100 g de sol, on le verse dans une bouteille ou un erlenmeyer de 1000 ml, on ajoute 900 ml de l'eau distillé, on laisse agiter pendant 24 heures puis on une décantation pendant 24 heures.



Figure V.1 : Lixiviation de trois types de sol différents.

On filtre la solution à l'aide d'un entonnoir et un filtre, et on récupère le surnageant dans lequel on détermine des paramètres physico-chimiques comme pour l'eau.

V.4.2. Analyses microbiologiques des sols :

L'analyse microbiologique de sol, vise à rechercher et à identifier les bactéries présentes dans ces échantillons. Cette analyse est importante car elle permet de déterminer si le sol est contaminé ou non par des bactéries pathogènes.

Le dénombrement des bactéries présentes dans le sol est réalisé au laboratoire à l'aide de la technique des NPP.

Matériel :

- Haute
- Bec benzène
- Erlenmeyer de 300 ml
- Tamis
- Une balance
- Entonnoir
- Creuset en porcelaine
- Eprouvette
- Agitateur magnétique
- Etuve
- Micro pipette
- Membrane filtrante
- Filtre de 0.45
- Eau distillé
- NaCl.

Mode opératoire :

Préparation de l'eau physiologique :

Les analyses microbiologique ont été effectuée très proche du bec benzène, pour cela, nous avons pesé 9.04 g de NaCl que nous avons mis dans une fiole de 1000 ml, nous avons complété avec de l'eau distillé jusqu'au trait de jauge et bien agité.

On prépare une suspension de sol avec de l'eau physiologique :

Préparation de la suspension de sol

- ✓ La stérilisation du matériel utilisé dans l'étuve sous une température de 180°C.
- ✓ On pèse 15 g de sol.
- ✓ On verse la quantité de sol à l'aide d'un entonnoir dans un erlenmeyer de 250 ml.
- ✓ on ajoute l'eau physiologique jusqu'au trait de jauge.
- ✓ On agite bien avec un agitateur magnétique.
- ✓ On laisse la solution décanter
- ✓ Puis on filtre et en récupère le surnageant.

Ensuite, on procède à l'analyse des coliformes et des streptocoques dans le surnageant (comme pour l'eau).

V.4.3. Analyse des métaux lourds :

Principe :

L'ICP-OES (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectroscopy) est une technique analytique largement utilisée pour la détermination des éléments présents dans un échantillon. Elle permet l'analyse quantitative des métaux et des éléments traces dans une variété de matrices, telles que les sols, les eaux, les aliments, les produits pharmaceutiques et bien d'autres.

Matériel :

- ICP-OES
- Filtre 0.45 μm
- Membrane filtrante pour eau
- Seringue en plastique

Mode opératoire :

Après avoir fait la lixiviation de sol, et après la décantation, nous avons filtré à l'aide d'un filtre 0.45 μm . Ensuite, nous avons ajouté 9 ml de filtrat à 1 ml d'acide nitrique d'une concentration 0.5%. Après agitation nous avons injecté les 10 ml à l'ICP-OES.

V.5. Analyse des plantes :**V.5.1. Analyse microbiologique des végétaux :**

Nous avons pesé 15 g de chaque légume haché (la tomate, piment et la menthe) que nous avons mis dans des erlenmeyer contenant chacun 300 ml d'eau physiologique. Après agitation, décantation et filtration, on récupère le surnageant dans lequel, nous avons recherché les coliformes et les streptocoques (comme pour l'eau).

V.5.2. Détermination des éléments traces métalliques des légumes :

Après avoir haché les légumes à l'aide d'un mixeur, nous avons récupéré le jus de ces légumes, nous avons fait une dilution de 20 fois, puis nous avons mélangé 9 ml de cette dilution à 1 ml de l'acide nitrique 0.5 % et nous avons suivi les mêmes procédures que l'eau.

Chapitre VI : Résultats et discussion.

Afin d'étudier l'impact de la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation des légumes (**La tomate, La menthe et le piment**), nous avons procédé à l'analyse des eaux d'irrigation, des sols avant et après culture et des plantes

VI.1. Analyse des eaux d'irrigation :

VI.1.1. Analyse physico-chimique :

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux d'irrigation sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau VI.1 : Les caractéristiques physico-chimiques des eaux d'irrigation.

	Eau potable.	Eau usée épurée	Eau usée épurée décantée	La norme (JORA ,2012)
pH	7.49 à 17.6 c°	7.71 à 19 c°	7.86 à 18.9 c°	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
Conductivité ($\mu\text{s/cm}$) (ds/m)	2010 $\mu\text{s/cm}$ 2.01 ds/m	1103 $\mu\text{s/cm}$ 1.10 ds/m	1138 $\mu\text{s/cm}$ 1.1308 ds/m	<3000 $\mu\text{s/cm}$
Turbidité	0.206	5.71	2.36	5
MES (mg/l)	4	100	366	30
NO₃-N (mg/l)	11.58	13.29	1.68	30
Nitrate (mg/l)	51.29	58.66	7.44	/
Nitrite (mg/l)	0.32	0.38	9.03	/
DCO (mg/l)	215	172	234	90
Ammonium (mg/l).	0.004	0.018	0.015	/
Phosphate (mg/l)	0.385	0.689	0.146	/
Sulfate (mg/l)	135.3	112.2	91.1	/

Interprétation des résultats :

Les résultats montrent que le pH des eaux varie entre 7,49 et 7.86, ce qui répond aux spécifications des eaux usées utilisées à des fins d'irrigation (JORA, 2012). La conductivité électrique est élevée, ce qui indique une forte concentration de sels dissous dans l'eau mais ces valeurs sont au-dessous des seuils limites.

Les teneurs en nitrate, nitrite, ammonium et phosphate sont également mesurées. Les résultats montrent que les eaux d'irrigation contiennent des nutriments nécessaires à la croissance des plantes, mais également des polluants potentiellement dangereux pour la santé humaine et l'environnement.

Ces eaux sont chargées en matière organique, la DCO dépasse largement les valeurs limites

VI.1.2. Analyse microbiologique des eaux :

Le tableau VI.2 résume les résultats de l'analyse des coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques totaux et streptocoques fécaux.

Tableau VI.2 : Dénombrement des coliformes et des streptocoques.

	Inoculum	Test de présomption	Nombre caractéristique		Test de confirmation		Nombre Caractéristique
					Gaz	Indole	
BCPL	1 × 50 ml	+	1	SHUBER	+	+	1
	5 × 10 ml	+	3		+		0
		+			-		
		+			-		
		-			+		
	5 × 1 ml	+	4		+	-	2
		+			+		
		+			+		
		+			-		
	ROTHE	1 × 50 ml	+		1	EVA LITSKY	+
5 × 10 ml		+	2	+	-		0
		+		-			
		-		+			
		-					
5 × 1 ml		+	2	-	+		0
		+		-			
		-					
		-					

➤ Dénombrement des coliformes :

Le nombre caractéristique en «BCPL» est donc « 134 » ; ce qui correspond sur la table de Mac Grady au nombre 21 coliformes totaux.

Le nombre caractéristique relatif au dénombrement des Coliformes fécaux en « SHUBERT » est donc « 102 », ce qui correspond sur la table du NPP au chiffre 4 coliformes fécaux.

➤ Dénombrement des streptocoques :

Le nombre caractéristique en «ROTHE» est donc « 122 » ; ce qui correspond sur la table de Mac Grady au nombre 10 streptocoques totaux.

Le nombre caractéristique relatif au dénombrement des streptocoques fécaux en « EVA LITSKY» est donc « 100 », ce qui correspond sur la table du NPP au chiffre 1.

Les résultats des analyses microbiologiques des trois types de l'eau sont résumés dans le tableau VI.3 :

Tableau VI.3 : Les résultats des analyses microbiologiques des 3 types de l'eau.

	Coliformes totaux		Coliformes fécaux		E.C	Streptocoques totaux		Streptocoques fécaux	
	Nombre caractéristique	C.T/100 ml	Nombre caractéristique	C.F/100 ml	/	Nombre caractéristique	S.T/100 ml	Nombre caractéristique	S.F/100 ml
Eau potable	134	21	102	4	Absence	122	100	100	1
Eau usée épurée	155	>240	143	28	Absence	132	14	132	14
Eau usée épurée décantée	145	43	133	18	Absence	141	17	131	11
Norme	<1000 CT/100 ml (OMS, 2006)		<100 CF/100 ml (JORA, 2012)		/	/		<100 S.F/100 ml	

Interprétation des résultats :

Les coliformes fécaux sont largement inférieures à la valeur limite ce qui indique une bonne qualité microbiologique de ces eaux.

Les résultats montrent que la qualité bactériologique des trois types d'eau d'irrigation est conforme aux normes (OMS, 2006) (JORA, 2012).

VI.1.3. Les analyses des métaux lourds des eaux :

Les résultats des analyses des métaux lourds dans les eaux sont exprimés dans le tableau VI.4.

Tableau VI.4 : Les résultats des analyses des métaux lourds dans les eaux.

Paramètre	Eau potable	Eau usée épuré	Eau usée épuré décantée	La norme
Cd (µg/l)	<1.11	<1.11	<1.11	50 µg/l
Cr (µg/l)	458.2	<1.11	<1.11	1 000 µg/l
Cu (µg/l)	<1.11	<1.11	<1.11	5 000 µg/l
Fe (µg/l)	14407.8	368 076	132 534	20 000 µg/l
Mn (µg/l)	<1.11	80.29	215.118	10 000 µg/l
Ni (µg/l)	<1.11	<1.11	<1.11	2 000 µg/l
Pb (µg/l)	<1.11	347.43	115.662	10 000 µg/l
Zn (µg/l)	3.33	1860.36	1091.019	10 000 µg/l

On multiplie toute les valeurs fois 1.11.

Interprétation des résultats :

Les résultats montrent que seul la teneur en fer des eaux épurées dépasse la norme qui est de 20 000 µg/l.

