

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Sciences Alimentaires
Filière : Sciences Alimentaires
Spécialité : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire



Réf:.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

Valorisation des eaux usées traitées en agriculture

Présenté par :

Aberbache Imane & Bira Lydia

Soutenu le : **12/09/2023**

Devant le jury composé de :

Mme Ouchemoukh N.
Mme Hamri S.
Mme Benazzouz L.

Professeur
Professeur
Maitre Assistante

Président
Encadreur
Examineur

Année universitaire : 2022 / 2023

Remerciement:

En premier lieu, au terme de ce travail nous remercions le Bon **Dieu** le tout puissant de mener à bien ce travail, qui nous à donner la santé le courage et la patience et nous lui rendons grâce.

Nous tenons a exprimées nos vifs et les plus profonds remerciements a notre promotrice Madame « **Sabrina ZEGHICHI Epse HAMRI**» professeur en Physiologie, Physiopathologie et Pharmacologie, pour l'honneur qu'elle nous a fait en nous encadrant, pour son aide, ses judicieuse conseils, sa disponibilité, il est agréable d'exprimer notre gratitude pour votre simplicité et votre générosité.

Nos reconnaissances à l'égard de membre de jury

Mme **OUCHMOUKHE Nadia** d'avoir accepté la présidence de jury

Mme **Smail Lila** d'avoir accepté d'examiner notre travail.

On tient également à exprimer notre gratitude au directeur de la direction de l'ONA Mr « **ATMANIOU** » de nous avoir accordé l'accès a la station d'épuration ainsi que Mr « **BOUDANE** » chef de la STEP ,Mme « **ADOUANE** » technicienne de laboratoire pour leurs soutiens et leurs aides et pour toute **l'équipe de station de Sidi Ali Lebher.**

Enfin,nos remerciements et notre estime à tous les enseignants du

Département des Sciences alimentaire.

LYDIA ET IMANE

Dédicace

Avec les expressions de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui m'ont encouragée, quels qu'ils soient les termes embrassés, je n'arriverai jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A L'homme, mon précieux exemple, mon exemple éternel celui qui est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père «**Abed El Hamid**».

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse, ma chère mère «**Hayet**»

A mes chers frères «**Sofiane, Adlen et Nassim**» et chères sœurs «**Mounia, Sonia, Safia et Salma**» qui n'ont pas hésité de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études.

A mes neveux «**Asma, Adem, Nada, Maria** et le petit **Amir** » que dieu les protège et leur offre la chance et le bonheur.

A mes copines «**Sonia et Radia**», merci pour leurs amours et encouragements

A la personne qui m'a toujours aidé et encouragé et accompagné durant mon chemin ma binôme «**Lydia** »

A toutes personnes qui m'aiment et que j'aime.

Imane

Dédicace:

-A la mémoire de mon cher père « **MOHEND** »-

Disparu trop tôt et qui n'a pas pu voir on travail. La personne qui m'a toujours encourager et qui m'a fait de moi la fille d'aujourd'hui, j'espère que, du monde qui sien maintenant, il précis cette humble geste comme preuve de reconnaissance de la part de sa fille qui prie pour le salut de son âme. Puisse DIEU le tout puissant, lavoir en sa sainte miséricorde !

-A ma mère « **AICHA** »-

Qui a tout fait pour ma réussite, que le DIEU la garde

A toute ma famille, mes chers : **A.RAOUF**, **A.MOUNIME** et **THIZIRI**,
mes proches a toute personne qui porte le nom de « **BIRA** » et
« **ZAKARIA** ».

A mes chères amies « **RADIA** » et « **SONIA** ».

A **IMANE**, chère amie avant d'être binôme.

A toute personne qui m'aime.

A vous cher lecteur.

LYDIA

Liste des abréviations

MENA : moyen –orient et Afrique de nord

FAO : Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture

EU : Eaux usées

STEP : Station d'épuration

OMS : Organisation mondiale de la santé

DBO5 : Demande biochimique en oxygène pendant 5jours

DCO : Demande chimique en oxygène

MES : matière en suspension

NH4 : ammonium

NH3 : Ammoniac

P2O5 : Pentoxyde de phosphore

JORAD : Journal officiel de la république algérienne démocratique

EUT : Eaux usées traitées

REUT : Réutilisation des eaux usées traitées

EP : Eau Potable.

Hm :hectometre

TWW: treated wastewater

CE: conductivité électrique

SAR : sodium adsorption ration

UFC/100ml : Colonie Formant Unité par 100 millilitre

NPK : Azote, phosphore, potassium

OE : Oligo-élément

EDTA :Ethyle Diamine Tétra Acétique

MEq : milliéquivalent

SFRP : société française radioprotection.

NFT :Nutrien Film Technique

Liste de tableaux

TABLEAU I: DIFFERENTES CATEGORIES DE REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES (FAO, 2003).....	7
TABLEAU II: NORMES INTERNATIONALE DE REJET (GOUCHENE ET MOHAMMEDI,2018)	10
TABLEAU III: NORMES NATIONAL DE REJET (JORA, 2006)	11
TABLEAU IV: NORMES DE REUT EN AGRICULTURE SELON : FAO 1985, OMS 1989, JORA 2012	13
TABLEAU V : RESULTATS D'ANALYSES DES EAUX USEES TRAITES.....	30

Liste de figures

FIGURE 1: CANALISATIONS DES EAUX USEES (SOURCE :HUNTON ANDREWS KURTH,2019).....	3
FIGURE 2. SCHEMA DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES DANS LE CYCLE D'ASSAINISSEMENT (BOUZIDI, 2020).....	7
FIGURE 3 : BASSINS DE TRAITEMENT DANS LA STEP (SOURCE : BLADI.NET).....	8
FIGURE 4: SCHEMA RESUMANT LES GRANDES ETAPES DE L'EPURATION DES EAUX USEES (SOURCE : SFRP, 2015).....	10
FIGURE 5:LE LIEN ENTRE LA STEP ET LE MILIEU RECEPTEUR (SOURCE : INNOVATION NEWS NETWORK, 2021).....	12
FIGURE 6:DIFFERENTS TYPES DES SYSTEMES HYDROPONIQUE:(A) DEEP WATER, (B) DRIP SYSTEM,(C) AEROPONICS,(D)NFT,(E) EBB AND FLOW,(F) AQUAPONICS (SOURCE :ROBERTO ET AL.,2022).....	17
FIGURE 7:CAPTURE DE SITE DE LA STEP SIDI ALI LEBHER PAR GOOGLEEARTH.....	21
FIGURE 8: PHOTOGRAPHIE DE CULTURE DE LAITUE ET DES RADIS	23
FIGURE 9:PHOTOGRAPHIE DE LA TRANSPLANTATION DES PLANTULES.....	24
FIGURE 10:PHOTOGRAPHIE DES RESERVOIRS DE CULTURE UTILISES EN CULTURES HYDROPONIQUES.....	25
FIGURE 11: PHOTOGRAPHIE DES SOLUTIONS PREPAREES (A ET B)	26
FIGURE 12:PHOTOGRAPHIE DE LA RECOLTE DE LAITUE EN SOL.....	28
FIGURE 13:PHOTOGRAPHIE DES LA RECOLTE DE LAITUE EN HYDROPONIE	28
FIGURE 14:PHOTOGRAPHIE DES RADIS RECOLTES EN SOL AVEC L'EP	29
FIGURE 15 : PHOTOGRAPHIE DES RADIS CULTIVES EN HYDROPONIE	29
FIGURE 16:VARIATION DE LA CE EN CULTURE HYDROPONIQUE DE LA LAITUE AVEC EUT ET EP EN FONCTION DU TEMPS.....	31
FIGURE 17:EVALUATION DE PH DE LA CULTURE HYDROPONIQUE DE LA LAITUE AVEC L'EUT ET L'EP EN FONCTION DU TEMPS.....	32
FIGURE 18:VARIATION DE TEMPERATURE DE LA SOLUTION HYDROPONIQUE EN FONCTION DU TEMPS	33
FIGURE 19:MOYENNES DE NOMBRES DE FEUILLES DE LA LAITUE DANS LES DEUX SYSTEME DE CULTURE IRRIGUEE AVEC EUT ET EP	34
FIGURE 20:EVALUATION DE LONGUEURS DE FEUILLES DE LAITUE EN (CM) EN FONCTION DU TEMPS.....	35
FIGURE 21:VARIATION DE POIDS DES LAITUES EN (G)	36
FIGURE 22:VARIATION DE LONGUEUR DES RACINES EN HYDROPONIE DE LA LAITUE.....	37
FIGURE 23:VARIATION DU NOMBRE DE FEUILLES DE RADIS SUR SOL	38
FIGURE 24:POIDS DES RADIS SUR SOL EN (G).....	39
FIGURE 25:A : (1) REACTIF DE L'AMMONIUM, (2) SALICYLATE ET CYANURATE	42
FIGURE 27:NEMATODES ET ALGUES VERTES DE BASSIN HYDROPONIQUE AVEC L'EUT.....	43
FIGURE 26:APPAREILLAGE UTILISE AU LABORATOIRE	43

Sommaire

I. INTRODUCTION.....	1
PARTIE THEORIQUE	
GENERALITES SUR LES EAUX USEES.....	3
I. DEFINITION DES EAUX USEES.....	3
II. NATURE ET ORIGINE DES EAUX USEES	4
1. SELON L'ORIGINE.....	4
1.1 ORIGINE URBAINE.....	4
1.1.1 <i>Eaux usées domestiques</i>	4
1.1.2 <i>Eaux ruissellement</i>	4
1.2. EAUX INDUSTRIELS.....	4
1.3. EAUX AGRICOLES	4
2. COMPOSITION DES EAUX USEES	4
2.1. SUBSTANCES CHIMIQUES	4
2.2. MASSE BACTERIOLOGIQUE :	5
III. LES DIFFERENTS TYPES DE POLLUTION DES EAUX.....	5
IV. UTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES EN AGRICULTURE	6
1. OBJECTIF PRINCIPAL DU TRAITEMENT DES EAUX USEES.....	6
2. DEFINITION DE L'EAU USEE TRAITEE	6
3. FORMES ET DOMAINES DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITES (EUT)	7
4. DEFINITION DE STATION D'EPURATION STEP :	8
1.1 PROCESSUS D'EPURATION :	8
A. <i>Les prétraitements</i> :	8
2.1.1 <i>Traitements primaires (Physico-chimique)</i> :	9
3.1.1 <i>Traitements secondaires (biologique)</i> :	9
4.1.1 <i>Traitement tertiaire (avancé)</i> :	9
5. NORME DE REJET :.....	10
A. LES NORMES INTERNATIONALES :	10
B. NORME NATIONALE :	11
6. LA REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES (REUT) EN AGRICULTURE :	11
1.1 ETAT ACTUEL DE LA REUT EN ALGERIE :	12
1.1.1 <i>Les bénéfices de la REUT (spécifique pour l'irrigation)</i> :	12
2.1.1 <i>Norme de REUT en agriculture</i> :	13

INTRODUCTION	15
1. HISTORIQUE	15
2. DEFINITION DE L'HYDROPONIE	15
3. LES DEFERENTS SYSTEMES DE L'HYDROPONIE	16
3.1. SUBSTRAT	16
3.1.1. Sans substrat:	16
3.1.2 Avec substrat:	16
3.2. MODE D'EVACUATION DES NUTRIMENTS:	16
4. EXIGENCES DE LA CULTURE HYDROPONIQUE	17
4.1. COMPARAISON ENTRE LA CULTURE HYDROPONIQUE ET SUR SOL	17
4.2. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE SYSTEME HYDROPONIQUE	18
PARTIE PRATIQUE	
I. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE LA STEP	19
II. EQUIPEMENTS ET SYSTEME DE CULTURE	20
4.2.1. LIEU DE L'EXPERIMENTATION	20
4.2.2. DESCRIPTION DU SYSTEME KRATKY SANS SERRE	21
4.2.3. DESCRIPTION ET CHOIX DES CULTURES	21
4.2.4. PREPARATION DES ECHANTILLONS	22
4.1. CULTURE	22
4.2. TRANSPLANTATION	23
5. COMPOSANTS DE SYSTEME KRATKY	24
6. PREPARATION DE LA SOLUTION NUTRITIVE POUR LE SYSTEME HYDROPONIQUE.....	25
6.1. COMPOSITION DE LA SOLUTION NUTRITIVE :(ELABILAN, 2010).....	25
6.2. LA GESTION DE LA SOLUTION NUTRITIVE.....	26
7. CONDITIONS HYDROPONIQUES DE LA LAITUE ET DES RADIS	27
7.1. LAITUE	27
7.2. RADIS	27
8. MAINTIEN ET LE SUIVI	27
8.1. CULTURE EN SOL	27
8.2. CULTURE EN HYDROPONIE.....	28
9. LA RECOLTE	28
RESULTATS ET DISCUSSION	
I. ANALYSE DES EAUX D'IRRIGATION	30

II.	ANALYSE DE SOLUTION NUTRITIVE PENDANT LA CULTURE HYDROPONIQUE.....	30
2.1.	VARIATION DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE	30
2.2.	VARIATION DU POTENTIEL D'HYDROGENE.....	31
2.3.	VARIATION DE LA TEMPERATURE	32
III.	DEVELOPPEMENT DES CULTURES VEGETALE.....	33
3.1.	LE DEVELOPPEMENT DE NOMBRE DE FEUILLE DE LAITUE :	33
3.2.	LE DEVELOPPEMENT DE LONGUEUR DES FEUILLES	35
	VARIATION DU POIDS	36
3.3.	DEVELOPPEMENT DES RACINES DE LAITUE	37
IV.	DEVELOPPEMENT DES RADIS SUR SOL	38
	CONCLUSION.....	40
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		
	ANNEXES	41

RESUME

I. Introduction

Le changement climatique peut perturber la disponibilité alimentaire, réduire l'accès à la nourriture et affecter la qualité des aliments. En raison de la rareté des ressources en eau douce disponibles et du manque de pratiques optimales de gestion des eaux usées, autour 3,5 millions d'hectares de terres sont irriguées avec des eaux non traitées ou partiellement eaux usées traitées dans le monde (**Thébo et al., 2017 ; Zhang et Shen 2019, Pratap et al., 2021**).

Ces dernières années, de nombreux pays ont connu une grave pénurie d'eau et une baisse de la qualité de leurs ressources en eau. Par conséquent, il est nécessaire de fournir des sources d'eau alternatives pour satisfaire les besoins en eau pour l'irrigation, l'industrie et les applications urbaines en eaux potable et non potable. Les progrès dans l'efficacité et la fiabilité des technologies de traitement des eaux usées ont amélioré la capacité de produire de l'eau recyclée qui peut servir de source d'eau alternative, en particulier dans les zones de pénurie d'eau pendant les périodes de carence (**Waghmode et al., 2019; Ceretta et al., 2020; Kishor et al., 2021**).

Les principaux avantages comprennent l'augmentation de la production agricole, la conservation des ressources en eau douce, la réduction des besoins en engrais, le recyclage des nutriments, l'équilibre écologique et le soutien aux économies et aux moyens de subsistance de millions d'agriculteurs. Les eaux usées recyclées possèdent une quantité importante de nutriments (NPK) qui agissent comme engrais pour les cultures et facilitent l'action métabolique des micro-organismes présents dans le sol. Un rendement considérablement plus élevé a été enregistré par irrigation aux eaux usées par rapport aux eaux souterraines (**Zhang et Shen 2019, Pratap et al., 2021**).

