

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: Protect. de la ressource Sol Eaux Environnement

Présenté par: M^{elle} SAHRAOUI Maroua

M^{elle} SAHRAOUI Safa

Thème

**Impact de l'irrigation par les eaux usées
épurées sur la qualité physicochimique des sols
dans la cuvette de Ouargla**

Devant le Jury :

M.	HAMDI AISSA	Baelhadj	Pr.	Président	UKM Ouargla
Mme	LAMRANI	Cherifa	-	Encadreur	UKM Ouargla
M.	KHEMGANI	Med Abdelmalek	M.C.B.	Examineur	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2019 / 2020

REMERCIEMENTS

الحمد لله الذي اعاننا على انهاء هذا العمل وسخر لنا القوة لإتمامه فكل توفيق منه وحده وكل سهو او خطأ
قمنا ومنا الشيطان

Nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné le privilège et la chance d'étudier et nous avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.

qui nous a procurée une bonne formation.

Nous remercions notre encadreur M^{me} Lamrani Cherifa pour avoir dirigé ce travail, ses conseils ses encouragements et à finir ce travail.

Nous remercions les membres du jury d'avoir accepté de lire et d'évaluer ce mémoire. Nos Plus vifs remerciements vont au Pr. HAMDI-AISSA Belhadj

Pour avoir accepté de présider ce Jury.

Nous remercions également Mr. KHEMANI MOHAMED ABDEMALEK, pour avoir accepté de faire partie de notre jury et d'examiner notre travail.

Nous tenons de remercier la responsable de spécialité

Mr Karabi Mokhtar

Nous ne pouvons pas oublier de remercier

Notre encadreur de notre Licence M^{me} Youcef Fouzia

Nous tenons de remercier tout le personnel De station d'épuration de Ouargla,

En fin nous sommes très reconnaissantes à toutes les personnes qui nous ont aidé de près ou loin, en particulier tous nos professeurs.

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail

*A notre très cher Père (Alí) et notre très chère Mère (Saída)
qui m'ont beaucoup soutenu et encouragé jusqu'au bout.*

Que dieu leur accorde une longue vie.

*A nos grandes mères (Chamekh, Fatíma). A tous ceux qui
nous ont encouragés dans la réalisation de ce travail*

A très chères frères : Brahim, Youcef, Yakoub, Ishak

A très chères sœurs : Assía, Meriem, Soumia

A très chères oncles Mahmoud, Hamza et Faouzi

A très chères oncles et tantes

Aux maris de nos sœurs : Toufik et Abd'Elrazak

*Et dédicace spéciale aux fils de mes chères sœurs :
Nouha, Oussaid et Monder*

A notre cousine : Hanía

A mon encadreur : Mme. Lamrani

Et n'oublie pas aussi notre très chère amie,

Halima Maria, Hakíma

A toute la famille SAHRAOUI et la famille BEN AMOR

Maroua et Safa

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	3
I.1.Evaluation de la qualité des eaux l'irrigation	3
I.1.1. Les critères d'évaluation d'une qualité d'eau d'irrigation	3
I.1.2. Méthodes d'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation	6
I.1.3.Origines de l'eau d'irrigation.....	9
I.2. La réutilisation des eaux usées épurées en agricultures.....	10
I.2.1 Définition des eaux usées :.....	10
I.2.2 Origines des eaux usées	11
c.Les eaux usées pluviales :.....	12
I.2.3 Caractéristiques des eaux usées	13
I.2.7. Les stations d'épuration (STEP) :.....	18
I.3.Dégradation des sols sous irrigation	25
I.3.1 Définition de la salinisation	25
I.3.3 Définition des sols salés (sols halomorphes)	26
I.3.4. La genèse d'un sol salin et/ou sodique	27
I.3.5. Description de l'origine de la salinité.....	27
I.3.6. Facteurs intervenant dans le processus de la salinisation	28
I.3.7. Classification des sols salés	29
I.3.8. Les caractères des sels	30
I.3.9. Les sols salés dans le monde et en Algérie	31
I.3.10. Impact de la qualité de l'eau sur le sol et la plante.....	32
I.3.11. Paramètres de caractérisation des sols salés	33
Chapitre II : présentation générale de la zone d'étude	34
II.1. Présentation de la région de Ouargla	34
II.1.1 Situation géographique	34
II.1.2.Géomorphologie :	35
II.1.3. Couverture végétale :.....	35
II.1.4. Géologie :	36
II.1. 5. Pédologie	36
II.1.6. Hydrogéologie	37
II.1.7. Le climat	38

II.2. Présentation de la station d'épuration de Ouargla (STEP Said Otba).....	40
II.2.1. Situation de la station d'épuration	40
II.2.2. Caractéristiques de la STEP de Ouargla.....	40
II.2.3. Qualité de traitement	41
II.3. Irrigation et dégradation des sols dans la région de Ouargla.....	45
II.3.1. Irrigation dans la région de Ouargla :	45
II.3.2. Ressources en eau mobilisable pour l'irrigation dans la cuvette.....	45
II.3.3. Remontée de la nappe phréatique :	46
II.3.4. Les aménagements hydro-agricoles :	47
II.3.5. Caractérisation et dégradation des sols dans la cuvette de Ouargla	49
II.3.6. Dégradation du sol.....	51
Chapitre III : Matériel et méthodes	55
III.1. Choix de la zone et de la station expérimentale	55
III.1.1. Zone d'étude :	55
III.2. Méthodes de travail	56
III.2.1. Choix des points de prélèvement du sol :	57
III.2.2. Caractérisation du sol et analyse au laboratoire :	58
Chapitre IV : Caractérisation des eaux de la STEP de Ouargla	62
IV .1. Echantillonnage et méthodes d'analyse	62
IV.2. Interprétation des résultats d'analyse de la qualité des eaux usées épurées à la sortie de la STEP	63
IV.2.1. Température :	63
IV.2.2. LepH.....	64
IV.2.3. Les matières en suspension	65
IV.2.4. Conductivité électrique :	66
IV.2.5. La demande chimique en oxygène.....	66
IV.2.6. La demande biochimique en oxygène.....	67
IV.2.7. Azote total	68
IV.2.9. Nitrate :	68
IV.2.10. Nitrite NO_2^-	69
Conclusion générale	70

Figure 1: Diagramme de RIVERSIDE (Richards, 1954).....	7
Figure 2: Diagramme de WILCOX (Bradaï, 2017).	8
Figure 3:répartition des sols salins du nord l'Algérie (Insid, 2008).....	31
Figure 4: Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation	33
Figure 5 : Limites géographiques de la wilaya d'Ouargla.....	34
Figure 6 : Coupe schématique de la formation superficielle de la cuvette de Ouargla (Benriana, Bougoffa.2014).....	35
Figure 7: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (UNESCO, 1972).....	38
Figure 8: Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Ouargla(ONM., 2018).	40
Figure 9: Situation de la station d'épuration de Ouargla	40
Figure 10: Itinéraire du canal de transfert	44
Figure 11: Localisation de la station expérimentale.....	55
Figure 12: Schéma général de la démarche méthodologique.....	57
Figure 13: Evolution moyenne mensuelle de la température des eaux épurées.....	64
Figure 14 : Evolution mensuelle du pH des eaux épurées	65
Figure 15: Evolution moyenne mensuelle de MES des eaux usées épurées.	65
Figure 16: Evolution moyenne mensuelle de la conductivité électrique des eaux usées épurées.	66
Figure 17: Evolution moyenne mensuelle de la DCO des eaux usées épurées.....	67
Figure 18: Evolution moyenne mensuelle de la DBO5 des eaux usées épurées.....	67
Figure 19: Evolution moyenne mensuelle de l'Azote total des eaux usées épurées pour l'année 2017.....	68
Figure 20: Evolution moyenne mensuelle des Nitrates des eaux usées épurées (2017)	69
Figure 21: Evolution moyenne mensuelle des Nitrites des eaux usées épurées en 2017.....	69

Liste des photos

Photo 1 : bassin de dégazage et le dégrillage.	42
Photo2 : Dessablage et ouvrage de répartition	42
Photo 3: lagune d'aération, sortie de l'eau traitée et lits de séchage des boues.	43
Photo4: Rejet des excédents au niveau de sebkhatSafioune	44
Photo 5:Le système d'irrigation pratiquer dans la cuvette de Ouargla	47
Photo 6: Drain principal côté Est	48
Photo7: Drain principal côté Ouest	48
Photo 8: Sol hydromorphe et salé se situant dans la cuvette de Ouargla	53
Photo 9 : Profil 01 et description des horizons.....	59
Photo 10 : Profil 2 et description des horizons.....	60
Photo 11 : Profil 3 et description des horizons.....	61

Tableau 1: Classification des eaux d'irrigation proposée par (USDA).....	4
Tableau 2:Classement de la qualité de l'eau en fonction du danger d'alcalinisation du sol(SAR).....	5
Tableau 3: Les directives pour l'interprétation d'une eau d'irrigation selon la FAO, (1988). ..	6
Tableau 4 : Données de bases de la STEP de Ouargla (STEP de Ouargla, 2013)	41
Tableau 5:Impact de la remontée de la nappe sur les dépôts salins (Dubost et al., 1983)	51

Introduction générale

L'eau est un partenaire quotidien de l'homme, utilisée pour satisfaire ses besoins, la production d'électricité et l'usage récréatif. Du fait de la croissance démographique, de l'accroissement des besoins pour l'agriculture et l'industrie, de changement des habitudes de consommation, de l'expansion des réseaux d'approvisionnement en eau et des changements climatiques, la demande en eau, dans son ensemble, a augmenté d'une façon exponentielle **(Falizi et al., 2018)**.

Selon des statistiques récentes, la part d'eau utilisée pour l'agriculture est de loin la plus importante devant l'industrie et les besoins domestiques **(UN Water, 2017)**. Elle utilise en effet, plus de 70 % des prélèvements totaux **(FAO, 2016)**.

La garantie des besoins incessamment croissants en eau notamment dans les zones arides sahariennes est devenue un défi majeur pour l'Algérie. De ce fait, les pouvoirs publics ont tracé une stratégie de mobilisation des ressources en eau non conventionnelles, et par conséquent, la mobilisation des eaux usées épurées et leur réutilisation dans le secteur agricole **(Dape, 2013)**.

La ville de Ouargla connaît depuis des décennies déjà, à l'instar de plusieurs villes du Sahara algérien, un grave problème d'excédents hydriques qui est essentiellement causé par l'accroissement et la mauvaise gestion des rejets d'eau de drainage et des eaux résiduaires urbaines. Ce problème d'excédents hydriques est aggravé par les conditions naturelles, particulièrement difficiles, dont une topographie qui se présente sous la forme de cuvette et l'existence d'une nappe phréatique à fleur du sol. Cette situation a conduit à une remontée importante de cette dernière, qui a provoqué la dégradation des conditions environnementales et sanitaires et a mis en danger l'avenir économique de la région **(Côte, 2005 ; Idder, 1998)**

Selon l'**Office National de l'Assainissement (2013)**, l'aménagement du réseau de drainage agricole et la réalisation des stations d'épuration (STEP de Saïd Otba, Sidi khouiled et N'goussa) ont contribué à rabattre la nappe de la cuvette. Mais cette politique d'assainissement, a généré des volumes importants d'eaux usées épurées dont la totalité est rejetée dans les sebkhas.

L'objectif de ce travail est de suivre l'évolution de la qualité physique et chimique des eaux usées épurées de la STEP de Ouargla pour évaluer leur aptitude à l'irrigation et dans

Introduction générale

un deuxième temps cerné leur impact sur les sols de la région. Pour atteindre cet objectif on a scindé le travail en quatre chapitres :

Dans cette optique, on va tenter de cerner l'impact de l'irrigation par les eaux usées épurées de la STEP de Ouargla sur les sols de la région et pour se faire, on a scindé le travail sur cinq chapitres :

Le premier donne une lumière bibliographique sur l'eau d'irrigation, les eaux usées traitées et les notions de base de la salinisation et de la salinité des sols ; Le deuxième résume l'ensemble des caractéristiques générales et particulières de la région de Ouargla et de la station d'épuration SaidOtba; le troisième explicite la méthodologie générale adoptée pour la réalisation de ce travail et le derniers donne une caractérisation des eaux usées traitées de la station étudiée et la possibilité de leur utilisation en agriculture .

On termine par une conclusion générale et des perspectives

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation

L'eau d'irrigation, qu'elle que soit son origine superficielle ou souterraine, n'est jamais pure ; elle contient des sels dissous qui peuvent affecter les sols et les cultures suivant leur concentration, il est important alors d'adapter les pratiques agricoles à la qualité d'eau dont on dispose, sachant que les comportements seront différents suivant la nature des sels en cause. La composition chimique d'une eau d'irrigation doit donc être examinée en fonction de son impact sur le sol, la plante et bien évidemment l'environnement.

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides et semi-arides (**Bouaroudj, 2012**).

I.1.1. Les critères d'évaluation d'une qualité d'eau d'irrigation

Souvent, on évalue la qualité d'une eau d'irrigation en se basant sur deux critères essentiels : la salinité exprimée par la conductivité électrique (CEi) et le SAR.

A. Salinité :

Dans la plupart des pays, l'eau utilisée pour l'approvisionnement municipal est l'eau ayant la meilleure qualité disponible et elle est habituellement de faible salinité. Cependant, en conditions de pénurie en eau, la salinité peut être un problème. Elle constitue un critère important dans l'eau d'irrigation, car un excès de sel augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique. Même si le sol semble avoir beaucoup d'humidité, les plants flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration (**Durand, 1982 ; Ayers et Westcot, 1988 ; Harivandi, 1999**).

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{++}), de magnésium (Mg^{++}), de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^-) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en

solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par les matières dissoutes totales (MDT) exprimé en mg/L ou, plus couramment, par la conductivité électrique. Cette dernière est exprimée en millisiemens/centimètre (mS/cm). L'ancien nom de cette unité est le mho. Un mmho/cm est l'équivalent de 1 mS/cm qui est l'équivalent de 1 desiemens par mètre (dS/m) et en moyenne, à 640 ppm de sel. Le tableau ci-dessous, donne une classification des eaux d'irrigation proposée par l'United States Department of Agriculture (USDA) (**Harivandi, 1999**).

Tableau 1: Classification des eaux d'irrigation proposée par (USDA)

Nomination	Classe	Interprétations
Classe 1 (C1)	< 0,25 dS/m	Risque faible
Classe 2 (C2)	0,25 dS/m à 0,75 dS/m	Risque moyen
Classe 3 (C3)	0,75 S/m à 2,25 dS/m	Risque élevé
Classe 4 (C4)	2,250 dS/m à 5 dS/m	Risque très élevé
Classe 5 (C5)	>5 dS/m	Non utilisable en irrigation

(**Harivandi,1999**).

B.Le RSA ou la teneur en sodium :

L'accumulation de sodium (Sodisation) sur le complexe adsorbant des sols peut dégrader les propriétés physiques des sols (**Djeddi, 2007**). Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément dont l'origine est l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer et des eaux traitées (**Bouaroudj, 2012**).

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ratio d'absorption du sodium (RAS). Le RAS décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium, qui eux, peuvent être tolérés relativement en grande quantité dans l'eau d'irrigation.

Voici la façon dont on calcule le RAS (le sodium, le calcium, et le magnésium sont exprimé en méq/l) :

$$SAR = [Na] / \sqrt{([Mg] + [Ca]) / 2} \text{ En méq/l}$$

De l'eau avec un RAS de plus de 9, ne devrait pas être utilisée même si le contenu total en sel est relativement bas.

Un usage continu d'une eau avec un RAS élevé, provoque une destruction du sol. L'eau avec un RAS se situant entre 0 et 6 peut généralement être utilisée sur tout type de sol avec peu de problème d'accumulation de sodium. Quand le RAS se situe entre 6 et 9, les risques de problème reliés avec la perméabilité du sol augmentent. Dans ce cas, le sol devrait être échantillonné tous les 1 ou 2 ans pour déterminer si l'eau augmente la teneur en sodium du sol.

Lorsque l'eau d'irrigation est saline, une valeur de RAS encore plus basse devrait être utilisée. Les problèmes dus au sodium sont aussi reliés à la concentration totale en sel de l'eau d'irrigation. Par conséquent, des eaux d'irrigation avec des salinités entre 1,5 et 3,00 mS/cm avec un RAS au-dessus de 4 doivent être utilisées avec prudence. Des échantillons de sols doivent être prélevés annuellement afin d'éviter d'éventuels problèmes de salinité des sols. (Couture, 2004)

Le sodium agit au niveau de la défloculation du sol argileux, ce qui entraîne une diminution de la macroporosité (air) et du taux d'infiltration de l'eau. À l'aide du SAR, les eaux d'irrigation sont rangées en quatre classes. La classification est basée principalement sur l'effet du sodium sur les paramètres physiques du sol (Tab.02) (Richards, 1954).

Tableau 2: Classement de la qualité de l'eau en fonction du danger d'alcalinisation du sol (SAR)

La classe	Classe	Interprétation
Classe S1	0 < SAR ≤ 10 Bas taux de sodium	Eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols. Danger d'alcalinisation réduit, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.
Classe S2	10 < SAR ≤ 18 Taux moyen de sodium	Le danger d'alcalinisation des sols est appréciable dans les sols à textures fine et à forte capacité d'échange, surtout dans la condition de faible lessivage. Eau utilisable sur les sols de texture grossière, ou sur les sols organiques ayant une bonne perméabilité.
Classe S3	18 < SAR ≤ 26 Haut taux de sodium	Eaux pouvant provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse dans la plupart des sols, à l'exception des sols pauvres en argile. Emploi exigeant la mise en œuvre d'un aménagement spécial assurant un bon drainage et fort lessivage. L'addition de matière organique, d'amendements chimiques est souvent nécessaire.
Classe S4	SAR > 26 Très haut taux de sodium	Eaux souvent inutilisables pour l'irrigation, présentant un fort danger d'alcalinisation. Ces eaux sont utilisées pour l'irrigation, seulement si leur salinité permet l'addition de calcium ou si le sol en contient suffisamment.

Source : Durand (1982)

I.1.2. Méthodes d'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation

a. Tableau des Directives de la FAO

La FAO, et par suite des travaux de **Ayers et Westcot ; (1988)**, a mis des directives qui permettent d'évaluer la qualité de l'eau d'irrigation.

Elles constituent une première étape pour détecter les restrictions dues à une eau d'irrigation, elles mettent l'accent sur l'influence, à long terme, de la qualité de l'eau d'irrigation sur la dégradation des sols et la production des cultures.

Le tableau 3 est un instrument de gestion, comme beaucoup d'outils de ce type en agriculture. Il constitue, selon la FAO, une première étape dans la détermination des limites de qualité d'une ressource en eau en agriculture (**Bradaï, 2017**).

Tableau 3: Les directives pour l'interprétation d'une eau d'irrigation selon la **FAO, (1988)**.

Nature du problème	Unité	Restriction pour l'irrigation		
		Aucune	Légère à modérée	Forte
Salinité : <i>influe sur l'eau disponible pour la plante.</i>				
CEi	dS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
TDS	mg/l	<450	450 - 2000	>2000
Infiltration : <i>influe sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol : utiliser à la fois CEi et SAR.</i>				
SAR = 0 – 3 et CEi =	dS/m	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
SAR = 3 - 6 et CEi =	dS/m	> 1.2	1.3 - 0.3	< 0.3
SAR = 6 - 12 et CEi =	dS/m	> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
SAR = 12 - 20 et CEi =	dS/m	> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
SAR = 20 - 40 et CEi =	dS/m	> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
Toxicité de certains ions : <i>affectent les cultures sensibles.</i>				
Sodium (Na) :				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3 - 9	> 9
Irrigation par aspersion	méq/l	<3	> 3	> 9
Chlore (Cl) :				
Irrigation de surface	méq/l	< 4	4 - 10	> 10
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
Bore (B)	mg/l	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
Eléments traces	Concentration maximale d'éléments à l'état traces recommandés pour les eaux d'irrigation.			
Effets divers : <i>Affecte les cultures sensibles</i>				
Azote (NO₃-N)*	mg/l	<5	5-30	>30
Bicarbonate (HCO₃) pour aspersion sur frondaison	méq/l	<1.5	1.5-8.5	>8.5
pH		Zone normale : 6.5 - 8.4		

Source : (AYERS et WESTCOT, 1988)

b.Diagramme de RIVERSIDE (1954)

Les classes des eaux d'irrigation (C1S1...C5S4) correspondent, dans le diagramme de Riverside (Figure 01) au SAR (en ordonnées pour la lettre S) et à la conductivité (en abscisses pour la lettre C). Ainsi la classe C1S1 (coin bas à gauche) est considérée comme excellente car elle correspond à des valeurs minimales du SAR et de la conductivité ; en revanche, la classe C5S4 (coin haut à droite) est la plus mauvaise, car les valeurs du SAR et de la conductivité sont à leur maximum (**Bradaï, 2017**).

La figure 1 : suivante représente le diagramme le diagramme de Riverside,

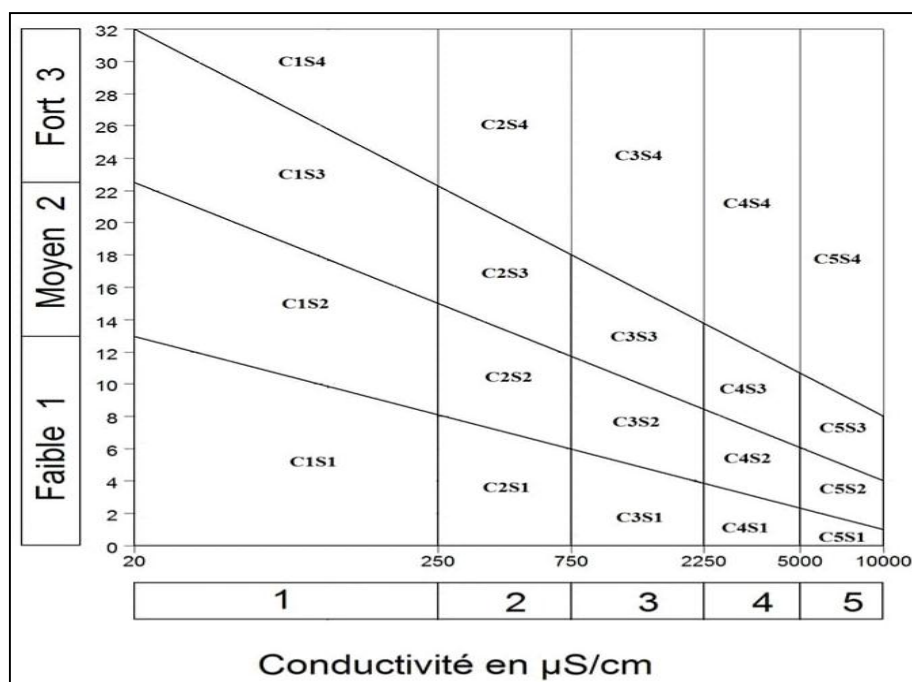


Figure 1: Diagramme de RIVERSIDE (**Richards, 1954**).

