

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Spécialité : Biologie

Option : Ecologie Saharienne et Environnement

Thème :

*La réutilisation des effluents urbains traités par
lagunage dans la cuvette de Ouargla. Etats des lieux,
enjeux et perspectives*

Par : Hamza NEGAIS

Soutenu publiquement : le 06 /01/ 2015 à 9 h30.

Devant le jury :

Président :	<i>M^{me}. BISSATI Samia</i>	Professeur	Université de Ouargla
Encadreur :	<i>M. IDDER Mohammed Tahar</i>	M.C.A	Université de Ouargla
Co-encadreur :	<i>M. CHELOUFI Hamid</i>	Professeur	Université de Ouargla
Examineur :	<i>M. SAKER Mohammed Lakhdar</i>	Professeur	Université de Ouargla
Examineur :	<i>M. NEZLI Imed Eddine</i>	M.C.A	Université de Ouargla

Année Universitaire : 2013/2014

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A la mémoire de mon père ;

A ma mère ;

A mes frères et sœurs ;

A tous mes amis ;

A tous ceux que j'aime.

HAMZA NEGAIS.

Remerciements

Je remercie tout d'abord le **Dieu** qui m'a donné le courage et la patience dans toute ma vie et pour terminer ce modeste travail.

J'exprime mes profondes gratitude et reconnaissances à mon encadreur **M. IDDER M.T.** d'avoir accepté de diriger ce travail, pour ses aides précieuses et ses conseils, pour m'avoir fait confiance. Qu'il m'a accordé, ses qualités pédagogiques et scientifiques, sa franchise et sa sympathie.

J'adresse de chaleureux remerciements à mon Co-encadreur **M. CHELOUFI H.** pour son attention sur mon travail, pour ses conseils avisés.

Je veux traduire également mes vifs remerciements aux messieurs les membres de jury :

Madame **BISSATI S.**, Professeur à l'université d'Ouargla, pour avoir accepté de présider ce jury.

Monsieur **SAKER M.L.**, Professeur à l'université de Ouargla, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Monsieur **NEZZI I. E.**, Maître de conférences à l'université d'Ouargla, pour m'avoir fait l'honneur d'examiner et de juger ce travail.

Mes sincères remerciements vont à tous les enseignants de la faculté des sciences de la nature et de la vie pour leur contribution à ma formation de graduation et poste graduation, et tous ce qui m'a aidé surtout messieurs : IDDER A. CHAABNA A., HANNACHI S., KEMMASSI A. et Mlle CHAOUCHÉ S.

J'exprime ma haute considération à messieurs **OURAHMOUNE H.** et **CHETTOUH A.**, et tous les agents de la STEP pour leur aide.

Je remercie mes amis hafid S., omar T., fateh A., bachir B. lamine C. et kaddour M. pour leur aide dans le suivi de cette expérimentation.

J'adresse mes remerciements infinis aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire, surtout yamina BB.

J'adresse un très grand merci à monsieur BOUBELAL (laboratoire LEC), les agents de laboratoire de l'ADE et madame MESSAI (laboratoire ANRH).

Ma reconnaissance va également à tous mes collègues de promotion. Sans oublier mes amies de master qui ont travaillé avec moi dans le projet de CNEPRU (kalthoum, khadidja, amel, nedjla, radia et zahra).

Liste des abréviations

- ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
- ANOVA** : Analyse de Variance
- APC**: Assemblée Populaire Communale
- APW** : Assemblée Populaire de Wilaya
- CACQE** : Centre Algérien de Contrôle de la Qualité et de l'Emballage
- CAW** : Chambre de l'Agriculture de la Wilaya
- CDARS** : Commissariat au Développement de l'Agriculture des Régions Sahariennes.
- CRSTRA** : Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides
- DCW** : Direction du Commerce de Wilaya.
- DDAZASA** : Direction du Développement Agricole dans les Zones Arides et Semi Arides.
- DHA** : Direction d'Hydraulique Agricole
- DREW**: Direction des Ressources en Eau de la Wilaya
- DSA** : Direction des Services Agricoles.
- DSP** : Direction de la Santé et de la Population
- EqHa** : Equivalent Habitant
- FAO** : Food and Agricultural Organisation (Organisation des Nations Unies Pour l'Alimentation et l'Agriculture)
- INSID** : Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage
- MADR** : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
- MRE** : Ministère de Ressources en Eau
- OMS** : Organisation Mondiale de la Santé (WHO)
- ONA** : Office National de l'Assainissement.
- ONID** : Office National de l'Irrigation et du Drainage.
- ONM** : Office National de Météorologie
- PK** : point de kilométrage
- REUE** : Réutilisation des Eaux Usées Epurées
- RN** : Route Nationale
- SAR** : sodium absorption ratio (ratio du Sodium Absorbable)
- SASS**: Système Aquifère du Sahara Septentrional
- SEAAAL** : Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger.
- SEACO** : Société des Eaux et de l'Assainissement de Constantine.

SEOR : Société des Eaux et de l'Assainissement d'Oran.

SPA: Société Par Action

STEP : Station d'Epuraton

WAWARIA: Wast Water Reuse Algeria

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Recommandations microbiologiques révisées de l'OMS (1989) pour la réutilisation en agriculture des eaux usées.....	20
Tableau 2: Normes bactériologiques appliquées dans certains pays et préconisées par des organisations.....	22
Tableau 3 : Limites recommandées en éléments traces (mgL-1) dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation	22
Tableau 4 : Dispositifs réglementaires de protection de l'environnement.....	25
Tableau 5: Réglementation algérienne en matière de REUE (paramètres microbiologiques).....	27
Tableau 6 : Réglementation algérienne en matière de REUE (paramètres physico-chimiques).	28
Tableau 7 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.....	30
Tableau 8 : Nombre de forages agricoles réalisés à la fin 2012 dans la région de Ouargla.....	29
Tableau 9: Délimitation administrative de la région d'Ouargla.....	46
Tableau 10 : Données climatiques de la région d'Ouargla (2002 – 2012).	54
Tableau 11: Données de bases de la STEP d'Ouargla.....	63
Tableau 12: caractérisation physico-chimique des eaux d'irrigation.....	82
Tableau 13 : Résultats des analyses bactériologiques.....	89
Tableau 14 : Tableau récapitulatif des résultats des analyses physico-chimiques des deux profils du sol avant la mise en place des cultures.....	91
Tableau 15: caractérisation physico-chimique du sol après l'irrigation.....	99
Tableau 16 : Résultats d'analyses physico-chimiques du sol (P1H1) avant et après irrigation avec l'eau usée traitée.....	102
Tableau 17: Résultats d'analyses physico-chimiques obtenus du sol (P2 H1) avant et après l'irrigation par l'eau de forage.....	103
Tableau 18 : doses et fréquences durant toute la période expérimentale.....	105

Liste des figures

Figure 1 : Intégration des eaux usées traitées dans le cycle général des ressources en eau.....	11
Figure 2 : Volume moyen journalier des eaux recyclées en Europe et quelques pays Méditerranéens.....	13
Figure 3 : Rabattements 2002 – 2050 au CT (en m)	34
Figure 4 : Rabattements 2000 – 2050 au CI (en m)	35
Figure 5 : Périmètre pilote de la REUE (programmé).....	38
Figure 6 : image satellitaire de la zone d'étude (périmètre agricole).....	40
Figure 7 : L'état des parcelles enquêtées.....	41
Figure 8 : Situation d'année de création des exploitations au voisinage du canal.....	42
Figure 9 : Statut foncier des exploitations.....	43
Figure 10 : Age des exploitants.....	44
Figure 11 : Système d'irrigation adopté.....	44
Figure 12 : Surface des sols de la cuvette d'Ouargla.....	49
Figure 13 : Les réserves hydriques souterraines du Sahara Algérien	52
Figure 14 : Diagramme pluviothermique de la région d'Ouargla pour la période 2002-2012.....	56
Figure 15 : Étage bioclimatique de Ouargla selon le Climagramme d'Emberger.....	58
Figure 16 : Schéma de la station d'épuration de Ouargla.....	60
Figure 17 : Localisation de la parcelle expérimentale.....	64
Figure 18 : Schéma de dispositif expérimental.....	65
Figure 19 : Bilan ionique de l'eau usée épurée.....	84
Figure 20 : Bilan ionique de l'eau de forage.....	84
Figure 21 : Diagramme de Riverside pour les eaux d'irrigation.....	86
Figure 22 : Etapes de réalisation lors de la pose des collecteurs et des drains	87
Figure 23 : Le pH en fonction de la profondeur pour les deux profils.....	92
Figure 24 : Profils salins des sols étudiés.....	93
Figure 25 : Répartition des ions dans le profil 1 (horizon 1).....	94
Figure 26 : Répartition des ions dans le profil 1 (horizon 2).....	94
Figure 27 : Répartition des ions dans le profil 1 (horizon 3).....	94

Figure 28: Diagramme de Piper pour le premier profil (avant l'irrigation).....	95
Figure 29: Le SAR de l'extrait (1/5) en fonction de profondeur pour les deux profils...	96
Figure 30 : Répartition des ions dans le profil 2 (horizon 1).....	97
Figure 31: Répartition des ions dans le profil 2 (horizon 2).....	97
Figure 32 : Répartition des ions dans le profil 2 (horizon 3).....	97
Figure 33 : Diagramme de Piper de deuxième profil (avant l'irrigation).....	98
Figure 34 : Répartition des ions dans le sol de la parcelle étudié, irrigué par l'EUE et l'EF.....	100
Figure 35 : diagramme de Piper pour les deux blocs (après l'irrigation).....	101
Figure 36 : Répartition des ions dans l'eau usée épurée, sol irrigué par cette eau et sol nu.....	102
Figure 37 : Répartition des ions dans l'eau de forage, sol irrigué par cette eau et sol nu.....	103
Figure 38 : Courbes de croissance en hauteur d' <i>Acacia farnesiana</i>	106
Figure 39 : Courbes de croissance en hauteur de <i>Leucaena leucocephala</i>	107
Figure 40: Courbes de croissance en diamètre d' <i>Acacia farnesiana</i>	109
Figure 41: Courbes de croissance en diamètre de <i>Leucaena leucocephala</i>	109
Figure 42: Variation de la hauteur en fonction de la qualité de l'eau utilisée.....	110
Figure 43: Variation du diamètre en fonction de qualité de l'eau.....	110
Figure 44 : Schéma proposé des acteurs intégrés dans la gestion de REUE.....	113
Figure 45: Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux.....	XIV
Figure 46 : Recherche et dénombrement des streptocoques totaux et fécaux.....	XV
Figure 47 : Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs.....	XVI
Figure 48 : Recherche des staphylocoques.....	XVII

Liste des cartes

Carte 1: Localisation géographique de la région d'étude.....	47
---	----

Liste des Photos

Photo 1 : Parcelle bien aménagée cultivée par des rejets et des fourrages irriguée avec l'EUE.....	42
Photo 2 : Parcelle délaissées sans réseau d'irrigation.....	42
Photo 3 : Parcelle délaissée avec un réseau d'irrigation.....	43
Photo 4 : Regard sur le canal utilisé pour le pompage des eaux usées épurées.....	45
Photo 5 : Dégrileur.	60
Photo 6 : Dessableur.....	60
Photo 7 : Aérateur artificiel en fonctionnement.....	60
Photo 8 : Bassin de finition.....	66
Photo 9 : Nivèlement du terrain	66
Photo 10 : Creusement des trous et profils pédologiques à l'aide de mini-pelle.....	66
Photo 11 : Délimitation des horizons du profil 1	72
Photo 12 : Acacia farnesiana.....	76
Photo 13 : Leucaena leucocephala.....	76
Photo 14 : Vue générale de la parcelle expérimentale.....	79
Photo 15 : Dispositif de conduite de drainage.....	87
Photo 16 : Acacia arrosée avec l'EUE.....	106
Photo 17 : Acacia arrosée avec l'EF.....	106
Photo 18 : Leucaena arrosé avec l'EUE.....	108
Photo 19 : Leucaena arrosé avec l'EF.....	108
Photo 20 : Remontée de la nappe au voisinage du canal due au manque de drainage...	116

Liste des annexes

Annexe 1 : Les échelles d'interprétation de Sodium adsorption Ratio et degré d'alcalinisation des sols.....	120
Annexe 2 : Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation.....	120
Annexe 3: Echelles d'interprétation de pH 1/2,5.....	121
Annexe 4 : Bilan de la réutilisation des eaux usées épurées 1 ^{er} semestre 2013.....	121
Annexe 5 : Production des eaux usées par les SPA : SEAAL, SEACO, SEOR	122
Annexe 6 : Décret exécutif n° 07-149 du 20 mai 2007.....	123
Annexe 7 : Arrêté interministériel du 2 janvier 2012 (qualité des eaux usées épurées)...	128
Annexe 8 : Arrêté interministériel du 2 janvier 2012, fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	131
Annexe 9 : QUESTIONNAIRE DE L'ENQUETE AUPRES DES EXPLOITATIONS AVOISINANTES DU CANAL DE TRANSFERT.....	132
Annexe 10 : Méthodes d'analyses bactériologiques.....	133
Annexe 11 : les rapports d'analyse statistique.....	137

Table des matières

Dédicace	
Remerciements	
Liste des tableaux	
Liste des Figures	
Liste des Photos	
Liste des annexes	
Table des matières	
Résumés	
Introduction générale	01
PREMIERE PARTIE : Synthèse bibliographique	
CHAPITRE I: Généralités sur les eaux usées	
I-1 Définition	04
I-2 Origine des eaux usées	04
I- 2-1- Eaux usées domestiques	04
I-2-2- Eaux usées industrielles	04
I-2-3- Eaux pluviales et de ruissellement	05
I-3- Composition des eaux usées	05
I-3-1 Microorganismes	05
I-3-1-1 Les bactéries	05
I-3-1-2 Les virus	05
I-3-1-3- Les protozoaires	06
I-3-1-4 - Les helminthes	06
I-3-2 Matières en suspension et matière organique	07
I-3-3 Substances nutritives	07
I-3-4 Eléments trace	07
I-3-5 Salinité	09
CHAPITRE II : Traitement et réutilisation des eaux usées	
II-1 Traitement des eaux usées	10
II-1-1 Traitements physico-chimiques : traitements primaires	10
II-1-2- Traitements biologiques : traitements secondaires	10
II-1-3- Traitements tertiaires	11

II-2 Réutilisation des eaux usées épurées dans le monde	11
II-2 -1 Bilan mondial	12
II-2 -2 Domaines de la réutilisation des eaux usées	13
II-2-2-1- Agriculture	13
II-2-2-2- Arrosage des espaces verts	14
II-2-2-3-Aquaculture	14
II-2-2-4- Industrie	14
II-2-2-5- Usages urbains	14
II-2-2-6- Production d'eau potable	15
II-2-2-7- Recharge des nappes	15
II-3 Evaluation de la qualité de l'eau usée traitée pour l'irrigation	15
II-3-1- Risques sanitaires	15
II-3-1-1 Les consommateurs de cultures consommées crus	15
II-3-1-2 Les travailleurs agricoles	16
II-3-1-3 Les risques pour communautés locales de l'irrigation par aspersion	16
II-3-2- Risques environnementaux	16
II-3-2-1 Métaux	16
II-3-2-2 Salinisation	17
II-3-2-3 Sodicit�	17
II-3-2-4 Excès d'éléments nutritifs	17
II-3-2-5 Excès en sels et en sodium	18
II-3-2-6 Matières solides en suspension	18
II-3-3 Réglementations existantes dans le monde	18
II-3-3-1-Directives OMS pour la réutilisation des eaux usées	18
II-3-3-2-Les recommandations USEPA pour la réutilisation des eaux	21
II-3-3-3-Les recommandations de l'Union Européenne	21
CHAPITRE III : Stratégie de l'Algérie dans le domaine de la réutilisation des eaux usées	
III-1 Cadre politique	23
III-1-1 Objectifs nationaux	23
III-1-1-1- Production des eaux usées	23
III-1-1-2- Qualité des eaux usées	23

III-1-2- Programme spécifique portant la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation	24
III-2- Cadre réglementaire de la réutilisation des eaux usées épurées	24
III-2-1 Dispositifs réglementaires pour préserver le milieu récepteur et les ressources hydriques	24
III-2-2 Normes de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles	25
III-3 Cadre organisationnel (institutionnel) de la réutilisation des eaux usées épurées	30
III-3-1- Les producteurs	30
III-3-2- Le fournisseurs	30
III-3-3- Les contrôleurs	31
III-3-4- Les utilisateurs	32
III-4 Projet de la réutilisation des eaux usées épurées dans la ville de Ouargla	32
III-4-1 Justification du projet	32
III-4-1-1- Projet de l'assainissement et de lutte contre la remontée de la nappe phréatique	33
III-4-1-2- Intensité de l'exploitation des ressources hydriques dans la région de Ouargla	33
III-4-1-3- Risque de rabattement des CT et CI	33
III-4-2 Mise en place du projet	36
III-4-2-1- Plan institutionnel	35
III-4-2-2- Description du périmètre	39
III-4-2-3- Résultats des enquêtes	41
III-4-2-4- Synthèse sur l'état des lieux de la mise en place du projet de réutilisation des eaux usées épurées	45
DEUXIEME PARTIE : Partie expérimentale	
CHAPITRE IV : Matériels et Méthodes	
IV-1 Région d'étude	47
IV-1-1 Situation géographique	47

IV-1-2- Le relief	49
IV-3- Sol	49
IV-1-4 Géomorphologie	50
IV-1-5 Hydrographie	51
IV-1-6 Hydrogéologie	51
IV-1-6-1 La nappe du Continental Intercalaire (CI) "dite de l'Albien"	53
IV-1-6-2 Les nappes du Complexe Terminal (CT)	53
IV-1-6-3 La nappe phréatique	54
IV-1-7 Etude climatique	55
IV-1-7-1 La température	56
IV-1-7-2 Les précipitations	56
IV-1-7-3 L'évaporation	56
IV-1-7-4 L'humidité relative de l'air	56
IV-1-7-5 Le vent	56
IV-1-7-6 L'insolation	56
IV-1-7-7 Synthèse climatique	57
IV-1-8 Biodiversité végétale	59
IV-1-9 La biodiversité animale	60
IV-2 Station d'épuration par lagunage aéré de Said-Otba	61
IV-2-1 Localisation de la station d'épuration	61
IV-2-2 Fonctionnement	61
IV-3 Principe expérimental	64
IV-3-1 L'objectif de l'étude	64
IV-3-2 Parcelle expérimentale	65
IV-3-3 Dispositif expérimental	66
IV-4 Techniques d'analyse des eaux d'irrigation	67
IV-4-1 Sur le plan physico-chimique	68

IV-4-1-1 Détermination des matières en suspension (MES)	68
IV-4-1-2 Demande chimique en oxygène DCO	68
IV-4-1-3 Demande biologique en oxygène DBO ₅	69
IV-4-1-4 Détermination des nitrates- nitrites	69
IV-4-1-5 Détermination de la conductivité électrique, de la salinité et de la température	69
IV-4-1-6 Détermination de l'Oxygène dissous	69
IV-4-1-7 Détermination du pH	69
IV-4-1-8 Dosage des cations	70
IV-4-1-9 Dosage des anions	70
IV-4-2 Sur le plan bactériologique	71
IV-4-2-1 Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux	71
IV-4-2-2 Recherche et dénombrement des streptocoques totaux et fécaux	72
IV-4-2-3 Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs	72
IV-4-2-4 Recherche et dénombrement des staphylocoques	72
IV-5 Méthodes d'analyses physico-chimiques du sol	72
IV-5-1 La granulométrie	73
IV-5-2 Mesure du pH	74
IV-5-3 Conductivité électrique CE	74
IV-5-4 Dosage des sels solubles (cations)	74
IV-5-5 Dosage des sels solubles (anions)	75
IV-5-6 Dosage du calcaire total (CaCO ₃)	75
IV-5-7 Dosage du gypse (CaSO ₄)	75
IV-6 Matériel végétal	75

IV-6-1 <i>Acacia farnesiana</i>	75
IV-6-1-1 Description générale	75
IV-6-1-2 Taxonomie	77
IV-6-1-3 Ses principales utilisations	78
IV-6-2 <i>Leucaena leucocephala</i>	78
IV-6-2-1 Description générale	78
IV-6-2-2 Utilisations	79
IV-6-2-3 Taxonomie	79
IV-6-3 Plantation et entretien	79
IV-6-3-1 La plantation	79
IV-6-3-2 La protection	79
IV-6-3-3 L'arrosage	80
IV-6-4 Mesures biométriques des plantes	81
IV-6-5 Analyse statistique	81
CHAPITRE V: Résultats et discussions	
V-1 Caractérisation des eaux d'irrigation	82
V-1-1 Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'irrigation	82
V-1-1-1 Le pH	83
V-1-1-2 La conductivité électrique (CE)	83
V-1-1-3 Le SAR	83
V-1-1-4 Bilan ionique	83
V-1-1-5 Paramètres de pollution	85
V-1-1-6 Aptitude des EF et EUE à l'irrigation	86
V-1-2 Caractéristiques bactériologiques des eaux usées épurées	88
V-2 Caractérisation du sol	89
V-2-1 Caractéristiques du sol avant irrigation (sol nu)	89

V-2-1-1 Situation du sol étudié	89
V-2-1-2 Bilan ionique du profil (1)	93
V-2-1-3 Bilan ionique du profil (2)	96
V-2-2 Caractérisation du sol après irrigation	99
V-2-2-1 Bilans ioniques des sols irrigués	100
V-2-2-2 Comparaison des bilans ioniques des sols étudiés	101
V-2-2-3 Impact des eaux d'irrigation sur le sol	102
V-3 Matériel végétal	104
V-3-1 Calendrier d'arrosage	104
V-3-2 Mesures biométriques des plantes	105
V-3-2-1 Suivi de la croissance en hauteur	105
V-3-2-2 Suivi de la croissance en diamètre	108
V-3-2-3 Synthèse de l'effet de la qualité de l'eau sur le végétal	109
CHAPITRE VI : Perspectives et recommandations	
VI-1 Cadre réglementaire	113
VI-2 Management des projets de REUE	115
VI-3 Gestion des EUE de la STEP de Ouargla	115
Conclusion générale	117
Références bibliographiques	119
Annexes	

La réutilisation des effluents urbains traités par lagunage dans la cuvette de Ouargla. Etats des lieux, enjeux et perspectives.

Résumé :

Dans le cadre de la préservation des ressources hydriques et de l'environnement, l'Algérie a lancé un projet de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles touchant plusieurs régions. Pour la ville de Ouargla, le périmètre agricole a été programmé tout le long du canal de transfert des eaux usées épurées, situé en aval de la STEP de Said-Otba. L'objectif de ce travail est de comprendre les enjeux et de déterminer les perspectives de développement de cette pratique. Notre approche d'enquête sur l'état des lieux a permis de constater que le projet de réutilisation des eaux usées épurées programmé n'a pas encore pu démarrer à cause de la qualité de ces eaux et du retard de publication de l'arrêté interministériel fixant la liste des laboratoires habilités à effectuer les analyses de la qualité des eaux. Cependant, les agriculteurs exploitent tout de même illicitement cette ressource sans prendre en considération leurs impacts potentiels.

Pour la parcelle expérimentale, les résultats préliminaires des analyses effectuées montrent que l'eau usée épurée est salée ($CE=13,51dS/m$). Elle appartient à la classe **C5 S4** et est non-conforme sur le plan bactériologique. L'irrigation par l'eau épurée a eu un effet moins intéressant sur le taux de croissance par rapport au témoin (eau de forage). A la fin de l'expérience, les plantes d'acacia irriguées avec l'eau de forage ont pu atteindre des croissances en hauteurs et diamètres deux fois plus importantes que celles qui ont été irriguées avec l'eau épurée. Des résultats similaires ont été obtenus pour leucaena mais avec croissance moins importante par rapport à l'acacia. Pour l'étude d'impact de l'irrigation sur les paramètres physico-chimiques du sol, généralement, on a remarqué une salinisation accrue. Cependant la comparaison entre les deux blocs expérimentaux montre que les valeurs de la CE et du SAR sont presque identiques. Cela est dû à la lixiviation de la grande proportion des sels solubles vers les couches profondes.

Mots clés : irrigation, eaux usées épurées, eau de forage, acacia, leucaena, STEP.

The reuse of the urban effluents treated by lagunage in the basin of Ouargla.

Inventories of fixtures, challenge and prospect.

Abstract:

Within the framework of the conservation of water resources and the environment, Algeria has launched a project to reuse treated wastewater for agricultural purposes concerning a lot of regions. For the city of Ouargla, the agricultural area has been programmed throughout the transfer channel of treated wastewater, located downstream of the WWTP Said-Otba. The objective of this work is to understand the issues and determine the development prospects of this practice. Our approach to investigate the state of places showed that the proposed reuse of treated wastewater programmed has not yet been start because of the quality of the water and the delay of publication of the ministerial decree establishing the list of laboratories authorized to perform the analyzes of the water quality. However, farmers still illegally use this resource without taking into account their potential impacts.

For the experimental plot, the preliminary results of the analyzes show that the purified waste water is saline ($EC = 13,51dS / m$). It belongs to the class **C5 S4** is non-compliant bacteriologically. Irrigation with purified water had a less interesting effect on the growth rate compared to the control (well water). At the end of the experiment, the acacia plants irrigated with well water could reach twice as large as those that were irrigated with treated water growth in height and diameter. Similar results were obtained for leucaena but with slower growth compared to the acacia. For the study of the impact of irrigation on the physico-chemical parameters of the soil, generally, there has been increased salinization.

Keywords: irrigation, treated wastewater, drilling water, acacia, leucaena, STEP.

إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في حوض ورقلة. الوضعية، التحديات والآفاق.

الملخص:

في إطار الحفاظ على الموارد المائية والبيئة، أصدرت الجزائر مشروع لإعادة استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة للأغراض الزراعية في الكثير من المدن. فبالنسبة لمدينة ورقلة تمت برمجة المحيط الفلاحي على طرفي قناة نقل مياه الصرف الصحي المعالجة لمحطة سعيد عتبة. الهدف من هذا الدراسة هو تحديد رهانات و آفاق التنمية لهذه الآلية ، حيث أظهر التحقيق أن المشروع المبرمج لإعادة استعمال المياه العادمة المعالجة قد تعثر بسبب نوعية الماء وتأخر صدور القرار الوزاري الذي يحدد قائمة المخابرات المعتمدة لإجراء تحاليل النوعية للمياه. ومع ذلك لا يزال الفلاحون يستغلون بشكل غير قانوني هذا المورد دون الأخذ بعين الاعتبار تأثيراتها المحتملة. أما فيما يخص التجربة، فإن النتائج الأولية للتحاليل تبين أن مياه الصرف الصحي المعالجة تتميز بالملوحة ($CE=13,51dS/m$) بحيث هذا الماء يندرج ضمن الصنف **C5S4** و غير مطابقة من الناحية البكتيريولوجية. وكان للسقي بالماء المعالج تأثير أقل على معدل النمو مقارنة بالشاهد (مياه الآبار). بحيث في نهاية التجربة، استطاعت نباتات الأكاسيا المسقاة بمياه الآبار أن تصل في النمو (الطول والقطر) إلى ضعف ما وصلت إليه تلك التي سقيت بالمياه المعالجة. وقد تم الحصول على نتائج مشابهة لليوسينا لكن مع تباطؤ في النمو مقارنة بالأكاسيا. ان دراسة تأثير الري على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، عموما، أظهرت أن هناك زيادة في نسبة الملوحة.

