

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : Protection de la ressource Sol Eaux Environnement

Présenté par : Melle KERBOUB Marwa

Thème

**Conséquences de l'utilisation des eaux usées traitées sur
les paramètres physico-chimiques du sol**

Soutenu publiquement

Le : Novembre 2020

Devant le Jury :

M.	IDDER	Med Taher	Pr.	Présidente	UKM Ouargla
M.	DADA MOUSSA	Med Lakhdar	M.C.A.	Examineur	UKM Ouargla
M.	SAGGAI	Med Mounir	M.C.B.	Encadreur	UKM Ouargla
M.	IDDER	Med Abdelhak	M.A. A	CO-Encadreur	UKM Ouargla

Année Universitaire :2019 / 2020



Dédicace

I gift this work
to my dear parents
who supported me
and gave me the inspiration, the power and the trust
to keep going in my way and to not give up
to my aunts Saida and Djamila who believed in me
to my dear brothers and my sisters
to my Nana
to my new niece Nada
to my Amina and Nada
to all my friends and homies who live in my heart
forever
All the love for them

Remerciements

Ce travail a censé se fait au l'exploitation de la STEP de Touggourt (Tbesbest), et au
Laboratoire pédologique du Département
Des Sciences de la Nature et de la Vie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
de l'Université Kasdi Merbah-Ouargla

Ma gratitude s'adresse à Mr. SAGGAÏ. M^{ed} M. pour son encadrement, son
orientation, pour me permettre de mener à bien ce travail.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à

Mr IDDER M^{ed} T. Professeur à l'Université Kasdi Merbah-Ouargla
qui a accepté de présider le jury de soutenance, pour tout ce qu'il a pu m'apprendre ; qu'il
trouve ici l'expression de ma profonde et sincère reconnaissance.

Mr IDDER A. pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de juger ce travail,
pour son aide et ses précieux conseils ; qu'il trouve ici ma plus profonde gratitude.

Mr le Professeur DADA MOUSSA Med L pour avoir accepté d'examiner et de
juger ce travail, pour tout ce qu'il a pu m'apprendre,
qu'il trouve ici l'expression de ma grande reconnaissance.

Grand remerciement à tous mes enseignants de l'université Kasdi Merbah - Ouargla

Je tiens aussi à remercier : Le directeur de la station d'épuration de Touggourt pour
m'avoir accordée l'accès à la station d'épuration, ainsi que toute l'équipe de la station.

Enfin, je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans l'élaboration
de ce travail.

Liste des figures

Figure 1: Nature de la pollution des eaux.....	6
Figure 1: Etapes d'une filière de traitement des eaux	9
Figure 3 : Volumes d'eaux usées Générées, Épurées et Réutilisées dans cinq pays méditerranéens	22
Figure 4 : Schéma d'un profil de sol	29
Figure 5 : Triangle des textures du sol	31
Figure 6 : Localisation des sites d'étude et des parcelles témoins correspondantes	40
Figure 7: Système d'irrigation installé au niveau de la parcelle Galia (OTD)	41
Figure 8: Classification des EUT de la station d'épuration de Sfax-Sud selon le diagramme de Riverside.....	43

Liste des tableaux

Tableau 1 : Normes de rejets internationales.	17
Tableau 2 : Les valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur.	18
Tableau 3 : Les paramètres utilisés pour l'évaluation des eaux usées traitée en agriculture.....	24
Tableau 4 : Echelle granulométrique de la texture du sol	30
Tableau 5 : Echelles d'interprétation de la Matière organiques	32
Tableau 6: Echelle d'interprétation des résultats du pH de l'extrait 1/5 aqueux.....	33
Tableau 7 : Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5	33
Tableau 8: Sodium adsorption Ratio et degré d'alcalinisation des sols	36
Tableau 9 : Echelle d'interprétation de Calcaire Total	37
Tableau 10: Différents types de cultures	41
Tableau 11: Qualité des eaux usées traitées de la station d'épuration de Sfax Sud (période 1984-2009)..	42
Tableau 12: Effets de l'irrigation par les EUT sur le pH, la CEe, l'ESP et les teneurs en NH_4^+ et en NO_3^- dans calcisol et du fluvisol(t-test est significatif pour $p < 1\%$)	45
Tableau 13: Matrice de corrélation linéaire entre les éléments solubles, la conductivité électrique (CE) et la profondeur dans le calcisol (les corrélations significatives au seuil de 5% sont marquées en gras)	47
Tableau 14: Matrice de corrélation linéaire entre les éléments solubles, la CE et la profondeur dans le fluvisol (les corrélations significatives au seuil de 5% sont marquées en gras).....	48

Table de matière

Remerciements	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux	
Table de matière.....	
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralité sur les eaux usées	
1. Introduction :	4
2. Généralités sur la pollution de l'eau:	4
2.1 Les eaux usées :	5
2.2 Origines des eaux usées :	5
2.2.1 Les eaux usées domestiques :	5
2.2.2 Les eaux usées industrielles :	5
2.2.3 Les eaux usées agricoles :	6
2.2.4 Les eaux pluviales :	6
3. L'assainissement, de l'Antiquité à nos jours :	6
4. L'épuration des eaux usées en Algérie :	7
5. La nécessité de l'épuration :	7
6. L'épuration des eaux usées :	7
6.1 Les prétraitements :	10
6.1.1 Le dégrillage :	10
6.1.2 Le dessablage :	10
6.1.3 Le dégraissage déshuilage :	11
6.2 Les traitements primaires :	11
6.2.1 Traitement secondaire :	11
7. Les différences types de traitement des eaux usées :	12
8. L'impact de la réutilisation des eaux épurées sur l'environnement:	14
9. Les principales voies de réutilisation des eaux usées traitées :	14
9.1 La réutilisation industrielle :	15
9.2 La réutilisation en zone urbaine :	15
9.3 La recharge de la nappe :	15
10. La réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles:	16
11. Potentiel actuel :	16
12. Normes internationales :	16
13. Normes Algériennes :	17
14. Cadre réglementaire en Algérie:	18
15. Conclusion :	19

Chapitre II: Qualité des eaux d'irrigation

1. Introduction :	21
2. Avantage des réutilisations des eaux usées épurées:	21
3. Les exemples de REUE agricole dans le monde	22
4. Réutilisation des eaux usées épurées en Algérie	23
5. Avis des consommateurs :	23
6. Critères de qualité des eaux usées traitées l'irrigation	24
7. Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées	25
7.1 Risques environnementaux	25
7.2 Risque chimique	25
7.3 Risques sanitaires	26
8. Conclusion	26

Chapitre III: Les paramètres physico- chimiques du sol.

1. Introduction	28
2. Définition d'un sol	28
3. Principaux composants du sol	28
3.1. Végétation :	29
3.2. L'humus :	29
3.3. La couche arable	29
3.4. Le sous-sol	29
3.5. La roche mère	29
4 Caractéristiques du sol	30
4.1 Granulométrie	30
4.2. Matière organique (Carbone organique)	32
4.3. Paramètres physico-chimiques :	32
4.4. La salinisation du sol :	34
4.5. Les causes de la salinisation :	34
4.6. Signes de la salinisation	34
4.7. Lixiviation des sels	35
4.8. Remonté capillaire	35
4.9. Impact de la salinisation sur les sols	35
4.10. Alcalinité	35
4.11. Sodisation	36
5. Conclusion	37

Chapitre IV: Matériel et méthodes

1. Introduction	39
2. Le protocole expérimental	39
2.1. Description du site d'étude	39
2.2. Mode d'irrigation et systèmes decultures	40
2.3. Qualité des eaux usées traitées	41

2.4 Classification chimique des EUT	43
---	----

Chapitre V: Résultats et discussion

1. Caractérisation physicochimique des sols	45
2. Effet de la salinité sur la fertilité du sol.....	49
3. Impact à long terme de l'irrigation par les EUT	49
4. Conclusion.....	50
Conclusion générale	52
Références bibliographiques	55

Introduction

Introduction générale

Le volume d'eau utilisée dans le monde a progressé plus de deux fois plus que le taux de croissance de la population, et un nombre grandissant de régions atteint la limite au-delà de laquelle il n'est plus possible de fournir des services fiables d'approvisionnement en eau (pour différents usages) (FAO,2007).

Le développement économique de nombreux pays conduit à une augmentation croissante de la demande en eau de la part des populations et des secteurs industriels, agricole et touristique. Ce manque d'eau est souvent pallié par des techniques alternatives plus ou moins onéreuses telles que le dessalement de l'eau de mer (largement utilisé au Moyen-Orient). Néanmoins la ressource en eau salée et le prix de cette technique ne sont pas accessibles à tous les pays ou régions touchés par un manque de ressources. D'où l'émergence de nouveaux moyens alternatifs, comme la Réutilisation de Eaux Usées Epurées ou plus communément appelée REUR (Mozas et *al.*2013).

Afin de préserver la qualité des masses d'eau et pour diminuer les prélèvements dans le milieu naturel, il convient de chercher des approvisionnements alternatifs. La réutilisation des eaux usées épurées semble être une bonne alternative, notamment en irrigation (Mouhanni et *al.*, 2012).

En Algérie, les ouvrages de traitement et d'épuration de l'eau comprenant essentiellement des stations d'épuration et des lagunes sont exclusivement destinés au rejet dans le milieu sans objectif de réutilisation. Cette situation a longtemps été admise d'une part, par les gestionnaires de l'eau en raison du surcout provenant de la nécessité de traitement tertiaire de désinfection, du transport de l'eau vers l'utilisateur, du stockage de régulation, et d'autre part, par la population en raison de l'idée que l'eau usée épurée peut être dangereuse pour la santé. Le contexte climatique augmentant la tension sur la ressource en eau, l'urbanisation croissante et l'agriculture irriguée en plein essor ont conduit à la mise en œuvre des programmes de réalisation d'ouvrages destinés à la réutilisation des eaux usées épurées (MRE, 2012).

Les eaux usées épurées sont valorisées en agriculture grâce à leur composition riche en matières organique et minérale. En effet, l'irrigation par ces eaux permet de limiter l'utilisation d'engrais et peut être utilisée pour tout type de cultures (maraîchages, forêts, golfs...) car le traitement est adapté à l'usage (Benoit et *al.*, 2011). Ils constituent une importante source de nutriments pour de nombreux agriculteurs sous les climats arides et

semi-arides. C'est parfois la seule source d'eau disponible pour l'agriculture. Lorsqu'elle est bien gérée, l'utilisation d'eaux usées peut contribuer au recyclage des nutriments et de l'eau et ainsi à réduire le coût de l'amendement des terres ou simplement à le rendre accessible aux agriculteurs (OMS, 2012). Cependant, en raison de l'origine et la composition des eaux usées épurées, leur utilisation en irrigation à long terme peut influencer certains paramètres du sol. Une diminution du pH des sols irrigués par les eaux usées épurées (Omron et al. 2012).

Pour une meilleure utilisation des eaux usées traitées, une des mesures prises consiste à assurer un suivi périodique et régulier de l'utilisation de ces eaux. Un tel suivi est sanctionné par une évaluation de leur impact sur le sol et une recherche des solutions idoines pour résoudre les éventuels problèmes qui peuvent se poser (Benoit et al. 2011).

L'étude que nous présentons est une contribution à l'évaluation de l'impact de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les propriétés physico-chimiques d'un sol. Le travail tracé au début, consisté à effectuer une étude expérimentale, cependant et vue la conjoncture suite à l'épidémie (Covid19) nous n'avons pas pu réaliser la partie analyse. De ce fait nous sommes limités à un travail bibliographique fondé sur une étude réalisée dans la région de Sfax (Tunisie).

Dans cette optique notre travail est structuré en cinq chapitres qui sont les suivants :

- ✓ Le premier chapitre est un cadre général qui traite des généralités sur les eaux usées et les étapes du procédé d'épuration des eaux usées.
- ✓ Le deuxième chapitre présente la qualité des eaux d'irrigation.
- ✓ Le troisième chapitre c'est les paramètres physico-chimiques du sol.
- ✓ Le quatrième chapitre présente le matériel et la méthode.
- ✓ Le cinquième chapitre c'est le résultat et la conclusion

Chapitre 1. Généralité sur les eaux usées

1. Introduction :

Dans la nature, l'eau est un milieu vivant qui renferme bien d'autres éléments que les deux molécules d'hydrogène pour une molécule d'oxygène. L'eau se charge des éléments présents dans les milieux qu'elle traverse : sels minéraux pris au contact des roches, matières organiques, micro-organismes de l'écosystème. Mais l'eau peut subir une modification directe ou indirecte de ses caractéristiques, c'est la pollution de l'eau.

La protection de la qualité des eaux est maîtrisée par peu de pays dans le monde. Beaucoup d'entre eux n'ont pas de normes leur permettant de contenir la pollution dans des limites raisonnables, tandis que d'autres n'ont pas les moyens d'exiger l'application des normes de qualité de l'eau. (Tbessi et Bahloul .2014).

De plus en plus, les organismes internationaux de développement insistent auprès des pays en développement pour qu'ils veillent mieux à protéger et à améliorer la qualité de l'eau.

Le monde développé doit pour sa part augmenter son budget et multiplier ses interventions pour nettoyer les voies d'eau dégradées, sans quoi le développement économique cessera de progresser et la qualité de la vie s'en ressentira (Tbessi et Bahloul.2014).

2.Généralités sur la pollution de l'eau :

La pollution comme étant toute modification défavorable des propriétés physiques, chimiques ou biologiques, ou tout rejet de substances liquides, gazeuses ou solides dans l'eau de façon à créer une nuisance ou à rendre cette eau dangereuse d'utilisée.

La pollution de l'eau est due essentiellement aux activités humaines ainsi qu'aux phénomènes naturels. Elle a des effets multiples qui touchent aussi bien la santé publique que les organismes aquatiques, ainsi que la flore et la faune terrestre.

L'ensemble des éléments perturbateurs parviennent au milieu naturel de deux façons différentes : par rejets bien localisés (villes et industries) à l'extrémité d'un réseau d'égout ou par des rejets diffus (lessivage des sols agricoles, des aires d'infiltration dans les élevages, décharges, ...). L'introduction dans le sous-sol provoque une pollution des eaux souterraines qui est caractérisée par une propagation lente et durable (une nappe est contaminée pour plusieurs dizaines d'années) et une grande difficulté de résorption ou de traitement (Chaouki, 2017).

2.1 Les eaux usées :

Les eaux usées sont toutes les eaux qui parviennent dans les canalisations des eaux usées dont les propriétés naturelles sont transformées par les utilisations domestiques, les entreprises industrielles, agricoles et autres. On englobe aussi, les eaux de pluie qui s'écoulent dans ces canalisations (Bliefert et Perraud, 2001).

Selon Rejsek (2002), les eaux résiduaires urbaines (ERU), ou eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine. Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels. (Grosclaude.1999). Donc sous la terminologie d'eau résiduaire, on groupe des eaux d'origines très diverses qui ont perdu leurs puretés ; c'est-à-dire leurs propriétés naturelles par l'effet des polluants après avoir été utilisées dans des activités humaines (domestiques, industrielles ou agricoles).

2.2 Origines des eaux usées :

Suivant l'origine des substances polluantes on distingue quatre catégories d'eaux usées :

2.2.1 Les eaux usées domestiques :

Les eaux usées domestiques sont constituées par les eaux ménagères et les eaux vannes. Les eaux vannes représentent environ le tiers des eaux usées domestiques. Issues des toilettes, elles sont constituées par les matières fécales et les urines et contiennent notamment des matières minérales, de la cellulose, des glucides...etc. Elles sont riches en germes microbiens.

Les eaux ménagères quant à elles, regroupent l'ensemble des autres rejets : eaux de cuisine, de bain, eaux de lessive. Elles contiennent des matières en suspension, des matières dissoutes organiques ou minérales, des graisses et des savons et divers détergents. Les eaux usées domestiques gardent une composition relativement stable et prévisible, il n'en est pas de même pour les eaux usées industrielles (Radoux,1995).