L'interprétation selon (**Durand, 1982**) des classes issues de cette projection est comme suite :

Classe (C1S1) : Eau présentant une bonne qualité pour l'irrigation, utilisable avec précautions pour les plantes sensibles.

Classes (C1S2 et C2S1) : Eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles.

Classes (C1S3, C2S2 et C3S1) : Eau de qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.

Classes (C1S4, C2S3, C3S2, C4S1) :Eau de qualité médiocre à mauvaise, a utilisé avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse.

Classes (C2S4, C4S2, C3S3) :Eau de qualité très mauvaise a utilisé que pour les sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes avec nécessité de doses de lessivages et/ou apport de gypse.

Classes (C3S4, C4S3) :Qualité très mauvaise a n'utilisé que dans des circonstances exceptionnelles.

Classe (C4S4) :Eau déconseillée pour l'irrigation.

c. Diagramme de Wilcox :

Ce diagramme est essentiellement utilisé pour évaluer le risque de salinisation dessous. Il utilise pour cela la conductivité électrique (CE) ou la charge totale dissoute, toutesdeux relatives à la salinité de l'eau, et l'indice d'adsorption du sodium (SAR en anglais) aussiappelé (pouvoir alcalisant) qui est une mesure du risque de la sodisation du sol du fait del'irrigation. Le diagramme est découpé en quatre classes de salinité (axe des abscisses) et quatre classes de risques de sodisation (axe des ordonnées).

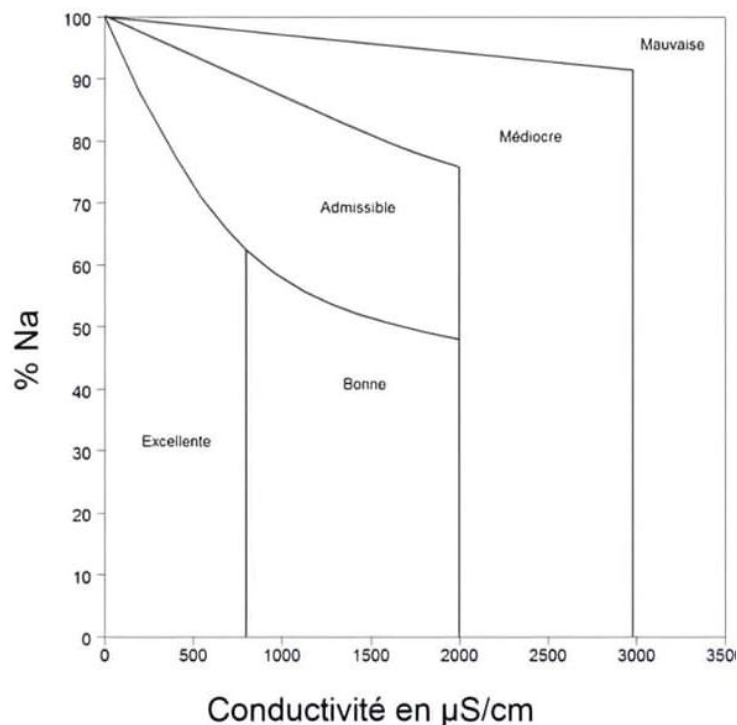


Figure 2: Diagramme de WILCOX (Bradai, 2017).

I.1.3. Origines de l'eau d'irrigation

Dans la nature, on peut signaler d'une part les petites ressources en eau comme l'humidité de l'air et l'humidité du sol que certains animaux et plantes en profitent. Et d'autre part les grandes ressources d'eau dont : l'eau des pluies (précipitations), l'eau de mer, l'eau de surface et les eaux souterraines (**Rakotondrabe, 2007**).

Lorsque l'eau de pluie tombe sur le sol, elle peut ou non y pénétrer. On conçoit aisément que suivant la nature du sol, l'eau s'infiltré ou ne s'infiltré pas dans les nappes d'eau souterraines (**Valiron, 1989**). Les eaux superficielles et souterraines sont les deux principales sources utilisées par l'homme pour satisfaire ses différents besoins (domestiques, industriels et agricoles).

a. Eaux souterraines

Les formations géologiques poreuses et perméables qui ont la propriété de permettre l'infiltration, le stockage et l'écoulement des eaux constituent les aquifères et les réservoirs des eaux souterraines. Leurs ressources en eaux proviennent de la partie des eaux de pluie non reprise par l'évaporation, la végétation ou le ruissellement (**Roux, 2000**).

Les nappes d'eaux souterraines peuvent être de deux types selon qu'elles circulent sous une couche perméable ou non.

Les nappes d'eau situées sous un sol perméable sont dites libres. Au-dessus de la nappe en effet, les pores du terrain perméable ne sont que partiellement remplis d'eau, le sol n'est pas saturé, et les eaux de pluie peuvent toujours l'imprégner davantage. Aussi, le niveau de la nappe peut-il monter ou baisser à son aise. De telles nappes peuvent donc contenir des volumes d'eau variables.

Les nappes d'eau captives sont situées entre deux couches imperméables leur niveau ne peut monter, l'eau ne pouvant s'insinuer dans un sol imperméable. Ces nappes n'ont qu'un lien ténu avec la surface par où elles sont alimentées et qui correspond à la zone où la couche perméable affleure. De telles nappes se renouvellent donc plus lentement que les nappes libres. Elles sont en général profondes, quelques centaines de mètres et plus, et si leur pente est forte, l'eau y est sous pression. La pression est même parfois suffisante pour que le creusement d'un puits permette à l'eau de jaillir en surface : une telle nappe est alors dite artésienne.

b. Eaux superficielles

L'eau de surfaces inclue toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (les eaux des ruisseaux, des rivières et fleuves, des lacs et marais, des étangs et des petites dépressions fermées). Elle a pour origines les eaux qui proviennent à la fois de la fonte des neiges, glaces et du ruissellement des eaux de pluie.

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble du bassin versant. Elles sont généralement polluées bactériologiquement, de plus, elles peuvent présenter plusieurs pollutions d'origine : urbaine, industrielle et agricole.

c. Eaux non conventionnelles (les eaux usées épurées)

La garantie des besoins incessamment croissants en eau notamment dans les zones arides sahariennes est devenue un défi majeur pour les pays en voie de développement y compris l'Algérie. De ce fait, les pouvoirs publics ont tracé une stratégie de mobilisation des ressources en eau non conventionnelles, et par conséquent, la mobilisation des eaux usées épurées et leur réutilisation dans le secteur agricole (**Dape, 2013**).

I.2. La réutilisation des eaux usées épurées en agricultures

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, altérées par les activités anthropiques à la suite d'un usage domestique, industriel, agricole ou autre. Elles sont considérées comme polluées et doivent être donc traitées avant toute réutilisation ou injection dans les milieux naturels récepteurs (**Selghi, 2001**).

La dépollution des eaux usées urbaines nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. En dehors des plus gros déchets présents dans les eaux usées, l'épuration doit permettre, au minimum, d'éliminer la majeure partie de la pollution carbonée.

I.2.1 Définition des eaux usées :

Les eaux usées sont des liquides de composition hétérogène, chargées de matières minérales ou organiques, pouvant être en suspension ou en solution, et dont certains peuvent avoir un caractère toxique.

Les eaux usées, sont un mélange de plusieurs types d'eaux et pour éviter la pollution, sont acheminées par un réseau d'assainissement vers une station d'épuration pour y être traitées et si possible réutilisées (**Bachi, 2010**).

I.2.2 Origines des eaux usées

On distingue quatre grandes catégories d'eaux usées : les eaux domestiques, les eaux industrielles, les eaux pluviales et les eaux de drainage agricole.

L'accroissement du nombre de population ainsi que le développement des moyens d'exploitation, que ce soit des eaux de surface ou souterraines ; à engendrer une amplification dans les quantités d'eau usées rejetées. Ces volumes importants de pollution rejetée dépassent la capacité d'épuration des milieux récepteurs ce qui induit une détérioration de l'environnement.

a. Les eaux usées domestiques :

Elles constituent généralement l'essentiel de la pollution et se composent :

- Des eaux de cuisine qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes des substances alimentaires à base de matières organiques (glucides, lipides, protides) ;
- Des eaux buanderie contenant principalement des détergents ;
- Des eaux de salle de bains chargées en produits utilisée pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées ;
- Des eaux de vannes qui proviennent des sanitaire (WC), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, chargées en composés azotés, phosphorés et en microorganismes(**Rejsek, 2002**).

b. Les eaux industrielles

Les caractéristiques des eaux rejetées des industries sont très différentes de celles des eaux usées domestiques, et elles sont très différentes d'une industrie à l'autre.

En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles sont chargées en différentes substances chimiques organiques et métalliques. Selon leur origine industrielle elles peuvent également contenir :

- des graisses (industries agroalimentaires, équarrissage) ;
- des hydrocarbures (raffineries) ;
- des métaux (traitements de surface, métallurgie) ;
- des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques divers, Tanneries) ;
- de l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques) ;
- des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

c. Les eaux usées pluviales :

Ce sont des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation. Elles peuvent être particulièrement polluées, surtout en début de pluie, par deux mécanismes :

Le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées : Les déchets solides ou liquides déposés par temps sec sur ces surfaces sont entraînés dans le réseau d'assainissement par les premières précipitations qui se produisent ;

La remise en suspension des dépôts des collecteurs par temps sec : l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs du réseau est lent, ce qui favorise le dépôt de matières décantables. Lors d'une précipitation, le flux d'eau plus important permet la remise en suspension de ces dépôts.

Elles sont de même nature que les eaux usées domestiques, avec en plus, des métaux lourds et des toxiques (plomb, zinc, hydrocarbures) provenant essentiellement de la circulation automobile.

d. Les eaux agricoles :

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides, elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargées d'engrais azotés et phosphatés sous une forme

ionique ou en quantité telle qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux de surface (**Mertahri, 2012**).

I.2.3 Caractéristiques des eaux usées

Selon **Tabet, (2015)**, les normes de rejet des eaux usées, fixent des indicateurs de qualité physicochimique et biologique. Ce potentiel de pollution généralement exprimé en mg/l, est quantifié et apprécié par une série d'analyses. Certains de ces paramètres sont indicateurs de modifications que cette eau sera susceptible d'apporter aux milieux naturels récepteurs. Pour les eaux usées domestiques, industrielles et les effluents naturels, on peut retenir les principales caractéristiques suivantes :

a. Caractéristiques physico-chimiques

Ils résultent de l'introduction dans un milieu des substances conduisant à son altération, se traduisant généralement par des modifications des caractéristiques physicochimiques du milieu récepteur.

- La température

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32°C par contre, elle est fortement diminuée pour des températures de 12 à 15°C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C (**Rodier,2005**).

- Le potentiel d'Hydrogène (pH)

D'après **Rodier (2005)**, Les organismes sont très sensibles aux variations du pH, et un développement correct de la faune et de la flore aquatique n'est possible que si sa valeur est comprise entre 6 et 9.

L'influence du pH se fait également ressentir par le rôle qu'il exerce sur les autres éléments comme les ions des métaux dont il peut diminuer ou augmenter leur mobilité en solution biodisponible et donc leur toxicité.

Le pH joue un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien. La nitrification optimale ne se fait qu'à des valeurs de pH comprises entre 7,5 et 9.

- La turbidité

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale ou en suspension dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau (Said, 2012).

- Les matières en suspension (MES)

Elles représentent, la fraction constituée par l'ensemble des particules, organiques ou minérales, non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel (Said, 2012).

- La conductivité électrique

La conductivité est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau). La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (Rodier, 2009). Sa mesure est utile car au-delà de la valeur limite de la salinité correspondant à une conductivité de 2500 $\mu\text{Sm/cm}$, la prolifération de microorganismes peut être réduite d'où une baisse du rendement épuratoire (Said, 2012).

- La demande biologique en oxygène (DBO₅)

Sa détermination consiste à mesurer la quantité totale de l'oxygène consommé, par des processus biochimiques, au cours de l'oxydation des matières organiques dans un échantillon donné. La DBO a été standardisée en DBO₅, mesurée au bout de 5 jours, considérée comme une période significative du processus global de biodégradation qui prend des semaines. Des appareils automatisés, tels que le Micro-Ox max (Columbus), Permettent de mesurer la DBO₅ ainsi que la production de CO₂. Ces mesures sont souvent utilisées pour vérifier le caractère biodégradable d'un composé. Elles permettent aussi d'avoir indirectement une idée de la constitution organique globale d'un effluent. Une eau potable doit avoir une DBO₅ pratiquement nulle. Les eaux usées urbaines ont une DBO₅ pouvant varier de 150 à 350 mg/L. Des valeurs bien plus élevées sont enregistrées à la sortie des laiteries, abattoirs, et

surtout des distilleries (vinasses), pouvant parfois s'élever à plus de 30 000 mg/L (**Pelmont J., 2005**).

- La demande chimique en oxygène (DCO)

C'est la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation de l'ensemble des matières minérales et organiques biodégradables ou non, présentes dans un milieu ; Soit donc à la fois les matières oxydables par des processus purement chimiques et celles oxydables par des processus biochimiques (Bousseboua, 2005). La DCO est obtenue à l'aide d'un agent oxydant puissant comme le dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$). La valeur de la DCO est toujours plus élevée que celle de la DBO_5 , car de nombreuses substances organiques peuvent être oxydées chimiquement. (**Metiche, 2004**). La DCO est également évaluée en mg et même en kg dans les eaux usées industrielles (**Pelmont, 2005**).

-L'oxygène dissous

L'oxygène est souvent présent dans l'eau. Sa solubilité est en fonction de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité. La teneur de l'oxygène dans l'eau dépasse rarement 10 mg/l. Elle est en fonction de l'origine de l'eau ; L'eau usée domestique peut contenir de 2 à 8mg/l (**Ladjel, 2006**)

- Les métaux lourds

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux (de l'ordre de quelques $\mu g/l$). Les plus abondants sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces. Leurs origines sont multiples : ils proviennent « des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels » (**Cauchi et al, 1996**). Selon (**Vilagines.2003**) les éléments cités dans la littérature comme étant les plus dangereux sont le plomb (Pb), l'arsenic (As), le mercure (Hg), le cadmium (Cd) et le nickel (Ni).

b.Caractéristiques bactériologiques

Pour les bactéries, rechercher les organismes pathogènes de manière spécifique est trop coûteux et aléatoire, c'est pourquoi l'on s'intéresse aux concentrations de germes témoins (coliformes totaux, coliformes fécaux et streptocoques fécaux en général) pour estimer la population de pathogènes. En effet, il existe une corrélation entre la présence de ces bactéries témoins et la présence de bactéries pathogènes. Pour les parasites, il s'agit essentiellement de la recherche des formes de résistance des protozoaires (kystes) et des œufs d'helminthes. Il est important de rappeler que les helminthes constituent le risque majeur à cause de leur persistance et leur très faible dose infectieuse. Les bactéries et les protozoaires présentent un risque plus faible. Les virus présentent le risque le moins (**Baumont et al, 2004**).

I.2.4. Domaines de la réutilisation

- **Usages non potables**

Selon **Boutin et al (2009)** les usages non potables sont principalement

-Irrigation agricole

Cultures céréalières, arbres fruitiers, forêts, protection contre le gel,

-Utilisations industrielles

Eaux de refroidissement, eaux de procédés (processus), Générateur de vapeurs, nettoyage des équipements, protection contre les incendies, (**Benkrima et al ,2013**).

-Utilisations urbaines

Entretien de voirie, lavage des WC (chasse) et des voitures, nettoyage des édifices publics (**Boutin et al ,2009**).

-Usages récréatifs

Lacs et bassins artificiels, soutien au débit d'étiage des cours d'eau, entretien des habitats naturels et des zones humides, production de neige glace, pêcheries (**Benkrima et al ,2013**).

- **Recharge de nappe**

Lutte contre l'intrusion d'eau de mer ou d'eau saumâtre dans le cas d'une surexploitation de l'aquifère, réapprovisionnement des nappes en situation critique, stockage de l'eau traitée en prévision de futures utilisations (**Boutin et al ,2009**).

- **Usages potables** sont quant à eaux majoritairement :

- Production indirecte d'eau potable

Augmentation de la disponibilité en eau. Production souvent liée à la recharge de nappe.

- Production directe d'eau potable

L'usine de Windhoek (Namibie) est l'exemple le plus connu de production d'eau potable à partir d'eaux usées traitées mais cette pratique est peu répandue de fait de facteur psychologique (**Boutin et al ,2009**).

I.2.5. Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation

Les caractéristiques de qualité chimique et physique sont identiques pour n'importe quelle eau d'irrigation. À cet égard, les directives générales présentées peuvent être employées pour évaluer l'eau usée traitée, utilisée à des fins d'irrigation, en termes de constituants chimiques, tels que les sels dissous, le contenu en sodium et les ions toxiques. La procédure demeure la même qu'avec les autres types d'eaux (**Faby&Brissaud, 1997**).

I.2.6. Situation de la réutilisation des eaux usées dans l'agriculture en Algérie ;

La réutilisation des eaux usées en agriculture est une pratique qui date des temps anciens. Selon le MRE, dès les années 1990, des programmes de réalisation et de modernisation d'ouvrages de traitement destinés à la réutilisation des eaux usées en irrigation ont été mis en oeuvre(**MRE, 2012**). Le ratio entre la réutilisation des eaux usées et l'affectation des ressources permet d'estimer la contribution de la réutilisation des eaux usées en irrigation. Cette contribution est de 13.37% dans le cas de la région hydrographique ChelifZahrez, de 21.4% dans la région hydrographique Constantine- Seybousse-Mellegue, et de 34.92 % dans la région hydrographique Oranie-Chott-Chergui. Cette n devient même prépondérante avec un ratio de 45%, voire 100% dans le cas du périmètre de Mléta dans la région de l'Oranie de l'Ouest algérien (**Hartani , 2005 &Attab , 2011**).

Par ailleurs, la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation doit concerner en priorité les zones déficitaires en eau conventionnelle (**MRE, 2012**). Parmi les stations d'épurations exploitées par l'ONA à travers les 43 wilayas, quelques stations sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture. En 2011, le volume réutilisé est estimé à 17 millions de m³/an, afin d'irriguer plus de 10 000 hectares de superficie agricoles (**MRE, 2012**). En effet ce potentiel de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles a connu une évolution significative où environ 17 millions de m³ ont été enregistrés en 2011, environ 45 millions de m³ en 2012, 300 millions de m³ en 2014 (**MRE, 2012, ONA, 2014**).

I.2.7. Les stations d'épuration (STEP) :

Elles constituent une voie d'élimination de la pollution des eaux usées, dans la mesure où celles-ci y subissent toute une batterie de traitements avant leur déversement dans le milieu naturel.

Une STEP, généralement placée à l'extrémité aval d'un réseau est conçue pour épurer les eaux usées et limiter l'apport en excès de matière organique et dans certains cas, des substances minérales telles les nitrates et les phosphates dans les milieux récepteurs, sachant que certaines substances contenues dans un effluent, à partir d'une certaine concentration, peuvent constituer un danger pour la communauté aquatique, l'épuration des eaux usées diminue l'impact sur les écosystèmes aquatiques (**Briere, 1994**).

I.2.7.1. Etapes de traitement des eaux usées

L'ensemble des ouvrages de traitement utilisés s'appelle la filière de traitement. Elle consiste à associer judicieusement différentes étapes pour satisfaire à une qualité d'eau traitée compatible avec la qualité du milieu récepteur, il faudra prendre en compte les sous-produits de l'épuration, en particulier les boues extraites de la filière de traitement des eaux résiduaires urbaines.

- **Prétraitement :**

La première étape du traitement consiste à débarrasser les effluents de tout élément susceptible de gêner le fonctionnement des ouvrages (**Grosclaude, 1999**). Ils permettent d'éliminer les matières les plus grossières, susceptibles d'endommager les Organes mécaniques ou de perturber l'efficacité des étapes ultérieures (**Rejsek, 2002**).

Les opérations de prétraitement sont les suivantes : le dégrillage, le dessablage, le dégraissage également appelé déshuilage.

Dégrillage :

L'eau brute passe à travers des grilles composées de barreaux placés verticalement ou inclinés de 60 à 80° sur l'horizontale. L'espacement des barreaux varie de 6 à 100 mm. La vitesse moyenne de passage entre les barreaux est comprise entre 0,6 et 1 m/s (**Gäid, 1993**).

Le dégrillage et le tamisage permettent de retirer de l'eau les déchets insolubles tels que les branches, les plastiques, etc. Celles-ci sont en général équipées de systèmes automatiques de nettoyage pour éviter leur colmatage, et aussi pour éviter le dysfonctionnement de la pompe (dans les cas où il y aurait un système de pompage) (**Dekhil et Zaibet, 2013**).

Dessablage :

Le dessablage s'effectue sur des particules de dimensions supérieures 200 µm. La vitesse de sédimentation se calcule par la loi de Stokes (chute libre). On calcule la section du dessableur de manière que la vitesse de l'eau ne descende pas au-dessous de 0,30 à 0,20 m/s ; on évite ainsi que les matières organiques se déposent en même temps que les sables.

Le sable séparé contient malgré tout des matières organiques et plusieurs dispositifs sont appliqués pour améliorer sa qualité : lavage par hydro cyclone, extraction des fosses déstockages par des moyens mécaniques qui font, en même temps, office de laveur de sable.

Le volume de sable extrait par habitant et par an est de l'ordre de 5 à 12 dm³ (**Gäid, 1993**)

Déshuilage-dégraissage :

Le déshuilage-dégraissage se rapporte à l'extraction de toutes les matières flottantes d'une densité inférieure à celle de l'eau. Ces matières sont de natures très diverses et leurs quantités s'estime par la mesure des matières extractibles par solvants. La teneur des eaux usées en matières extractibles est de l'ordre de 30 à 75 mg/L.

Le plus souvent, les fonctions de dessablage et de déshuilage sont combinées dans un même ouvrage (**Gäid, 1993**).

- **Les traitements physiques :**

a) **La décantation primaire** ; permet d'alléger les traitements biologiques ou chimiques ultérieurs, en éliminant une partie des solides en suspension. L'efficacité du traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle (qui s'oppose à la décantation). La décantation primaire permet d'éliminer, pour une vitesse ascensionnelle de 1,2 m/h, 40 à 60 % de MES, soit 10 à 30 % des virus, 50 à 90 % des helminthes et moins de 50 % des kystes de protozoaires (**Faby, 1997**). La décantation de MES entraîne également avec elle des micro-polluants.

b) **La décantation secondaire**, Appelée également clarification, elle intervient après le traitement biologique ou chimique, afin d'éliminer les floes issus de ces derniers. Lors des phases de décantation, l'élimination des microorganismes et des micropolluants se fait principalement par décantation de MES (sur lesquelles ils sont adsorbés) (**Faby&Brissaud, 1997**).

- **Les traitements physico-chimiques**

Ils sont généralement utilisés dans les stations d'épuration de grande capacité, ou dans celles ayant à faire face à de grandes variations de charge dans l'année (zone touristique). Ils comportent classiquement deux phases : une phase de **coagulation** par des sels de fer ou d'aluminium, puis une **floculation** des colloïdes formés. La séparation du floc a lieu pendant la phase de **clarification** (décantation secondaire). Les procédés les plus modernes utilisent du microsable injecté dans l'effluent afin d'accélérer la décantation des floes. On parle alors d'élimination à floes lestés (**Lazarova, 2003**). Les traitements physico-chimiques permettent un bon abattement des virus. Cependant, leur utilisation, et notamment le dosage de sels de fer et d'aluminium, n'est pas toujours bien optimisée, sinon maîtrisée. Il y a donc un risque de surcoût lié à une mauvaise utilisation, voire un risque environnemental (**Asano, 1998**).