VI.2. Analyses du sol avant irrigation et des sols irrigués par différentes eaux :

Dans cette étude on a 7 échantillons de sol à analyser :

- Sol après irrigation de l'orange de l'agriculteur.
- Sol après irrigation de raisin de l'agriculteur.
- Sol avant irrigation de l'agriculteur.

- Sol avant irrigation de légumes.
- Sol irrigué avec de l'eau potable.
- Sol irrigué avec de l'eau usée épurée.
- Sol irrigué avec de l'eau usée épurée décantée.

VI.2.1. Analyses physico-chimiques de sol :

➤ analyses physico-chimiques de sol de l'agriculteur :

Les résultats des analyses physico-chimiques de sol de l'agriculteur avant et après irrigation sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau VI.5 : Les résultats des analyses physico-chimiques de sol de l'agriculteur avant et après irrigation

Paramètres physico-chimiques	Sol après irrigation de l'orange de l'agriculteur	Sol après irrigation de raisin de l'agriculteur	Sol avant irrigation de l'agriculteur
pH	7.73	8.17	7.84
Conductivité (CE)	213.3 à T=22.6°C	538.2 à T=23.7°C	238.8 à T= 24°C
DCO (mg/kg)	5670	6460	15740
Nitrates (mg/kg)	1051	1545	191
Nitrites (mg/kg)			
Ammonium (mg/kg)	28.62	32.50	1.14
Phosphate (mg/kg)	69.71	71.05	2.55
Phénol (mg/kg)	160.43	175.04	9.18
Sulfate (mg/kg)	5622	767	862

➤ **Analyses physico-chimiques des sols de plantation :**

Le tableau ci-dessous exprime les résultats des analyses physico-chimiques des sols avant et après plantation des légumes (tomate, menthe et piment) :

Tableau VI.6 : Analyses physico-chimiques de sols avant et après plantation des légumes.

Paramètres	Sol avant irrigation de légumes	Sol irrigué avec l'eau potable	Sol irrigué avec l'eau usée épurée	Sol irrigué avec l'eau usée épurée décanté
pH	8.84 à T=26.4 °C	8.71 à T=25.2 °C	8.66 à T=25.5 °C	8.69 T=25.7
Conductivité	139.3 à 26.9°C	286.6 à 26.7°C	251.7 à 26.7°C	249.2 à
DCO	1040	1390	1090	1130
Nitrate (mg/kg)	11	185	203	192
Nitrite (mg/kg)	0.62	24.8	14.7	23
Ammonium (mg/kg)	0.37	5.49	2.69	1.32
Phosphate (mg/kg)	18.32	2.05	3.22	3.15

VI.2.2. Analyses microbiologique de sol :

Tableau VI.7 : Résultats microbiologiques de sol après irrigation de l'orange de l'agriculteur.

	Inoculum	test de présomption	Nombre caractéristique
BCPL	1 X 50 ml	+	1
	5 X 10 ml	+	5
		+	
		+	
		+	
		+	
5 X 1 ml	+	5	
	+		
	+		
	+		
	+		
ROTH	1 X 50 ml	+	1
	5 X 10 ml	+	5
		+	
		+	
		+	
		+	
	5 X 1 ml	+	5
		+	
		+	
+			
+			

- Le nombre caractéristique en « BCPL » est 155 et qui correspond sur la table de Mac Grady au nombre >240 coliformes totaux dans 100 ml.
- Le nombre caractéristique en « ROTH » est 155 et qui correspond sur la table de Mac Grady au nombre >240 streptocoques totaux.

On cherche combien de coliforme et de streptocoques dans 250 ml :

Exemple de calcul :

>240 → 100 ml

X coliformes → 250 ml

$$X = \frac{240 \times 250}{100} = 600 \text{ coliformes dans } 250 \text{ ml et } 15 \text{ g de sol.}$$

Dans 1 g de sol :

600 → 15 g

X → 1 g

$$X = \frac{600 \times 1}{15} = 40.$$

Tableau VI.8 : Résultats des analyses microbiologiques des différents types de sol.

	Coliformes totaux		Streptocoques totaux	
	Nombre caractéristique	C.T/100 ml	Nombre caractéristique	S.T/100 ml
Sol après agriculture de l'orange	155	40	155	40
Sol après agriculture du raisin	155	40	154	26.6
Sol avant agriculture	154	26.6	123	2
sol de plantation avant irrigation	155	40	101	0.5
Sol de plantation irrigué avec l'eau potable	143	4.6	102	0.6
Sol de plantation irrigué avec l'eau usée épurée	144	5.8	122	1.6
Sol de plantation irrigué avec l'eau usée épurée décantée	155	40	142	3.6

VI.2.3. Caractérisation des éléments traces métalliques dans le sol :

➤ Les ETM de sol de l'agriculteur :

Les résultats des analyses des métaux lourds trouvés dans le sol de l'agriculteur avant et après irrigation sont ont donnés dans le tableau ci-après :

Tableau VI.9 : Résultats des éléments traces métalliques trouvés dans le sol de l'agriculteur avant et après irrigation.

L'élément	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Normes (AFNORE U44-041) ($\mu\text{g/Kg}$)	2000	150000	100000	40000000	/	50000	100000	300000
Sol après irrigation de l'orange de l'agriculteur	31.21	86.64	12.45	10360	664.5	134.8	131.1	209.4
Sol après irrigation de raisin de l'agriculteur	<10	104.6	112.4	2089	165.1	141.8	118.2	192.5
Sol avant irrigation de l'agriculteur	27.07	50.12	101.3	1129	23.24	128.7	113.3	188.2

➤ Les ETM de sol de plantation :

Tableau VI.10 : Résultats des analyses des métaux lourds trouvés dans le sol de plantation des légumes avant et après irrigation.

L'élément	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Normes AFNORE U44-041 ($\mu\text{g/Kg}$)	2000	150000	100000	40000000	/	50000	100000	300000
Sol avant irrigation de légumes	<10	<10	<10	1843200	19160	<10	1703	35980
Sol irrigué avec l'eau potable	<10	<10	<10	2048000	1194	<10	728.8	18650
Sol irrigué avec l'eau usée épurée	<10	<10	<10	2253000	<10	<10	<10	7835
Sol irrigué avec l'eau usée épurée décanté	<10	<10	<10	2766000	<10	<10	<10	8566

Interprétation des résultats :

- On remarque que toutes les teneurs en métaux lourds dans les deux types de sols sont inférieures aux seuils limites de la norme AFNORE U44-041.
- L'augmentation des teneurs en métaux lourds dans les sols après irrigation peut être expliquée par rapport de ces métaux par les eaux d'irrigation. Cependant leur diminution est due par un transfert vers les plantes.

VI. 3Analyse des plantes :

VI.3.1.Évolution des légumes durant les deux mois et demi :

- Évolution de la tomate :



Figure VI.1 : plantation de tomate irriguée avec l'eau potable.



Figure VI.2 : plantation de tomate irriguée avec l'eau usée épurée décanter.



Figure VI.3 : plantation de tomate irriguée avec l'eau usée épurée.

Après un mois et demi



Figure VI.4 : la tomate irriguée avec l'eau potable.



Figure VI.5 : la tomate irriguée avec l'eau usée épurée décanter.



Figure VI.6 : la tomate irriguée avec l'eau usée épurée.

Après deux mois et demi



Figure VI.7 : l'évolution de la tomate irriguée avec l'eau potable.



Figure VI.8 : l'évolution de la tomate irriguée avec l'eau usée épurée décanter.



Figure VI.9 : l'évolution de la tomate irriguée avec l'eau usée épurée.

- **Évolution de piment :**



Figure VI.10 : la plantation de piment irriguée avec l'eau potable.



Figure VI.11 : la plantation de piment irriguée avec l'eau usée épurée décantée.



Figure VI.12 : la plantation de piment irriguée avec l'eau usée épurée.

Après un mois et demi



Figure VI.13 : piment irriguée avec l'eau potable.



Figure VI.14 : piment irriguée avec l'eau usée épurée décantée.



Figure VI.15 : piment irriguée avec l'eau usée épurée.

Après deux mois et demi



Figure VI.16 : l'évolution de piment irriguée avec l'eau potable.



Figure VI.17 : l'évolution de piment irriguée avec l'eau usée épurée décantée.



Figure VI.18 : l'évolution de piment irriguée avec l'eau usée épurée.

- Évolution de la menthe :



Figure VI.19 : la plantation de la menthe irriguée avec l'eau potable.



Figure VI.20 : la plantation de la menthe irriguée avec l'eau usée épurée décantée.



Figure VI.21 : la plantation de la menthe irriguée avec l'eau usée épurée.

Après un mois et demi



Figure VI.22 : l'évolution de la menthe irriguée avec l'eau potable.



Figure VI.23 : l'évolution de la menthe irriguée avec l'eau usée épurée décantée.



Figure VI.24 : l'évolution de la menthe irriguée avec l'eau usée épurée.

Tableau VI.11 : Les remarques après deux mois et demi.

Type de légumes	Eau potable	Eau usées épurées	Eau usées épurées décantées
Tomate	<ul style="list-style-type: none"> • Jaunissement des feuilles • Augmentation de la longueur de tige de la plante • Maturation lente des fruits 	<ul style="list-style-type: none"> • Jaunissement des feuilles • Augmentation de la longueur de la tige de la plante • Maturation rapide des fruits 	<ul style="list-style-type: none"> • Jaunissement des feuilles • Augmentation de la longueur de tige de la plante • Croissance lente des fruits
Piment	<ul style="list-style-type: none"> • Feuilles vert presque jaune • Croissance lente des fruits 	<ul style="list-style-type: none"> • Feuilles vertes presque jaune • Croissance rapide des fruits 	<ul style="list-style-type: none"> • Feuilles vertes • Croissance rapide des fruits
La menthe	<ul style="list-style-type: none"> • Feuilles vertes fraîches • Des filiales apparaissent • Croissance lente des feuilles 	<ul style="list-style-type: none"> • Feuilles vertes fraîches • Des filiales apparaissent • Les feuilles poussent rapidement 	<ul style="list-style-type: none"> • Feuilles vertes fraîches • Des filiales apparaissent • Les feuilles poussent rapidement

Tableau VI.12 : La longueur des tiges des légumes après un mois et demi :

	Tomate	Piment	Menthe
Eau potable	52 cm	35 cm	19 cm
Eau épurée décanté	38 cm	36 cm	25 cm
Eau épurée	40 cm	35 cm	22 cm

VI.3.2 les métaux lourds dans les légumes :

L'élément	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Normes (OMS, 2007) ($\mu\text{g/Kg}$)	300	/	150000	2400	/	/	100	/
Tomate irrigué avec l'eau potable	<33.33	6779.88	3786.21	2285712	16933.05	220210.9	25048.26	128937.6
Tomate irrigué avec l'eau usée épurée	<33.33	<33.33	<33.33	1082583	<33.33	347985	2199.465	44755.2
Tomate irrigué avec l'eau usée épurée décantée	<33.33	<33.33	<33.33	507825	<33.33	14838.48	<33.33	20456.49

Interprétation des résultats :

Plusieurs observations en rapport avec la présence des métaux lourds dans la plante analysée (tomate) découlent des résultats des analyses de notre échantillon.