En Algérie, au cours des 30 dernières années, la demande en eau a connu une augmentation spectaculaire en raison des changements saisonniers et régionaux des précipitations, augmentant la demande en eau, surtout en été. Un déséquilibre hydrique est fréquemment observé, une forte demande en eau pour l'irrigation et une pression sur les réserves d'eau douce (**Bouchaala et al., 2017**). Aujourd'hui, plus de 200 installations centralisées de traitement des eaux usées d'une capacité cumulée de plus de 900 millions

de m³/j sont accessibles à environ 60 % de la population algérienne (**Société des Eaux et de l'Assainissement, 2022**).

Par ailleurs, la culture hydroponique est mise en avant comme une solution pour lutter contre le changement climatique. Cela permet également une utilisation plus rationnelle de l'eau, une ressource de plus en plus rare. Les systèmes de culture hydroponique utilisant les eaux usées traitées, comme solution nutritionnelle, ont été rapportés comme une stratégie prometteuse pour réduire la consommation d'eau douce en réutilisant les eaux usées traitées, empêchant ainsi la pollution des sols et des eaux souterraines (**Magwaza et al., 2020**). La qualité de l'eau à utiliser dans un système hydroponique doit répondre à certaines exigences, y compris la conductivité adéquate, le pH et la température car ces paramètres peuvent augmenter la pression osmotique des liquides et les racines des plantes ne peuvent pas absorber l'eau. (**Zaman, 2018**).

Notre étude contribue à réutiliser les eaux usées traitées (EUT) de la station d'épuration de Sidi Ali-Ibhar (Bejaia) en agriculture sur sol et en hydroponie. L'objectif de ce travail est de suivre les cultures de laitue (*Lactuca Sativa*) et de radis (*Raphanus Sativus*) et de les faire une comparaison entre les deux sources d'eaux (EUT et EP)

Notre travail comporte deux parties :

- La bibliographique composée de deux chapitres portant sur les généralités sur les eaux usées, la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture et le processus d'épuration et la culture hydroponique.
- La partie expérimentale englobe le Matériel et méthodes : descriptions de la zone de l'étude les analyse des eaux et la mise en place des systèmes de culture et finalement la présentation des résultats et leurs interprétations
- En conclusion, quelques prescriptives sont énoncées.

Partie théorique

Chapitre 1 : Généralités sur les eaux usées

Généralités sur les eaux usées

La contamination des eaux de surfaces et souterraines par les eaux usées tant domestiques qu'industrielles et en agriculture ainsi que la mauvaise gestion de ces eaux restent des facteurs majeurs de transmission de maladies et de la dégradation de la nature (Belaid, 2010).

I. Définition des eaux usées

Les eaux usées (ou eaux résiduaires, eaux résiduelles, eaux d'égout) sont des « eaux polluées » par un usage humain, constituées de toutes les eaux de nature à contaminer les milieux dans lesquels elles sont déversées, par des polluants physiques, chimiques ou biologiques (Gouchene et Mohammedi, 2018).

Selon la FAO (2008) : « L'eau qui n'a pas de valeur immédiate pour le but pour laquelle elle a été utilisée ou pour laquelle elle a été produite en raison de sa qualité, de sa quantité ou de moment où elle est disponible ». Toutefois, les eaux usées d'un utilisateur pourraient être employées pour approvisionner un autre utilisateur par le biais d'une liaison distincte.



Figure 1: Canalisations des eaux usées (Source :Hunton Andrews Kurth,2019)

II. Nature et origine des eaux usées

Selon l'origine et la nature des substances polluantes, les EU sont classées en (**Baumont et al., 2004 ; Pons et al., 2008 ; Mehatri, 2012 ; Afonso et al., 2023**) :

1. Selon l'origine

1.1 Origine urbaine

1.1.1 Eaux usées domestiques

Englobent les eaux des vannes constituées d'urines et des matières fécales ainsi que des eaux ménagères : eaux de cuisine et de lessive qui se rassemblent dans les égouts.

1.1.2 Eaux ruissellement

Eaux qui coulent des rues ou les polluants s'accumulent : air, poussière, débris suite de combustion, hydrocarbures de véhicule, les déchets liquides sont généralement collectés avec les EU et rejetés dans les égouts. Les ruissellements comprennent l'eau de pluie, eaux d'irrigation, caniveaux, marchés et cours.

1.2. Eaux industriels

Résultant de toute activité industrielle, artisanale et commerciale. Selon l'origine industrielle, les propriétés des EU diffèrent d'une industrie à une autre ; en plus des substances organiques, azotés, phosphorés, elles contiennent diverses substances chimiques, organiques, métalliques.

1.3. Eaux agricoles

Sont des eaux chargées de pesticides, d'engrais nitrés et phosphatés considérées comme source de pollution.

2. Composition des eaux usées

2.1. Substances chimiques

Les eaux usées sont composées de 99% d'eau et de 1% de solides dissous en suspension, ces solides sont classés en :

- ✓ Organiques : se divisent en substances azotées : les protéines, des urées, acides aminés. Et de substances sans azote : cellulose, graisse et savon.

- ✓ Inorganiques : azote, phosphore, chlorure, sulfate, carbonate, bicarbonate, ajoutant des substances toxiques comme cadmium, chrome, cuivre, mercure, etc. (Tichimogo,2001)

2.2.Masse bactériologique :

Inclus les coliformes totaux, coliformes fécaux, salmonelles, virus. Afin d'éviter la contamination biologique et dans le but d'éliminer tous ces agents pathogènes d'origine humaine dans les matières fécales, il est nécessaire d'aborder des traitements brisant le cycle épidémiologique des transmissions de ces agents. (Boutin et Eme, 2015)

III. Les différents types de pollution des eaux

Selon le type de pollution en distingue :

- **Pollution chimique** : causée par une grande quantité de substances chimiques non dégradables déversés par des rejets industriels (Rahou,2014).
- **Pollution organique** : c'est une classe de pollution chimique contiennent des polluants carbonés comme la matière organique (site internet 1).
- **Pollution radioactive** : d'origine naturelle, retombé atmosphérique, les champs de rayonnement industriel ou contamination accidentelle ou par des rejets nucléaires d'une centrale (Ladjel et Bouchefer, 2012).
- **Pollution thermique** : dépend de la variation et de la température e l'eau par rapport à la normale, provoquée par les rejets du système de refroidissement des centrales (thermique ou nucléaire) provoquant la réduction de la teneur en oxygène dessous et des dommages sur la faune (Kerambrun,1983).
- **Pollution microbienne** : due aux microorganismes pathogènes contenus dans les rejets urbains d'origine humaine et animale, qui peut être à l'origine de maladies infectieuses (Ladjel et Bouchefer, 2012).
- **Pollution agricole** : due à l'utilisation des produits de traitement végétal et engrais chimiques (Raissi, 2014).
- **Pollution hydrocarbure** : soit des hydrocarbures aromatique polycyclique (H.A.P) prévenant des effluents des industries pétrolières, les usines à gaz, et les réservoirs (Ladjel et Bouchefer, 2012).

Pour préserver la santé humaine et assurer la protection de la biodiversité, l'épuration des eaux usées est une étape nécessaire à réaliser avant que ces eaux seront rejetées ou réutilisées dans différents domaines.

IV. Utilisation des eaux usées traitées en agriculture

Face à la pénurie en ressources hydrique, l'Algérie ne peut plus ignorer la possibilité d'exploiter les énormes quantités d'eaux usées. Parmi les domaines d'utilisations des eaux usées traitées, en valorisant leurs matière fertilisante, on est contraint de l'utiliser à l'agriculture sauf si celles-ci sont traitées d'une manière qu'elles soient conformes et sans risque pour le citoyen et pour la nature. Les stations d'épuration prennent en charge la réduction du niveau d'altération de ces eaux **(Bouchaala el al.,2017)**.

1. Objectif principal du traitement des eaux usées

Le but de réutilisation des eaux usée traiter est de :

- Alléger la pression exercée sur les nappes
- Economiser les quantités importantes d'eau potable
- Lutter contre les maladies de transmission hydrique et éliminer les odeurs nocives résultant des charges de microorganismes et organiques.
- Sauvegarder l'environnement et la biodiversité contre l'altération et la pollution.
- Trouver de nouvelles stratégies pour exploiter et valoriser l'eau en différents domaines. **(Bouzidi, 2020)**

2. Définition de l'eau usée traitée

C'est une eau récupéré à partir d'eau résiduaire qui subit un traitement dans le but d'éliminer les impuretés et être destinée soit au stockage ou rejetée au milieu récepteur, ou à l'emploi à nouveau. **(Bouzidi, 2020)**.

La stratégie de recyclage des eaux avec imputées consiste principalement sur le traitement d'épuration de ces eaux, ce qui permet d'envisager a la réutilisation de cette ressources dans différents secteurs, un enjeu économique est environnementaux a la fois.

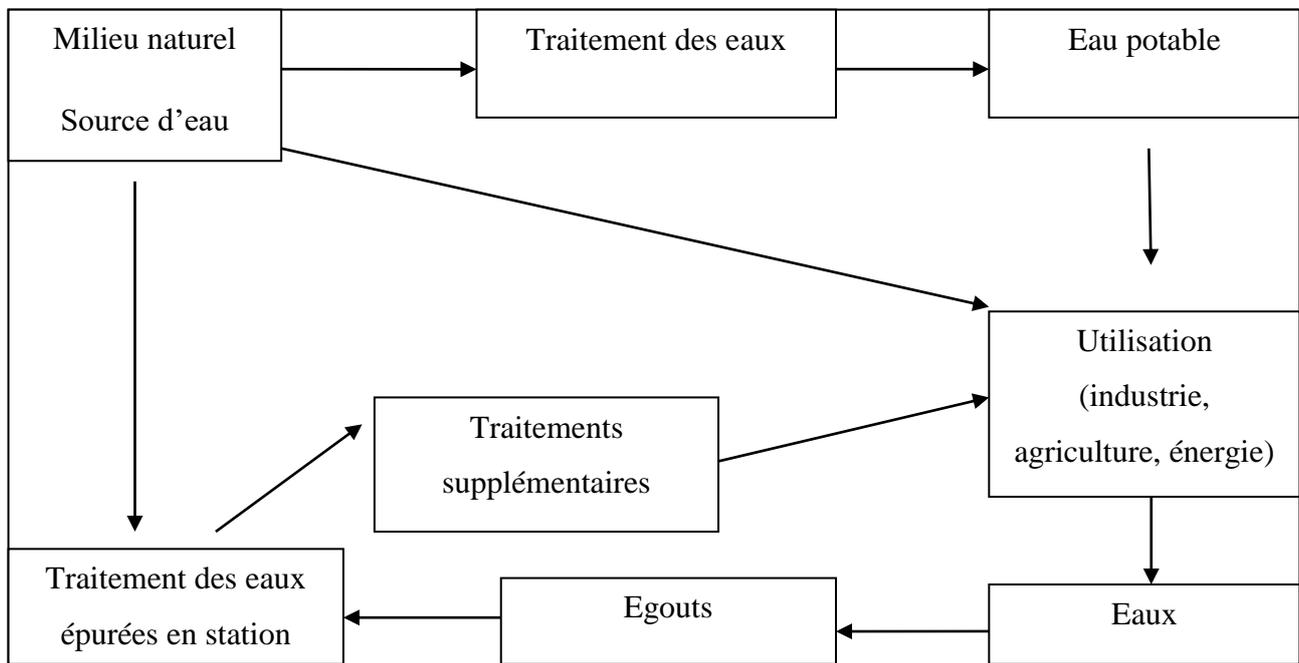


Figure 2. Schéma de la réutilisation des eaux usées dans le cycle d'assainissement (Bouzidi, 2020)

3. Formes et domaines de la réutilisation des eaux usées traités (EUT)

Plusieurs différentes catégories et formes de REUT sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau I: Différentes catégories de réutilisation des eaux usées épurées (FAO, 2003)

Forme de réutilisations	application
Production de l'eau potable	*Application directe : de la station de l'épuration ver l'usine de traitement de l'eau potable *Application indirecte : non volontaire/volontaire
Irrigation en agriculture	Les cultures maraichères, aquaculture, arbre fruitière
Activités réactives	La pêche, natation ...
Réutilisation industrielle	l'eau de refroidissement, nettoyages des équipements, alimentation des chaudières

Réutilisations en zone urbaine	Protection contre les incendies, irrigation des parcs et l'arrosage, lavage des rues
--------------------------------	--

4. Définition de station d'épuration STEP :

STEP est un site qui permet la dépollution des eaux usées par différents processus biologiques et/ou physico-chimiques avant leurs rejets dans le milieu récepteur. (Anonyme 1). C'est une installation située à l'extrémité d'un réseau de collecte, juste avant la sortie des eaux vers le milieu naturel (Adem, 2009)



Figure 3 : Bassins de traitement dans la STEP (Source : Bladi.net)

1.1 Processus d'épuration :

L'ensemble des opérations réalisées afin d'obtenir une eau souillée conforme en norme de rejet sans risque pour la santé et l'environnement :

A. Les prétraitements : Des dispositifs ont pour but d'avancer le processus, d'exclure tout élément susceptible d'endommager les équipements, ou influencer sur le traitement y'compris : dégrillage, dessablage et le déshuilage (Ladjel, 2006).

A.1) Le dégrillage :

Des techniques de tamisage pour éliminer les éléments grossiers des EU qui passent par des barreaux connus « grilles » soit à moins ou fins espaces et continuent leurs processus par contre les déchets sont expulsés avec les ordures.(Adem,2012)

A-2) Le déshuilage et dessablage :

Le principe de cette étape ; c'est de faire passer l'eau de dégrillage dans des bassins, et faire déposer le sable grâce à la faible vitesse d'écoulement d'une part et flotter les graisses par système d'aération activé par injection d'air, 90% de graisses sont raclées en surface et des molécules de sable 200 microns sont récupérées par pompage. (Adem, 2012)

2.1.1 Traitements primaires (Physico-chimique) :

Par un principe gravitaire, cette étape consiste à isoler et décanter la charge polluante dissoute en suspension (Adem, 2012).

Le traitement physico-chimique réside à faire décanter l'eau en faible vitesse dans des décanteurs, et ajouter des adjuvants (sel de fer ou aluminium). Les polluants agglomèrent ces particules qui coagulent formant des amas (ensemble de masse polluant et es adjuvant) qui se décantent au fond de bassin. Ce phénomène est appelé « coagulation –flocation-décantation » (Anonyme 2).

3.1.1 Traitements secondaires (biologique) :

Ce déroule dans le bassin biologique, en présence ou en absence d'oxygène, les microorganismes extraient les polluants dissous et la matière organique dégradable.

Le mode de fonctionnement est de maître en contact les EU contenant les matières polluantes et les bactéries (Aérobie/Anaérobies) capables de transformer le carbone en CO₂, ou l'azote en nitrates puis en gaz azoté (N₂).

La boue et l'eau traitée sont séparés grâce au clarificateur, et pour conserver la quantité bactérienne, une partie de boue est renvoyée et recyclée au bassin (Adem, 2012). Ce traitement est responsable d'éliminer entre 90 à 95% des polluants.

Lorsqu'une aération est utilisée sur les cultures libres, la boue activée est produite :

Eaux usées + biomasse aérobie +O₂ —————> Eaux épurées + multiplication de biomasse +gaz (Benzaoui etElbous, 2009)

4.1.1 Traitement tertiaire (avancé) :

Utilisé pour éliminer les substances difficilement biodégradables qui échappent à la décantation comme : l'azote, phosphore, pesticides, détergents et les germes pathogènes (Frank, 2002).