الكلمات المفتاحية: الري، ومياه الصرف الصحي المعالجة، مياه الآبار، الأكاسيا، الليوسينا، محطة المعالجة.

Introduction

Le développement durable est celui qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins, il s'agit de promouvoir des modes d'utilisation des ressources naturelles à fortiori les ressources hydriques. Ce qui impose de tracer un plan de gestion vers une exploitation rationnelle vis-à-vis de la pression exercée par la croissance démographique et le développement économique, notamment dans les régions arides.

Dans les 50 années à venir, plus de 40 % de la population mondiale vivra dans des pays confrontés à un stress hydrique ou à la rareté de l'eau (**HINRICHSEN et al., 1998 ; In OMS, 2012(a)**). La concurrence grandissante entre les usages agricoles et urbains des approvisionnements en eau douce de haute qualité, notamment dans les régions arides ou semi-arides à forte densité de population, accroît la pression sur cette ressource toujours plus rare (**OMS, 2012(a)**). En tant que substitut de l'eau douce pour l'irrigation et l'aquaculture, les eaux usées ont un rôle important à jouer dans la gestion des ressources en eau. En laissant l'eau naturelle pour l'alimentation en eau potable et pour d'autres usages prioritaires, la réutilisation des eaux usées contribue à la conservation de l'eau (**OMS, 1989**).

L'appel aux ressources en eaux non conventionnelles est devenu une exigence primordiale pour abaisser la pression sur les ressources conventionnelles et faire face aux déficits hydriques causés par la demande en eaux qui ne cesse d'augmenter. De ce fait, l'Algérie est en train de développer cette stratégie à travers :

- Le dessalement d'eau de mer à travers deux types des stations, *les stations monoblocs* : 21 stations ont été réalisées destinés à l'AEP, avec une capacité totale de production de 57,500m³/j. *Les grandes stations* : 13 grandes stations ont été programmées, d'une capacité totale de 2,26 millions m³/j. Parmi elles, (06) sont mises en service ;
- La déminéralisation des eaux saumâtres : 13 stations ont été programmées, d'une capacité totale de production de 2,8 millions de m³/j, dont (08) sont mises en service ;

- La réutilisation des eaux usées épurées pour des intérêts agricoles, industriels et municipaux ;
- La recharge artificielle des aquifères : le projet pilote concerne la nappe de la Mitidja centre sur une durée de trois ans. **(HACHEMI, 2012)**.

Les eaux usées sont de plus en plus utilisées par l'agriculture dans les pays en développement et dans les pays industrialisés. Cette utilisation est motivée principalement par :

- La pénurie d'eau et le stress hydrique croissants ;
- La dégradation des ressources en eau de qualité résultant d'une élimination inadéquate des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères ;
- La croissance démographique et l'augmentation résultante de la demande en nourriture et en fibres ;
- La prise de conscience grandissante de la valeur des excréta et des eaux ménagères pour la productivité des cultures résultant de leur teneur en matières organiques et en nutriments comme l'azote, le phosphore et le potassium **(OMS, 2012(a))**.
- Les avantages économiques et sociaux qui peuvent résulter de tels projets, comme l'emploi et les produits destinés à l'exportation **(OMS & PNUE, 2005)**.

De ce fait, l'utilisation d'eau récupérée, si elle est bien gérée, peut être considérée comme une partie intégrante de la lutte contre la pollution de l'environnement et de la stratégie de gestion de l'eau. Elle peut aussi avoir des avantages pour la santé publique et le développement économique.

Dans le contexte local, l'Oasis de Ouargla est affectée par une remontée des eaux de la nappe superficielle, due aux rejets des eaux de drainage des périmètres agricoles et aux rejets des eaux résiduaires urbaines. Devant l'ampleur de cette menace écologique, les pouvoirs publics ont lancé un projet d'assainissement et de lutte contre la remontée des eaux de la nappe phréatique. Ce projet consistait à la mise en place d'une STEP par lagunage aéré et l'installation d'un canal de transfert des eaux usées épurées vers l'exutoire de Sebkhia Safioune. Ce canal possède toutes les centaines de mètres des regards offrant une possibilité de réutilisation des eaux usées épurées. Ceci a permis dans un laps de temps après sa mise en eau, l'installation des petites entités agricoles exploitant cette ressource. Dans ce cadre le ministère de l'agriculture et de développement rural coordonnait avec ses

directions CDARS et DSA de Ouargla pour désigner cette ville comme un cas pilote pour valoriser cette eau dans l'irrigation des périmètres agricoles.

Les objectifs recherchés à travers la réalisation de ce mémoire se résument aux points suivants :

- Mise en évidence de la stratégie algérienne dans le domaine de la valorisation des effluents traités à des fins agricoles. Ceci conduit à évoquer les aspects politiques, réglementaires et institutionnels qui organisent la gestion des eaux usées ;
- La réalisation d'un état des lieux sur la réutilisation des eaux usées en aval de la cuvette de Ouargla à travers la détermination des éléments suivants : cadre organisationnel qui identifie les acteurs concernés par cette pratique, l'état d'avancement du projet, le nombre des exploitations créées, leur statut légal, les techniques de gestion des eaux usées épurées et les contraintes rencontrées par les exploitants;
- Essai, à petite échelle, sur la réutilisation des eaux usées épurées par l'arrosage des essences forestières. Son but est d'orienter par une méthodologie scientifique les utilisateurs et les autorités vers les avantages de réutilisation des effluents sur la croissance des plantes, et de montrer leurs impacts en particulier sur le sol.

Ce travail comporte deux grandes parties. La première est constituée par trois chapitres englobant une synthèse bibliographique sur les eaux usées, leur traitement et leur réutilisation agricole à l'échelle mondiale ; elle s'intéresse également à la description de la stratégie algérienne en matière de valorisation des eaux non conventionnelles. La deuxième partie présente les matériels et méthodes d'étude, les résultats et les perspectives et recommandations. Notre travail s'achève par une conclusion qui rassemble les principaux résultats obtenus.

PREMIERE PARTIE : Synthèse bibliographique

CHAPITRE I: Généralités sur les eaux usées

I-1 Définition

Lorsque l'homme utilise l'eau il ne fait pas que la consommer, mais il en rejette une partie dans l'environnement : c'est ce que l'on appelle l'eau usée. Cette eau usée peut contenir différents polluants (**MOULIN et al, 2013**). L'aspect des eaux résiduaire fraîches est celui d'un liquide brun gris avec une odeur typique, mais faible. Durant leur transport, ces eaux se modifient d'autant plus vite que la température est élevée ; elles deviennent noires et dégagent une odeur d'œufs pourris, signe de la présence d'hydrogène sulfuré (H₂S), dangereux pour les égoutiers et corrosifs pour le béton et les aciers des égouts. Environ un tiers des matières contenues dans l'eau usée est en suspension, le reste étant en solution (**MOUSSA MOUMOUNI DJERMAKOYE, 2005**).

I-2 Origine des eaux usées

I-2-1 Les eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau et sont essentiellement porteuses de polluants organiques. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, etc., et en eaux-vannes qui sont les rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux (**CIEAU, 2013**).

Les eaux domestiques se composent d'eaux noires (excrétas, urine et boues de vidange, c'est-à-dire des eaux usées sanitaires) et d'eaux grises (eaux usées provenant de la cuisine et du bain) (**DRECHSEL et al, 2011**).

I-2-2 Les eaux usées industrielles

L'eau résiduaire industrielle désigne l'eau qui provient des activités industrielles. L'eau résiduaire industrielle est différente des eaux usées domestiques et ses caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées et phosphorées, elle peut également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte (**DICTIONNAIRE-ENVIRONNEMENT, 2013**).

I-2-3 Les eaux pluviales et de ruissellement

Les eaux de pluie ne sont pas exemptes de pollutions : au contact de l'air, elles se chargent d'impuretés (fumées industrielles, résidus de pesticides, etc.), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus, métaux lourds, etc.).

Les eaux pluviales peuvent être collectées en même temps que les eaux usées domestiques ou bien séparément ; on parle alors de réseau unitaire ou séparatif (CIEAU, 2013).

I-3 Composition des eaux usées

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique, etc.). Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes (BAUMONT *et al*, 2005).

I-3-1 Microorganismes

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales ; cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes : les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes (TOZE, 1999).

I-3-1-1 Les bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau ; leur taille est comprise entre 0,1 et 10 μm . Le taux moyen de bactéries dans les fèces est d'environ 10^{12} bactéries/g (ASANO, 1998). Les bactéries sont les microorganismes les plus communément rencontrés dans les eaux usées, il y a aussi plusieurs agents pathogènes non-entériques, notamment les bactéries comme *Legionella*, *Mycobacterium* et divers agents pathogènes opportunistes, qui peuvent être présents dans l'eau et d'un risque de maladie potentiel (TOZE, 1999).

I-3-1-2 Les virus

Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte. Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries. Ils sont présents soit intentionnellement (après une vaccination contre la poliomyélite, par exemple), soit chez un individu infecté accidentellement (BAUMONT *et al*, 2005). Les virus du milieu hydrique présentant des conséquences directes en santé publique et sont capables de provoquer des infections chez

l'homme surtout ceux excrétés dans les selles d'individus infectés. Plus de 140 virus pathogènes peuvent être éliminés dans les fèces humaines. Regroupés sous le nom de virus entériques, ils appartiennent à plusieurs familles et genres (SCHWARTZBROD, 2000). Dans les eaux usées la concentration virale est supérieure à 10^3 - 10^4 particules/l (TOZE, 1999). Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées restent difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous-estimation de leur nombre réel. Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal ; Parmi eux les virus entériques humains sont les plus nombreux, il faut citer les entérovirus (exemple: polio), les rotavirus, les rétrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A (AULICINO *et al*, 1996).

I-3-1-3- Les protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries ; la plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes *parasites*. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée *kyste* ; cette forme peut résister généralement aux procédés de traitement des eaux usées. On peut citer parmi ceux-ci *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne ou encore *Giardia lamblia* (BAUMONT *et al*, 2005). Les protozoaires pathogènes à plus d'intérêt sont *Giardia intestinalis* (anciennement *Giardia lamblia*) et *Cryptosporidium parvum*. Ces protozoaires sont pathogènes entériques communs et ont été fréquemment détectés dans l'eau qui a été contaminée par des matières fécales (TOZE, 1999). En outre, 10 à 30 kystes, est une dose suffisante pour causer des troubles sanitaires (CAMPOS, 2008).

I-3-1-4 - Les helminthes

Les helminthes sont des vers multicellulaires, leur nombre d'œufs peut être évalué entre 10 et 10^3 germes/l (FABY *et* BRISSAUD, 1997). Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires. En effet, la persistance de ces organismes à différentes conditions environnementales ainsi que leur résistance à la désinfection permet leur reproduction, ce qui constitue leur risque potentiel (CAMPOS, 2008). Les helminthes pathogènes rencontrés dans les eaux usées sont : *Ascaris lumbricoides*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichuria*, *Taenia saginata*. L'analyse des risques sanitaires liés aux agents pathogènes susceptibles d'être transportés par les eaux usées est le fondement des recommandations proposées par l'Organisation Mondiale de la Santé en 1989 (OMS, 1989).

I-3-2-Matières en suspension et matière organique

Les matières en suspension (MES) sont, en majeure partie, de nature biodégradable ; elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures (**BAUMONT et al, 2005**). Une présence excessive de matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que le bouchage des systèmes d'irrigation. La teneur des eaux usées en MES s'analyse par le biais de diverses mesures chimiques et biologiques. Les analyses les plus fréquentes sont la demande biochimique en oxygène (DBO₅) et la demande chimique en oxygène (DCO) (**BELAHMADI, 2011**)

I-3-3-Substances nutritives

Les nutriments se trouvent en grande quantité dans l'eau usée et constituent de ce fait un paramètre de qualité important pour la valorisation de ces eaux en agriculture et en gestion des paysages (**HAMODA, 2004**). L'azote, le phosphore, le potassium, et les oligo-éléments, principalement le zinc, le bore et le soufre, indispensables à la vie des végétaux, se trouve en quantité appréciables, mais en proportions très variables par rapport aux besoins de la végétation, dans les eaux usées épurées ou non (**FABY & BRISSAUD, 1998**). La présence de potassium, phosphate et nitrates dans les eaux dans une moindre mesure peut avoir un impact bénéfique sur les cultures dans le cas d'une réutilisation agricole (**BAUMONT et al, 2005**).

D'autres macro- et micronutriments peuvent également être présents. En outre, la présence de matière organique dans l'eau usée peut, par son effet à long terme sur la fertilité du sol, contribuer également à la stabilité structurale du sol. Pour certaines cultures, aucun engrais additionnel n'est nécessaire. Par contre, lorsque les engrais sont nécessaires, les eaux usées pourraient être la réponse pour obtenir un rendement élevé de bonne qualité (**FAO, 2003 in BELAID, 2010**).

I-3-4-Éléments traces

Certains *éléments traces*, peu nombreux, sont reconnus nécessaires, en très faibles quantités, au développement des végétaux : le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène. L'irrigation à partir d'eaux usées, va apporter ces éléments, mais aussi d'autres oligo-éléments, non indispensables à la plante tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluore, l'aluminium, le nickel, le chrome, le sélénium et l'étain. L'accumulation de ceux-ci aux couches supérieures du sol peut avoir pour conséquent, à

terme, des risques sur le développement des plantes, la santé des hommes et des animaux **(FABY & BRISSAUD, 1998)**.

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux ; les plus abondants (de l'ordre de quelques $\mu\text{g/l}$) sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Leur origine est multiple : 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)**. Certains métaux et métalloïdes sont essentiels à la bonne croissance végétale, mais sont toxiques à des concentrations élevées ; c'est le cas pour le cuivre (Cu), le molybdène (Mo), le nickel (Ni), le sélénium (Se) et le zinc (Zn). La plupart des industries dans les pays en développement rejettent des effluents non traités contenant différentes concentrations de métaux et de métalloïdes **(DRECHSEL et al., 2011)**. 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) **(VILAGINES, 2003 in ATTAB, 2011)**. Néanmoins, l'essentiel de ces métaux est retenu dans les boues des stations d'épuration lors du traitement des eaux usées **(FABY & BRISSAUD, 1997)**.

Une grande variété de composés organiques de synthèse peut se trouver dans les effluents en provenance d'eaux de lessivage ou de rejets industriels. Certains se forment aussi lors des traitements de désinfection des effluents par le chlore (haloformes). Dans le sol, ces miro-polluants restent liés à la matière organique ou adsorbés sur les particules du sol ; d'autres, tels que des composés ioniques (pesticides organochlorés, solvants chlorés) peuvent être entraînés en profondeur **(FABY & BRISSAUD, 1998)**. Les pesticides sont les éléments traces les plus surveillés et une étude d'impact et de métabolisme est obligatoire avant leur mise sur le marché **(BAUMONT et al., 2005)**. Cependant, les faibles concentrations en ces composés dans les eaux usées limitent le risque d'exposition lors de leur réutilisation pour l'irrigation **(TOZE, 2005)**. De plus, en raison de la faible solubilité de ces éléments organiques, on les retrouvera concentrés dans les boues plutôt que dans les eaux résiduaires **(FAO, 2003 in BELAID, 2010)**.

I-3-5-Salinité

Les eaux usées sont plus riches en sels que l'eau douce parce que les sels y sont ajoutés à partir de différentes sources. Les eaux usées salées contiennent des niveaux excédentaires de sels solubles (**DRECHSEL et al, 2011**). Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles (**FABY & BRISSAUD, 1998**). La salinité d'une eau correspond à sa concentration en sels dissous dans leur ensemble, elle est exprimée soit par la valeur de la conductivité électrique (CE) ou par le résidu sec (RS). D'une manière générale, la concentration en sels de l'eau usée excède celle de l'eau du réseau d'alimentation en eau potable (**FABY & BRISSAUD, 1997**).

Lorsque les eaux usées sont valorisées en irrigation, on prend en considération le SAR (ratio du Sodium Absorbable) (**annexe 1**) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols.

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

Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium échangeables. Généralement, le SAR et la CE de l'eau destinée pour l'irrigation, sont utilisés en combinaison afin d'évaluer le risque potentiel de salinisation des sols.

La quantité et le type de sels présents sont importants pour évaluer si l'eau usée traitée convient pour l'irrigation. Des problèmes potentiels sont liés à la teneur en sels totaux, au type de sel ou à la concentration excessive d'un ou plusieurs éléments (**AYERS, 1997 in METAHRI, 2012**) (**annexe 2**).

CHAPITRE II : Traitement et réutilisation des eaux usées

Lorsque les eaux usées ou les eaux résiduaires industrielles ne sont pas épurées avant rejet dans le milieu naturel, l'altération de ce dernier et les déséquilibres qui s'y produisent ont non seulement des effets immédiats sur les utilisations de l'eau, mais aussi des effets à long terme, parfois irréversibles dans le domaine de la vie humaine (VAILLANT, 1974 in DJEDDI, 2007). On a donc tout d'abord commencé à la traiter avant d'être rejetées ou réutilisées.

II-1 Traitement des eaux usées

Les méthodes de traitement des eaux usées sont diverses et peuvent être classées en trois catégories : les traitements primaires, secondaires et tertiaires (MOULIN et al, 2013).

II-1-1 Traitements physico-chimiques : traitements primaires

Le traitement s'effectue par voie physico-chimique et a pour but d'extraire le maximum de matières en suspension et de matières organiques facilement décantables. Cette étape permet d'éliminer 90% des particules et objets en suspension (MOULIN et al, 2013 ; ADEME, 2003). Il reste alors dans l'eau tout ce qui y est dissous : éléments azotés, phosphatés, composés actifs et particules fines (MOULIN et al, 2013).

II-1-2 Traitements biologiques : traitements secondaires

Ces traitements sont biologiques et permettent d'éliminer les polluants dissous. Pour cela, on utilise des populations de micro-organismes capables de les consommer (MOULIN et al, 2013).

On en distingue différents types :

Le lagunage naturel : Les eaux usées sont stockées dans des plans d'eau peu profonds. L'activité microbienne se fait naturellement : échange avec l'atmosphère, photosynthèse. Des aérateurs peuvent être utilisés pour brasser l'air et optimiser l'activité des bactéries. Ces processus induisent la formation de boues de lagunage au fond des bassins qui sont récupérées (ADEME, 2003).

Les boues activées : On force ici le mélange du dioxygène, des eaux usées et des bactéries dans des bassins. Les espèces sont sélectionnées selon ce que l'on souhaite éliminer : carbone, azote, phosphore (FEPS, 2013).

Les biofiltres et filtres bactériens : On peut également faire percoler l'eau à travers un matériau où se développent des bactéries. Cela peut être des galets ou des supports (lits

bactériens) ou des argiles cuites, des schistes, des sables . . . (biofiltres). Ces traitements sont utilisés en plus du processus des boues activées, permettant d'éliminer une plus grande diversité de polluants (ADEME, 2003).

II-1-3 Traitements tertiaires

Les traitements tertiaires regroupent toutes les opérations physiques et chimiques qui complètent les traitements primaires et secondaires (OUALI, 2001). Ils sont fréquemment utilisés dans les usines de production d'eau potable. Ce sont des traitements complémentaires, dénommés parfois traitements avancés (coagulation physico-chimique, filtration sur sable, chloration, ozonation, traitement par le charbon actif, etc.) (EDLINE, 1996). On les réalise afin d'éliminer des éléments nutritifs résiduels, des polluants organiques résistants, des métaux, des pigments, des substances nutritives comme le phosphore et l'azote (FEPS, 2013).

II-2-La réutilisation des eaux usées épurées dans le monde

La REUE recouvre deux notions complémentaires : le traitement puis la réutilisation proprement dite d'eaux usées. Elle propose de les traiter éventuellement une nouvelle fois et de s'en servir pour toutes sortes d'usages. On constate (figure 1) que la REUE agit à deux niveaux : premièrement elle évite les rejets d'eaux issues de stations d'épuration dans le milieu naturel, et deuxièmement, elle constitue un approvisionnement supplémentaire.

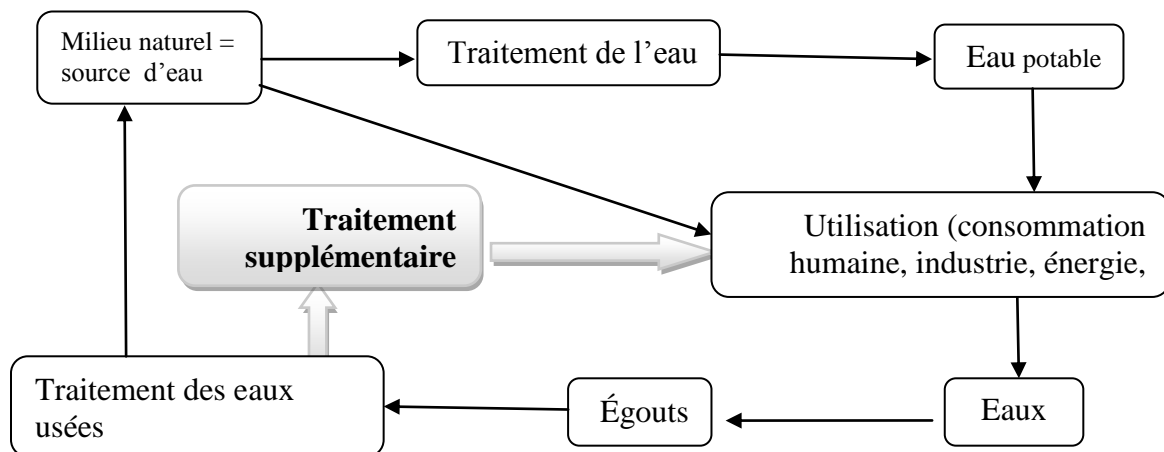


Figure 1 : Intégration des eaux usées traitées dans le cycle général des ressources en eau (BAUMONT et al, 2005).

II-2-1- Bilan mondial

Décrire l'utilisation des eaux polluées, des excréta et des boues dans le contexte des pratiques agricoles actuelles des pays en développement n'est pas chose facile. D'une part, il y a un manque d'informations fiables et suffisantes et d'autre part, les renseignements disponibles n'utilisent pas des termes et des unités uniformes pour décrire ces pratiques, ce qui complique la comparaison des données ou l'établissement d'inventaires internationaux (**DRECHSEL et al, 2011**).

Dans les pays en développement comme la Chine, le Mexique, le Pérou, l'Égypte, le Liban, le Maroc, l'Inde et le Vietnam, les eaux usées ont été utilisées comme source de nutriments culturels pendant de nombreuses décennies. L'Inde utilise aussi des eaux grises partiellement traitées pour l'irrigation et l'assainissement des potagers, et il semblerait que cette pratique commence à se répandre largement dans plusieurs régions (**DRECHSEL et al, 2011**).

La REU a connu un développement ces dix dernières années avec une croissance des volumes de l'ordre de 10 à 29 % par an en Europe, aux Etats-Unis et en Chine, et jusqu'à 41% en Australie. Le volume journalier actuel des eaux réutilisées est de 1,5-1,7 millions de m³ dans plusieurs régions comme la Californie, la Floride, le Mexique ou la Chine (**BEAUPOIL et al, 2010**).

Au Pakistan, environ 26 % de la production maraîchère nationale est irriguée avec des EU, tandis qu'à Hanoi, au Vietnam, environ 80 % de la production de légumes provient de zones urbaines et périurbaines irriguées avec des EU diluées. Les pays à revenus faible et intermédiaire comme l'Inde, le Mali, la Jordanie, la Palestine, l'Afrique du Sud, le Népal, le Sri Lanka, le Costa Rica et la Malaisie utilisent les eaux grises pour le jardinage et l'irrigation de cultures non alimentaires (comme les fourrages et les oliviers). Parmi les grandes villes de l'Afrique occidentale, entre 50 et 90 % des légumes consommés par les citoyens sont produits à l'intérieur ou à proximité de la ville, où la plupart des eaux utilisées pour l'irrigation sont polluées (**DRECHSEL et al, 2011**).

La REUE en zone urbaine est prédominante : au Japon, 33 % des foyers installés en zone urbaine recyclent les eaux grises pour l'alimentation des toilettes. Les eaux servent aussi à irriguer les jardins ornementaux de la ville et à alimenter les ruisseaux dans les aires de jeu et de sport (**OMS, 1989**).

Dans la plupart des pays de la région méditerranéenne, les EU sont largement utilisées, à des degrés divers, dans des systèmes plus ou moins planifiés (**OMS & PNUE,**

2005). La figure 2 illustre l'ampleur de la valorisation des EU dans différents pays du monde, dont la France, pour sa part, est en retard, particulièrement en ce qui concerne l'irrigation des golfs (BEAUPOIL *et al*, 2010).

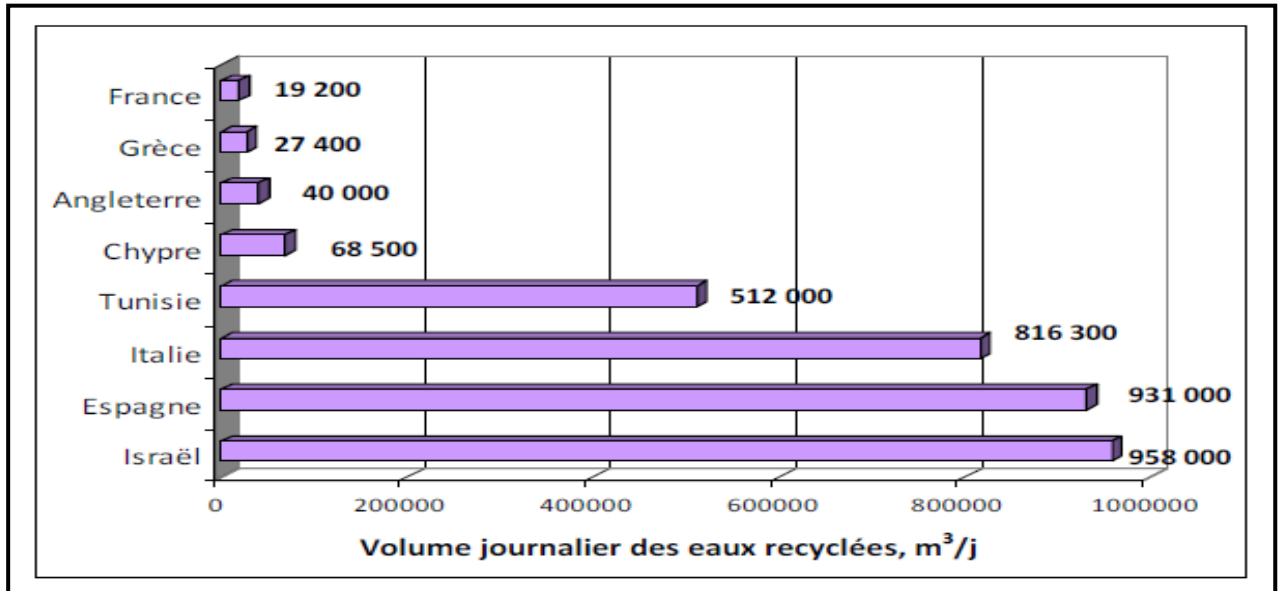


Figure 2 : Volume moyen journalier des eaux recyclées en Europe et quelques pays Méditerranéens.