- Les teneurs en cadmium de la tomate irriguée par les trois types d'eau sont inférieures à $33.33 \mu\text{g/Kg}$ ce qui répond à la norme (OMS, 2007) qui est de $300 \mu\text{g/Kg}$.
- On remarque que la tomate irriguées avec de l'eau potable est riche en Cr ce qui est dû à la richesse de cette eau en élément.
- Les teneurs en fer dans les tomates irriguées avec les trois types d'eau dépassent largement le seuil limite qui est de $2400 \mu\text{g/Kg}$. Cela est dû au transfert de ce métal du sol et des eaux d'irrigation vers la plante.
- Les teneurs en plomb dans les tomates irriguées avec l'eau potable est l'eau usées épurées dépassent largement le seuil limite qui est de $100 \mu\text{g/Kg}$. Cela est dû au transfert de ce métal du sol et des eaux d'irrigation vers la plante.

VI.3.3 les analyses microbiologiques des légumes :

	Coliformes totaux		Streptocoques totaux	
	Nombre caractéristique	C.T/100 ml	Nombre caractéristique	S.T/100 ml
Piment (l'eau potable)	155	40	000	<0.1
Piment (l'eau usée épurée)	155	40	000	<0.1
Piment (l'eau usée épurée décantée)	155	40	102	0.6
Tomate (l'eau potable)	145	7.1	000	<0.1
Tomate (l'eau usée épurée)	155	40	001	0.16
Tomate (l'eau usée épurée décantée)	155	40	002	0.3
Menthe (l'eau potable)	144	5.8	010	0.16
Menthe (l'eau usée épurée)	155	40	155	40
Menthe (l'eau usée épurée décantée)	145	7.1	155	40
Norme (JORA, 2012)	100 C.T/100 ml		/	

Interprétation des résultats :

Les coliformes totaux sont largement inférieures à la valeur limite ce qui indique une bonne qualité microbiologique de la plante.

Les résultats montrent que la qualité bactériologique des trois types de tomates est conforme aux normes (JORA, 2012).

Conclusion générale :

La réutilisation des eaux usées brutes ou traitées en agriculture est une pratique couramment adoptée dans les zones situées en aval des centres urbains, et plus particulièrement dans les régions confrontées à des pénuries d'eau et de ressources hydriques (Djillali, 2020). Bien que cette pratique soit interdite, les agriculteurs l'apprécient en raison de plusieurs avantages (kauma et suart, 2021). En effet, les eaux usées constituent une ressource constamment disponible et en grande quantité, et elles renferment des éléments fertilisants essentiels pour améliorer les propriétés du sol et accroître les rendements des cultures.

L'objectif de cette étude est de faire une comparaison entre trois types d'eau d'irrigation (L'eau potable, l'eau usée épurée de la STEP de Boumerdès et l'eau épurée décanté) pour voir si ces résultats d'analyse conforment aux normes ou non.

Pour réaliser ce travail, on a effectué un ensemble des analyses importantes :

Premièrement, on a planté 3 types des plantes au niveau du jardin de Boudouaou, et nous avons surveillé leur développement.

Ensuite, on a fait des analyses physico-chimiques, métaux lourds et analyses microbiologiques au niveau de CRD pour :

- l'eau d'irrigation

- Le sol

- Les plantes

Enfin, on a fait la comparaison entre les résultats des analyses des métaux lourds entre les 3 paramètres précédents.

Les résultats obtenus sont résumés ci-dessous :

-Les analyses physico-chimiques conforment à la norme donnée, les eaux usées entrants à la station d'épuration sont bien épurées.

- L'analyse des métaux lourds dans l'eau nous a indiqué l'absence de la toxicité par ces éléments dans les trois types des eaux.

- Les résultats des analyses microbiologiques sont conformes à la norme pour les 3 types d'eau.

- Les concentrations des métaux lourds dans tous les types des sols irrigués sont dans les normes et ne provoquent aucun risque.

- Il y a certains teneurs en métaux lourds obtenus dans tous les plantes irriguées avec les trois types de l'eau sont pas acceptables à consommer.

Résumé :

Résumé :

La réutilisation des eaux usées épurées en irrigation offre plusieurs avantages, tels qu'une économie de ressources naturelles et une protection de l'environnement. Ces pratiques peuvent constituer une source d'approvisionnement supplémentaire dans le domaine de l'agriculture. En raison de la demande croissante de produits agricoles, les agriculteurs se tournent de plus en plus vers des sources d'eau non conventionnelles, dont certaines peuvent contenir des niveaux élevés de nutriments et de métaux lourds.

Cependant, les analyses ont démontré que les teneurs en métaux lourds dans les plantes irriguées avec des eaux usées épurées se maintiennent à des niveaux acceptables pour la consommation. Des mesures appropriées sont mises en place pour traiter et purifier les eaux usées avant leur utilisation en irrigation, réduisant ainsi les risques liés aux métaux lourds. Cela permet de minimiser l'impact potentiel sur la santé humaine et l'environnement.

Abstract :

The reuse of treated wastewater in irrigation offers several advantages, such as saving natural resources and protecting the environment. These practices can constitute an additional source of supply in the field of agriculture. Due to the growing demand for agricultural products, farmers are increasingly turning to unconventional water sources, some of which may contain high levels of nutrients and heavy metals.

However, analyzes have shown that heavy metal levels in plants irrigated with treated wastewater remain at acceptable levels for consumption. Appropriate measures are put in place to treat and purify wastewater before its use in irrigation, thus reducing the risks associated with heavy metals. This minimizes the potential impact on human health and the environment.

ملخص

توفر إعادة استخدام المياه العادمة المعالجة في الري مزايا عديدة، مثل الحفاظ على الموارد الطبيعية وحماية البيئة. يمكن أن تشكل هذه الممارسات مصدرًا إضافيًا للإمداد في مجال الزراعة. بسبب الطلب المتزايد على المنتجات الزراعية، يتجه المزارعون بشكل متزايد إلى مصادر المياه غير التقليدية، والتي قد يحتوي بعضها على مستويات عالية من العناصر الغذائية والمعادن الثقيلة.

ومع ذلك، فقد أظهرت التحليلات أن مستويات المعادن الثقيلة في النباتات المروية بمياه الصرف الصحي المعالجة تظل عند مستويات مقبولة للاستهلاك. يتم اتخاذ التدابير المناسبة لمعالجة وتنقية مياه الصرف الصحي قبل استخدامها في الري، وبالتالي تقليل المخاطر المرتبطة بالمعادن الثقيلة. هذا يقلل من التأثير المحتمل على صحة الإنسان والبيئة.

ANNEXE 01 :

Les paramètres physico-chimiques des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation
(JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 41)

PARAMETRES		UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
Physiques	pH	—	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR = $\sigma - 3$ CE		0.2
	3 - 6		0.3
	6 - 12	ds/m	0.5
	12 - 20		1.3
	20 - 40		3
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (Cl)	meq/l	10
	AZOTE (NO ₃ - N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO ₃)	meq/l	8.5
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercure	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
Zinc	mg/l	10.0	

ANNEXE 02 :

Les méthodes d'analyse des paramètres physico-chimiques

❖ Détermination de pH

Principe :

Le pH est la différence de potentiel existante entre une électrode en verre et une électrode de référence. La détermination consiste en la mesure d'une différence de potentiel, elle s'effectue à l'aide d'un dispositif potentiométrique.

Appareillage :

- Electrode de verre.
- Dispositif potentiométrique.
- Pipette de précision de 50 ml de volume.
- Agitateur magnétique.

Mode opératoire :

- Prélever à l'aide d'une pipette une prise d'essai de 50ml et l'introduire dans un bêcher propre.
- Rincer abondamment l'électrode avec de l'eau distillée.
- Placer le bêcher sous agitation magnétique.
- Introduire l'électrode dans la solution à analyser.
- Mettre en marche le potentiomètre.
- Lire la valeur affichée par le potentiomètre après stabilisation.



Figure : le pH mètre

Température

Il est indispensable de contrôler la température de l'eau, car elle est l'un des paramètres les plus importants et lorsqu'on a un changement de la température, on aura un changement dans les autres paramètres.

Mesure de la conductivité

L'appareil utilisé est un conductimètre équipé d'une sonde de mesure de température. La cellule du conductimètre rincée avec l'eau distillée est plongée dans la solution à analyser et la valeur de la conductivité est affichée sur l'écran de l'appareil avec une unité de micro Siemens par Centimètre ($\mu\text{s}/\text{cm}$) ou bien milli Siemens par centimètre (ms/cm).



Figure : conductimètre.

DETERMINATION DE LA TURBIDITE

Principe :

La turbidité mesure une propriété optique de l'échantillon d'eau qui résulte de la dispersion et de l'absorption de la lumière par les particules de matières en suspension présentes dans l'échantillon. La quantité de turbidité mesurée dépend de variables telles que la taille, la forme et les propriétés de réfraction des particules. Il n'existe pas de relation directe entre la turbidité d'une eau et sa teneur en matières en suspension.

Appareillages :

- Cellule en verre de 25ml de capacité.
- Spectrophotomètre de type 2100N.