Cette désinfection est réalisée par l'ajout des doses élevées de chlore a des longues durées d'exposition, l'inconvénient de ce traitement est le danger et la toxicité du chlore sur la vie aquatique après le rejet de ces derniers dans le milieu naturel (Ladjel, 2006)

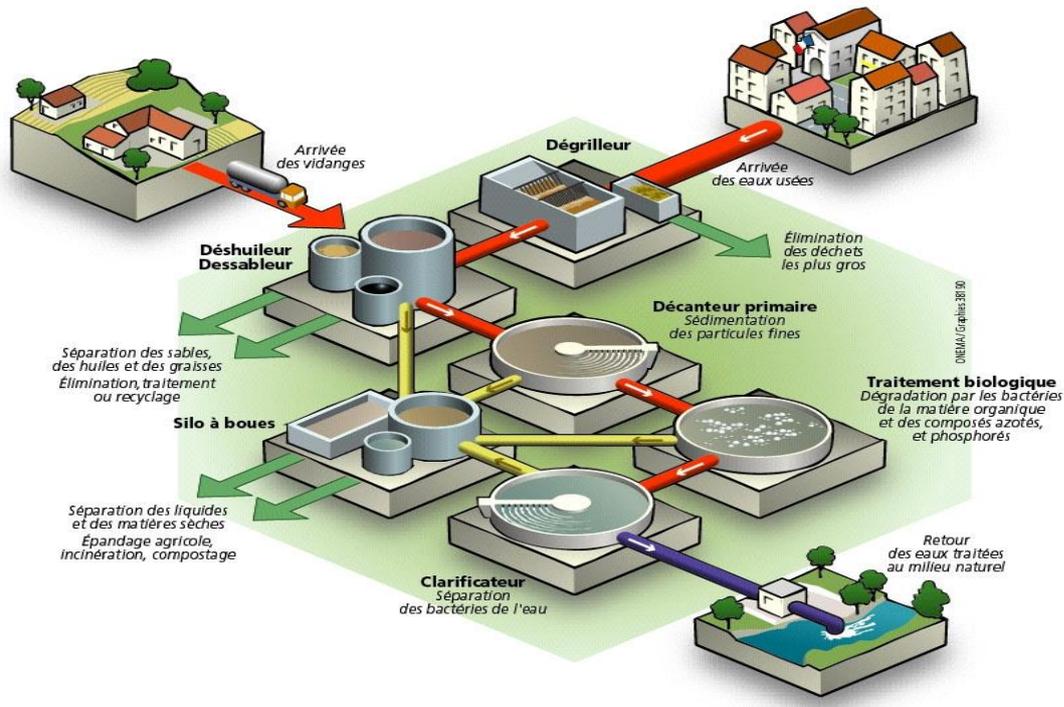


Figure 4: Schéma résumant les grandes étapes de l'épuration des eaux usées (Source : SFRP, 2015)

5. Norme de rejet :

Selon les chiffres fixés par la loi, le décret exige des limites à respecter et à ne pas dépasser les normes.

A. Les normes internationales : sont fixées par l'organisation mondiale de la sante (OMS)

Tableau II: Normes internationale de rejet (Gouchene et Mohammedi,2018)

Caractérisation	Normes utilisée OMS
pH	6,5 -8,5
DBO5	<30 mg/l
DCO	<90 mg/l
MES	<20 mg/l
NH ₄	<0,5 mg/l
NH ₂	1 mg/l

NH ₃	< 1 mg/l
P ₂ O ₅	< 2 mg/l
T°	<30 c°
couleur	incolore
odeur	Inodore

B. Norme nationale : selon le journal officiel national :

Tableau III: Normes national de rejet (JORA, 2006)

Paramètres généraux	Température	30 C°
	pH	6,5 – 8,5
Paramètre globaux	DBO ₅	< 35 mg/l
	DCO	<120 mg/l
	MES	<35 mg/l
Paramètre complémentaire	Azote totale	<30 mg/l
	Phosphore total	<10 mg/l
	-couleur	/
	- odeur	/

6. La réutilisation des eaux usées traitées (REUT) en agriculture :

Pour répondre au déficit du stress hydrique, la valorisation des eaux usées traitées est incontournable (Bahri, 2003 ; Mebarki, 2008 ; Gemmaz et al.,2020). Ce qui a met l'accent sur la stratégie de la réutilisation de cette source non conventionnelle.

A travers le plan national de développement agricole, l'Algérie a mis en évidence le choix de valorisation dans le secteur agricole (**Khiati, 2007**).

Les nutriments et la matière fertilisantes contenants dans les EUT sont considérés comme des engrais, les études ont démontré l'effet positif de celles-ci sur la qualité et le rendement des produits agricoles. (**Hespanhol et prost, 1994 ; Rezapour et al.,2017**).



Figure 5:le lien entre la STEP et le milieu récepteur (Source : Innovation News Network, 2021)

1.1Etat actuel de la REUT en Algérie :

En 2014, le nombre de stations d'épurations fonctionnelles est de 108 et 950000Ha de surface irriguée sur le potentiel irrigable de 2.2million d'hectare (**Hannachi, 2018**).

En 2017, un volume des eaux usées épurées de 400hm³ /an était susceptible d'irriguées 80.000ha de superficie (**Kessira, 2018**)

En 2019, 12.325.269 m³ d'eau traitées ont été estimés à l'irrigation de 11045 hectare d'espace agricole qui signifie 31% de volume des TWW. (**Anonyme 1**)

La REEE en région hydrographique ChetifZahrez est de 13.37%, 21.4% à Oranie-Chott-Chergui, de 45-100% à Mlétaà Oran (**Bouchala, 2017**).

1.1.1 Les bénéfices de la REUT (spécifique pour l'irrigation) :

- Niveau économique : la présence de matières fertilisantes et les éléments organiques qui sont nécessaires pour les cultures et des facteurs de l'amélioration du rendement.

- Satisfaction des agriculteurs de trouver des solutions alternatives moins coûteuses tels que la boue pour la fertilisation de sol.

- Niveau écologique : éviter la pollution du sol et de l'environnement par la réduction des rejets des eaux usées directement dans la nature (**Asano, 1998**).

2.1.1 Norme de REUT en agriculture :

Les eaux usées traitées destinées à l'irrigation devraient être dans les normes, le contrôle des conditions afin de minimiser les risques voir la charge des résidus microbiens (**Rubino et Lonigro, 2008; Petterson et al., 2011**) :

Tableau IV: Normes de REUT en agriculture selon : FAO 1985, OMS 1989, JORA 2012

Paramètres	unité	Normes		
		FAO 1985	OMS 1989	JORA 2012
Température	°C	<30		/
pH	/	6,5-8,4		6,5-8,5
CE	ds/m	<0,7* aucune restriction 0,7-3,0* restriction légère à modérée >3,0* forte restriction		3
Oxygène dissous (O ₂)	Mg O ₂ /l	>5		/
MES	Mg/l	<30		30
DBO ₅	Mg/l	<10		30
DCO	Mg(O ₂)/l	<40		90
NO ₃ ⁻	Mg/l	50		30
NO ₂ ⁻	Mg/l	<1		/
NO ₄ ⁺	Mg/l	<2		/
PO ₄ ³⁻	Mg/l	<0,94		/

SAR	Meq/l	<3* aucune restriction 3-9* restriction légère modérée à modérée >9* forte restriction	/
Azote total	Mg/l	<50	/
Phosphore	Mg/l	<2	/
Chlorure	Meq/l	/	10
Huiles et graisses	Mg/l	<20	/
Coliforme fécaux	Nombre de UFC /100ml	<1000 CF/100ml	<250CF /100ml
Streptocoque fécaux	UFC /100ml	1000**	Non disponible
Salmonelle	UFC/1L	Absence	Non disponible

L'épuration des eaux usées est une fenêtre d'opportunité afin de valoriser cette ressource alternative. La réutilisation qui est une stratégie attractive avec de nombreux avantages pour la gestion des eaux d'une part, et le développement du domaine agricole d'autre part tout en irrigant les terres arables (**Cherfouh et al., 2018; Kesari et al., 2021**).

Chapitre 2: La culture hydroponique

Introduction

Aujourd'hui, l'hydroponie est devenue une tendance en culture dont les agriculteurs reconnaissent ses nombreux avantages en particulier la qualité et la quantité des récoltes, mais aussi son propre rôle sur l'écologie ou la pollution, le stress hydrique et autre sont devenu des soucis croissants.

1. Historique

Plusieurs de civilisations ont utilisé l'agriculture hors sol ; ce qui a été prouvé par les dessins hiéroglyphiques égyptiens, les jardins Aztèques flottants, jardin suspendu de Babylone.

En **1627**, la plus ancienne publication sur la culture hors sol a été publiée par Francis Bacon. En **1699**, des expériences ont été faites sur la Menthe verte cultivée dans l'eau.

En**1860**, Von Sachs et Knop ont développé des techniques de cette culture et elles sont actuellement classées comme un type de culture hydroponique Gerick, en **1929** a utilisé ce système comme solution afin s'assurer la qualité des produits agricoles distinguer aux soldats lors de la deuxième guerre mondiale (**Jorge,2013**), il a crée le terme de la culture hydroponique en**1937**.À partir de **1980**, nombreuses pays ont établis le système de l'hydroponie dans leurs fermes.

2. Définition de l'hydroponie

Dérivée du mot grec « travail de l'eau », « hydro » signifie « l'eau », « ponos » signifie « travail ».

Dite culture hors sol ; est une technologie caractérisée par un mode de développement basé sur l'absorption des nutriments dans l'eau par le système racinaire (**Yves, 2008**) nécessitant l'ajout d'une solution nutritive, avec ou sans l'utilisation de substrat qui consiste à soutenir mécaniquement la plante (gravier, laine de roche, bile d'argile, etc.) .

Cette technique pourrait être une option alternative pour des plantes alimentaires saines. (**Butler et Oebker, 2006**)

3. Les différents systèmes de l'hydroponie

3.1. Substrat

3.1.1. Sans substrat: englobe; la technique de film nutritif (NFT), culture en eau profonde (DWC), l'aéroponie, aquaponie, aérohydroponie.

3.1.2 Avec substrat: table marée, goutte à goutte, flux continu.

Les substrats se divisent selon leur origine en :

A/Minéral naturel : gravier, sable et manufacturé : laine de roche.

B/Organique naturel : fibre de coco et synthétique : bile de polystyrène. **(Alain, 2003)**

3.2. Mode d'évacuation des nutriments:

3.2.1. Procédé passif: s'appuie sur la capacité du support d'acheminer la solution nutritive aux racines **(Belbachir, 2017)**

3.2.2. Procédé actif: la plante est irriguée grâce à une pompe qui apporte les éléments nutritifs d'une part, d'agiter et homogénéiser la solution et d'oxygéner l'eau d'autre part **(Belbachir, 2017)**.

3.3. Réseau de distribution de la solution nutritive (Essadaoui, 2013):

3.3.1. Circuit ouvert: dont la solution est perdue et rejetée

3.3.2. Circuit fermé: dont la solution est récupérée et recyclée, permettant l'économie et le respect de l'environnement

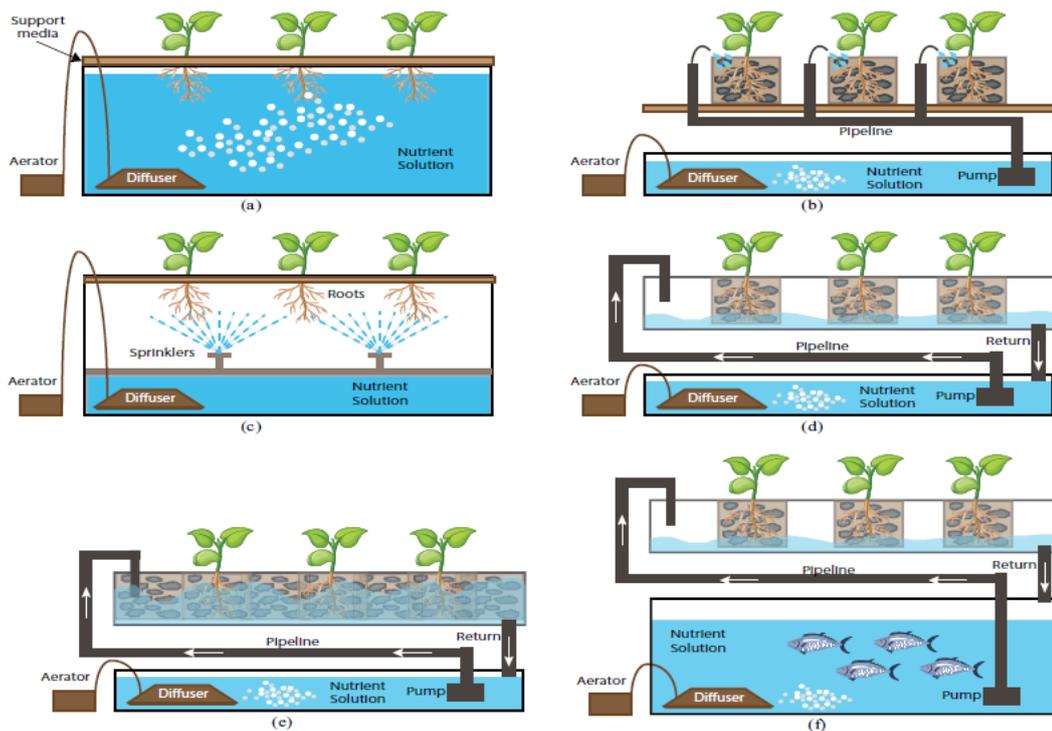


Figure 6: Différents types des systèmes hydroponique: (a) Deep water, (b) Drip system, (c) Aeroponics, (d) NFT, (e) Ebb and flow, (f) Aquaponics (Source :Roberto et al., 2022)

4. Exigences de la culture hydroponique

Le système hydroponique exige un soin et entretien plus important que le jardinage, dont la nécessité de la bonne maîtrise des conditions de culture afin d'éviter l'échec et le dysfonctionnement du système (Raviv et Heinrich, 2008):

- Le bon control du système d'irrigation.
- Température, pH, conductivité, bien contrôlés.
- L'éclairage adéquat

4.1. Comparaison entre la culture hydroponique et sur sol

➤ Sur terre (Boulechfar, 2018) :

- Moins de facteurs et de paramètres à contrôler et à régler.
- pH plus convenable, nutriments naturels dans le sol.
- La manipulation provoque un forte la salinité.
- Difficulté de détérioration et l'arrachement de champignon

- Faible rendement.

➤ En hydroponie (**Boulechfar, 2018**):

- Les racines sont suspendues dans une solution équilibrée prête à être assimilée
- Favorise la croissance en longueur.
- Certains systèmes nécessitent un milieu de croissance
- Permet l'examen et l'automatisation des paramètres de culture

4.2. Avantages et inconvénients de système hydroponique

➤ Avantage (**Kaushal et al., 2018**):

- Système facile à la mise en œuvre.
- Méthode propre sans risque de maladie transmise par le sol,
- Implique l'utilisation moindre des pesticides et réduit le risque de toxicité.
- Nutriments disponibles et facilement assimilables, pas d'entrave mécanique pour les racines, résultant en un moins de temps pour pousser.
- La culture hydroponique n'est pas touchée par les changements climatiques, elle est convenable aux régions souffrant de stress environnementale.

➤ Inconvénients (**Boulechfar, 2018**):

- Le dispositif et le matériel convenables sont de coût élevé.
- Obligation d'un contrôle quotidien régulier

Partie pratique

Matériel et méthodes

I. Analyses physico-chimiques des eaux de la STEP

Cette étude s'appuie sur l'intégration des eaux usées traitées en agriculture sur sol et hors sol et la réalisation d'un système Kratky pour deux cultures maraichères au niveau de la STEP de Sidi Ali Lebher.

Les analyses des eaux usées et des eaux usées traitées sont effectuées d'une façon quotidienne pour certain et chaque semaines pour d'autres, au niveau du laboratoire de la station. Ces analyses ont été effectuées le **24/05/2023** afin de les réutiliser pour l'irrigation.