Cependant, seuls quelques pays méditerranéens (Chypre, Israël, Tunisie, Syrie) ont inclus la réutilisation dans la planification de leurs ressources en eau et ont eu des politiques officielles d'incitation à cette pratique. Les principales opérations d'utilisation dans la région sont destinées à l'irrigation agricole, à l'irrigation paysagère et à la recharge des eaux souterraines. L'utilisation à des fins industrielles est rarement pratiquée (OMS & PNUE, 2005).

II-2-2- Domaines de la REU

II-2-2-1- Agriculture

La réutilisation agricole des EU comme moyen d'économiser la ressource a donc été une des premières voies de développement des projets de REUE. L'utilisation d'eaux usées à la place d'engrais de synthèse coûteux est économiquement intéressante pour les agriculteurs. De plus, l'arrosage avec des eaux usées constitue une sorte de ferti-irrigation, c'est-à-dire l'application combinée d'eau et de fertilisants via le système d'irrigation (BAUMONT *et al*, 2005).

II-2-2-2- Arrosage des espaces verts

Les eaux usées sont couramment employées pour l'arrosage des espaces verts urbains, comme les jardins publics et les terrains de golf. Il faut alors veiller à protéger le public contre les risques résultant d'un contact direct avec l'herbe, les buissons, les arbres, ou tout ce qui peut être contaminé (OMS, 1989).

II-2-2-3-Aquaculture

L'élevage de poissons et la culture de plantes aquatiques dans des bassins fertilisés par des EU et des excréta sont des pratiques courantes, en particulier en Asie. En Inde, plus de 130 réseaux de viviers fertilisés par des eaux-vannes couvrant une superficie d'environ 12000 ha. Le rendement annuel moyen est de plus de 1000 kg/ha, assurant de 10 à 20% de la consommation de poisson de l'agglomération de Calcutta (OMS, 1989).

II-2-2-4- Industrie

Parmi les activités industrielles, la production d'énergie est de très loin le secteur qui prélève le plus d'eau dans le milieu (RNDE, 2003). D'après (ASANO, 1998), un des premiers cas dans le monde est une papeterie du Japon qui est fournie en eaux épurées depuis 1951.

La REUE industrielle peut donc être intéressante dans le secteur de l'énergie, dans les circuits de refroidissement fermés ou ouverts. Les autres applications possibles concernent les laveries industrielles, les stations de lavage de voiture, l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles, les industries d'électroniques et de semi-conducteurs, etc. (BAUMONT et al, 2005).

II-2-2-5- Usages urbains

Les utilisations possibles d'eaux épurées en zone urbaine sont extrêmement nombreuses, et il en existe de multiples exemples à travers le monde ; ces projets concernent :

- l'arrosage de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf, d'aires de jeux ;
- les bassins d'agrément, piscines, bassins pour la pêche et la navigation de plaisance ;
- les eaux des sanitaires d'un immeuble ou d'un groupe d'immeubles ;
- le lavage de voirie, réservoirs anti-incendies, etc. (BAUMONT et al, 2005).

II-2-2-6- Production d'eau potable

La production d'eau potable est l'aboutissement le plus extrême de la réutilisation des EUE. Elle a lieu essentiellement dans les zones arides ou semi-arides. Le cas unique de Windhoek en Namibie correspond à une situation unique en terme de ressources en eau, et la réutilisation directe (quand l'eau ne revient jamais dans le milieu naturel) était la seule solution envisageable. Il en est de même pour le comté d'Essex, qui se trouve dans la zone la plus « sèche » d'Angleterre. D'un point de vue sanitaire, il faut noter qu'aucune incidence sur la santé n'a été relevée, aussi bien à Windhoek où la REUE existe depuis plus de 25 ans qu'à Chelmsford (début du projet en 1996). **(BAUMONT et al, 2005)**.

II-2-2-7- Recharge des nappes

Ce mode de réutilisation a lieu essentiellement dans des zones arides qui doivent faire face à des problèmes d'assèchement de nappes, ou dans des zones côtières où les nappes sont envahies par l'eau de mer **(BAUMONT et al, 2005)**. Il faut souligner que le succès d'une opération de recharge de nappe dépend beaucoup de la qualité des études hydrogéologiques et pédologiques préalables **(FABY & BRISSAUD, 1998)**.

II-3-Evaluation de la qualité de l'eau usée traitée pour l'irrigation

L'utilisation des eaux d'égout épurées comporte cependant aussi des inconvénients, notamment du point de vue de la santé publique et en raison de leur salinité, parfois assez élevée **(DRAPEAU & JANKOVIC, 1977)**.

II-3-1- Risque sanitaire

Les excréta humains sont en cause dans la transmission de nombreuses maladies infectieuses comme le choléra, la typhoïde, divers types d'hépatites virales, la poliomyélite, la schistosomiase et l'infestation par divers types d'helminthes **(OMS, 2012 (b))**.

Les risques pour la santé liés à la réutilisation des eaux usées peuvent varier selon les trois sous-catégories de la population :

II-3-1-1 Les consommateurs de cultures consommées crues

En ce qui concerne les risques pour la santé associés à la consommation, la préoccupation principale a trait aux légumes souvent mangés crus, par exemple les plats de salades crues. Plusieurs vagues de diarrhées ont été associées aux légumes irrigués au moyen d'eaux usées **(DRECHSEL et al, 2011)**.

II-3-1-2 Les travailleurs agricoles

Les groupes les plus touchés sont les travailleurs agricoles, en raison de la durée et de l'intensité de leur contact avec les eaux usées et les sols contaminés. Des études épidémiologiques de groupes d'agriculteurs utilisant des eaux usées ont apporté des preuves accablantes du risque élevé d'infections aux helminthes ; cela a mené à la valeur stricte des directives de l'OMS de ≤ 1 œuf par litre d'eau d'irrigation (**DRECHSEL et al, 2011**).

II-3-1-3 Les risques pour communautés locales de l'irrigation par aspersion

Les études de meilleure qualité réalisées sur l'irrigation par aspersion avec des eaux usées traitées indiquent qu'il peut exister un risque accru d'infection lorsque la teneur en coliformes thermotolérants des eaux usées atteint 10^6 pour 100 ml, mais qu'il n'y a pas d'augmentation du risque infectieux lorsque ces eaux contiennent au plus 10^4 – 10^5 coliformes thermotolérants pour 100 ml (**OMS, 2012 (a)**).

II-3-2-Risques environnementaux

L'utilisation agricole d'excréta et d'eaux ménagères peut avoir sur l'environnement des impacts tant positifs que négatifs.

II-3-2-1 Métaux

L'utilisation d'eaux usées contenant des rejets industriels fortement chargés en métaux lourds conduit à une accumulation de métaux dans les sols et les cultures et a été mise en relation avec des problèmes de santé chez les consommateurs de cultures.

Les métaux sont liés aux sols dont le pH dépasse 6,5 et/ou la teneur en matières organiques est élevée. Pour les valeurs de pH inférieures à ce seuil, toute la matière organique est consommée ou tous les sites d'adsorption utilisables dans le sol sont saturés ; les métaux deviennent mobiles et peuvent être absorbés par les cultures et contaminer les étendues d'eau. On trouve fréquemment dans les eaux usées du cadmium, du cuivre, du molybdène, du nickel et du zinc, qui peuvent être facilement mobilisés et absorbés par les végétaux. Le cadmium et le nickel présentent des dangers pour la santé plus graves que les autres métaux en raison de leur plus forte toxicité pour l'homme. Les effets des métaux lourds sur les cultures sont complexes, car ces métaux peuvent participer à des interactions antagonistes, qui influent sur leur absorption par les végétaux (**OMS, 2012 (a) ; OMS, 2012 (b)**).

II-3-2-2 Salinisation

Ce problème survient même avec de l'eau douce en l'absence d'un lavage du sol et d'un drainage du terrain appropriés. Mais l'utilisation d'eaux usées peut accélérer le processus de salinisation du sol en raison de la forte teneur en sels de ces eaux (OMS, 2012 (b)).

La salinité peut influencer sur la productivité du sol de quatre façons :

- ✓ Elle modifie la pression osmotique au niveau de la zone de racines.
- ✓ Elle entraîne une toxicité ionique spécifique (ions sodium, bore ou chlorure).
- ✓ Elle peut perturber l'absorption par les végétaux des nutriments essentiels (potassium et nitrates, par exemple), en raison de l'antagonisme avec les ions sodium, chlorure et sulfates.
- ✓ Elle peut détruire la structure du sol en provoquant sa dispersion et le bouchage des pores (OMS, 2012 (a) ; OMS, 2012 (b)).

Comme indiqué précédemment, le risque de salinisation se mesure par une combinaison de paramètres. Selon le type de sol et les conditions de drainage, les problèmes de salinisation apparaissent pour des conductivités >3 dS/m, des teneurs en matières solides dissoutes >500 mg/l (devenant sévères si >2000 mg/l) et un taux d'adsorption du sodium de $>3-9$ (Ayers & Wescot, 1985).

II-3-2-3 Sodicit 

C'est une forme particulière de salinisation, résulte d'une forte concentration d'ions sodium par rapport aux concentrations d'ions calcium et magnésium. Ce phénomène peut se produire même avec des eaux ayant une faible teneur en matières solides dissoutes et une conductivité peu élevée. Les carbonates et les bicarbonates peuvent également provoquer une défloculation des sols.

Cet effet reste modéré lorsque la concentration de bicarbonates se situe entre 90 et 500 mg/l ; au-dessus de 500 mg/l, des problèmes peuvent apparaître (OMS, 2012).

II-3-2-4 Excès d'éléments nutritifs

Dans le cas des macroéléments, comme l'azote et le phosphore, il existe quatre possibilités d'incidence :

- Les nitrates sont hautement solubles et peuvent se déplacer facilement dans les sols irrigués avec des eaux usées par lixiviation (DRECHSEL et al, 2011). (OMS, 2012 (a)). Un excédent d'azote par le biais des eaux usées peut entraîner des retards

dans la maturité des cultures, une pourriture noire et un faible rendement économique.

- Un excédent d'azote et de phosphore dans les eaux usées peut causer l'eutrophisation de cours d'eau naturels et de mauvaises herbes dans les systèmes d'irrigation.
- Le lessivage de l'azote peut entraîner la pollution des eaux souterraines et la méthémoglobinémie (une réduction de la capacité du sang à transporter l'oxygène, élément vital, dans tout le corps, généralement chez les nourrissons) dans des cas où on boit des eaux souterraines riches en azote (notamment des concentrations élevées en nitrates) (DRECHSEL *et al*, 2011).

II-3-2-5 Excès en sels et en sodium

Les eaux usées salées contiennent des niveaux excédentaires de sels solubles, tandis que les eaux sodiques se caractérisent par des niveaux excédentaires de Na⁺. Dans de nombreux cas, les autres sels et le sodium (Na⁺) sont présents dans des concentrations excédentaires, menant à des eaux usées salées et sodiques. Les sels excédentaires apportés par l'irrigation avec des eaux usées entraînent des effets négatifs sur les cultures, les sols et l'eau souterraine (DRECHSEL *et al*, 2011).

II-3-2-6 Matières solides en suspension

Les matières solides en suspension dans les eaux usées peuvent boucher les infrastructures d'irrigation, en particulier si l'on utilise des buses d'aspersion ou si l'on irrigue par goutte-à-goutte. De plus, si ces matières ne sont pas biodégradables, elles peuvent aussi diminuer la percolation. Les matières solides en suspension provenant des bassins de stabilisation peuvent inclure des particules algales, qui enrichissent les sols en matières organiques et en nutriments après leur biodégradation (OMS, 2012 (a)).

II-3-3-Réglementations existantes dans le monde

La qualité d'une eau qui se prête à diverses applications de réutilisation est définie selon des critères de qualité et des règlements (CCME, 2002).

II-3-3-1-Directives OMS pour la réutilisation des eaux usées

En 1973, l'OMS a recommandé des directives relativement strictes pour la qualité des effluents destinés à irriguer les cultures à consommer crues: une valeur guide de 100 coliformes/100 ml a été fixée pour une irrigation sans restrictions. Ces recommandations se fondaient sur le concept de "risque zéro".

En 1985, les directives ont été réexaminées et la nature des risques sanitaires associés à l'agriculture et à l'aquaculture a été révisée.

En 1989, l'OMS a publié un nouvel ensemble de directives sur la qualité microbiologique pour la réutilisation de l'eau récupérée dans l'agriculture et l'aquaculture (**tableau 1**). D'autres utilisations à des fins non potables n'étaient pas prises en compte. Les directives fixent des valeurs ≤ 1000 CF/100ml et ≤ 1 œuf de nématode intestinal/l pour une irrigation sans restrictions, et seulement ≤ 1 œuf de nématode intestinal/l pour une irrigation avec restrictions (**OMS & PNUE, 2005**).

En 2000, elles ont été révisées, en intégrant les résultats de nouvelles études épidémiologiques (**BLUMENTHAL et al., 2000**). Les modifications ont essentiellement porté sur la norme “ œufs d’helminthes ” qui pour certaines catégories est passée de 1 à 0,1 œuf/l. Ces recommandations sont destinées à une utilisation internationale et sont donc adaptées aux pays en voie de développement. Elles représentent la limite au-delà de laquelle la santé publique n’est plus assurée.

Tableau 1: Recommandations microbiologiques révisées de l’OMS (1989) pour la réutilisation en agriculture des eaux usées

Catégories	Conditions de réutilisation	Groupes exposés	Techniques d’irrigation	Nématodes intestinaux ^b	Coliformes fécaux ^c	Traitements recommandés pour atteindre le niveau de qualité microbiologique
A	Irrigation sans restrictions A1 Pour les cultures maraîchères consommées crues, les terrains de sports, les parcs publics ^g	Travailleurs, consommateurs, public	Toutes	$\leq 0,1$ ^e	$\leq 10^3$	Série de bassins de stabilisation bien conçus, réservoir de stockage et de traitement remplis séquentiellement, ou traitement équivalent (p. ex. traitement secondaire conventionnel suivi soit d’un lagunage tertiaire, soit d’une filtration et d’une désinfection)
		B1 Travailleurs (mais pas les enfants < 15 ans), populations alentour	Par aspersion	≤ 1	$\leq 10^3$	Série de bassins de rétention dont un bassin de maturation ou un bassin séquentiel ou un traitement équivalent (p. ex. traitement secondaire conventionnel suivi soit par des lagunages tertiaires, soit une filtration)
B	Irrigation restreinte. Céréales, cultures industrielles, fourragères, pâturage et forêt ^f	B2 comme B1	Par rigole d’infiltration ou par gravité	≤ 1	$\leq 10^3$	Comme pour la catégorie A
		B3 Travailleurs dont les enfants < 15 ans, population alentour	Toutes	$\leq 0,1$	$\leq 10^3$	Comme pour la catégorie A
C	Irrigation localisée sur des cultures de la catégorie B s’il n’y a pas d’exposition des travailleurs ou du public	Aucun	Goutte-à-goutte, micro-jet, etc.	Pas de norme	Pas de norme	Pré-traitement nécessaire pour des raisons techniques liées à l’irrigation, mais pas moins qu’une sédimentation primaire

(a) Dans certains cas particuliers, les facteurs épidémiologiques, socio-culturels et environnementaux devront être pris en compte, et les recommandations modifiées en conséquence.
 (b) Moyenne arithmétique du nombre d’œufs/l. Les espèces considérées sont *Ascaris*, *Trichuris* et l’ankylostome ; la recommandation correspond aussi à une protection contre les protozoaires parasites.
 (c) Moyenne géométrique^e du nombre/100 ml. La moyenne géométrique (G) est définie comme étant la racine Nième du produit des N termes d’une série statistique.
 (d) Une limite plus restrictive (≤ 200 coliformes fécaux / 100 ml) est appropriée pour les pelouses publiques, comme les pelouses d’hôtels, avec lesquelles le public peut avoir un contact direct.
 (e) Cette limite peut être augmentée à ≤ 1 œuf/l si (i) il fait chaud et sec et que l’irrigation de surface n’est pas pratiquée ou (ii) le traitement de l’eau contient aussi des traitements chimiothérapeutiques anti-helminthes.
 (f) Dans le cas des arbres fruitiers, l’irrigation doit s’arrêter deux semaines avant la récolte, et aucun fruit ne doit être récolté au sol. L’irrigation par aspersion ne doit pas être utilisée.

II-3-3-2-Les recommandations USEPA pour la réutilisation des eaux

L'USEPA (United States Environmental Protection Agency) a publié en 1992, en collaboration avec l'USAID (United States Agency of International Développement), ses propres recommandations sur la réutilisation des EUE, intitulées "Guidelines for Water Reuse". Contrairement à l'OMS, ces recommandations ne sont pas basées sur des études épidémiologiques ni sur une estimation du risque, mais sur un objectif de zéro pathogène dans les eaux réutilisées. Ces normes microbiologiques sont donc beaucoup plus strictes. Les normes de l'USEPA concernent tous les usages envisageables pour des eaux usées épurées (usage urbain, agricole, industriel, recharge de nappe, etc.) ce qui en fait un outil puissant (USEPA, USAID, 1992).

II-3-3-3-Les recommandations de l'Union Européenne

Pour l'heure, il n'existe aucune réglementation sur la réutilisation de l'eau au niveau européen. La seule référence dans ce domaine est l'article 12 de la directive européenne sur les eaux usées (91/271/CEE, UE, 1991) qui stipule que "les eaux traitées doivent être utilisées chaque fois qu'il y a lieu" (OMS & PNUE, 2005).

Cette lacune n'a pas empêché les pays membres d'adopter leur propre réglementation, sans homogénéisation à l'échelle européenne. En effet, aujourd'hui, certains pays comme l'Italie s'inspirent des normes américaines, et d'autres, comme la France, des normes de l'OMS. Les normes bactériologiques appliquées dans certains pays sont cités dans (tableau 2).

D'autres organismes ont établi des recommandations complémentaires pour quelques paramètres chimiques. Ainsi, la FAO (2003) a fixé, selon la durée de réutilisation, des limites concernant les éléments traces dans les eaux usées traitées destinées à l'irrigation (tableau 3).

Tableau 2: Normes bactériologiques appliquées dans certains pays et préconisées par des organisations (LAVISON et MOULIN, 2007 *in* BELAID, 2010).

Pays/Organisation	Recommandations
OMS (niveau A)	1000 coliformes thermotolérants/100mL + 1 oeuf d'helminthe/L
USEPA	< 1 ou 200 coliformes thermotolérants/100mL selon culture
Title 22 (Californie)	2,2 ou 2,3 coliformes totaux/100mL (selon cultures + filière de traitement agréée)
France (CSHPF, niveau A)	1000 coliformes thermotolérants/100mL + 1 œuf d'helminthe/L + contrainte techniques particulières
Afrique de Sud	1 ou 1000 coliformes thermotolérants/100mL (selon culture + filière imposés)
Japon	1 E. coli/100mL + résiduel de chlore total > 0,4 mg/L
Koweït	100 ou 10000 coliformes totaux/100mL (selon culture + effluent oxydé + filtré et désinfecté)
Israël	2,2 ou 500 coliformes thermotolérants/100mL (selon culture)
Arabie Saoudite	2,2 coliformes totaux/100mL (culture à accès restreint)
Tunisie	< 1 nématode intestinal/L

Tableau 3: Limites recommandées en éléments traces (mg^l⁻¹) dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2003 *in* BELAID, 2010).

Eléments	Utilisation à long terme	Utilisation à court terme
Aluminium	0,5	20
Arsenic	0,1	2
Béryllium	0,1	0,5
Bore	0,75	2
Cadmium	0,01	0,05
Chrome	0,1	1
Cobalt	0,05	5
Cuivre	0,2	5
Fluor	1	15
Fer	5	20
Plomb	5	10
Lithium	2,5	2,5
Manganèse	0,2	10
Molybdène	0,01	0,05
Nickel	0,2	2
Sélénium	0,02	0,02
Vanadium	0,1	1
Zinc	2	10

CHAPITRE III: Stratégie de l'Algérie dans le domaine de réutilisation des eaux usées

L'agriculture est le secteur le plus visé pour la valorisation des EUE car il est le plus grand consommateur d'eau conventionnelle. De ce fait l'Algérie, a adopté une stratégie qui peut jouer un rôle important dans l'adaptation aux changements climatiques.

III-1- Cadre politique

La réutilisation des EUE a été l'objet d'un intérêt politique croissant. L'appel aux ressources en eaux non conventionnelles est devenu une exigence primordiale pour abaisser la pression sur les ressources conventionnelles et faire face aux déficits hydriques causés par la demande en eaux qui ne cesse d'augmenter (**HACHEMI, 2012**).

III-1-1- Objectifs nationaux

Les principaux objectifs de cette réutilisation sont : la protection de l'environnement et des ressources hydriques, la préservation de l'eau de bonne qualité pour l'eau potable, l'extension des surfaces irriguées et l'aménagement d'espaces verts.

III-1-1-1- Production des eaux usées

En 2012, la capacité totale des 82 STEP gérées par l'ONA est de 6,25 millions Eq/Ha. Le volume total épuré par celles-ci est de 138 millions de m³/an, 17% de ce volume d'eau épurée a été réutilisé, soit 23 millions de m³/an pour irriguer une superficie totale de 12 600 ha (**annexe 4**) (**ONA, 2013**).

Pour les 15 STEP concernées par la REUE gérées par l'ONA, le volume réutilisé cumulé des trois premiers mois de l'année 2013 a été de 4,2 million de m³ /an, pour une surface irriguée de 12613 ha, soit environ 45% du volume annuel épuré (**annexe 4**) (**ONA, 2013**). Les STEP qui sont gérées par les entreprises SPA SEAAL, SEACO et SEOR leurs effluents ne sont pas réutilisés. Ils sont acheminés vers des exutoires : la mer, les oueds, les barrages, etc. (**annexe 5**) (**MRE, 2013**).

III-1-1-2- Qualité des eaux usées

Les rendements épuratoires enregistrés au niveau de la majorité des STEP pour l'année 2012 montrent un bon abattement moyen de la pollution carbonée en plus du phosphore et de l'azote total (DBO₅ : 89%, DCO : 87% et MES : 87%). Cette qualité est vérifiée quotidiennement par les laboratoires des STEP (**ONA, 2013**).

III-1-2- Programme spécifique portant REUE pour l'irrigation

Aux termes de l'année 2012, on a enregistré la finalisation du cadre réglementaire permettant la réutilisation des EUE pour l'irrigation et sa transmission à l'ensemble des directions des services agricoles et les organismes concernées par cette thématique. Il a été demandé à l'ensemble des wilayas de mettre en œuvre ce programme, par :

- la mise en place d'un comité interministériel de pilotage ;
- l'identification d'un site pilote ;
- la présentation d'une fiche technique de ce site pilote, et ce, en concertation avec les services des DREW, pour la programmation des investissements y afférents, notamment, les aménagements et les équipements nécessaires.

A fin du 4^{ème} trimestre de cette même année, il a été enregistré la transmission de 23 fiches techniques présentées par les 23 wilayas suivantes : M'Sila, Oran, Sétif, Tlemcen, Mascara, Mostaganem, Saida, Boumerdès, Biskra, Ouargla, Médéa, Bordj Bou Arreridj, Constantine, Bejaia, Mila, Souk Ahras, Laghouat, Tipaza, Skikda, El Oued, Sidi Bel Abbès, Tissemsilt et Ghardaïa.

Ces fiches techniques ont fait l'objet d'un programme qui sera lancé, en concertation avec les services concernés du MRE, au courant de l'année 2013 (DDAZASA, 2013).

III-2- Cadre réglementaire de la réutilisation des eaux usées épurées

Le rejet et la réutilisation des eaux usées traitées en Algérie sont régis par plusieurs textes et lois, afin de protéger l'environnement et notamment les ressources hydriques contre la pollution et l'épuisement.

III-2-1- Dispositifs réglementaires pour préserver le milieu récepteur et les ressources hydriques

Le dispositif réglementaire existant en matière de protection de l'environnement a fait l'objet de plusieurs textes juridiques qui sont présentés dans **tableau 4**.

Tableau 4: Dispositifs réglementaires de protection de l'environnement.

Objet	Date de publication	Référence du texte dans le journal officiel
Loi relative à l'eau	04/08/2005	05/12
Loi relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable	19/07/2003	03/10
Décret exécutif réglementant les rejets d'effluents liquides industriels	19/04/2006	06/141
Décret exécutif fixant les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement des eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une STEP	11/06/2009	09/209
Décret exécutif relatif au déversement des huiles et lubrifiants dans le milieu naturel	10/07/1993	93/161
Décret fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement des déchets solides urbains	15/12/1984	84/378
Décret de l'EIE (étude d'impact sur l'environnement)	27/02/1990	90/78
Décret relatif aux modalités d'application du texte sur les activités polluantes ou dangereuses pour l'environnement	01/03/1993	93/68
Décret réglementant les rejets d'effluents liquides industriels	10/07/1993	93/160
Loi relatif à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets	12/12/2001	
Décret exécutif fixant les modalités d'agrément des groupements de générateurs et/ou détenteurs de déchets spéciaux	10/09/2005	05/314
Décret exécutif fixant les modalités de déclaration des déchets spéciaux dangereux	10/09/2005	05/315
Décret exécutif fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement	19/05/2007	07/144
Décret exécutif portant institution d'un inventaire du degré de pollution des eaux superficielles	10/07/1993	93/163
Décret exécutif définissant la qualité requise des eaux de baignade	10/07/1993	93/164
Décret exécutif déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement	19/05/2007	07/145

III-2-2- Normes algériennes de la REUE à des fins agricoles

La réglementation algérienne relative à la gestion des eaux usées en Algérie comprend plusieurs textes de décrets et arrêtés, à savoir :

- a) **Décret exécutif n°07-149 du 20 mai 2007**, fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent (**annexe 6**).
- b) **Arrêté interministériel du 2 janvier 2012**, fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation (**annexe 7**), conformément aux **tableaux 5 et 6**.
- c) **Arrêté interministériel du 2 janvier 2012**, fixant la liste des cultures (**tableau 7**) pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées (**annexe 8**)
- d) **Arrêté interministériel fixant la liste des laboratoires effectuant les analyses de la qualité des EUE utilisées à des fins d'irrigation** (en cours de publication dans le journal officiel).

Les laboratoires accrédités pour ce genre d'analyses sont:

- le laboratoire du centre national de toxicologie (CNT) ;
- le laboratoire de l'institut Pasteur d'Algérie (IPA) ;
- le laboratoire de l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) ;
- le laboratoire de l'Algérienne des Eaux (ADE) ;
- le laboratoire de l'Office Nationale de l'Assainissement (ONA) ;
- le laboratoire de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA) ;
- le laboratoire de l'Institut National des Sols de l'irrigation et du Drainage (INSID) ;

Tableau 5: Réglementation algérienne en matière de REUE (paramètres microbiologiques).