Mode opératoire :

- Mettre en marche le 1200N en appuyant sur la touche POWER.
- Introduire le numéro de programme mémorisé pour la turbidité. READ/E1%TER, l'affichage indique REGLER nm à 450, tourner le Paramètres pratique des eaux usées bouton de réglage des longueurs d'ondes jusqu'à ce que l'affichage indique : 450nm.
- Presser :READ/INTER, l'affichage indique: FTU TURBIDITE.
- Remplir une cellule avec 25ml d'eau dés ionisée. Placer le blanc dans le puit de mesure Fermer le capot.
- Presser : ZERO, l'affichage indique : ATTENDRE puis, 0 FTU TURBIDITE.
- Verser 25 ml d'eau a analyser dans la seconde cellule et placer la dans le puits de mesure. Fermer le capot.

Presser : READ/ENTER ; l'affichage indique ATTENDRE puis le résultat en unités formazine de turbidité (FTU) s'affiche.



Figure : Turbidimètre.

Détermination de la matière en suspension

Principe :

Le principe de mesure de la matière en suspension varie en fonction de la méthode de mesure utilisée. Il existe différentes techniques de mesure de la matière en suspension est obtenue en faisant la différence entre la masse du creuser incluant les résidus séchés et la masse initiale du creuser tout en tenant compte du volume filtré.

Réactif :

- ✓ Eau potable.
- ✓ Eau usées épurées.
- ✓ Eau usées épurées décanté.

Appareillages :

- ✓ Dessiccateur.
- ✓ balance électrique.
- ✓ éprouvette.
- ✓ centrifugeur.
- ✓ 4 tubes.
- ✓ 3 creusé.
- ✓ Un échantillon de liquide à analyser
- ✓ Un entonnoir
- ✓ Un papier filtre ou un filtre en verre fritté (utilisé pour retenir les particules en suspension)
- ✓ Un support pour maintenir le papier filtre ou le filtre en place (par exemple, un bécher)
- ✓ Une étuve ou un four pour sécher le filtre.

Mode opératoire :**Préparation de l'appareillage :**

1. Rincer l'entonnoir et le filtre avec de l'eau distillée pour éliminer toute contamination.
2. Sécher le filtre dans une étuve ou un four à une température appropriée (généralement entre 100°C et 120°C) jusqu'à obtenir un poids constant. Notez le poids initial du filtre sec (m1).

Filtration de l'échantillon :

1. Fixer le filtre dans l'entonnoir et placer l'entonnoir sur le support.
2. Verser l'échantillon liquide à analyser dans l'entonnoir.
3. Laisser le liquide s'écouler à travers le filtre. Assurez-vous que tout le liquide a été filtré.

Séchage du filtre :

1. Retirer délicatement le filtre avec les particules en suspension et le transférer dans une coupelle préalablement pesée.
2. Sécher le filtre avec les particules dans une étuve ou un four à une température appropriée jusqu'à obtenir un poids constant. Notez le poids final du filtre sec avec les particules en suspension (m_2).

Calcul de la matière en suspension :

1. Soustraire le poids initial du filtre sec (m_1) du poids final du filtre sec avec les particules en suspension (m_2). La différence représente le poids de la matière en suspension.
2. Le résultat peut être exprimé en milligrammes (mg) ou en milligrammes par litre (mg/L) en fonction du volume de liquide analysé.

Il est important de noter que cette méthode est une approche générale pour la détermination de la matière en suspension. Dans certains cas, des méthodes spécifiques peuvent être nécessaires en fonction des propriétés du liquide à analyser. Il est recommandé de consulter les normes ou les protocoles d'analyse spécifiques à votre domaine pour obtenir des instructions détaillées et précises.

DETERMINATION DES PHOSPHATES

Principe :

Le phosphore dans les eaux naturelles et usées se trouve uniquement sous forme de phosphates.

Réactifs :

Gélules phosver 3 contenant le molybdate et l'acide ascorbique.

Appareillages :

- Spectrophotomètre type DR 1900
- Cellule en verre de 25ml de capacité.

Mode opératoire :

- Mettre en marche le DR 1900 on appuyant sur la touche **POWER**.
- Entre le numéro de programme mémorisé pour le phosphate. Presser 349 READ/ENTER, l'affichage indique.
- cliquer le bouton de réglage de longueur d'onde jusqu'à ce que l'affichage

- Remplir un flacon colorimétrique avec 25ml d'échantillon.
- Ajouter le contenu d'une gélule de réactif phos ver3 au flacon (l'échantillon préparé), agiter pour mélanger.
- Lorsque le minuteur sonne, presser SHIFT TIMER. une période de réaction de 2 minutes commence.



Figure : spectrophotomètre DR 1900.

Procédure Phosphore total :

1. Enlevez délicatement la feuille de protection du DosiCap Zip détachable.
2. Dévissez le DosiCap Zip
3. Prélevez soigneusement 2.0 ml d'échantillon
4. Revissez immédiatement et serrez le DoziCap Zip sur la cuve ; dirigeant le cannelage vers le haut.
5. Secouer énergiquement.
6. Chauffer dans le thermostat. HT200S : 15 minutes avec le programme standard HT. Thermostat : pour 60 minutes à 100° C (212° F) ou pour 30 minutes à 120 °C (248 °F)
7. Laisser refroidir à température ambiante. REMARQUE : Vérifiez que le bouchon soit bien maintenu serré après refroidissement.
8. Secouer énergiquement.
9. Dévissez le DosiCap Zip.
10. Pipeter dans la cuve une fois refroidie : 0.2 ml de réactif B. Fermer immédiatement le réactif B après emploi.
11. . Visser un DosiCap C gris sur la cuve.
12. Retourner plusieurs fois jusqu'à ce que le lyophilisat se soit complètement dissous
13. Après 10 minutes, retourner de nouveau, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.
14. Insérez la cuve dans le porte-cuve. DR1900 : Accéder à méthodes LCK/TNTplus. Sélectionnez le test, appuyez sur MESURER.



Figure : thermostat Hach DRB200.

Interférences :

Les ions mentionnés ont été vérifiés séparément, ils n'interfèrent pas jusqu'aux concentrations indiquées. Nous n'avons cependant pas étudié l'effet cumulatif et l'influence d'ions supplémentaires. Les résultats de mesures sont à vérifier par un contrôle de plausibilité (dilution et/ou addition). Retirer des interférences En présence d'acides phosphoriques, le temps d'équilibrage de la température de l'hydrolyse (voir du mode opératoire pour la détermination du phosphore total. Annexe 02) Devra être augmenté à 2 h à 100°C dans le thermostat pour éviter des résultats trop faibles.

Résumé de la méthode :

Les ions phosphate réagissent en solution acide avec les ions molybdate et antimoine pour donner un complexe de phosphore molybdate d'antimoine. Celui-ci est réduit par l'acide ascorbique en bleu de phosphore molybdène.

Demande Chimique en Oxygène (DCO).

Principe :

Le principe de LCK 514, connu sous le nom de méthode de demande chimique en oxygène (DCO), est une méthode utilisée en chimie de l'environnement pour mesurer la quantité de matière organique dans un échantillon d'eau ou d'eaux usées. Cette méthode repose sur l'oxydation chimique de la matière organique présente dans l'échantillon.

Réactifs :

- Tube DCO (100 à 2000 mg/l) pour les concentrations.

Procédure :

- Mélanger le contenu pour avoir une solution homogène.
- Pipette soigneusement 2.0 ml d'échantillon.
- Fermer la cuve, bien nettoyer l'extérieur de la cuve.
- Retournez.
- Chauffer dans le thermostat. DCO classique : 2 heures à 148 °C (298.4 °F).
- HT 200 S : 15 minutes avec le programme standard HT.
- Sortir la cuve chaude. DCO classique : Retourner deux fois soigneusement.HT
- 200 S : Après le déverrouillage, retourner deux fois soigneusement
- Laisser refroidir à température ambiante. COD classique : dans le support de
- cuve.HT 200 S : dans le thermostat.
- Bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer. Remarque : Les résidus doivent être complètement éliminés avant l'évaluation.
- Insérer la cuve dans le compartiment pour cuves. DR 1900 : Accéder à méthodes LCK/TNT plus. Sélectionner le test, appuyer sur MESURER (voir annexe 2)

Interférences :

Cette méthode est applicable pour des échantillons (ou échantillon dilué) ayant une teneur en chlorure de 1500 mg/L max.

Les résultats de mesures sont à vérifier par un contrôle de plausibilité (dilution et/ou addition).

Résumé de la méthode

Les substances oxydables réagissent avec le bichromate de potassium sulfurique, en présence de sulfate d'argent. Le chlorure est masqué avec du sulfate de mercure. La coloration verte de Cr^{3+} sera déterminée photo métriquement.

DETERMINATION D'AZOTE

Principe :

Dans les eaux, l'azote peut se trouver sous forme minéral (ammoniacal, nitrate).

En assainissement, le cycle de l'azote passe par les différents stades d'évolution biogéochimique du composé. Il aboutit à la formation d'azote gazeux (diazote N_2) en commençant par l'azote organique, et en passant par : l'ammoniac, le nitrite, le nitrate.

Dans les stations d'épuration, plusieurs formes d'azote sont présentes comme : Nitrites et nitrates (l'azote oxydé) et les formes non oxydées tels que l'azote Kjeldhal comprenant l'azote organique et l'azote ammoniacal (NH_4^+).

Les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-) sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium (NH_4^+), présent dans l'eau et le sol

❖ Détermination des nitrates (NO_3^-) :

Réactifs :

- Gélule nitrate contenant 2.6-diméthylphénol

Appareillage :

- Spectrophotomètre type DR 1900
- Cuve Nitrate 5–35 mg/L $\text{NO}_3\text{-N}$ ou 22–155 mg/L NO_3

Mode opératoire :

- Pipeter soigneusement 0.2 ml d'échantillon.
- Pipeter soigneusement 1.0 mL de la solution A.
- Fermer la cuve et retourner plusieurs fois jusqu'à ce que le mélange soit complet.
- Après 15 minutes, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.
- Insérer la cuve dans le compartiment pour cuves. DR 1900 : Accéder à méthodes LCK/TNTplus. Sélectionner le test, appuyer sur MESURER.