Les mesures des paramètres ont été effectués suivant le protocole de laboratoire de la STEP de Sidi Ali –Lebher.

1. Température, conductivité et pH :

Le protocole à suivre pour mesurer ces trois paramètres a la fois, se fait à l'aide d'un appareil multi-paramètres **CRison multimètres MM41®**, la mesure se fait à travers la sonde et l'électrode en verre. Le procédé est comme suit :

- ✓ Etalonner l'électrode de PH avec une solution tampon
- ✓ Rincer l'électrode et la sonde avec de l'eau distillée l'essuyer
- ✓ Introduire la sonde et l'électrode dans l'échantillon
- ✓ Après la stabilisation, la lecture se fait ; T en degré Celsius, conductivité en mS/cm ou $\mu\text{S}/\text{cm}$ et le pH

2. Oxygène dissous :

- ✓ Après l'étalonnage de la sonde et le rinçage avec de l'eau distillé
- ✓ La sonde est introduite dans l'échantillon
- ✓ Après la stabilisation le résultat s'affiche en mg/L

3. Matières en suspension (MES):

A l'aide d'un spectrophotomètre, 10ml d'échantillon est versé dans le tube et la mesure qui doit être inférieur à 30mg/L s'affiche sur l'écran de l'appareil.

4. Demande biochimique en oxygène pendant 5jours(DBO5) :

- ✓ Verser l'échantillon d'eau à analyser dans des flacons de 432ml
- ✓ Faire introduire le barreau magnétique dans le godet de caoutchouc
- ✓ Après avoir vissé l'OxiTop® sur le flacon, et afin d'effacer les précédentes valeurs enregistrées ; appuyer sur les boutons (S) et (M) simultanément.
- ✓ Après 5jours d'incubation a l'obscurité de 20°C, la valeur s'affiche en mg/l après l'appui sur le bouton (S).

5. Ammonium NH₄ :

- ✓ Préparer la dilution de l'échantillon
- ✓ Faire remplir la cuvette avec 10ml d'échantillon et un kit de Salycilate ammoniacal, ensuite agiter
- ✓ Lancer une réaction de période de 3 min
- ✓ Ajouter un sachet de Cyanurate ammoniacale et dissoudre, une réaction de 15 min est lancée
- ✓ Faire la lecture par un spectrophotomètre du blanc (eau distillée + réactif) et de l'échantillon
- ✓ Une lecture colorimétrique et spectrométrique a été effectué afin d'identifier la concertation d'ammonium en mg/l d'azote

II. Equipements et système de culture

4.2.1.Lieu de l'expérimentation

STEP Sidi Ali Lebher : la station d'épuration des eaux usées domestiques de la région de Sidi Ali -Lebher et Aboudaou de la ville de Bejaia est située à 6.8Km de la ville. Elle adapte un traitement à boue activée avec un débit de 3000m³/jours en 2010 selon la fiche technique de la STEP, on envisage un développement arrivant jusqu'à 6500eq/heures vers 2030.Le milieu récepteur est la mer.



Figure 7: Capture de site de la STEP Sidi Ali Lebher par GoogleEarth

4.2.2. Description du système Kratky sans serre

Inventé par « Bernard Kratky » de l'université de Hawaï, adopté principalement pour les cultures maraichère (**Krakty, 2005**), ce système ne nécessite pas beaucoup de matériels et de main d'œuvre supplémentaires tel que : minuterie, pompe à air, système de surveillance. C'est un système hydroponique passif, où un récipient est remplie d'eau enrichi avec une solution nutritive, par voie capillaire les plantes sont arrosées systématiquement (**Krakty, 2009**), l'espace entre le couvercle et la surface supérieure de la solution nutritive doit être maintenu.

Le principe de la méthode s'appuie sur quatre fondements (**Krakty, 2004**):

- i. L'exposition à l'air pour les racines aériennes
- ii. L'aération doit être suffisante
- iii. L'absorption de la solution nutritive se fait grâce aux racines
- iv. Pas de remplissage de solution nutritive lors de croissance cependant le volume initial peut être diminué au fur à mesure de développement de la plante

4.2.3. Description et choix des cultures

Laitue : *Lactuca Sativa L* ; légume herbacé de la famille Astéracées (**Barickman, et al., 2018**), une plante d'une large consommation, riche en vitamines, fibres, polyphénols et flavonoïdes (**Djeussiet al., 2017**) l'espèce a un cycle de vie court : 70 jours en sol et 40 jours en hydroponie.

Radis :*Raphanus Sativus* ; plante à racines d'origine d'Asie considérée comme un légume croquant (**Banihani, 2017**) avec une valeur nutritionnelle importante, riche en minéraux, de vitamines et de polyphénols, joue un rôle d'antioxydant et d'anti-inflammatoire (**Hamouda, Khalil, et El-leel 2014 ; Banihani, 2017**). De la famille des Brassicaceae, caractérisé par un cycle de vie court (6 semaines) en sol (**Kitashiba et al., 2014**).

4.2.4. Préparation des échantillons

4.1. Culture

Les graines de la laitue variété Romaine et les graines des radis ont été semées sur des plaques alvéoles contenant du terreau, suivi d'un arrosage avec de l'eau potable. Le semis a été réalisé le 05/05/2023. La germination est une étape importante, car elle permet d'avoir des plantules résistant au repiquage.



Figure 8: Photographie de Culture de laitue et des radis

4.2. Transplantation

Le 24/05/2023, après une parfaite germination, les jeunes plantules de 3 à 4 feuilles et de tige de 7 et 9 cm pour les radis et la laitue respectivement ont été divisées en quatre groupes avec :

- Six échantillons transplantés sur le sol destinés à l'irrigation avec de l'eau potable
- Six échantillons transplantés sur le sol destinés à l'irrigation avec de l'eau usée traitée
- Six échantillons transplantés en hydroponie avec l'utilisation de l'eau potable.
- Six échantillons transplantés en hydroponie avec l'utilisation des eaux usées traitées.

Les racines ont été rincées, placées dans le sol. Pour l'hydroponie les gobelets ont été fixés à l'aide d'un support (gravier et éponge). La technique de repiquage doit être rapide et délicate pour éviter le stress des racines.

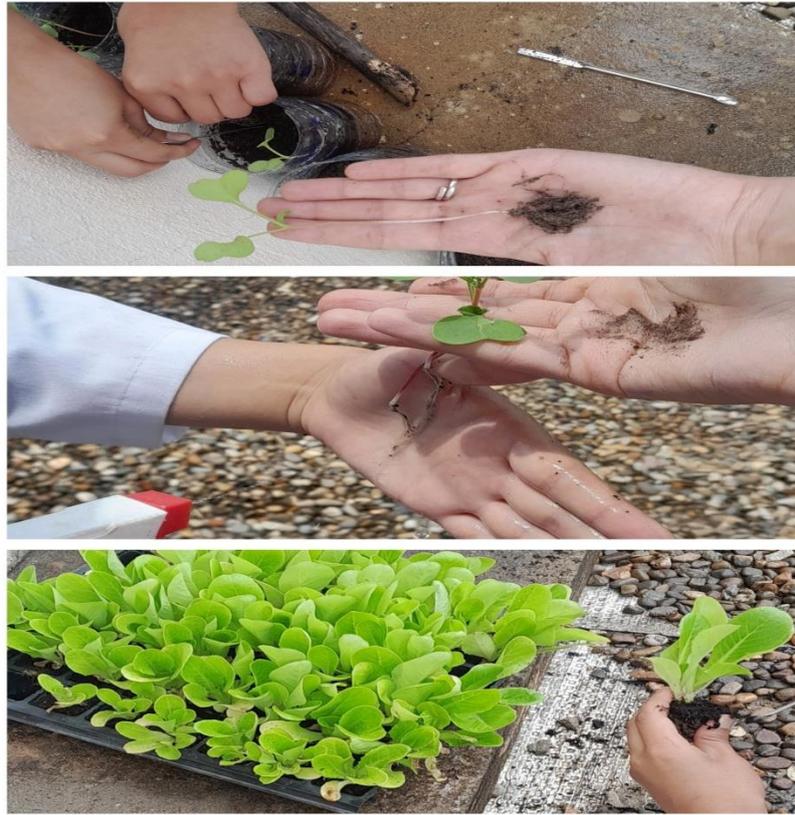


Figure 9: photographie de la transplantation des plantules

5. Composants de système Kratky

Le système hydroponique comporte trois composants principaux (**Blanc, 1987**) :

- ✓ **Substrat** : le gravier et l'éponge en cube de 4×4×4 ont été choisis comme support afin de soutenir les plantules, une entaille au centre des cubes contient les racines en sandwich (**Sakamoto et al., 2021**). L'éponge caractérisée par sa porosité facilitant l'aération (**Rehman et Kethar, 2022**), réserve l'humidité, sans influence nutritionnelle et surtout disponible à moins de coûts au commerce.

- ✓ **Conteneur** : des goulets de 6,5 cm de diamètre en plastique en été perforés afin de faciliter l'aération et la sortie des racines pour la transplantation des plantules.
- ✓ **La solution nutritive.**



Figure 10:photographie des réservoirs de culture utilisés en cultures hydroponiques

6. Préparation de la solution nutritive pour le système hydroponique

6.1. Composition de la solution nutritive :(Elabilan, 2010)

Solution A :

- 10 litre d'eau potable
- 850g de NPK (12-12 36 +OE)
- 400 g de sulfate de magnésium
- 350 g de nitrate de potassium

Solution B :

- 10 litre d'eau potable
- 850 g de nitrate de calcium
- 35 g d'EDTA de fer



Figure 11: photographie des solutions préparées (A et B)

Les réservoirs en plastique utilisés ont nécessité un volume de 3L.

Un volume de 3 ml de la solution A a été ajouté avec les 3L d'eau potable et agité pendant 3min, puis 3ml de solution B ont été rajoutés. Le PH est maintenu à 6,3 et la conductivité à 2 mS/cm après un ajustement avec 12ml d'acide acétique.

La même quantité a été utilisée pour les deux (2) bassins de l'eau potable et les deux bassins pour les EUT.

6.2. La gestion de la solution nutritive

L'avantage des cultures hydroponiques est bien la possibilité de contrôler des conditions environnementales, cependant celles des températures, PH, CE, et l'oxygène dissous peut endommager le système en cas d'un mauvais contrôle et de la négligence de suivi.

- ❖ **PH** : déterminant la disponibilité des nutriments pour la plante, c'est un paramètre instable, fragile qui change souvent en fonction de la différence d'amplitude d'absorption, expliqué par l'équilibre en anion par rapport aux cations.

Le PH est généralement toujours élevé à cause du processus « d'alcalinité physiologique » traduit lorsque la racine de la plante absorbe les anions plus que les cations, pour arriver à équilibrer la charge électrique de la solution et la plante excrète les anions OH/HCO. L'ajustement journalier se fait soit avec de l'ammonium, acide nitrique sulfurique ou phosphorique (Marschner, 1995)

- ❖ **Conductivité** : mesurée à l'aide d'un conductimètre en mS/cm, indiquant la concentration de la solution nutritive, une valeur plus de la fourchette pacifique de

chaque espèce entraîne une mal absorption causé par la pression osmotique (Samarakoon et al.,2006). une valeur moins de la norme provoque la malnutrition et agit sur la santé de la plante touchant alors le rendement.La correction se fait par l'enrichissement de la solution.

- ❖ **Température** : est inversement proportionnelle avec l'oxygène dissous et agit même sur la solubilité des fertilisant et l'absorption racinaire. C'est une variable à contrôler selon l'espèce cultivé.

7. Conditions hydroponiques de la laitue et des radis

7.1. Laitue

Selon le travail de (Sapkota et al., 2019)le PH hydroponique de la laitue est maintenu de 5.5-6.5 à une températurede 20 à 25°C avec un milieu humide,et une CE de1,5-2,5dS/m(Samarakoon et al., 2006) ..

7.2. Radis

La culture hydroponique de radis nécessite des conditions spécifiques ; un PH de 6-7, une conductivité de 1.6 dS/m et une température varie de 17°C a 25°C (Kerckhoffs et Zhang, 2021)

8. Maintien et le suivi

Notre étude était réalisée en mode open sky. Les cultures ont été suivies quotidiennement exceptionnellement les jours du weekend.

8.1. Culture en sol

Le sol est recueilli à la zone d'Amalou enrichi avec de terreau. Le suivi de la laitue et les radis cultivés en sol repose sur l'irrigation chaque deux jour avec un volume de 0.25l d'eau potable ou d'eau épurée. Un suivi des mesures biométriques dites aussi les paramètres de croissances a été réalisés comme suit:

- Nombre de feuilles : vivantes et mortes pour les deux espèces
- Longueur des feuilles } pour la laitue
- Largeur de feuille }

8.2. Culture en hydroponie

Les paramètres biométrique (longueur et nombre de feuilles et la longueur des racines) ont été mesurés tous les jours. Les variations des autres paramètres physiques ont été vérifiées suivis et corrigés après chaque mesure vue l'instabilité de ceux-ci

Le réajustement du PH a été effectué à l'aide de l'acide acétique et la conductivité élevée a été baissée avec de l'eau distillée. La température était un facteur incontrôlable vu que l'étude a été réalisée à ciel ouvert.

9. La récolte

Après 26 jours les laitues et les radis en sol ainsi que la laitue en hydroponie ont été récolté manuellement précocement à cause de l'épuisement de la période autorisée pour cette étude.



Figure 12: Photographie de la récolte de laitue en sol

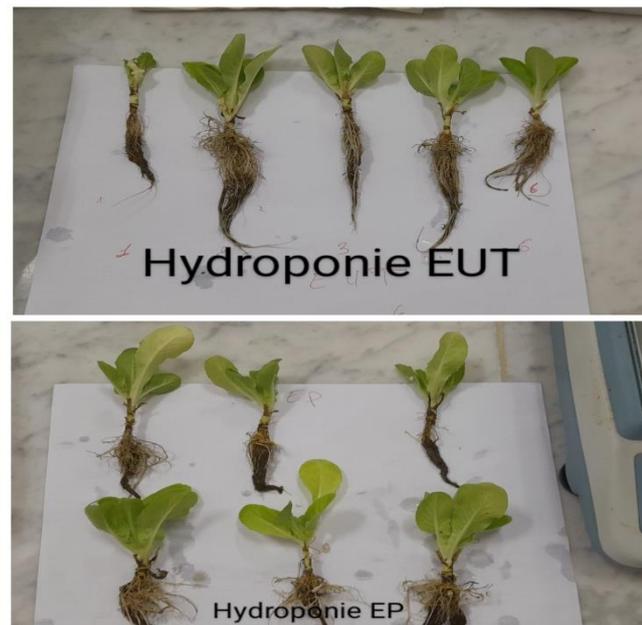


Figure 13: photographie des laitiues récoltées en hydroponie



Figure 14: Photographie des radis récoltés en sol avec l'EP



Figure 15 : photographie des radis cultivés en hydroponie

Résultats et discussion

Résultats et discussion

I. Analyse des eaux d'irrigation

- Selon les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de la STEP, en comparant les normes de réutilisation des eaux usées traitées (REUT) en agriculture selon (FAO, JORA) nos eaux ont un PH, T°, O2, MES convenables pour l'utilisation en agriculture à l'exception de la conductivité qui est dans la valeur de cas restriction légère ou modérée (0.7 -3 dS/m).

Tableau V : résultats d'analyses des eaux usées traités

Paramètres	Résultats
pH	7.17
CE (mS/cm)	2.76
T°C	21.9
Oxygène dissous (mg/l)	6.44
MES (mg/l)	16
DBO5 (mg/l)	7
NH4 (mg/l)	0.03

II. Analyse de solution nutritive pendant la culture hydroponique

2.1. Variation de la conductivité électrique

Les variations de la CE en mS/cm dans les milieux hydroponiques des deux eaux : Eau potable (EP) et Eau usée traitée (EUT) en fonction du temps sont présentées dans la figure 11. D'après ces résultats, concernant la laitue en hydroponie ; en remarque que la CE de EP est plus élevée par rapport à celle de EUT.