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

(1) L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion est à éviter.

(2) Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.

(3) Pour les cultures industrielles et arbres forestiers, des paramètres plus permissifs peuvent être adoptés.

(4) Une directive plus stricte (<200 coliformes fécaux par 100 ml) est justifiée pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquels le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

(5) Exige une technique d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes.

(6) A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrisent la gestion de l'irrigation localisée et respectent les règles d'hygiène exigées. Aucune population alentour.

Tableau 6 : Réglementation algérienne en matière de REUE (paramètres physico-chimiques).

PARAMETRES		UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
Physiques	pH	— -	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR = 0 – 3	ds/m	0.2
	CE 3 - 6		0.3
	6 - 12 12 - 20 20 - 40		0.5 1.3 3
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (Cl)	meq/l	10
	AZOTE (NO ₃ - N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO ₃)	meq/l	8.5
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05

	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercure	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
	Zinc	mg/l	10.0

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

Tableau 7 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées

Groupes de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres fruitiers (1)	Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, rhubarbe, arachides, noix, olive.
Agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
Cultures fourragères (2)	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce et luzerne.
Culture industrielles	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, tabac, lin.
Cultures céréalières	Blé, orge, triticale et avoine
Cultures de production de semences	Pomme de terre, haricot et petit pois.
Arbustes fourragers	Acacia et atriplex.
Plantes florales à sécher ou à usage industriel	Rosier, iris, jasmin, marjolaine et romarin.

- (1) L'irrigation avec des eaux usées épurées est permise à condition que l'on cesse l'irrigation au moins deux semaines avant la récolte. Les fruits tombés au sol ne sont pas ramassés et sont à détruire.
- (2) Le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux usées épurées est strictement interdit et, ce afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs.

III-3- Cadre organisationnel (institutionnel) de la REUE

Le cadre organisationnel pour la gestion des EUE en Algérie fait intervenir principalement quatre type d'opérateurs.

III-3-1- Les producteurs

Du point de vue institutionnel, il y a deux sociétés chargées de veiller à épurer les eaux usées par les stations d'épuration qui sont : l'Office National d'Assainissement (ONA), sous tutelle du ministère de ressources en eau et les sociétés par action (SEAAL, SEOR, SEACO).

III-3-2- Le fournisseur

L'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation est soumise au régime de la concession, qui a une durée fixée à dix (10) ans renouvelable. Elle peut être octroyée à toute personne morale ou physique, de droit public ou privé, qui se propose de les distribuer aux usagers, d'une manière le concessionnaire assure une exploitation rationnelle des EUE mises à sa disposition (**Décret exécutif n° 07-149**).

III-3-3- Les contrôleurs

Plusieurs intervenants sont intégrés, ce sont : le concessionnaire (toute personne morale ou physique, de droit public ou privé, qui se propose de distribuer, à des usagers, des eaux usées épurées à des fins d'irrigation), le gestionnaire de la STEP, Direction de Ressources en Eau de la Wilaya (DREW), Direction de la Santé et de la Population (DSP), Direction des Services Agricoles (DSA) et Direction du Commerce de la Wilaya (DCW). Ils doivent faire un contrôle régulier afin de s'assurer que qualité des EUE destinées à l'irrigation est conforme aux spécifications fixées par la réglementation en vigueur, chacun en ce qui le concerne.

- Le concessionnaire, a pour mission :
 - de vérifier que la qualité des EUE distribuées aux usagers est, constamment, conforme aux spécifications fixées par la réglementation en vigueur.
 - il est tenu de communiquer aux exploitants agricoles toutes les analyses concernant la teneur en éléments fertilisants (N, P, K) au niveau des EUE afin de leur permettre d'adapter, en conséquence, un éventuel apport en engrais.
 - il s'engage à n'approvisionner en eau que les parcelles portant une culture autorisée telle que fixée sur la liste indiquée à l'article 15 du décret exécutif n°07-149 (**tableau 7**).
 - il doit établir et tenir à jour les listes nominatives des exploitants agricoles et des ouvriers manipulant les EUE et les transmettre aux services de la DSP en vue de programmer leur contrôle sanitaire.
 - il doit aviser les exploitants agricoles ainsi que leurs employés, qui sont en contact direct avec les EUE, des risques que présentent ces eaux pour leur santé ainsi que des précautions à prendre, notamment, en ce qui concerne le port d'une tenue de travail réservée à la manipulation de ces eaux, le respect des règles d'hygiène corporelle, et l'application des recommandations faites par les services sanitaires en matière d'hygiène corporelle et d'examen médicaux.

- Les services de la DREW sont tenus de mettre en place un dispositif de suivi et de contrôle de :
 - la qualité des EUE destinées à l'irrigation ;
 - l'évolution de la qualité de l'eau de la nappe souterraine ;

- l'état des ouvrages de stockage et de distribution des EUE.
- Les services de la DSP doivent assurer un contrôle régulier de la santé du personnel affecté à l'irrigation avec les EUE.
- Les services de DSA doivent assurer :
 - un contrôle phytosanitaire des cultures irriguées avec les EUE et l'évolution des caractéristiques des sols, sous irrigation avec des EUE.
- Les services du commerce de la wilaya doivent assurer un contrôle biologique et physico-chimique des produits agricoles irrigués avec les EUE.

III-3-4- Les utilisateurs

Ce sont les agriculteurs, leurs statut sera déterminé par les services agricoles de chaque wilaya.

III-4- Projet de réutilisation des eaux usées épurées à Ouargla

La ville de Ouargla a bénéficié d'un projet permettant de valoriser ses effluents traités dans le cadre du programme national de réutilisation des eaux usées, conformément à la correspondance n° 746/SG/MRE et la lettre n° 179/DDAZASA / 2010 (voir la mise en place du projet p35).

III-4-1- Justification du projet

La mise en place de ce projet se justifie par la prise en considération des éléments suivants :

III-4-1-1- Projet de l'assainissement et de lutte contre la remontée de la nappe phréatique

Ce projet a été considéré essentiellement comme un enjeu majeur pour la région compte tenu du rôle qu'il a joué dans le rabattement du niveau de la nappe phréatique et la dépollution des eaux usées urbaines. Il a consisté en:

- la réalisation d'une station d'épuration par lagunage aéré d'une capacité de 400.000 Eq/H fournissant un volume de près de **12.800.000 m³/an**. Ce volume énorme est le principal motivant pour élaborer des projets agricoles ambitieux adaptés au programme national.

- la réalisation d'un canal de transfert qui s'allonge sur 41 km vers l'exutoire de Sebkhia Safioune. Il est composé de deux canaux séparés, l'un pour le transfert des eaux de drainage et l'autre pour le transfert des eaux épurées provenant de la STEP. Ce canal est équipé tous les cent mètres de regards qui permettent de pomper l'eau épurée pour irriguer les espaces avoisinants le canal.

III-4-1-2- Intensité de l'exploitation des ressources hydriques dans la région de Ouargla

D'après la **DREW de Ouargla (2012)**, ces dernières années ont connu une mobilisation très importante des ressources hydriques par la réalisation de plusieurs forages malgré que ceci ait des répercussions néfastes sur l'environnement et sur la durabilité des aquifères puisqu'il s'agit de ressources non renouvelables. **Le tableau 8** fait ressortir le nombre et les caractéristiques des forages destinés à l'irrigation agricole réalisés jusqu'à la fin de l'année 2012 à Ouargla.

Tableau 8: Nombre de forages agricoles réalisés à la fin 2012 dans la région de Ouargla et leurs débits cumulés.

	Communes	Ouargla	Rouissat	Ain Beida	TOTAL
Nombre de forages	Miopliocène	70	37	83	190
	Sénonien	5	4	2	11
	Total	75	41	85	201
Débit cumulé (l/s)		1 943	1 076	2 514	5 533
Débit cumulé (m ³ /an)		60435072	33467904	78195456	172098432

(DREW de Ouargla, 2012).

Le volume total utilisé à Ouargla pour les besoins agricoles qui s'élève de 172, 098,432 m³/an est énorme. On pourrait en économiser une partie grâce à l'utilisation des **12, 800,000 m³/an** produits par la STEP, (environ 10% de volume total utilisé en agriculture).

III-4-1-3- Risque de rabattement des CT et CI

Les ressources en eau souterraines de ces deux systèmes aquifères sont très faiblement renouvelables. Selon une étude récente, les prélèvements dans le **Complexe Terminal** étaient de 16,3 m³/s pour le territoire algérien en 1998, et le niveau

piézométrique est en baisse générale (**figure 3**). Cette baisse deviendra catastrophique dans une trentaine d'années dans les zones les plus exploitées où elle pourrait dépasser 130 mètres d'après une simulation de la SASS (**BONARD et GARDEL, 2004**).

Pour le **Continental Intercalaire**, la simulation Zéro du SASS, basée sur la poursuite des prélèvements actuels, sans aucune augmentation, indique que les rabattements augmenteront d'une cinquantaine de mètres en 2050 à Ouargla par rapport à l'état en 2000 (**figure 04**). Ces rabattements supplémentaires produiront une diminution des débits artésiens de l'ordre de 25% sur les forages existants (**BONARD et GARDEL, 2004**).

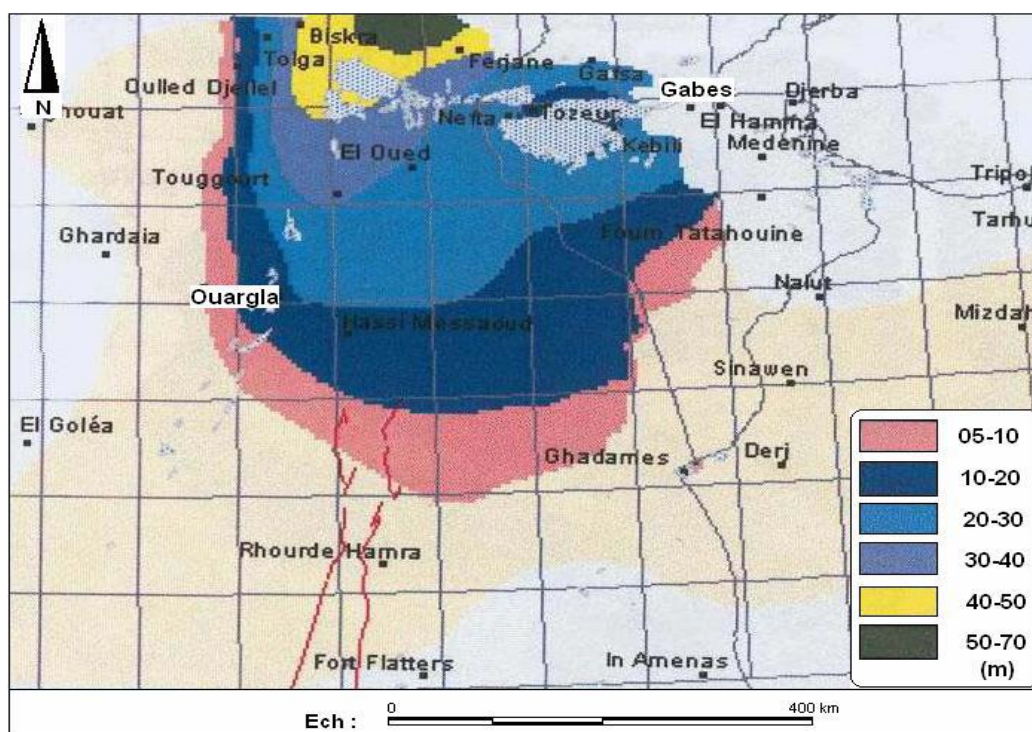


Figure 3 : Rabattements 2002 – 2050 au CT (en m) SASS 2003.

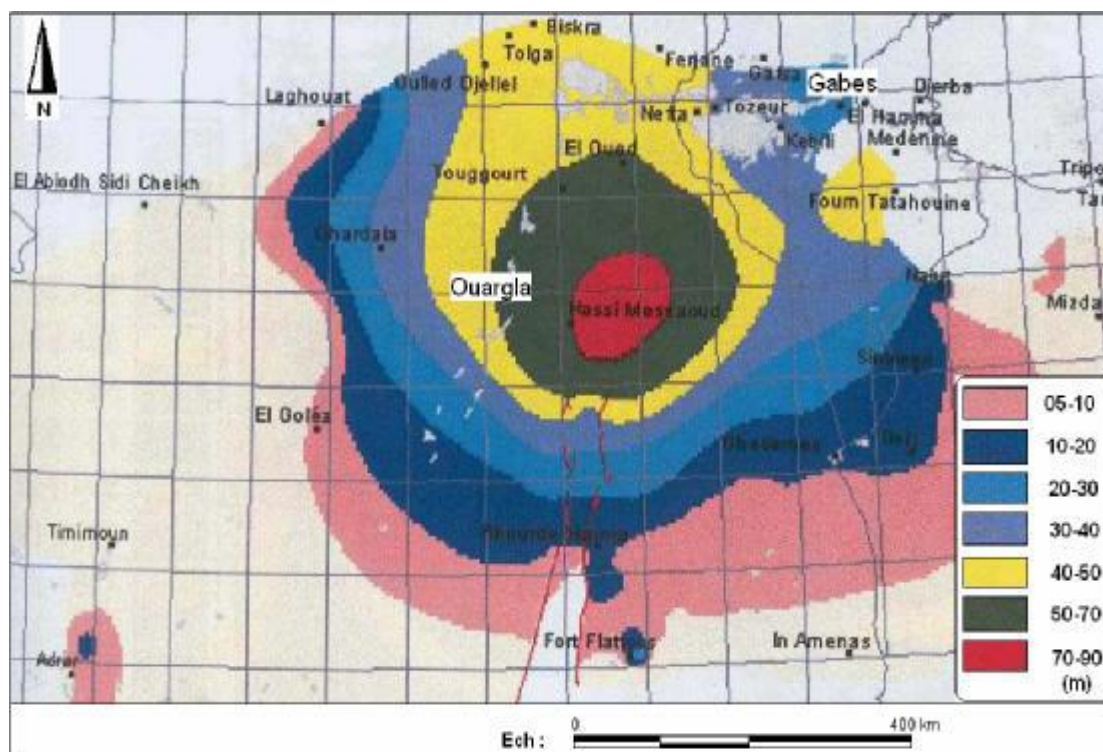


Figure 4 : Rabattements 2000 – 2050 au CI (en m) SASS 2003.

III-4-2- Mise en place du projet

III-4-2-1- Plan institutionnel

La REUE à des fins agricoles implique une collaboration intersectorielle, de ce fait les décideurs concernés, au niveau de la wilaya de Ouargla, ont coordonné leurs efforts pour la mise en place de ce projet, en s'appuyant sur les correspondances officielles suivantes :

- 1- La correspondance n° 746/SG/MRE du 04 mai 2009, qui a été adressée par le secrétaire général du MRE au MADR, relative à la concertation, pour mettre l'accent sur l'opportunité de valoriser au mieux ce potentiel ressource et ce, à travers la mise en place d'un programme de réutilisation dans le domaine agricole en adéquation avec les orientations du schéma directeur.
- 2- La lettre émanant du wali de Ouargla par le biais de laquelle il avait sollicité l'encadrement de la Direction du Développement Agricole dans les Zones Arides et Semi Arides (DDAZASA) pour apporter son concours au projet de valorisation des eaux usées épurées dans l'intensification de la production agricole.

- 3- La lettre du MADR/DDAZASA adressée au MRE/DHA sous le n° 179/DDAZASA / 2010 le 15 mars 2010 aux termes de laquelle il est fait part de l'existence d'un projet de valorisation des eaux usées épurées pouvant contribuer à l'intensification de la production agricole au niveau de la wilaya de Ouargla (**DDAZASA, 2010**).

Au niveau du siège du CDARS plusieurs réunions se sont tenues entre la DSA et les représentants du MRE tels : Office National de l'Assainissement (ONA), Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), DREW, Agence de Bassin Hydrographique Sahara (ABHS) et l'Office National de l'Irrigation et du Drainage (ONID). Ces rencontres ont été élargies à d'autres partenaires en l'occurrence : la direction de l'environnement, la direction de la pêche et des ressources halieutiques et l'université de Ouargla (**CDARS, 2010 (a) ; CDARS, 2011; DDAZASA, 2010**). Les points étudiés par ces organismes et ce qu'ils ont décidé de faire se résument comme suit :

- ❖ Le périmètre de la REUE doit se situer tout le long du canal de transfert des eaux usées épurées sur la tranche allant du PK15 au PK25, soit sur une bande d'une longueur de 10 km. Le plus gros des investissements doit se trouver à N'Goussa. Le projet prévoit la création de 269 parcelles dont la superficie varie entre 1 et 1,42 ha (**figure 5**);
- ❖ L'organisation d'une première mission DDAZASA/INSID en novembre 2009 dont l'objet consistait en la vérification de la faisabilité d'un projet agricole ;
- ❖ Cartographier les zones déjà investies, et que l'ONA affinera la carte qui a été réalisée dans le cadre du projet d'assainissement, à l'échelle du 1/25000, et de transmettre les données sur le volume à utiliser, la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées épurées issues de la STEP de Ouargla avec interprétation des résultats comparés aux normes de l'OMS ;
- ❖ Elaboration d'une esquisse pédologique. L'ANRH et le CDARS engageront en commun une campagne d'échantillonnage pour faire des analyses physico-chimiques des sols ;
- ❖ Etablissement de la liste des futurs bénéficiaires, qui sera établie par le Président de l'APC sous le contrôle du chef de daïra et ce, conformément aux dispositions réglementaires en vigueur, sans exception les agriculteurs disposant d'un certificat de possession ou d'un titre Oôrfi et se trouvant sur le tronçon du canal, et qui peuvent bénéficier de tous les investissements à consentir dans cette zone ;

- ❖ L'INSID et l'ITDAS sont chargés de se prononcer sur l'adaptation des cultures en exploitant les données disponibles ;
- ❖ Etablissement d'un plan cadastral, et le financement a été pris en charge par le budget de la wilaya, d'après la proposition du vice-président de l'APW ;
- ❖ La préservation et le développement de la zone de rejet (Sebkhet Safioune), qui nécessite un engagement quant à la possibilité de sa classification dans la nomenclature des zones humides d'une part, et d'autre part qu'elle soit alimentée de façon permanente par le canal. Dans ce cadre, la conservation des forêts de la wilaya de Ouargla a été sollicitée pour examiner de plus près cette proposition ;
- ❖ La relance de la publication des trois projets d'arrêtés interministériels y afférents à la réutilisation des eaux usées épurées ;
- ❖ Un travail de proximité et de sensibilisation des agriculteurs futurs bénéficiaires, sera engagé par la DSA en coordination avec la CAW, la daïra et l'APC ;
- ❖ Pour le financement du projet, un rappel a été fait à l'assistance sur ce qui a été convenu avec le MRE/DHA quant à la possibilité d'un montage financier qui sera pris sur les fonds appropriés du MRE et du MADR.

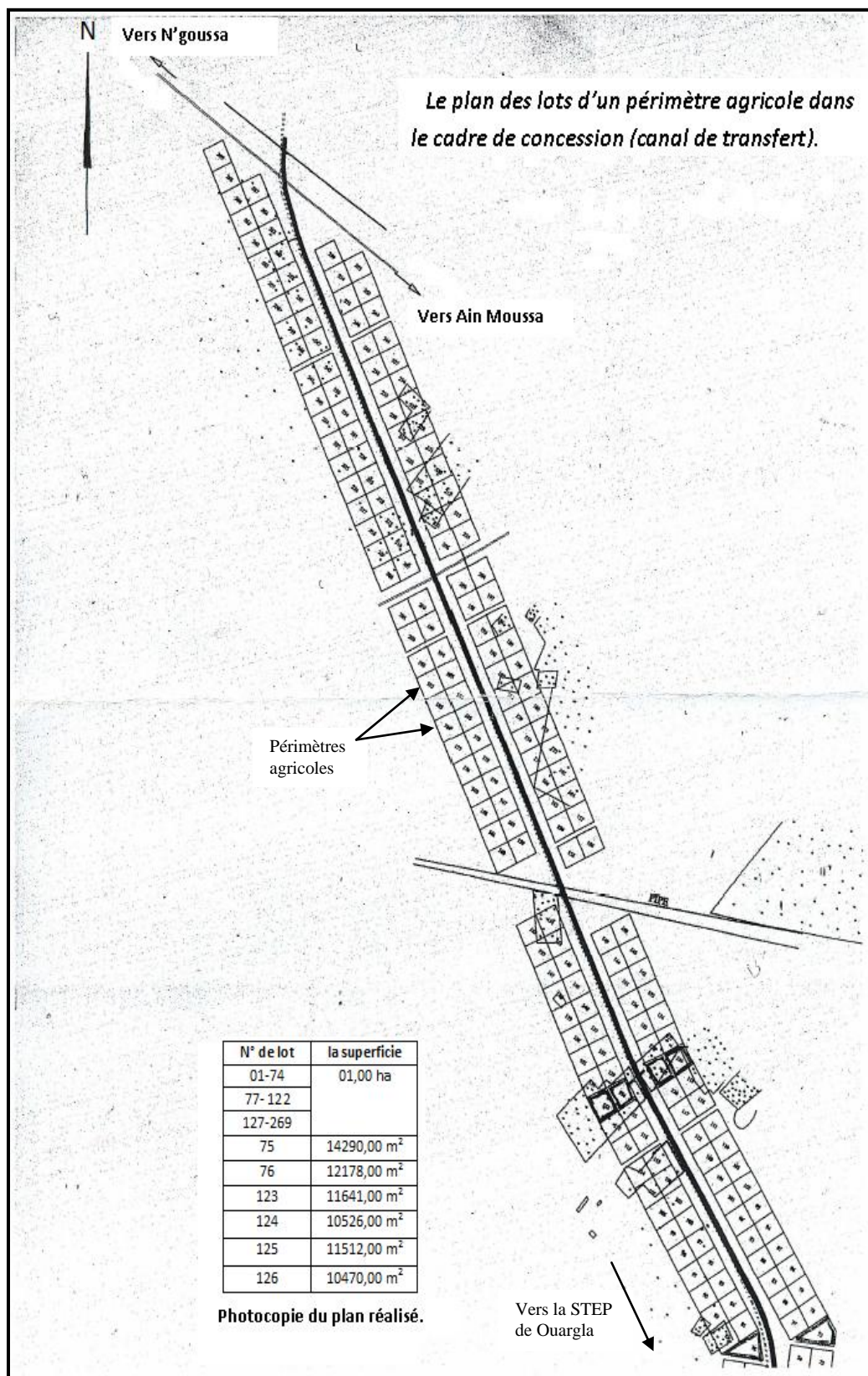


Figure 5 : Périmètre pilote de la REUE (programmé).

III-4-2-2- Description du périmètre

Afin de connaître avec précision l'état des lieux concernant la mise en place du projet de REUE défini précédemment, ainsi que les difficultés rencontrées par les exploitants agricoles, nous avons choisi d'effectuer une enquête de terrain auprès de ces exploitants et auprès des institutions concernées. Ces enquêtes avaient pour but à vérifier et à identifier les éléments suivants : le nombre d'exploitations effectivement créées, les techniques utilisées pour la gestion de l'eau, leur statut légal ainsi que les difficultés et les contraintes auxquelles elles sont confrontées.

Cette enquête a été faite en respectant les étapes préalables :

- **Pré-enquêtes**

Cette étape avait pour but à délimiter les acteurs intégrés dans le projet de la REUE (le cadre institutionnel). Une investigation a été faite auprès des structures concernées par ce projet pour connaître l'état d'avancement de celui-ci, et obtenir la liste des bénéficiaires.

- **Elaboration du questionnaire**

En fonction des objectifs précités, et en fonction de ce que nous a renseigné le CDARS et la DSA sur la concrétisation du ce projet, on a ajusté notre questionnaire-type, notamment, en ce qui concerne la qualité des eaux, les conditions d'hygiène lors de la manipulation des eaux usées épurées, les difficultés rencontrées, etc. (**annexe 9**).

- **Réalisation des enquêtes**

Les enquêtes sur le terrain ont été réalisées durant plusieurs jours. Elles ont eu lieu du 02 au 23 juillet 2012. Nous avons effectué notre enquête sur la totalité des parcelles existantes qui sont de l'ordre de 30 (**figure 6**).

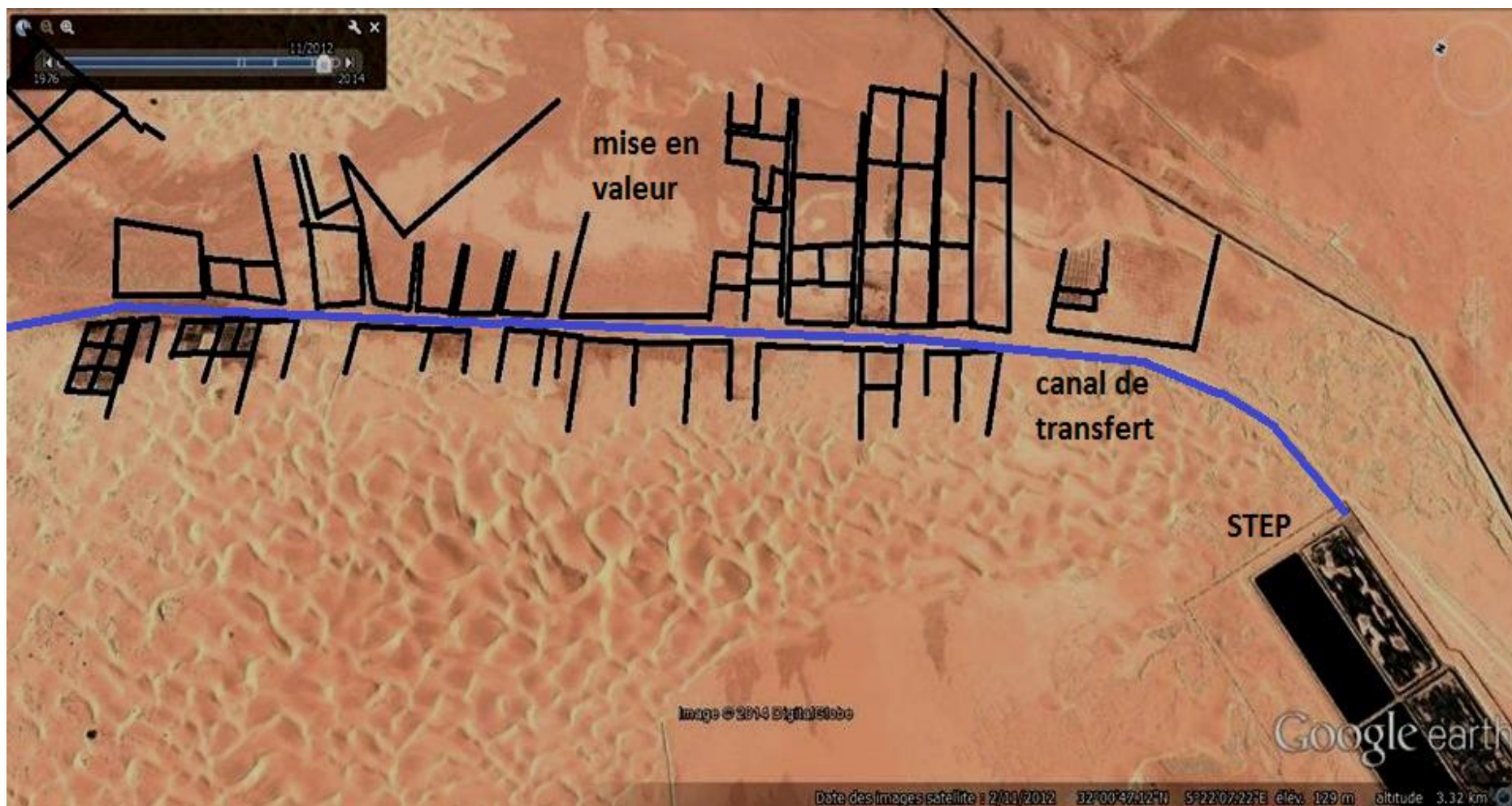


Figure 6: image satellitaire de la zone d'étude (périmètre agricole) (Google earth, 2014).