- **Traitement secondaire ou biologique :**

Les techniques d'épuration biologiques utilisent l'activité des bactéries dans l'eau, qui dégradent la matière organique. Ces techniques peuvent être anaérobies, c'est-à-dire se déroulant en absence d'oxygène, ou aérobies c'est-à-dire nécessitant un apport d'oxygène. Parmi les traitements biologiques, on distingue les procédés biologiques extensifs et les procédés biologiques intensifs (**Benzaoui et Elbous, 2009**).

L'élimination des matières organiques implique le recours à des traitements biologiques qui font intervenir des organismes vivants, essentiellement des bactéries (**Ladjel, 2006**).

-Différents procédés biologiques :

1. Culture fixée

a. Lits bactériens

Est le plus ancien procédé biologique. Des bactéries sont cultivées sur un substrat neutre, comme de la pierre concassée, du pouzzolane (sable volcanique), du mâchefer ou du plastique. On fait passer l'effluent sur le substrat. La difficulté consiste à trouver la bonne vitesse du flux d'eau, qui ne doit pas être trop rapide (pour permettre la dégradation bactérienne) ni trop lente (pour une bonne évacuation de MES en excès). Une épuration sur lit bactérien est plus efficace qu'un traitement à boues activées car elle élimine non seulement virus et bactéries (respectivement 30 à 40 % et 50 à 95 %) mais aussi les œufs d'helminthes (20 à 90 %) et les kystes de protozoaires (83 à 99 % des kystes d'*Entamoebahistoltyca*) (**Faby, 1997**).

b. Bio disques

Ce procédé consiste à alimenter en eau usée, préalablement décantée voire tamisée, une cuve contenant des disques en rotation sur un axe horizontal.

Ces disques sont les supports d'un développement de microorganismes épurateurs (biofilm).

Le mélange d'eau traitée et de biofilm décroché est dirigé ensuite vers un clarificateur pour la séparation des phases (**Joseph et al ,2002**).

Les supports sont des disques rotatifs en polystyrène d'environ 2 m de diamètre et 2 cm d'épaisseur, à moitié immergés dans l'effluent. Les bactéries se développent en bio film, dont l'épaisseur est fixée par les forces de cisaillement liées à la rotation des disques sur le support. L'aération est due au passage dans l'air des disques tandis que l'effluent à dégrader ruisselle sur les bios-films (**Dagot et Laurent, 2014**).

c. biofiltre

Le dernier traitement biologique mis au point est le **biofiltre**, qui combine les actions épuratrices de la filtration et de l'activité microbienne. C'est un traitement intensif qui est rapide à mettre en place, qui prend peu de place, et qui ne nécessite pas de bassin de clarification. Il est donc beaucoup utilisé dans les unités de traitement individuelles. Par contre, il nécessite un nettoyage fréquent du filtre. Son efficacité serait similaire à celle des boues activées.

Les bios filtres nécessitent des opérations de lavage à l'air et à l'eau afin de séparer les particules emprisonnées dans le massif et l'eau épurée. Ces installations se positionnent généralement en aval d'un prétraitement physico-chimique de coagulation, floculation, décantation (**Dagot et Laurent, 2014**).

2. Culture libre

a. Le lagunage

Est un procédé extensif, simulant le fonctionnement d'un plan d'eau et nécessitant des disponibilités foncières. Il existe plusieurs types de lagunage : il est dit naturel ; lorsque l'aération est uniquement due au batillage, et aéré lorsque l'aération est forcée par des aérateurs de surface. Généralement un ensemble lagunaire de traitement des eaux est un ensemble de 3 bassins dont le premier, le plus grand, assure le principal du traitement, les deux autres assurant l'affinage. Les temps de séjour varient d'une vingtaine de jours pour les lagunes aérées à 3 mois pour les lagunes naturelles (**Dagot et Laurent, 2014**).

b. Boues activé :

Le principe du procédé à boues activées consiste donc à provoquer le développement d'un floc bactérien dans un bassin (bassins d'aération) alimenté en eau usée à traiter. La prolifération des micro-organismes nécessite aussi une oxygénation suffisante (**Bensaber, 2005**).

Dans un bassin brassé, aéré (bassin d'aération) et alimenté en eau à épurer le brassage a pour but d'éviter les dépôts et d'homogénéiser le mélange des flocons bactériens et de l'eau usée (liqueur mixte).

Après un temps de contact suffisant, la liqueur mixte est envoyée dans un clarificateur appelé parfois décanteur secondaire, destiné à séparer l'eau épurée des boues. Une partie de ces dernières sont recyclées dans le bassin d'aération pour y maintenir une concentration

suffisante en bactéries épuratrices. L'excédent (boues secondaires en excès) est extrait du système et évacué vers le traitement des boues (**Metahri, 2012**).

- **Traitement tertiaire :**

Ce type de traitement a pour but d'améliorer certains paramètres spécifiques de la qualité des rejets dans un milieu naturel vulnérable. Parmi ces traitements, les plus importants sont les suivants :

- **Désinfection** : lorsque le rejet a lieu dans un milieu aquatique à usage balnéaire, pour diminuer les risques de contamination (eau potable, conchyliculture...) ou pour réduire les risques liés aux perturbateurs endocriniens. L'oxydation par les UV ou par l'ozone est la plus utilisée actuellement.

- **Traitement de finition** : afin de diminuer au maximum les MES, la DBO5, la DCO (filtre sable), les teneurs en phosphore (précipitation chimique).

Traitement sur charbon actif utilise pour éliminer par adsorption les molécules résistantes aux traitements biologiques (**Belhani et al, 2008**).

- **Traitement des boues :**

A la fin du traitement des eaux il reste un liquide comprenant entre 1 et 4% de matières en suspension désigné sous le nom de « boues ». L'élimination des boues, part importante de l'investissement (30 à 50 % environ), est généralement une part encore plus importante de l'exploitation (50 % en moyenne). Elle a pour but :

- D'empêcher la putréfaction,
- D'en réduire le volume.

Le traitement des boues est très différent pour les petites et pour les grandes stations. Les procédés que nous allons énumérer d'abord sont plus spécifiquement réservés aux grandes stations (**François, 1989**).

a. Epaissement :

Avant la digestion, on procède souvent à un épaissement destiné à diminuer les volumes des ouvrages et à en faciliter le fonctionnement. La technique des épaissements diffère très peu de celle des décanteurs, l'utilisation d'adjuvants peut être précieuse. La densité des boues étant faible, il est possible d'utiliser la flottation pour les boues en excès, on injecte de fines bulles d'air qui les rendent plus légères que l'eau et permettent leur entraînement en surface (**François, 1989**).

b. Stabilisation :

La stabilisation consiste à assurer une qualité constante des boues, sans reprise incontrôlée de fermentation en minéralisant la matière organique résiduelle et complexe.

On distingue :

La stabilisation aérobie qui consiste d'apporter de l'oxygène aux boues par l'intermédiaire de turbines ou d'insufflateurs type vibrai afin de favoriser l'oxydation de la matière organique constitutive des boues. La stabilisation anaérobie, ou fermentation méthanique, ou les boues fermentent à l'abri en générant du biogaz ($\text{CO}_2 + \text{CH}_4$) (**Raymond, 2013**).

c. Déshydratation

Les boues urbaines sont des suspensions concentrées (plus ou moins hétérogènes) de particules dont l'état de division est tel que les phénomènes superficiels jouent un rôle prépondérant dans la stabilité de ces systèmes. La séparation des boues en une phase solide et une phase liquide (nécessite dans la majorité des cas la destruction de l'état colloïdal. Ou de l'état de gel (conditionnement).

Les méthodes de déshydratation communément employées sont :

- Déshydratation naturelle : La déshydratation à l'air.
- Déshydratation mécanique : La filtration sous vide.
- La filtration sous pression.
- La centrifugation (**Raymond, 2013**).

d. Lits séchages :

Ce sont des lits composés de matériaux filtrants, la boue reste en surface, l'eau s'évacue par des drains, cette solution a l'avantage de la simplicité, ses inconvénients sont un grand encombrement (il faut compter 1 m² pour 5 à 15 usagers) et une dépendance notable des phénomènes atmosphériques. On a songé à des lits couverts, voire chauffés, mais le prix d'investissement croit alors très rapidement. Il semble que cette solution soit maintenant réservée à de très petites stations (**François, 1989**).

I.3. Dégradation des sols sous irrigation

Le développement des systèmes d'irrigation a permis la mise en valeur des terres en zones arides et semi-arides. C'est ainsi que depuis une cinquantaine d'années, de grands périmètres ont été réalisés.

En Algérie pour combler le déficit en eaux des cultures, des pratiques d'irrigation à grande échelle ont modifié le fonctionnement des sols et accru le risque de salinisation et alcalinisation, plus de 20 % des sols irrigués sont concernés par le problème de salinité (**Douaoui et Hartani, 2007**).

Les agriculteurs, dans les plaines qui sont connues par leur climat aride et semi-aride très sévère, caractérisé par une forte évapotranspiration et une salinisation des sols qui ne cesse pas d'augmenter (**Douaoui, 2005**) utilisent comme sources d'irrigation : les eaux souterraines, les eaux des barrages ou épurées. Ces dernières sont de qualité médiocre et leur utilisation ne sera pas sans conséquences sur la qualité des sols et le rendement des réseaux d'irrigation.

I.3.1 Définition de la salinisation

La salinisation est définie par **Servant (1975)**, comme étant l'ensemble des mécanismes suivant lesquels le sol s'enrichit en sels solubles et acquiert, à un degré plus ou moins fort, le caractère salé. **Cherbuy (1991)** a ajouté qu'il s'agit d'un processus résultant de la migration des sels à travers le profil du sol et de leur accumulation, par précipitation en profondeur.

La salinisation est le phénomène d'accumulation des sels solubles (en particulier le sodium) à la surface du sol et dans la zone racinaire, occasionne des effets nocifs sur les

végétaux qui vont induire une diminution des rendements et une stérilité du sol (Mermoud,2001).

François (2008) a actualisé la définition de la salinisation comme étant un phénomène par lequel un sol devient sur salé. La salinisation résulte le plus souvent de l'irrigation de sols mal drainés sous climat aride. La stagnation de l'eau dans les couches superficielles du sol par défaut de drainage se traduit par une accumulation de sels dans les horizons les plus superficiels, car les mouvements ascendants, liés à la forte évaporation due au climat chaud et aride, excèdent de beaucoup l'infiltration et donc le lessivage.

I.3.2 Définition de la salinité

Plusieurs auteurs ont défini la salinité des sols comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles, ou lorsque les concentrations en Na, Ca, Mg sous formes de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées. Un sol salé indique la prédominance de NaCl (Asloum., 1990).

La salinité des sols et des eaux, constitue un obstacle majeur pour la croissance des végétaux, dans les régions arides et semi-arides.

I.3.3 Définition des sols salés (sols halomorphes)

Les sols salins sont naturellement présents sous tous les climats et sur tous les continents. Ils sont là où l'évaporation excède les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire, ils sont étroitement liés à une source de salinité d'ordre géologique (évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eaux marines) (Girard et al., 2005). Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles. On parle en général de sol salé lorsque la concentration des solutions dépasse $0,5 \text{ g.l}^{-1}$ (Robert., 1996). Génétiquement, les sols sont constitués par deux unités très différentes, les salisols, dans lesquels les sels de sodium, de calcium ou de magnésium sont sous la forme soluble de sels simples ou complexes. Les sodisols à complexe sodique dans lesquels les cations, essentiellement le sodium sont sous la forme échangeable, les sels solubles étant très peu abondants (BouteyreetLoyer., 1992).

La teneur en sels est le critère le plus important pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation. Cette teneur peut être exprimée en termes de conductivité électrique ou en ppm

ou méq/l. Généralement, une augmentation de la teneur en sels dans l'eau d'irrigation résultera dans une augmentation de la salinité de la solution du sol.

I.3.4. La genèse d'un sol salin et/ou sodique

La formation d'un sol salin ou sodique résulte généralement de l'accumulation des sels dans les horizons de surface (**Essington, 2004**). Le régime hydrique du sol, la forme de sel, les conditions climatiques et la texture des sols sont les paramètres les plus importants qui manifestent la genèse d'un sol salin. Les sels les plus communs présents dans la solution du sol correspondent aux cations Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , et aux anions Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , NO_3^- . Egalement le bore, l'arsenic et le molybdène (les éléments traces) sont considérés comme d'autres sels moins courants et plus toxiques à faibles concentrations (**Keren 2000, Essington 2004**). De façon analogue à la formation d'un sol salin, un sol devient sodique lorsque la proportion d'ions Na^+ dépasse celle des autres électrolytes de plusieurs ordres de grandeur (**Sumner 1993, Levy 2000, Essington 2004**). Cela dépend de la source de sels mais aussi des conditions physico-chimiques du sol. Selon **Bolt et al (1978)**, la salinité se produit si :

$$\text{CE}_i \times \text{Q}_i > \text{CE}_d \times \text{Q}_d$$

I.3.5. Description de l'origine de la salinité

La salinisation des sols est un processus anthropogénique, alors que la salinité du sol est un élément naturel et un facteur écologique constitué par la teneur en sel (des eaux ou des sols). C'est un facteur limitant de nombreux écosystèmes. L'excès de sel dans les sols empêche le développement d'une végétation normale, seules quelques plantes halophiles pouvant y croître. À l'opposé, la carence en sel des sols peut entraver le développement de certaines populations animales. On a ainsi pu mettre en évidence que la déficience en chlorure de sodium édaphique s'accompagnait de très faibles densités de population de campagnols dans les prairies naturelles. (**Ramade, 2008**).

La salinisation est contrôlée par un ensemble de facteurs liés aux conditions environnementales (climat, hydrologie), l'approvisionnement en eau et aux systèmes de contrôle (irrigation, drainage), et aux pratiques culturales (type et la densité du couvert végétal et les caractéristiques d'enracinement). Ces facteurs influent sur l'équilibre en eau du sol et donc le mouvement et l'accumulation de sels dans le sol.

Les études **d'Abrol(1988)**, sur La remontée des sels ont distingué que l'infiltration des eaux est plus fréquente le long des canaux d'irrigation, à proximité des réservoirs d'eau et les étangs de ferme, ce qui provoque la formation des croûtes de sel dans et autour des plantes. En collaboration avec l'excédent de l'eau d'irrigation appliquée au-dessus des besoins de cultures, et les mauvais entretiens des voies de drainage et les suintements contribuent à l'élévation de niveau de l'eau et qui peuvent former une nappe perchée.

I.3.6. Facteurs intervenant dans le processus de la salinisation

Selon **WYN JONES et GOUSTON (1991)**, la salinisation des sols peut être due à :

- La lixiviation des sels solubles et/ou à l'évaporation, qui déposent leurs sels dans les sols.
- En régime, non saturé, la remontée capillaire entraîne un transport des sels par flux de masse vers la surface du sol où ils s'accumulent après évaporation de l'eau (**Raju et al., 1995**).

I.3.6.1. Salinisation primaire ou naturelle

La salinisation primaire, d'origine géologique, marine ou lagunaire correspond à une salinisation liée au fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence du climat, de l'altération des roches et de la dynamique des eaux.

- **Salinisation géologique**

Les sels solubles peuvent provenir :

- ✓ Soit de l'altération des roches contenant des minéraux sodiques potassiques et magnésiques. En région arides et semi-arides, ces sols se concentrant sur place ; dans les dépressions fermées.
- ✓ Soit de dissolution des évaporites contenant des chlorures, des sulfates, etc. Les évaporites se localisent essentiellement dans les bassins élémentaires.
- ✓ Soit de l'altération des roches volcaniques (**Servant, 1975**).

- **Salinisation marine et lagunaire**

L'origine des sels peut se trouver dans les dépôts lagunaires ou matériaux salés plus ou moins récents qui peuvent être eux-mêmes des roches mères des sols et fournir leurs sels aux oueds qui les transportent jusqu'aux nappes superficielles plus ou moins profondes sous les sols des vallées et basses plaines (**Gaucher et Burdin., 1974**).

I.3.6.2. La salinité secondaire (ou d'origine humaine)

La salinisation secondaire est un processus ultérieur à la formation du sol et le caractère salin du sol est induit par plusieurs mécanismes. En effet, la salinisation peut être due à la remontée d'une nappe salée peu profonde, ou à la remonté capillaire et pendant les périodes sèches (**Durand, 1983**). L'holomorphie peut provenir aussi des eaux d'irrigation salines en milieu mal drainé (**Durand, 1983**). Dans le grand Sud de l'Algérie, la non maîtrise des techniques d'irrigation par pivot, et l'absence de systèmes de drainage sont souvent les causes qui provoquent la diminution de la productivité agricole (**Daoud et Halitim, 1994 ; Mouhouche ,2000 ;Djili et Daoud 2003**). De même la salinisation secondaire se produit lorsque l'eau d'irrigation est distribuée en quantité trop faible pour qu'il y ait percolation ; le terrain retient alors toute l'eau distribuée qui y dépose ses sels (**Durand, 1974 in Noomene ; 2011**).

Les superficies irriguées ont connu un accroissement très rapide depuis 1950 et, malgré un ralentissement observé depuis 1980, elles s'atteignent aujourd'hui près de 300 millions d'hectares dans le Monde. Les évaluations indiquent que, selon les situations, de 15 à 50% des terres aménagées et environ 50% des systèmes d'irrigation sont affectés par la salinité et plus particulièrement dans les zones arides (**Rhoades, 1997**).

I.3.7. Classification des sols salés

Selon **Duchaufour (1983)**, deux sous classes de sols halomorphes sont distinguées, sols à complexe sodique ou sols alcalins et Sols salins à complexe calcique.

I.3.7.1. Sols à complexe sodique ou sols alcalins

Caractérisés par une saturation marquée en Na^+ et une accumulation des sels en profondeur. Ces sols se caractérisent par la présence d'une quantité importante de sodium qui dépasse les 15% de la C.E.C. (Capacité d'Echange Cationique). La conductivité électrique

(C.E) ne dépasse pas 4 ds/m à 25°C, et le pH est supérieur à 8,5. La relative abondance de l'ion sodium, dans la garniture ionique absorbant, peut avoir deux origines distinctes :

- Elle peut provenir du sodium libéré par l'altération de certains minéraux alcalins.
- Elle peut résulter d'une saturation progressive du complexe en sodium, aux dépens d'une solution saline (**Duchaufour, 1983**). Ces sols ont un profil peu stable, en raison de la grande facilité de dispersion des argiles, ils sont asphyxiants plutôt que physiologiquement secs.

I.3.7.2. Sols salins à complexe calcique

Caractérisés par une accumulation marquée des sels solubles en surface. Ces sols se rencontrent dans les zones à climat sec. Ils se caractérisent par un pH généralement inférieur à 8,5 et supérieur à 7 et le sodium n'y forme pas plus de 50% des actions en solution (**Dajoz, 1982**). La conductivité électrique de l'extrait aqueux à saturation est supérieure 4,5 dS.m⁻¹ à 25°C, dans les horizons de surface (25 cm) ; 15 dS.m⁻¹ dans les horizons inférieurs (suivant la texture) (**Duchaufour, 1983**) ; avec un taux de sodium échangeable (E.S.P) inférieur à 15% de la C.E.C du sol. Ces sols présentent une structure non dégradée, caractérisés par une richesse en sels solubles, tels qu'ils inhibent la croissance de la plupart des plantes cultivées (**Aubert, 1978**).

I.3.8. Les caractères des sels

I.3.8.1. La solubilité des sels

La composition de la solution, le pH et la température sont les paramètres influençant la solubilité des sels. Les sels se solubilisent par des formes différentes. En effet, les chlorures sont les plus solubles, les sulfates, les carbonates et les bicarbonates sont moyennement solubles. En revanche, lorsque les sulfates et les carbonates sont associés au calcium, ils deviennent presque insolubles.

I.3.8.2. Le mouvement des sels

Les sels dans le sol peuvent se déplacer d'un horizon à un autre sous l'action de divers facteurs. Les sels les plus solubles sont généralement les plus mobiles. Le mouvement des sels dépend des états physiques de l'eau du sol, du gradient de température existant dans ce sol, et de la texture des sols (**Aubert, 1978**).

I.3.9. Les sols salés dans le monde et en Algérie

I.3.9.1. Salinisation des terres dans le monde

Les terres émergées représentent 13,5 milliard d'ha. Mais quand on a retiré les déserts, les hautes montagnes, l'antarctique, le Groenland, il reste 3 milliard d'ha cultivable, soit 22% du total ; c'est seulement 50 fois la France (Nahon, 2008). Et la moitié de ces 3 milliards d'ha cultivable sont déjà cultivés. Comme on prévoit à court terme le doublement des populations humaines, il est plus que temps de se préoccuper de la sauvegarde du capital sol. Or, ce capital est inextensible et menacé (**Legros, 2007**). La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle du globe. Selon la FAO et les estimations les plus récentes, elle affecte déjà au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente. Elle est donc très importante quantitativement puisque, encore une fois, nous n'avons qu'un milliard et demi d'ha cultivés sur la terre.

I.3.9.2. Salinisation des terres en Algérie

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité, affectés par la salinité ou susceptibles de l'être (**Durand, 1983**). Les sols salins sont très répandus dans les basses plaines de l'Oranie, dans la vallée de la Mina près de Relizane, sur les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains chotts. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà. (**Durand, 1983**). Les sols salés d'Algérie sont caractérisés en général par une conductivité électrique supérieure à 7 dS.m^{-1} .

Selon (**FAO, 2005**). On rencontre plusieurs types de sols salés en Algérie localisés surtout dans les étages bioclimatiques arides et semi- arides.