2.2.2 Les eaux usées industrielles :

Les caractéristiques des eaux usées industrielles varient en fonction de l'industrie qui les produits. Elles peuvent contenir du phosphate et des métaux lourds. De manière générale, les industriels possèdent leur propre système de traitement des eaux usées. Ce qui est plus rare pour les eaux artisanales (Metahri. 2008).

2.2.3 Les eaux usées agricoles :

Elles renferment d'une part les effluents zootechniques (purin, lisier) et d'autre part, les eaux de ruissellement qui peuvent véhiculer des résidus de pesticides et de fertilisants (Radoux.1995).

2.2.4 Les eaux pluviales :

Les eaux pluviales et de ruissellement sont pris en compte dans le cas où le système de collecte des eaux usées est unitaire, ceci lors du traitement en station d'épuration. Les eaux de pluie sont susceptibles d'entraîner les polluants atmosphériques et de contaminer par infiltration et ruissellement les eaux superficielles et souterraines. Les principaux polluants en cause sont le SO₂, l'azote et ses dérivés et les poussières (Radoux, 1995).

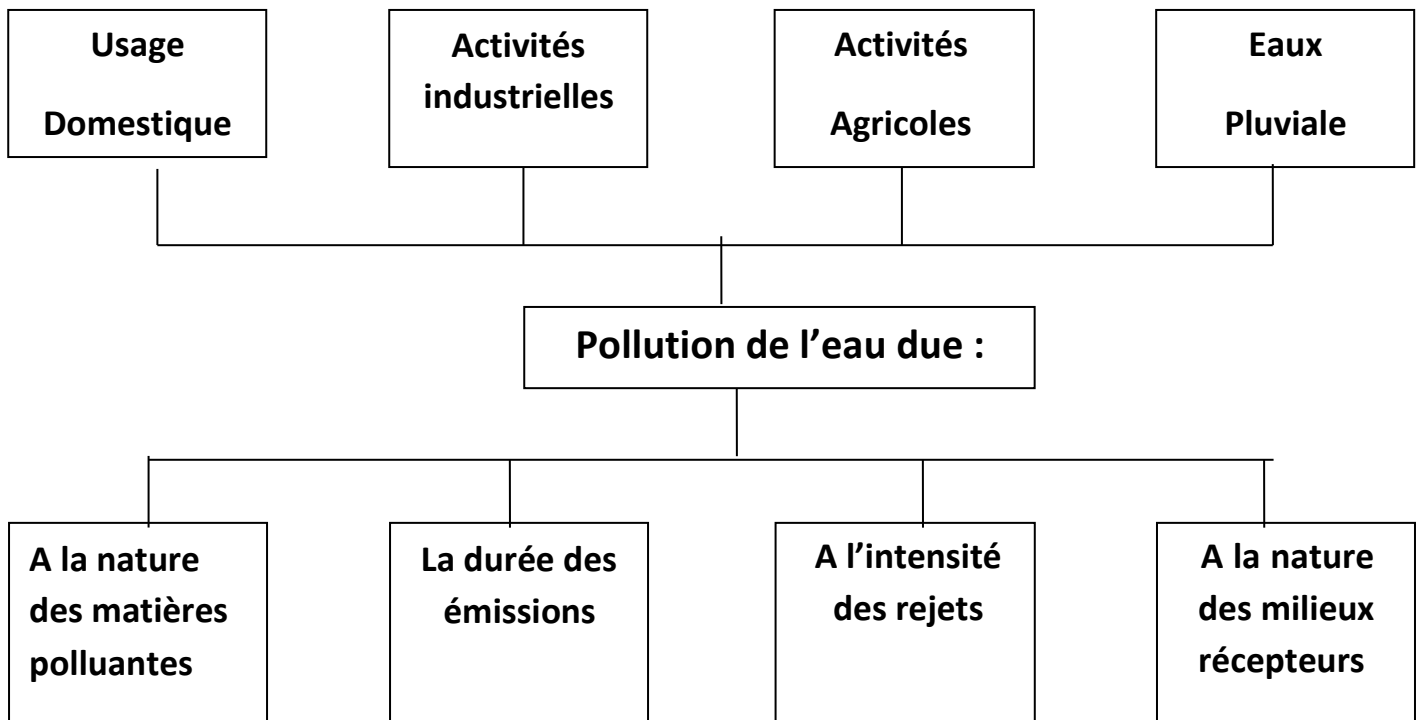


Figure 1: Nature de la pollution des eaux (Direction de l'environnement, 1990)

3. L'assainissement, de l'Antiquité à nos jours :

De nos jours l'assainissement des eaux usées domestiques et industrielles est perçu comme une évidence, aussi bien pour la protection de notre santé que pour la préservation de l'eau en tant qu'écosystème. La collecte et le traitement des eaux usées ont suivi, à la fois, le mode de vie des sociétés au fil de l'Histoire, mais également les découvertes scientifiques. D'un point de vue historique la croissance démographique et le développement des villes ont imposé la nécessité de fournir aux citoyens une eau saine de « bonne qualité ». La protection de la santé

publique a fait l'objet de nombreux efforts, avec notamment la dépollution des eaux usées, depuis plusieurs générations. Scientifiquement, la prise de conscience des problèmes de santé publique et la compréhension des causes d'épidémies, telles que le choléra, la peste et le typhus, ont entraîné la construction d'infrastructures et le développement de procédés, de plus en plus sophistiqués, permettant de mettre un terme à ces problèmes (Le Hyaric, 2009).

4. L'épuration des eaux usées en Algérie :

En Algérie, peu d'importance est accordée à la couverture des services d'assainissement, comparée à la couverture des services d'approvisionnement en eau et encore moins d'importance est accordée à l'épuration, pour un taux de couverture du réseau d'assainissement de l'ordre de 85 %, seules 20 % des eaux usées collectées en Algérie sont traitées. Le volume annuel des eaux usées est estimé à 600 millions de m³, dont quelques 550 millions de m³ correspondent aux agglomérations de taille supérieure à 50 000 habitants (Hartani, 2004).

Au cours de ces dernières années, le Ministère des Ressources en Eau (MRE) à entrepris la mise en œuvre d'un important programme d'investissement concernant la réalisation de 84 stations d'épuration (STEP) et la réhabilitation de 15 autres, dont deux en exploitation. Ceci a porté le nombre actuel des STEP existantes et en exploitation de 46 à 138 avant la fin 2008. À noter aussi que 56 STEP sont actuellement en cours d'étude ou en étude de réhabilitation, et dont le lancement des travaux a été prévu pour le moyen terme (2007-2010), ce qui a permis d'atteindre un parc de 194 STEP à l'horizon 2010.

5. La nécessité de l'épuration :

Les caractéristiques d'une station d'épuration et le degré de traitement doivent être tels que l'effluent n'altère pas l'état du milieu récepteur dans une mesure incompatible avec les exigences de l'hygiène et de la salubrité publique et, d'une façon générale, avec les exigences des diverses utilisations ou activités (alimentation en eau des hommes et des animaux, utilisation agricole ou industrielles, production piscicole ou production de coquillages, navigation, baignades et autres activités sportives) (Djeddi.2007).

6. L'épuration des eaux usées :

Avant d'entamer l'étude générale du traitement des eaux usées, nous tenterons d'éclaircir quelques points sur la terminologie liée à ce domaine.

En effet, en général, le traitement des eaux usées a pour fonction de les transformer en eau

potable. Alors que l'assainissement des eaux usées a pour objectif de collecter puis d'épurer les eaux polluées avant leur rejet. Toutefois, le terme « traitement » est généralement employé pour désigner l'opération d'assainissement (Hadj-Sadok, Z.M, 1999). Ainsi, bien que le terme « traitement » sera largement utilisé dans ce manuscrit, il concernera seulement la seconde définition.

Par ailleurs, épurer signifie « rendre pur » tandis que la définition de purifier est « débarrasser des impuretés ». Quand on parle d'épuration des eaux résiduaires, il n'est pourtant pas question de les rendre pures, mais plutôt d'en retirer le plus de déchets possibles avant de les évacuer (Hadj-Sadok, Z.M, 1999).

Une station d'épuration comporte généralement une phase de prétraitement, pendant laquelle les éléments les plus grossiers sont éliminés par dégrillage (pour les solides de grandes tailles), puis par flottaison/décantation (pour les sables et les graisses). Vient ensuite un traitement dit primaire, une décantation plus longue, pour éliminer une partie des MES. Des traitements physico-chimiques et/ou biologiques sont ensuite appliqués afin d'éliminer la matière organique. Ils sont généralement suivis d'une phase de clarification qui est encore une décantation. Enfin, un traitement des nitrates et des phosphates est exigé en fonction de la sensibilité du milieu récepteur. Il existe également des traitements dits extensifs, comme le lagunage, qui combinent des traitements biologiques, physiques et naturels (Metahri,2012).

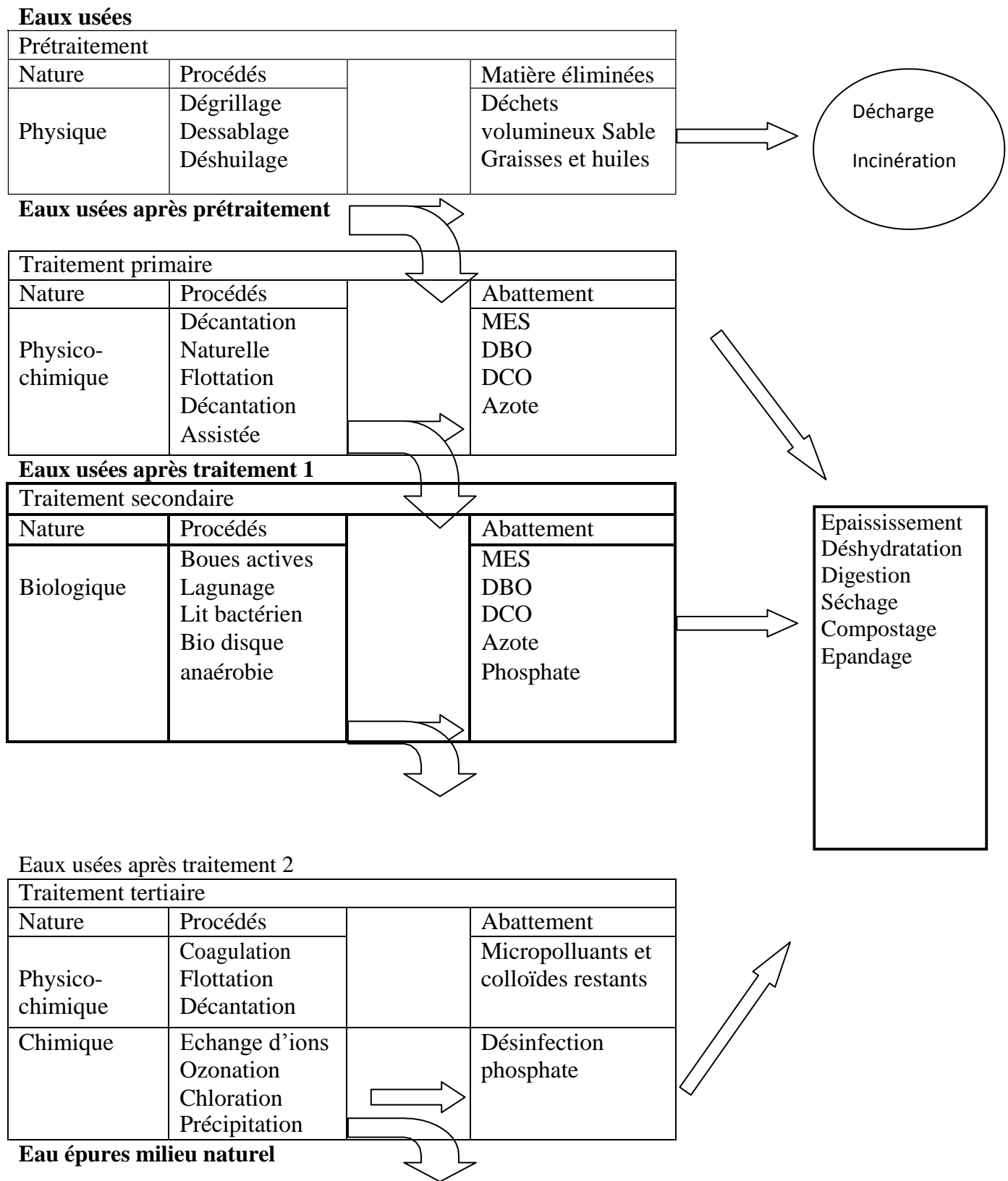


Figure 2: Etapes d'une filière de traitement des eaux (Hadj Sadok, 1999)

6.1 Les prétraitements :

Les eaux brutes doivent généralement subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérations, uniquement physiques ou mécaniques. Il est destiné à extraire de l'eau brute, la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constitueront une gêne pour les traitements ultérieurs. Selon la nature des eaux à traiter et la conception des installations, le prétraitement peut comprendre les opérations : (le dégrillage), principalement pour les déchets volumineux, (le dessablage) pour les sables et graviers et (le dégraissage-déshuilage ou d'écumage-flottation) pour les huiles et les graisses (Metahri, 2012).

6.1.1 Le dégrillage :

Au cours du dégrillage, les eaux usées passent au travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les matières les plus volumineuses et flottantes charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants ou en compliquer leur exécution. Le dégrillage permet aussi de protéger la station contre l'arrivée intempestive des gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation. Les éléments retenus sont, ensuite, éliminés avec les ordures ménagères (Metahri,2012).

6.1.2 Le dessablage :

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, ainsi pour protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et à éviter de surcharger les stades de traitements ultérieurs en particulier les réacteurs biologiques.

L'écoulement de l'eau, à une vitesse réduite, dans un bassin appelé "dessableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés, par aspiration, sont ensuite essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés selon la qualité du lavage. Cette opération concerne les particules minérales de granulométrie supérieure à 100µm (Metahri, 2012).

6.1.3 Le dégraissage déshuilage :

Les graisses et les huiles étant des produits de densité légèrement inférieure à l'eau issues non seulement des habitations, mais aussi des restaurants, des garages, des chaussées, des usines, des abattoirs, ... etc.

Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide, alors que le dégraissage est une opération de séparation solide-liquide (à la condition que la température de l'eau soit suffisamment basse, pour permettre le figeage des graisses). Ces deux procédés visent à éliminer la présence des corps gras dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité du traitement biologique qui intervient en suite (Metahri, 2012).

6.2 Les traitements primaires :

Il s'agit d'une décantation simple ou renforcée par des additifs chimiques (El Fels, 2014).

6.2.1 Traitement secondaire :

Physico-chimique :

1. l'étage d'aération : Les eaux usées sont dégradées par des micro-organismes qui consomment et assimilent les nutriments. Le principe de base est le même que celui des boues activées avec une densité de bactérie faible et l'absence de recirculation. L'oxygénation est assurée par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. La consommation électrique de chacun de ces procédés est similaire à celle d'une boue activée recirculée. L'aération mécanique favorise le développement des bactéries au détriment de la population algale. Pour limiter les dépôts qui peuvent perturber le traitement et pour prévenir la formation d'algues microscopique (Hammadi, 2017).

2. l'étage de décantation : Dans l'étage de décantation, les matières en suspension que sont les amas de micro-organismes et de particules piégées, décantent pour former les boues. Ces boues sont pompées régulièrement ou enlevées du bassin lorsqu'elles constituent un volume trop important. Cet étage de décantation est constitué d'une simple lagune de décantation, voire, ce qui est préférable, de deux bassins qu'il est possible de passer séparément pour procéder à leur curage. En lagunage aéré, la population bactérienne sans recirculation conduit à une densité de bactéries faible et à un temps de traitement important pour obtenir le niveau de qualité requis ; à une floculation peu importante des bactéries, ce qui contraint à la mise en place d'une lagune de décantation largement dimensionnée (Perera P et Baudot B.1991).

3. L'étage de finition : les lagunes dépourvues de systèmes de brassage, permettant la séparation physique des boues et de l'eau traitée (Hammadi B,2017).