III-4-2-3- Résultats des enquêtes

Au cours de notre enquête sur le terrain, nous avons découvert qu'il existe finalement deux types de parcelles en fonction de la source d'eau utilisée (eau de forage ou eau usée épurée).

a- Nombre et états des exploitations créées

Le nombre total de parcelles existantes dans l'espace de mise en valeur est de 30, parmi elles il y a :

- 26 parcelles qui sont arrosées uniquement par l'eau usée épurée. 23% de celles-ci sont clôturées et équipées par un réseau d'irrigation (**figure 7**). Elles sont cultivées de palmiers dattiers, d'oliviers et de cultures fourragères (**photo 1**). Tandis que les autres, qui représentent 77%, sont délaissées (**photo 2**).
- Quatre parcelles bien aménagées qui sont irriguées que par l'eau de forage. Les agriculteurs se basent sur la production des cultures maraichères. Celles-ci ont été arrosés par l'eau usée épurée au début, mais après la découverte des caractéristiques physico- chimiques et microbiologiques de cette eau, ils ont changé leur source d'approvisionnement en eau ;

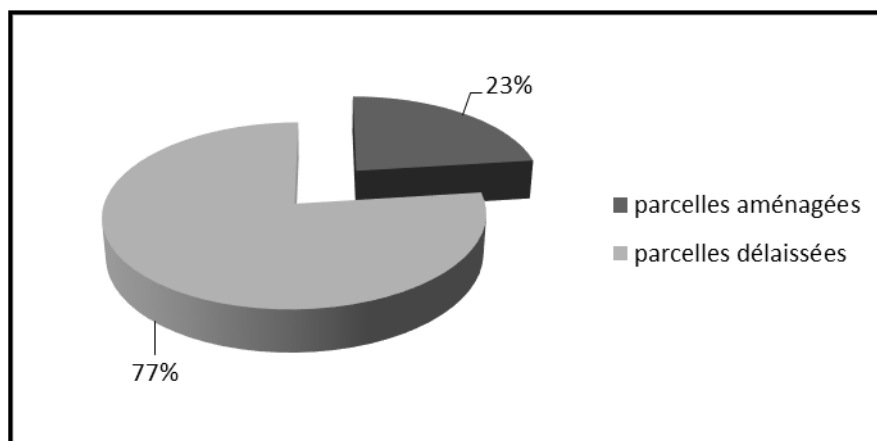


Figure 7 : L'état des parcelles enquêtées.

b- Lancement de la mise en valeur

Les agriculteurs ont commencé à arroser avec l'eau usée épurée à partir de 2010. Durant cette année, sur les 30 parcelles existantes au moment de l'enquête soit 77 % (**figure 8**).

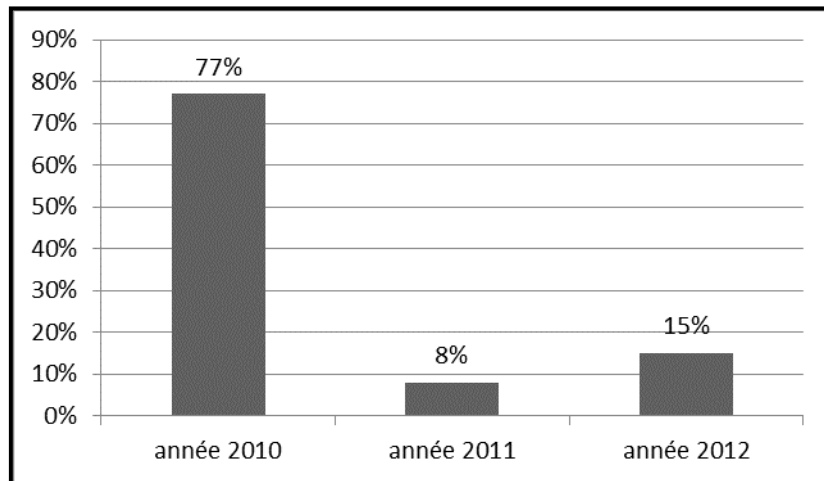


Figure 8 : Situation d'année de création des exploitations au voisinage du canal.



Photo 1 : Parcelle bien aménagée cultivée par des rejets et des fourrages irriguée avec l'EUE.



Photo 2 : Parcelle délaissées sans réseau d'irrigation.

c- Statut foncier

Il y a deux catégories :

- Des agriculteurs qui se sont déclarés propriétaires de leurs terrains (88%) (**figure 9**);
- Les autres, qui représentent 12 %, sont sans actes de propriété (**photo 3**).

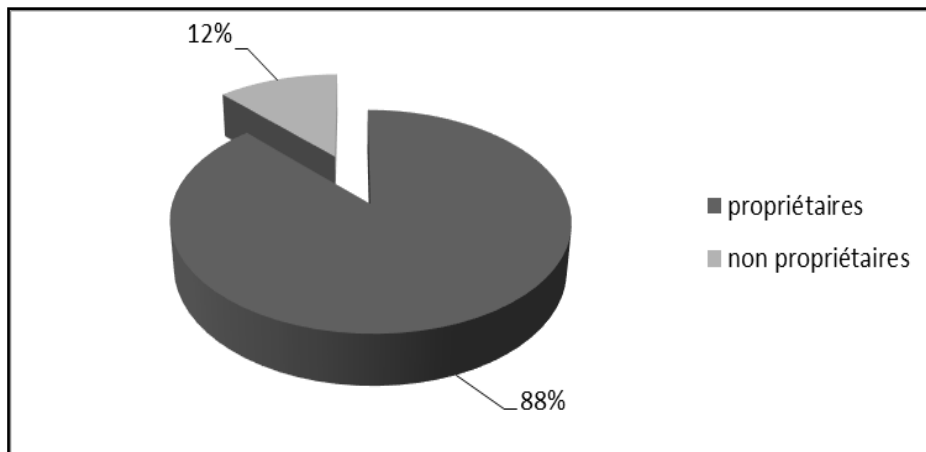


Figure 9 : Statut foncier des exploitations.



Photo 3 : Parcelle délaissée avec un réseau d'irrigation.

d- Age des exploitants

Les exploitants sont majoritairement adultes, âgés de 30 à 60 ans avec un pourcentage de 80% (**figure10**). Ces exploitants possèdent d'autres sources de revenu (fonctionnaires, commerçants ou entrepreneurs).

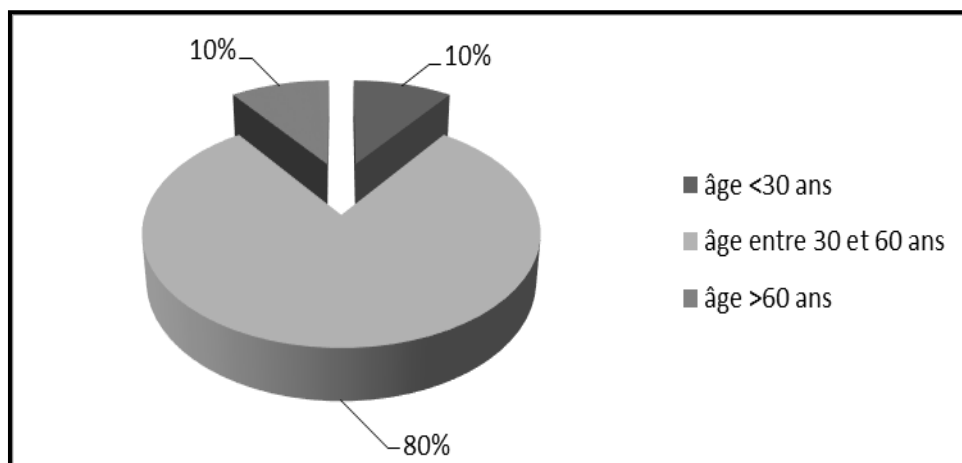


Figure 10 : Age des exploitants.

e- Techniques de gestion d'eau utilisée

- Le pompage d'eau se fait à l'aide de motopompes installées à travers les regards du canal (**photo 4**). Pour l'irrigation, la quasi-totalité des agriculteurs adoptent le système d'irrigation localisé (goutte à goutte) avec un pourcentage de 90%, contre 10% qui pratiquent la submersion (**figure 11**) ;

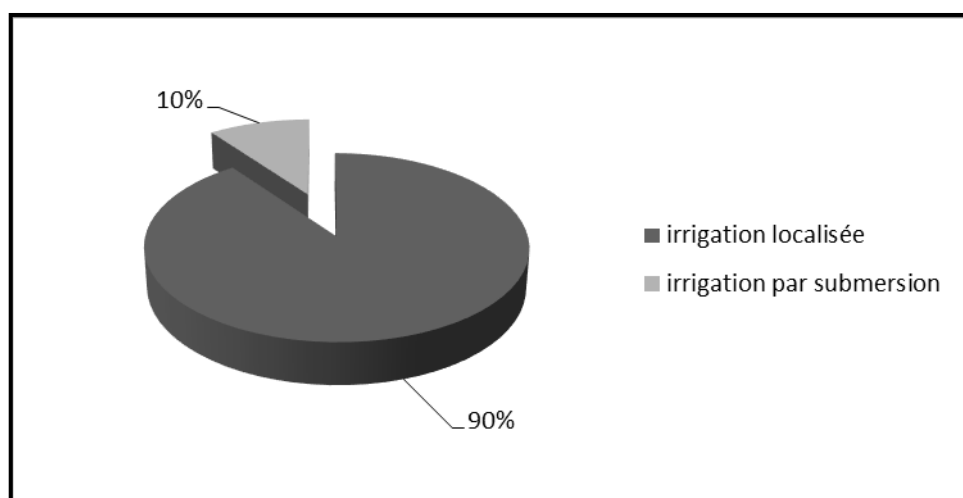


Figure 11: Système d'irrigation adopté.

f- Comportement des agriculteurs vis-à-vis des eaux usées

- Ils évitent le contact direct avec les EUE, mais ils n'utilisent pas des équipements spéciaux comme les gants, les bottes et les lunettes, etc. pour se protéger;
- Ils se limitent à l'irrigation du palmier dattier et de l'olivier car ils ont été informés par l'ONA que cette eau est interdite pour l'arrosage des cultures maraichères (interdiction verbale).

g- les difficultés et les contraintes rencontrées

- Le pompage d'eau se fait à l'aide de motopompes, et à cause des pannes répétées ;
- la qualité médiocre de l'eau à cause de leur salinité et de leur taux en MES élevé (problème de colmatage du réseau goutte à goutte) ;
- La salinité du sol est trop élevée dans quelques endroits (Sebkha) ;
- L'encrouement gypso-calcaire.

h- Les motivations

- La gratuité de l'eau ;
- Les promesses de l'administration pour les soutenir par intégration dans un cadre réglementaire, qui leur permettra de bénéficier de subventions étatiques comme : l'électrification, l'obtention des rejets de palmiers dattiers, d'olivier, création des bassins, etc.).



Photo 4 : Regard sur le canal utilisé pour le pompage des eaux usées épurées.

III-4-2-4- Synthèse sur l'état des lieux de la mise en place du projet de REUE

La mise en place du projet ne s'est pas réellement faite en respectant le cadre légal de la REUE en fonction de nos constats sur le terrain : les agriculteurs ont commencé à utiliser l'eau usée épurée sans autorisation (illicitement).

L'investigation effectuée auprès les agriculteurs utilisant l'EUE et les structures concernées ne nous a pas répondu à la question de la stagnation de ce projet. Toutefois les services du MADR et le chef des STEP de l'ONA (Alger) ont souligné que le blocage revient aux raisons suivantes :

- 1- Le retard d'élaboration de l'arrêté interministériel (projet) fixant la liste des laboratoires effectuant les analyses des EUE utilisées à des fins d'irrigation.
- 2- Les EUE de la STEP de Ouargla sont fortement salées d'après les résultats de la CE enregistrée (**9,32 dS/m**) et que cette eau est déconseillée à toute fin agricole (**INSID, 2008**). Dans l'attente d'installation d'un traitement tertiaire à membranes (projet WAWARIA).

En fonction de ces constatations, il est prématuré de parler de réutilisation des effluents au vu d'un projet qui n'est pas totalement mis en place. Le périmètre exploité actuellement et initié par les agriculteurs est totalement différent de celui programmé par les instances technico-administratives ; il en résulte déjà des contraintes assez importantes disqualifiant le caractère du projet comme étant une zone de pilotage dans la réutilisation des eaux usées épurées.

D'après le représentant de l'association des agriculteurs, au début ils étaient ambitieux à cause des promesses de l'administration pour améliorer leurs états et les supporteront, mais au fur et à mesure certains d'eux ont changé la source d'eau et les autres ont continué d'utiliser l'eau usée épurée. La qualité physico-chimique et les moyens limités pour le pompage des eaux restent les causes principales engendrant le délaissement. Il faut signaler que seule la gendarmerie est en contact avec les agriculteurs à travers des tournées périodiques pour s'assurer de la non utilisation des REUE dans l'irrigation des cultures maraichères.

Pour les enjeux de la réutilisation des eaux usées épurées, il est prématuré d'en parler ; il n'y a pas une réutilisation des effluents de façon réglementaire suivant le cadre institutionnel où chaque acteur intervient selon leur tâche spécifique. Par ailleurs, l'adhésion des agriculteurs quant à l'utilisation des REUE n'est pas gagnée pour des raisons de croyance, de coutumes, de valeurs sociales voir même de contraintes religieuses. A l'opposé et au vu de la gratuité de l'eau et de sa qualité nutritionnelle (faible recours aux engrais chimiques) ; Cette initiative de valorisation des eaux usées épurées pourrait connaître un développement très acceptable.

DEUXIEME PARTIE : Partie expérimentale

CHAPITRE IV: Matériels et méthodes

IV-1 Région d'étude

IV-1-1 Situation géographique

À une distance de 800 Km de la capitale Alger, Ouargla se situe au Sud-Est de l'Algérie (**figure12**). Elle est plongée au fond d'une large cuvette de la basse vallée d'Oued M'ya. La ville de Ouargla, chef lieu de la Wilaya, est située à une altitude de 131 m et ses coordonnées géographiques sont : 31° 58' latitude Nord, et 5° 20' longitude Est.

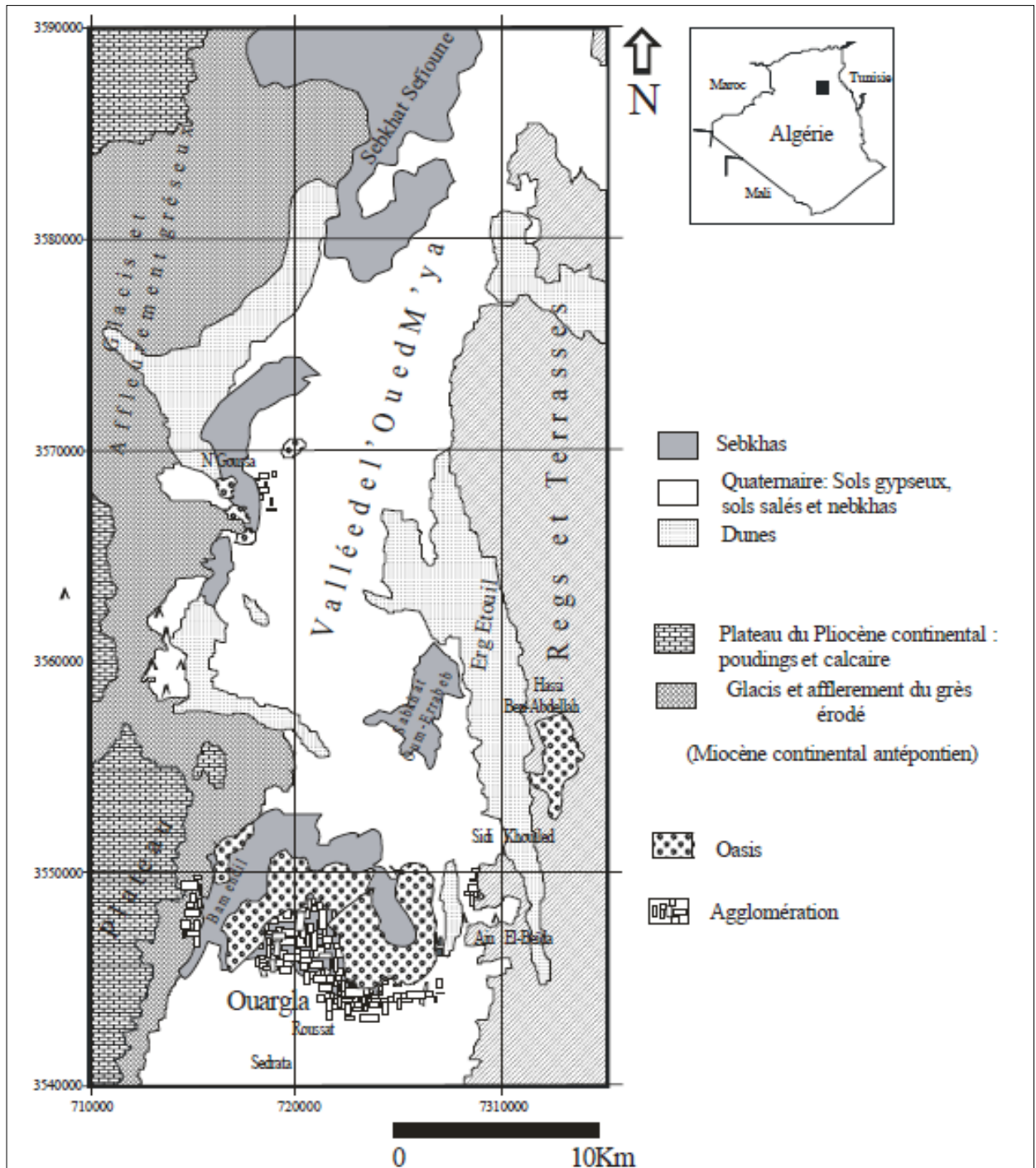
La wilaya du Ouargla, s'étend sur une superficie de 163 233 Km², elle est délimitée comme suit:

- Au Nord par les wilayates de Djelfa et d'El Oued ;
- Au Sud par les wilayates d'Illizi et de Tamanrasset ;
- A l'Est par les frontières tunisiennes et la wilaya d'El-Oued ;
- A l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa.

Administrativement la wilaya d'Ouargla est composée de 21 communes regroupées en 10 daïras. La région d'Ouargla, objet de notre étude, est constituée de 6 communes rassemblées en 3 daïras et chaque commune compte plusieurs localités comme il est indiqué dans **le tableau 9** :

Tableau 9: Délimitation administrative de la région d'Ouargla.

Daïra	Communes	Localités
OUARGLA	Ouargla	❖ Beni-Thour, Boughoufala, Mekhadema, Saïd Otba, Hassi Miloud, Ksar, Bamendil, Bour El Haïcha.
	Rouissat	❖ El-Hadeb, Sokra,.
SIDI KHOUILED	Sidi Khouiled	❖ Oum Raneb, Aouinet Moussa.
	Ain Beida	❖ Ain Beida, Chott, Adjada.
	Hassi Ben Abdallah	❖ Hassi Ben Abdallah.
N'GOUSSA	N'Goussa	❖ L'Arbâa, El Bour, El Koum, Ghers Boughoufala, Frane, Debiche.



Carte 1: Cadre physique de la cuvette de Ouargla *in* (NEZLI *et al*, 2007).

Les grands paysages qui délimitent la région d'étude sont :

- Au Nord : Sebkhet Safioune ;
- A l'Est : Erg Touil et Arifdji ;
- Au Sud : Dunes de Sadrata ;
- A l'Ouest : Versant Est de la dorsale du M'zab.

IV-1-2- Le relief

Le relief de la région de Ouargla est caractérisé par des pentes faibles (légèrement inférieures à 1 ‰) avec une prédominance de dunes. Selon **PASSAGER (1957)**, dans la région de Ouargla trois zones sont distinguées d'après l'origine et la structure des terrains :

- A l'Ouest et au Sud, des terrains calcaires et gréseux ;
- Au Nord-Est, la zone est caractérisée par le synclinal de l'Oued M'ya ;
- A l'Est, le Grand Erg Oriental occupe près des trois quarts de la surface totale de la cuvette.

IV-3- Sol

Selon **HALITIM (1988)**, les sols des zones arides de l'Algérie présentent une grande hétérogénéité et ils se composent essentiellement par des sols minéraux bruts, des sols peu évolués, des sols halomorphes et des sols hydromorphes. La fraction minérale est constituée dans sa quasi-totalité de sable. La fraction organique est très faible et ne permet pas une bonne agrégation ; ces sols squelettiques sont très peu fertiles et leur rétention en eau est très faible (**DAOUD et HALITIM, 1994**).

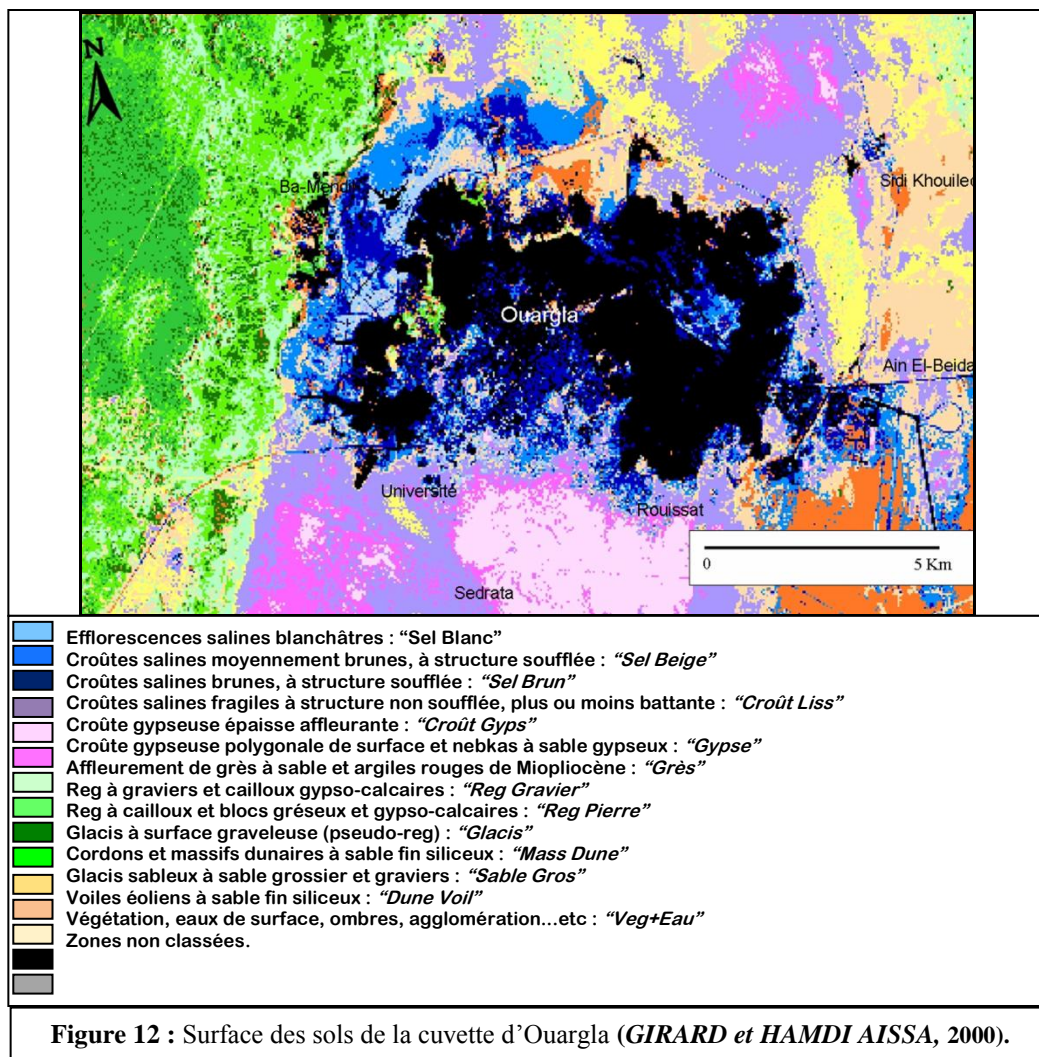
Pour ce qui est de Ouargla (**figure 12**), sur le plateau, les sols présentent une surface graveleuse, formant un reg à graviers, ou pierreux, un reg à pierres et des voiles éoliens : cet horizon de surface surmonte une croûte calcaire à dolomie très dure de 30 cm d'épaisseur. On trouve ensuite un horizon calcaire, nodulaire, moins dur entre 35 et 60 cm puis, au delà de 60 cm, un horizon pétrogypsiq ue à 57 % de gypse. Sur le glacis, à 140 m d'altitude, le sol est constitué d'un matériau meuble, exclusivement détritique, hérité de l'altération des grés à sable rouge du miopliocène : c'est le sol le plus pauvre en gypse de la région lequel atteint jusqu'à 8 m de profondeur, il ne présente aucun niveau d'encroûtement (**HAMDI AISSA et GIRARD, 2000**).

Les sols de la région de Ouargla sont caractérisés aussi par un pH alcalin, une activité biologique faible et une forte salinité (**DAOUD et HALITIM, 1994**). La distribution de la salinité dans le profil pédologique est caractérisée par une augmentation de bas en haut. Les horizons de surface présentent toujours les plus fortes valeurs de la conductivité électrique (**DJILI et al., 2003 ; IDDER et al., 2014**). D'après (**IDDER, 1998**), les sols de l'oasis sont également caractérisés par un fort caractère sodique qui se traduit par un taux de sodium échangeable qui dépasse les 15%.

Dans cette région à faible pluviométrie, toutes les techniques visant à la conservation des sols et à leur amélioration devront par conséquent se soucier de leur porosité, de leur perméabilité et de leur pouvoir de rétention. L'érosion, les apports d'éléments divers, le drainage, le lessivage sont à prendre en considération (TOUTAIN, 1974).