❖ Détermination des nitrites (NO_2^-) :

Réactif :

- Gélule nitrite contenant les amines primaires et aromatiques

Appareillage :

- Spectrophotomètre type DR 1900
- Cuve Nitrite 0,6-6MG/L LCK342 -

Mode opératoire :

- Enlevez délicatement la feuille de protection du DosiCap Zip détachable.
- Dévissez le DosiCap Zip
- Pipetter soigneusement 0.2 mL d'échantillon.
- Vissez immédiatement le DosiCap Zip en dirigeant les cannelures vers le haut.
- Secouer énergiquement jusqu'à ce que le lyophilisat se soit complètement dissous.
- Après 10 minutes, retourner de nouveau, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.
- Insérer la cuve dans le compartiment pour cuves. DR 1900 : Accéder à méthodes LCK/TNTplus. Sélectionner le test, appuyer sur MESURER.

❖ Détermination d'ammonium (NH₄) :

Réactif :

- Gélule d'ammonium contenant des ions hypochloreux et salicyliques

Appareillage :

- Spectrophotomètre type DR 1900
- Cuve d'ammonium 0.015–2.0 mg/L NH₄-N ou 0.02–2.5 mg/L NH₄

Mode opératoire :

- Enlevez délicatement la feuille de protection du DosiCap Zip détachable.
- Dévissez le DosiCap Zip.
- Pipetter soigneusement 5.0 ml d'échantillon
- Vissez immédiatement le DosiCap Zip en dirigeant les cannelures vers le haut.
- Secouer énergiquement.
- Après 15 minutes, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.
- Insérer la cuve dans le compartiment pour cuves (spectrophotomètre) DR 1900 :
Accéder à méthodes LCK/TNTplus. Sélectionner le test, appuyer sur MESURER.



Test en cuve ammonium 0.015-2 MG/L LCK304

DETERMINATION DES SULFATES

Principe :

Les sulfates (SO_4^{2-}) peuvent être trouvés dans presque toutes les eaux naturelles. L'origine de la plupart des composés sulfates est l'oxydation des minerais de sulfites, la présence de schistes, ou de déchets industriels.

Réactif :

- Gélule des sulfates contenant le chlorure de baryum

Appareillage :

- Spectrophotomètre type DR 1900.
- Cuve sulfates 40–150 mg/L SO_4 .

Mode opératoire :

- Pipette soigneusement 5.0 ml d'échantillon.
- Doser 1 cuillère du réactif A.
- Fermer la cuve et retourner plusieurs fois pendant 2 minutes immédiatement.
- Bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.
- Insérer la cuve dans le compartiment pour cuves. DR 1900 : Accéder à méthodes LCK/TNT plus. Sélectionner le test, appuyer sur MESURER.

DETERMINATION DE PHENOLS

Réactif :

- Gélule des phénols contenant la 4-nitroaniline

Appareillage :

- Spectrophotomètre type DR 1900.
- Cuve pour les phénols 0,05-5,0 mg/L.

Mode opératoire :

- Pipette soigneusement 2.0 ml d'échantillon
- Pipette soigneusement 0.2 ml de la solution A.
- Fermer la cuve et retourner plusieurs fois.

- Après 2 minutes (chronomètre) et pipette 0.2 ml de la solution B dans la même cuve.
- Fermer la cuve encore une fois et retourner plusieurs fois.
- Après 2 minutes, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.
- Insérer la cuve dans le compartiment pour cuves. DR 1900 : Accéder à méthodes LCK/TNT plus. Sélectionner le test, appuyer sur MESURER.



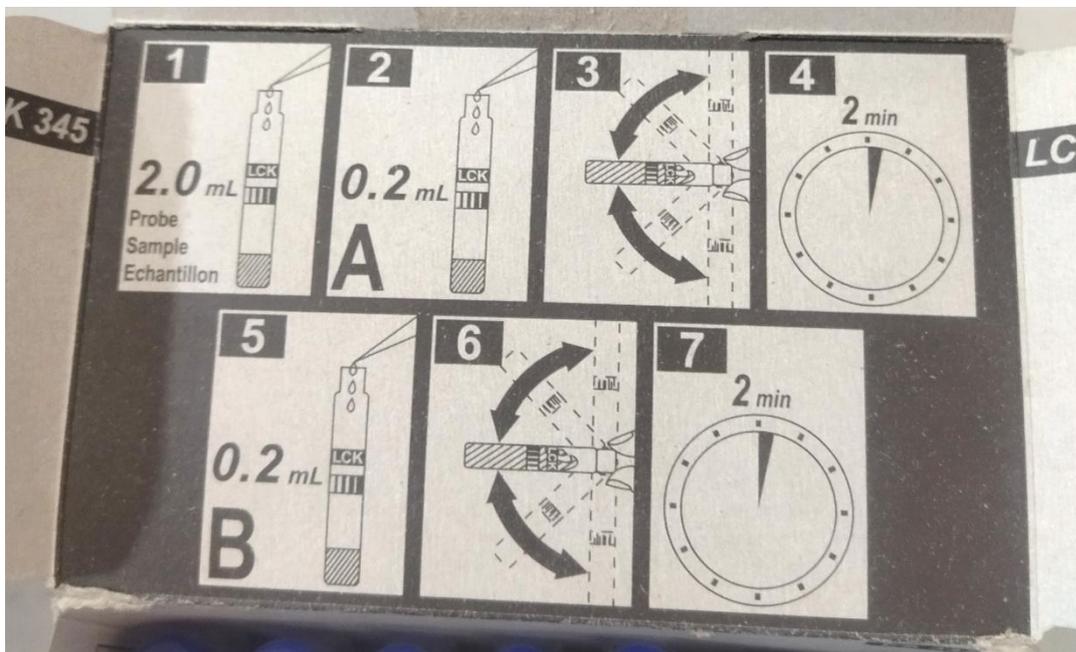
Des cubes pour tester quelques paramètres chimiques

Le mode d'emploi des kits LCK utilisé pour la détermination des paramètres physico-chimiques.

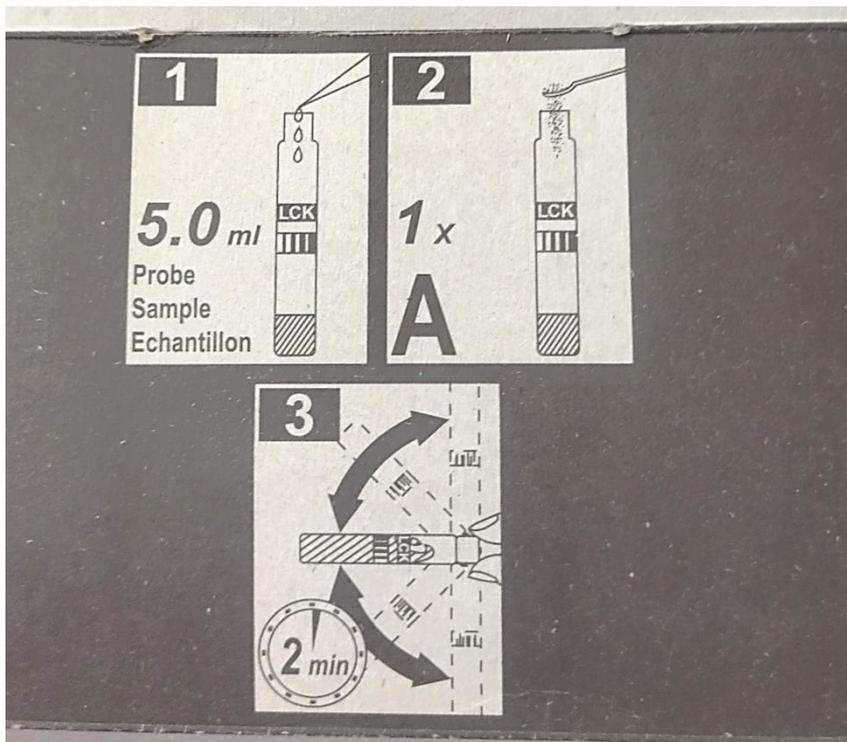
Ammonium (LCK304)



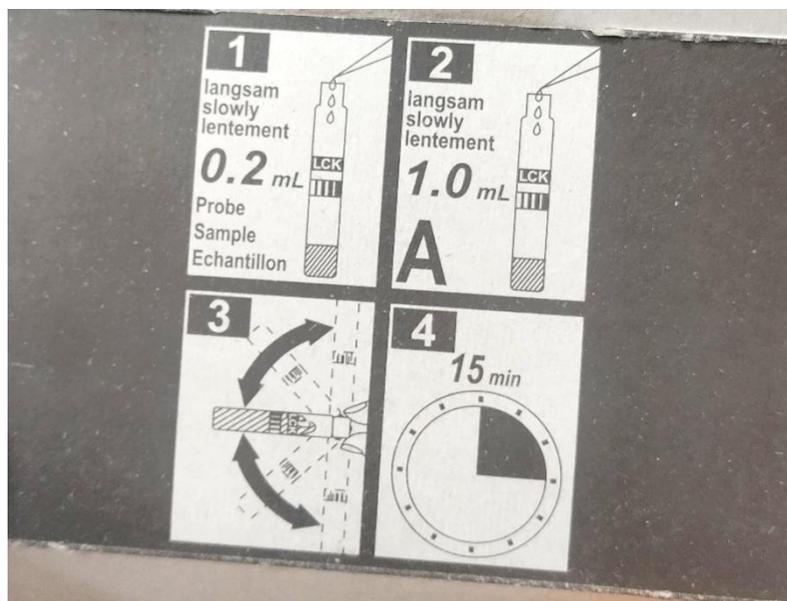
Phénol (LCK345)