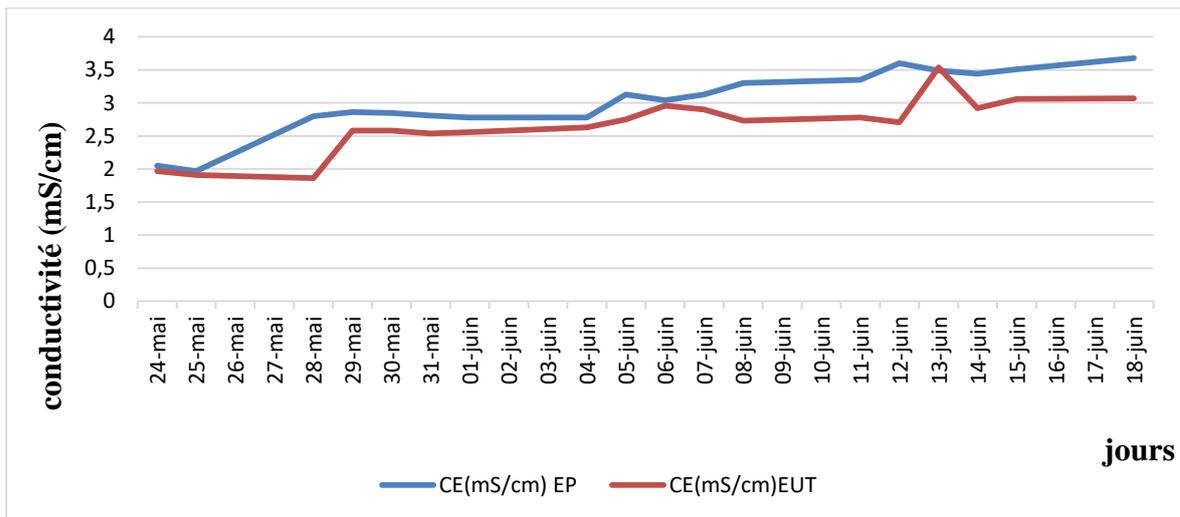


Figure 16: Variation de la CE en culture hydroponique de la laitue avec EUT et EP en fonction du temps

La CE de l'eau potable varie de 2.05 mS/cm à 2.78mS/cm entre le 24 mai et le 4 juin, les valeurs ne cessent pas d'augmenter jusqu'à l'enregistrement d'un pic de 3.68 mS/cm le 18 juin. Les valeurs de conductivité de l'EUT augmentent lentement, du 24 mai au 12 Juin avant qu'elles arrivent au pic de 3.54 mS/cm le 13 juin et les valeurs restent élevées au cours des trois jours suivants.

Les plantes de laitue ont été affecté par une forte salinité dépassant 2.5 dS /m ce qui a peut être affecté leur processus physiologique et biologique. Une CE élevée influence l'absorption et inhibe la croissance des plantes (Ehret et Ho, 1986; Charbonneau et al., 1988 ; Paulus et al., 2010; Sakamoto et al., 2014 ; Afonso et al., 2023). Une conclusion similaire a été tirée par sur la culture de la tomate.

Il était reporté que plusieurs facteurs peuvent influencer la variabilité de la CE tels que l'espèce cultivée, la solution hydroponique, le stade de croissance (Sarooshi et Cresswell, 1994 ; Roupheal et Colla, 2005 ; Asao, 2012 ; Hashida et al., 2014 ; Afonso et al., 2023) ainsi que la température et la composition de l'eau.

2.2. Variation du potentiel d'hydrogène

La figure 12 montre la variation du pH de la culture hydroponique de la laitue en fonction du temps. Les valeurs sont convergentes, variant de 6.05 à 8.12 pour EP et de 5.22 à 8.39 pour l'EUT. Le pic de pH de EP a été enregistré le 25 mai et le 11 juin avec une valeur de

8,12 par contre celui de l'EUT a été enregistré le 28 mai à 8.39. Un ajustement du pH a été alors nécessaire.

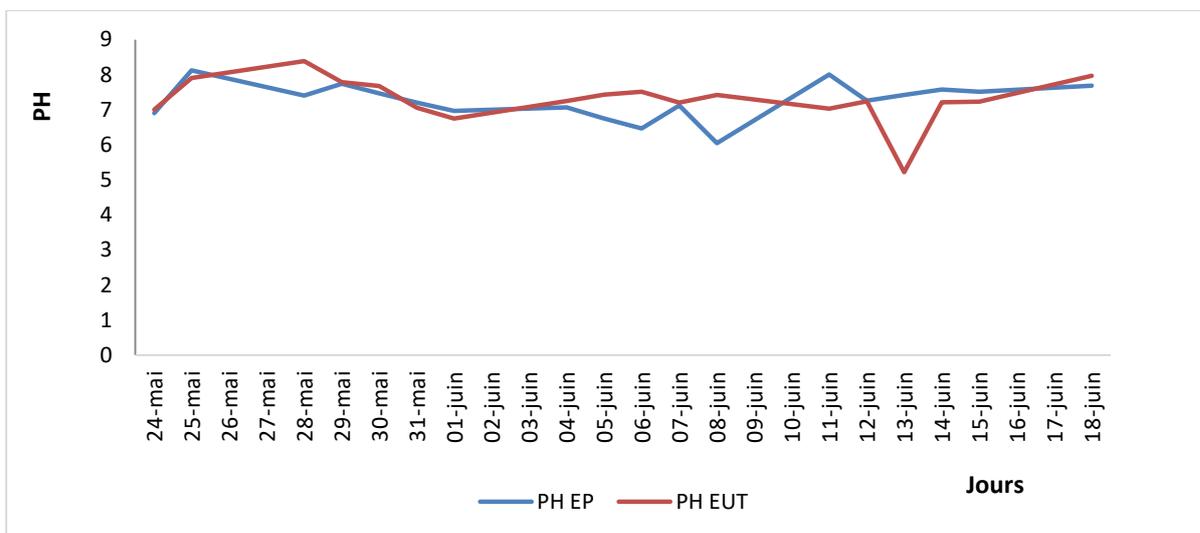


Figure 17: Evaluation de pH de la culture hydroponique de la laitue avec l'EUT et l'EP en fonction du temps

Les perturbations du pH influencent sur les nutriments de la solution nutritive et une précipitation des ions de Mg, Ca, K, P suite à une augmentation de pH en alcalin provoquant ainsi une absorption réduite de ceux-ci (Bugbee, 2003 ; Bounachela, 2010 ; Afonso et al., 2023). Lors d'un pH acide, certains macronutriments primaires et secondaires seront absents et les micronutriments deviennent toxiques pour la plante. Selon Cervantes, (2011) les nutriments ne seront pas absorbés par les racines à cause de leur forme complexe en se liant chimiquement avec des sels acides.

2.3. Variation de la température

La présente étude a été réalisée à ciel ouvert sous des températures ambiantes variant entre 18°C et 24°C. La figure 13 représente le développement de la température durant les 26 jours de l'expérience.

Les T° de la solution hydroponique de la culture de laitue varie entre 20.8°C au premier jour de l'expérience et 23.7°C comme valeur maximal au 15ème jour après avoir diminué à 18.6°C. Cette perturbation été due au changement climatique marqué au cours de cette durée.

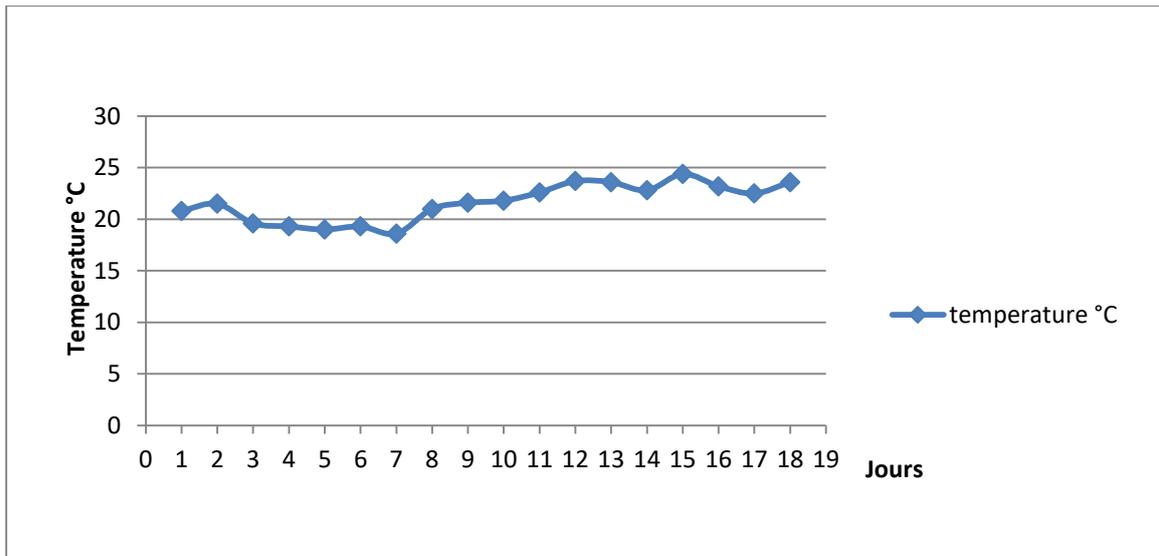


Figure 18: Variation de température de la solution hydroponique en fonction du temps

Asao, (2012) a rapporté que la température contrôle le taux de croissance chez les végétaux où la plupart des processus chimiques sont réglés par des enzymes qui fonctionnent mieux sur une plage de températures spécifiques. Un développement végétal ralenti à été obtenu lors d'une culture à basses températures. Both, (1995) suggère que lors des températures au-dessous de la température optimale, des enzymes commencent à se dégrader et par conséquent les processus chimiques sont ralentis ou s'arrêtent, ce qui justifie une croissance végétale réduite ou parfois cause la mort de la plante.

La température peut également agir sur la salinité qui par conséquent influence à son tour la croissance de la plante (Ryypoet al., 1998 ; Afonso et al., 2023).

III. Développement des cultures végétale

3.1. Le développement de nombre de feuille de laitue :

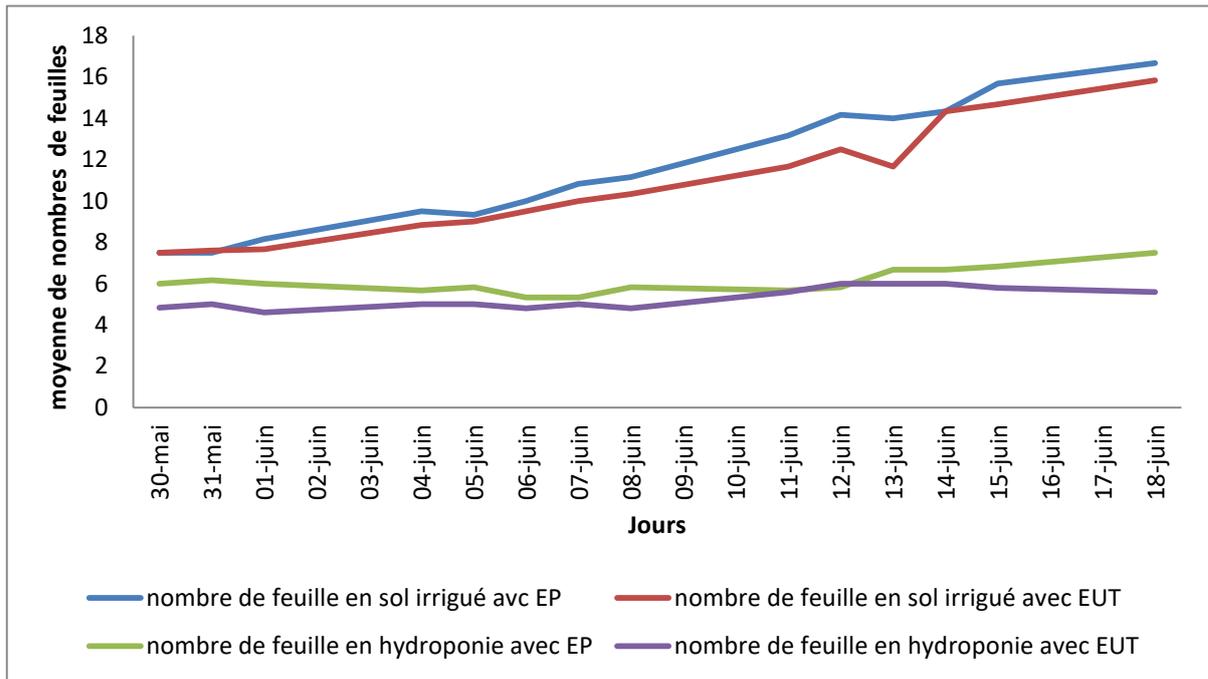


Figure 19: Moyennes de nombres de feuilles de la laitue dans les deux système de culture irriguée avec EUT et EP

La courbe suivante exprime la variation du nombre de feuilles en fonction du temps en hydroponie et en sol pour les deux sources d'eaux. Comparant les deux sources d'eaux utilisées en sol et en hydroponie, les moyennes des feuilles de laitue irriguée avec l'EP sont comparables à celles irriguée avec l'EUT, par contre une différence significative est observée entre les deux systèmes en sol et en hydroponie.

En système hydroponique la moyenne de nombre de feuille par plante atteint $7.5 \pm 0,61$ en EP et $6 \pm 0,51$ feuilles par plante en EUT. Sur sol une augmentation de 7.5 au début du cycle végétatif jusqu'à atteindre $16,67 \pm 3,07$ à la fin de la culture. Des moyennes proches à celle irriguée avec l'EUT qui a enregistré $15,83 \pm 2,74$ feuilles par plante. Selon cette analyse, on peut constater que le type du système de culture influence le nombre de feuille. Le nombre de feuilles mortes dans les deux systèmes de culture varient entre 1 et 3 feuilles /plante.

Nos résultats montrent une légère différence avec ceux des cultures hydroponiques réalisées par **Petroplous et al.(2016)**, **Sapkota(2019)**, **Majid et al.(2021)** **Afonso et al.(2023)** où le nombre de feuilles variait entre 10 à 20 feuilles/cultivar de laitue. Ce travail de recherche explique que la solution hydroponique a un effet sur le nombre de feuilles de laitue.

Une différence non significatives a été enregistrée pour la laitue sur sol irriguée par EP et par EUT (16,67 et 15,83 respectivement). Ces valeurs sont comparables à celles rapportées par (Majid et al.2021) qui a trouvé 17,7feuilles dans une durée de temps plus longue que la notre.

3.2. Le développement de longueur des feuilles

Les résultats portant sur la moyenne de la longueur des feuilles de laitue irriguée par EUT et EP sur sol et en hydroponie en cm /jour sont illustrés dans la figure 15.

On remarque une différence non significative entre les cultures sur sol irrigué avec EP et EUT. Par contre en système hydroponique on observe une diminution de longueur des feuilles pour EUT de 7,67cm jusqu'à 3.84cm± 1,19 et de 8,45cm à 6,21cm± 0,92 pour celle de l'EP.