IV-1-4 Géomorphologie

Selon (CASTANY, 1983), la région de Ouargla fait partie du bassin sédimentaire de l'Oued M'ya où toutes les formations du cambrien ou tertiaire affleurent sur les bordures du bassin. Les terrains du Miopliocène sont recouverts par une faible épaisseur de dépôts quaternaires (dunes et cordons d'erg) (figure 12).



La région de Ouargla s'étend le long de la basse vallée de l'Oued M'ya qui descend du grand plateau de Tademaït et se termine avec l'Oued M'zab et l'Oued N'ssa dans Sebket Safioune, à 25 km environ au Nord de Ouargla.

Le paysage est marqué par la présence d'une falaise occidentale (le baten), nette et continue, tandis que la limite orientale est beaucoup plus imprécise. Il est caractérisé par les formations géomorphologiques suivantes :

- ❖ **Hamadas :** A l'Ouest de Ouargla, la vallée est limitée par le plateau de la Hamada à 250 m d'altitude et qui date du pliocène, appelé localement (plateau des Gantra) et s'abaisse légèrement d'Ouest en Est (**HAMDI AISSA, 2001**) : il s'agit d'un plateau où affleurent de grandes dalles rocheuses.
- ❖ **Erg :** En plus du grand Erg Oriental qui occupe les deux tiers de la wilaya de Ouargla, les Ergs mineurs et les petits cordons dunaires situés à l'Est de la cuvette, s'allongent vers le Nord et représentent la frontière Est du grand chott de Ouargla.
- ❖ **Glacis :** Le versant de la cuvette d'Ouargla présente quatre niveaux de glacis qui varient de 220 m pour le premier et arrivant à 140 m d'altitude pour le dernier.
- ❖ **Chott et sebkha :** Les formations quaternaires occupent tous les niveaux bas sédimentaires et forment des zones appelées sebkha (centre d'une dépression fermée et salée) ou bien chott (zone entourant une sebkha par extension, le mot désigne parfois la sebkha elle-même par exemple : chott de Ouargla, est plus important que la sebkha elle-même). Ce sont de grandes zones d'épandage d'alluvions, le plus souvent sableux (**DULIX, 1971 in ADAMOU, 2006**) et des terrains inondés ou inondables de la sebkha qui s'allongent en forme de croissant, au nord de la ville, depuis l'Ouest (128 m) vers l'Est (127 m) (**GAUTIER, 1951 in IDDER, 2007**).

IV-1-5 Hydrographie

L'hydrographie de la cuvette de Ouargla se caractérise par son endoréisme (**DUBIEF, 1953**). Différents bassins versants (Mya, M'zab, N'sa) forment le réseau hydrographique qui aboutit à Sebket Safioune au Nord de la cuvette de Ouargla (**HAMDI AISSA, 2001**).

❖ Oued M'ya

Il draine le versant Nord-Est du plateau de Tademaït. Le bassin de l'Oued M'ya est en forme d'une vaste gouttière relevée du Sud (800 m) avec une inclinaison très faible (0,1 à 0,2 %) vers le Nord-Est, il s'étend sur 19 800 Km². Le cours fossile de l'Oued M'ya inférieur est jalonné par de vastes Sebkhas jusqu'à Ouargla, distant de 200 Km environ du point extrême atteint par les dernières crues. Au Nord de Ouargla, la vallée n'est plus discernable. Si l'on admet cependant que l'Oued M'ya quaternaire se jetait le chott Melrhir actuel, sa longueur devait atteindre 900 Km (DUBIEF, 1953).

❖ Oued N'ssa et Oued M'zab

Ce sont des oueds fonctionnels pouvant avoir une ou deux crues par an et n'atteignent la cuvette de Ouargla que lorsque la crue est importante mais alimentent la nappe phréatique de la région de Ouargla par un écoulement souterrain. Ils drainent le versant des piedmonts Sud-Est de l'Atlas saharien et coulent donc de l'Ouest vers le Sud-Est jusqu'à Sebkhet Safioune.

Actuellement, Sebkhet Safioune est régulièrement alimentée par les eaux d'assainissement urbain et les eaux de drainage de la palmeraie qui provoquent la remontée de la nappe phréatique, alors que les apports dus aux ruissellements sont négligeables. On signale cependant que, au néolithique, cette Sebkha fonctionnait naturellement grâce à l'apport des eaux souterraines. Durant les périodes de chaleur, les surfaces inondées en hiver s'assèchent et se réduisent considérablement sous l'effet de l'évaporation. La Sebkha se comporte ainsi, comme une véritable machine évaporatoire (GOUTIER, 1951 *in* IDDER, 2007).

IV-1-6 Hydrogéologie

S'agissant d'une région à faible pluviométrie, cette faiblesse est compensée par les eaux souterraines qui constituent la principale source d'eau.

La région de Ouargla fait partie du Sahara septentrional qui se distingue par l'immensité des réserves hydriques qu'il renferme dans son sous-sol. Ces réserves sont essentiellement constituées de 4 nappes aquifères dont la profondeur varie de quelques mètres à plus de 1800 mètres (**figure 13**).

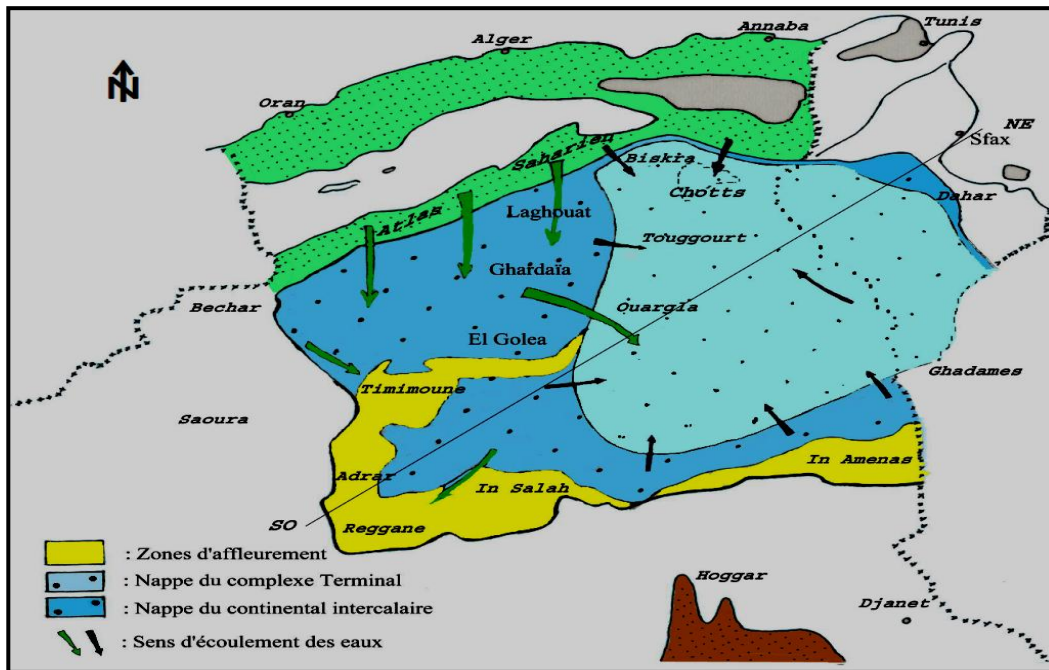


Figure 13 : Les réserves hydriques souterraines du Sahara Algérien (ANRH, 2005).

IV-1-6-1 La nappe du Continental Intercalaire (CI) "dite de l'Albien"

C'est une nappe qui est installée dans les couches détritiques de l'Albien et du Barrémien souvent séparées par les bancs calcaires aptiens. Son toit se situe au-delà de 1500 m de profondeur et dépasse dans d'autres zones les 2600 m (DUBOST, 1992). Cette nappe est captée à une profondeur de 1500m (Ouargla), elle se distingue par un débit important (200 l/s), la salinité relativement faible, inférieure à 2g/l de résidu sec (KHADRAOUI, 2006). Actuellement il existe 5 forages albien dans la cuvette de Ouargla réparties comme suite ; 3 forages à Rouissat, 1 à Ain Beida et 1 à N'Goussa, les débits exploités sont 245 l/s fin 2012 (DPAT, 2012). Leur volume évalué à 40 000 milliards de m³ (MERABET, 2012).

IV-1-6-2 Les nappes du Complexe Terminal (CT)

Les nappes du CT sont contenues dans les bancs calcaires du Turonien, du Sénonien et de l'Éocène et dans les grands épandages sablo-argileux du Miopliocène (DUBOST, 1992). Elle est constituée par deux principales formations, l'une des sables captée à une profondeur d'une centaine de mètres et l'autre des calcaires qui est relativement plus profonde. Ces nappes sont alimentées par les eaux de ruissellement des reliefs de la périphérie du bassin et par les infiltrations via le Grand Erg Oriental. Les principaux exutoires se situent au niveau des chotts. L'écoulement se fait du Sud-Ouest

vers le Nord-Est. Cette eau est plus ou moins chargée, la salinité relativement élevée, peut atteindre les 7g/l de résidu sec (KHADRAOUI, 2006).

- **La nappe du Miopliocène :** A une profondeur allant de 20 à 100 mètres, la nappe du Mio-Pliocène est constituée de sables fins à grossiers graveleux, à intercalation de calcaires blancs tendres et marnes sableuses, d'argiles sableuses roses et passées de grès et de gypses. L'exploitation de cette nappe, remonte à une époque lointaine, par des puits traditionnels. Actuellement, plusieurs centaines de forages creusés sont exploités pour l'irrigation des palmeraies et des cultures sous-jacentes (NEZLI, 2009)..

- **La nappe du Sénono-Eocène :** La nappe se situe entre 120 et 200 mètres en profondeur. Elle est formée de calcaires poreux à silex très coquilliers, gris jaunâtre, à intercalation de marnes blanches et dolomitiques. Les eaux de la nappe sont exploitées essentiellement pour l'AEP (alimentation en eau potable) (NEZLI, 2009).

IV-1-6-3 La nappe phréatique

Les aquifères superficiels dont la profondeur n'excède pas 50 m et dont les eaux sont généralement exploitées par des puits sont conventionnellement désignées sous le nom de nappes phréatiques (DUBOST, 2002). Cette formation n'est pas utilisée ni pour l'alimentation en eau potable ni pour l'irrigation. Son inutilisation est justifiée par la teneur élevée en sels (généralement 10 à 15 g/l de résidu sec. Son niveau d'eau est proche de surface et il est devenu gênant pour la population et l'agriculture (KHADRAOUI, 2006). Elle s'écoule du Sud vers le Nord suivant la pente, avec une profondeur qui varie de 1 à 8 m en fonction du lieu et de la saison.

Les eaux de la nappe phréatique présentent une forte salinité (>15 g/l), ajouté à cela une contamination de cette nappe par les eaux usées, ce qui présente une menace de pollution pour les autres nappes (LAOUINI, 2012).

IV-1-7 Etude climatique

Les régions sahariennes connaissent des déficits pluviométriques importants. La pluviométrie est partout faible et accuse une très forte variabilité annuelle, saisonnière et régionale. Les températures sont élevées d'où un climat de type aride à hyperaride avec des amplitudes thermiques importantes (MATE, 2000).

D'après (OZENDA, 1991), les caractères du climat saharien sont dus tout d'abord à la situation en latitude, au niveau du tropique, ce qui entraîne de fortes températures, et au régime des vents qui se traduit par des courants chauds et secs.

Afin de ressortir les caractéristiques climatiques de la région de Ouargla une étude climatologique s'avère nécessaire. Dans ce contexte, nous avons utilisé les données climatiques fournies par l'ONM (tableau 10), qui s'étalent sur une période de 11 ans (de 2002 à 2012).

Tableau 10 : Données climatiques de la région d'Ouargla (2002 – 2012).

	T(C°)		H (%)	V (m/s)	Evap. (mm)	Ins. (h)	T.moy (°C)	Préc. (mm)
	M	m						
Janvier	19,31	4,77	59,64	2,65	116,98	297,54	12,07	9,35
Février	21,23	6,51	51,59	3,08	149,26	288,63	13,79	1,26
Mars	25,93	9,85	44,82	3,54	217,90	244,69	18,03	5,66
Avril	30,76	14,67	37,91	4,06	280,39	269,83	22,94	1,53
Mai	35,55	19,43	33,68	4,07	353,19	289,95	27,77	0,64
Juin	39,48	24,46	28,59	3,95	410,10	276,42	32,82	0,57
Juillet	44,11	27,93	26,55	3,69	459,45	334,95	36,22	0,32
Août	43,80	27,11	28,09	3,24	438,21	327,67	35,24	1,72
Septembre	37,96	22,54	39,36	3,02	310,00	269,56	30,35	3,69
Octobre	32,27	17,05	45,73	2,94	253,58	245,71	25,27	6,13
Novembre	24,67	9,86	56,00	2,53	146,17	235,61	17,80	5,76
Décembre	19,75	5,46	59,41	2,34	104,56	258,90	12,67	1,44
Moyenne	31,24	15,80	42,61	3,26	3239,81*	278,29	23,7	38,05*

Source : (ONM, 2012).

TM : Température maximale.

T m : Température minimale.

H : Humidité relative.

V : Vents.

Ins. : Insolation.

T.moy : Température moyenne.

Préc. : Précipitations.

Evap. : Evaporation.

*: Cumul.

IV-1-7-1 La température

Pour les 11 ans susmentionnés, La moyenne mensuelle du mois le plus chaud (juillet) dépasse **36 °C** et celle du mois le plus froid (janvier) est de **12,07°C**. De telles températures sont caractéristiques du climat saharien.

IV-1-7-2 Les précipitations

Les précipitations enregistrées pour la même période (2002-2012), sont très faibles, irrégulières et quantitativement insignifiantes. Les précipitations annuelles sont de **38 mm**. Le mois de janvier constitue le mois le plus pluvieux avec une valeur de **9,35 mm** et juillet le mois le plus sec avec une valeur de **0,32 mm**.

IV-1-7-3 L'évaporation

Dans la région de Ouargla, l'évaporation est considérable suite aux températures élevées et aux vents fréquents, chauds et violents. L'évaporation annuelle pour la période étudiée est de **3239,81 mm**, avec une valeur maximale de **459,45 mm** au mois de juillet et une valeur minimale de **104,56 mm** au mois de décembre.

L'évaporation est toujours plus importante sur une surface nue que sous le couvert végétal surtout en été : cela s'explique par les fortes températures et le fort pouvoir évaporant de l'air et des vents desséchants.

IV-1-7-4 L'humidité relative de l'air

Pour la région de Ouargla, le taux d'humidité relative varie d'une saison à l'autre, mais il reste toujours faible, où il atteint son maximum au mois de janvier avec un taux de **59,64 %**, et une valeur minimale au mois de juillet avec un taux de **26,55 %** et une moyenne annuelle de **42,61 %**.

IV-1-7-5 Le vent

Concernant notre étude climatique pour la période précitée, il s'avère que le mois le plus venté est le mois de mai avec une vitesse moyenne de **4,07 m/s** et le mois de décembre constitue le mois le moins venté avec une vitesse moyenne de **2,34 m/s** ; la moyenne annuelle est de **3,26 m/s**.

IV-1-7-6 L'insolation

Nous constatons que la durée moyenne annuelle d'insolation durant la période étudiée est de **278,29 heures** avec un maximum de **334,95 heures** enregistré pour le mois de juillet et un minimum de **235,61 heures** pour le mois de novembre.

IV-1-7-7 Synthèse climatique

Les éléments climatiques n'agissent jamais indépendamment les uns des autres. C'est pour cela que les nombreux utilisateurs, notamment les écologues et les climatologues ont cherché à représenter le climat par des formules intégrant ses principales variables. Les formules les plus utilisées combinent les précipitations et les températures.

IV-1-7-7-1- Diagramme pluviothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN

BAGNOULS et GAUSSEN (1953), ont défini la saison sèche comme étant : "l'ensemble des mois où le total mensuel des précipitations exprimées en millimètre est inférieur ou égal au double de la température moyenne mensuelle exprimée en degrés centigrades ($P \leq 2T$)". Ce diagramme permet de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique. Il est représenté en abscisse par les mois de l'année, en ordonnées à gauche par les précipitations en mm et en ordonnées à droite par les températures moyennes en °C avec une échelle de $P=2T$; l'aire comprise entre les deux courbes représente la période sèche.

Pour la région d'Ouargla nous remarquons que cette période s'étale sur toute l'année (figure 14).

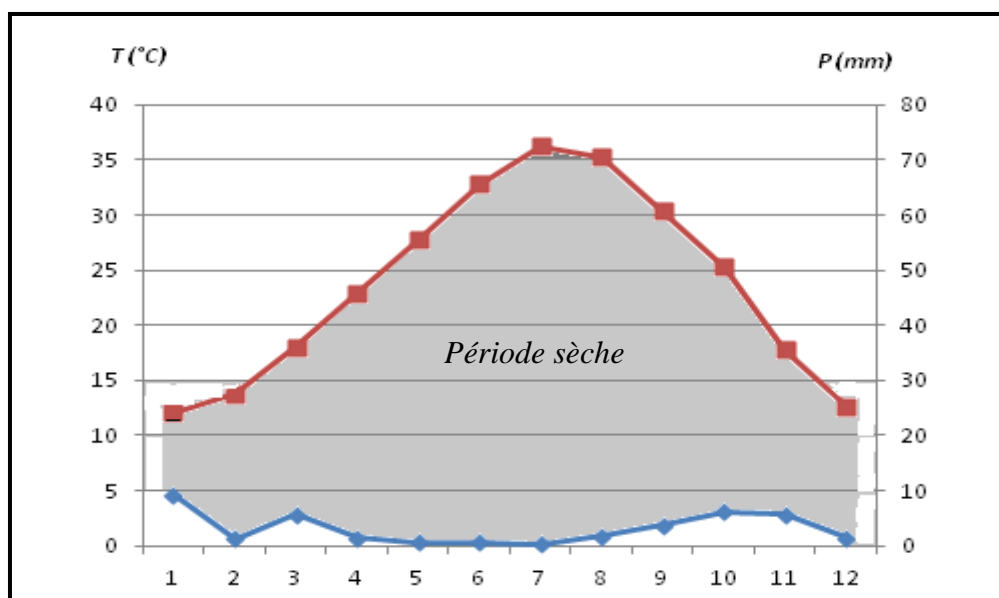


Figure 14 : Diagramme pluviothermique de la région d'Ouargla pour la période 2002-2012.

IV-1-7-7-2- Climagramme d'Emberger

Le Climagramme d'Emberger permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. Il est représenté en axe des abscisses par la moyenne des températures minimales du mois le plus froid et en axe des ordonnées par le quotient pluviothermique (Q_2) d'EMBERGER (1933) (LE HOUEROU, 1995).

Nous avons utilisé la formule de (STEWART, 1969) (LE HOUEROU, 1995) adaptée pour l'Algérie, qui se présente comme suit :

$$Q_2 = 3,43 P/M-m$$

- Où :
- Q_2 : quotient pluviothermique d'Emberger.
 - P : pluviométrie moyenne annuelle en (mm).
 - M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en ($^{\circ}C$).
 - m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid en ($^{\circ}C$).

Une lecture du Climagramme d'Emberger (**figure 15**), situe Ouargla dans l'étage bioclimatique Saharien, à hiver doux et son quotient pluviothermique (Q_2) est de 3,31.

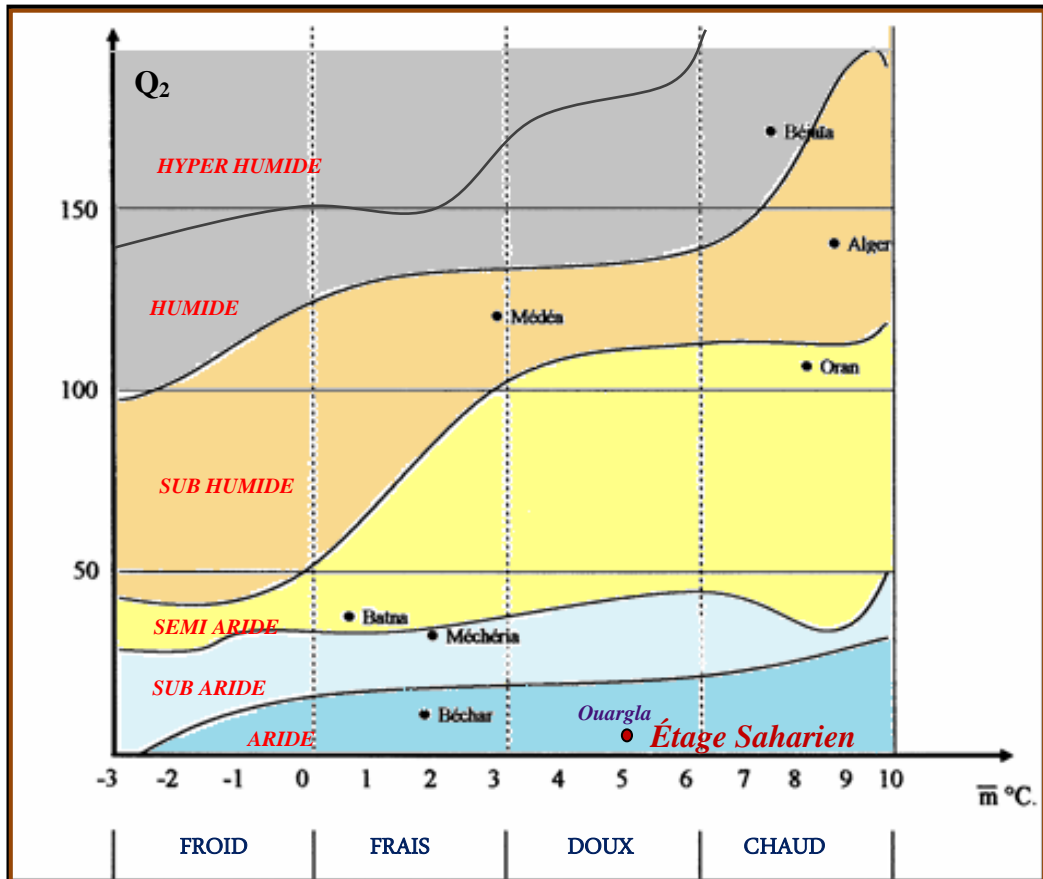


Figure 15 : Étage bioclimatique de Ouargla selon le Climagramme d'Emberger.

IV-1-8 Biodiversité végétale

Au regard de l'hostilité du milieu désertique, il ne peut y vivre que des espèces éparses aux caractéristiques particulières : racines profondes permettant de chercher l'humidité loin dans le sol, feuilles réduites, pour éviter les pertes d'eaux, etc. La végétation naturelle est plutôt due à la nature des sols et à leur structure ainsi qu'au climat. Ainsi, selon (OZENDA, 1991), les végétaux sont répartis en fonction de la nature et la structure des sols où l'on retrouve :

- Dans les lits des Oueds, les vallées et les alentours des gueltas une végétation à Acacia ;
- Dans le grand Erg Oriental principalement le " Drinn " ou " *Aristida pungens* ", accompagnée parfois d'une végétation arbustive " *Retama retam* ", " *Ephedra* ", " *Genista saharae* " et " *Caliganum azel* " ;
- Les Hamadas peuvent avoir une végétation fortement clairsemée sur le plateau. On y trouve généralement des buissons, " *Fagonia glutinosa* " et " *Fredolia arestoides* " ;

- Dans les oasis et les zones cultivées une végétation naturelle abondante.

Il faut signaler, enfin, la présence d'une végétation naturelle abondante au niveau des oasis et des zones cultivées. Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera*) constitue un patrimoine qui caractérise la région d'Ouargla : espèce cultivée depuis des centaines d'années et qui s'adapte bien aux conditions climatiques, édaphiques et hydriques de la région.

IV-1-9 La biodiversité animale

Pour les mammifères et outre les animaux d'élevage dans la région (camelin, caprin, ovin et bovin), on trouve d'autres espèces domestiques telles que l'âne, le mulet, le chien et le chat. On rencontre aussi l'hérisson du désert, le chat sauvage, le fennec, des rongeurs dont le lièvre, la gerboise, la souris domestique...etc. Plusieurs espèces de reptiles, d'insectes et d'arachnides vivent également dans la région. Les animaux des zones humides (amphibiens) sont rares. Néanmoins, au voisinage des séguias, bassins et sources d'eau, vivent quelques grenouilles vertes.

Pour les oiseaux et en plus de la poule élevée pour sa chair et ses œufs, on trouve aussi dans la région le pigeon, le moineau domestique, la tourterelle, la pie grièche grise, le corbeau et la chouette on peut rencontrer aussi quelques rapaces (faucons, etc.).

IV-2 Station d'épuration par lagunage aéré de Said-Otba

IV-2-1 Localisation de la station d'épuration

Elle se situe dans la région de Said Otba (nord-est de l'agglomération de Ouargla), au nord de la RN 49 et sa mise en service date de 2009. Ses objectifs préalablement fixés sont la suppression des nuisances et des risques de contamination au niveau des zones urbanisées, la protection du milieu récepteur et la possibilité de réutiliser les effluents épurés en irrigation ou en aquaculture (BONARD & GARDEL, 2004).

IV-2-2 Fonctionnement

Au niveau de la STEP les eaux usées brutes subissent un traitement biologique extensif par lagunage aéré (figure 16). Ce lagunage est composé d'un compartiment de prétraitement (dégrillage et dessablage) où les eaux usées passent au travers de deux dégrilleurs qui retiennent les matières les plus volumineuses charriées par l'eau brute. Pour extraire les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines, les eaux brutes passent par un dessableur (photos 5 et 6). Ceci est suivi de trois niveaux de traitement dans lesquelles la charge biodégradable de l'effluent est détruite par voie bactérienne, dont l'activité microbienne est accélérée grâce aux aérateurs artificiels (photo 7).

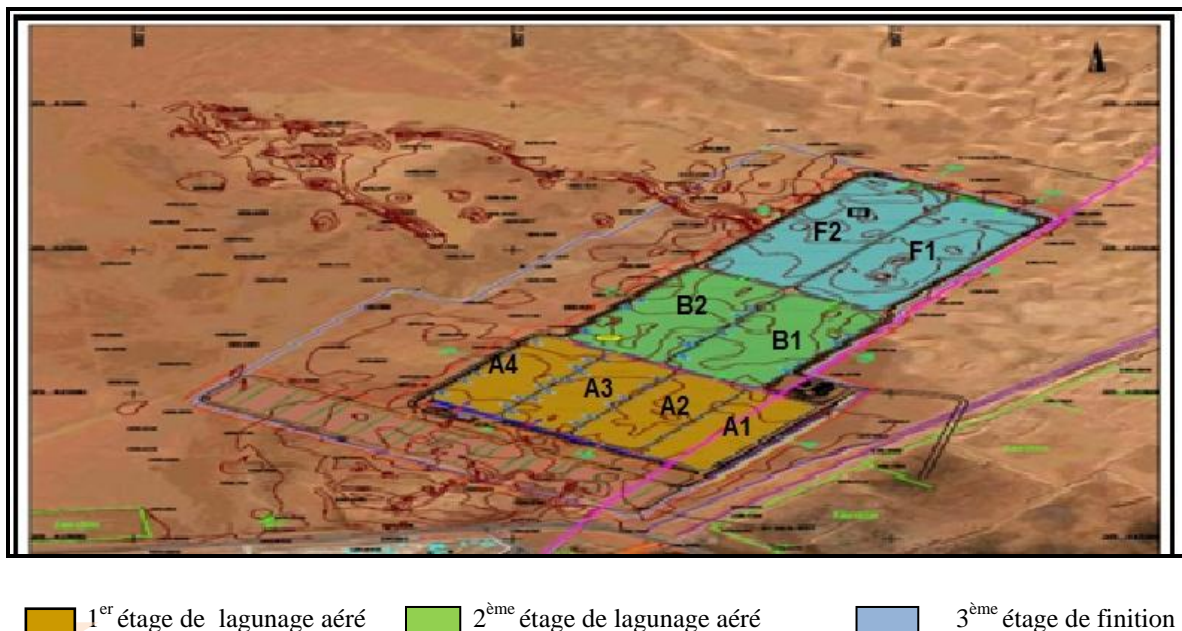


Figure 16: Schéma de la station d'épuration de Ouargla (DYWIDAG, 2010 in MENSOU, 2011).