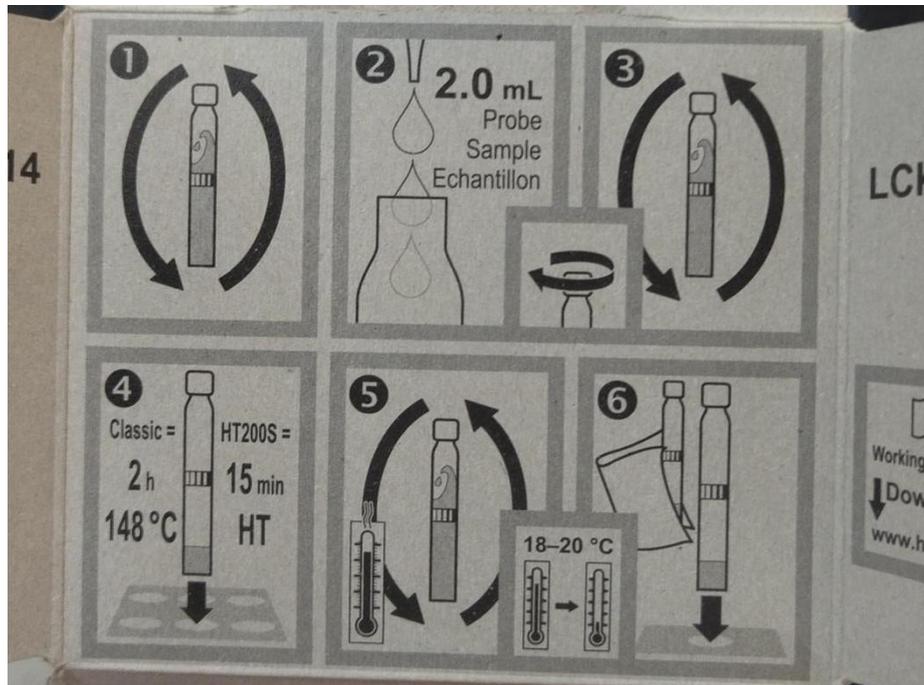
Sulfate (LCK153)



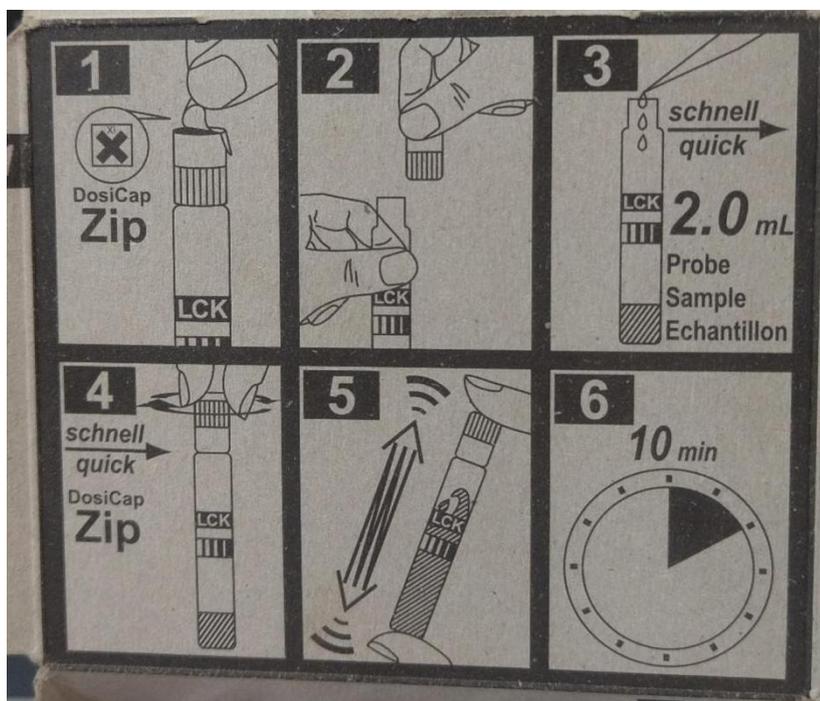
Nitrate (LCK340)



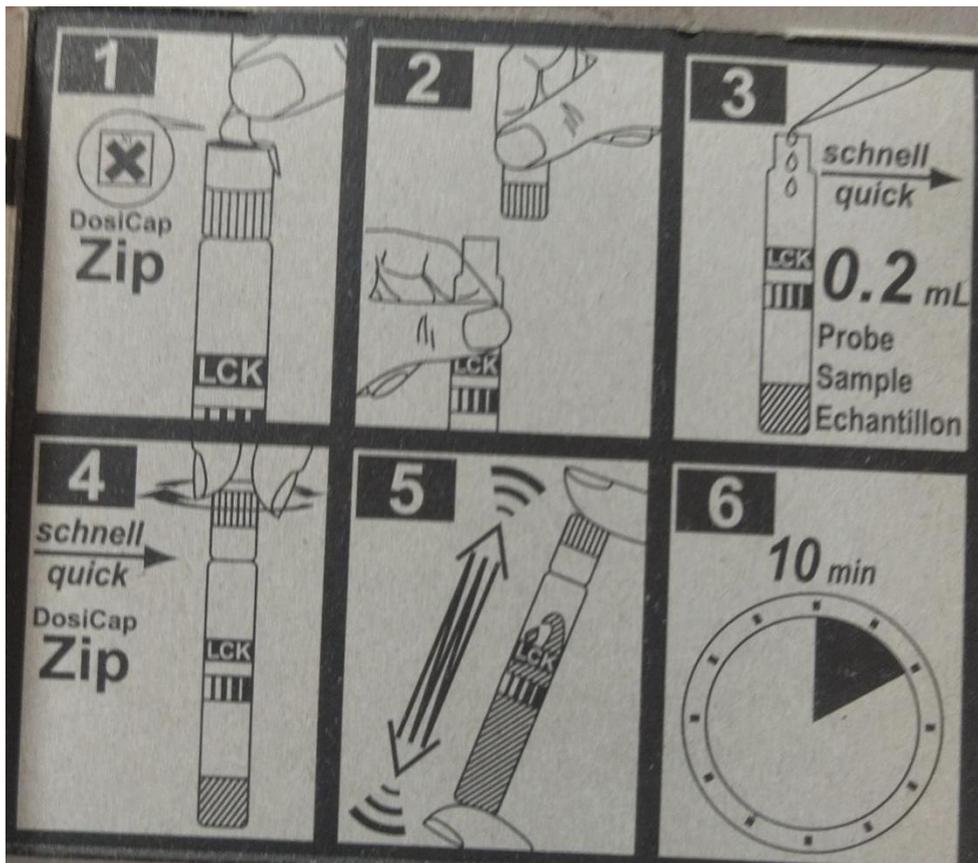
DCO (LCK514)



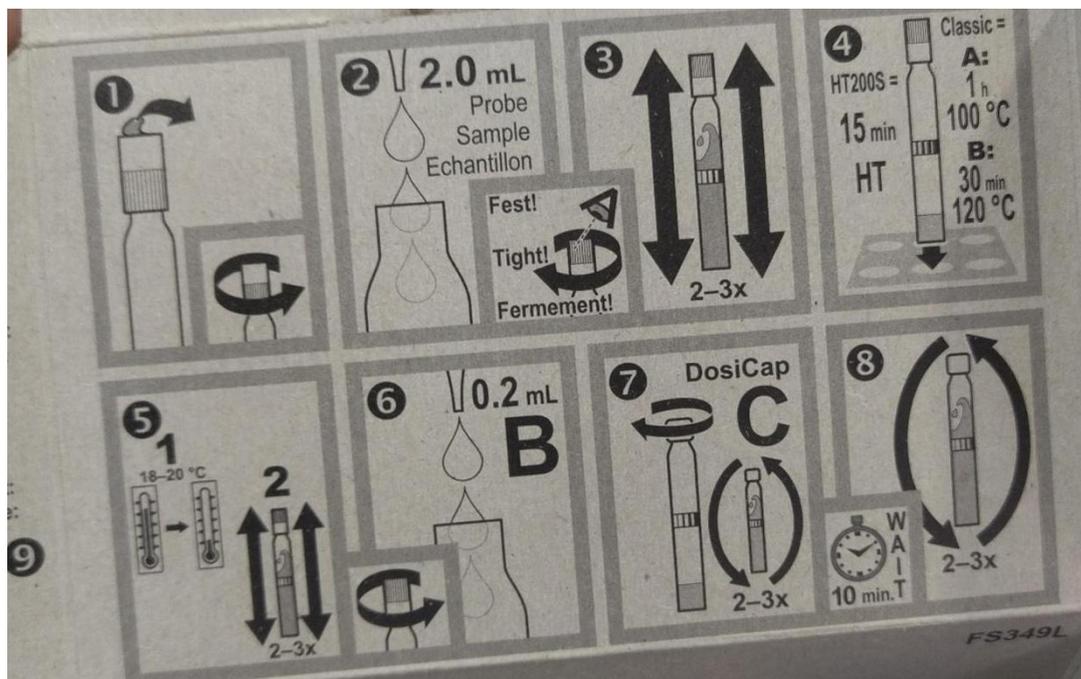
Nitrite (LCK341)



Nitrite (LCK342)



Phosphate (LCK349)



Annexe 03 :

Recherche et dénombrement des Coliformes en milieu liquide

Objectif :

Il s'agit de répondre à l'un des critères microbiologique relatifs à l'eau.

- Coliformes totaux à 37°C → Absence 100/ml
- Coliformes fécaux à 44°C → Absence 100/ml

Les coliformes se présentent sous forme de bacilles à Gram négatif, non sporogènes, oxydase négative, aéro-anaérobies facultatifs, capables de croître en présence de sels biliaires et capables de fermenter le lactose avec production d'acides et de gaz, en 24 à 48 heures à 37°C.

Les coliformes sont considérés comme indice de contamination fécale.

La recherche et le dénombrement des coliformes peuvent se faire selon deux méthodes au choix :

- Soit en milieu liquide sur BCPL (Bouillon Lactosé au Pourpre de Bromocrésol) par la technique du NPP (Nombre le Plus Probable).
- Soit par filtration sur membrane à 0.45 μm en milieu solide.

Dans notre travail on a utilisé la méthode du NPP.