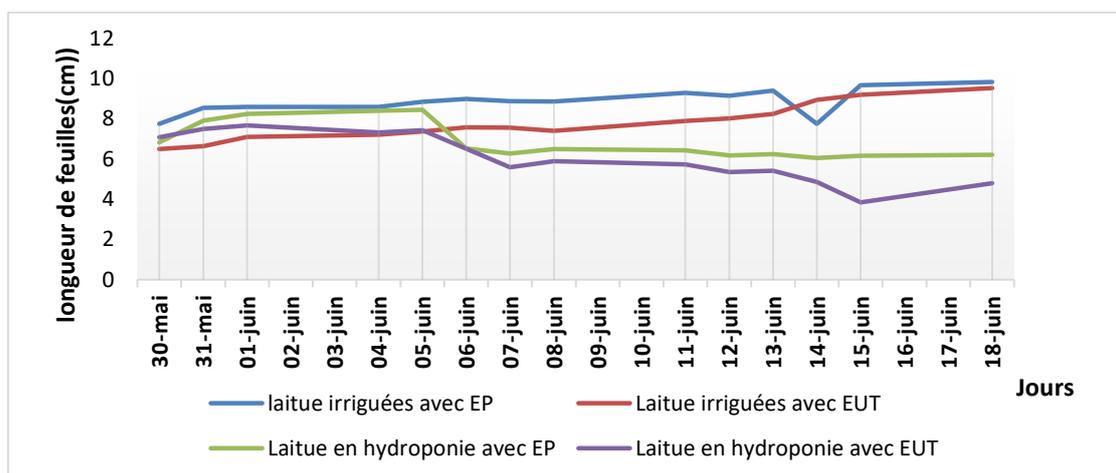


Figure 20:Evaluation de longueurs de feuilles de laitue en (cm) en fonction du temps

Sur le sol les cultures en subit un développement plus lent, la laitue irriguée avec le EP s'est développée mieux que celle avec le EUT.

Les résultats de cette étude sont inférieurs à ceux rapportés par Majidal.(2021)qui ont trouvé une moyenne de 25,1 cm dans à longue durée (48 jours).

En hydroponie le développement a été lent, caractérisé par l'enregistrement d'une chute de longueur des feuilles à partir du 6 juin associé à l'apparition d'un jaunissement causé par une chlorose à causes multiples (carence en azotes, infections parasitaires, anomalie génétique, etc.)ou bien par une contamination par des agents pathogènes qui provoquent plusieurs types de phénomènes, tels que le jaunissement des feuilles et l'apparition d'algue verte dans le bassin EUT expliqué par la présence de lumière et la matière organique

(Eshkabilov et al., 2020; Shim et al., 2021; Yang et al., 2021). Dans le cas de EP la diminution du développement à cause de la forte salinité qui provoque un stress osmotique empêchant l'absorption de l'azote touchant la biosynthèse de la plante (Fallavo et al., 2009; Afonso et al., 2023).

Variation du poids

La figure 16 représente la moyenne de poids des 6 échantillons de laitue cultivée sur sol et en hydroponie ; irriguées par EUT et EP.

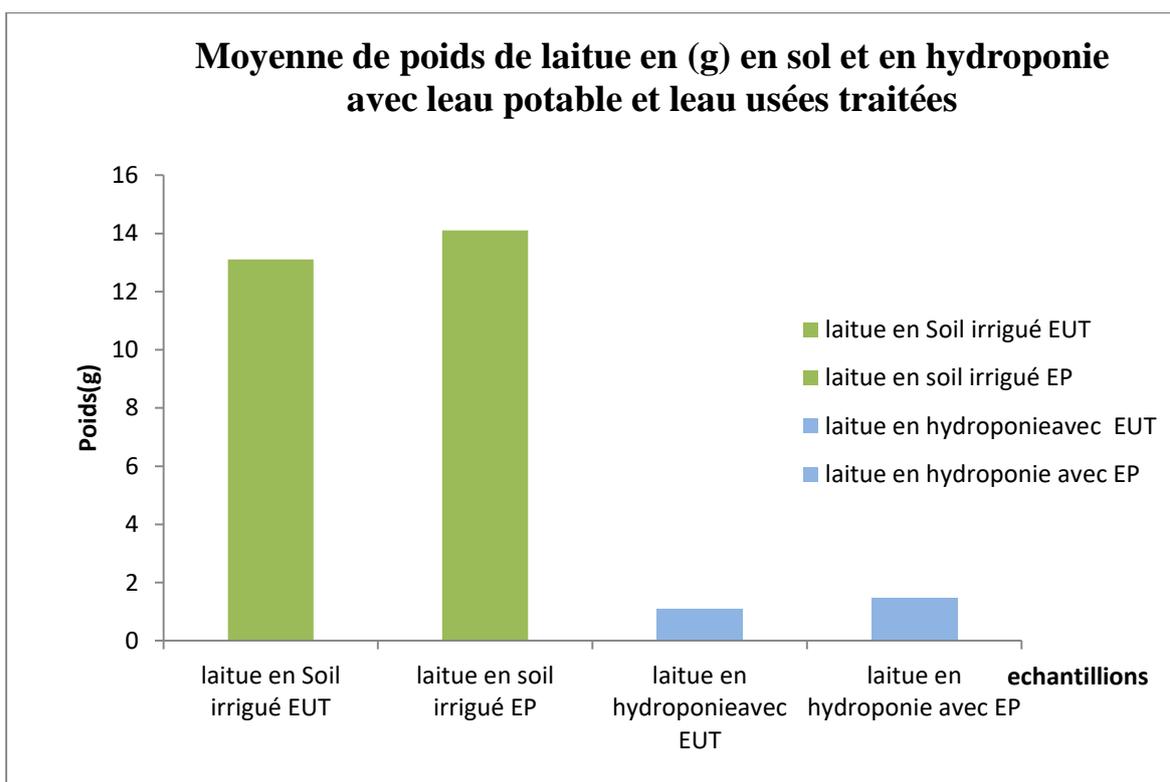


Figure 21: Variation de poids des laitues en (g)

Selon ces résultats, le poids de la laitue cultivée sur sol ne présente pas une grande différence entre les 2 types d'eaux d'irrigation contrairement aux types de culture où les poids des laitues en hydroponie sont inférieurs à ceux des laitues cultivés sur sol.

La laitue en sol irriguée avec EP et EUT ont des poids comparables (14,11g±6,3 et 13,11g± 7,6 respectivement) dont la moyenne est largement inférieure au poids moyen rapportée par Matysiak et al., 2023 (86g).

La laitue en hydroponie avait une différence largement significative entre l'EP et l'EUT (1,46±0,4 et 1,08g ± 0,5 respectivement), ces valeurs sont inférieurs aux résultats rapportés

par **Afonso et al.(2023)** qui ont enregistré un poids compris entre 4,4 et 13 g. Dans une étude, **HABBAS (2018)** a récolté des laitues d'un poids moyen de 141g.

Les valeurs obtenues sont supérieures à celles présentées par **Egbuikwemet al.(2020)**, qui ont évalué, la croissance de la laitue dans les eaux usées mixtes, et atteint, par plante, 6 à 8 feuilles, 0,03à 0,20 g de masse fraîche. D'autres auteurs, qui ont évalué l'effet de différentes concentrations de nutriments de N, K et Ca sur la production de laitue en culture hydroponique, ont obtenu des valeurs moyennes de 10 à 21 feuilles et de 41,9 à 115,3 g de poids frais par plante(**Sapkota et al., 2019**).

3.3. Développement des racines de laitue

La figure 17 traduit les variations des résultats des moyennes de la longueur des racines des 6 échantillons de laitue en hydroponie en cm avec l'EP et l'EUT. Au cours du 26 ème jour nous constatons une différence significative entre la longueur des racines en EUT (5,5 à 10,46cm±1,28) comparée à celle des racines en EP (7,08 -8,51cm±0,57). Une diminution de la longueur des racines en EP a été ensuite notée (7,63 cm). Ceci peut être expliqué par la répartition inégale de nutriments (**Alain, 2003 ; Al-Rawahy et al., 2019**).

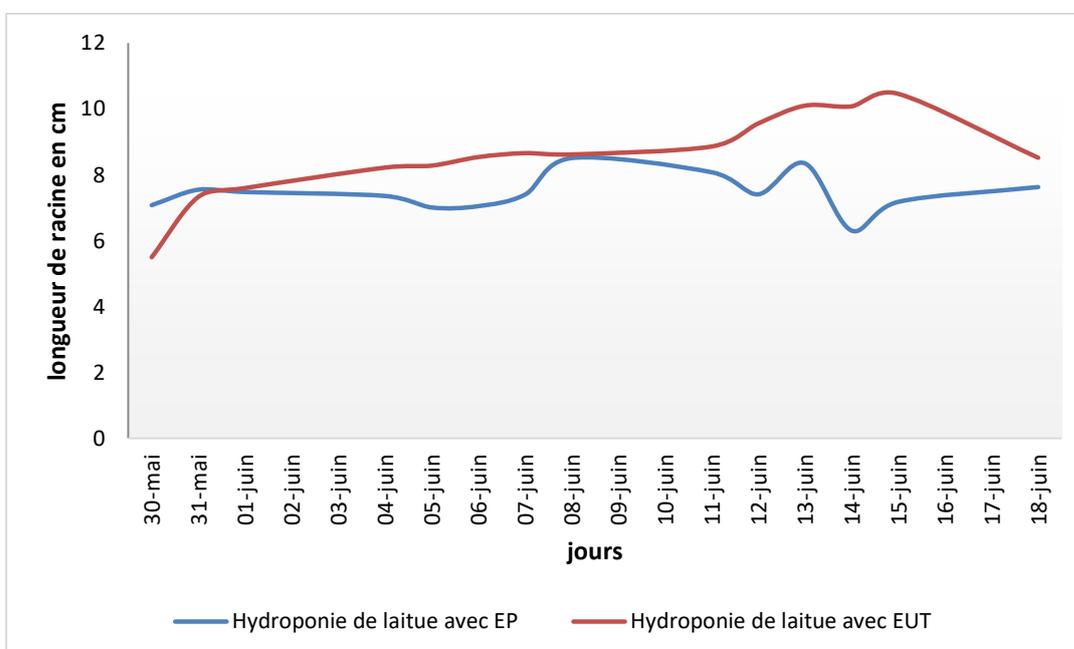


Figure 22:variation de longueur des racines en hydroponie de la laitue

L'essai EP a eu les plus courtes racine sa cause de la CE plus élevées où l'augmentation de la pression osmotique entre la solution hydroponique et le milieu cellulaire des racines freine leur développements, cette augmentation causé par une forte salinité poussent l'eau intracellulaire à quitter son milieu racinaire (Alain, 2003 ; Al-Rawahy et al., 2019).

L'un des facteurs responsable du brunissement des racines est le manque d'oxygène dans le milieu (Gislrod, 1983). Une valeur inférieure a 4 mg de O₂ provoque l'inhibition de la croissance des racines qui peut être causée par l'absence d'une source d'aération et peut également être reliée à des températures de culture assez basses qui sont proportionnelles avec la concentration d'oxygène (Morard et Silvestre, 1996 ; Al-Rawahy et al., 2019).

IV. Développement des radis sur sol

La figure 18 représente la variation des nombre de feuille et les poids de 12 échantillons de radis irriguée avec EP et EUT. Les radis irrigués avec l'EP ont marqué un développement des feuilles plus important à ceux irrigués avec l'EUT ($8,67 \pm 1,15$ et $3,67 \pm 1,09$ feuille / plante respectivement), la même observation concerne leur poids final représenté sur la figure 19 ($3,61g \pm 1,59$ et $1,39g \pm 0,80$ respectivement).

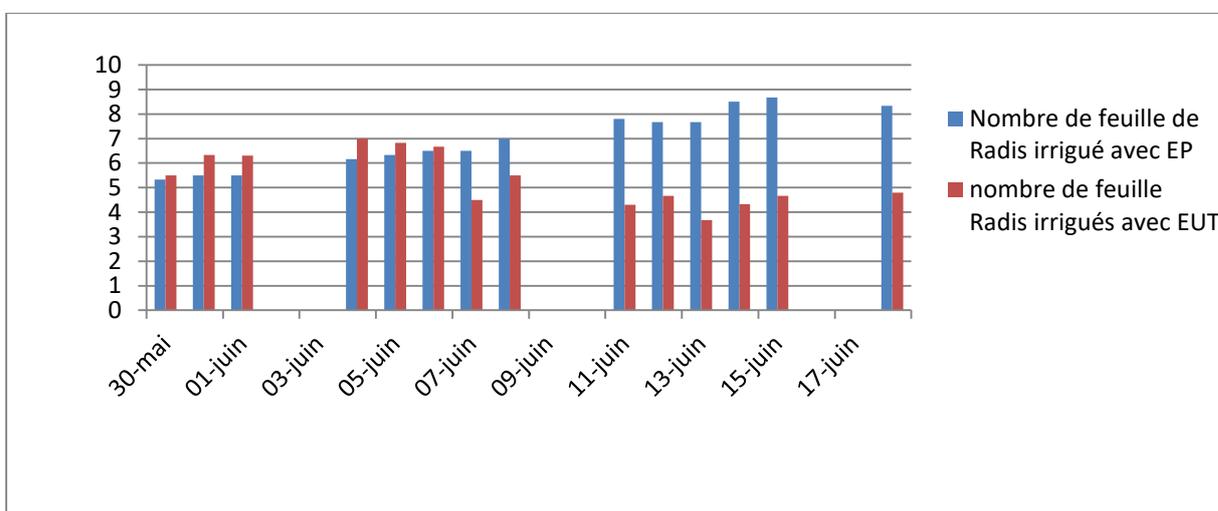


Figure 23: Variation du nombre de feuilles de radis sur sol

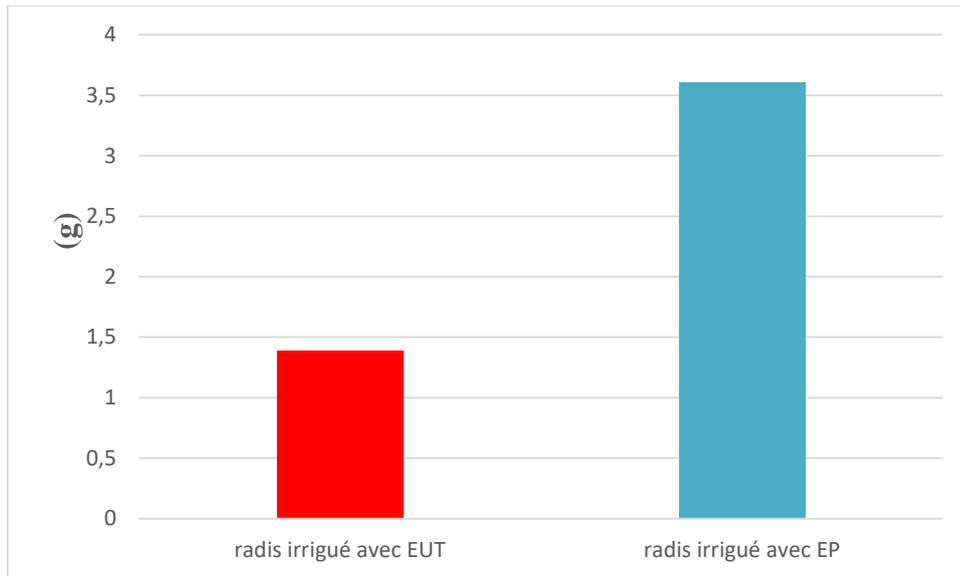


Figure 24: Poids des radis sur sol en (g)

Les échantillons de radis ont montré des traces blanches ressemblant à une cire, ceci est peut être lié à la présence d'une maladie provoquée par la mouche mineuse (*Liriomyza spp*) qui a affecté la croissance et le rendement des radis (Liang et al., 2023). Les pucerons à leurs tours agissent négativement sur le développement. (Li et al., 2023) .