Photo 5: Dégrilleur.



Photo 6 : Dessableur.



Photo 7 : Aérateur artificiel en fonctionnement.



Photo 8 : Bassin de finition.

Le premier niveau comporte quatre bassins (A1, A2, A3, A4) (**tableau 11**). Le deuxième comporte deux bassins (B1 et B2). Le troisième niveau est composé par deux bassins de décantation (F1 et F2) (**photo 8**), appelées aussi bassins de finition dont le rôle est de réduire les teneurs des polluants peu ou pas éliminés et de séparer les matières décantables et qui forment par la suite la boue, celle-ci sera acheminer vers les lits de séchage.

En plus des installations qui la compose telles que caniveaux, canalisations, pompes, aérateurs, instruments de mesure, organes de vanneries et automatismes industriels avec commandes et dispositifs de régulation, la station est équipée d'un laboratoire pour contrôler les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées en amont et en aval de STEP.

Tableau 11: Données de base de la STEP de Ouargla (Dywidag, 2010 in MENSOU, 2011).

La surface totale		80 hectares
Premier niveau	Nombre de bassins	4 bassins d'aération (A1, A2, A3 et A4)
	Volume total	340 800 m ³
	Volume par unité de bassin	852 00 m ³
	Surface totale	9.6 hectares
	Surface par unité de bassin	2,4 hectares
	Profondeur des bassins	3,5 m
	Temps de séjour	7 jours
	Nombre des aérateurs	12 dans chaque bassins
Deuxième niveau	Nombre de bassins	2 bassins d'aération (B1 et B2)
	Volume total	227 200 m ³
	Volume par unité de bassin	113 600 m ³
	Surface totale	8.2 hectares
	Surface par unité de bassin	4,1 hectares
	Profondeur des bassins	2,8 m
	Temps de séjour	5 jours
	Nombre des aérateurs	7 dans chaque bassins
Troisième niveau	Nombre de bassins	2 bassins de finitions (F1 et F2)
	Volume total	148 054 m ³
	Volume par unité de bassin	74 027 m ³
	Surface totale	14,8 hectares
Lits de séchage des boues	Nombre de lits de séchage	11
	Surface par unité de lits	5000 m ²
	Hauteur de remplissage	0,5 m

IV-3- Principe expérimental

IV-3-1- L'objectif de l'étude

Notre objectif vise à étudier la possibilité d'arrosage des arbustes (acacia et leucaena) par les eaux usées épurées ; notre étude consiste à :

- Comparer le taux de croissance (hauteur et diamètre) des deux essences irriguées parallèlement avec les eaux usées épurées issues du bassin de finition de la STEP et l'eau d'un forage du Mio-pliocène situé au sein de cette STEP (témoin).

- Faire des analyses physico-chimiques de l'eau du forage et des analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux usées épurées pour déterminer la qualité des eaux d'irrigation.
- Faire une caractérisation physico-chimique du sol nu (avant l'irrigation), (texture, structure, CE, pH et concentration ionique). On procédera ensuite à la comparaison de ces paramètres après l'irrigation avec les deux types d'eau afin d'évaluer leur impact sur les propriétés physico-chimiques du sol.

IV-3-2 Parcelle expérimentale

Notre parcelle expérimentale est située au sein de la STEP à côté du bloc administratif (**figure 17**). Afin de choisir leur emplacement, nous avons pris en considération la localisation des sources d'eau (épurées et de forage) et le sol à planter.



Figure 17 : Localisation de la parcelle expérimentale.

IV-3-3 Dispositif expérimental

Dans notre essai, nous avons retenu le dispositif en blocs. On a divisé notre parcelle en deux blocs : le premier a regroupé les plants des deux essences arrosés avec les eaux usées épurées, et le seconde jouant le rôle de témoin qui regroupe les plants de ces deux mêmes essences arrosés avec l'eau de forage. L'implantation des plants était aléatoire, dont chaque individu représente une répétition. Le nombre des plants a été de 24 par essence et par bloc (**figure 18**).

L'expérimentation consiste à étudier la croissance des deux essences *l'Acacia farnesiana* et *Leucaena leucocephala*. Celles-ci ont été arrosées avec les deux types d'eaux ce qui fait un nombre de traitements est égal à quatre (**figure 18**). Sachant que l'étude est basée sur la comparaison de chaque traitement avec son témoin, c'est-à-dire on compare l'acacia et leucaena arrosées par les eaux usées épurées avec ses témoins (celles qui sont arrosées l'eau de forage).

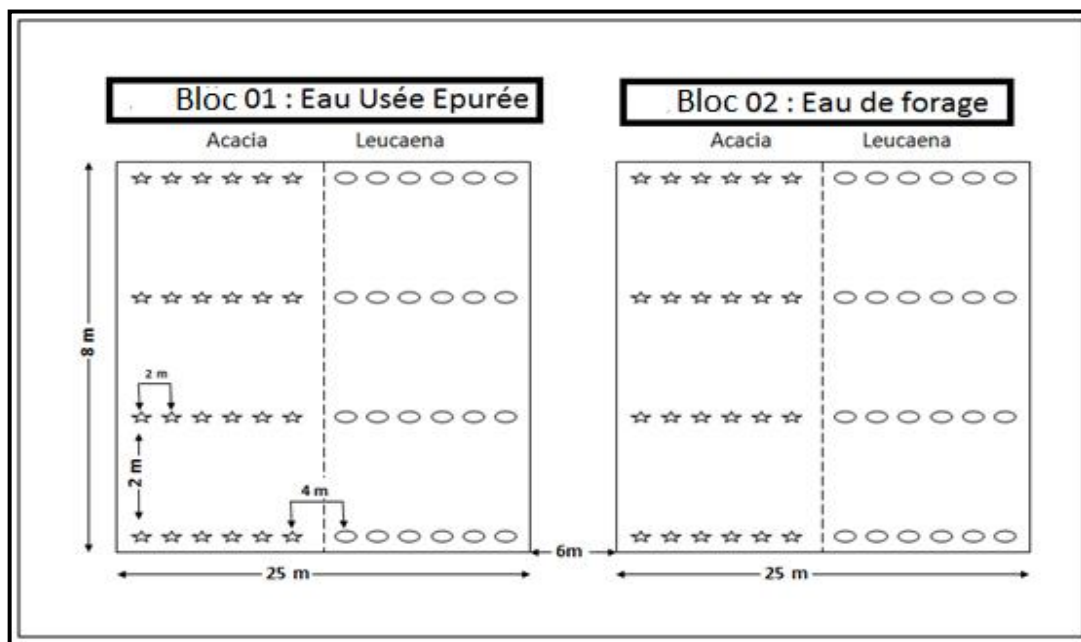


Figure 18 : Schéma de dispositif expérimental.

Après la délimitation et la division de la parcelle en deux blocs, nous avons réalisé les opérations suivantes :

- Nivellement du terrain (**photo 9**);
- Traçage de l'emplacement des trous destinés à recevoir les plants ;

- Creusement des trous et profils pédologiques à l'aide de mini-pelle (**photo 10**);
- Protection des plants avec des palmes sèches contre la chaleur et le vent de sable (**photo 17**).



Photo 9 : Nivèlement du terrain.



Photo 10: Creusement des trous et profils pédologiques à l'aide de mini-pelle.

IV-4 Techniques d'analyse des eaux d'irrigation

Le mode de prélèvement variera selon le type d'analyse. Pour l'eau usée épurée le prélèvement a été fait manuellement à la sortie du bassin de finition de la STEP : à l'aide

d'un petit récipient, nous avons pris 02 litres. L'eau de forage a été prélevée du robinet situé à proximité de parcelle expérimentale.

IV-4-1 Sur le plan physico-chimique

Les analyses physico-chimiques des eaux usées épurées, effectuées au niveau du laboratoire de la STEP, ont concerné les paramètres suivants :

- La salinité, la conductivité, la T° et le pH (analyses journalières)
- DCO, DBO₅ et MES (analyses hebdomadaires).

Les analyses ioniques des EUE et des EF ont fait l'objet d'une seule détermination au niveau du laboratoire de l'ANRH et ont concerné les paramètres suivants : pH, CE, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻. Les analyses ont été effectués le 10/03/2013.

IV-4-1-1 Détermination des matières en suspension (MES)

La détermination du taux de matières en suspension d'une EUE est mesuré à partir du poids sec du résidu d'un échantillon ayant subi une filtration ou une centrifugation et un passage à l'étuve à 105 °C ; l'unité de mesure s'exprime en mg/l.

Le taux des MES est donnée par l'expression suivante :

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

Dont :

- **MES** : La teneur en MES 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).

IV-4-1-2 Demande chimique en oxygène DCO

La mesure de la demande chimique en oxygène nous renseigne sur la bonne marche des bassins d'aération et nous permet d'estimer le volume de prise d'essai de la DBO₅. Il s'agit d'une oxydation chimique des matières réductrices contenues dans l'eau par excès de bichromate de potassium (K₂Cr₂O₇) en milieu acidifié par l'acide sulfurique (H₂SO₄), en présence de sulfate d'argent (Ag₂SO₄) et de sulfate de mercure (HgSO₄). Nous avons utilisé

un réacteur à DCO à 150°C ; la teneur en DCO est donnée en mg/l à l'aide d'un spectrophotomètre (DR2800).

IV-4-1-3 Demande biologique en oxygène DBO₅

L'échantillon d'eau introduit dans une enceinte thermostatée est mis sous incubation et nous procédons ensuite à la lecture de la masse d'oxygène dissous, nécessaire aux microorganismes pour la dégradation, en présence d'air pendant cinq (05) jours. Les microorganismes présents consomment l'oxygène dissous qui est remplacé en permanence par l'oxygène de l'air, contenu dans le flacon provoquant une diminution de la pression au dessus de l'échantillon. Cette dépression sera enregistrée par une **OxiTop[®]**.

La détermination de la DCO est primordiale pour connaître les volumes à analyser pour le DBO₅. Le volume de la prise d'essai :

$$(DBO_5) = DCO (mg/l) \times 0,80 \text{ pour les eaux urbaines.}$$

Pour exprimer les résultats, nous avons : $DBO_5 (mg/l) = \text{lecture} \times \text{facteur}$

IV-4-1-4 Détermination des nitrates- nitrites

Ces paramètres sont mesurés à l'aide de l'appareil **spectrophotomètre (DR/2800)**.

IV-4-1-5 Détermination de la conductivité électrique, de la salinité et de la température

Les mesures de la conductivité électrique, de la salinité et de la température ont été faites à l'aide d'un conductimètre de poche (**cond 3400i**).

IV-4-1-6 Détermination de l'Oxygène dissous

La mesure de l'oxygène dissous a été réalisée grâce à un **oxymétrie (Oxy 340i)**.

IV-4-1-7 Détermination du pH

Nous avons utilisé le système de mesure électrochimique à l'aide du pH-mètre de poche (**pH 340i**).

IV-4-1-8 Dosage des cations**➤ Dosage du Calcium (Ca^{++}) et du Magnésium (Mg^{++})**

Ces éléments ont été déterminés par la méthode titrimétrique à l'EDTA (Ethylène Diamine Tétra Acétique) qui nous permet de réaliser un dosage de la somme de calcium et de magnésium. Les réactifs nécessaires pour l'effectuation du mode opératoire sont: l'Ethylène Diamine Tétra Acétique (E.D.T.A) à 10N, une solution tampon pH=10, les indicateurs colorés et une solution KOH (concentré à 28%) (RODIER *et al*, 2005).

➤ Dosage du potassium K^+ et du sodium Na^+

Il se fait par spectrophotométrie d'émission de flamme qui nous permet d'identifier les concentrations de ces éléments. Pour cette méthode, les solutions étalons pour le Na^+ sont de 60,100, 150, 200 mg/l et celles de K^+ sont de 10, 30, 90, 100, 150, 200 mg/l.

IV-4-1-9 Dosage des anions**➤ Dosage des carbonates (CO_3^{-2}) et bicarbonates (HCO_3^-)**

Il a été effectué par titrimétrie qui a nécessité l'emploi des réactifs suivant: l'acide sulfurique H_2SO_4 à 0.1N, le Phœnolephétaline 5% et le Méthyle orange 5%.

➤ Dosage des sulfates solubles SO_4^{2-}

Les ions sulfates sont précipités et pesés à l'état de sulfate de baryum. Les Réactifs utilisés sont: une solution de chlorure de baryum (BaCl_2) à 10%, une solution acide chlorhydrique (HCl) à 10% et une solution-mère de sulfates à 120 mg/l. L'appareil utilisé est le spectrophotomètre à la longueur d'onde $\lambda = 680\text{nm}$ (RODIER *et al*, 2005).

➤ Dosage des chlorures solubles Cl^-

Leurs concentrations ont été déterminées par la méthode de MOHR où le chlore est précipité par du nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. Les réactifs utilisés dans ce cas sont: une solution de nitrate d'argent (AgNO_3) à 0.1N et une solution de chromate de potassium (K_2CrO_4) à 10% (RODIER *et al*, 2005).

IV-4-2 Sur le plan bactériologique

En ce qui concerne les analyses bactériologiques, les récipients que nous avons utilisés contenant les eaux prélevées à la sortie du bassin de finition, sont des flacons en verre propres stérilisés au préalable, étiquetés sur lesquels nous avons mentionné le lieu et la date de prélèvement de cette eau. Cette démarche entreprise, concernant le transport et la conservation des échantillons destinés aux analyses bactériologiques, fait référence aux méthodes décrites par (**RODIER et al, 2005**).

L'analyse bactériologique se fait dans le but de protéger la santé humaine et de l'environnement. Elle consiste à la recherche et le dénombrement des germes pathogènes et de micro-organismes dans les eaux traitées.

Le prélèvement et les analyses ont été effectués le 29/04/2013 à environ 09:00 h du matin. Toutes les analyses bactériologiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de microbiologie de l'ITAS.

Pour préparer la dilution, on prélève dans les meilleures conditions d'asepsie 1ml de la solution mère et on l'introduit dans 9 ml d'eau distillée. Cela fait la dilution 10^{-1} , aussi obtenus on procède de la même manière jusqu'à atteindre la dilution 10^{-4} (**annexe 10**).

Afin de disposer d'une méthode pertinente, seuls les germes témoins de contamination fécale sont recherchés, puisque la matière fécale est la principale source de contamination des eaux. Les germes témoins sont :

- Les coliformes totaux et fécaux.
- Les streptocoques totaux et fécaux.
- Les clostridium sulfite-réducteurs.
- Les staphylocoques.
- Escherichia coli

IV-4-2-1 Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux

La méthode utilisée pour cette recherche est la méthode de détermination du nombre le plus probable (NPP) par inoculation de tubes en milieux liquides (fermentation en tubes multiples). Il s'agit d'un ensemencement de plusieurs dilutions de l'échantillon, chacune dans une série de tubes (série de 3) contenant un milieu de culture non

véritablement sélectif mais permettant de mettre en évidence la fermentation du lactose avec production de gaz (RODIER *et al*, 2005).

IV-4-2-2 Recherche et dénombrement des streptocoques totaux et fécaux

Nous avons utilisé la même méthode que la précédente avec des milieux spécifiques pour les streptocoques (RODIER *et al*, 2005).

IV-4-2-3 Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs

Pour ce genre de bactéries, nous avons utilisé la méthode par incorporation en gélose (RODIER *et al*, 2005) ; après destruction des formes végétatives par chauffage à 80 °C, l'échantillon est incorporé à un milieu de base fondu, régénéré et additionné de sulfite de sodium et de sel de fer. La composition du milieu est établie pour tenir compte d'un volume déterminé d'eau incorporé.

IV-4-2-4 Recherche et dénombrement des staphylocoques

Nous avons utilisé la même méthode que pour les coliformes et streptocoques (RODIER *et al*, 2005).

IV-5 Méthodes d'analyses physico-chimiques du sol

Pour l'étude du sol, deux types de prélèvements du sol ont été effectués dans la même parcelle. Le premier a été effectué au niveau des profils pédologiques au démarrage de l'expérience et le second consiste en un échantillonnage à la tarière après six mois de l'expérience et ceci afin d'évaluer l'impact des eaux d'irrigation sur les propriétés physico-chimiques du sol.

a- Echantillonnage dans les profils pédologiques (avant l'irrigation)

A l'aide d'une pelle mécanique, nous avons creusé un profil représentatif pour chaque bloc (au centre de chacun) à une profondeur de 1m (**photo 11**). Après la délimitation des horizons, environ 2 kg de sol de chaque horizon ont été prélevés dans des sacs en plastique. La caractérisation morphologique a été réalisée sur terrain, alors que la caractérisation analytique a été effectuée au laboratoire. Cette caractérisation vise à déterminer les caractéristiques du sol avant l'irrigation.



Photo 11: Délimitation des horizons du profil 1.

b- Echantillonnage à la tarière (après irrigation)

Le deuxième échantillonnage a été effectué le 11/11/2013 ; à l'aide d'une tarière de 120 cm, nous avons prélevé deux échantillons à une profondeur de 30 cm du sol correspondant à la principale zone de développement racinaire. Ces échantillons ont subi les mêmes analyses physico-chimiques afin de distinguer les variations des caractéristiques du sol après irrigation.

Les analyses physico-chimiques du sol ont été effectuées au niveau de différents laboratoires dont ceux de l'ITAS, de l'Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques (ANRH) et de l'algérienne des eaux (ADE). Les méthodes analytiques sont celles adoptées au travaux pratiques d'agro-pédologie (DJILI *et al.*, 2010).

Les échantillons prélevés ont été tout d'abord séchés à l'air libre pendant quatre jours ; la fraction du sol < 2 mm (terre fine) a été utilisée pour faire les analyses physico-chimiques mentionnées ci après.

IV-5-1 La granulométrie

Elle consiste à séparer la partie minérale de la terre en catégories classés d'après la dimension des particules minérales inférieures à 2 mm et à déterminer les proportions

relatives de ces catégories en pourcentage de la masse totale du sol ; le tamisage est réalisé par voie sèche avec l'utilisation d'un vibreur. Après le tamisage à 2mm, nous avons pesé 100g du sol mis sur une série de tamis superposés (1000, 500, 200, 100, 50 μm). Ensuite, nous avons fait couler les 5 tamis superposés durant 10 min et procédé au pesage du sol dans les différents tamis.

IV-5-2 Mesure du pH

La mesure du pH du sol est empirique, elle est déterminée dans une suspension sol/eau distillée suivant un rapport 1/2,5. La mesure est faite à l'aide d'un pH mètre à électrode en verre.

Pour la préparation de l'extrait dilué 1/2,5 :

- On pèse 20 g de terre fine (< 2mm) séchée à l'air libre que l'on introduit dans un bécher de 100 ml auquel est ajouté 50 ml d'eau distillée. Le tout est agité énergiquement pendant quelques minutes à l'aide d'un agitateur magnétique ;
- Après l'étalonnage du pH-mètre, on introduit avec précaution l'électrode de verre dans la suspension ; la lecture est faite après stabilisation de la valeur.

IV-5-3 Conductivité électrique CE

La conductivité électrique est la mesure de la teneur en sels solubles d'une solution ; elle est mesurée par un conductimètre à une température de 25°C avec un extrait du sol de 1/5. La conductivité électrique est mesurée encore à l'aide de conductimètre (M 38).

Pour la préparation de l'extrait dilué 1/5

- On pèse 20 g de terre fine (< 2mm) séchée à l'air libre que l'on introduit dans une fiole de 250 ml à la quelle est ajouté 100 ml d'eau distillée. Le tout est agité énergiquement pendant 1 heure à l'aide d'un agitateur magnétique.
- On procède ensuite à une filtration de la suspension ;
- Après l'étalonnage du conductimètre on introduit avec précaution l'électrode de verre dans la suspension ; la lecture est faite après stabilisation de la valeur.

IV-5-4 Dosage des sels solubles (cations)

Le dosage de Na^+ , K^+ et Ca^{++} se fait à l'aide d'un spectrophotomètre à flamme, son mode opératoire est comme suit :

- Faire passer les solutions de la gamme d'étalonnage ;
- Pour les extraits, introduire 2 ml de la solution à analyser dans des tubes à essais et faire passer au spectrophotomètre à flamme.

Contrairement aux cations précédant, le dosage du magnésium se fait par la méthode de complexométrie.

IV-5-5 Dosage des sels solubles (anions)

- Cl^- est déterminé par la méthode de MOHR basée sur la titration de l'extrait de sol par AgNO_3 (0,1 N) en présence de chromate de potassium jusqu'à l'apparition de couleur rouge.
- SO_4^{2-} il s'agit de la méthode gravimétrique, elle consiste à précipiter les ions SO_4^{2-} sous forme de sulfate de baryum en présence du chlorure concentré à 10%.
- Bicarbonate (HCO_3^-) effectué par titrimétrie à H_2SO_4 (0,1 N) en présence des indicateurs (Phénolphthaléine et orange de méthyle) ; la fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la couleur rosâtre.

IV-5-6 Dosage du calcaire total (CaCO_3)

Le taux de calcaire total est déterminé par acidimétrie volumétrique : on ajoute à l'échantillon l'acide chlorhydrique (10%) ; le volume de gaz carbonique dégagé est mesuré à l'aide du calcimètre de Bernard et comparé au volume produit par du carbonate de calcium pur.

IV-5-7 Dosage du gypse (CaSO_4)

Le gypse est dosé par la méthode d'attaque puis précipitation dans le chlorure de baryum. Cette méthode se base sur le dosage des ions SO_4^{2-} après une attaque aux carbonates d'ammonium et le chlorure de baryum. Le sulfate produit est précipité sous forme de sulfate de baryum. La teneur en gypse est calculée à partir du résultat obtenu.

IV-6 Matériel végétal

La sélection d'essence forestière a été basée sur les critères suivants : leur adaptation au milieu aride, leur croissance rapide et leur disponibilité au niveau des pépinières locales. Nous avons opté pour les essences suivantes à savoir : l'*Acacia farnesiana* (**photo 12**) et *leucaena leucocephala* (**photo 13**), qui présentent des intérêts à la fois agronomiques et écologiques. Il nous faut signaler l'indisponibilité de la totalité des plants au niveau de la même pépinière (même taille et même âge).

IV-6-1 *Acacia farnesiana*

IV-6-1-1 Description générale

- Arbuste très ramifié de 2 à 8 mètres de haut, les branches retombantes possèdent de longues épines stipulaires, droites et blanches de 1,5 à 5cm. Ses feuilles sont composées, bipennées de 2-8 paires de pennes, chaque penne porte 10-25 paires de folioles et chaque foliole peut atteindre une longueur de 5mm environ pour 1,5mm de largeur. (INRA, 2013).
- La floraison se présente sous la forme de glomérules (12mm de diamètre) des fleurs jaunes, groupées en têtes sphériques très denses. (INRA, 2013 ; QUEZEL & SANTA, 1962).
- Le fruit est une gousse cylindrique, très volumineuse (INRA, 2013; LAPIE & MAIGE, 1914), brune à noirâtre d'environ 7 cm de longueur et les graines brunes atteignent jusqu'à 7mm de longueur. (INRA, 2013).
- **Origine** : son origine est l'Amérique orientale, du Chili au Texas (INRA, 2013).
- **Ecologie** : Nécessite un climat tropical sec, la température moyenne annuelle est de 14,7 à 27,8 °C, et le pH de 5,0-8,0 (DUKE, 1981).
http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/acacia_farnesiana.html#Ecology



Photo 12: *Acacia farnesiana*.



Photo 13: *Leucaena leucocephala*.

IV-6-1-2 Taxonomie

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous-classe : Rosidae

Ordre : Fabales

Famille : Mimosaceae

Genre : Acacia

Nom scientifique : *Acacia farnesiana* (L.) Willd, 1806 (WFI, 2013).

Noms communs : cassier, cassie ancienne ou mimosa de Farnèse.

IV-6-1-3 Ses principales utilisations

- Utilisation dans l'industrie de la parfumerie : On extrait des fleurs une huile essentielle appelée Cassie.
- Utilisation de préférence en haies défensives ;
- Utilisation de l'écorce et du feuillage en Colombie pour lutter contre le paludisme.
- Utilisation des gousses dans l'industrie du tannage des cuirs à Grasse, puis pour la parfumerie au XVIIIème siècle (INRA, 2013).
- Utilisation comme brise vent, de clôture et de lutte contre l'érosion.
http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/acacia_farnesiana.html#Ecology

IV-6-2 *Leucaena leucocephala*

IV-6-2-1 Description générale

- Essence développée comme fourrage à Hawaii et étudiée depuis les années trente ; espèce ayant un potentiel de fixation d'azote élevé.
- Originaire du sud du Texas et les basses terres du Mexique d'environ 20 ° N et du sud de Nicaragua à environ 12 ° N (PARROTTA, 2000)
- Espèce largement plantée en agroforesterie (STEPPLER & NAIR, 1987 ; National Academy of Sciences, 1977).
- Essence pouvant se développer sur la plupart des sols et pousse assez bien sur les sols perturbés, érodés et partiellement compactés. Cependant, cette espèce ne pousse pas bien dans les sols peu drainés ou inondés périodiquement, dans les sols avec une forte salinité ou ceux en dessous de pH 5 ou supérieur 8 et à des températures inférieures à 10 ° C.
- Espèce tolérante à la sécheresse. Il se plie ses feuilles sous stress hydrique empêchant la perte d'eau et, dans des conditions sévères, se défolier jusqu'à retour des pluies (National Academy of Sciences 1977).
- Croissance rapide des jeunes plants pouvant atteindre environ 1 m de hauteur dans la première année et gagner 0,5 à 0,75 m pendant les 2 ou 3 années suivantes. La croissance en diamètre peut varier de 2 à 10 mm par an ; ces arbustes en individuel vivent 10 à 20 ans ou plus.

IV-6-2-2 Utilisations

- Utilisation comme brise-vent d'où une influence sur le niveau de rendement de cultures : préservation de l'humidité dans le sol en réduisant le ruissellement de surface et l'évaporation.
- Dans de nombreux pays tropicaux, notamment en Asie du Sud-Est, l'Afrique et en Amérique du Sud, utilisation comme un arbre d'ombrage pour les cultures commerciales, culture en couloirs et en agroforesterie (**National Academy of Sciences 1977**).
- Utilisation, au vu de son fort potentiel, comme source de protéines végétales moins chères dans l'alimentation des poissons à haute valeur nutritive.