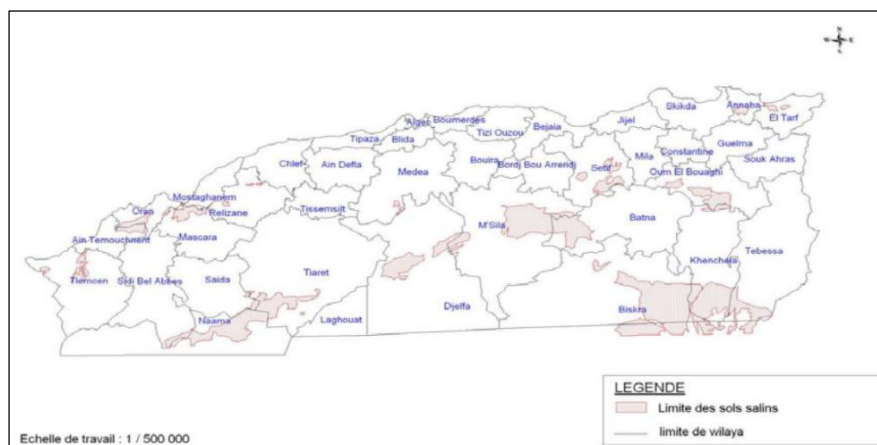


Figure 3:répartition des sols salins du nord l'Algérie (**Insid, 2008**)

I.3.10. Impact de la qualité de l'eau sur le sol et la plante

I.3.10.1. Impact sur le sol

- **La dégradation des sols par salinisations**

La salinisation est l'accumulation des sels hydrosoluble dans le sol. Les sels se dissolvent et se déplacent avec l'eau. Quand l'eau s'évapore, les sels restent. Elle a pour principales conséquences :

- L'augmentation de la pression osmotique dans la solution du sol empêche la pénétration de l'eau dans la plante, provoque une plasmolyse des cellules, parfois irréversible et qui peut aboutir à la mort du végétal. Certaines plantes sont adaptées à ces concentrations, ce sont les plantes halophiles, mais les plantes.
- Une toxicité pour les végétaux due à l'accumulation de certains ions, dont : chlorure, sodium, bore, qui s'accumulent dans les feuilles et peuvent provoquer des dommages métaboliques.
- Diminution de l'activité microbienne du sol, la nitrification et la production de CO₂. Les produits organiques formés changent.

Lorsque le sodium domine dans l'eau, on parle de salinité, et lorsqu'il domine adsorbé à l'argile on parle de sodicité. **(Debieche T.H. 2002)**

- **La dégradation des sols par alcalinisation**

Les sols alcalins, caractérisés par un PH élevé, souvent au-dessus de 9 et une forte proportion de sodium sur le complexe d'échange (supérieure à 15% aux sols salés), deux points les distinguent des sols salés. Ce sont :

- La composition chimique de la solution du sol à nette prédominance bicarbonatée sodique ;
- Une dégradation des propriétés physiques des sols, les cations sodium tendent à provoquer la destruction en favorisant la dispersion des colloïdes minéraux

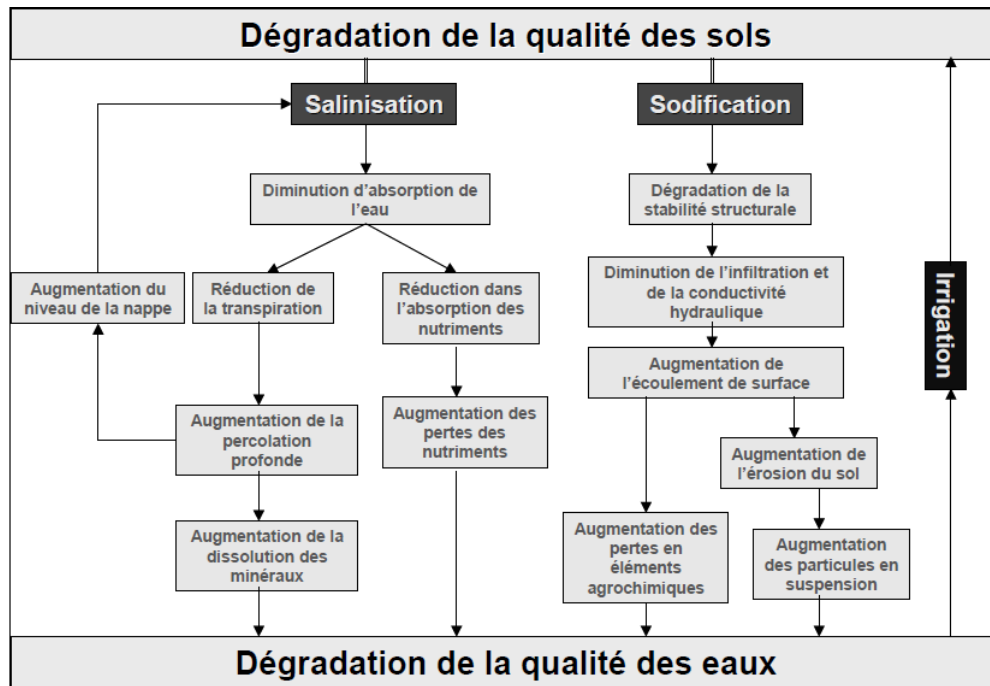


Figure 4: Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation

(Lahlou.,et al,2000)

I.3.11. Paramètres de caractérisation des sols salés

L'étude d'un sol sur le plan de la salinité se base sur un ensemble de facteurs :

***Conductivité électrique** : La salinité est mesurée par la CE de l'extrait de pâte saturée ou l'extrait dilué du sol. Elle est exprimée en en ds/m à 25°C.

***pH du sol** : La notion du pH du sol permet de façon commode et précise de désigner la réaction du sol. Les sols salés ont un pH sensiblement égal à 7. Il augmente en corrélation avec le rapport Na^+/CEC .

***ESP** (Le taux de sodium échangeable) : Ce terme permet de caractériser le stade d'alcalinisation d'un complexe d'échange, l'ESP est en fonction de la CEC exprimée en (meq/l).

* $\text{ESP} = \text{Na}^+ / \text{Quantité totale des cations absorbés}$

***SAR** (Sodium absorption ratio) : Il s'agit d'un paramètre fondamental pour la détermination du niveau de l'alcalinisation de la solution du sol.

Chapitre II : présentation générale de la zone d'étude

II.1. Présentation de la région de Ouargla

II.1.1 Situation géographique

La ville de Ouargla, chef-lieu de la wilaya est située au Sud-est algérien, au fond d'une cuvette très large de la vallée de l'Oued M'ya. A environ 800 Km d'Alger. Cette wilaya couvre une superficie de 163.230 Km² elle est limitée (**Khadraoui, 2006**) :

- Au nord par la wilaya de Djelfa et la wilaya d'El-Oued ;
- À l'est par la Tunisie sur 500 Km,
- Au sud par la wilaya de Tamanrasset et la wilaya d'Ilizi,
- À l'ouest par la wilaya de Ghardaïa.

La cuvette de Ouargla s'étend sur une superficie de 99000 Hectares ; avec une longueur de 45 Km dans la direction sud-ouest, Nord-est et une largeur de 2 à 5 Km 32° de l'attitude Nord et 5° 20" de longitude Ouest (**Djidjel, 2008**).

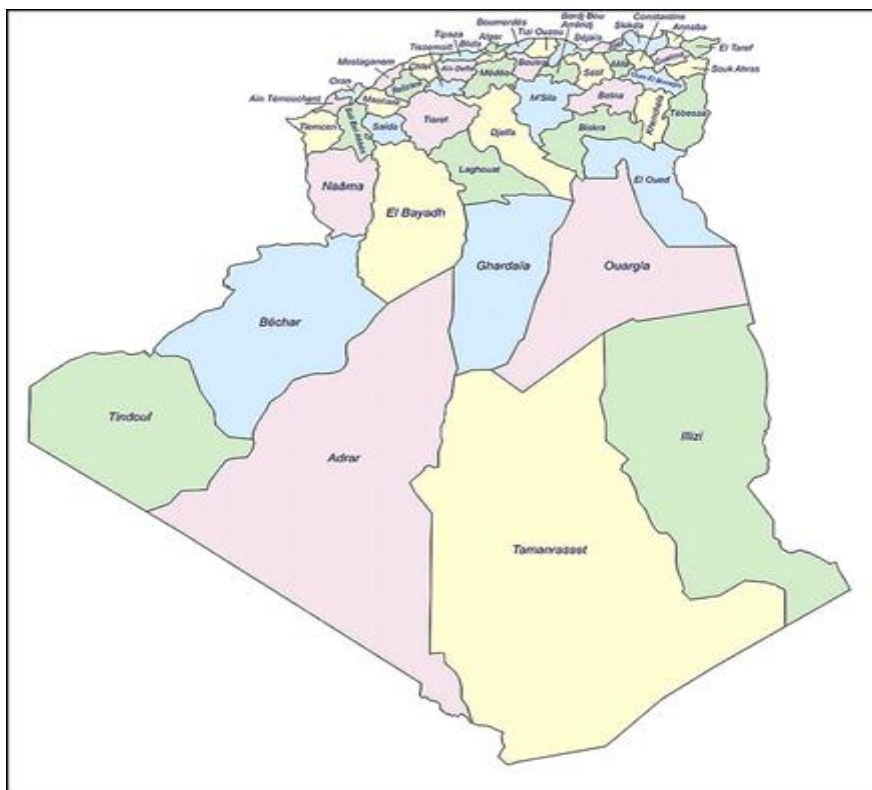


Figure 5 :Limites géographiques de la wilaya d'Ouargla

II.1.2. Géomorphologie :

Le relief de Ouargla est caractérisé par une structure géomorphologique, tout en étant une forme correspondant à la basse vallée d'Oued M'ya qui se distingue par les structures suivantes :

- Plateau de la Hamada pliocène : à l'ouest de Ouargla, s'abaisse légèrement d'ouest en est. Il est à 220 m au-dessus de la vallée. À l'est, il est fortement érodé, laissant dans le paysage une série de buttes témoins ou Goure.
- Les glacis : ces glacis se trouvent sur le versant Ouest de la cuvette, et sur une altitude comprise entre 140m et 200m. La visibilité de cette classe morphologique est située sur une altitude comprise entre 160m à 180m, avec apparition des affleurements composés de sables et de graviers et à l'Est de la cuvette existe un vaste glacis alluvial de constitution sable grossier.
- Chott et la sebkha : constituent le niveau le plus bas. Le chott qui correspond à la bordure de la sebkha est constitué de sable siliceux et/ou gypseux et de sols gypseux à croûte gypseuse de surface et de subsurface. Le bas-fond se caractérise par la présence d'une nappe phréatique permanente, qui affleure en surface au centre de la sebkha.
- Dunes : formations éoliennes récentes en petit cordons, d'environ 150 m d'altitude, occupent l'Est et le Nord-est de Ouargla et bordent les sebkhas le long de la vallée de l'oued Mya

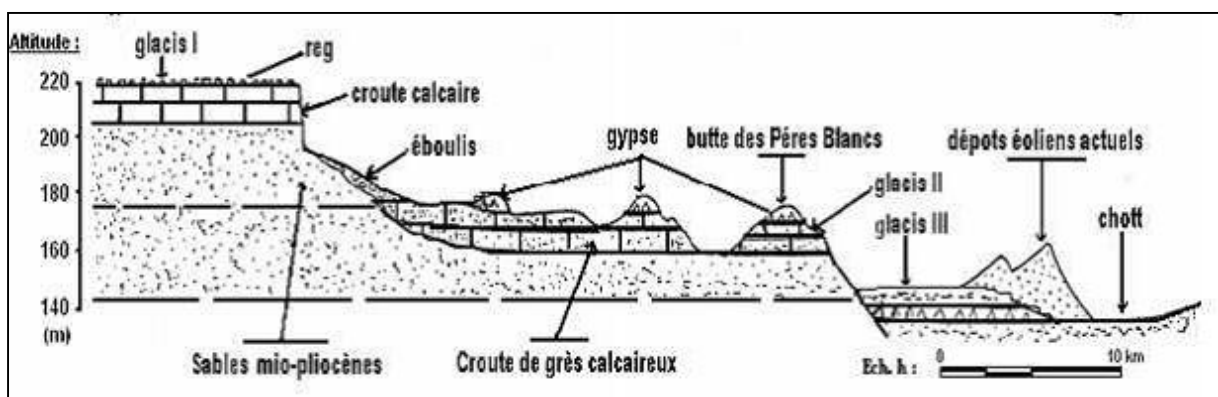


Figure 6 : Coupe schématique de la formation superficielle de la cuvette de Ouargla (Benriana, Bougoffa.2014).

II.1.3. Couverture végétale :

La végétation naturelle est plutôt due au fait de la nature des sols et leur structure ainsi que le climat. Elle est plus ou moins présente suivant les régions.

Selon le service des statistiques de (La Direction Des Services Agricoles) de Ouargla ; l'évolution des surfaces agronomiques est comme suite dans l'année (2017/2018) : La surface

agricole totale (SAT) est de l'ordre 5 691 992.00 ha, alors que :La surface agricole utilisée est de 54 238.44 ha.

II.1.4. Géologie :

Selon **Halilat (1993)**, les cartes géologiques de l'Algérie montrent que la région de Ouargla est constituée géologiquement par les formations sédimentaires qui occupent les dépressions de la région.

- **Dunes récentes** : ce sont des dépôts sableux qui ont été déposés dans la vallée de Ouargla, on les rencontre uniquement au Nord Est et au Sud Est du lit de l'Oued Mya.
- **Poudingues calcaires** : ce sont des formations importantes de plus de 250m, elles reposent sur des schistes, leur parties supérieures passent à des grès rûches en fossiles.
- **Alluvions actuels (lacs et chotts)** : ce sont des formations récentes, qui occupent les dépressions de la vallée de Ouargla (partie Nord).
- **Alluvions regs** : ce sont des formations caillouteuses où le pourcentage de cailloux est dominant, ces formations occupent la partie Nord-Ouest et Sud-Ouest de la vallée de Ouargla.

La région de Ouargla fait partie du bassin sédimentaire de l'Oued Mya où toutes les formations du cambrien ou tertiaire affleurent sur les bordures du bassin, les terrains du mio-pliocène sont recouverts par une faible épaisseur de dépôts quaternaires (dunes et cordons d'erg) (**Castany, 1983**).

II.1. 5. Pédologie

Les sols de l'oasis de Ouargla sont de prédominance sableuse (**Khadraoui, 2007 ; Daddi Bouhoun, 2010**).Les résultats de l'étude des secteurs phoenicicoles de la cuvette de Ouargla montrent une dégradation de son environnement hydro-édaphique, notamment une holomorphie d'irrigation ou associée à des obstacles mécaniques de croûtes gypso-salines à gypso-calcaires-salines en nappes profondes, et une hydro-holomorphie de nappes superficielles ou associée à des obstacles mécaniques de croûte (**Daddi Bouhoun, 2010**).

Ils sont caractérisés également par un faible taux de matière organique, une faible teneur en éléments fertilisants et une forte salinité (**Khadraoui, 2007**) ainsi qu'une sodisation des sols (**Nezli et al., 2007**). D'après **HAMDI-AÏSSA (2001)**, les sols dans la cuvette de Ouargla sont à prédominance salsodique, hydro-halomorphe et minéraux bruts. L'intensité de l'évaporation et la remontée des nappes phréatiques accentuent l'accumulation des sels dans les couches superficielles des sols (**I.N.S.I.D, 2008**). La dégradation du milieu édaphique

peut conduire à la longue, en cas d'absence de drainage, au dépérissement des palmiers dattiers et contribue à la désertification de l'environnement oasien de Ouargla (**Daddi Bouhoun et al., 2011 ; Daddi Bouhoun et al., 2013**).

II.1.6. Hydrogéologie

La cuvette de Ouargla appartient au Bas-Sahara algérien. Il s'agit d'un immense bassin sédimentaire, en forme de synclinal dissymétrique, particulièrement bien doté en couches perméables, favorables à la circulation souterraine des eaux. Certaines recouvertes de terrains imperméables, assurent l'existence de nappes captives, alors que d'autres, situées au sommet des dépôts et sans couverture étanche, permettent la formation de nappes phréatiques (**BG, 2004**). On distingue trois types de systèmes aquifères :

- **Nappe du Continental Intercalaire (Albien) :**

Le dernier niveau aquifère est celui des argiles sableuses et des grès du Continental Intercalaire. Le toit en est formé par les marnes et argiles gypsifères du Cénomaniens dont la base est située entre 1000 et 1500 m ; La wilaya de Ouargla recèle d'importantes potentialités en eau souterraines estimées à 2381,5 Hm³/an (**Hamdi-Aïssa, 2001**).

- **Les nappes du Complexe Terminal :**

Le Complexe Terminal couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional sur environ 350000 Km². Sa profondeur varie de 100 à 400 m ; il alimente l'essentiel des palmeraies du Bas-Sahara (Ziban, Oued Rhir, Souf et Ouargla) (**Hamdi-Aïssa, 2001**).

Elle est composée de deux nappes :

Nappe du Mio-pliocène :

Elle s'écoule du Sud Sud-ouest vers le Nord Nord-est, en direction du chott Mèlghir. La salinité de cette nappe varie de 1,8 à 4,6 g/Dans la région d'Ouargla, les deux tiers des ressources hydriques disponibles sont fournies par la nappe artésienne du Mio-Pliocène entre 35 et 65 m de profondeur (**Hamdi-Aïssa, 2001**).

Nappe du Sénonien :

Elle est peu exploitée vu son faible débit, sa profondeur d'exploitation varie entre 140 à 200 m (**Rouvillois-brigol, 1975**).

- **Nappe phréatique :**

A une profondeur variant de 1 à 8 m selon les lieux et la saison. Elle s'écoule du Sud vers le Nord suivant la pente de la vallée. Son alimentation est complexe et varie selon les points de la vallée. La plus importante, vient des excédents d'irrigation donc des eaux de lessivage des palmeraies de Ouargla et de Ngoussa.

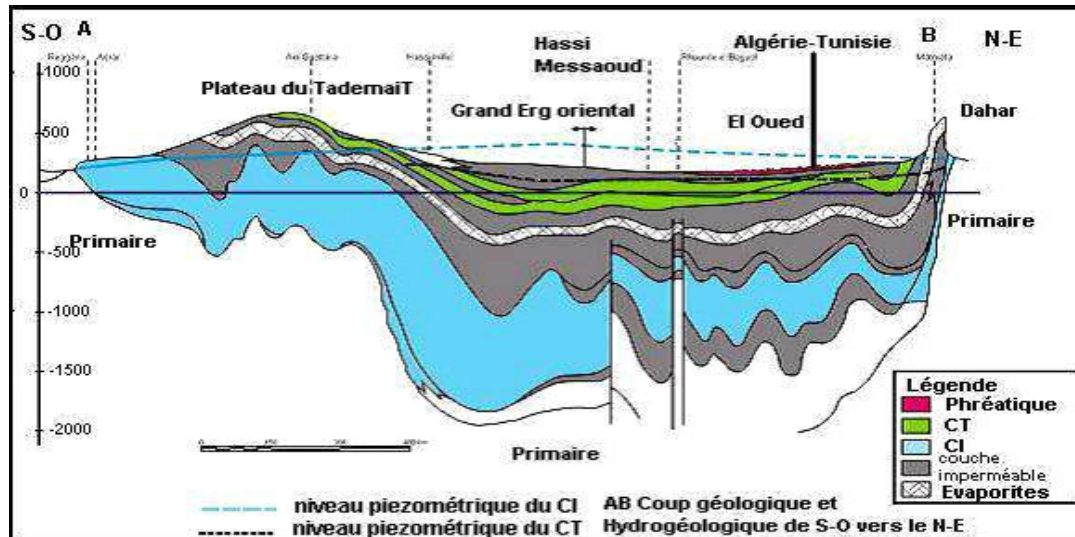


Figure 7: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (UNESCO, 1972).

Bénéficiant de cette structure, les eaux souterraines constituent plusieurs ensembles superposés :

- les nappes phréatiques des formations continentales superficielles,
- la nappe artésienne des calcaires marins du Sénonien et de l' Eocène et les nappes artésiennes du Continental Terminal sableux (Mio-Pliocène) regroupées avec la précédente sous le nom de Complexe Terminal (sub-surface),
- la puissante nappe artésienne du Continental Intercalaire gréseux (profonde)(Figure07)

Ces trois nappes ont fait l' objet de nombreuses études dont la première synthèse a été réalisée par UNESCO (1972).

II.1.7. Le climat

Selon Rouvillois-Brigol (1975), le climat d'Ouargla est particulièrement contrasté, avec la latitude relativement septentrionale. Elle se situe dans une zone saharienne, son climat sec désertique est caractérisé par une aridité qui s'exprime par l'irrégularité et la rareté des précipitations, une sécheresse permanente, des amplitudes thermiques très importantes et un régime des vents qui se traduit par des courants chauds et secs.

En analysant les données climatiques de la région d'étude (tableau Annexe) sur la période (2008/2018) on peut tirer les conclusions suivantes :

a. Température :

Pour la région étudiée, la température moyenne interannuelle fluctue entre 11,3 °C et 33,15 °C ; le mois le plus froid est janvier (4,44°C) et le mois le plus chaud est le mois de juillet (40,44°C). De ce fait, on peut dire que l'amplitude thermique est très importante.

b. Précipitation :

Les précipitations sont en effet très irrégulières et rares, la valeur maximale de précipitation est de 7,09 mm pour le mois de, la moyenne interannuelle de pluviosité est de l'ordre de 34,56 mm

c. Vent :

Le vent dans la région de Ouargla souffle pendant toute l'année. Les vents les plus forts soufflent du Nord-Est et du sud et les plus fréquents du Nord (**Rouvillos-Brigol, 1975**). En hiver, ce sont les vents d'Ouest qui prédominent. Au printemps, ils proviennent du Nord, du Nord Est et de l'Ouest. En été et en automne, ils viennent du Nord vers le Sud (**Rouvillos-Brigol, 1975, Dubief, 1963**).

Le mouvement de l'air le plus élevé se produit en Mars avec 9,70 m/s. La moyenne annuelle de la vitesse du vent est de 8,15 m/s.

d. Evaporation :

L'évaporation est très intense dans la région de Ouargla, elle est de l'ordre de 2579.69 mm/an, avec un maximum mensuel de 408.33 mm au mois le plus chaud correspondant à juillet et un minimum de 78.32 mm marqué au mois de décembre.

e. Insolation :

La durée moyenne mensuelle d'insolation dans la cuvette de Ouargla est de 248.67 heures/mois.

II.1.8. Synthèse climatique :

Le diagramme Ombrothermique établi pour les données climatiques de la région de Ouargla pour la période 2008-2018 montre que la période sèche s'étale sur toute l'année.

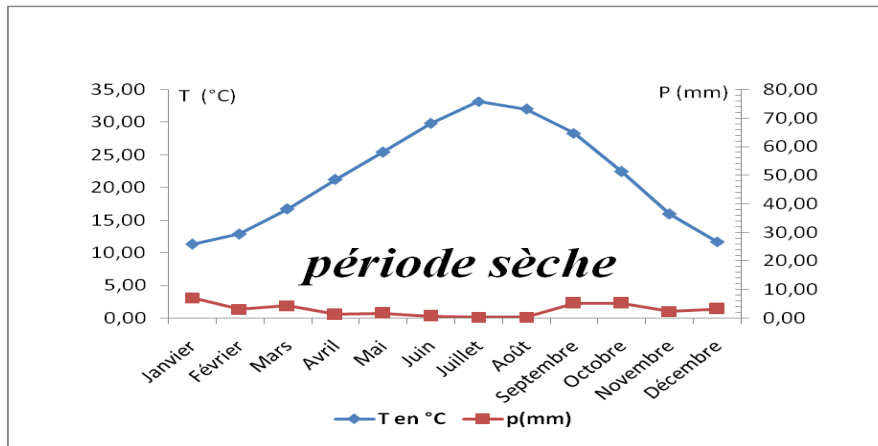


Figure 8: Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Ouargla (ONM., 2018).

II.2. Présentation de la station d'épuration de Ouargla (STEP SaidOtba)

II.2.1. Situation de la station d'épuration

La station d'épuration de Ouargla se situe au nord-est de la ville de Ouargla (Fig 9), sa partie sud-est est sise presque à cinquante mètres au nord de la route nationale N49. Cette dernière encore appelée STEP de Saïd Otba, est mise en service en 2009.