L'essai de culture en hydroponie a échoué après 4 jours de transplantation suite à un pic élevé de CE et du PH pendant les deux jours week-end et qui a peut-être causé l'intoxication des plantes (Afonso et al., 2023).

Finalement, on a noté l'apparition des nématodes en hydroponie EUT qui a ralenti le développement et a été la cause du jaunissement des plantes. La salinité élevée de l'EP a causé une malabsorption des nutriments et a donc entravé la physiologie des plantes.

En conclusion, dans la présente étude, les cultures sur sol étaient plus rentables qu'en hydroponie.

Conclusion

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence l'impact des eaux usées traitées sur les cultures de laitue et de radis en deux systèmes de culture (sur sol et en hydroponie) en comparant à l'eau potable utilisée pour l'irrigation.

L'expérience a été déroulée au niveau de la STEP SIDI ALI LBHAR, débutée le 24 mai 2023 et a pris fin le 18 juin 2023. L'étude en permis de ressortir les constatations suivantes :

- Sur sol la laitue irriguées avec EUT et EP les résultats ne montrent aucune différence significative sur les paramètres biométriques, indiquant l'absence de l'effet de la qualité des eaux, par contre leurs effets est notables sur les cultures des radis, où les plantes en EP avaient un développement plus important qu'en EUT.
- En hydrobie le développement dans les deux bassins d'eaux est non divergent, il est restrictif à cause des perturbations des valeurs de CE et du pH qui a causé l'échec de la culture des radis.
- L'apparition des algues, nématodes et pucerons avec un effet nuisible sur la culture.
- Le système « open sky » a influencé négativement sur l'hydroponie qui nécessite un contrôle continu des paramètres de culture.

Suite à la limitation de la durée de l'étude, les résultats obtenus ne permettent pas de conclure et de déterminer la rentabilité réelle de ces deux cultures.

Parmi les obstacles rencontrer : l'absence de serre, la difficulté de trouver les engrais pour la solution nutritive, le manque de réactifs à empêcher de réaliser certains tests et parfois les pannes des appareils de laboratoire.

Perspectives :

- Le système doit être réalisé dans une serre, sous des conditions fixes et bien contrôlées, avec une solution hydroponique avec l'ajout d'engrais bien contrôlé.
- L'utilisation d'un système NFT /DWC ou équipé avec un multi-paramètre PH /CE et un générateur d'oxygène sera plus pratique et prometteuse.
- Les analyses du sol sont importantes avant de cultiver
- Les analyses des eaux doit être effectuées sur : la physico-chimie, microbiologie et les métaux lourd. Envisager un prétraitement ou une stérilisation si c'est nécessaire.
- Analyses phyto-chimique, nutritionnelle et sensorielle des matrices végétales cultivées.

Références bibliographique

- Afonso, A., Regato, M., Patanita, M., Luz, S., Carvalho, M.J., Fernandes, A., Lopes, A., Almeida, A., Costa, I., Carvalho, F., 2023.** Reuse of Pretreated Agro-Industrial Wastewaters for Hydroponic Production of Lettuce. *Water*, 15, 1856. <https://doi.org/10.3390/w15101856>
- Alain, V., 2003.** fondements et principes de hors sol : doc V3.1 HRS 12 Ind. 2003. 10p
Algerian journal of arid environment. vol. 7, n°1, juin 2017: 84-95
- Al-Rawahy, M.S., Al-Rawahy, S.A., Al-Mulla, Y.A., Nadaf, S.K., 2019,** Influence of Nutrient Solution Temperature on Its Oxygen Level and Growth, Yield and Quality of Hydroponic Cucumber. *J. Agric. Sci.* 11, 75–92.
- Asano, T., 1998.** Wastewater reglementation and reuse. Water quality management library, 1475 pp.
- Asao, T., 2012.** Hydroponics – A Standard Methodology for Plant Biological Researches. Croatia :Intech.
- Bahri, A., 2003:** Water reuse in the Middle East, North Africa and Mediterranean Countries. In: National Research Institute for Agricultural Engineering, Water and Forestry, Tunisia, Kyoto Water Forum
- Baumont et al., 2004 :** réutilisation des eaux usées épurées : risque sanitaire et féçabilité en Ile .observatoire de santé d’Ile –de –France ,176pp.
- Belaid, N., 2010.** Evaluation des impacts de l’irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d’El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques; thèse présentée en vue de l’obtention du DOCTORAT De l’Université de Sfax.
- Belbachir, B., 2017.** Production de fourrage par technique hydroponiques cas de l’orge a Sidi mdjahed, commune de benibousaid. Thèse de master, agronomie : amélioration végétale. faculté de sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l’univers, université Abou bekrbelkaid-Telemcen, 5-68p.
- Benzaoui, N., Elbous., 2009.** Epuration d’eau usées par le procédés des boues actives au de la commune de Tougourt. Mémoire ingénieur chimie. Université d’Annaba. 37P.
- Bonachela, S., Acuna, R.A., Magan, j.j ., Malfa, O., 2010.** oxygen enrichent of nutrient solution of substrat –grown vegetable crops under mediterranean green house

conditions :oxygen contente dynamicscropresponse.spanish journal of agricultural resarch.vol,8 ;n°4,dec 2010 ;pp.1231-1241,ISSN :1695-971-x

Both,A.J., 1995.Ten years of hydroponic lettuce research.Available online :<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.03.015>

Bouchaala, L., Charchar, N., Gherib, A.E., 2017.:Resources hydriques :traitement et réutilisation des eaux usées en Algérie. Algerian J.AridEnviron. 12, 84–95 (2017).
<https://www.asjp.cerist.dz/en/article/40098>

Boulechfar, B., 2018. La culture hydroponique de l’orge; diplôme de master; université des frères Mentouri .Constantine; 14-15.

Boutin,C et Eme,C.,2015.composition des eaux usées domestiques par sources d’émission à l’échelle de l’habitation. ONEMA

Bouzidi, Y., 2020. Réutilisation des eaux usées épurées en Algérie. Hydraulique. Guelma : université 08 mai 1945 de Guelma ,60P.

BożenaMatysiak ,* , StanisławKaniszewski and Monika Mieszczakowska-Fra., 2023.,Agriculture 13, 897. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040897>.

Bugbee, B., 2003. Nutrient management in recirculating hydroponic culture. South Pacific Soil-less Culture Conference. Feb. 11, PalmerstonNorth,New Zealand

Ceretta, MB., Vieira ,Y., Wolski, E.A., Foletto, EL., Silvestri, S .,2020. Biological degradation coupled to photocatalysis by ZnO/polypyrrole composite for the treatment of real textile wastewater. J Water Process Eng 35:101230

Cervantes., 2011.la culture en intérieur :labible de jardinage indoor.MAMAEdddition .387p.

Charbonneau,J.,Gosselin,A.,Trudel,M.J.,1988.Influence of electrec conductivity and intermittent flow of the nutrient solution on growth and yield of greenhouse tomato in NFT. soilless –culture 4 :14-30

Cherfouh, R., Lucas, Y., Derridj, A., Merdy, P., 2018. Long-term, low technicality sewage sludge amendment and irrigation with treated wastewater under Mediterranean climate: impact on agronomical soil quality. Environ. Sci. Pollut.Res. 25 (35), 35571–35581.

Egbaikwem, P.N., Mierzwa, J.C.,Saroj, D.P.,2020. Assessment of Suspended Growth Biological Process for Treatment and Reuse of MixedWastewater for Irrigation of Edible Crops under Hydroponic Conditions. Agric. Water Manag, 231, 106034.

Ehret,D.L., Ho ,L.C., 1986.The effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture.JHortsci 61 :361-367.

- Elabilan., 2010.**hydroponics beginners. LIZWAN .Abu Dhabi.122P
- Esgario JGM, de Castro PBC, Tassis LM, Krohling RA., 2021**An app to assist farmers in the identification of diseases and pests of coffee leaves using deep learning. Inf Process Agric. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.01.004>.
- Eshkabilov,S., Lee,A., Sun,X., Lee,CW., Simsek,H.,2021.**Hyperspectral imaging techniques for rapid detection of nutrient content of hydroponically grown lettuce cultivars. Comput Electron Agric;181:105968. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105968>
- Essadaoui,M., 2013.**Industrie agroalimentaire, bulletin édité par l'institut marocain de l'information scientifique et technique IMIST, N°25-34P.
- Falovo,C.,Rouphael,Y.,Rea,E.,Battiselli,A.,Colla,G., 2009.** nutrient solution concentration and growing season affect yield and quality of *lactuca sativa* L .var.acephala in floating raft culture :nutientconcentration and growing season effects on lettuce .j .sci .food agric .,89,1682-1689.
- FAO., 2003 :** organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. Irrigation avec des eaux usées traité manuel d'utilisation
- FAO., 2003.** Irrigation avec des eaux usées traitées, Manuel d'utilisation, FAO, 73p
- Frank, R.,2002.** « Analyse d'eau : aspect réglementaire et technique », centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine (CRDP), Bordeaux. P.358
- Gislerød, H. R. et Adams, P., 1983.** Diurnal Variations in the Oxygen Content and Requirement of Recirculating Nutrient Solutions and in the Uptake of Water and Potassium by Cucumber and Tomato Plants. *Scientia Horticultura*, Vol.21, No.4pp. 311–321, ISSN 0304-4238
- Gouchene, N.Mohammedi, S., 2018.**Evaluation des eaux usées de la STEP de Souk .El .Tenine en vue de leur réutilisées en agriculture .Chimie. Bejaia : université A.MIRA de Bejaia ,46P
- Guemmaz, F., Neffar, S., Chenchouni, H.,2020.**Physicochemical and bacteriological quality of surface water re-sources receiving common wastewater effluents in drylands of Algeria. In: Negm, A.,Bouderbala, A., Chenchouni, H., Barcelo, D. (eds.) WaterResources in Algeria–Part II: Water Quality, Treatment, Protectionand Development. Springer Nature Switzerland, 117–148
- Habbas, M.,2018.**Essai de quelques cultures sous un système hydroponique de la région de Biskra.univ : Mohamed Khider de Biskra.
- Hannachi, A.,2018:** Les politiques publiques du recyclage des eaux usées traitées en agriculture périurbaine: enquête auprès des acteurs de la filière à Batna. Doctoral thesis

Hashida,S.,Johkan,M.,Kitazaki,K.,Shoj,K.,Goto,F.,Yoshihara,T.,2014.Managment of nitrogen fertilization,rather than functional gene abundance,governs nitrous oxide fluxes in hydroponics with rockwool.plaant soil 374,715-725.

Hespanholi, L., Prost, A.M.E., 1994. WHO guidelines and standards for reuse and water quality. Water Resour. 28 (1), 119–124
https://doi.org/10.1007/698_2019_400

Hunton Andrews Kurth., 2019.rapport sur le nickel : tendances et évolution du droit de l'énergie et de l'environnement .huntonnickelreportblog.com/about

Innovation News Network.,2021. ©iStock/jonathanfilskov-photographie

JORA., 2006. Journal Officiel de la République Algérienne (JORA). N° 26,

Jorge,C.,2013.culture en interieur.mama edition,1 rue Petion 75011(France).99-203p.

Kaushal,K.,Nisha,S.,Om prokash,C.,Some,A.,2018 .hydroponics as an advanced technique for vegetable production :an overview. Soil and water conservation, 364-371, DOI : 10.5958/2455-7145.2018.00056.5

Kerambrun, P., 1983. Conséquences de la pollution thermique sur les organismes marins. Océans 9(8).

Kerckhoffs, H et Zhang,L., 2021.Application of central composite design on assessment and optimization of ammonium /nitrate and potassium for hydroponically grown radish (*Raphanussativus*). Scientiahorticultrae ,286,2-7
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110205>

Kessira, M., 2018 : Séminaire Régional sur la « Réutilisation des eaux usées épurées en irrigation, par la sensibilisation et la prise de conscience » Oran, L'eau. Université de Sfax. Tunisie.

Khiati, M., 2007: Stratégies, politiques et systèmes de connaissancesAgronomiques, Cfva de Médéa, p. 6

Kishor, R., Purchase, D., Saratale, GD., Saratale, RG., Ferreira, LFR., Bilal, M., Bharagava, RN.,2021. Ecotoxicological and health concerns of persistent coloring pollutants of textile industry wastewater and treatment approaches for environmental safety. J Environ Chem Eng 105012

Kratky, B.A.,2004 A suspended pot, non-circulating hydroponic method, Proceedings of the South Pacific Soilless Culture Conference, Acta Horticulture 648 83–89
https://www.ctahr.hawaii.edu/hawaii/downloads/A_Suspended_Pot_Non-circulating_Hydroponic_method.pdf .

- Kratky, B.A., 2009.** Three non-circulating hydroponic methods for growing lettuce, in: Proceedings of the International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics. Acta Horticulture, 843, , pp. 65–72. https://www.ctahr.hawaii.edu/hawaii/downloads/three_non-circulating_hydroponic_methods_for_growing_lettuce.pdf
- Kratky, B.A., 2005** Growing lettuce in three non-aerated, non-circulated hydroponic systems, Journal of Vegetable Crop Production 11 35–41, doi: 10.1300/J484v11n02_04F
- Ladjel, F et Bouchefer, S.A., 2012.** Exploitation d'une station d'épuration à boues activées et d'une lagune, niveau 2. Marcel Kuper, Abdelhafid Debbarh. Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée,.
- Li, Y., Fan, H., Si, Y., Geo, Y., Wu, Z., Du, C., 2023.** The phloem lectin pp2-A1 enhances aphid resistance by affecting aphid behavior and maintaining ROS homeostasis in cucumber plants. Biological macromolecules. 229, 432-442. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.12.248>
- Liang, Y-X., Du, S-J., Zhong, Y-J., Wang, Q-J., Zhu, Q., Wan, F-H., Guo, J-Y., Liu, W-X., 2023.** Molecular phylogeny and identification of agromyzid leafminers in China, with a focus on the worldwide genus *Liriomyza* (Diptera: agromyzidae). Integrative agriculture, <https://doi.org/10.1016/j.jia.2023.04.030>.
- Magwaza, S.T.; Magwaza, L.S.; Odindo, A.O.; Mditshwa, A., 2020.** Hydroponic Technology as Decentralised System for Domestic Wastewater Treatment and Vegetable Production in Urban Agriculture: A Review. Sci. Total Environ. 698, 134154
- Majid, M., Junaid, N.K., Qazi, M.A.S., Khalid, Z.M., Baseerat, A., Saqib, P., 2020.** Evaluation of hydroponic systems for the cultivation of Lettuce (*Lactuca sativa* L., var. Longifolia) and comparison with protected soil-based cultivation. Agricultural Water Management, 245, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106572>.
- Marschner, H., 1995.** Mineral Nutrition of Higher Plants, Academic Press, ISBN 0-12-473542-8, New York, U. S. A.
- Mebarki, A., 2008:** Le défi de l'eau en Algérie : ressources, aménagements et gestion durable (31ème Congrès International de Géographie UGI, Tunis, Tunisie, 1
- Mehatri, M., 2012.** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de Tizi-Ouzou.
- Morard, P et Silvester, J., 1996.** Plant Injury Due to Oxygen Deficiency in the Root Environment of Soilless Culture: A Review. *Plant and Soil*, Vol. 184, No. 2, pp. 243-254, ISBN 0032-079X