6.3 Traitement tertiaire : Ces traitements sont à la fois physico-chimiques et biologiques. On les réalise après les traitements primaires et secondaires afin d'éliminer des éléments nutritifs résiduels, des polluants organiques résistants, des métaux, des pigments. Par exemple, on peut utiliser des traitements biologiques avancés pour éliminer le phosphore par le Déplacement Nutritif Biologique (DNF). On fait passer l'eau par différents réservoirs avec des bactéries et dans des conditions environnementales différentes (différence de concentration en dioxygène par exemple). On récupère ensuite les boues lors d'un nouveau passage dans un clarificateur (Kalloum. 2013).

7. Les différences types de traitement des eaux usées :

➤ Boues active:

Le procédé à boues activées a été découvert en 1914 à Manchester et repose sur la constatation suivante : Une eau d'égout aérée permet le développement rapide d'une flore bactérienne capable de dégrader des matières organiques polluantes. Dans les conditions idéales d'aération, les micro-organismes d'une eau usée se développent et s'agglomèrent en floccs. Au repos, ces derniers se séparent très bien de la phase liquide par décantation. C'est dans le clarificateur que cette séparation entre la boue et l'eau clarifiée a lieu. Une partie des boues est renvoyée dans l'aérateur pour le réensemencement permanent ou réinjectée en tête de station, l'autre en excès, est éliminée et doit faire l'objet d'un traitement séparé (Dhaouadi , 2008).

➤ Lit bactérienne:

Les lits bactériens sont des réacteurs biologiques dans lesquels la culture microbienne se développe en pellicule (biofilm) sur un matériau support inerte qui ménage de larges espaces libres. Les eaux à épurer ruissellent par gravité sur le biofilm microbien et l'aération est assurée naturellement par la circulation de l'air dans les interstices libres du matériau support. Les lits bactériens appartiennent donc à la famille des systèmes à biomasse fixée dont le matériau support est immobile. Le biofilm se développe en profondeur en conditions anaérobies, tandis que la zone superficielle, d'épaisseur constante (0,1 à 0,2 mm) est en condition aérobie. La force érosive de l'eau ruisselante, décroche une partie de ce biofilm assurant ainsi une évacuation

régulière de la biomasse. Ce procédé a été le premier système biologique développé dès la fin du 19^e siècle en Grande-Bretagne.

➤ **Lagunage:**

Conçu en France par le Dr Girardin, le lagunage se présente sous la forme d'un bassin constitué de végétaux épurateurs en séquence (le dernier élément est une cressonnière). En Allemagne, un étang à poissons complétait le système. En 1911 (et jusqu'en 1950), Strasbourg est devenu la plus grande ville assainie avec un lagunage (procédé Dr Hof), c'est la STEP de la Wanzenau. Le procédé est désormais très répandu dans de nombreux pays, en particulier en région chaude (Adler E. 2005). Il y a deux types de lagunage:

- **Lagunage naturelle :** Le lagunage naturel, largement utilisé pour le traitement des eaux usées, devient aujourd'hui une alternative intéressante pour le traitement vu les grands avantages qu'il présente. Il est moins coûteux à réaliser et à exploiter ; est construit directement sur le site de rejet des eaux usées, nécessitant peu d'équipements mécanisés et finalement est moins sensible aux variations des charges polluantes. L'utilisation des paramètres de caractérisation constitue un bon moyen pour l'estimation de la qualité de ces rejets urbains et de leur impact sur le milieu récepteur (Dimane F et al, 2016).
- **Lagunage aéré :** Le lagunage aéré est une technique d'épuration biologique par culture libre avec un apport artificiel d'oxygène (Meuse R, 2007). 2 bassins allongés + aération à turbines (Thevenot D, 2005). Il s'agit en somme d'une boue activée sans recyclage de boue, avec ou sans décanteur final. L'aération est réalisée le plus souvent par des aérateurs flottants, ou par des aérateurs linéaires type Engilbert (1970) spécialement conçus pour assurer une circulation convenable du liquide malgré la capacité d'aération réduite. Ce système est généralement traité comme un réacteur à mélange complet et faible charge. L'absence de recyclage fait que la biomasse est de l'ordre de 400 à 1 000 mg/l, avec des temps de séjour de 5 à 25 j. La charge biologique peut être relativement élevée (de 0,2 à 1,0 kg DCO/kg MSV.j.). Les paramètres nécessaires au calcul sont extrêmement faciles à obtenir par des essais dans de petits bacs (Edeline F. 1997).

Il existe deux formes de lagunage aéré :

- **Le lagunage aéré strictement aérobie :**

Il faut une aération suffisante pour maintenir le bassin en aérobiose et l'ensemble des particules en suspension (Meuse R, 2007).

- **Le lagunage aéré aérobie/anaérobie facultatif :**

Il y a formation de dépôt qui évolue en milieu anaérobie (Meuse R, 2007). Le premier cas est très peu utilisé car il est grand consommateur d'énergie. La seconde solution est rencontrée plus fréquemment : elle s'apparente au lagunage naturel par l'épuration des eaux usées par échange eau/sédiment (Chekroun, A.2013).

8. L'impact de la réutilisation des eaux épurées sur l'environnement:

On reconnaît de plus en plus l'intérêt des espaces verts en milieu urbain et périurbain pour la protection de l'environnement, le cadre de vie, les activités de loisir et la production. Toutes les villes gagnent à avoir des arbres dans le paysage urbain, mais les avantages sont peut-être plus évidents dans les zones tropicales arides et semi-arides où la végétation naturelle est clairsemée, où il faut se protéger des tempêtes de sable et des vents desséchants et où les fortes températures font que l'ombre est autant une question de santé que de confort.

L'utilisation des eaux usées traitées présente des avantages multiples aussi bien au niveau économique qu'environnemental :

- La mobilisation d'une ressource potentielle en eau (dont la qualité peut être encore améliorée).
- L'économie des ressources en eau conventionnelle (permet éventuellement de différer les investissements d'une nouvelle mobilisation en eau conventionnelle).
- La protection des milieux récepteurs en particulier le littoral et le réseau hydrographique contre la pollution hydrique.
- La préservation des zones humides (apport d'eau en continu).
- L'atténuation des impacts liés à la sécheresse (ressource en eau indépendante du climat).
- La réduction des quantités d'engrais utilisées en agriculture (Benfiala.I et Haouli, Z).

9. Les principales voies de réutilisation des eaux usées traitées :

Dans les pays en développement, où la pauvreté et l'insécurité alimentaire sont quasi permanente, les populations n'hésitent pas à recourir aux eaux usées brutes pour pratiquer

des cultures irriguées dont les produits sont, pour certains, consommés crus (Idder, 2007). L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées est non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'eau de bonne qualité en accélérant le cycle d'épuration naturelle de l'eau, mais également d'assurer l'équilibre de ce cycle et la protection du milieu environnant.

9.1 La réutilisation industrielle :

Des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique. La REUE industrielle peut être intéressante dans le secteur de l'énergie, dans les circuits de refroidissement fermés ou ouverts, les laveries industrielles, les stations de lavage de voiture, l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles, les industries d'électroniques et de semi-conducteurs (FAO, 2003).

9.2 La réutilisation en zone urbaine :

Les utilisations possibles d'eaux épurées en zone urbaine sont extrêmement nombreuses. Il existe de multiples exemples à travers le monde. Ces projets concernent : - l'arrosage de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf, d'aires de jeux ; - les bassins d'agrément, piscines, bassins pour la pêche et la navigation de plaisance ; - les eaux des sanitaires d'un immeuble ou d'un groupe d'immeubles ; - le lavage de voirie, réservoirs anti-incendie, etc. La production d'eau potable :

La réutilisation est directe quand l'eau ne revient jamais dans le milieu naturel ; les eaux épurées sont directement acheminées de la station d'épuration à l'usine de traitement pour l'eau potable. L'unique exemple dans le monde de réutilisation directe se trouve en Afrique, à Windhoek, capitale de la Namibie (FAO, 2003).

9.3 La recharge de la nappe :

La principale motivation concernant la recharge de nappe est la dégradation de sa qualité environnementale et/ou la diminution de sa réserve en eau. Il existe deux moyens de recharger une nappe phréatique : - par percolation : c'est le cas à Los Angeles, où 160 000 m³ par jour d'effluents traités sont déversés dans des bassins gravitaires. Le principal problème rencontré est celui des algues, qui pullulent dans les bassins. Les solutions préconisées sont variées : introduction de poissons, d'algicides, teindre l'eau pour empêcher la photosynthèse. - par recharge directe : c'est le cas dans le comté d'Orange, en Californie. L'eau est injectée dans la nappe par plusieurs puits, disposés en ligne face à la nappe d'eau salée, et formant une véritable barrière (FAO, 2003).

10. La réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles:

La réutilisation de ces eaux épurées, au-delà de leur effet positif, peut également avoir des impacts défavorables sur la santé publique et l'environnement, en fonction principalement des caractéristiques de l'eau épurée, du degré d'épuration, de la méthode et de l'endroit d'utilisation. La pollution du sol et des eaux souterraines et de surfaces est parmi les inconvénients potentiels les plus importants de l'utilisation d'eau usée traitée. Cependant, de point de vue rigoureusement scientifique, la planification rigoureuse et la gestion efficace des régimes d'irrigation pouvant réduire au minimum ces inconvénients (Gharzouli, 2014).

La réutilisation des eaux usées épurées « REUE » est une action volontaire et planifiée qui vise la production de quantités complémentaires en eau pour différents usages. Aujourd'hui la stratégie nationale du développement durable en Algérie se matérialise particulièrement à travers un plan stratégique qui réunit trois dimensions à savoir : Sociale, Economique et Environnementale(ONA).

11. Potentiel actuel :

Sur les 130 stations d'épuration exploitées par l'ONA à travers les 44 wilayas, 17 sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture.

Le volume réutilisé à fin aout 2016 est estimé à 14,6 Millions de m³, pour ces 17 STEP concernées par la REUE ; afin d'irriguer plus de 11 076 ha de superficies agricoles, il s'agit de:

- Kouinine (El Oued) et Ouargla,
- Guelma, Souk-Ahras
- Tlemcen, mascara et les lagunes de: Ghriss, Bouhanifia, Hacine, Oued Taria, Froha, Khalouia, Tizi et Mohammedia,
- Boumerdes.

12. Normes internationales :

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser ou une limite inférieure à respecter. Un critère donné est rempli lorsque la norme est respectée pour un paramètre donné. Une norme est fixée par une loi, une directive, un décret de loi. (Benfiala.I et Haouli.Z).

Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé pour les eaux usées sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Normes de rejets internationales (Benfiala.I et Haouli. Z).

Paramètres	Unités	Norme utilisée (OMS)
pH	-	6,5-8,5
DBO5	mg/l	<30
DCO	mg/l	<90
MES	mg/l	<20
NH4+	mg/l	<0,5
NO2	mg/l	1
NO3	mg/l	<1
P2O5	mg/l	<2
Température	°C	<30
Couleur	-	Incolore
Odeur	-	Incolore

13. Normes Algériennes :

Les eaux usées se caractérisent par des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, qui permettent de déterminer leur éventuelle origine et de connaître l'importance de leur charge polluante. Avant qu'elles ne soient rejetées dans le milieu naturel et ne le dégradent, elles 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 (Benfiala.I et Haouli.Z).

Selon les normes Algériennes les valeurs limites maximales de rejet d'effluents sont Regroupées dans le tableau suivant :

**Tableau 2 : Les valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur
(Journal Officiel de la République Algérienne, 2014).**

PARAMÈTRES	UNITÉS	VALEURS LIMITES
Température	°C	30
pH	-	6,5-8,5
MES	mg/l	35
DBO5	mg/l	35
DCO	mg/l	120
NH4+	mg/l	-
NO2	mg/l	0.1
NO3	mg/l	0.1
P2O5	mg/l	<2
Couleur	-	Incolore
Odeur	-	Incolore

14. Cadre réglementaire en Algérie:

- **La loi n°05-12 du 04 Août 2005**, relative à l'eau, a institué la concession de l'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation (JO n°60-année2005)
- **Le décret n°07-149 du 20 mai 2007** fixe les modalités de concession de l'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent.
- **Les arrêtés interministériels du 02 janvier 2012** qui prennent en application les dispositions de l'article 2 du décret exécutif n°07-149, publiés en Janvier 2012 par le ministère des ressources en eau. (JO n°41) Ces arrêtés fixent:

- Les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation et notamment en ce qui concerne les paramètres microbiologiques et les paramètres physico-chimiques
- La liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.
- **La norme Algérienne N°17683** « Réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles, municipales et industrielles - Spécifications physico-chimiques et biologiques » est disponible au niveau de l'Institut Algérien de Normalisation IANOR;
- **La REUE** sollicite une coordination étroite entre les différentes structures impliquées dans les opérations de réutilisation à tous les niveaux.

15. Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de définir les eaux usées, leurs origines et leurs traitements, ainsi que les conséquences qu'elle peut engendrer et aussi la problématique de la réutilisation des eaux usées traitées. Le chapitre suivant expose l'évaluation de la qualité des eaux pour l'irrigation.

Chapitre 2. Qualité des eaux d'irrigation

1. Introduction :

La réutilisation agricole des eaux épurées comme moyen d'économiser la ressource a donc été une des premières voies de développement des projets de réutilisation des eaux usées épurées.

La réutilisation pour l'irrigation est essentiellement présente dans les pays réputés agricoles mais dont les ressources hydriques sont faibles, comme le bassin méditerranéen et le Sud des Etats Unis. Les plus grands projets de réutilisation ont été développés dans les régions de l'Ouest et de l'Est des Etats Unis, l'espace méditerranéen, l'Australie, l'Afrique du Sud et dans les zones semi-arides de l'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud (Attab.2011).

Dans le cas spécifique de l'irrigation, les bénéfices ne résident pas seulement dans la préservation du milieu et de la ressource, mais aussi dans la nature des eaux usées. En effet, elles contiennent des éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) ainsi que des oligo-éléments (fer, cuivre, manganèse, zinc, etc.) qui sont bénéfiques pour les cultures, et qui peuvent augmenter significativement le rendement. Les MES contribuent également à la fertilisation des sols car elles sont riches en matière organique. L'utilisation d'eaux usées à la place d'engrais de synthèse coûteux est économiquement intéressante pour les agriculteurs. De plus, l'arrosage avec des eaux usées constitue une sorte de fertigation, c'est-à-dire l'application combinée d'eau et de fertilisants via le système d'irrigation. La fertigation permet un apport fractionné et à faible dose des engrais ; en cela elle est bénéfique pour l'environnement car elle évite la pollution des sols et les dépendances aux fertilisants, qui sont des phénomènes qui apparaissent avec une fertilisation classique (Asano,1998).

2. Avantage des réutilisations des eaux usées épurées:

Pour les agriculteurs, l'incitation principale est le bénéfice attendu de l'utilisation des eaux usées en irrigation, ainsi qu'elle est une source fiable même en années de sécheresses (Metahri, 2012).

Les avantages peuvent brièvement récapitulés comme suit :

- économie d'eau claire;
- économie de fertilisant;
- accroissement de rendement;
- protection de l'environnement;
- création d'emplois.

L'utilisation d'eaux épurées pour l'irrigation doit donc se faire avec précaution.

3. Les exemples de REUE agricole dans le monde

Les projets se concentrent autour du bassin méditerranéen et dans les pays industrialisés, en Europe, aux États-Unis ou encore en Australie. Certains pays comme la Tunisie a de véritable politique nationale de réutilisation des eaux usées épurées (Baumont, 2004).

Dans ce pays, l'augmentation de la population et du niveau de vie ont accru à la fois les besoins en eau et les rejets d'eaux épurées dans le milieu naturel. Les politiques se sont donc trouvés face à une crise économique et écologique dans certaines régions. La première utilisation d'eaux épurées a eu lieu aux alentours de Tunis, pour irriguer 600 ha de citronniers. La nappe qui alimentait autrefois les circuits d'irrigation avait été surexploitée et commençait à être envahie par l'eau de mer. Il a donc fallu trouver une solution alternative. Puis, à partir des années quatre-vingt, une politique ambitieuse de réutilisation a été mise en place. En 1993, 6 400 ha de terres agricoles étaient irrigués avec des eaux épurées, et ce chiffre devait atteindre 20 à 30 000 ha dans les années suivantes (Asano, 1998). Le traitement préconisé est le bassin de maturation, le plus adapté aux conditions techniques et économiques locales.