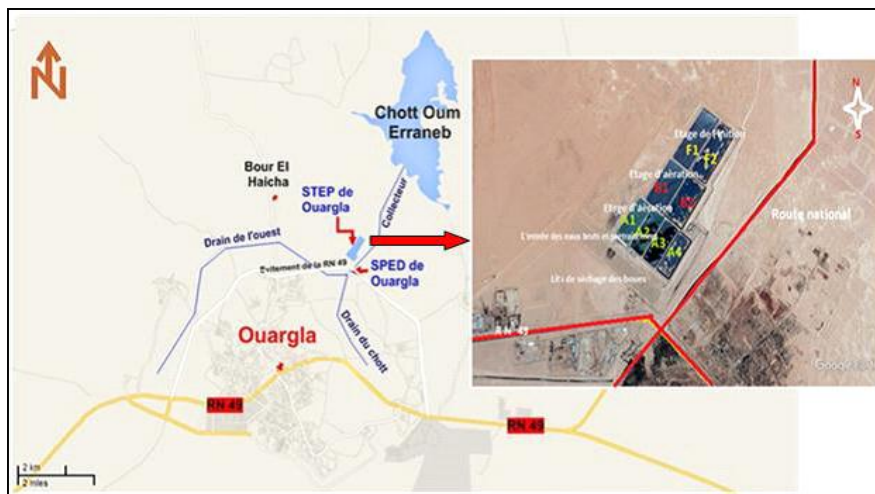


Figure 9: Situation de la station d'épuration de Ouargla

II.2.2 Caractéristiques de la STEP de Ouargla

Selon ONA, (2013) les données de base de la station d'épuration de Ouargla sont :

Surface totale : 80 ha ;

Capacité : 400.000 équivalents habitants

Nombre de lits de séchage : 11 lits

Nombre de bassins : 08 bassins divisés en 03 niveaux (STEP de Ouargla, 2013)

Tableau 4 : Données de bases de la STEP de Ouargla (**STEP de Ouargla, 2013**)

Premier niveau : Nombre de bassins Surface totale, Surface par unité, de bassin Profondeur des bassins, Temps de séjour et le Nombre d'aérateurs	04 bassins d'aération 9.6ha ; 2.4ha ; 3.5m, 07 jours et 12 aérateurs
Deuxième niveau Nombre de bassins Surface totale, Surface par unité de bassin, Profondeur des bassins, Temps de séjour et le Nombre d'aérateurs	02 bassins d'aération, 8.2ha, 4.1ha, 2.8m 05 jours et 07 aérateurs
Troisième niveau Nombre de bassins Surface totale, Surface par unité de bassin, Profondeur des bassins, Temps de séjour,	02 bassins de finition 9.8ha, 4.9ha, 1.5m, 02-04 jours

II.2.3 Qualité de traitement

L'objectif de traitement au niveau de la STEP est de rabattre la pollution organique au-dessous des valeurs suivantes : Pour les MES : 35 mg/l Pour la DCO : 125 mg/l Pour la DBO₅ : 40 mg/l

II.2.4. Étape de traitement

NB : les informations citées ci-après ont comme principale source la STEP de Ouargla. Après passage dans le regard de dégazage les eaux usées seront dirigées vers l'ouvrage de prétraitement.

- **Prétraitement**

Le prétraitement est constitué d'une étape de dégrillage et d'une étape de dessablage.

a. Dégrillage

Les eaux usées passent à travers une grille dont les barreaux plus ou moins espacés retiennent les matières les plus volumineuses.



Photo 1 : bassin de dégazage et le dégrillage.

b. Dessablage

L'élimination du sable évite l'ensablement des bassins. Le dessablage sera réalisé à partir de 3 chenaux rectangulaires de 2m de largeur et 23m de longueur disposée en parallèle et dans lesquels se produit une décantation des sables.



Photo2 : Dessablage et ouvrage de répartition

- **Traitement secondaire :**

A la suite de ces prétraitements, les eaux à traiter sont dirigées vers les lagunes ; qui sont divisées en trois étages : Le premier étage de traitement par lagunage aéré est constitué de 4 bassins avec une surface totale de 2,4 hectares et une profondeur de 3,5m. Dans cet étage il y a que deux bassins qui sont fonctionnels (A3 et A4). Le second étage de traitement, il est également aéré il comporte deux bassins avec une surface totale de 4,1 hectare et une profondeur 2,8m et dont un seul bassin est fonctionnel (B2) Le troisième étage est conçu pour le lagunage de finition, il est constitué de deux bassins, dont la surface totale est de 4,9 hectare et profondeur 1,5 m. dans cet étage un seul bassin est fonctionnel ; sortie de la STEP).

- **Traitement des boues (lits de séchage)**

Le système consiste à sécher les boues décantées au fond des lagunes à l'air libre sur des lits de séchage (11 bassins) qui sont des bassins recouverts de couches successives disposées comme suit : une géo-membrane, un géotextile, une couche de gros gravier, une couche de gravier fin et une couche de sable (ONA 2013)



Photo 3: lagune d'aération, sortie de l'eau traitée et lits de séchage des boues.

- **Acheminement**

Dès la sortie des EUE de la STEP, un canal de transfert assure l'acheminement de ces eaux vers sebkhatSafioune, située à 40 km environ au nord de la STEP de Ouargla. Le canal de transfert des excédents hydriques est un ouvrage construit en béton, étanche, de section rectangulaire de 2,9m X 2,3m, composé de deux conduites, une achemine les EUE provenant de la STEP, et l'autre véhicule les eaux de drainage venant de la SPED. Les deux conduites sont séparées par une cloison de 1,5m de hauteur. Cette cloison a pour but la suppression de tout contact ou mélange entre les EUE et les eaux de drainage. Des ouvertures du côté de la conduite des EUE sont parsemées tout au long du canal, espacées de 100m environ. Ces ouvertures permettent des piquages des EUE en vue de les réutiliser en irrigation. L'itinéraire du canal est sinueux, avec une longueur avoisinant les 40 km, mesurée de la sortie des EUE de la STEP jusqu'au point de rejet embouchure du canal dans sebkhatSafioune. Des photos et une carte illustrant l'itinéraire du canal seront exposées ci-dessous.



Figure 10: Itinéraire du canal de transfert



Photo4: Rejet des excédents au niveau de sebkhathSafioune

II.3 Irrigation et dégradation des sols dans la région de Ouargla

La ville de Ouargla, comme de nombreuses autres agglomérations du Sahara Algérien, est caractérisée par un climat aride et chaud durant la majeure partie de l'année qui ne permet l'installation d'aucune culture sans le recours à l'irrigation. Cette oasis, qui appartient à un contexte environnemental difficile, est soumise de plus aux effets négatifs de la salinisation de ses sols et à la remontée des eaux salées de la nappe phréatique, due principalement à une irrigation et à un assainissement mal gérés à l'échelle de l'oasis.

II.3.1. Irrigation dans la région de Ouargla :

L'irrigation est une pratique obligatoire pour le développement de l'agriculture saharienne. Cependant, l'utilisation abusive de la ressource en eau dans la cuvette de Ouargla a engendré un problème majeur en aval. Il est caractérisé par un déséquilibre entre le volume d'eau apporté et celui évacué (**Idder, 2007**).

Historiquement, la création des palmeraies irriguées dans la ville de Ouargla et de l'Oued Righ, est en grande partie due à l'utilisation des eaux de la nappe du Mio-Pliocène extrêmement ancienne (En outre, les forages ont commencé à atteindre la nappe calcaire du Sénonien qu'entre 1953 et 1954, alors que le premier forage jusqu'à l'Albien à Ouargla n'a vu le jour qu'au milieu de 1957 (**Rouvillois-Brigol, 1975**)).

Les débits pompés sont considérables. Ils sont de l'ordre de 20 à 40 l/s pour un forage au Complexe Terminal et de 100 à 200 l/s pour un forage au Continental Intercalaire. Dans le Sahara, on estime que le volume pompé est environ 3 fois plus grand que le volume des prélèvements traditionnels (**Côte, 1998**).

II.3. 2 Ressources en eau mobilisable pour l'irrigation dans la cuvette

A Ouargla, comme la plupart des oasis du Sahara, les seules ressources hydriques disponibles sont d'origine souterraine. Les formations géologiques de la région de Ouargla contiennent, en plus de la nappe superficielle, deux grands ensembles de formations aquifères bien connus : le continental intercalaire (CI) et le complexe terminal (CT).

Les eaux de la nappe de continental intercalaire sont relativement peu minéralisées et apportent aux eaux des nappes du complexe terminal et de la nappe phréatique (**Salhi .2017**)

La minéralisation des eaux de la nappe du mio-pliocène varie de 3 à 6.5 ms/cm. les eaux de la nappe sénonienne sont moi chargées. La salinité de ces eaux pet être expliqué par le lessivage qui a pu se produire leur des périodes salifères majeurs de la fin du crétaé et au pliocène. Près de 70% des eaux mobilisées à partir de ses aquifère sont affectées à l'usage agricole. Malgré la bonne qualité des eaux de la nappe sénonienne, son faible débit a conduit à une réduction de son utilisation. **(Idder.1998)**.

Les eaux de la nappe phréatique sont de très mauvaise qualité et ne conviennent pas à l'usage agricole. En effet, leur degrés 70 ms/cm dans certains endroits de la cuvette.

Selon **Salhi, (2017)**, l'eau de la nappe phréatique permettait, autrefois, d'irriguer les palmeraies dites « Bours».Ce sont des palmiers plantés dans des cuvettes mettant directement les racines au contact de la nappe phréatique. Après avoir creusé les premiers centimètres de la terre,

II.3.3. Remontée de la nappe phréatique :

La région de Ouargla souffre à la fois d'un manque et d'un excès d'eau : l'eau rare mais envahissante ; Le problème est la remontée de la nappe phréatique. Ce phénomène touche des zones de la cuvette (Rouissat-Beni Thour, SaidOtba, Mekhadema et la ville de Ouargla).

II.3.3.1. Principales causes de la remontée des eaux :

Les causes principales de la remontée des eaux dans la région de Ouargla est d'ordre morphologique (cuvette), une topographie très plane conjugué à un manque d'exutoire naturel, cette situation est aggravée par l'irrigation non contrôlée des palmeraies. L'alimentation de la nappe phréatique provient essentiellement :

- Des rejets d'eaux usées d'origine domestique ;
- L'eau excédentaire liée à une irrigation irrégulière des palmeraies ;
- Les fuites d'eau dans les réseaux de distribution ;
- L'apport des eaux des anciens forages dont les tubages sont détériorés ;
- Les forages pétroliers reconvertis en forages d'eau ;
- Les réseaux de drainage inefficaces

Les eaux de ruissellement venant des parties hautes et des apports de crues des troisOueds dans la cuvette (Mya, N'sa, M'zab).

II.3.4 Les aménagements hydro-agricoles :

II.3.4.1 Le système d'irrigation

Au niveau des palmeraies de la wilaya de Ouargla, l'irrigation se fait par : planche où son avantage réside dans sa simplicité et son inconvénient réside dans sa contribution à l'accumulation des sels sur la surface du sol après évaporation. Les planches occupent les inter-rangs libres des drains, leurs dimensions sont variables suivant qu'elles sont utilisées pour des cultures intercalaires.

L'irrigation localisée, l'irrigation par aspersion et l'irrigation par pivot, On peut aussi observer ces types d'irrigations (localisée, par aspersion et par pivot) dans les terrains mis en valeur dans la région de Ouargla et qui donnent des bons résultats.

Cette situation trouve son explication dans les systèmes d'irrigation qui sont utilisés et qui sont une source d'un important gaspillage d'eau (pertes dans les voies d'amenées d'eau qui parfois sont d'une longueur de 150 m).

L'eau est acheminée du forage par des canalisations souterraines vers des bassins. Elle est ensuite distribuée par des planches. Le système d'irrigation utilisée est la méthode de submersion qui provoque des pertes considérables. (Sedat, 2008)



Photo 5:Le système d'irrigation pratiquer dans la cuvette de Ouargla

II.3.4.2. Système de drainage

L'eau de drainage de Ouargla est très salée, elle nécessite la réalisation d'un réseau de drainage pour évacuer les eaux de percolation. L'absence de réseau de drainage et d'exutoire augmente le taux de salinité du sol.

- **Caractéristiques du drain principal de la région**

Le réseau de drainage dans la région de Ouargla est alimenté essentiellement par des eaux d'irrigation. Il a évolué énormément depuis 1986, sa longueur est passée de 49150 à 66650m ; avec une répartition plus développée au sud de la cuvette.

Le réseau de drainage pour la cuvette de Ouargla est de type canaux à ciel ouvert à une profondeur varie entre (0,5 à 1,0 m), ce réseau n'est pas dense et son état est médiocre.

Le collecteur principal qui existe sur la périphérie de la ville et les palmeraies s'étend sur une longueur totale de 13600 m environ et une profondeur varie de 1 à 2 m, avec une pente varie entre (1 à 2 ‰) ; celui-ci a pour objectif de drainer toutes les eaux excédentaires d'irrigation et eaux usées, et de rabattre la nappe phréatique (Sedat, 2008).



Photo 6: Drain principal côté Est

Photo7: Drain principal côté Ouest

II.3.5. Caractérisation et dégradation des sols dans la cuvette de Ouargla

II.3.5.1 Caractérisation du sol.

Les sols de la cuvette d'Ouargla à l'exception de certains sols qui se situent dans la périphérie nord de la région d'Ain Moussa - Bour El Haicha présentent un caractère fortement salin, dominé par le chlorure de sodium.

La région de Ouargla se caractérise par des sols légers à texture sableuse et à structure particulière. Ces sols sont caractérisés par un faible taux de matière organique, une forte salinité, un pH alcalin et une bonne aération. (**Rouvilis, 1975**).

II.3.5.2. Classification pédogénétique

Dans le Sahara algérien, les substrats soumis à une érosion intense et à d'importants remaniements sous l'action des vents, acquièrent une morphologie caractéristique : vastes surfaces d'abrasion (éboulis, plateaux pierreux ou reg) ou au contraire d'apport éolien (erg).

La pédogenèse ne peut guère s'y produire, mais les formations perméables, dunes par exemple, permettent l'infiltration de l'eau qui s'accumule en une nappe profonde susceptible d'alimenter les végétaux.

On retrouve dans cet espace désertique deux grands groupes de sols (**Dutil, 1971**) à savoir :

- Les sols zonaux :
 - Sols éoliens d'ablation ou Reg ;
 - Sols éoliens d'ablation poussiéreuse ou Yerma ;
 - Sols éoliens d'accumulation.
- Les sols azonaux :
 - Sols formés par transport éolien : sols dunaires acides ou calcaires, fixés ou non ;
 - Sols formés par transport hydrique après dissolution : sols salins (Solontchacs, Solonetz, Solods) ou des sols à encroûtements.

L'enquête préliminaire réalisée en 1992 à l'échelle de la cuvette de Ouargla par **Khelili Et Lammouchi(1990)**, distinguent trois catégories de sols : sol minéral brut ; sol salsodiques ; sol hydromorphes.

Les sols de la région de Ouargla, dérivent du grès argilo -quartzueux du Miopliocène non gypseux, ils sont constitués de sable quartzueux. Sur les sols de la dépression, la masse basale argileuse présente un aspect poussiéreux. Elle est constituée d'un mélange de micrite détritique et de quelques paillettes de micas (**Hamdi Aissa, 2001**).

Les sols peu évolués d'apport éolien ont généralement une texture sableuse ou sablo – limoneuse. La stratification de ces dépôts éoliens, n'est pas toujours nette, elle est surtout visible en surface par des alternances de lits de sable grossier et de sable fin (**Khadraoui, 2007**). La structure est particulière, parfois polyédrique mal développée. Leur compacité est faible, leur couleur est brun – rougeâtre, brun clair ou beige.

Le gypse est fréquent dans de nombreux sols. En profondeur l'accumulation de gypse se présente différemment soit par une grande quantité en petits cristaux (forme fibreuse, rose de sable) conférant au sol un aspect poreux, spongieux, soit par de nombreuses tâches (diffuses ou en mycélium) ou amas de gypse pulvérulent (**Youcef et al., 2014**) Les teneurs en calcaire sont généralement faibles dans cette région (inférieure à 10%). Les pH sont légèrement basiques.

En somme, la pédogenèse des sols est dominée par l'action de l'eau et des sels. En effet cette région présente des sols soumis le plus souvent à l'action d'une nappe phréatique peu profonde et dont les eaux sont excessivement salées.

Leur teneur en matière organique est très faible, inférieure à 0.2% dans la majorité des cas (**Cdars, 1998**). La teneur en P_2O_5 assimilable est de 46-136ppm pour les horizons de surface et de 24- 48ppm pour les autres horizons plus profonds (**Khadraoui, 2007**). Ces sols sont donc bien pourvus en phosphore. La teneur en K_2O est forte aussi bien en surface que sur toute la profondeur des sols soit de 1.3 à 4.9%, elle est en corrélation avec la teneur en sels. En effet, les horizons les plus salés, sont aussi les plus riches en K_2O . L'azote est en quantité négligeable (**Khadraoui, 2007**).

La mise en valeur de ces sols filtrants, pauvres, est délicate. Elle suppose un suivi régulier du niveau de leur fertilité, de leur déficit en eau et de leur salinité.

Ce qu'il y a lieu de retenir également, c'est l'importance des terres de pacage et parcours puisque celles-ci frôlent le demi-million d'ha de superficie à l'échelle de la wilaya de Ouargla seule (**DPAT/Ouargla, 2005**) d'où l'intérêt d'entreprendre une véritable relance

des activités sylvo- –pastorales à l'effet de valoriser des espaces loin d'avoir été convenablement exploités auparavant.

II.3.6. Dégradation du sol

II.3.6.1 Effets de la nappe phréatique

Le niveau élevé de la nappe phréatique présente des conséquences néfastes sur le sol (**Djerbi, 1994**). Ce problème produit trois types d'effets au niveau des sols, d'ordre physique, physico-chimique, chimique et biologique.

❖ **Problèmes d'ordre physique** : sont l'instabilité structurale et la réduction de l'aération des sols (Hydromorphie). La pauvreté en oxygène dans les sols produit l'asphyxie et la pourriture racinaire chez les végétaux (**Callot et al., 1982**).

❖ **Problèmes d'ordre physico-chimiques** : La salinisation et l'alcalinisation des sols sont des problèmes physico-chimiques qui touchent les zones mal drainées (**Durand, 1958**). D'après **Dubost et al. (1983)**,

L'augmentation du niveau de la nappe phréatique augmente l'évaporation des eaux phréatiques et les dépôts salins dans le sol. L'étude conduite par une mission soviétique, entre 1964 et 1969 à Sidi Mahdi a trouvé que les dépôts salins à la surface des sols augmentent avec la diminution de la profondeur de la nappe phréatique. Ils ont donné un modèle d'accumulation saline dans une saison chaude et une salinité d'eau phréatique de 10 g.l^{-1} (Tabl. 05). L'étude de la régression des valeurs indique que pour une nappe de cette charge, les accumulations salines deviennent nulles, quand la nappe sera à environ 97 cm de profondeur. Cette profondeur varie en fonction de la charge saline de la nappe phréatique et la nature des sols oasiens, notamment la texture.

Tableau 5: Impact de la remontée de la nappe sur les dépôts salins (**Dubost et al., 1983**)

Profondeurs de la nappe(cm)	Evaporation(m3 / ha)	Sels déposés(t / ha)
0	9800	9,5
10	8780	8,78
40	4930	4,93
60	2750	2,75
90	590	0,59

La remontée des eaux salées par ascension capillaire dépend de la texture des sols.

Pour avoir une ascension nulle à la surface du sol, en cas de nappe excessivement chargée en sels, il faut maintenir le plan d'eau à environ 1,3 m en terrains sableux, éventuellement à 1,5m quand les terres sont limoneuses (**Dubost, 1991**).

Les sels doivent être lixiviés et entraînés en dehors de la zone racinaire du palmier (**Eaton, 1937**) par un réseau de drainage efficace (**Hayward, 1949**). Le palmier dattier en raison de son pouvoir osmotique élevé, absorbe l'eau pure ; il résulte une concentration élevée des sels dans l'eau, qui sous l'évaporation intense, remonte par capillarité et entraîne des dépôts de sels à différents niveaux du profil. Ainsi, pour évacuer les sels nocifs et éviter la sursaturation des solutions des sols, il est indispensable d'augmenter les rythmes et les volumes d'irrigation pour assurer le lessivage dans la zone racinaire supérieure, entre 0 et 1,2m de profondeur où les besoins en eau sont couverts à plus de 80 %, à condition de drainer une épaisseur de sol de 1,5 m (**Djerbi, 1994**). Le lessivage des terres irriguées consiste à maintenir la solution du sol aussi proche que possible de l'équilibre ionique de l'eau d'irrigation (**Dubost, 1991**). La diminution des doses d'irrigation augmente l'accumulation des sels dans le sol et diminue le rendement des palmiers dattiers. L'augmentation de la dose d'irrigation de 18288 à 42672 m³ / ha / an, produit la diminution de la charge saline dans les profils des sols, passant de 56,24 à 18,58 t / ha

❖ **Problèmes d'ordre chimiques** : L'action néfaste des nappes superficielles sur les propriétés chimiques du sol se traduit à deux niveaux. Le premier par la modification des formes de Fe et Mn, notamment la réduction des oxydes ferriques, en faisant apparaître des tâches verdâtres de gley (**Dubost, 1991**). Le deuxième problème chimique, ce sont les accumulations gypseuses. La remontée des nappes phréatiques chargées en sels, dans les climats hyper-arides favorise l'accumulation du gypse (**Durand, 1958**). Les études effectuées par les chercheurs montrent que la nature des sols au Sud Est algérien change en fonction des régions phoenicoles. Ils peuvent être de types éoliens, alluvionnaires, alluvio-éoliens et de texture sableuse à argileuse. Il est observé que les sols des zones de nappes peu profondes, présentent des accumulations gypseuses, gypso-salines et gypso-calcaires (**Dutil, 1971 ; Saker, 2000 ; Hamdi-Aïssa, 2001**).

❖ **Problèmes d'ordre Biologique** : Enfin, l'activité biologique diminue au niveau des sols de nappes superficielles. Cela agit négativement sur l'évolution de la décomposition de la matière organique des sols (**Robert, 1992**).

II.3.6.2 Effets de la salinisation

Actuellement, deux aspects de salinisation des sols sont admis, la salinisation par excès de sels solubles et l'alcalinisation qui commence à se manifester dès que le taux de sodium échangeable dépasse les 15% de la C.E.C. (**Derdour, 1981**). Les problèmes engendrés sont la salinité et la sodicité des sols. Les sels les plus abondants dans les zones arides et sub-arides, sont de deux types, neutres (tel : NaCl , $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, Na_2SO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et alcalines (tel: Na_2CO_3 , $\text{NaH}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, NaHCO_3 , $2\text{Na}_2\text{SO}_4$, Na_2CO_3). Les sels non sodiques ne présentent pas de danger pour le sol, contrairement pour ceux qui sont sodiques. (**Servant, 1978**).