- Paulus,D.,Douradoneto,D.,Frizzone ,J.A .,Soares,T.M.,Producao,E.,2010.**Indicadores fisiologicos de alfacesobhydroponiacomagualina.Horticultura Brasileira,V.28, P.29-35,<https://doi.org/10.1590/S0102-05362010000100006>.
- Pons,M.,Belhani,M.,Bourgeois,J., Dupputt,E.,2008.**Analyse du cycle de vie-Epuration des eaux usées urbaines.Rabat, Maroc. IAV Hassan II, 11 p.
- Pratap,B., Kumar,S., Purchase,D., Bharagava,R.N., Dutta,V.,2021.** Practice of wastewater irrigation and its impacts on human health and environment: a state of the art International Journal of Environmental Science and Technology <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03682-8>
- Raissi,O.,2014.** Protection de la ressource en eau en Algérie ; Office national de l'assainissement.
- Raviv ,M.,Heinrich,L.J.,2008.**Soilles culture :thoery and pratics ,illustrated,Elsevier science,2008,.ISBN :0444529756,9780444529756,lungh,587p.
- Rehman, Z etKethar, J., 2022.**The Effect on the Growth of Lettuce Plants Using Various Recyclable Non-Soil Substrates. Journal of Student Research, 11(2). <https://doi.org/10.47611/jsrhs.v11i2.2604>
- Rezapour, S., Kouhinezhad, P., Samadi, A., 2017.**The potential ecological risk of soil trace metals following over five decades of agronomical practices in a semi-arid environment. Chem. Ecol. 68–78.
- Roberto,S.V.G., Adrian,L. G.G., Elsa,V.Z., Jose,D.O.B.S.,and Julio,C. S.S.,2022.** A Review on Hydroponics and the Technologies Associated for Medium- and Small-Scale Operations. Agriculture, 12, 646. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050646>.
- Rouphael, Y., Ccolla, G., 2005.** Growth ,yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squashi as affected by irrigation systems and growing seansons.Scihortic.105,177-195.
- Ryyppo, A., Iivonen, S., Rikala, R., Sutinen, M.L et Vapaavuori, E.,1998.**Responses of Scots Pine Seedlings to Low Root Zone Temperature in Spring. PhysiologiaPlantarum, 102, 503-512. <http://dx.doi.org/10.1034/j.1399-3054.1998.1020404.x>.
- Sakamoto, K.,Kogi,M .,Yanagizawa,T.2014.**effects of salinity and nutrients in seawater on hydroponic culture of red leaf lettuce.Contrôle environnemental en biologie, 2014, 52, 3, 189-195,doi :10.25.25/ecb.52.189.
- Sakamoto, M., Komatsu, Y.,Suzuki, T.,2021.** Nutrient Deficiency Affects the Growth and Nitrate Concentration of Hydroponic Radish. Horticulturae, 7, 525. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7120525>

Samaakoon, UC., Weerasinghe, PA., Weerakkody, AP.,2006. Effect of Electrical Conductivity [EC] of the Nutrient Solution on Nutrient Uptake, Growth and Yield of Leaf Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Stationary Culture. *Tropical Agricultural Research* 18(1): 13-21p

Société Française Radioprotection., 2015. Evolution en matière de suivi de rejet et de surveillance de la radioactivité de l'environnement.

Sapkota, S., Sapkota, S., Liu, Z.,2019. Effets de la composition en éléments nutritifs et du cultivar de laitue sur la production végétale en culture hydroponique. *Horticulturae* 5, 72.

Saroushi, R.,Cresswell,G.,1994.effects of hydroponic solution composition, electrecal conductivity and plant spacing on yield and quality of strawberries aust.*J.Exp.Agric.*34,529-535.

Shim ,CK., Kim, MJ., Kim ,YK., Jee, HJ.,2014. Evaluation of lettuce germplasm resistance to gray mold disease for organic cultivations. *Plant Pathol J*;30:90–5. <https://doi.org/10.5423/PPJ.NT.07.2013.0064>. [6]

Société des Eaux et de l'Assainissement ., 2022. <https://www.aps.dz/economie/142929-ressources-en-eau-60-ans-de-realizations-pour-assurer-la-securite-hydrique>

Thebo, AL., Drechsel, P., Lambin, E.F., Nelson, KL .,2017. A global, spatially-explicit assessment of irrigated croplands influenced by urban wastewater flows. *Environ Res Lett* 12:074008

Tishimogo,M.H.,2001.Epuration des eaux uses de l'E.N.S.H par lagunage naturel.Mem.ing.Genie rurale.Blida.132p.

Wortman, S.E.,2015 :crop physiological response to nutrient solution electrecal conductivity and PH in an ebb-and flow hydroponic system.*Sci.hortic* .194,34-42.doi :10.1016/j.scienta..07.045

Yang,R.,Wu,Z.,Fang,W., Zhang,H.,Wang,H.,F.,L., Majeed,Y., Li,R., Cui,Y., 2021. Detection of abnormal hydroponic lettuce leaves based on image processing and machine learning, *Information Processing in Agriculture* doi: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.11.001>

Yves., 2008. In : OUARETW., 2013. Etude de substrat pour la production de la tomate en hors sol. Thèse Ing. Nat.Agro.,El Harache.135p.

Zaman, M., Shahid, S.A., Heng, L., 2018. Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, ISBN 978-3-319-96189-7.

Zhang, Y., Shen, Y., 2019. Wastewater irrigation: past, present, and future. Wiley Interdiscip Rev Water 6:1234

Sites web :

Site internet 1 : www.futura-sciences.com ; 24/04/2023 à 00 :02

Anonyme 1: Kenchit, Z. Nekiche, F. Valorisation des eaux usées épurées en agriculture : impact sur le sol et la plante. Sc de sol. Tizi- Ouzou : université Mouloud Mammeri de Tizi –Ouzou , 2020, 59p

Anonyme 2 : LARAB, S. la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture A partir des stations d'épuration l'Ain Bouchkir de la wilaya de Tiaret. Hydraulique. Biskra : université Mohamed Khider de Biskra, 2019, 65P.

Annexes :

Annexe I :

Réactifs utilisés et appareillages utilisés lors des mesures effectuées sur les eaux :

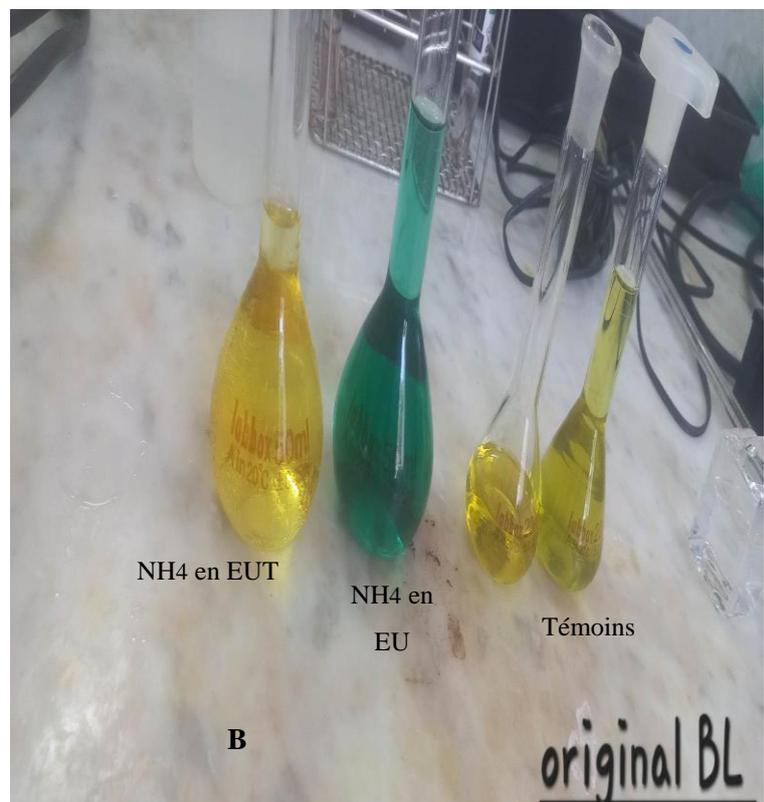
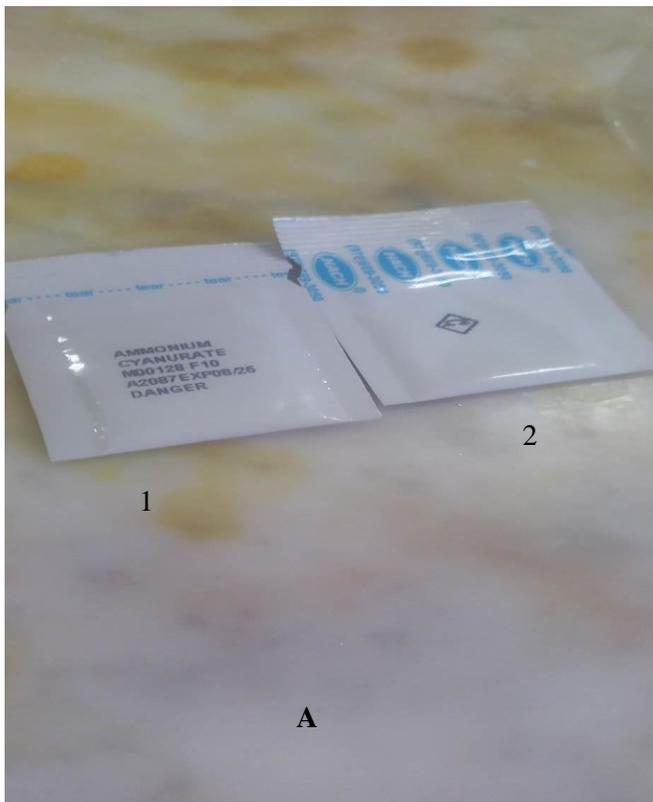


Figure 25:A : (1) réactif de l'ammonium, (2) salicylate et cyanurate

B : résultats d'analyses colorimétriques de NH₄

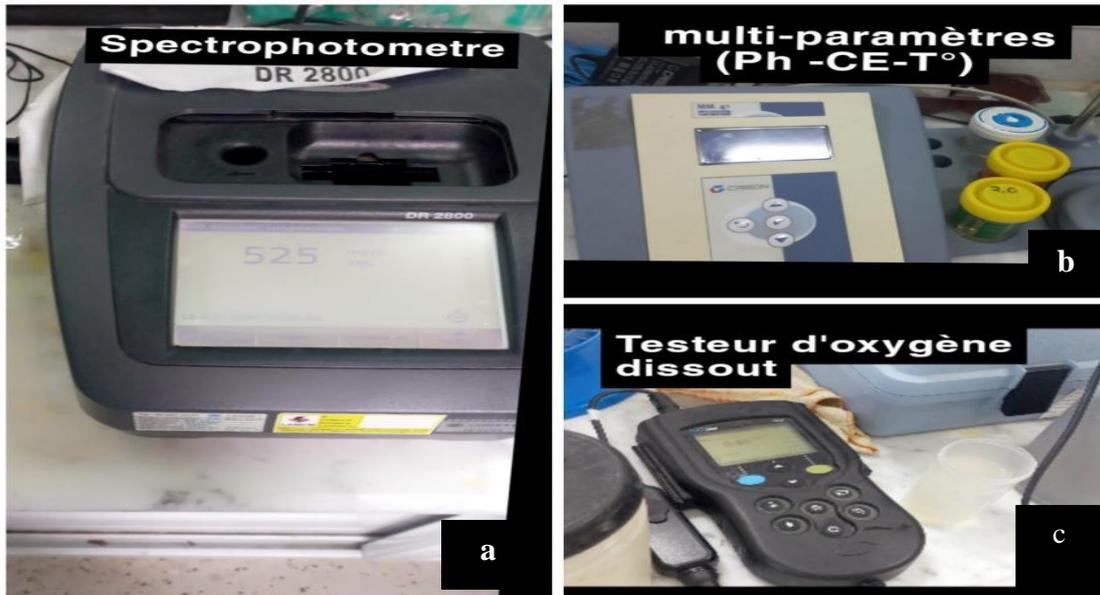


Figure 26:Appareillage utilisé au laboratoire

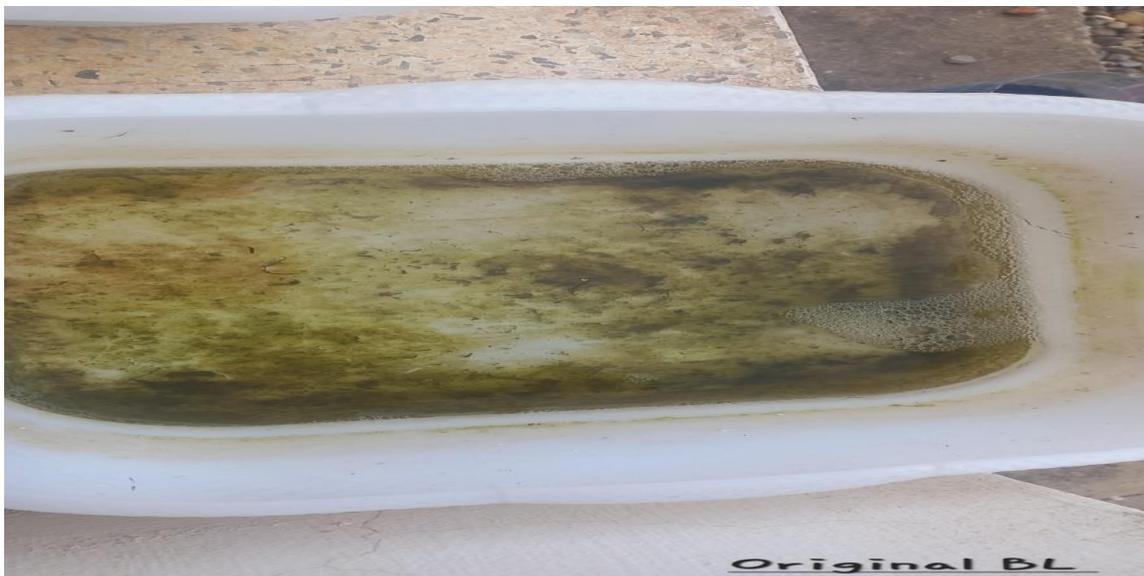


Figure 27:Nématodes et algues vertes de bassin hydroponique avec l'EUT

Résumé

Dans le but de déterminer la possibilité de réutiliser les EUT de la STEP de Sidi Ali Lebher dans l'agriculture. Une expérience au sien de la station vise à étudier l'effet de cette ressources non conventionnel sur le développement de culture de « *Lactuca Sativa* » et « *Raphanus Sativus* » sous des conditions naturels (sans serre), dans deux systèmes de cultures : en sol et en hors sol. Dans ce contexte, une expérience est menée a cultiver en système Kratky en ciel ouvert, six échantillons cultivés et irriguées avec des EUT pour chaque systèmes été suivis et comparer en six échantillon témoins avec EP pour chaque types techniques, puis en a cibler l'effet de méthode sur la croissance de la plante. Les résultats obtenus montrent que les plantes en sol irriguée avec l'EP avait un meilleur développement par rapport aux EUT et en hydroponie .Le type d'eau et le système de culture a un effet sur le milieu et la croissance de la plante.

Mots clés : Eau usée traitée, hydroponie, solution nutritive, développement, épuration, réutilisation, agriculture, station d'épuration, laitue.

Summary

In order to determine the possibility of reusing the TWW of the STEP of Sidi Ali Lebher in agriculture. An experiment at the station aims to study the effect of this unconventional resource on the development of "*Lactuca Sativa*" and "*RaphanusSativus*" crops under natural conditions (without greenhouse), in two cropping systems: in soil and above ground. In this context, an experiment is carried out to cultivate in a Kratky system in the open sky, six samples of TWW for each system were followed and compared in six control samples with EP for each technical type, then to target the effect of the method on plant growth. The results obtained show that plants in soil irrigated with EP had a better development compared to TWW and in hydroponics. The type of water and the culture system has an effect on the environment and the growth of the plant.

Keywords: Treated wastewater, hydroponics, nutrient solution, development, purification, reuse, agriculture, wastewater treatment plant, lettuce.