La figure n°03 expose les volumes d'eaux usées générées, épurées et réutilisées dans quelques pays de l'Afrique du Nord et du proche orient.

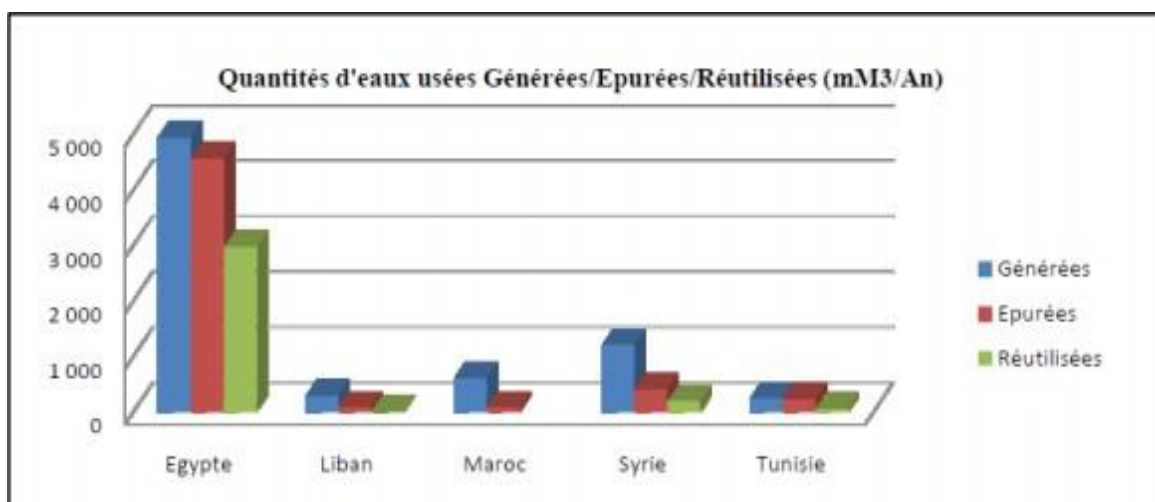


Figure 3 : Volumes d'eaux usées Générées, Épurées et Réutilisées dans cinq pays méditerranéens

Source : Étude du Groupe AHT, 2009

4. Réutilisation des eaux usées épurées en Algérie

La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie peut être qualifiée d'embryonnaire et les volumes réutilisés sont très faibles (environ 14 millions m³/an). Actuellement, 2% du volume d'eau usée épurée est réutilisée pour irriguer une superficie de 1 285 ha d'une façon réglementaire (Dmre, 2013).

Aux **États-Unis**, 34 états disposent de réglementations concernant l'usage agricole des eaux usées. La Californie fait office de précurseur. Sa réglementation sur la qualité des eaux et leur utilisation, dénommée « Title 22 », est une référence au niveau international.

Respectivement 63 % et 34 % des eaux usées des états de Californie et de Floride sont réutilisées pour l'agriculture (Écosse, 2001).

Des pays comme **la Grèce, le Portugal, l'Italie, l'Espagne** ont des programmes plus ou moins avancés de REUE pour l'agriculture. En Europe du nord, l'Allemagne et la Hongrie utilisent les eaux épurées pour irriguer des céréales, des pommes de terre, etc. mais à moindre échelle.

5. Avis des consommateurs :

La perception du public des produits agricoles cultivés à l'eau usée traitée est en général négative, se basant la plupart du temps sur des thèmes liés à l'hygiène et à la santé, le manque de confiance dans le contrôle public de la qualité ainsi qu'à une répulsion naturelle envers ces aliments ayant été potentiellement en contact avec des excréments humains, la conséquence est que les agriculteurs n'arrivent pas à vendre leur récolte, même si elle répond bien aux critères de qualité importants requis, rendant ceux-ci réticents à utiliser des eaux usées pour l'irrigation de leurs cultures.

Les convictions religieuses peuvent jouer un rôle important dans l'acceptation de la réutilisation des eaux usées traitées. Par exemple, dans la religion islamique, le Grand Conseil des Erudits Islamiques d'Arabie Saoudite a, en 1978, agréé la réutilisation des eaux usées traitées, après traitement approprié, pour toutes les fins. Toutefois, il a été quand même mentionné qu'il est préférable de ne pas boire d'eau provenant d'eaux usées traitées (ONA, 2014).

6. Critères de qualité des eaux usées traitées l'irrigation

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation présente un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation.

Tableau 3 : Les paramètres utilisés pour l'évaluation des eaux usées traitée en agriculture (Kandiah, 1990).

Paramètres	Symbole	Unité
physique		
Totale des solides dissous	TDS	Mg/l
Conductivité électrique	CE	dS/m
Température	T	°C
Couleur/turbidité		NTU/JTU ²
Dureté		Mg equiv
sédiments		g/l
chimique		
Acidité/alcalinité	pH	
Type et concentration des anions et cations		
Calcium	Ca ⁺⁺⁺	Me/l
Magnésium	Mg ⁺⁺	Me/l
Sodium	Na ⁺	Me/l
Carbonate	CO ₃ ^{- -}	Me/l
Bicarbonate	HCO ₃ ⁻	Me/l
Chloride	CL	Me/l
Sulfate	SO ₄ ^{- -}	Me/l
Sodium adsorption ratio	SAR	Me/l
Bore	B	Mg/l
Eléments traces		
Métaux lourds		
Nitrate-Nitrogène	NO ₃ -N	Mg/l
Phosphate/Phosphore	PO ₄ -P	Mg/l
Potassium	K	Mg/l

7. Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées

En plus des problèmes environnementaux, les eaux usées épurées réutilisées peuvent engendrer des problèmes sanitaires à la population exposée du fait de la présence des risques de transmission des microorganismes pathogènes ou des éléments chimiques toxiques aux agriculteurs

Cette transmission peut se produire, soit par : contact des utilisateurs avec cette eau usée épurée, inhalation des aérosols générés par cette eau (cas d'arrosage par aspersion) ou par consommation des produits irrigués par cette eau usée épurée (Baumont, 2004).

Les risques liés à une REUE agricole sont :

- le risque environnemental.
- le risque chimique
- le risque sanitaire.

7.1 Risques environnementaux

a- Effets sur le sol

Les problèmes prévus au niveau du sol sont :

- La salinisation;
- L'alcalinisation et la réduction de la perméabilité du sol;
- L'accumulation d'éléments potentiellement toxiques (FAO,2003).

b- Effets sur les eaux souterraines

La dégradation de la qualité des eaux souterraines par des constituants de l'eau usée est possible (salinisation, alcalinisation et pollution causée par les nitrates, les phosphates ou les micropolluants) (Nader, 2013).

7.2 Risque chimique

Au-delà de l'effet global de certains constituants de l'eau usée sur les cultures irriguées comme la salinité, l'eau usée peut potentiellement créer une toxicité due à une concentration élevée de certains éléments comme le bore et quelques métaux lourds (FAO, 2003).

7.3 Risques sanitaires

Le lien entre eaux usées et risques sanitaires est essentiel. Il porte sur les contaminations que peuvent engendrer, soit le contact direct avec des eaux usées, soit l'ingestion de produits alimentaires ayant été en contact avec des EU ; ces risques de contamination sont d'ordre microbiologique ou chimique (BRL, 2011).

Du point de vue microbiologie, des maladies peuvent être causées par les bactéries pathogènes, les virus, les protozoaires ou par les helminthes contenus dans les eaux usées épurées (OMS,1989).

D'autre part, l'irrigation à partir des eaux usées épurées, peut apporter des éléments toxiques à la plante, tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome, le sélénium et l'étain (Belaid, 2010).

8.Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté les différents critères de la qualité des eaux pour l'irrigation, ainsi que les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées.

Le chapitre suivant présente les différents paramètres physico-chimiques du sol

Chapitre 3. Les paramètres physico-chimiques du sol.

1 .Introduction

Le sol est une ressource très faiblement renouvelable au sens où sa dégradation peut être rapide (quelques années ou décennies) alors qu'il lui faut plusieurs milliers d'années pour se former et se régénérer. C'est une formation généralement meuble constituée d'un complexe organo- minéral qui résulte de la transformation superficielle des roches sous l'action conjointe des agents météoriques et des êtres vivants (Duchaufour.1977 In Nezli In. 2009).

2. Définition d'un sol

Le sol se forme par l'action directe de l'atmosphère, de la biosphère et du climat sur la lithosphère, il se situe donc a l'interface entre ces différentes composantes de l'environnement et c'est ce qui rend son rôle si important et sa pollution si dangereuse. On confère ainsi au sol d'importantes fonctions environnementales (Terchi S. 2014).

- ✓ Vis-à-vis, de l'air, le sol exerce une fonction de tampon des pluies acides ou des autres actions anthropiques analogues.
- ✓ Vis-à-vis du carbone, séquestration du gaz carbonique de l'atmosphère, des études montrent que ce n'est pas la végétation qui contient le plus de carbone mais le sol.
- ✓ Vis-à-vis de l'eau, rôle de filtre et de réacteur chimique et biologique pour les nitrates, phosphate, pesticide, etc. Ainsi il a pour rôle de portion de la qualité de l'eau.
- ✓ Vis-à-vis des polluants, rôle de piège des polluant minéraux.
- ✓ Vis- à-vis de la biodiversité, rôle de réservoir d'organisme et de gène.

Le sol provient en général de l'altération de la roche mère sous-jacente, appelée sous-sol. La pédologie décrit les différents types de sols ainsi formés (Baba Ahmed, 2012).

3. Principaux composants du sol

Le sol est un système complexe formé de très nombreux composants minéraux et organique soumis a des phénomènes physique, chimique et biologique en constante interaction. Il comprend :

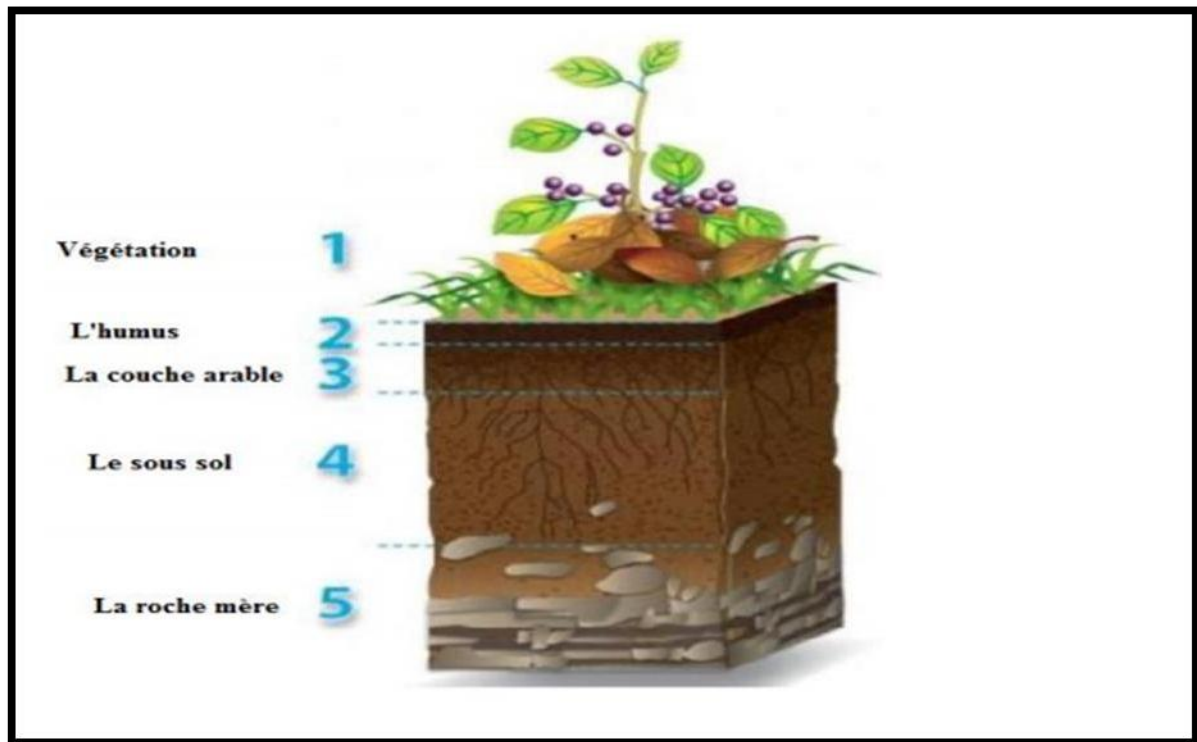


Figure 4 : Schéma d'un profil de sol (image Google)

3.1. Végétation :

En surface, la litière constituée des feuilles mortes encore identifiables avec beaucoup d'air, abritent plantes et animaux vivants.

3.2. L'humus :

Une terre noire et souple, riche en matières organiques. L'humus désigne la matière issue de la décomposition de matières organiques brutes comme les feuilles, les branches et les tontes de gazon qui s'accumulent à la surface du sol. Cette décomposition réalisée par les organismes du sol rend au sol des nutriments vitaux que les végétaux peuvent utiliser (Aouata, 2015).

3.3. La couche arable

La couche dite arable que l'homme peut travailler : mélange riche en humus et en minéraux.

3.4. Le sous-sol

Généralement pauvre en humus, avec peu de traces de vie.

3.5. La roche mère

100% minérale, sans air, sans vie

4 Caractéristiques du sol

4.1 Granulométrie

- **La texture**

La texture du sol est caractérisée par la taille et la distribution des particules. La composition granulométrique du sol permet de déterminer sa texture. La composition s'exprime en pourcentage des trois principales fractions minérales 2 mm de diamètre. La texture du sol est une propriété constante dans le temps et peu variable spatialement (Baize et Jabiol, 1995).

Tableau 4 : Echelle granulométrique de la texture du sol

Terre fine				Terre grossière		
Argile	Limons fins	Limons grossiers	Sable fins	Sable grossiers	Gravies	Cailloux
<2µm	2µm à 20	20 a 50 µm	50a 200µm	200a 2mm	2mm a 20mm	>20 mm

Source: (U.S.D.A., 1996).

Certains spécialistes, notamment agronomes et pédologues, savent déterminer approximativement, après humidification, si le sol est plutôt argileux, limoneux ou sableux.

En effet, l'argile colle aux doigts au toucher, le limon est doux et le sable rugueux. Pour déterminer plus finement la texture on évalue au laboratoire pour un échantillon de sol la teneur en sable, en argile et limon. Ensuite on utilise un diagramme qui permet de déterminer la classe texturale du sol (Terchi, 2014).