Technique en milieu liquide sur BCPL :

La technique en milieu liquide fait appel à deux tests consécutifs à savoir :

- ❖ Le test de présomption : réservé à la recherche des Coliformes totaux.
- ❖ Le test de confirmation : encore appelé test de Mac Kenzie et réservé à la recherche des coliformes fécaux à partir des tubes positifs du test de présomption.

Mode opératoire :

✓ **Prélèvement :** Lors du prélèvement il est de toute première importance d'empêcher toute contamination du matériel d'échantillonnage, des échantillons et de l'équipement soumis à l'échantillonnage. L'utilisation de matériel stérile ou désinfecté est nécessaire ainsi que l'application d'une méthodologie de travail qui garantit un prélèvement dans les meilleures conditions d'hygiène possible. on met l'échantillon dans un flacon propre et stérile ou bien dans un sachet si notre échantillon est solide. et le flacon doit être dans une glacière. les analyses microbiologique doivent être faire après maximum 3 h du prélèvement.

1 ère journée :

➤ **Test de présomption :**

A partir de l'échantillon à analyser, porter aseptiquement :

- 50 ml dans un flacon contenant 50 ml de milieu **BCPL D/C** muni d'une cloche de Durham.
- 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham.
- 5 fois 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham.

Chassez le gaz présent éventuellement dans les cloches de Durham et bien mélangé le milieu et l'inoculum.

Incubation :

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

Lecture :

Les résultats sont considérés comme positifs (+) si les tubes présentant à la fois :

- Un dégagement gazeux (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche).
- Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation de lactose présent dans le milieu).

Ces deux caractères étant témoins de la fermentation du lactose dans les conditions opératoires décrites.

La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de Mac Grady.

2 eme journée :

➤ **Test de confirmation ou test de Mac Kenzie.**

Le test de confirmation ou test de Mac Kenzie est basé sur la recherche de coliformes thermotolérants parmi lesquels on redoute surtout la présence d'*Escherichia coli*.

Les tubes de BCPL trouvés positifs lors du dénombrement des coliformes totaux feront l'objet d'un repiquage avec ces derniers dans des tubes de Schubert.

Chassez le gaz présent éventuellement dans les Cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum.

Incubation :

L'incubation se fait cette fois-ci à 44°C pendant 24 heures.

Lecture :

Les tubes qui sont considérés comme positifs, ce sont ceux qui présentent à la fois :

- Un dégagement gazeux dans les tubes de Schubert.
- Un anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par *Escherichia coli* après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs dans le tube.

Dénombrement des streptocoques

- A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement :
 - ✓ 50 ml dans un flacon contenant 50 ml de milieu Rothe D/C.
 - ✓ 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu Rothe D/C.
 - ✓ 5 fois 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu Rothe S/C.
- Bien mélanger le milieu et l'inoculum.
- L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

Lecture :

Sont considérés comme positifs (+) les tubes présentant un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu pendant cette période est présumé contenir de streptocoque fécal.

La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP

Test de confirmation :

Le test de confirmation est basé sur la confirmation des streptocoques fécaux éventuellement présents dans le test de présomption.

- Les tubes de Rothe positifs, après l'agitation, prélever de chacun d'eux quelques gouttes à l'aide d'une pipette pasteur donc faire l'objet d'un repiquage dans des tubes contenant le milieu EVA LITSKY.
- Bien mélanger le milieu et l'inoculum.
- L'incubation se fait cette fois-ci à 44°C, pendant 24 à 48 heures.

Lecture :

Seront considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois :

- Un trouble microbien.
- Une pastille blanchâtre (un dépôt) au fond des tubes.

La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP, le nombre des streptocoques fécaux sont par 100 ml de l'échantillon analysé

La table de Mac Grady

1 X 50 ml	5 X 10 ml	5 X 1 ml	Nombre caractéristique	Limites de confiance	
				Inférieure	Supérieure
0	0	0	<1		
0	0	1	1	Δ,5	4
0	0	2	2	Δ,5	6
0	1	0	1	Δ,5	4
0	1	1	2	Δ,5	6
0	1	2	3	Δ,5	8
0	2	0	2	Δ,5	6
0	2	1	3	Δ,5	8
0	2	2	4	Δ,5	11
0	3	0	3	Δ,5	8
0	3	1	5	Δ,5	13
0	4	0	5	Δ,5	13
1	0	0	1	Δ,5	4
1	0	1	3	Δ,5	8
1	0	2	4	Δ,5	11
1	0	3	6	Δ,5	15
1	1	0	3	Δ,5	8
1	1	1	5	Δ,5	13
1	1	2	7	1	17
1	1	3	9	2	21
1	2	0	5	Δ,5	13
1	2	1	7	1	17
1	2	2	10	3	23
1	2	3	12	3	28
1	3	0	8	2	19
1	3	1	11	3	26
1	3	2	14	4	34
1	3	3	18	5	53
1	3	4	21	6	66
1	4	0	13	4	31
1	4	1	17	5	47
1	4	2	22	7	59
1	4	3	28	9	85
1	4	4	35	12	100
1	4	5	43	15	120
1	5	0	24	8	75
1	5	1	35	12	100
1	5	2	54	18	140
1	5	3	92	27	220
1	5	4	160	39	450
1	5	5	>240		

Annexe 04 :

Les résultats des analyses microbiologiques de l'eau potable, l'eau usée épurée et l'eau usée épurée décantée.

Inoculum	Test de présomption	Nombre caractéristique	Test de confirmation		Nbre Caractéristique
			Gaz	Indole	
1 × 50 ml	+	1	+	+	1
5 × 10 ml	+	5	+	+	4
	+		+	+	
	+		+	+	
	+		+	+	
5 × 1 ml	+	5	+	-	3
	+		-	+	
	+		+	+	
	+		+	+	
1 × 50 ml	+	1	+	+	1
5 × 10 ml	+	3			3
	+		+	+	
	-		+	+	
	-		+	+	
5 × 1 ml	+	2	+	+	2
	+		+	+	
	-		+	+	
	-				

	Inoculum	Test de présomption	Nombre caractéristique
BCPL	1 × 50 ml	+	1
	5 × 10 ml	+	4
		+	
		+	
		+	
		-	
	5 × 1 ml	+	5
		+	
		+	
		+	
ROTHE	1 × 50 ml	+	1
	5 × 10 ml	+	4
		+	
		+	
		+	
		-	
	5 × 1 ml	+	1
		-	
		-	
		-	

	Inoculum	Test de présomption	Nombre caractéristique	Test de confirmation	Nbre Caractéristique	
				Gaz	Indole	
shubert	1 × 50 ml	+	1	+	+	1
	5 × 10 ml	+	4	+	+	3
		+		+	+	
		+		+	+	
		-		+	-	
	5 × 1 ml	+	5	+	+	3
		+		-	+	
		+		+	+	
		+		+	+	
	Evalszi	1 × 50 ml	+	1	+	+
5 × 10 ml		+	4	+	+	3
		+		-	+	
		+		+	+	
		-		+	+	
5 × 1 ml		+	1	+	+	1
		-				
		-				

Annexe 05 :

Les résultats des analyses microbiologiques de différents types de sol de plantation.

	Inoculum	test de présomption	Nombre caractéristique
BCPL	1 X 50 ml	+	1
	5 X 10 ml	+	5
	5 X 1 ml	+	5
ROTH	1 X 50 ml	+	1
	5 X 10 ml	+	5
	5 X 1 ml	-	4

	Inoculum	test de présomption	Nombre caractéristique
BCPL	1 X 50 ml	+	1
	5 X 10 ml	+	5
	5 X 1 ml	+	5
ROTH	1 X 50 ml	+	1
	5 X 10 ml	-	0
	5 X 1 ml	-	1

	Inoculum	test de présomption	Nombre caractéristique
BCPL	1 X 50 ml	+	1
	5 X 10 ml	+	5
	5 X 1 ml	+	5
ROTH	1 X 50 ml	+	1
	5 X 10 ml	-	0
	5 X 1 ml	-	1

	Inoculum	test de présomption	Nombre caractéristique
BCPL	1 X 50 ml	+	1
	5 X 10 ml	+	5
	5 X 1 ml	+	5
ROTH	1 X 50 ml	+	1
	5 X 10 ml	-	0
	5 X 1 ml	-	1

Annexe 06:

Les résultats des analyses microbiologiques des plantes :

	Inoculum	test de présomption	Nombre caractéristique
BCFL	1 X 50 ml	+	1
	5 X 10 ml	+	5
		+	
		+	
		+	
5 X 1 ml	+	5	
ROTH	1 X 50 ml	-	0
	5 X 10 ml	-	0
		-	
		-	
		-	
5 X 1 ml	-	0	

Annexe 07 :

1. PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES

GROUPES DE CULTURES	PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES	
	Coliformes fécaux (CFU/100ml) (moyenne géométrique)	Nématodes intestinaux (œufs/l) (moyenne arithmétique)
Irrigation non restrictive. Culture de produits pouvant être consommés crus.	<100	Absence
Légumes qui ne sont consommés que cuits. Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire.	<250	<0,1
Arbres fruitiers (1). Cultures et arbustes fourragers (2). Cultures céréalières. Cultures industrielles (3). Arbres forestiers. Plantes florales et ornementales (4).	Seuil recommandé <1000	<1
Cultures du groupe précédent (CFU/100ml) utilisant l'irrigation localisée (5) (6).	pas de norme recommandée	pas de norme recommandée

Annexe 08 :

Tableau I. Teneurs totales en éléments traces métalliques

Maximums, minimums et médianes par grandes catégories granulométriques ; valeurs en g/100g pour l'argile et le fer et en mg/kg pour les autres éléments ; population totale ; horizons notoirement contaminés exclus.