Les sols salés sont subdivisés en trois catégories (**U.S.S.L., 1954**) : les sols salins (salines soils), les sols salins à alcalis (saline-alkali soils) et les sols à alcalis (non saline-alkali soils). Il existe aussi des sols salins thioniques, à sulfure acidifiants, dans certaines zones sahariennes irriguées par des eaux riches en sulfure d'hydrogène, comme Touggourt (**Aubert, 1983**).

La sodicité des sols se traduit par des conséquences négatives sur les propriétés du sol : la dispersion des argiles, la dégradation de la structure, la perte de perméabilité et l'asphyxie du milieu. Il est remarqué que cela engendre à la surface des sols du Sud Est algérien une structure boursouflée à Touggourt (**Aubert, 1983**) et à Ouargla (**Hamdi-Aïssa, 2001**).



Photo 8: Sol hydromorphe et salé se situant dans la cuvette de Ouargla

Conclusion :

D'après ce qu'on a vu dans le dernier chapitre on peut considérer que le niveau de la nappe et la salinité de eaux phréatiques dans la cuvette de Ouargla constituent un obstacle de type physique et chimique par la formation des croûtes gypseuses et la salinisation des sols qu'elle génère, en plus des eaux d'irrigation salées. Les sels doivent être lessivées pour sauvegarder cet Agrosystèmes fragiles, nécessitant des aménagements hydro-agricoles. La dégradation des sols peut conduire à la longue, en cas d'absence de drainage, au dépérissement des oasis et à la dégradation de leur environnement dans la cuvette de Ouargla.

Chapitre III : Matériel et méthodes

Introduction

Comme on vient de le constater, dans la région de Ouargla, et malgré les potentialités hydro-édaphiques importantes, l'agriculture reste confrontée à des problèmes de disponibilité d'eau en quantités et surtout en qualité et une dégradation de l'environnement édaphique, pour donner suite à des pratiques culturales inadaptées. Les eaux usées traitées constituent une ressource en eau non conventionnelle supplémentaire et importante qui peut remédier à la pénurie d'eau dans les régions sahariennes et même dans les zones de nord du pays.

L'objectif de l'étude est de caractériser l'évolution de la qualité physico-chimique des sols, conduits sous irrigation, avec des eaux usées épurée de la STEP de Saidotba, sise dans la région de Ouargla.

III.1. Choix de la zone et de la station expérimentale

III.1.1. Zone d'étude :

L'étude sera menée dans une exploitation de coté de la commune de Hassi Ben Abdallah, cette dernière est située à 30 km à l'est de la wilaya de Ouargla, et à 8 km de son chef-lieu de daïra Sidi Khouiled. Elle s'étend sur une superficie de 1762 km², avec une population de 4950 habitants. Selon la **D.S.A. (2015)**, la superficie agricole totale de Hassi Ben Abdallah est estimée à 265281,8 hectares et la superficie agricole utile est estimée 7203,31 hectares.



Figure 11: Localisation de la station expérimentale

Le choix de la zone de Hassi Ben AbdAllah est guidé par un ensemble de facteurs :

- Cette région reste sans conteste l'une des régions pilotes en matière de mise en valeur et qui a connu une dynamique agricole notable par rapport aux autres régions de la wilaya de Ouargla. Cela est encouragé par le fait qu'elle possède suffisamment de bonnes terres installées sur un reg dont l'altitude est de 160 m, et ne nécessitant pas de réseau de drainage qui semble s'effectuer naturellement de manière satisfaisante (**Azib, 2010**).

- La profondeur considérable de la nappe phréatique et de ce fait l'élimination d'une éventuelle contamination du sol par les sels de cette dernière ;

III.1. 2. Station expérimentale

Les monolithes du sol seront prélevés dans une jeune palmeraie, dont la situation est donnée par (la figure 11). Les caractéristiques de cette exploitation sont : Une superficie de 1,5 ha ; plantée par de jeunes plants de palmier dattier ; l'irrigation est localisée, et l'eau d'irrigation est puisée dans une fosse creusée dans l'exploitation, dont la profondeur de l'eau ne dépasse pas les 3 m (selon le propriétaire ces eaux proviennent du drainage des exploitations sises à l'amont de sa terre).

III.2. Méthodes de travail

Ce travail consiste en un suivi de l'évolution des paramètres physico-chimiques d'un sol, dans des conditions contrôlées. La méthode est basée sur le prélèvement des monolithes de sols et leur installation au laboratoire. On procède à leur irrigation avec une eau usées épurée pendant une durée déterminée. L'étude est réalisée en trois phases Nous avons suivis la démarche ci-dessous :

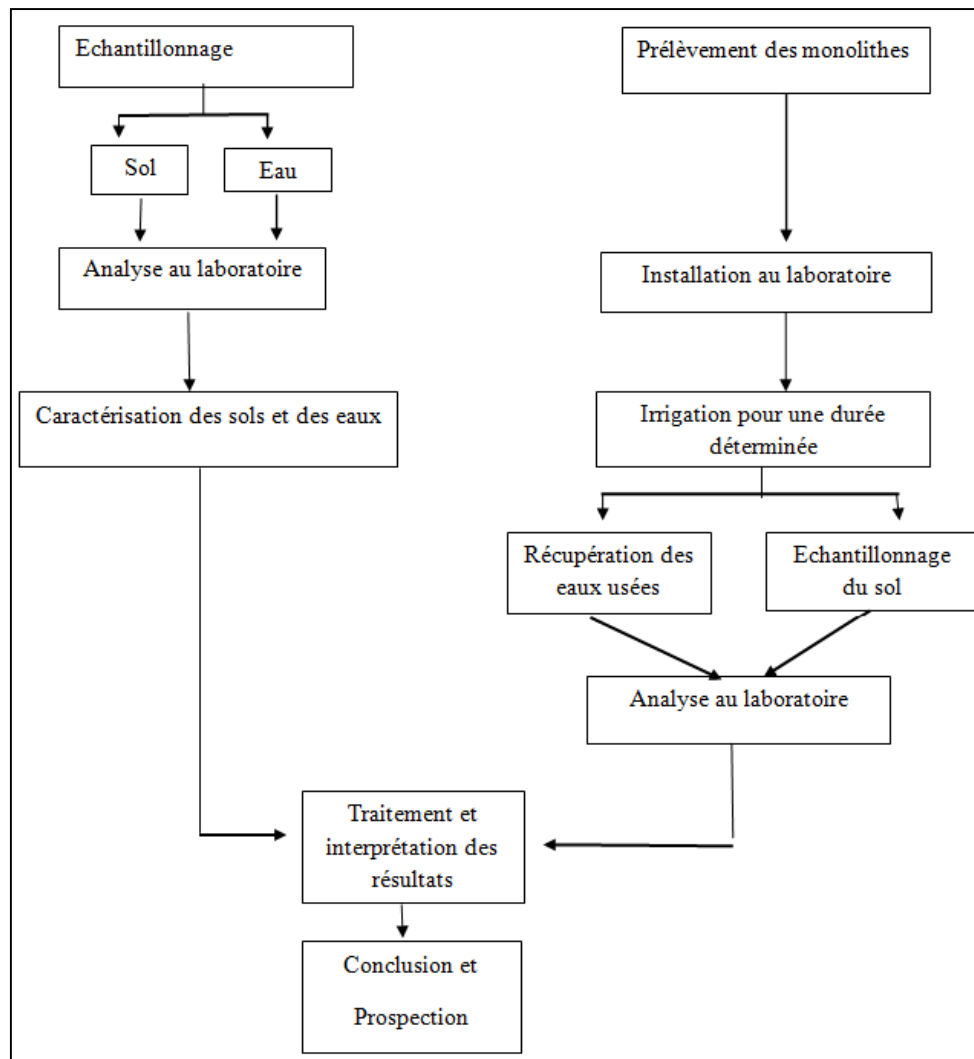


Figure 12: Schéma général de la démarche méthodologique

III.2.1. Choix des points de prélèvement du sol :

Au cours de cette phase on a effectué une analyse préliminaire du terrain dont la situation de la station, son historique cultural, le système d'irrigation et l'eau utilisée, par la suite on a procédé à des sondages multiples couvrants la superficie à étudier. Sur la base de ces fosses de prospections on a réalisé trois profils de sols d'une profondeur de 1.5 m (figure11).

III.2.2. Caractérisation du sol et analyse au laboratoire :

III.2.2.1. Caractérisation morphologique :

L'étude morphologique des sols a été réalisée dans des profils de 1,5 m de profondeur loin des palmiers dattiers. Cette caractérisation consiste à faire une description des horizons pour déterminer certaines caractéristiques principales qui sont de type :

a. Physique : le nombre et la profondeur des horizons, la couleur par la charte de MUNSELL, et apprécier la texture par le touché, ainsi la présence des éléments grossiers, le type de structure, la compaction, la cimentation et notamment la profondeur d'obstacle mécanique de croûtes gypso-calcaire ;

b. Chimique : la présence des sels solubles par le gouter et la formes des accumulations gypso-calcaire, par l'observation, le toucher et le test d'effervescence à l'HCl ;

c. Biochimique : La présence de matière organique ;

d. Biologique : La présence d'activité biologique.

III.2.2.2. Étude analytique des sols :

L'étude analytique consiste à mesurer certaines propriétés de type :

- **Physiques :** les paramètres de texture, de densité apparente (D_{app}), l'humidité pondérale du sol (H), l'humidité au point de flétrissement (H_{pf}) et l'humidité à la capacité de rétention (H_{cr}).

- **Chimique :** taux de calcaire ($CaCO_3$), taux de gypse ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), Carbone organique (M.O), le bilan ionique cationique (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) et anionique (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}).

- **Physico-chimiques :** le degré d'Alcalinité ($pH_{e1} :5$), le degré de salinité (C. Ee1 :5) et la charge saline en résidu sec (R.s)

Pour la réalisation de cette analyse un échantillonnage de sol, de chaque horizon, était programmé pour le mois de mars 2020.

Remarque : Vu les conditions exceptionnelles qui ont touchées le pays au cours de cette période (épidémie de COVID 19°) on a été contraint d'arrêter l'ensemble des travaux qui nécessite tout contact entre étudiants ou bien avec le personnel du labo.

III.3 Résultats et discussion

III.3.1. Description morphologique des profils :

Date : 29/01/2020

Temps : Ensoleillé

Localisation : Hassi Ben-Abdallah

Décri par : SahraouiSafa et Sahraoui Maroua

Végétation : Palmier dattier

Etat de surface : Sableux

Sol : minéraux bruts

✓ Description morphologique de profil 01

Latitude : 32°00'05,456''N

Longitude : 5°27'12,783''E

Altitude: 160m


	<p>0-45cm : Sec, Sableux, 45% d'élément grossier (1-3cm arrondie, lisse), forte effervescence à HCl, Yellow 10YR7/8 (à l'état humide), taches blanches, structure consolidée (particulaire après fragmentation), transition progressive, limite régulière.</p>
	<p>45-85cm : Sableux, 50 % d'élément grossier (2mm-4cm arrondie), forteeffervescence, brawnish Yellow 10YR6/8 (à l'état humide), taches blanches, frais, légèrement consolidé, transition progressive, limite régulière.</p>
	<p>85-125cm : Sableux, pas d'élément grossier, moyenne effervescence, riddishyellow 7.5YR7/8 (à l'état humide), taches blanches et noire, sec, consolidé, transition distincte, limite régulière.</p>
	<p>125<: Roche blanche légèrement dure (Grès).</p>

Photo 9 : Profil 01 et description des horizons

✓ Description morphologique de profil 02

Latitude : 32°00'05,688''N

Longitude : 5°27', 14,378''E

Altitude: 165m


	0-110cm : sableux, 20% d'éléments grossiers arrondies, forte effervescence, Brawnishyellow 10YR6/8 (à l'état humide), taches blanches, sec, structure consolidée (particulière après fragmentation), transition progressive, limite régulière.
	110-125cm : sableux, forte effervescence, riddishyellow 7.5YR7/8 (à l'état humide taches noires (darkyellowishbrown (10YR3/6)), frais, légèrement consolidée.

Photo 10 : Profil 2 et description des horizons

✓ . Description morphologique de profil 03

Latitude : 32°00'07,994''N

Longitude : 5°27', 13,628''E

Altitude: 174m


	0-20cm ; couche superficiel, Sableux, sec, particulière, transition progressive, limite régulière.
	20-35cm : Sableux, 50% d'élément grossier (2mm-4cm arrondie), forte effervescence, Yellow 10YR7/8 (à l'état humide), présence de taches blanches, frais, structure légèrement consolidée, présence des racines mortes, transition progressive, limite régulière.
	35-120cm : Sableux, petits éléments grossiers (40%), forte effervescence, Brawnishyellow 10YR6/8 (à l'état humide), taches blanches, sec structure légèrement consolidée.

Photo 11 : Profil 3 et description des horizons

Comme conclusion, on peut retenir de cette description que :

- Le type des profils est A C.
- Le sol est caractérisé par une texture sableuse, une structure particulière, présence de pourcentage différent d'éléments grossiers et absence de matière organique.
- Le sol est généralement Homogène, il ya une différence perceptible dans épaisseur des horizons.

Chapitre IV : Caractérisation des eaux de la STEP de Ouargla

Introduction

Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. En Algérie, l'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants liés à l'essor démographique et le développement accéléré des activités économiques, notamment l'agriculture en irrigué et l'industrie. Ces dernières années, et vu l'insuffisance flagrante dans les ressources conventionnelles l'état Algérien et comme de nombreux autres pays se sont dirigés vers l'utilisation des eaux non conventionnelles telles que les eaux usées épurées et les eaux de dessalement.

Le but recherché, dans ce travail est de décrire et quantifier l'évolution des paramètres physico-chimiques, chimiques et de pollution à la sortie de la station d'épuration de la ville de Ouargla dans le but d'une éventuelle utilisation de ces eaux dans l'irrigation.

IV .1. Echantillonnage et méthodes d'analyse

Les prélèvements ont été effectués par le personnel de la STEP, les échantillons sont introduits dans des flacons en plastiques (polyéthylène), rincés avec de l'eau à analyser puis remplis jusqu'au bord. Les bouchons sont placés de telle façon qu'il n'y aucune bulle d'air pour éviter toute oxydation et dégazage. Les prélèvements sont effectués à l'entrée et à la sortie de la STEP avec une fréquence de trois fois par semaine pour les paramètres **DBO5**, **DCO** et **MES**. Tandis que, les mesures de la **température**, la **teneur en oxygène dissous**, le **pH** et la **conductivité électrique** sont réalisées quotidiennement et sur place.

La détermination de la conductivité électrique, est faite à l'aide d'un conductimètre qui donne également la valeur de la température de l'eau au moment de la mesure.

La valeur du pH est donnée par un PH-mètre.

La mesure de l'oxygène dissous est faite par un oxy-mètre de poche disponible au niveau de laboratoire de la station.

Pour la détermination de la Demande Chimique en Oxygène on a utilisé un DCO _ mètre. Et La mesure de la Demande Biochimique en oxygène, est faite par la méthode d'autocontrôle DBO Oxitop, (**WTW , 2006**). Selon le responsable du laboratoire de la STEP

SAID OTBA, et compte tenu de la défaillance du matériel de mesure de la DBO₅ et du manque de réactifs utilisés, les analyses de ce paramètre ont été faites ailleurs. De ce fait, on a que les résultats de quelques mois de l'année 2016.

La détermination des matières en suspension (M.E.S) est effectuée par filtration de l'eau et par la suite on mesure le poids des matières retenues. Le taux de MES est donné par l'expression suivante

$$\text{MES} = 1000 (M1 - M0) / v \text{ MES} :$$

La teneur en MES est en (mg/l) ; **M1**: la masse en (mg) de la capsule contenant l'échantillon après étuvage à 150°C ; **M0**: la masse en (mg) de la capsule vide ; **V**: volume de la prise d'essai en (ml) ;

Remarque : selon le personnel de la STEP Saidotba et vu le manque de matériel et de produits, les analyses de l'eau au niveau de la STEP ne se font plus, depuis 2018. De ce fait ; on est contraint à travailler avec les résultats des années 2016 et 2017.

IV.2. Interprétation des résultats d'analyse de la qualité des eaux usées épurées à la sortie de la STEP

Les résultats des analyses moyennes mensuelles concernant la qualité physico-chimique des eaux usées épurées à la sortie de la STEP pour les années 2016, 2017 sont résumés dans le (tableau 02). L'évolution de ces paramètres peut être résumée comme suite :

IV.2.1 Température :

Il est important de connaître la température de l'eau car elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (**Rodier, 1984**). Elle régit également la quantité d'oxygène dissous et influence la décomposition de la matière organique. Elle joue un rôle déterminant dans le développement des parasites responsables de certaines maladies et la prolifération d'algues (**Slimani, 2003**).

L'analyse du graphique de la figure suivante montre que les températures des eaux épurées à la sortie de la STEP suivent une phase croissante allant du mois Janvier 2016 jusqu'aux mois de juillet, août et septembre 2016 avec valeur maximal de 28.31°C, reliée à la saison estival. Une phase décroissante allant du mois de septembre de l'année 2016 jusqu'au mois janvier 2017 avec valeur minimal de 14,3°C, une deuxième phase de croissance des

valeurs de températures allant de janvier 2017 jusqu'au mois de juillet 2017 avec une valeur maximale de 32.9 °C. La variation des températures de l'eau est nettement influencée par la variation des températures de l'air.

La température des eaux traitées de la STEP SaïdOtba, excèdent les normes Algériennes (JORA, 2012) et de l'OMS pour l'irrigation au cours de la saison estivale de l'année 2016. En revanche, elles sont dans les normes, pour le reste des mois.

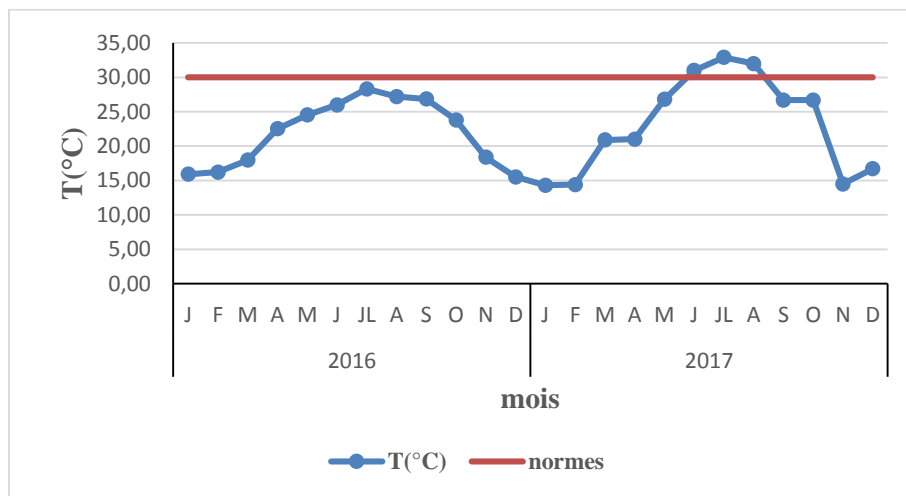


Figure 13: Evolution moyenne mensuelle de la température des eaux épurées

IV.2.2. Le pH

Selon **Rodier et al. (2005)**, le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau.

Le pH des eaux usées épurées varie entre 8,09 (janvier 2017) et 6,97 (Avril 2017), le pH de ces eaux est situé dans la fourchette des normes algériennes pour la réutilisation des eaux usées épurées dans l'irrigation.

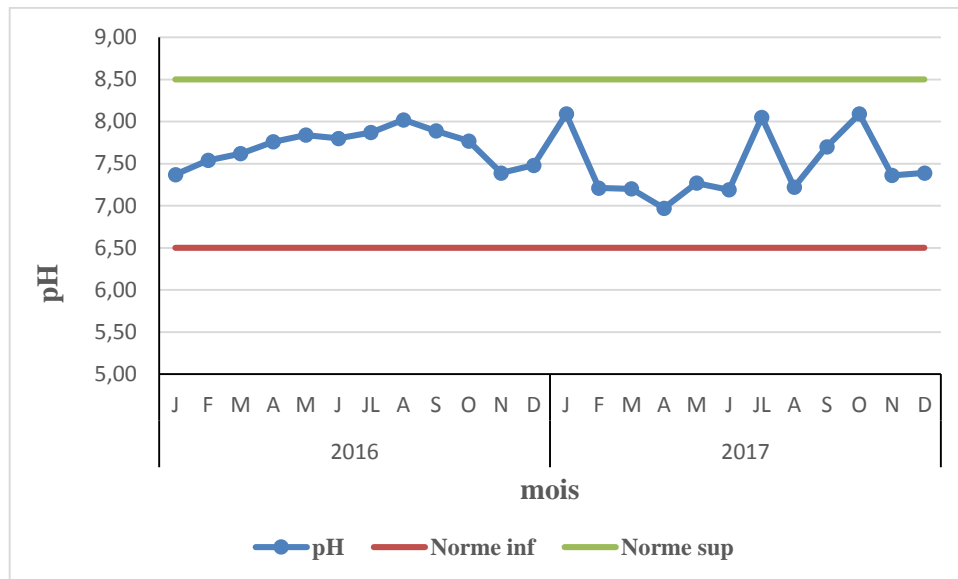


Figure 14 : Evolution mensuelle du pH des eaux épurées

IV.2.3. Les matières en suspension

Les MES sont des particules en suspension dans l'eau, d'origine organique ou minérale (Aliem, 1999).

La concentration des matières en suspension varie entre un minimum de 17 mg/l enregistré le mois de Février 2017 et un maximum de 124 mg/l atteint le mois de juillet 2016. Pour l'année 2016 les valeurs mensuelles de ce paramètre sont supérieures aux normes de la réutilisation en irrigation. Mais pour l'année 2017 les valeurs excèdent les normes pour les mois de Mars, Avril, Septembre, Novembre et décembre.

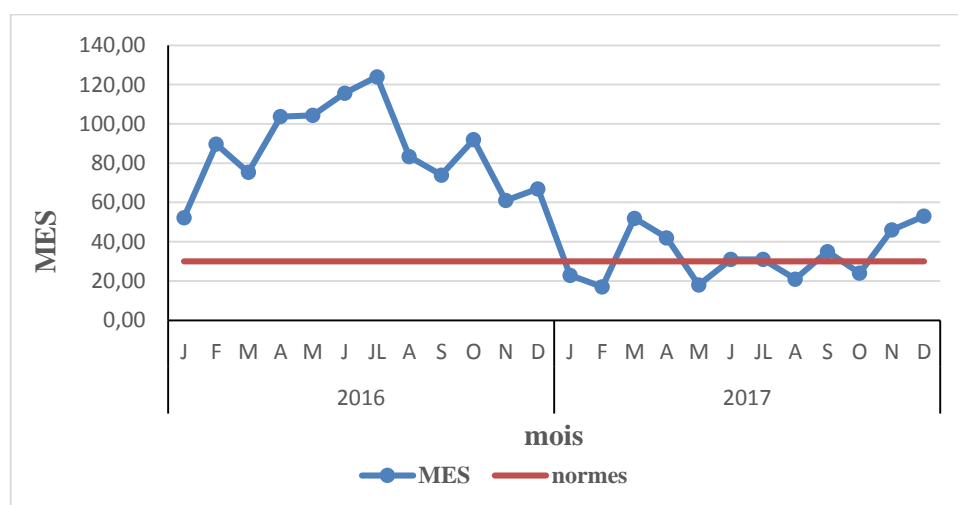


Figure 15: Evolution moyenne mensuelle de MES des eaux usées épurées.