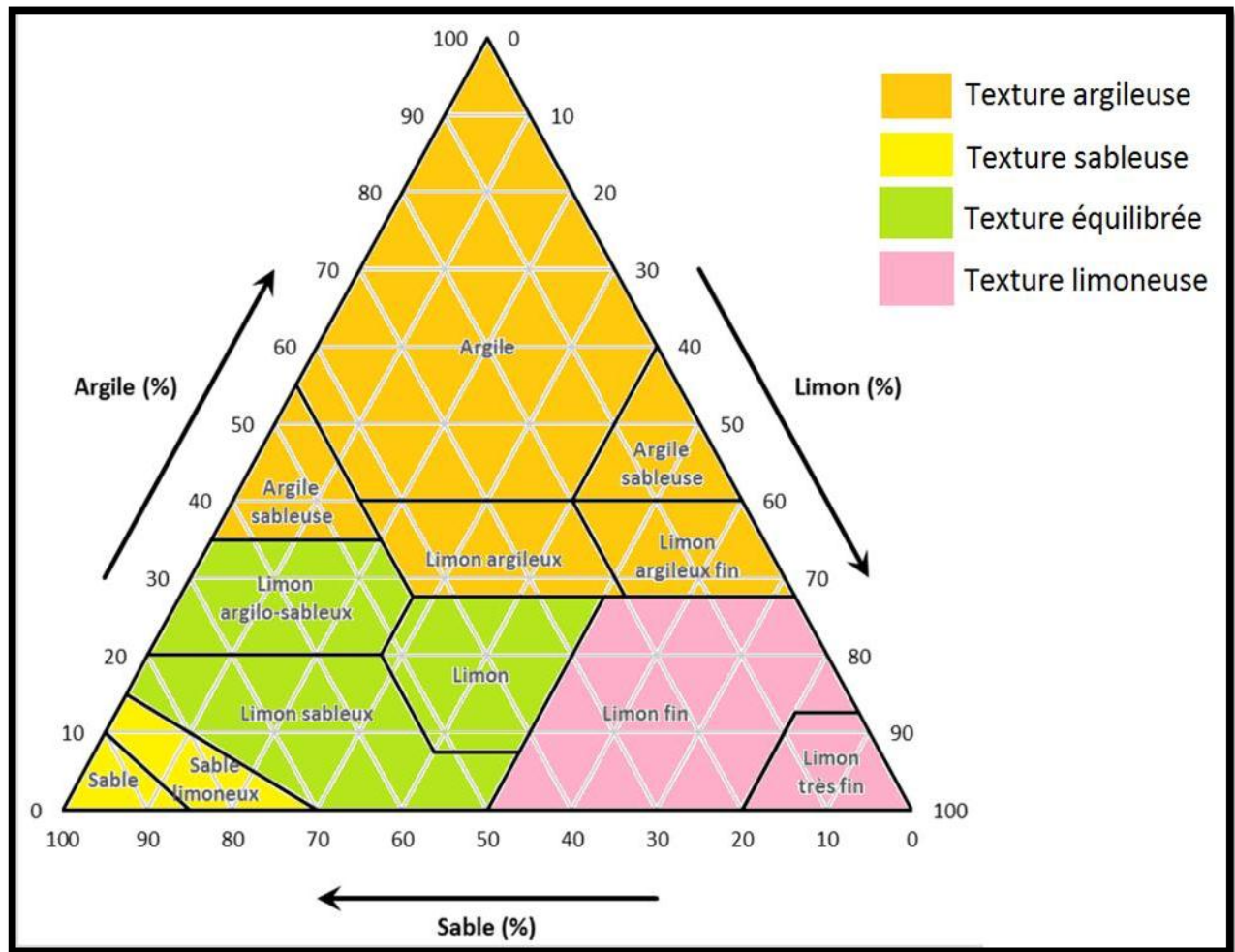


Figure 5 : Triangle des textures du sol

Source : Wikipédia et Duchaufour, 1997

La texture joue un rôle essentiel dans la rétention de l'eau du sol et des échanges avec les racines des plantes (Terchi, 2014).

- **La structure:**

Correspond au mode d'assemblage de ses particules. Lorsque celles-ci s'agglutinent en agrégats, elles sont à l'état floculé et la structure est grumeleuse. Lorsqu'elles demeurent indépendantes les unes des autres (Baise, 2000).

Les grands espaces vides entre ces agrégats (micropores) permettent à l'eau et à l'air de circuler et aux racines de s'enfoncer dans le sol. Les petits espaces vides (micropores) retiennent quant à eux l'eau dont les plantes ont besoin. Cette structure « idéale » est appelée structure grumeleuse. La structure grumeleuse comporte de nombreux avantages (Aouata, 2015):

- ✓ Une bonne rétention de l'eau et des éléments nutritifs,
- ✓ Un bon drainage,
- ✓ Une bonne aération,
- ✓ Un bon développement du système racinaire des végétaux,
- ✓ Un travail facile du sol,
- ✓ Un réchauffement rapide du sol au printemps,
- ✓ Une bonne activité biologique du sol,
- ✓ Une bonne résistance à l'érosion et à la compaction.

Les sols argileux, sableux et limoneux présentent rarement une structure idéale. On peut toutefois les améliorer en incorporant des amendements (Aouata, 2015).

4.2. Matière organique (Carbone organique)

Les débris végétaux de toute nature, feuilles, rameaux morts qui tombent sur le sol, constituent la source essentielle de la matière organique : dès leur arrivée au sol, ils sont plus ou moins rapidement décomposés par l'activité biologique (Gadda, 2013).

La matière organique est ainsi peu à peu transformée et cela donne naissance, d'une part, à des éléments solubles ou gazeux comme l'ammoniac NH_3 l'acide nitreux HNO_2 , et le gaz carbonique CO_2 , et d'autre part à des complexes humiques (l'humus) qui se décomposeront, se minéraliseront très lentement très progressivement (Clement et Pieltain, 2003).

Tableau 5 : Echelles d'interprétation de la Matière organiques (I.T.A, 1975 in Hafouda, 2005)

MO (%)	Sol
MO < 1	Très pauvre
1 < MO < 2	Pauvre
2 < MO < 4	Moyen
MO > 4	Riche

4.3. Paramètres physico-chimiques :

- **Le pH**

Le pH du sol est une notion permettant de façon commode et précise de désigner la réaction du sol. Il est l'acidité, la neutralité ou l'alcalinité d'une solution aqueuse peut s'exprimer par

la concentration en H_3O^+ (noté H^+ pour simplifier). De manière à faciliter cette expression, on utilise logarithme décimal de l'inverse de concentration en ions H^+ (Clement E et Pieltain, 2003). Il est mesuré par un pH mètre à électrode en verre.

Tableau 6: Echelle d'interprétation des résultats du pH de l'extrait 1/5 aqueux (Soltnaire, 1989).

pH	Classe de sol
5 à 5,5	Très acide
5,5 à 5,9	Acide
5,9 à 6,5	Légèrement acide
6,5 à 7,2	Neutre
7,2 à 8	Alcalin
>8	Très alcalin

- **La conductivité électrique**

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol, elle exprime approximativement les concentrations des solutés ionisables présents dans l'échantillon c'est-à-dire son degré de salinisation (Clement et Pieltain, 2003). Alors, la mesure de la conductivité permet d'obtenir une estimation de la teneur globale en sels dissous sur un extrait saturé ou dilué (Aubert, 1978 In Benzahi, 1994).

Les extraits dilués sont au 1/1, au 1/5 et au 1/10 du rapport sol/eau distillée. Par cette méthode, l'extraction est rapide, mais les solutions sont moins représentatives de la solution du sol (Benzahi, 1994).

Tableau 7 : Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5 (Aubert, 1978).

CE dS/m à 25°C	Degrés de salinité
$CE \leq 0,6$	Sols non salés
$0,6 < CE \leq 1,2$	Sols peu salés
$1,2 < CE \leq 2,4$	Sols salés
$2,4 < CE \leq 6$	Sols très salés
$CE > 6$	Sols extrêmement salés

- **Les sels solubles**

La mesure de la salinité totale du sol est indispensable pour connaître le type de sol auquel on a à faire. Mais les propriétés de ces sols diffèrent fortement suivant la composition et la

concentration des sels présents. L'identification des sels solubles sur l'extrait permet de fournir des renseignements sur les principaux sels présents dans les sols et d'envisager l'étude de l'évolution de leur salinité (Gadda, 2013).

4.4. La salinisation du sol :

La salinisation est le processus par lequel les sels solubles s'accumulent au niveau de la rhizosphère des sols (Eilers In Youfi, 2011). La salinisation peut être aussi définie comme étant un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un sol salin (USDA en ligne). La salinité est la présence de concentrations excessives de sels solubles dans le sol ou dans l'eau d'irrigation (Mass et Nieman, 1978 In Mokar et *al*, 2010).

4.5. Les causes de la salinisation :

Les causes de la salinité des sols sont multiples

- 80% des terres salinisées ont une origine naturelle, de types marine, volcanique et géologique (Gaucher et Burdin, 1974), on parle alors de salinisation primaire qui est due aux sels, se formant lors de l'altération des roches ou des apports naturels externes (Sais et *al*, 2006 In Pitman M et *al*, 2002).
- 20% des terres salinisées ont une origine anthropique, on parle alors de salinisation secondaire qu'elle existe depuis longtemps, induite par l'activité humaine, liée aux pratiques agricoles, et en particulier à l'irrigation réalisée avec de l'eau saline. La salinisation peut aussi être causée par la remontée capillaire des eaux souterraines (Sais et *al*, 2006 In Pitman M et *al*, 2002).

4.6. Signes de la salinisation

- Il est possible de repérer les sols salinisés avant que le problème ne soit grave, dont voici quelques signes précurseurs:
 - Hydratation accrue des sols.
 - Apparition des mauvaises herbes tolérantes aux sels, telle que le *Kochiascoparia* (Boukhalfa et Kafi, 2013).
- A mesure que la teneur en sels du sol s'accroît, les signes deviennent plus évidents.
 - Croissance irrégulière des cultures et manque de vigueur des plants.
 - Formation d'une croute blanche en surface.

- Croissance de la végétation naturelle tolérante aux sels, comme les salicornes (Eilers et *al*, 1995 In Youcfi, 2011).

4.7. Lixiviation des sels

D'après Duchaufour (1977), la lixiviation est l'entraînement descendant des sels sous l'action des eaux de pluies, d'inondation et d'irrigation. L'eau s'infiltré dans le sol, dissolvant les sels présents dans leur ordre de solubilité croissante et les entraînant en profondeur. Pendant son mouvement, la solution va se concentrer sous l'influence de l'évaporation et de l'absorption par les plantes. Quand cette sera suffisante, certains sels précipiteront et c'est ainsi que se formeront des accumulations salines qui se rencontrent dans certains sols.

4.8. Remonté capillaire

La remontée capillaire est la migration ascendante des sels en solution dans un profil saturé à faible profondeur (Duchaufour, 1977).

La remontée capillaire dépend particulièrement de la nappe phréatique, de sa profondeur et de la caractéristique granulométrique du sol. La vitesse de remontée capillaire est plus élevée pour les solutions de sels neutres et plus faible pour les solutions des sels carbonatés alcalins (Jaber, 1970 In Omeiri, 1994).

4.9. Impact de la salinisation sur les sols

La salinisation réduit considérablement la qualité du sol et la couverture végétale. La destruction de la structure du sol accentue l'érosion par l'eau et par les vents des sols salins et sodiques. Quand la dégradation des sols se produit dans des zones arides, semi-arides et semi-humides, on assiste à ce que l'on appelle une désertification ainsi qu'une perte de fertilité du sol, une destruction de la structure du sol et une formation d'une croûte de sol (SOCO en ligne, 2009 in Boukhris, 2012).

4.10. Alcalinité

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 (Rhoades, 1977 In Omeiri, 1994).

Le S.A.R est le paramètre fondamental pour la détermination du niveau d'alcalinisation de la solution du sol.

Le S.A.R est déterminé par

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{Ca^{++}Mg^{++}/2}}: \text{még/l.}$$

Les ions Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ et Na⁺ sont exprimés en még/l.

Tableau 8: Sodium adsorption Ratio et degré d'alcalinisation des sols (Sevant et al.1966 in Boutelli, 2012)

S.A.R	Degrés d'alcalinisation
≤ 4	Pas d'alcalinisation
4 < S.A.R ≤ 8	Faible alcalinisation
8 < S.A.R ≤ 12	Alcalinisation moyenne
12 < S.A.R ≤ 18	Alcalinisation forte
> 18	Alcalinisation intense

4.11. Sodisation

L'accumulation de sodium (sodisation) sur le complexe adsorbant des sols peut dégrader les propriétés physiques des sols. Les cations présents en solution dans le sol s'échangent sur le complexe organo-minéral. On définit le rapport Na⁺/CEC ou le paramètre ESP (Exchangeable Sodium Pourcentage) pour estimer le degré de saturation du complexe d'échange cationique (Michel et al, 2005 In Boukhris, 2012).

Les sels peu solubles

Le calcaire

De nombreux sols, notamment ceux qui sont développés en climat aride et semi-aride, renferment des quantités plus ou moins importantes de carbonate de calcium (CaCO₃).

Ce carbonate de calcium, couramment appelé calcaire prend son origine soit : dans la roche-mère pédologique ou géologique ; dans l'apport par l'eau de ruissèlement et de percolation ; dans l'apport de l'eau. Un sol calcaire est un sol qui contient une partie ou sur la totalité du profil de CaCO₃. Le calcaire étant présent soit dans les particules fines (<2mm), soit dans les cailloux (fraction grossière). Dans les sols le calcaire peut se présenter sous forme diffuse ou sous différentes formes d'accumulation à savoir pseudo-mycéliums, taches, amas friables,

nodules, encroutements, croutes et dalles calcaires. Il forme ainsi les horizons calciques et pétro-calciques (Baise, 2000).

Tableau 9 : Echelle d'interprétation de Calcaire Total (Baise, 2000)

CaCO₃ (%)	Sol
CaCO₃<1%	Non calcaire
1<CaCO₃<5%	Peu calcaire
5<CaCO₃<25%	Modérément calcaire
25<CaCO₃<50%	Fortement calcaire
50<CaCO₃<80%	Très fortement calcaire
CaCO₃>80%	Excessivement calcaire

Le gypse

Le gypse est un élément très fréquent dans les sols salins et dans les formations des régions arides et semi-arides, le gypse est soluble que le calcaire et le bicarbonate de calcium ; il donne ainsi des phénomènes de dissolution et de présentation analogues à ceux du calcaire, mais dans lesquels le gaz carbonique n'intervient pas. Il est souvent associé aux sels de magnésium et de sodium dans les efflorescences et les pseudo mycéliums des sols et de formation précitée. La présence de faibles quantités de gypse dans le sol ne gêne pas la majorité de décultures.

Sa solubilité est non négligeable, sa densité est plus faible que celle des constituants minéraux habituels des sols (Clement et Pieltain, 2003).

5. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté les différents paramètres physico-chimiques du sol qui sont considérés comme des indicateurs de type du sol. Aussi, l'impact de la salinisation sur les sols.

Chapitre 4. Matériel et méthodes

1. Introduction

Due à la situation sanitaire imposée par le virus du Covid-19 à l'échelle nationale aussi bien qu'à l'échelle mondiale, le protocole d'analyse a été suspendu.

Suite à ce désagrément, on a opté à l'exploitation des résultats d'une étude similaire qui a été effectué à Sfax en Tunisie par **M. Belaid, (2010)**

Dans ce chapitre, on expose les résultats du travail de Belaid, (2010) sont repris dans ce manuscrit, avec une discussion pour quelques paramètres physico chimiques et chimiques du sol.

2. Le protocole expérimental

2.1. Description du site d'étude

La région de Sfax se caractérise par un climat aride à semi-aride de type steppique. Ce climat est responsable d'un bilan hydrologique négatif puisque l'évaporation l'emporte sur les précipitations (déficit hydrique de l'ordre de 1000 mm). De plus, la température moyenne annuelle de l'air de la région s'élève à 20°C témoignant d'un indice d'insolation élevé de l'ordre de 72 %. Tenant compte de l'ensemble de ces facteurs, le recours à l'irrigation est plus que nécessaire pour garantir les meilleurs rendements des cultures (Belaid.2010).

Dans le périmètre irrigué d'El Hajeb, l'irrigation par les eaux usées traitées se fait essentiellement sur deux types de sol : les calcisols isohumiques et les sols d'apport de type fluvisols peu évolués. Ces deux types de sol ont été, ainsi, choisis pour étudier l'effet de l'irrigation par les EUT. Les calcisols isohumiques sont localisés au niveau d'une « agro combinat » appartenant à l'Office des Terres Domaniales (OTD), situé dans la partie Sud-Ouest du périmètre irrigué. Ce domaine est composé de plusieurs extensions dont la plus large est Galia. La parcelle témoin sélectionnée pour ce type de sol est située à la proximité Nord-Ouest de la parcelle Galia. Les fluvisols ont été identifiés au niveau d'une extension privée nommée BZ. Cette parcelle de 70 hectares de superficie est située au Nord du périmètre irrigué à environ 5 km de la première parcelle OTD. Un petit lot non exploité de cette parcelle a été choisi comme parcelle témoin pour ce type de sol (Belaid.2010).