		Cu	Co	Cr	Cd	Pb	Zn	Ni	Fe	Mn
Sableux (19)	11.5	32.1	11.1	35.9	0.48	64.9	49	11.4	1.70	201
	1.1	0.2	0	0.3	0.02	2.2	0	0.1	0.29	37
	<i>7.1</i>	<i>3.2</i>	<i>1.3</i>	<i>135</i>	<i>0.03</i>	<i>13.1</i>	<i>17</i>	<i>3.8</i>	<i>0.60</i>	<i>152</i>
Limoneux (78)	19.9	71.0	18.0	104.0	0.90	152.0	115	53.2	3.11	1331
	4.5	2.1	0.8	14.0	0.01	10.0	16	2.1	0.64	50
	<i>15.1</i>	<i>6.3</i>	<i>5.7</i>	<i>36.3</i>	<i>0.08</i>	<i>22.8</i>	<i>35</i>	<i>11.1</i>	<i>128</i>	<i>393</i>
Moyen (89)	34.9	56.6	107.0	221.0	1.20	578.0	436	198.0	6.11	5833
	20.2	3.9	2.8	24.0	0.01	8.2	23	5.1	1.53	69
	<i>26.3</i>	<i>11.6</i>	<i>12.9</i>	<i>58.0</i>	<i>0.10</i>	<i>26.9</i>	<i>56</i>	<i>24.8</i>	<i>2.48</i>	<i>507</i>
Argileux (101)	49.8	99.0	148.0	362.0	3.70	1560.0	3820	476.0	10.70	23440
	35.0	3.5	1.6	38.3	0.01	13.1	31	14.4	1.83	38
	<i>40.9</i>	<i>13.3</i>	<i>165</i>	<i>76.2</i>	<i>0.17</i>	<i>35.2</i>	<i>88</i>	<i>36.1</i>	<i>355</i>	<i>924</i>
Argileux lourd (77)	93.1	51.2	143.0	456.0	4.30	264.0	1999	478.0	12.15	24975
	50.4	3.2	3.2	62.9	0.01	13.0	42	12.1	2.45	41
	<i>57.8</i>	<i>16.7</i>	<i>17.3</i>	<i>99.4</i>	<i>0.19</i>	<i>37.9</i>	<i>128</i>	<i>55.1</i>	<i>5.47</i>	<i>861</i>
Norme AFNOR NFU 44-041		100.0	30.0	150.0	2.00	100.0	300	50.0		
Nb horizons > à la norme		aucun	33	23	10	28	35	90		

- [1] Achour et al., 2023 : ACHOUR, S., ZINE, A., & MELIK, N. E. (2023). Contribution à l'étude des performances du traitement biologique de la station d'épuration d'El-Oued (Cas de la STEP N° 01).
- [2] Akpo, 2022 : Akpo, A. F. (2022, December). Mise en place d'une méthode de conservation de la tomate (*Solanum lycopersicum*) par l'application du froid et d'extraits végétaux aux effets anti-murissement et antifongique. Avignon
- [3] Aouata, 2015: Aouata.(2015). L'étude et développement de l'irrigation souterraines en Algérie,Ecole Nationale d'Hydrolique -Arbaoui Abdallah
- [4] Baba, 2021 : Baba, S. (2021). *Trente idées reçues sur le développement durable*. Editions JFD.
- [5] Bispo et al . , 2009 : Bispo, A., Grand, C., & Galsomies, L. (2009). Le programme ADEME "Bioindicateurs de qualité des sols". *Étude Gest Sols*, 16, 145-158. (ADEM, 2009).
- [6] Boukehil et Messabhia, 2022 : Boukehil, M., & Messabhia, B. (2022). *Etude de L'importance des plantes phytoépuration, eaux usées et sols* (Doctoral dissertation, Université Larbi Tébessi-Tébessa).
- [7] Boukhalifa et al., 2013 : BOUKHALIFA, A., Kafi, N., & Idder, A. (2013). *Conséquences de l'utilisation de deux types d'eau d'irrigation sur les paramètres physico-chimique d'un sol de la station d'épuration de Ouargla* (Doctoral dissertation).
- [8] Boutellaa et Zellaghi, 2014 : Boutellaa, S., & Zellaghi, A. (2014). Valorisation des substances bioactives à activités pharmacologiques à partir de deux lamiaceae.
- [9] Bouzidi, 2020 : BOUZIDI, Y. (2020). Réutilisation des Eaux Usées Epurées en Algérie.
- [10] Bouzidi, 2023 :BOUZIDI, Y. (2020). Réutilisation des Eaux Usées Epurées en Algérie.
- [11] Chitima 2016 :Mawira chitima.(2016). Gestion de l'eau à usage agricole.
- [12] Choronzey, 2009 : Choronzey, J. (2009). Présence et identité Gallinazo dans la basse vallée de Santa, côte nord du Pérou.
- [13] Choronzey, 2009 : Choronzey, J. (2009). Présence et identité Gallinazo dans la basse vallée de Santa, côte nord du Pérou.
- [14] Dahraoui et al., 2022) DAHRAOUI, R., KHABBER, H., MOUALLA, Z., & SLIMANI, N. (2022). La Bioremédiation des eaux usées par *Arthrospira Platensis* dans la STEP kouinine.

- [15] Dufour, 2019 : Dufour, F. (2019). *Opportunités et obstacles pour la viabilité environnementale: une analyse socioéconomique et politique*. Fritz Dufour.
- [16] Farch, 2021 : FARCH, S. (2021). POLYCOPIE DE COURS TRAITEMENTS PHYSICOCHIMIQUES ET BIOLOGIQUES DES EFFLUENTS LIQUIDES.
- [17] Ficher, 2023 : Ficher, M. L. (2023). *Reterritorialisation du système alimentaire et production de la ville: des rapports en (re) négociation dans et via les projets urbains* (Doctoral dissertation, Paris Est).
- [18] Gaignard et Mathias , 2023 : Gaignard, E., & Mathias, X. (2023). *Plantes médicinales au balcon: Faites pousser vos remèdes du quotidien*. Fleurus.
- [19] Hadjaz et Hadj Larbi, 2017 : Hadjaz et Hadj Larbi.(2017). Effet de la fertilisation organique et minérale sur la qualité et le rendement chez deux variétés de la tomate : hybride (Tavira) et fixés (Marmande) cultivées sous serre.
- [20] Hoedeman et kishimoto , 2010 : Hoedeman, O., & Kishimoto, S. (2010). *L'eau, un bien public: alternatives démocratiques à la privatisation de l'eau dans le monde entier* (No. 184). ECLM.
- [21] Kadouri et al . , 2020 : Kaddouri, I., Mebarki, F., & Yakoubi, M. (2020). *Epuration des eaux usées par filtration sur sable* (Doctoral dissertation, universite Ahmed Draia-ADRAR).
- [22] Loke , 2021 : Loke, A. (2021). Priorités de recherche sur les systèmes alimentaires dans le contexte des changements climatiques à propos de l'alliance pour la recherche sur l'adaptation.
- [23] Lopez, 2022 : Jose Chen Lopez.(2022). L'influence de la lumière sur la croissance.
- [24] Maarouffe et al., 2022 : Ibrahim maarouffe, Belhadje, Al-Shihani.(2022). *Journal du patrimoine archéologique Tribune* 10(1), 73-112,m
- [25] Mecheri, 2022 : Mecheri, I. (2022). *L'habitat collectif durable après la pandémie de Covid 19. Cas d'étude: ville de Tébessa* (Doctoral dissertation).
- [26] Meynard et al., 2013 : Meynard, J. M., Messean, A., Charlier, A., Charrier, F., Fares, M., Le Bail, M., & Magrini, M. B. (2013). *Freins et leviers à la diversification des cultures. Etude au niveau des exploitations agricoles et des filières. Rapport d'étude* (Doctoral dissertation, auto-saisine; INRA).
- [27] Murray, CJ, Ikuta, KS, Sharara, F., Swetschinski, L., Aguilar, GR, Gray, A., ... & Tasak, N. (2022). Fardeau mondial de la résistance bactérienne aux antimicrobiens en 2019 : une analyse systématique. *The Lancet* , 399 (10325), 629-655.

- [28] Nada, 2021 : Nada, S. A. H. R. I. (2021). Effet de la nature des rejets sur le fonctionnement de la station d'épuration des eaux usées (STEP) de GUELMA.
- [29] Nadone et al.,2016 : Stéphane Nadon - IRDA Daniel Bergeron - DRCN MAPAQ Carl Boivin - IRDA Jérémie Vallée – IRDA.(2016). Création et validation d'un feuillet technique sur la performance de systèmes d'irrigation par aspersion et par goutte à goutte en champ.
- [30] Nene2017 : Fares Nen.(2017). Faculté des Sciences de la Terre et de Géographie, Urbanisme, Université Mentouri Constantine .
- [31] Paquini, 2020 : Paquin, M. I. (2020). POUR DES QUARTIERS RÉSILIENTS ET MULTIMODAUX À MONTRÉAL: ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ CLIMATIQUE DE TROIS QUADRILATÈRES.QUADRILATÈRES.
- [32] Ratnadass et al., 2012 : Alain Ratnadass, Paula Fernandes, Jacques Avelino, Robert Habib.(2012). Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review, 32, 273-303.
- [33] Rouibah, M. E. (2021). *Gestion phytosanitaire de la mineuse de la tomate Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae)(Meyrick, 1917)* (Doctoral dissertation, Université-Jijel-).
- [34] Sadek et al., 2023 :Sadek, M., Abdelhakim, K., & Ali, M. (2023). Etude et réalisation d'un système d'irrigation Agricole intelligent.
- [35] Saifouni , 2021 : SAIFOUNI, A. (2021). *Les zones humides en Algérie: proposition d'une nouvelle classification, inventaire national et typologie* (Doctoral dissertation).
- [36] Sangaré, M. (2021). *Formulation de pommades à base de plantes, utilisées en médecine traditionnelle dans la prise en charge de la douleur au Mali* (Doctoral dissertation, USTTB).
- [37] Taky et al., 2004 : Taky, JC Mailhol, Abdelhafid Debbarh, S Bouarfa, Hammani, Zimmer, Ruelle, K Belabbes.(2004). Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée, 14 p.
- [38] Zeghdana et al., 2023 : ZEGHDANA, I., MESSOUS, C. E. H., KROUIDRI, K., & ALLAL, A. (2023). Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau épurée (STEP N° 01 KOUININE).
- [39] Zerzour et Khammar, 2022 : Zerzour, H., & Khammar, H. (2022). Aperçu théorique sur le fonctionnement des stations d'épuration.