IV.2.4. Conductivité électrique :

La conductivité traduit le degré de minéralisation globale, elle nous renseigne sur le taux de salinité.

L'analyse de la figure suivante révèle que les valeurs moyennes mensuelles de la conductivité électrique enregistrées au niveau des eaux usées épurées à la sortie de la STEP fluctuent entre 4,66 ds/m (novembre 2017) et un maximum de 18.51 ds/m. Ces valeurs ne répondent pas aux normes de la réutilisation des eaux usées épurées dans l'irrigation (JORA, 2012). Selon la classification de l'USDA, in Harivandi, (1999), ces eaux présentent un risque très élevé et sont non utilisables en agriculture.

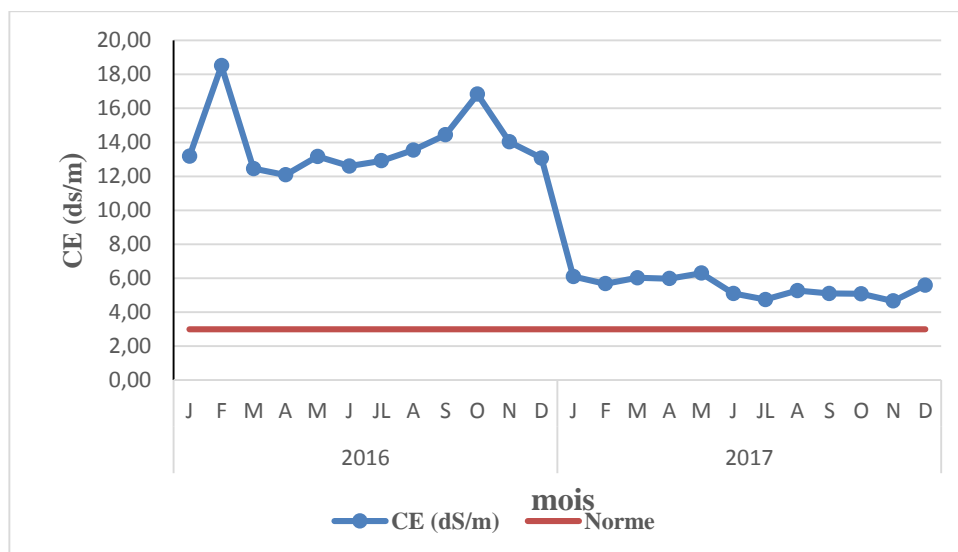


Figure 16: Evolution moyenne mensuelle de la conductivité électrique des eaux usées épurées.

IV.2.5. La demande chimique en oxygène

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydable par une attaque chimique avec un oxydant puissant dans des conditions opératoires bien définies (Rodier, 1996).

Les valeurs de la DCO des eaux usées épurées à la sortie de la STEP varient entre un minimum de 48,80 mg/l (Mai 2016) et un maximum de 168,07 mg/l (juin 2016). On constate une variation très importante dans les valeurs mensuelles de la DCO. Pour l'année 2016, les valeurs de la DCO excèdent la norme de la réutilisation dans l'irrigation, mais au cours de l'année 2017 on constate que la norme est dépassée pendant les mois de février, septembre octobre et décembre.

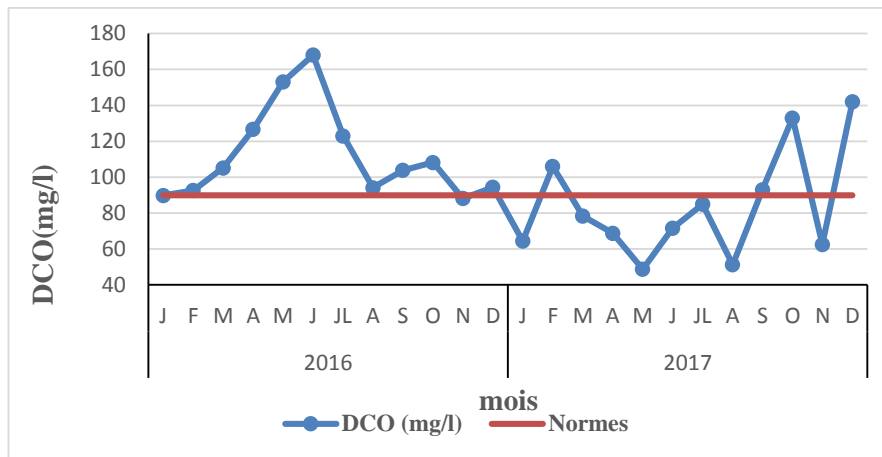


Figure 17: Evolution moyenne mensuelle de la DCO des eaux usées épurées.

IV.2.6. La demande biochimique en oxygène

Elle est mesurée par la consommation d’oxygène à 20 °C à l’obscurité et pendant cinq jours d’incubation d’un échantillon préalablement ensemencé, temps qui assure l’oxydation biologique d’une fraction des MO carbonée. (Berne & Cordonnier ,1996).

Les valeurs de la DBO₅ des eaux usées épurées varient entre un minimum de 15 mg/l (mai 2017) et un maximum de 60 mg/l, (septembre 2017) (on n’a pas de données en juillet jusqu’à novembre 2016). A l’exception des valeurs enregistrées pendant les mois de Janvier et février 2016, Mai, octobre, novembre et Décembre 2017, le reste des valeurs excède la valeur limite fixée pour l’irrigation.

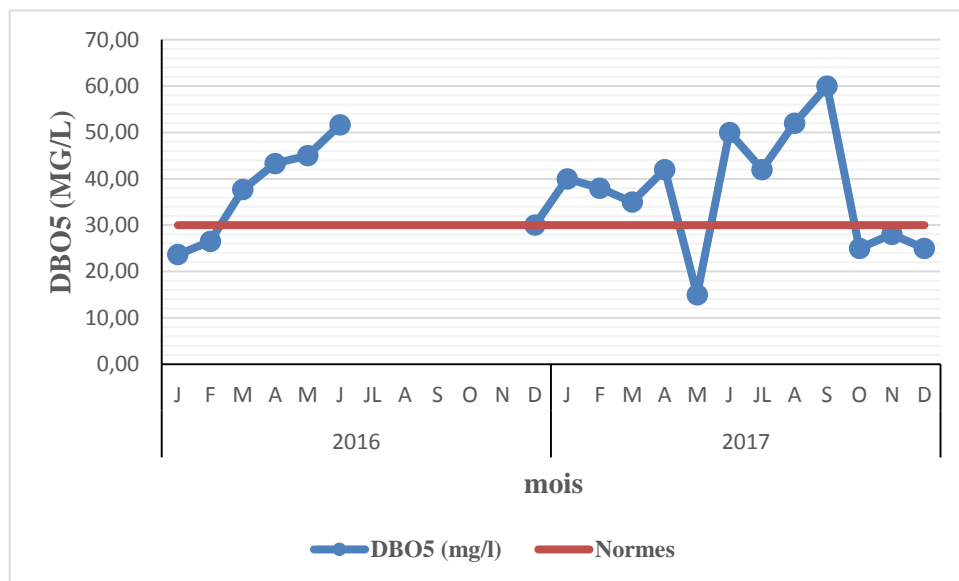


Figure 18: Evolution moyenne mensuelle de la DBO5 des eaux usées épurées

IV.2.7. Azote total

Les valeurs de l'Azote total ($\text{NO}_3\text{-N}$) des eaux usées épurées varient entre un minimum de 37,3 mg/let un maximum de 130 mg/l (on n'a pas de données pour les mois de juin, juillet, novembre et décembre). L'ensemble des valeurs moyennes mensuelles de l'azote total dépassent la norme supérieure admissible (**JORAD, 2012**).

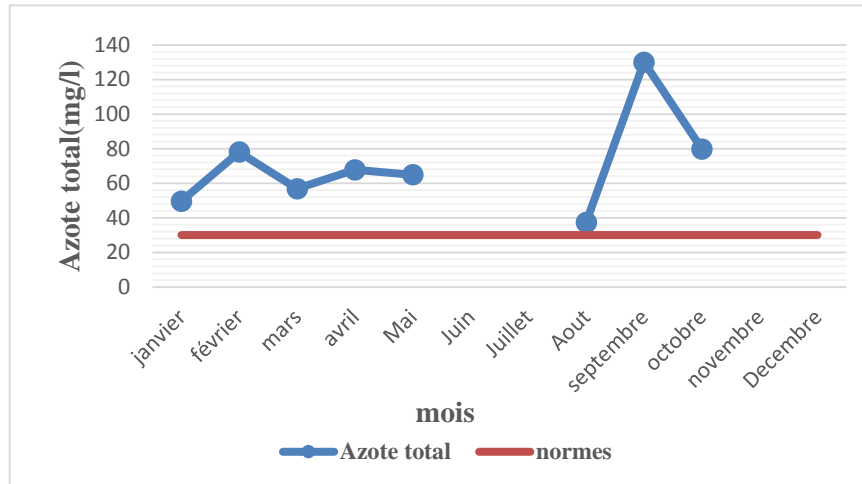


Figure 19: Evolution moyenne mensuelle de l'Azote total des eaux usées épurées pour l'année 2017

IV.2.9. Nitrate :

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacque, nitrites, etc.) sont susceptibles d'être l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique.

Slim et al. (2005), ont constaté qu'une quantité infinie des nitrates dans les eaux de surface est liée soit à la croissance algale accrue dans ces sites, soit au phénomène conjoint de dénitrification qui transforme le nitrate NO_3^- en azote N_2 grâce à la présence de la matière organique.

L'analyse de la figure suivante montre que les concentrations en Nitrates varient entre 0,345 mg/l et 22mg/l, elles répondent aux normes fixées pour la réutilisation dans l'irrigation.

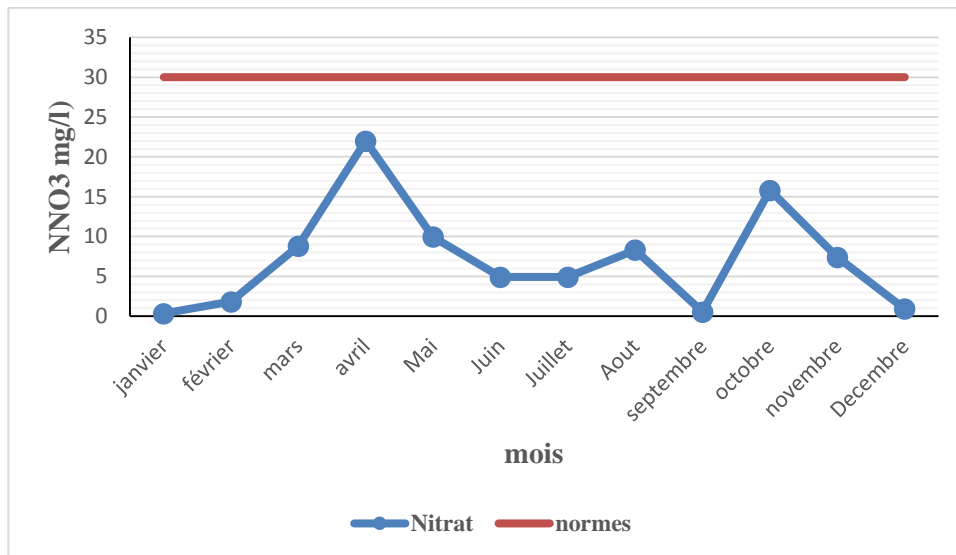


Figure 20: Evolution moyenne mensuelle des Nitrates des eaux usées épurées (2017)

IV.2.10. Nitrite NO₂⁻

L’analyse de la figure suivante montre que les concentrations en nitrites pour les mois de mars, avril et novembre 2017 dépassent la valeur maximale fixée pour la réutilisation en irrigation. En revanche, elles sont dans les normes, pour le reste des mois.

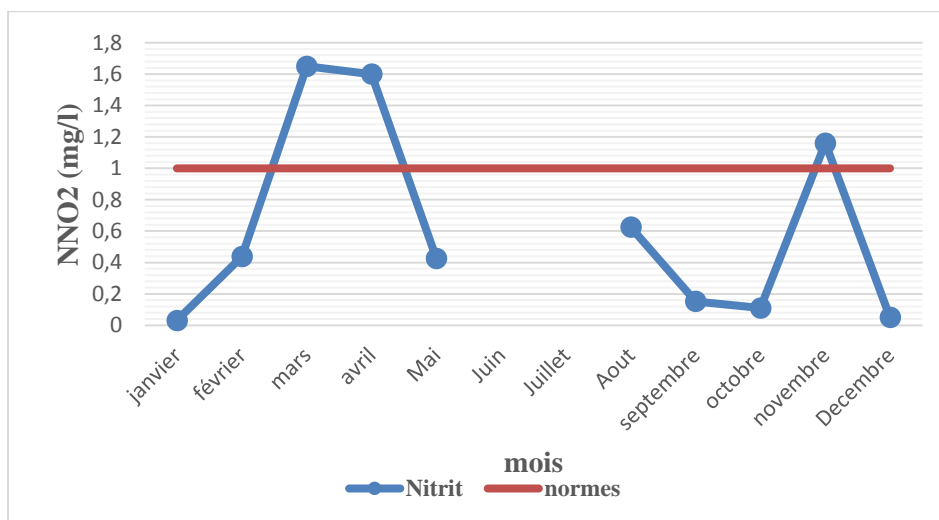


Figure 21: Evolution moyenne mensuelle des Nitrites des eaux usées épurées en 2017

Conclusion

La caractérisation de la qualité physico chimique des eaux usées épurées de la STEP SaidOtba, a montré que ces dernières sont d’une qualité très mauvaise vis-à-vis la conductivité électrique, les MES, la DBO₅, la DCO et l’Azote total de ce fait, elles sont déconseillées pour l’irrigation.

Conclusion générale

Au terme de ce travail, nous nous sommes appliqués à définir l'évolution de la qualité physico-chimique des sols de la région de Ouargla, irrigués avec les eaux usées épurées la station d'épuration SaidOtba.

De cette présente étude, nous retiendrons en premier lieu les différentes caractéristiques de la région de Ouargla. En effet cette dernière présente :

Un climat désertique chaud de type Saharien, caractérisé par des précipitations très peu abondantes et irrégulières (cumul interannuel <50 mm), des températures élevées accusant des amplitudes journalières et annuelles importantes, une faible humidité relative de l'air et une évaporation très importante avoisinant les 3000 mm/an.

La synthèse des travaux pédologiques réalisés, montre que les sols sont légers à prédominance sableuse et à structure particulière. La fraction minérale est constituée dans sa quasi-totalité de sable. La fraction organique est très faible. Ces sols squelettiques sont très peu fertiles, Car leur rétention en eau est très faible. Ils sont caractérisés par une activité biologique faible, une forte salinité et une bonne aération.

Une mobilisation accrue des eaux souterraines des deux aquifères profonds et une utilisation des pratiques culturales inadaptées (systèmes d'irrigation de surface, drainage défectueux), a engendré des remontées de la nappe phréatique déjà à fleur de sol. De ce fait, une dégradation de l'environnement hydro-édaphique des palmeraies de la région sous l'effet jumelé de la salinité des eaux d'irrigation et ceux de la nappe superficielle.

L'analyse de l'évolution moyenne mensuelles des caractéristiques physico-chimiques des eaux usées épurées à la sortie de la STEP pour les années 2016 et 2017 et leur comparaison aux normes Algériennes (**JORA, 2012**) et de (**l'OMS,1989**) de la réutilisation des eaux usées épurées, a révélé que ces eaux sont, dans l'ensemble, déconseillées pour l'irrigation. En effet, les paramètres Conductivité électrique, DBO₅, DCO, MES et Azote total présentent des concentrations supérieures aux normes de la réutilisation dans l'agriculture.

En fin, dans le souci de préserver l'environnement hydro-édaphique de la région de Ouargla et dans la mesure où l'utilisation des eaux usées épurées constitue la seule issue pour la satisfaction des besoins grandissants dans le secteur agricole, il est impératif de suivre les recommandations suivantes :

- Interdiction d'utilisation de réseaux usés épurés de la STEP de Ouargla dans l'irrigation ;
 - Un contrôle continu de la qualité des eaux à la sortie de la STEP ; et la vérification des étapes de traitement pour déceler les problèmes qui peuvent gêner les processus d'épuration.
 - Utilisation d'un autre procédé d'épuration biologique dans le souci de diminuer le temps de séjour de l'eau dans les bassins pour minimiser l'évaporation et donc diminution l'effet de concentration en sels.
 - Utilisation des systèmes d'irrigation économes en eau avec la nécessité d'ajout des doses de lessivage ;
 - L'installation des systèmes de drainage pour l'évacuation des eaux excédentaires et des sels en dehors de la zone cultivée ; et garder un niveau de nappe phréatique acceptable ;

- **Abrol. I.P. et aL., 1988:** Salt-affected soils and their management. FAO Soils. Bulletin 39, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- **Asano, T (Ed) 1998:** waste water Reclamation and Reuse, water quality Management library volume 10 Technomic publishing co, Inc; Lancaster PA.
- **Asloum H., 1990 :** Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicon esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis : 24- 32.
- **Attab S.2011 :** Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration haoud-berkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local. Mémoire magister, Université KasdiMerbah-Ouargla, Algérie, 152 p.
- **Aubert G., 1978 :** Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annales de l'I.N.A El-Harrach, Vol VI, N° 1: 195.
- **Aubert G., 1983 :** Observations sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou salsodiques. Cah. O.R.S.T.O.M. Sér. Pédo., 20 (1) : 73-78.
- **Ayers R-S et Westcot D-W ,1988 :** La qualité de l'eau en agriculture. Bulletin FA d'irrigation et de drainage, 29 Rév. 1, 165p.
- **Azib. S.2010 :** Gestion des périmètres agricoles au niveau de la zone de mise en valeur de Hassi Ben Abdallah.Magister en Ecologie Saharienne et Environnement,Université KasdiMerbah–Ouargla
- **Bachi, O.E.K. 2010 :** mémoire présente en vue de L'obtention du diplôme de magister thème diagnostic sur la valorisation de quelques plantes du gardien d'épuration de station du vieux ksar Témacin.Ouargla, 105P.
- **Banzaoui N et Elbouz F. 2009 :** Epuration des eaux usées par les procédés des boues activées au niveau de la commune de Touggourt. Mem.Ing. chimie.Univ de Annaba.
- **Baumont S., Camard J.P., Lefranc, A. et Franconi A.2004 :** Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Observatoire Régional de Santé d'Île-de-France, 176 p.
- **Belhani, Mahdi, Bourgois, Jacques et Pons, Marie-Noelle. 2008 :** Analyse du cycle de Vie, Epuration des eaux usées urbaines. Revue technique de l'ingénieur.
- **Benkrima. A, Djafour. A .2013 :**Impact des eaux usées épurées sur la fertilité Phospho-Azotée des sols à Ouargla.

- **Benriana, Bougoffa. 2014** : « Mémoire de Gestion de ressource de l'eau de la cuvette d'Ouargla ». Université KASDI MERBAH. Ouargla
- **Bensaber.Kh. 2005** : étude des performances épuratoire d'une station d'épuration a boues activées (cas de la STEP de MAGHNIA), Mémoire de DEUA, Université de Tlemcen.
- **BG. 2004** : Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission II, Rapport final. Bonard & Gardel, Lausanne, 110 p.
- **BOLT et Al 1978**:International Archive on Occupational Environmental Health 60 (3): 141 4.
- **Bouaroudj, S. 2012** : Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation, Magistère en écologie, Université Mentouri, Constantine, Algérie.
- **Bousseboua H., 2005** : Eléments de microbiologie. 2erne édition, Campus-Club. Constantine. Algérie. 304p.
- **Bouteyre G., Loyer Y., 2003** : Sols salés eaux saumâtre des régions arides tropicales et méditerranéennes in l'aridité, une contrainte au développement. ORSTOM, Paris.
- **Boutin C, Heduit A et Helmer J M, 2009** : Technologies d'épuration en vued'une réutilisation des eaux usées traitées Ed. ONEMA – Direction de l'Action Scientifique et Technique. Paris, p-p : 9-100.
- **Bradaï H ,2017** : Evolution de la qualité géochimique des eaux souterrains utilisées dans l'irrigation et leur impact sur la dégradation des sols de la plaine du Bas –Chélif. Thèse de doctorat, Univ Hassiba Benbouali de Chlef, pp 18-86.
- **Briere.G. 1994** : Distribution et Collecte des eaux Edition de l'Ecole Polytechnique de Montréal.
- **Callot G., Chamayou H., Maertens. C., Salsac.L., 1982** : Les interactions sol racine : incidence sur la nutrition minérale. I.N.R.A., Paris, 325 p.
- **Castany, G., 1983** : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Ed. DUNOD. Paris. P 33 - 228.
- **Cauchi, Hyvrard, Nakache, Schwartzbrod, Zagury, Baron, Carre, Courtois, Denis, Dernas, Larbaigt, Derangere,Martigne, et Seguret. 1996** :Dossier la réutilisation des eaux usées après épuration. Techniques, Sciences et Méthodes 2 pp 81-118.
- **CDARS (Commissariat au Développement Agricole des Régions Sahariennes), 1998** : Etude du Plan Directeur Général de Développement des Régions Sahariennes, BRL-Lausanne (Suisse)/BNEDER-Alger, 110p.

- **Cherbuy. B., 1991 :** Les sols salés et leur réhabilitation. Etude bibliographique. CEMAGREF, école. Nat. Renne, 170p
- **Côte M. (2005) :** La ville et le désert. Le Bas-Sahara algérien. Éd. Karthala, Paris, 307 p.
- **Côte, M., 1998 :** Des oasis malades de trop d'eau, Sécheresse 9, 123-130.
- **Couture, I., & Montérégie-Est, M.A.P.A.Q. (2004) :** Analyse d'eau pour fin d'irrigation. Agri.Vision.8p
- **D.A.P.E.,2013 :** Direction d'Assainissement et de Protection de l'Environnement /MRE),. 2013.
- **DaddiBouhoun M., Marlet S., Brinis L., Saker M L., Rabier J. and Côte M., 2011:** “A survey of the combined effects of waterlogging and salinity on fruit yield in the date palm groves of the Wargla basin, Algeria”, Fruits, vol. 66, 11-24.
- **DaddiBouhoun M., Saker M.L., Hacini M., Boutoutaou. D and Didi, Ould el Hadj.M., 2013:** the soil degradation in the Ouargla basin: a step towards the desertification of the palm plantations (north east Sahara Algeria), International Journal of Environment & Water, Vol 2, Issue 1, 2013, p:93-98.
- **Daddi Bouhoun. M.2010 :** Contribution à l'étude de l'impact de la nappe phréatique et des accumulations gypso-salines sur l'enracinement et la nutrition du palmier dattier dans la cuvette de Ouargla (sud est algérien), thèse doctorat, spécialité écophysologie végétale Université Badjimokhtr Annaba p 39-41
- **Dagot c., Laurentj., 2014 :** module d'enseignement : STEP.
- **Dajoz, 1982 :** Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliquée Ed. Gauthier- Villers paris. 503 P.
- **Daoud Y et Halitim A., 1994 :** Irrigation et Salinisation au Sahara Algérien. Sécheresse. 3 (5), pp : 151- 160.
- **Debieche T.H. 2002 :** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Thèse de doctorat. Univ. De franche comté. 199p.
- **Dekhil S., Wahiba et Zaibet M.,2013 :** Traitement des eaux usées urbaines par boues activées au niveau de la ville de Bordj Bou Arreridj effectué par la station d'épuration des eaux usées ONA.
- **Derdour H., 1981 :** Contribution à l'étude de l'influence du taux de sodium échangeable sur le comportement des sols au compactage. Thèse Magister, I.N.A., Alger, 146 p.