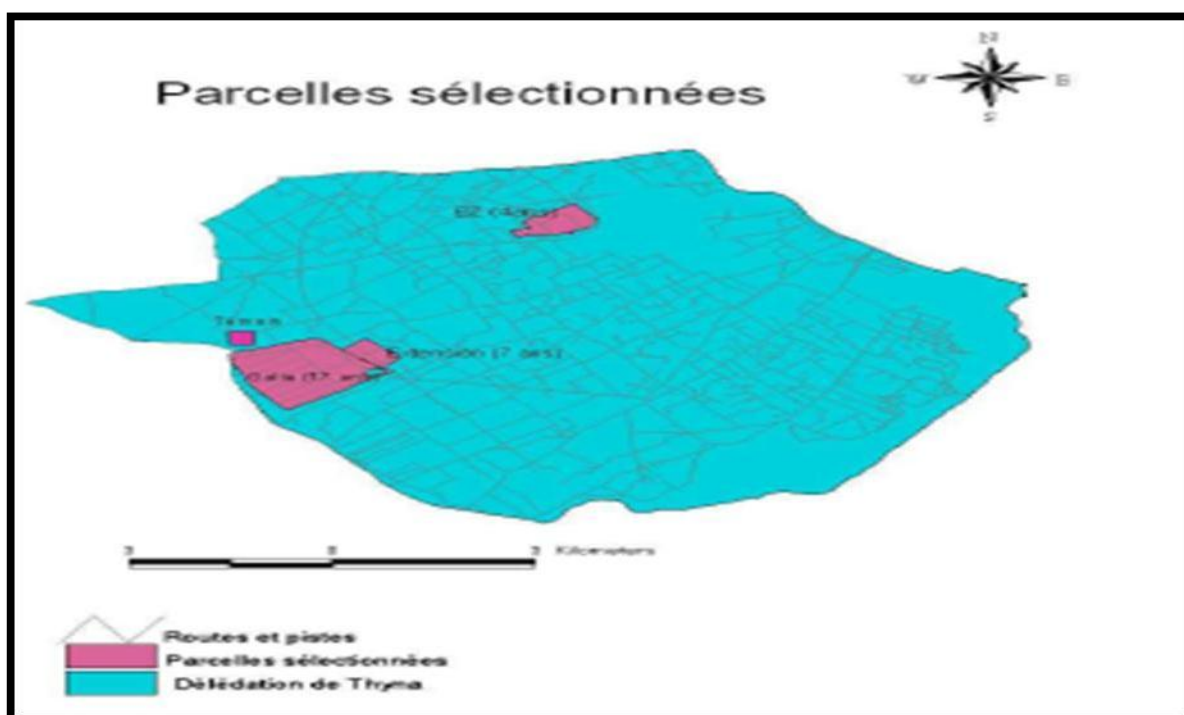


Figure 6 : Localisation des sites d'étude et des parcelles témoins correspondantes

2.2. Mode d'irrigation et systèmes decultures

Les cultures fourragères représentent la principale activité culturale pratiquée sur ces parcelles irriguées par les eaux usées traitées. Ces cultures sont utilisées comme foin pour l'alimentation des cheptels bovins élevés sur place. Sur les calcisols, depuis plus d'une quinzaine d'années, les plantes fourragères sont cultivées en intercalation avec les rangs d'oliviers (i.e. système de cultures associées). L'irrigation de ces cultures se fait par submersion à la raie, à partir de réseaux de vannes distribuées sur l'ensemble du terrain. Sur le fluvisol, la culture des fourrages se fait directement sur sol nu (sans couvert végétal), à l'exception d'une partie occupée par quelques oliviers à l'extrémité Ouest de cette parcelle.

Ainsi, depuis 4 ans, l'irrigation des cultures utilise essentiellement les EUT et localement, dans certains plots, des eaux relativement salées issues de puits de surface. Ces eaux souterraines sont, depuis longtemps, utilisées pour l'irrigation des cultures céréalières (l'ancienne activité agricole), mais avec une faible fréquence (une à deux fois par ans). Le système d'irrigation appliqué est une submersion selon un système de cuvettes. Cependant, d'après les exploitants de la ferme, l'irrigation par aspersion est aussi pratiquée mais uniquement après le semis pendant la saison hivernale.

Il faut préciser que, pour les deux types de sol, les parcelles témoins sélectionnées qui sont occupées par des oliviers, ne sont pas cultivées.

Tableau 10: Différents types de cultures

Parcelles	Occupation	Culture annuelle	Culture d'hiver	Culture d'été
Galia	Olivier	luzerne	avoine/ray-grass	sorgho
BZ	nu	luzerne	avoine/ray-grass	sorgho
Témoin	Olivier	aucune	aucune	aucune

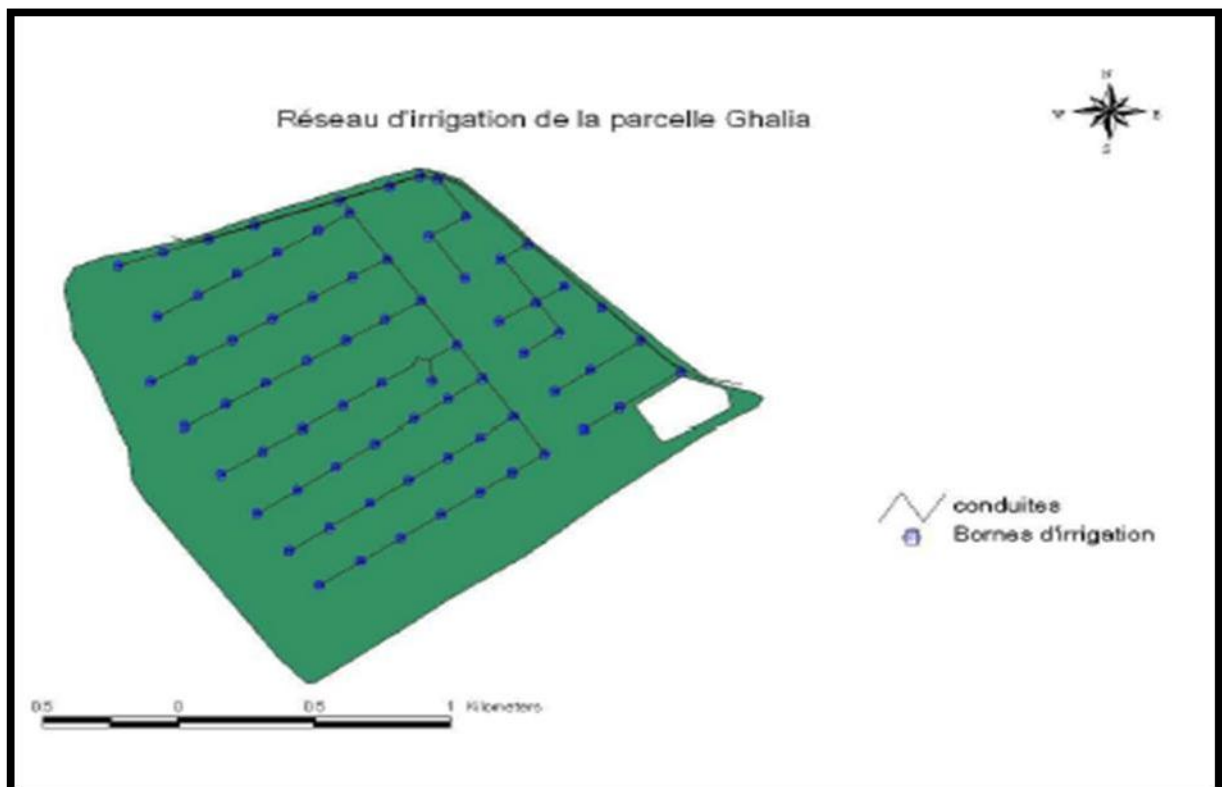


Figure 7: Système d'irrigation installé au niveau de la parcelle Galia (OTD)

2.3. Qualité des eaux usées traitées

La station d'épuration de Sfax traite des eaux usées urbaines constituées d'un mélange d'eaux usées domestiques et d'eaux usées industrielles.

Tableau 11: Qualité des eaux usées traitées de la station d'épuration de Sfax Sud (période 1984-2009). (Belaid.2010).

Paramètres	EUT Sfax Sud Normes	NT. 106.03
pH	7,1-8,7	6,5 – 8,5
CE, mS/cm	4-7,7	7
RS, g L-1	3,56-5,13	-
MES, mg L-1	29-275	30
DCO, mg L-1	123-700	90
DBO5, mg L-1	137-220	30
Pt, mg L-1	2,9-12,5	-
NO3-, mg L-1	0,35-50	-
Cl-, mg L-1	903-2580	2000
SO4 2-, mg L-1	508-1950	-
HCO3-, mg L-1	1490-732	-
Na+, mg L-1	780-2100	-
K+, mg L-1	17-105	-
Mg2+, mg L-1	0,26-209	-
Ca2+, mg L-1	103-521	-
Cd, mg L-1	0,001-0,07	0,01
Cr, mg L-1	0,007-1,1	0,1
Cu, mg L-1	<0,01-0,06	0,5
Fe, mg L-1	<0,013-1,69	5
Mn, mg L-1	0,04-0,17	0,5
Ni, mg L-1	0,02-0,13	0,2
Pb, mg L-1	0,001-0,37	1
Zn, mg L-1	0,01-0,27	5
SAR	10-12	-

L'examen de l'ensemble de ces résultats permet de distinguer les faits suivants :

- Le pH des EUT de Sfax Sud est généralement alcalin.

- La salinité des eaux dépasse dans la plupart des cas les 3 g L-1 et atteint même souvent les 5 g L-1.
- La conductivité électrique équivalente à cette salinité enregistre elle aussi des valeurs importantes qui dépassent parfois la norme de réutilisation des EUT fixée à 7 mS/cm.
- Pour ce qui est en relation avec la charge polluante organique, les paramètres de suivi (DCO, DBO5, MES...) indiquent généralement des valeurs élevées dépassant largement les normes de réutilisation.
- Les concentrations en métaux sont généralement faibles et ne dépassent pas les normes à l'exception du chrome.

2.4 Classification chimique des EUT

La combinaison de la conductivité électrique des EUT et du rapport d'absorption du sodium (SAR) permet de classer ces eaux selon le diagramme de classification des eaux d'irrigation de Riverside. La représentation graphique de sept échantillons montre que les eaux usées traitées présentent un risque de salinisation élevée et un pouvoir alcalinisant plutôt modéré. Ainsi, l'utilisation de ces eaux nécessitera certaines précautions tel qu'un bon drainage des sols, notamment si les sols présentent une texture fine.

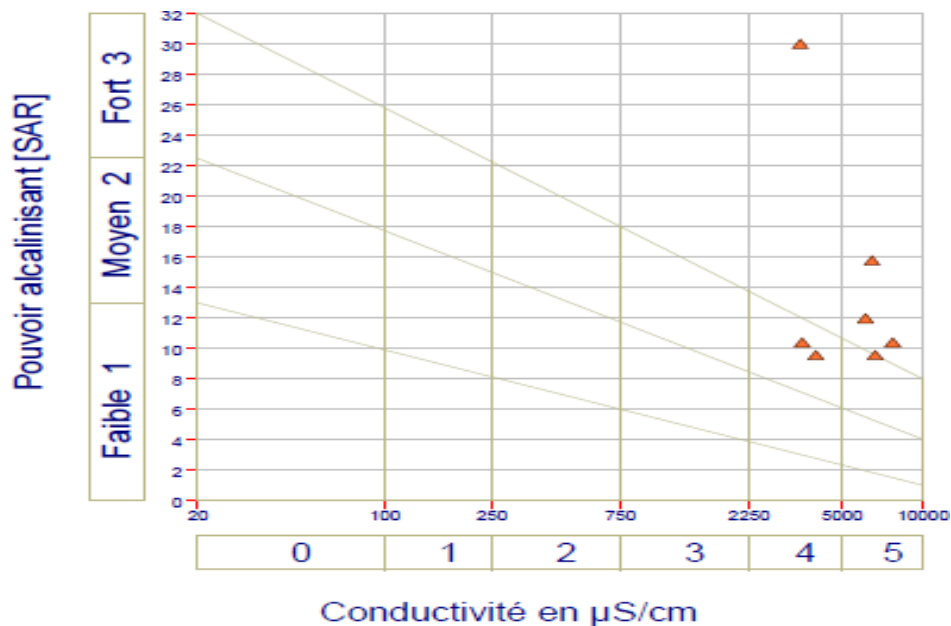


Figure 8: Classification des EUT de la station d'épuration de Sfax-Sud selon le diagramme de Riverside

Chapitre 5. Résultats et discussion

1. Caractérisation physicochimique des sols

Il faut rappeler que deux types d'échantillonnage ont été effectués sur les deux types de sols à savoir le calcisol relatif à la parcelle OTD et le fluvisol relatif à la parcelle BZ, alors que les paramètres physicochimiques relevés dans les différents profils de sols, irrigué et témoin, sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 12: Effets de l'irrigation par les EUT sur le pH, la C_{Ee}, l'ESP et les teneurs en NH₄⁺ et en NO₃⁻ dans calcisol et du fluvisol(t-test est significatif pour p<1%)

Paramètres (cm)	Prof	témoin	Sols irrigués par EUT	SEM	T	One-sample test	P(%)
Calcisol							
pH	0-30	8,54	8,28		0,0764	-3,32	1,581
	30-60	8,85	8,65		0,0626	-3,17	1,924
C _{Ee}	0-30	1,38	4,09		0,4608	5,89	0,053*
	30-60	0,87	4,35		0,4881	7,14	0,018*
ESP	0-30	0,32	4,31		0,3359	11,89	0,001*
	30-60	0,65	3,96		0,4036	9,20	0,008*
NH ₄ ⁺	0-30	0,02	0,07		0,0062	8,29	0,008*
	30-60	0,03	0,06		0,0058	5,98	0,048*
NO ₃ ⁻	0-30	0,02	0,19		0,0276	6,26	0,038*
	30-60	0,00	0,09		0,0191	5,00	0,122*
Fluvisol							
pH	0-30	8,38	8,08		0,0500	-6,00	2,667
	30-60	8,79	8,08		0,0917	-7,66	1,658
	60-90	8,92	7,94		0,0950	-10,31	0,927*
C _{Ee}	0-30	0,92	6,86		0,7758	7,66	0,830*
	30-60	1,87	7,54		0,5998	9,46	0,549*
	60-90	2,07	7,38		0,6701	7,92	0,777*
ESP	0-30	1,30	10,69		3,0608	3,06	4,589
	30-60	3,96	8,79		1,1353	4,25	2,552
	60-90	1,95	6,39		0,9802	4,52	2,272
NH ₄ ⁺	0-30	0,04	0,071		0,0050	5,36	1,651
	30-60	0,01	0,067		0,0066	7,81	0,798*
	60-90	0,05	0,065		0,0007	23,00	0,094*
NO ₃	0-30	0,14	0,160		0,0404	0,49	33,485

30-60	0,01	0,157	0,0291	5,04	1,854
60-90	0,00	0,137	0,0384	3,45	3,733
T : Student test (T = moyenne-control) / SEM); SEM: erreur standard moyenne sur les mesures faites sur les sols irrigués par les EUT; * significative pour p<1%					

Bien entendu le lessivage des sels au niveau des sols irrigués est lié à la solubilité des sels déposés (les sels de sodium sont les plus solubles), l'intensité d'irrigation, la migration des ions (contrôlée par la CEC du sol) la perméabilité du sol et d'autres facteurs (Tedeschi et Dell'Aquila, 2005). Cependant, dans notre étude, le mode d'irrigation et les pratiques culturales sont les principaux facteurs déterminants de la salinisation et la sodification des sols. En effet, vu que les plantes absorbent très peu les sels solubles (Nakayama et Bucks, 1986), la distribution verticale de ces sels dans les sols est directement liée au taux de drainage des eaux qui dépend de l'intensité d'irrigation. Au niveau du calcisol, le bon drainage des eaux est en fait en relation, en premier lieu, avec la perméabilité du sol qui est améliorée par la texture sableuse à limono sableuse ; en second lieu, avec le mode d'irrigation par submersion pratiqué d'une manière généralisée dans le périmètre et qui permet l'entraînement vertical et latéral des sels. Bien qu'il existe une croûte calcaire en subsurface sur une bonne partie de la parcelle, aucune stagnation d'eau n'a été observée. En fait, la croûte est bien fracturée permettant ainsi le bon drainage des eaux.

Par contre, le système d'irrigation appliqué au niveau du fluvisol favorise plutôt la salinisation. En raison, de sa faible perméabilité due à sa texture lourde et causant une forte rétention des eaux, le fluvisol retient mieux le Na⁺ et les autres électrolytes en surface que le calcisol. Il n'en reste pas moins que l'évolution de la salinité le long des profils du fluvisol irrigué, a confirmé de nouveau la tendance générale d'acheminement des sels de la surface vers la profondeur. En effet, ce drainage est favorisé par les pratiques culturales appliquées dans cette parcelle tel que les labours profonds et l'ajout de matières organiques. En d'autres termes, la perméabilité de ces sol est améliorée lors de l'arrêt de l'irrigation durant l'intersaison.

Tableau 13: Matrice de corrélation linéaire entre les éléments solubles, la conductivité électrique (CE) et la profondeur dans le calcisol (les corrélations significatives au seuil de 5% sont marquées en gras)

	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CE	Prof.
Na ⁺	1,00										
NH ⁺	0,49	1,00									
K ⁺	0,45	0,52	1,00								
Mg ⁺	0,69	0,52	0,54	1,00							
Ca ⁺	0,37	0,16	0,41	0,58	1,00						
Cl ⁺	0,77	0,51	0,26	0,70	0,36	1,00					
NO ³⁻	0,38	0,40	0,56	0,65	0,39	0,29	1,00				
SO ₄ ²⁻	0,77	0,58	0,54	0,71	0,47	0,87	0,36	1,00			
HCO ₃ ⁻	0,51	0,06	0,38	0,22	0,32	-0,12	0,18	0,02	1,00		
CE	0,90	0,45	0,46	0,82	0,38	0,74	0,34	0,76	0,43	1,00	
Prof	0,27	0,32	-0,04	-0,14	-0,22	0,15	-0,39	0,22	0,13	0,24	1,00

L'établissement des rapports entre les teneurs en Na⁺ et les autres éléments solubles du sol peut indiquer les tendances d'échanges et d'absorption du sol par rapport à l'infiltration des EUT. Les ratios Na/Cl et Na/HCO₃ varient entre 1 et 2. Ainsi, l'apport en sodium est compensé essentiellement par l'apport en chlorures et en bicarbonates. De plus, la corrélation positive significative entre le Na⁺ et Cl⁻ d'une part (R= 0,77) et entre Na⁺ et HCO₃⁻ d'autre part (R =0,51) indique que les sels formés dans le calcisol sont essentiellement le NaCl et le NaHCO₃. Il est évident qu'un apport en cations va être équilibré par les anions majeurs essentiellement les chlorures et les sulfates (Belaid.2010).

Tableau 14: Matrice de corrélation linéaire entre les éléments solubles, la CE et la profondeur dans le fluvisol (les corrélations significatives au seuil de 5% sont marquées en gras)

	Na+	NH+	K+	Mg+	Ca+	Cl-	NO ₃ -	SO ₄ ²⁻ -HCO ₃ ⁻	CEProf		
Na+	1,00										
NH+	0,75	1,00									
K+	0,21	0,20	1,00								
Mg+	0,53	0,40	-0,13	1,00							
Ca+	0,37	0,22	-0,27	0,96	1,00						
Cl-	0,85	0,78	0,04	0,65	0,51	1,00					
NO ₃ -	-0,55	0,69	0,03	0,39	0,29	0,82	1,00				
SO ₄ ²⁻	0,75	0,51	-0,15	0,86	0,74	0,81	0,52	1,00			
HCO ₃ ⁻	0,32	0,10	0,01	0,67	0,76	0,15	-0,12	0,36	1,00		
CE	0,80	0,56	0,07	0,90	0,82	0,83	0,56	0,89	0,61	1,00	
Prof	-0,05	-0,07	-0,55	0,37	0,37	0,01	-0,30	0,33	0,18	0,10	1,00

Les rapports établis entre le Na⁺ et les autres éléments solubles présents dans l'extrait aqueux des sols irrigués indiquent que le ratio Na/Cl varie entre 1 et 2 sur tout le profil alors que le ratio Na/SO₄ est du même ordre de grandeur uniquement dans les niveaux profonds. De plus l'existence d'une corrélation positive significative entre le Na⁺ soluble et Cl⁻ soluble (R = 0,85) et entre le Na⁺ soluble et SO₄²⁻ (R = 0,75) laisse supposer que les sels déposés dans le sol sont le NaCl et le Na₂SO₄. Ce dernier sel se forme dans les niveaux profonds essentiellement. Cependant, dans le sol témoin, uniquement le rapport Na⁺ sur HCO₃⁻ est voisin de 1. On peut donc suggérer que le NaHCO₃ était l'unique sel présent dans le sol avant irrigation (Belaid, 2010).

En plus de ces éléments majeurs, les EUT apportent de fortes concentrations en éléments azotés. On observe dans le fluvisol comme dans le calcisol et de la même manière que pour les autres éléments, un enrichissement en ammonium et en nitrate. Cependant les différentes formes d'azote sont soumises aux conditions environnementales du sol et en

particulier à l'activité biologique qui assure en même temps la dégradation et l'oxydation des formes azotées. Ces processus seront examinés par la suite.

2. Effet de la salinité sur la fertilité du sol

La relation établie entre la conductivité électrique des sols irrigués par les EUT et leurs COD, montre une corrélation négative significative ($R = -0,63$). Chow et al. (2003), ont constaté qu'une modification de la salinité du sol peut affecter la structure de la MO du sol ainsi que la concentration du COD dans les eaux des drainages. Ils ont montré que l'augmentation de la salinité et de la sodicité entraîne une diminution de la concentration du COD dans les eaux de drainages. Romkens et Dolfing (1998) ont constaté que les ions Ca sont capables de flocculer plus de 50 % du COD originalement présent dans le sol. L'augmentation de la salinité entraîne la mobilisation de différentes fractions du COD suite à leur substitution par le sodium échangeable. Rietz et Haynes (2003) précisent que l'augmentation de la salinité du sol inhibe son activité microbologique et donc la décomposition de la MO ce qui entraîne une diminution du rendement des récoltes.

3. Impact à long terme de l'irrigation par les EUT

Comme il était observé, le calcisol témoin est naturellement pauvre en azote. En effet les ratios C/N enregistrés dans ce sol (> 70) suggèrent une inhibition de l'activité microbienne qui est, à priori, provoquée par l'abondance du calcaire actif dans ce sol. Dans un tel contexte, les nitrates et l'ammonium détectés dans les niveaux profonds de ce sol sont issus des EUT. Les teneurs en NO_3^- et NH_4^+ déterminées dans le fluvisol sont plus faibles. Cela peut être attribué à la faible évolution de la MO dans ce sol ainsi qu'à la durée plus courte d'irrigation. Cependant, que ce soit au niveau du calcisol ou du fluvisol, ce lessivage de l'azote minéral loin de la zone racinaire peut d'une part affecter la fertilité des horizons de surface et d'autre part contaminer la nappe phréatique et la zone non saturée. En outre, certains auteurs ont constaté que l'accentuation de la minéralisation de la MO et de l'ammonium du sol en plus de la diminution de la capacité tampons peut entraîner la diminution du pH (Solis et al., 2005). Concernant le calcisol, on a remarqué que l'augmentation du pH en fonction de la profondeur est bien corrélée avec les teneurs en calcaire totale ($R = 0.46$, $p < 5\%$) suggérant une contribution des carbonates à la capacité tampon de ce sol qu'il soit irrigué ou non. Par contre, on a remarqué que le fluvisol irrigué par les EUT, enregistre une légère baisse de son pH par rapport au témoin. En effet, cette diminution a été attribuée par certains auteurs à la minéralisation de la MO, à la

Nitrification de l'ammonium ainsi qu'au lessivage par irrigation du calcaire actif du sol. La diminution du taux de MO et la dissolution des sels et des carbonates organiques, en raison de la faible capacité tampon du fluvisol, sont sûrement à l'origine de la baisse du pH du fluvisol irrigué. Le calcium échangeable, déterminé par extraction à l'acétate d'ammonium, ne représente pas uniquement le Ca^{2+} saturant le complexe organo-minéral du sol, mais aussi le calcium provenant de la dissolution des carbonates et des sels de calcium. Au contraire, les teneurs des autres éléments échangeables (Mg^{2+} , K^{+} et Na^{+}) augmentent, d'une manière générale, dans les deux sols irrigués seulement. Ces augmentations sont en accord avec les concentrations relativement élevées de ces cations dans les EUT. En raison de leurs propriétés spécifiques et de l'irrigation intense, ces cations échangeables acheminés par les EUT se comportent différemment selon le type de sol. Ainsi, au niveau du calcisol, de bonne perméabilité et de faible CEC, les oligoéléments apportés par les EUT sont lessivés avec les eaux de drainage, tandis qu'au niveau fluvisol ces éléments nutritifs sont accumulés dans les horizons de surface.

4. Conclusion

Au niveau du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax, l'irrigation par des EUT montre des effets sur la salinité, la sodicité et la fertilité de deux types de sols étudiés. Ainsi, en fonction de la durée de l'irrigation et du type de sol, des effets plus ou moins importants sont observés.

Conclusion

Conclusion générale

Les eaux usées constituent souvent une source d'eau tout le long de l'année et contiennent les nutriments nécessaires à la croissance des végétaux. La valeur de ces eaux est reconnue par certains agriculteurs. Leur utilisation en agriculture représente une forme de recyclage de l'eau et des nutriments, et réduit souvent l'impact environnemental qu'elles auraient en aval sur les sols et les ressources en eau (OMS, 2012).

Dans les pays secs, à faible ressources hydriques. La réutilisation de ressources non conventionnelles comme les eaux usées traitées en irrigation est une alternative qui préserve les ressources des eaux fossiles. De même les eaux usées assez riches en fertilisants assurent, généralement, une bonne croissance et développement des cultures. Néanmoins ces eaux conventionnelles utilisées en irrigation ont des effets négatifs, à savoir la salinisation des horizons, dégradation de la qualité de sol liés aux qualités physico- chimiques des EUT (Hartani,2004).

Les risques de salinisation du sol peuvent avoir lieu au fil du temps et après plusieurs irrigations répétitives, sur le site les parcelles.

Pour une meilleure utilisation des eaux usées traitées, une des mesures prises consiste à assurer un suivi périodique et régulier de l'utilisation de ces eaux. Un tel suivi est sanctionné par une évaluation de leur impact sur le sol et une recherche de solutions idoines pour résoudre les éventuels problèmes qui peuvent se poser.

D'autre part parmi les dangers associés à la consommation de produits de cultures irriguées par des eaux usées, figurent les agents pathogènes associés aux excreta et certains produits chimiques toxiques. (OMS, 2012).

De ce fait, la limitation des effets inappréciés des eaux usées traitées sur les paramètres du sol est possible par quelques pratiques entre autres :

- Un traitement des eaux usées réduisant à des concentrations trop faibles les paramètres de pollution ;
- Le choix des cultures les mieux adaptés à la composante de l'effluent ;
- L'usage de technique d'irrigation permettant de réduire au minimum la contamination (irrigation par goutte-à-goutte, par exemple) ;
- Appliquer rigoureusement un planning d'irrigation à fin de limiter l'impact indésirable des agents pathogènes dans le sol et sur les cultures

Les recommandations annoncées ci-dessus restent comme réflexion fondé sur des travaux publiés. Les précisions portant sur chaque point feront sujet de recherche pour chaque type de sol, zone géographique et conditions climatiques.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Asano, K., Krishnamoorthy, T., Phan, L., Pavitt, G. D., Hinnebusch, A. G. (1999). Conserved bipartite motifs in yeast eIF5 and eIF2B ϵ , GTPase-activating and GDP-GTP exchange factors in translation initiation, mediate binding to their common substrate eIF2. *The EMBO journal*, 18(6), 1673-1688.

A.N.R.H. 2017. Agence national des ressources hydriques de la wilaya d'Ouargla.

Abbas S.T ; Sarfraz M ; Mehdi S.M ; Hassan G et Obaid-Ur-Rehman. (2007). Trace elements accumulation in soil and rice plants irrigated with the contaminated water; *Soil & Tillage Research* 94503–509.

ADLER, E. (2005). Eléments sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement. ACONSULT, Cours sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement-ENTPE.

Al Omron, A. M., El-Maghraby, S. E., Nadeem, M. E. A., El-Eter, A. M., & Al-Mohani, H. (2012). Long term effect of irrigation with the treated sewage effluent on some soil properties of Al-Hassa Governorate, Saudi Arabia. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 11(1), 15-18.

Alvarez-Bernal D ; Contreras-Ramos S.M ; Trujillo-Tapia N ; Olalde-Portugal V ; FriasHernandez J.T.et Dendooven L. (2006). Effects of tanneries wastewater chemical and biological soil characteristics; *Applied Soil Ecology* 33, 269–277.

Aouata I. (2015). Étude et Développement De L'irrigation Souterraine en Algérie. P. 3.4.5
Aubert G. (1978). Méthodes d'analyses des sols. Ed. CRDP, Marseille. P. 191.

Ayers R S et Westcot D.W. (1985). La qualité de l'eau en agriculture. *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage*.

Baba Ahmed A. (2012). Etude De Contamination et D'accumulation de quelques métaux lourds dans des céréales, des légumes et des sols agricoles irrigués par des eaux usées de la ville de Hammam Boukhara chimie de l'environnement université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.

Baize D ; jabial B. (1995). Guide pour la description des sols. Ed INRA.

Bauder J.W., K.R., Hershberger, L.S., Browning. (2008). Soil solution and exchange complex response to repeated wetting-drying with modestly saline-sodic water. *Irrig. Sci.* 26,121-130.

Baumont S ; Camard J P ; Lefranc A et Franconi A. (2004). Reutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en ILE-de France. Rapport ORS (Observation régional de la santé d'Île-de-France). France.

Belaid N. (2010). Évaluation 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 de Doctorat en chimie et microbiologie de l'eau. Université de Sfax. Tunisie.

BENGOUGA, Khalila. (2010). CONTRIBUTION A L'ETUDE DU ROLE DE LA VEGETATION DANS L'EPURATION DES EAUX USEES DANS LES REGIONS ARIDES. Diss. Université Mohamed Khider Biskra.

Benoit J; Dauphin V; Ducrocq T; Nougazol S et Salva E. (2011). Valorisation Des Eaux Usées EnIrrigation.p.2.

Benzahi Y. (1994). Contribution à l'étude de la dynamique des sels dans un sol irrigué sous palmeraie. Thèse Ing. I.N.F.S.A.S. Ouargla. P.111 .