- **Djeddih. A., 2007** : Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines, Université Mentouri, Constantine, Algérie.
- **Djerbi M., 1994** : Précis de phéniciculteur. F.A.O., Rome, 192 p.
- **Djidel M., 2008** : Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional, Algérie). Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar-Annaba. Faculté des Sciences de la Terre. Département de Géologie. 164 p.
- **Djili K., Daoud Y., Touaf L., 2003** : La salinisation et la sodisation des sols d'Algérie. Congrès scientifique sur l'apport de la recherche scientifique et des nouvelles technologies dans le développement et la mise en valeur des régions arides et semi-aride climat. 2-3 octobre. El-Oued, 9 p.
- **Douaoui A., 2005** : Variabilité spatiale de la salinité en relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chélif. Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse Doct d'état, INA –Alger, p. 115.
- **Douaoui, A. Hartani,T 2007** : Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chélif
- **DPAT (Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire), 2009** : Annuaire statistique pluriannuel (1998-2004-2008), Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire, Ouargla (Algérie), 138p.
- **DSA, 2010** : Direction des Services Agricoles de la wilaya de Ouargla, services des statistiques agricoles.
- **Dubost D., 1991** : Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Thèse Doct., Université François Rabelais, Tours, 544 p.
- **Dubost D., Haddad D., Kafi A., Maane H., 1983** : Rapport préliminaire sur les essais d'irrigation localisée du palmier dattier à la station expérimentale de Sidi Mahdi
- **Duchaufour (Ph.), 1983** : Pédogénèse et classification. In : Pédologie, tome 1, 2e édition. – Paris : Masson, 477 p.
- **Durand J.H, 1983** : Les sols irrigables, Agence de coopération culturelle et technique. P.U. France, 190 p.
- **Durand J.H., 1958** : Les sols irrigables. Etude pédologique. Imbert, Alger, 191 p.
- **Durand J.H. 1982** : Les sols irrigables : étude pédologique. 399 p.
- **Dutil. P., 1971** - Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara. Thèse Doct. Es Sci. Naturelles, Univ. Strasbourg, Strasbourg, 346 p.

- **Eaton F.M., 1937:** Significance of salt in Coachella Valley agriculture. Ann. Rep. Date Growers' Inst., 14: 11-13.
- **Essington M.E., 2004:** Soil and water chemistry, an integrative approach. CRC Press, USA. 553p.
- **Faby JA., Brissaud F, 1997 :** L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation, Office International de l'Eau, France, 76 p.
- **Falizi, N.J., Hacifazlıoğlu, M.C., Parlar, İ., Kabay, N., Pek, T.Ö., Yüksel, M., 2018:** Evaluation of MBR treated industrial wastewater quality before and after desalination by NF and RO processes for agricultural reuse. J. Water Process Eng. 22, 103–108. doi: 10.1016/j.jwpe.2018.01.015
- **FAO. 2005 :** Utilisation des engrais par culture en Algérie.
- **FAO. 2016:** Forty years of community-based forestry: a review of its extent and effectiveness. FAO Forestry Paper 176. Rome.
- **FAO., 1988 :**Bulletin d'irrigation et drainage n° 29 Rév.1. La qualité de l'eau en agriculture.
- **François valiron. 1989 :**« gestion des eaux. » 208-209-211p.
- **Gaïd Abdelkader. 1993 :** « Traitement des eaux usées urbaines ».
- **Gaucher. G., Burdin., 1974 :** Géologie et géomorphologie et hydrologie des terrains salés. Ed Presses universitaires de France, Paris. 230 p.
- **Girard P., Prost J., Bassereau P., 2005 :** Passive or Active Fluctuations in Membranes Containing Proteins Phys. Rev. Lett. 94, 088102 : 60-64.
- **Grosclaude, G. 1999 :** Un point sur l'eau. Tome II usage et polluants. Ed. INRA. Paris.210p.
- **Halilat, M.T., 1993 :** Etude de la fertilisation azoté et potassique sur le blé dure (variété Aldura) on zone sahariennes (région de Ouargla). Mémoire. Magis. Batna. 130p.
- **Hamdi-Aïssa B., 2001 :** Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord Sahara (Cuvette de Ouargla). Approches micro-morphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. Thèse Doct. I.N.A. Paris-Grignon, Paris, 315 p.
- **Harivandi A.1999:** Interpreting turfgrass irrigation Water test result. Water journal of California,
- **Hartani T.2005 :** La réutilisation des eaux usées en irrigation : cas de la Mitidja en AliHammani, Marcel Kuper, AbdelhafidDebbarh. Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée, IAV Hassan II, Rabat, Maroc, 11 p.

- **Hayward.H.E., 1949:** The salt problem and the salt tolerance of irrigated crops. Ann. Rep. Date Growers' Inst., 26: 15-17.
- **Idder T.1998 :** La dégradation de l'environnement urbain liée aux excédents hydriques au Sahara Algérien. Impact des rejets d'origine agricole et urbaine et techniques de remédiations proposées. L'exemple de Ouargla. Thèse de doctorat, Univ. Angers, 284p.
- **Idder, T., 2007 :** Le problème des excédents hydriques à Ouargla : situation actuelle et perspectives d'amélioration. Sècheresse 18, 161-167.
- **INSID. 2008 :** les sols salins en Algérie. Institut national des sols, de l'irrigation et du drainage.
- **INSID., 2008 :** Le point sur la salinité des sols dans les périmètres irrigués : Risques et Recommandations. (Cas du périmètre irrigué du Bas Cheliff). 17p.
- **JORA 2012 :** Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire conventions et accords internationaux - lois et décrets arrêtes, décisions, avis, communications et annonces (traduction française). Dimanche 25 Chaàbane 1433 N° 41me Correspondant au 15 juillet 2012, p 27.
- **Joseph. P. (2002) :** RakhaPronost et all. Office internationale de l'eau.
- **Keren R. (2000):** Salinity. In: Sumner M.E. (Ed). Handbook of Soil Science. CRC Press, NY, USA, pp G3-G25.
- **Khadraoui A., 2006 :** Eaux et sols en Algérie, gestion et impact sur l'environnement. 236p
- **Khadraoui A., 2007 :** Sols et hydraulique agricole dans les oasis algériennes, caractérisation – contraintes et propositions d'aménagements, 323p
- **Khelili T., Lammouchi B., 1992 :** Contribution à la cartographie des sols de la cuvette de Ouargla et étude de quelques cartes thématiques, mémoire d'ingénieur, INFS/AS, Ouargla, Algérie, 49p.
- **Ladjel f. (2006) :** Exploitation d'une station d'épuration a boue activée niveau 02. Centre de formation au métier de l'assainissement. CFMA-Boumerdes, 80p.
- **lahlou,M .,et al,2000 :**the deliberate indirect waste water reuseschem at essex& Suffolkwater“.colloque de colloque de Noirmoutier.
- **Lazarova V., Brissaud F. 2007 :** Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées traitées en France. L'eau, l'industrie, les nuisances 299, 29-39 p.

- **Lazarova V., Gaid A., Rodriguez-Gonzales J., AldayAnsola J. 2003:** L'intérêt de la réutilisation des eaux usées : analyses d'exemples mondiaux. Techniques, Sciences et Méthodes, 9 : 64-85.
- **Legros J.P, 2007 :** Les grands sols du monde. Presse polytechnique et universitaire Romandes 574p.
- **Levy G.J., 2000:** Sodicity. In: Sumner M.E. (Ed). Handbook of Soil Science. CRC Press, NY, USA, Pp G27-G62.
- **Mermoud. A., (2001) :** Cours de physique du sol : Maitrise de la salinité du sol. Version provisoire : 14 p. Ecole Fédérale de Lausanne.
- **Mertahri Mohammed Saïd.2012 :** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitée, par des procédés mixtes, cas de la STEP est de la ville de Tizi-Ouzou, Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie.
- **Metiche M.,2004 :** Environnement. Phénomènes de pollution et techniques de protection. Centre Universitaire de Bechar. 4.8p.
- **Mouhouche. B., 2000 :** L'avenir de l'agriculture saharienne dépend de la maîtrise de la salinisation des sols et de la valorisation de l'eau d'irrigation. Actes du premier Symposium International sur la filière blé – Enjeux et Stratégie. (Blé 2000, Alger), (O.A.I.C.). ALGER 7 – 9 février 2000, pp. 213-220.
- **MRE, 2012 :** Document interne. Ministère des Ressources en Eau, Algérie, 15p.
- **Nahon. D, 2008 :** l'équipement de la terre. L'enjeu de XXIème siècle. Odile Jacob, 235p.
- **Nezli. I.E., Achour. S et Djabri L., 2007 :** Approche géochimique des processus d'acquisition de la salinité des eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l'ouedm'ya (Ouargla). Larhyss Journal, N° 6. Pp : 121-134.
- **Noomene. H., 2011 :** Faculté des lettres, des arts et des humanités Manouba - Master de recherche environnement, aménagement et risque. Mémoire Online. Etude de la salinité des sols par la méthode de détection électromagnétique dans le périmètre irrigué de KalatLandelous en Tunisie : cas d'une parcelle de courage.
- **O.N.A., 2013 :** Projet de la remuant des eaux de la ville de Ouargla
- **ONA, 2014 :** Documentation interne du service d'exploitation ONA. Office nationale d'assainissement, Algérie. 20p.
- **ONM, 2018 :** Données climatiques de la région de Ouargla. Ouargla (Algérie).
- **Pelmont J. 2005 :** Biodégradations et métabolismes, Les bactéries pour les technologies de l'environnement. EDP Sciences Editions, 10. 11

- **Raju, K., Jino, L., & Wadasi, R. 1993:** Exchange process at the land surface for a range of space and time scales. Yokohama Japon: proceedings of international symposium held at Yokohama.
- **Rakotondrabe F., 2007 :** Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques, modélisation par le logiciel WEAP 21 : Cas du bassin versant de Morondava (Sud-Ouest de Madagascar). Mémoire de recherches pour l'obtention du diplôme d'études approfondies en hydrogéologie. 87 P.
- **Ramade F., 2008 :** Dictionnaire encyclopédique des sciences, de la nature et de la biodiversité. Dunod.
- **Raymond Dufournet. 2013 :** Techniques de l'ingénieur, traitement des eaux usées. Régional, De Documentation Pédagogique D'aquitaine, France, ISBN : 2-86617-4208.
- **Rejsek F. 2002 :** Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques, Centre Régional
- **Rhoades. J.D., 1997:** Sustainability of irrigation, an overview of salinity problems and control strategies, Riverside, CA, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS.
- **Richards L-A; 1954:** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric. Handbook 60, USDA, Washington D.C, 160p.
- **Robert. M., 1996 :** Le sol : interface dans l'environnement ressource pour le développement. Ed. MASSON, Paris. 96 P.
- **Rodier J., 2005 :** L'analyse de l'eau, eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer. 8ème édition : Dunod technique, Paris, pp 1008-1043.
- **Rouvillois- Brigol M., 1975 :** Le pays de Ouargla (Sahara Algérien), Université de Sorbonne. Paris. 389p
- **Roux J., 2000 :** Les secrets de la terre. L'eau source de vie. Edit. BRGM. Orléans - la campagne de livre. Paris.
- **Saïd. M. 2012 :** Élimination 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. Thèse de doctorat, Université mouloud mammeri de Tizi-Ouzou, 172p.
- **Saker. M.L., 2000 :** Les contraintes du patrimoine phoenicicole de la région de l'Oued Righet leurs conséquences sur la dégradation des palmeraies. Problèmes posés et perspectives de développement. Thèse de Doct., Université Louis Pasteur, Strasbourg, 335 p.

- **Salghi R. 2001** : Différentes filières de traitement des eaux, eduniv IZ Rabat, 22 p.5.
- **Salhi. A .2017** :Transformations spatiales et dynamiques socio-environnementales de l'oasis de Ouargla (Sahara algérien). Une analyse des perspectives de développement.Thèse de Doctorat en Géographie,Aix-Marseille Université Ecole Doctorale « Espaces Cultures Sociétés » (ED 355) Laboratoire Population Environnement Développement p 202Sci. Naturelles, Univ. Strasbourg, Strasbourg, 346 p.
- **Servant J.1975** : Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes. Exemple des sols salés du sud et de sud-ouest de la France. Thèse doc. Es sciences Naturelles, ENSA Montpellier, France.194p.
- **Servant J.M., 1978** : La salinité dans le sol et les eaux : caractérisation et problèmes d'irrigation-drainage. Bull. B.R.G.M., Sect. III, 2 : 123-142.
- **Slimani R,2003** :Contribution à l'étude hygiénique des caractères physicochimique des eaux usées de la cuvette d'Ouargla et leur impact sur la nappe phréatique. Mem. Ing. Eco et Env. Ecosystème steppique et saharien. Univ d'Ouargla. 85p.
- **STEP de Ouargla., 2013.**
- **Sumner M.E. 1993**:Sodicsoils, New perspectives. Australian Journal of Soil Research 31: 683-750.
- **Tabet. M.2015**: Etude physico-chimique et microbiologique des eaux usées et évaluation du traitement d'épuration.
- **U.S.S.L., 1954**: Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. Salinity.
- **UN Water, 2017**:The 2017 edition of the United Nations World Water Development Report, entitled "Wastewater: The Untapped Resource".
- **UNESCO, 1972** : Nappe de continental intercalaire. Modèle mathématique. Paris. 122p.
- **Valiron. F., 1989** : Gestion des eaux : alimentation en eau, assainissement. Edit. PENPC. P 501 .
- **Vilagines R.2003** : Eau, environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie. 2è édition, Editions Tec&Doc, pp198.
- **WTW,2006**:Wissenschaftlich-TechnischewerksatttenGmbH.Laborkatalog 2006.Allemagne.
- **Wyn Jones G., Gouston H., 1991**:Completament a ryor conflicting approaches to Salinity DDU. Bulletin N° 23: 7-9.

- **Youcef F., Hamdi-Aïssa B., Bouhadja M., Lamini K., 2014** : Sur l'origine des croutes gypseuses du Sahara septentrional algérien- cas de la région de Ouargla, Algerian journal of aride environnement, 4 (2), pp 41-49.

Annexe:01 : Données météorologiques de la Wilaya de Ouargla (2008-2018)

Mois	T min (°C)	T max (°C)	T moy (°C)	H (%)	V max (m/s)	P (mm)	E (mm)	I (h)
Janvier	4,81	17,79	11,30	51,53	7,40	7,09	87,83	228,18
Février	6,32	19,44	12,88	44,51	8,25	3,07	111,96	218,60
Mars	9,81	23,58	16,69	38,95	8,86	4,33	168,05	244,28
Avril	14,11	28,30	21,20	32,99	9,38	1,23	217,10	262,83
Mai	18,41	32,45	25,43	28,37	9,70	1,72	279,13	283,84
Juin	22,67	36,93	29,80	25,38	9,14	0,68	329,60	215,42
Juillet	25,87	40,44	33,15	21,38	8,20	0,29	408,33	290,19
Août	25,05	38,96	32,00	24,99	8,12	0,30	350,23	310,21
Septembre	21,67	34,99	28,33	33,07	8,43	5,22	248,35	243,64
Octobre	15,85	29,03	22,44	39,50	7,29	5,17	187,58	243,09
Novembre	9,53	22,34	15,93	47,85	6,69	2,31	113,23	228,59
Décembre	5,34	18,08	11,71	53,52	6,39	3,17	78,32	215,15
Moyenne	14,95	28,53	21,74	36,84	8,15	34,56*	2579,69*	248,67

(ONM., 2018)

Annexe :02 :Bilan annuelle 2016/2017 des analyses physio -chimiques STEP Saïd Oba

	MOIS	pH	CE (dS/m)	Norme	T(°C)	DBO5 (mg/l)	DCO (mg/l)	MES	Azote total (mg/l)	NNO3 (mg/l)	NNO2 (mg/l)
2016	J	7,37	13,17	3,00	15,91	23,67	89,87	52,33	/	/	/
	F	7,54	18,51	3,00	16,21	26,50	92,60	89,67	/	/	/
	M	7,62	12,45	3,00	17,96	37,67	105,20	75,33	/	/	/
	A	7,76	12,09	3,00	22,53	43,33	126,67	103,67	/	/	/
	M	7,84	13,16	3,00	24,52	45,00	153,07	104,33	/	/	/
	J	7,80	12,60	3,00	25,98	51,67	168,07	115,67	/	/	/
	JL	7,87	12,91	3,00	28,31	/	123,00	124,00	/	/	/
	A	8,02	13,54	3,00	27,21	/	94,13	83,33	/	/	/
	S	7,89	14,44	3,00	26,85	/	103,90	74,00	/	/	/
	O	7,77	16,83	3,00	23,81	/	108,27	92,00	/	/	/
	N	7,39	14,02	3,00	18,38	/	88,20	61,00	/	/	/
D	7,48	13,07	3,00	15,52	30,00	94,40	67,00	/	/	/	
2017	J	8,09	6,10	3,00	14,3	40,00	64,50	23	49,6	0,345	0,03
	F	7,21	5,68	3,00	14,4	38,00	106,00	17	78	1,83	0,437
	M	7,20	6,02	3,00	20,9	35,00	78,40	52	56,8	8,79	1,65
	A	6,97	5,98	3,00	21	42,00	68,80	42	67,8	22	1,6
	M	7,27	6,30	3,00	26,8	15,00	48,80	18	64,9	9,96	0,425
	J	7,19	5,10	3,00	31	50,00	71,60	31	/	4,92	/
	JL	8,05	4,74	3,00	32,9	42,00	85,00	31	/	4,92	/
	A	7,22	5,27	3,00	32	52,00	51,30	21	37,3	8,32	0,625
	S	7,70	5,10	3,00	26,7	60,00	93,10	35	130	0,544	0,152
	O	8,09	5,08	3,00	26,7	25,00	133,00	24	79,8	15,8	0,11
	N	7,36	4,66	3,00	14,5	28,00	62,60	46	/	7,42	1,16
D	7,39	5,59	3,00	16,7	25,00	142,00	53	/	0,925	0,05	

Annexe : 03 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées (MRE, 2007 ; JORA, 2012).

Parameters	Unite	Normes		
		FAO *(1985)	OMS **(1989)	JORA (2012)
pH		6,5-8,4 *		6,5-8,5
CE	ds/m	<0,7 * Aucune restriction 0,7 – 3,0 * restriction légère à modérée > 3,0 * Forte restriction		3
MES	mg/l	<30**		30
DCO	mg O2/ l	< 40 **		90
DBO 5	mg O2/ l	<10 **		30
NO3-	mg/l	50 **		30
NO2-	mg/l	< 1 **		Non disponible
NH4+	mg/l	< 2 **		Non disponible
PO4³ -	mg/l	< 0,94 **		Non disponible
SAR	meq/l	<3* Aucune restriction 3-9* restriction légère à modérée >9* Forte restriction		Non disponible
Colifrmestoux	UFC/100 ml	Non disponible		Non disponible
Streptocoquefécaux	UFC/100 ml	1000 **		Non disponible
Salmonelles	UFC/ 1L	Absence **		Non disponible

Résumé

La région de Ouargla a connu ces dernières décennies une mise en valeur intense des terres. Et pour réussir cette initiative, le recours à l'irrigation est inévitable. De ce fait, et vu la demande grandissante sur les eaux souterraines, l'utilisation des eaux usées épurées constitue une bonne initiative. Ce travail a pour objectif, la caractérisation de la qualité physico-chimique des eaux usées épurées de la STEP de Ouargla et l'évaluation, selon les normes algériennes et de l'OMS, la possibilité de leur réutilisation dans l'irrigation. Le suivi des résultats des analyses physiques et physico-chimiques des eaux, à la sortie de la STEP, pour la période 2016/2017 a révélé une fluctuation mensuelle très importante des paramètres dosés. Les eaux usées épurées de la STEP sont, dans l'ensemble, déconseillées pour l'irrigation. En effet, les paramètres Conductivité électrique, DBO₅, DCO, MES et Azote total présentent des concentrations supérieures aux normes de la réutilisation dans l'agriculture.

Mot clés : les eaux usées épurées, réutilisation, irrigation, sol, STEP, Ouargla.

ملخص

شهدت منطقة ورقلة تطوراً مكثفاً في الأراضي في العقود الأخيرة. ولكي تنجح هذه المبادرة، فإن استخدام الري أمر لا مفر منه. لذلك، ونظراً للطلب المتزايد على المياه الجوفية، يعد استخدام المياه العادمة المعالجة مبادرة جيدة. الهدف من هذا العمل هو توصيف الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه العادمة المنقاة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي في ورقلة وتقييم إمكانية إعادة استخدامها في الري وفقاً للمعايير الجزائرية ومنظمة الصحة العالمية. كشفت مراقبة نتائج التحليلات الفيزيائية والفيزيائية الكيميائية للمياه، عند مخرج محطة معالجة مياه الصرف الصحي، للفترة 2017/2016 عن تقلب شهري كبير للغاية في المعايير التي تم قياسها. لا ينصح عمومًا باستخدام المياه العادمة المعالجة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي للري. في الواقع فإن معايير DBO₅، DCO، MES، التوصيل الكهربائي والنيتروجين الكلي لها تركيزات أعلى من معايير إعادة الاستخدام في الزراعة.

الكلمات الدالة: مياه الصرف الصحي المعالجة، إعادة الاستخدام، الري، التربة، محطة المعالجة، ورقلة

Abstract

The Ouargla region has experienced intense land development in recent decades. And for this initiative to succeed, the use of irrigation is inevitable. Therefore, and given the growing demand on groundwater, the use of treated wastewater is a good initiative. The objective of this work is to characterize the physico-chemical quality of the purified wastewater from the Ouargla WWTP and to assess, according to Algerian and WHO standards, the possibility of their reuse in irrigation. The monitoring of the results of the physical and physico-chemical analyzes of the water, at the outlet of the WWTP, for the period 2016/2017 revealed a very significant monthly fluctuation in the parameters measured. The treated wastewater from the WWTP is generally not recommended for irrigation. Indeed, the parameters Electrical conductivity, BOD₅, COD, MES and total nitrogen show concentrations higher than the standards for reuse in agriculture.

Keywords: treated wastewater, reuse, irrigation, soil, STEP, Ouargla.