- Berguiga N; Bedoui R. (2012). Contribution à l'étude phytoédaphique des zones humides d'Oued Righ (cas de lac Merdjaja et chott Sidi Slimane). Thèse. Ing, Univ. Ouargla. p79.
- Biase D. (2000). Guide des analyses en pédologie, techniques et pratique, Ed INRA, Paris.
- Bliefert C et Perraud R. (2001). "Chimie de l'environnement." Air, eau, sols, déchets _ 2ème édition.
- Boukhalfa A et Kafi K. (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.
- Boukhris K. (2012). Mode de dégradation des aridosols par précipitations salines saisonnières, approche géochimique (cas de la cuvette de Ouargla). Mémoire ingénieur. Université de Ouargla.p82.
- Boumaaraf B. (2003). Contribution l'étude de la répartition spatiales des propriétés
- Boutelli M. (2012). Salinité des eaux et des sols au niveau de la Sebkhha de Bamendil, caractérisation et conséquences sur l'environnement, mémoire magister rn hydrolique, Ouargla, Algérie.
- Breulmann G; Forti M. C et Melfi A. J. (2007). Chemical effects on the soil-plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation- A pilot field study in Brazil. *Agricultural Water Management* 89, 105 – 115.
- BRL. (2011). Réutilisation des eaux usées traitées -perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action. Rapport final. Agence Française de development.
- Cammack WK; Kalff J; Prairie YT. (2004). Fluorescent dissolved organic matter in lakes: relationships with heterotrophic metabolism. *Limnology and Océanographie*.
- Chaouki M. (2017). Etude de l'évolution de la pollution minérale des eaux potables 'AEP' de la région de Ouargla (Doctoral dissertation).
- CHEKROUN, A.(2013).Étude et conception d'une station d'épuration des eaux usées domestiques par lits de roseaux pour de petites agglomérations: Cas de Fraouna (Commune de Terny) (Doctoral dissertation).
- Chen R L et Patrick JR WH. (1980). Nitrogen transformations in a simulated overland flow wastewater treatment system, *Water Research* Vol 14, 1041-1046.
- Chow A T; Tanji K K et Gao S. (2003). Production of dissolved organic carbon (DOC) and trihalomethane (THM) precursor from peat soils; *Water Research* 37 4475–4485
- Chow A.T; Tanji K.K.et Gao S. (2003). Production of dissolved organic carbon (DOC) and trihalomethane (THM) precursor from peat soils; *Water Research* 37 4475–4485.
- Clement M et Pieltain F. (2003). Analyse chimique des sols, méthodes choisies. Ed. TEC, Paris.
- Coble PG. (1996). Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy. *Marine chemistry*.
- Cortin A. (1969). Réaménagement de mise en valeur d'Oued-Righ. Etude SOGETHA et SOGREAH.p.201.
- Dhaouadi H et Marrot B. (2008). Olive mill wastewater treatment in a membrane bioreactor: process feasibility and performances. *Chemical Engineering Journal*, 145(2), 225-231.
- Dimane F ; Haboubi K ; Hanafi L et El Himri A. (2016). Etude de la performance du dispositif de traitement des eaux usées par boues actives de la ville d'Al-Hoceima, Maroc. *European Scientific Journal*, 12(17), 272-287.

- Dimane, F., Haboubi, K., Hanafi, I., & El Himri, A.(2016). Etude de la performance du dispositif de traitement des eaux usées par boues actives de la ville d'Al-Hoceima, Maroc. *European Scientific Journal*, 12(17).
- Djeddi Bouatia; Hamssa D et Chaabane Rahmoune. (2007). Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines. Diss. Constantine : Université Mentouri Constantine.
- Djeddi Hamsa.(2007).Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines
- Duchaufour P. (1977). Pédologie. Pédogenèse et classification.
- FAO. (2007). Agriculture et rareté de l'eau: une approche programmatique pour l'efficacité de l'utilisation de l'eau et la productivité agricole. COAG/2007/7, Rome
- Gadda N. (2013). Impacts des eaux usées épurées sur les propriétés physicochimiques des sols dans la région de Ouargla. p.20.
- Gaujousn D. (1995). La pollution des milieux aquatiques :aide-mémoire. Technique et documentation. Edition Lavoisier. Paris. France.
- Gharzouli, R., Hannachi, A., & TABET, Y. D. (2014). Gestion et valorisation des eaux usées en Algérie. *LARHYSS Journal* P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (19).
- Gupta R.K; Abrol I.P. (1990). Salt-affected soils: their reclamation and management for crop production. *Adv. in Soil Sci.* 11, 223-288.
- Hadj Sadok MZ. (1999). Modélisation et estimation dans les bioacteurs; prise en compte des incertitudes: application au traitement de l'eau. Diss. Nice.
- Hafouda L. (2005). Caractérisation et quantification de la salinisation du sol et de la nappe dans la vallée de Oued Rhir, Thèse de magister INA. Alger.
- Hammadi B et Bebbi Ahmed A. (2017). Lagunage Aéré en Zone Aride Performances Epuratoires, Paramètres Influent: Cas de la Région de Ouargla.
- Hartani T. (2004). La réutilisation des eaux usées en irrigation : cas de la Mitidja en Algérie Thème 2 Vers une gestion durable de l'irrigation: conséquences sur les options de modernisation. Projet INCO-WADEMED. Actes du séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée. Rabat, du 19 au 23 avril 2004. 11p.
- Hassouna M; Theraulaz F; Lafolie F; Massiani C. (2005). Characterisation and quantitative estimation of the hydrophobic, transphilic and hydrophilic fractions of DOC in soil using direct UV spectroscopy; *European Geosciences Union, Geophysical Research Abstracts*, Vol. 7, 06734.
- Herpin, U., Gloaguen, T. V., da Fonseca, A. F., Montes, C. R., Mendonça, F. C., Piveli, R. P., ... & Melfi, A. J. (2007). Chemical effects on the soil-plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation—A pilot field study in Brazil. *agricultural water management*, 89(1-2), 105-115.
- Idder, T. (2007). Le problème des excédents hydriques à Ouargla : situation actuelle et perspectives d'amélioration. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 18(3), 161-167.
- Kalloum, Slimane. (2018). ÉTUDE D'ÉLIMINATION D'UNE POLLUTION COLORANTE PAR LA PHOTOCATALYSE HÉTÉROGÈNE. Diss. Université Ahmed Draia-Adrar.
- Kamp, B., & Edeline, F. (1997). Activated sludge process improvements for the treatment of a municipal landfill leachate. *Tribune de l'Eau* (Belgium).

- Kandiah A. (1990). Environmental impacts of irrigation development with special reference to saline water use. In: *Water, Soil and Crop Management Relating to the Use of Saline Water*. AGL/MISC/16, FAO, Rome. pp.152-165.
- Khadraoui A. (2006). Sols et hydrologie agricole dans les oasis algériennes gorges d'El Kantra. P.324.
- Kim D.Y; James A et Burger B. (1997). Nitrogen transformations and soil processes in a wastewater-irrigated, mature Appalachian hardwood forest. *Forest Ecology and Management* 90 1-11. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. P.551.
- Läuchli A. et Lüttge U. (2004). *Salinity: Environment-Plants-Molecules*. Ed.
- Le Hyaric R; Canler J. P ; Barillon B ; Naquin P et Gourdon R. (2009). Characterization of screenings from three municipal wastewater treatment plants in the Region Rhône-Alpes. *Water Science and Technology*, 60(2), 525-531.
- Lement M et Pieltain F. (2003). *Analyse chimique des sols, méthodes choisies*. Ed. TEC, Paris.
- M.C; PinaC.U.etFlocchiniR.G.(2005).Distribution of heavy metals in plants cultivated.
- Metahri, Mohammed Saïd. (2012) Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes: cas de la STEP est de la ville de Tizi Ouzou. Diss. Université Mouloud Mammeri." Institut de Perspective Économique du Monde Méditerranéen (IPMED).
- Mesghouni R. (2008). La faune associée aux dattes entreposées dans deux stations de la région de Touggourt (R.A.N.O. / I.N.R.A.) ; Influence des différentes pyrales sur les fruits stockés, Tentative de multiplication des *Trichogramma cordubensis* (Hymenoptera, Trichogrammatidae). Mémoire Ing. Agro, Ouargla.p.117.
- Mouhanni H ; Hamdi H ; Bendou A ; Benzine L et Cavalli E. (2012). Impact de la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation : analyse ionique des lixiviats.
- Mozas, Morgan, and Alexis Ghosn. (2013).État des lieux du secteur de l'eau en Algérie.
- MRE. (2012). Ministère des Ressources en Eau. Le secteur de l'eau en Algérie, Algérie.
- Nader A. (2013). Eaux usées épurées de la cuvette de Ouargla Gestion et risques environnement.
- Nakayama, F.S., D.A., Bucks (1986), *Trickle Irrigation for Crop Production: Design, Operation and Management*. Elsevier, New York, NY. In Heidarpoor, M., Mostafazadeh-Fard, B; Abedi Koupai J; Malekian R. (2007). The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. *Agric. Water Manage.*90,87-94.
- Omeiri N. (1994). Contribution à l'étude de la dynamique saisonnière des sels solubles dans la cuvette de Ouargla. Thèse ING, I.N.F.S.A.S., Ouargla, 72p.
- OMS. (1989). L'utilisation des eaux usées en agriculture et aquaculture : recommandation à visées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé, Genève.
- OMS. (2012). Directives oms pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréments et des eaux ménagères.
- Pescod MB. (1992). Wastewater treatment and use in agriculture. Bull FAO, vol. 47; Rome, Italy: FAO.Pp.125.

- Pitman M G; Lauchli A. (2002). Global impact of salinity and agricultural ecosystems. In: Salinité: Environment-Plants-Molécules. Eds. A. Lauchli, V. Luttge, Kluwer, The Netherlands :3–20.
- Radoux M ; Cadelli D et Nemcova M. (1995). "A mosaic of artificial ecosystems as a wastewater treatment plant: evaluation of the pilot plant of Lallaing (France)." Proceedings of Natural and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment and Reuse. Experiences, Goals and Limits.
- Ramirez-Fuentes E ; Lucho-Constantino C E ; Escamilla-Silva et L. Dendooven. (2002). Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time; Bioresource Technology 85, 179–187.
- Rattan R.K; Datta S.P; Chhonkar P.K; Suribabu K; Singh A.K. (2005). Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater—a case study. Agriculture, Ecosystems and Environment 109, 310–322.
- Rejsek F.2002 : Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques, Centre régional
- Rhoades J.D. (1977). Potential of using saline agricultural drainage for irrigation. In Proc. Water management for irrigation and drainage. ASAE, Reno, Nevada, July1977:85-116.
- Rietz D.N et Haynes R.J. (2003). Effects of irrigation-induced salinity and sodality on soil microbial activity. Soil Biology & Biochemistry 35, 845–854.
- Rietz D.Net Haynes R.J. (2003). Effects of irrigation-induced salinity and sodality on soil microbial activity. Soil Biology & Biochemistry 35, 845–854.
- Rodier J ; Bazin C ; Chambon P ; Broutin Jp et Rodi L. (1996). Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer.8ème édition. Edition.
- Romkens P.F.A.M. et Dolfing J. (1998). Effect of Ca on the Solubility and Molecular Size Distribution of DOC and Cu Binding in Soil Solution Samples; Environmental Science & Technology, vol. 32, N° 3 363-369.
- Romkens P.F.A.M. et Dolfing J. (1998). Effect of Ca on the Solubility and Molecular Size.
- Russell J. M.; Cooper R. N et Lindsey S. B. (1993). Soil denitrification rates at wastewater irrigation sites receiving primary-treated and anaerobically treated meat-processing effluent; Bioresource Technology 43 41-46.
- Saidi.(2004) "Effet du sodium échangeable et de la concentration saline sur les propriétés physiques des sols de la plaine du Cheliff (Algérie)." Etude et gestion des sols.
- SAYAH L. (2008). Etude hydraulique du canal oued righ détermination des caractéristiques hydrauliques. p : 30.
- Solis C ; Andrade E ; Mireles A ; Reyes-Solis I.E ; Garcia-Calderon N ; Lagunas-Solar M.C ; Pina C.U et Flocchini R.G. (2005). Distribution of heavy metals in plants cultivated with wastewater irrigated soils during different periods of time. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 241, 351–355.
- Soltner D. (1989). Les bases de la production végétale. Le sol. Ed. Angers.p468.
- Tebessi A; Bahloul M. (2014). Caractérisation des eaux usées épurés de la vile de Guelma et leur aptitude à l'irrigation.
- Tedeschi A et Dell'Aquila R. (2005). Effects of irrigation with saline waters, at different concentrations, on soil physical and chemical characteristics. Agricultural Water Management77, 308–322

TERCHI S.(2014). Etude de l'impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la fertilité du sol, la plante et le rendement des systèmes d'irrigation.

Thévenot, D., Delignette-Muller, M. L., Christieans, S., & Vernozy-Rozand, C. (2005). Fate of *Listeria monocytogenes* in experimentally contaminated French sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 101(2), 189-200.

with wastewater irrigated soils during different periods of time. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 241, 351–355.

Yadav RK; Goyal B; Sharma RK; Dubey SK et Minhas PS. (2002). Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and groundwater—A case study. *Environnemental International* 28: 481–486.

Youcfi M. (2011). Étude de l'impact de l'hydro-halomorphie des sols sur la biogéographie des hydro-halophytes dans la cuvette de Ouargla. Mémoire de Magister. Université de Ouargla.

<https://www.tutiempo.net/>.

<https://www.tutiempo.net/>.

Résumé

La réutilisation des eaux usées traitées (EUT) dans l'irrigation des cultures en Algérie reste encore limitée. Des travaux ont prouvé l'impact positif de ces eaux non conventionnel sur les rendements des cultures. Néanmoins l'impact de ces eaux sur le sol ne reste pas assez connu.

A travers la présente étude, un essai expérimental portant sur l'impact des EUT sur quelques paramètres physico chimiques et chimiques du sol dans la région de Touggourt, n'a pas pu être chevé vue l'état sanitaire suit à la pandémie COVID 19. Les résultats de l'étude réalisée en Tunisie dans un cadre similaire, nous ont permis de déduire et avoir une idée sur le devenir des sols après une pratique régulière de l'irrigation su un calcisol et fluvisol.

Le sol irrigué avec l'EUT, subit une nette salinisation par les éléments majeurs et une meilleure fertilisation par les éléments fertiles. De ce faite, l'utilisation des eaux usées en irrigation doit être strictement contrôlée non seulement vis-à-vis les problèmes de santé publique, mais aussi de point de vue protection du sol qui est l'élément clé dans l'agriculture.

Mots clef : eaux usées traitées, irrigation, sol, Touggourt.

Abstract

The reuse of treated wastewater (RTW) in the irrigation of crops in Algeria is still limited. Work has proven the positive impact of these unconventional waters on crop yields. However, the impact of these waters on the soil is not sufficiently known.

Through this study, an experimental test on the impact of EUTs on some physicochemical and chemical parameters of the soil in the Touggourt region, could not be matched given the state of health following the COVID 19 pandemic. The results of the study carried out in Tunisia in a similar framework, allowed us to deduce and have an idea on the fate of the soils after a regular practice of irrigation on a calcisol and fluvisol.

The soil irrigated with the RTW, undergoes a clear salinization by the major elements and a better fertilization by the fertile elements. Therefore, the use of wastewater in irrigation must be strictly controlled not only with regard to public health issues, but also from the point of view of soil protection which is the key element in agriculture.

Keywords: treated wastewater, irrigation, soil, Touggourt.

ملخص

لا تزال إعادة استخدام المياه العادمة المعالجة في ري المحاصيل في الجزائر محدودة. لقد أثبت العمل التأثير الإيجابي لهذه المياه غير التقليدية على غلة المحاصيل. ومع ذلك ، فإن تأثير هذه المياه على التربة غير معروف بشكل كافٍ.

من خلال هذه الدراسة ، لا يمكن مطابقة اختبار تجريبي على تأثير EUTs على بعض المعايير الفيزيائية والكيميائية للتربة في منطقة تقرت ، نظرًا للحالة الصحية بعد جائحة COVID 19. نتائج الدراسة التي أجريت في تونس في إطار مماثل ، سمحت لنا بالاستنتاج والحصول على فكرة عن مصير التربة بعد ممارسة منتظمة للري على الكالسيوم وفلويسول.

تخضع التربة المروية بالمياه الصالحة للشرب لملوحة واضحة بالعناصر الرئيسية وتخصيب أفضل بالعناصر الخصبية. لذلك ، يجب مراقبة استخدام المياه العادمة في الري بشكل صارم ليس فقط فيما يتعلق بقضايا الصحة العامة ، ولكن أيضًا من وجهة نظر حماية التربة التي تعد العنصر الأساسي في الزراعة.

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي المعالجة ، الري ، التربة ، تقرت.