IV-6-2-3 Taxonomie

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Fabales

Famille : Mimosaceae

Genre : leucaena

Nom scientifique : *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, 1961.

IV-6-3 Plantation et entretien

IV-6-3-1 La plantation

Elle a été réalisée au mois d'avril 2013 sans ajout de fertilisants ; des individus âgés de 9 mois ont été plantés dans des trous creusés à l'aide d'une mini-pelle mécanique à 2 mètres d'intervalle. Ces plants sont issus de la pépinière d'Ain-Beida, leurs substrats étaient composés par un tiers de fumier, un tiers de sable fin et un tiers de sable rouge (de Bamendil).

IV-6-3-2 La protection

Elle a été réalisée par des palmes sèches pour éviter l'effet de la chaleur et les vents de sable.



Photo 14 : Vue générale de la parcelle expérimentale.

IV-6-3-3 L'arrosage

Il s'est fait sur la base de l'estimation des besoins en eau (calendrier d'arrosage). Le calendrier d'arrosage permet de déterminer la fréquence d'arrosage et le volume d'eau avec lequel il faut arroser pour que l'alimentation en eau des plantes s'effectue convenablement. Pour l'établir on doit calculer certains paramètres :

- **Les besoins en eau** : ils sont représentés par l'évapotranspiration maximale de la culture. Ils sont calculés par la formule suivante :

$$ETM = ETP * Kc \quad (\text{SOLTNER, 2005 ; OLLIER et POIRIEE, 1983})$$

Dans laquelle :

ETM : évapotranspiration maximale de la culture ;

ETP : évapotranspiration en mois de pointe ;

Kc : coefficient cultural ; il est en fonction de la culture étudiée, de son stade végétatif et des conditions agro-climatiques qui régissent son développement.

Nous avons choisi de prendre le Kc de palmier dattier (de la phase initiale) qui est égal **0,90** (TIERCELIN, 1998) compte tenue du fait que nous n'avons pas trouvé dans la littérature le Kc pour nos essences étudiées.

Le calcul de l'ETP a été réalisé par la formule de Penman.

- **La dose pratique d'arrosage** (volume d'eau) qu'il faut apporter à chaque irrigation dépend de la profondeur explorée par les racines et de la nature du sol. D'après

(SOLTNER, 2005), la dose d'arrosage doit correspondre à la réserve en eau facilement utilisable (RFU) et au maximum à la réserve utile (RU). D'après (DUCROCQ, 1987 ; In IDDER, 1998), dans la pratique, on considère cependant qu'il est souhaitable de ne pas attendre que l'humidité du sol descende jusqu'au point de flétrissement permanent, c'est à dire jusqu'à ce que la totalité de la réserve soit utilisée. On admet généralement que l'arrosage peut être opéré, sans risque, sur la base des 2/3 de la réserve utile maximale.

La dose est exprimée par la formule suivante :

$$\text{RFU (en mm d'eau)} = 3 \times \text{Da} \times \text{He} \times \text{P}$$

Avec :

- **Da** : la densité apparente du sol ;
- **He** : l'humidité équivalente de la terre sèche en %;
- **P** : profondeur de la couche de terre parcourue par les racines (m).

- **La fréquence d'arrosage**

La fréquence d'arrosage est calculée par la formule suivante:

$$N = \frac{ETM}{RFU} \text{ (PAYARO, 1982).}$$

IV-6-4 Mesures biométriques des plantes

La biométrie est une discipline ayant pour objet l'étude des distributions de tailles (longueurs, poids, etc.) des êtres vivants (RAMADE, 2003). Pour montrer le taux de croissance des deux plants étudiés, on a suivi les paramètres hauteur et diamètre. La hauteur des plants a été mesurée à l'aide d'une mètre du collet jusqu'au bourgeon terminal, et le diamètre à l'aide d'un pied à coulisse. Durant 25 semaines de suivi, les mesures biométriques ont été effectuées de manière hebdomadaire.

IV-6-5 Analyse statistique

Les résultats obtenus pour ces mesures biométriques ont été exprimés sous forme de courbes, réalisés par le logiciel Excel. Puis on les a interprétées statistiquement au moyen de l'analyse de la variance à un facteur étudié, en utilisant le logiciel «MiniTab 13.31, 2000 ». Cette méthode permet de comparer les moyennes des différents paramètres et de chercher là où ces moyennes sont considérées comme étant égales, sinon au contraire, il y a une différence significative.

CHAPITRE V: Résultats et discussions

V-1 Caractérisation des eaux d'irrigation

V-1-1 Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'irrigation

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les deux types d'eau d'irrigation utilisées dans le cadre de cette expérimentation sont synthétisés dans le tableau 12.

Tableau 12: caractérisation physico-chimique des eaux d'irrigation.

Paramètre	Valeur maximale admissible	Eau usée épurée (EUE)		Eau de forage (EF)		
		Résultat	Interprétation	Résultat	Interprétation	
pH ⁽¹⁾	6.5 ≤ pH ≤ 8.5	7,87	Faiblement alcalin	7,3	Neutre	
CE (dS/m) ⁽¹⁾	3	13,51	Eaux à salinité exagérée	2,49	Eau à très forte salinité	
SAR ⁽²⁾	<3: aucune sévérité	41,25	Sévère problème pour le sol argileux	5,30	Pas de risque	
	3-9: légère sévérité					
	>9: sévérité élevée					
Cations (méq/l)	Ca ⁺²	-	12,06	-	7,28	-
	Mg ⁺²	-	1,95	-	2,05	-
	Na ⁺	-	108,91	-	11,41	-
	K ⁺	-	4,83	-	0,38	-
Anions (méq/l) ⁽¹⁾	Cl ⁻	10	106	Très élevé	11,97	Seuil dépassé
	HCO ₃ ⁻	8,5	9	Seuil dépassé	2,95	Pas de risque
	NO ₃ ⁻	30	4	Pas de risque	4,8	Pas de risque
	SO ₄ ⁻²	-	11,31	-	3,25	-
DCO ⁽¹⁾	90	132,95	Niveau élevé			
DBO ₅ ⁽¹⁾	30	27,43	Pas de risque			
MES ⁽¹⁾	30	90,23	Niveau trop élevé			

L'interprétation de ces résultats se réfère aux références suivantes

- (1) : l'arrêté interministériel du 2 janvier 2012, fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation ;
- (2) : water treatment solutions, « le SAR et l'irrigation », (LENNTECH, 2014).

A partir des résultats obtenus et consignés dans le tableau ci-dessus, nous pouvons apprécier la qualité des deux types d'eau d'irrigation à savoir celle émanant d'un forage et l'autre ayant pour origine les eaux usées épurées de la station d'épuration de la ville de Ouargla.

V-1-1-1 Le pH

L'eau du forage présente pH au voisinage de la neutralité (7,30) contre une valeur de 7,87 pour les eaux usées caractérisées par une légère alcalinité (**NISBET et VERNEAUX, 1970**). Dans les deux cas, il n'y a aucune restriction d'utilisation en irrigation.

V-1-1-2 La conductivité électrique (CE)

Dans les deux cas, la salinité de l'eau est confirmée mais à des degrés différents : l'eau du forage (2,49 dS/m) atteste d'une forte salinité alors que l'eau usée épurée (13,51 dS/m) est considérée comme eau à salinité exagérée (**DURAND, 1960**).

V-1-1-3 Le SAR

La valeur SAR est de 41,25 pour l'eau usée épurée, très élevée par rapport à l'eau de forage 5,30. Il est admis que plus la salinité sera élevée, plus l'indice SAR pourra poser des problèmes d'infiltration ; mais, plus la salinité sera basse, plus les problèmes d'infiltration seront indépendants de la valeur du SAR. Dans le cas de cette expérimentation, les eaux usées épurées pouvaient engendrer de sérieux problèmes sur la structure du sol d'où un mauvais ressuyage de ce dernier.

V-1-1-4 Bilan ionique

Les sels solubles sont organisés en deux catégories : les cations (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+) et les anions (Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- et SO_4^{2-}). Le bilan ionique des eaux est présenté dans les figures au-dessous **19** et **20**.

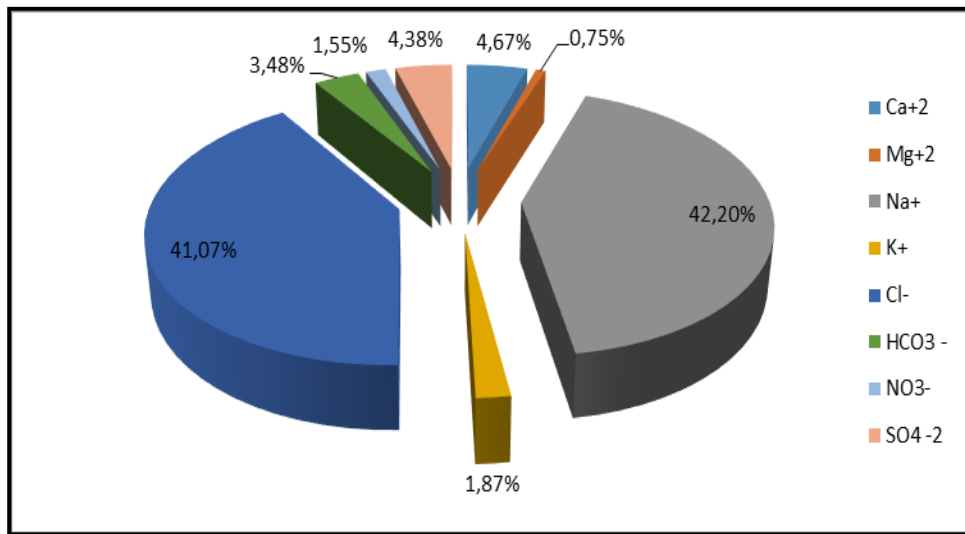


Figure 19 : Bilan ionique l'eau usée épurée.

L'ordre de dominance des ions solubles dans l'eau usée épurée est comme suit :

- Pour les anions : $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$
- Pour les cations : $Na^+ > Ca^{++} > K^+ > Mg^{++}$

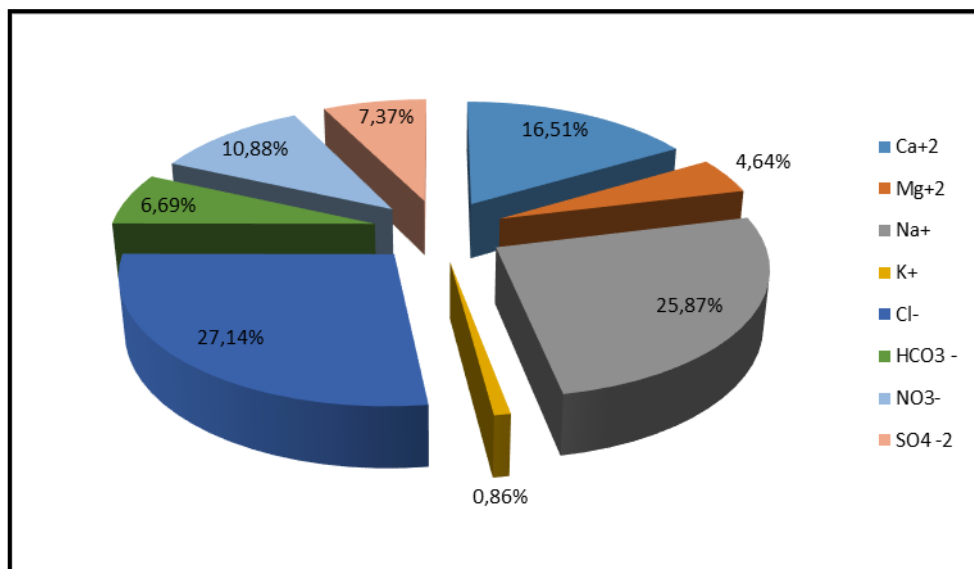


Figure 20 : Bilan ionique de l'eau de forage.

L'ordre de dominance des ions solubles dans l'eau de forage est comme suit :

- Pour les anions : $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$
- Pour les cations : $Na^+ > Ca^{++} > Mg^{++} > K^+$

Les deux types d'eau d'irrigation sont caractérisés par un taux de minéralisation relativement modéré et une abondance du sodium et des chlorures (**tableau 12**).

- **Calcium** : la concentration de Ca^{++} dans l'eau usée épurée est de 12,06 méq/l, légèrement moins élevée que dans l'eau de forage (7,28 méq/l) ; à ces valeurs, il n'y a aucun risque en matière d'irrigation.
- **Magnésium** : dans les deux types d'eau, la concentration de cet élément est relativement faible et équivalente soit 1,95 méq/l pour l'eau usée épurée et 2,05 méq/l pour l'eau du forage.
- **Sodium** : la concentration du sodium est trop élevée dans l'eau usée épurée (108,91 méq/l) déterminant un niveau de toxicité très élevé et des effets très significatifs sur la perméabilité du sol. Pour l'eau de forage, elle est de l'ordre de 11,41 méq/l, valeur acceptable pour une eau destinée à l'irrigation.
- **Potassium (K^+)** : la concentration en cet élément dans les deux types d'eau d'irrigation est négligeable.
- **Chlorures** : la concentration en chlorures de l'eau usée épurée (106 méq/l), est de dix fois la valeur autorisée (10 méq/l) (**Journal Officiel de l'Algérie n° 41, 2012**). Dans l'eau de forage, la concentration de chlorure est de 11,97 méq/l soit une valeur très proche de la norme admise.
- **Bicarbonates** : Pour l'eau usée épurée, la concentration de HCO_3^- est 9 méq/l ; cette valeur est considérée comme sévère. Par contre pour l'eau de forage, la concentration est faible (2,95 méq/l).
- **Nitrates** : la concentration des nitrates dans les deux types d'eau d'irrigation se situe dans l'intervalle de 4 à 4,8 méq/l, ceci ne présente aucun risque sachant que le seuil est 30 méq/l.
- **Sulfates** : les concentrations pour l'eau usée épurée et l'eau de forage sont respectivement de 11,31 et 3,25 méq/l et attestent de ce fait d'aucun risque en matière d'irrigation.

V-1-1-5 Paramètres de pollution

Les paramètres de pollution consignés dans le tableau 12 et analysés en fonction des normes algériennes (**Journal Officiel de l'Algérie, n° 41, 2012**) attestent de :

- Une valeur moyenne de la DBO₅ pour la période d'étude égale à 27 mg/l, elle est en dessous de la valeur recommandée dans les normes algériennes (30 mg/l).
- Une valeur moyenne de la DCO égale à 132 mg/l, elle dépasse la norme préconisée par les normes algériennes (90 mg/l).
- Des MES dont la valeur moyenne pendant la période de l'expérience est égale à 90 mg/l. Cette valeur dépasse de loin la norme algérienne admise (30 mg/l). Cette valeur élevée de MES est due principalement à l'eutrophisation (développement important d'algues et de zooplanctons dans les bassins).

V-1-1-6 Aptitude des EF et EUE à l'irrigation

La combinaison de la conductivité électrique des eaux et du rapport d'absorption du sodium (SAR) permet de classer ces eaux selon le diagramme de classification des eaux d'irrigation de Riverside (**figure 21**).

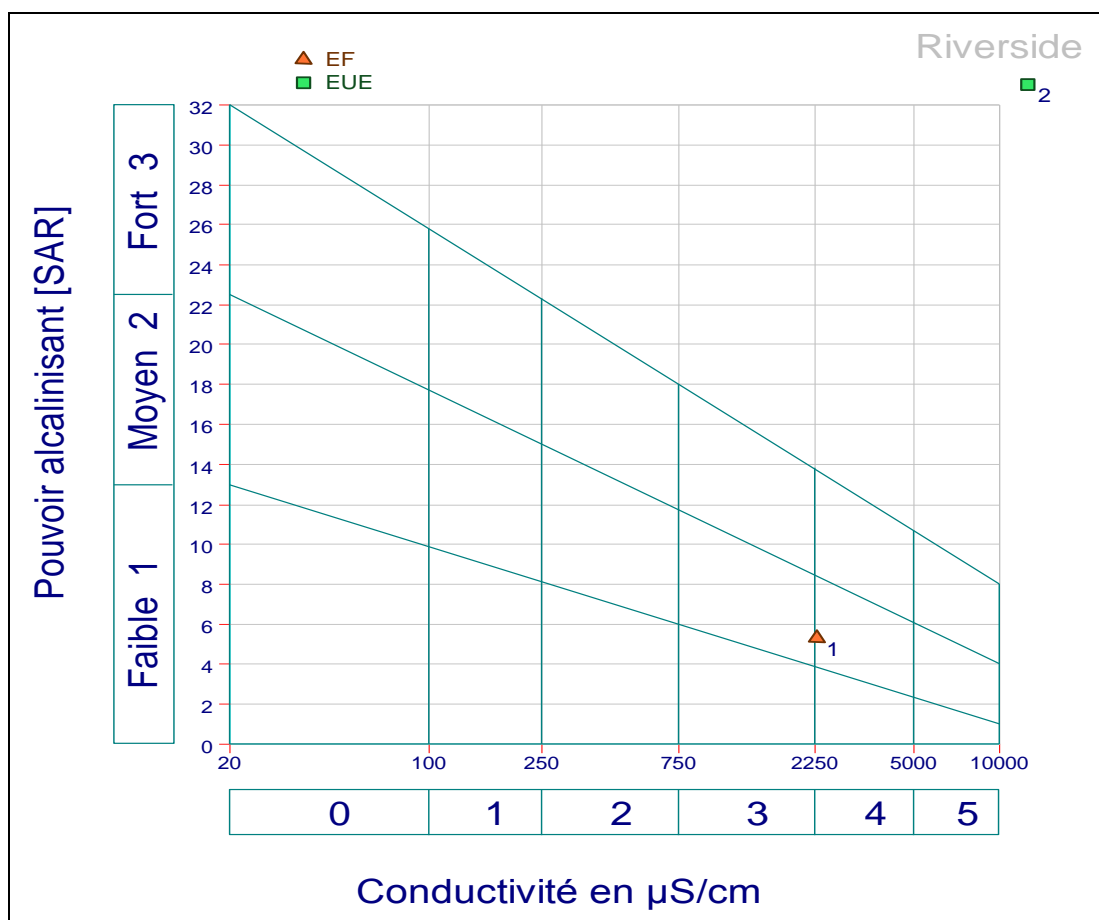


Figure 21 : Diagramme de Riverside pour les eaux d'irrigation.

La représentation graphique des deux échantillons montre que les eaux usées épurées appartiennent à la dernière classe **C5 S4**. Ce type d'eau présente un risque de salinisation élevée. Par contre l'eau conventionnelle (forage) appartient à la classe **C4 S2**, qui correspond à des eaux d'une qualité médiocre à mauvaise.

De ce fait, l'utilisation de ces eaux nécessitera certaines précautions telles qu'un bon drainage des sols, notamment si les sols présentent une texture fine. Dans certaines conditions, elles peuvent être utilisées en mettant en œuvre des pratiques spéciales (**DURAND, 1960**).

La salinité des EUE est quatre (04) fois plus élevée que celle de l'EF d'où un fort niveau de toxicité pour les plantes lié à la forte teneur en sodium (Na^+) et des chlorures. Cette minéralisation excessive de l'eau usée épurée issue de la STEP de Ouargla est due vraisemblablement à :

- a. **Drainage urbain** intégré au réseau d'assainissement qui est adopté pour limiter l'augmentation du niveau de la nappe phréatique et des fuites d'AEP : à cet effet, il est prévu une pose systématique de drains dans les zones où ils peuvent jouer un rôle dans les fouilles des collecteurs. Ces drains seront connectés aux regards et leurs positions en altitude dans la fouille seront adaptées en fonction du niveau de la nappe (**figure 22**).

La conduite de drainage est perforé (**photo 15**) ; elle est constituée par une conduite en PVC de diamètre 150 mm et entourée par une couche de gravier, ceux-ci couvert par une bâche (**NEGAIS, 2007**).



Photo 15: Dispositif de conduite de drainage (**NEGAIS, 2007**).

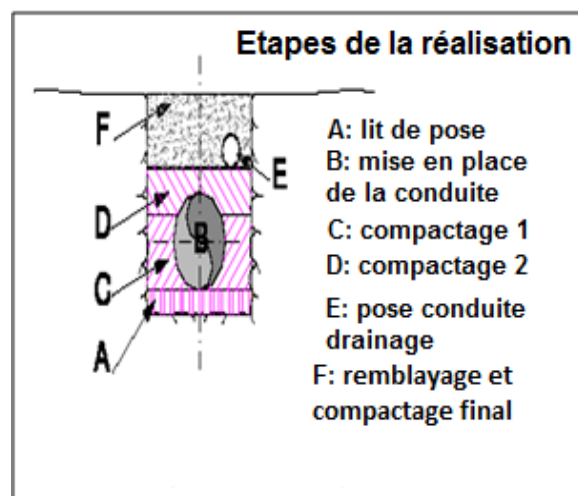


Figure 22 : Etapes de réalisation lors de la pose des collecteurs et des drains (**NEGAIS, 2007**).

b. Qualité de l'eau de la région d'Ouargla

Les eaux des nappes du Complexe Terminal (CT) et du continental intercalaire (CI) sont caractérisées par une forte minéralisation dominée par les chlorures et le sodium (TABOUCHE et ACHOUR, 2004 ; NEZLI et al., 2009). Les valeurs enregistrées de la CE s'échelonnent de 2900 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ au Sud Ouest, jusqu'à 3835 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ au Nord Est (NEZLI, 2009). La minéralisation est une fonction de la géologie des terrains traversés et se fait par la dissolution et précipitation des sels minéraux ; elle est plus élevée dans les eaux souterraines (RODIER et al., 2005). La nappe du CT est généralement chargée en sel, surtout dans la région de Ouargla et Oued Righ où le résidu sec peut dépasser les 6 g/l (KHADRAOUI, 2006). Les eaux destinées à l'AEP ne répondent pas aux normes de potabilité notamment en ce qui concerne la minéralisation (LAOUINI, 2012).

c. L'usage des détergents : Les eaux de la région de Ouargla sont des eaux très dures au vu de leurs concentrations en Ca^{++} et/ou Mg^{++} (HAMDI, 2011 ; TABOUCHE et ACHOUR 2004). Une eau dure diminue l'efficacité des détergents (WIKIPEDIA, 2014) ce qui entraîne une consommation excessive de savon et de détergents (composés à la base de sodium tel que l'eau de javel NaClO) ; elle provient principalement des ménages et des stations de lavage.

d. L'évaporation excessive de l'eau des bassins de la STEP sur une période de sept mois durant l'année, favorisant la concentration des éléments suscités ; le temps de séjour des eaux usées à traiter constitue un facteur amplificateur.

V-1-2 Caractéristiques bactériologiques des eaux usées épurées

Les analyses bactériologiques pour les eaux traitées montrent la présence de streptocoques (totaux et fécaux) et de coliformes (totaux et fécaux) avec des quantités considérables. Les staphylocoques sont présents avec des quantités faibles et l'on note enfin une absence totale des Clostridium sulfite réducteurs (**tableau 13**).

La réutilisation des eaux épurées est essentiellement liée à la qualité microbiologique des eaux. Nos analyses des EUE montrent que le nombre de coliformes fécaux trouvé paraît très élevé à la norme de réutilisation de l'EUE dans le domaine de l'arrosage des arbres en fonction des directives de l'OMS (1989) (catégorie B) et des

normes algériennes qui les limitent à 10^3 coliformes fécaux par 100ml. Il est important de signaler cependant que nous n'avons pu réaliser qu'une seule analyse de ce paramètre de pollution ; il est donc difficile de juger de la fiabilité du nombre trouvé pour se prononcer de manière scientifique sur la possibilité de réutilisation des eaux. Par ailleurs, les analyses de parasitologie n'ont pu se faire à cause de l'absence de moyens.

Tableau 13 : Résultats des analyses bactériologiques

Bactérie	Dénombrement
coliformes totaux	11.10^6
coliformes fécaux	3.10^6
staphylocoques	1.10
streptocoques totaux	15.10^4
streptocoques fécaux	15.10^4
<i>Escherichia coli</i>	Présence
Clostridium sulfite réducteurs	Absence

En définitif et en fonction des directives de l'OMS et des normes algériennes, les analyses physico-chimiques que microbiologiques attestent d'une qualité médiocre de l'eau usée épurée au niveau de la STEP de Ouargla.

V-2 Caractérisation du sol

V-2-1 Caractéristiques du sol avant irrigation (sol nu)

La caractérisation du sol est basée sur la description des profils sur le terrain. A l'œil nu on a prouvé que le sol est composé par trois horizons, de ce fait on a prélevé des échantillons pour chaque horizon afin de les analyser.

V-2-1-1 Situation du sol étudié

- Date de prélèvement et de description : 05/03/2013
- Topographie : pente très faible
- Situation : STEP
- Temps : Ensoleillé
- Végétation : inexistante
- Aspect de la surface : sol nu avec sable dunaire
- Occupation du sol : sol nu sans végétation
- La saison d'étude : hivernal

❖ Profil (1)

Horizon H1 (0-09 cm) : à l'état humide la couleur 7,5 YR 8/4 (pink), moyenne effervescence à l'HCl, existence d'éléments grossiers, pas de racines ; activité biologique non décelable et une transition nette, texture sableuse, friable et peu de cailloux.

Horizon H2 (09-67cm) : à l'état humide la couleur 7,5 YR 8/4 (pink), pas d'effervescence à l'HCl, existence d'éléments grossiers, pas de racines ; activité biologique non décelable et une transition nette, texture sableuse et faible argile, friable et peu de cailloux.

Horizon H3 (67-100cm) : à l'état humide la couleur 5 YR 6/8 (redish yellow), faible effervescence à l'HCl, existence d'éléments grossiers, pas de racines ; activité biologique non décelable et une transition nette, texture sableuse et faible argile, friable et sans cailloux.

❖ Profil (2)

Horizon H1 (0-07 cm) : à l'état humide la couleur 7,5 YR 7/6 (redish yellow), moyenne effervescence à l'HCl, existence d'éléments grossiers, pas de racines et de matières organiques, texture sableuse, friable et peu de cailloux, transition nette.

Horizon H2 (07-35cm) : à l'état humide la couleur 7,5 YR 8/4 (pink), pas d'effervescence à l'HCl, existence d'éléments grossiers, pas de racines ; activité biologique non décelable et une transition nette, texture sableuse et faible argile, friable et peu de cailloux.

Horizon H3 (35-100 cm) : à l'état humide la couleur 5 YR 6/8 (redish yellow), faible effervescence à l'HCl, existence d'éléments grossiers, pas de racines ; activité biologique non décelable et une transition nette, texture sableuse et faible argile, friable et peu de cailloux.

Les résultats des analyses physico-chimiques sont résumés dans le tableau 14 :

Tableau 14 : Tableau récapitulatif des résultats des analyses physico-chimiques des deux profils du sol avant la mise en place des cultures.

Caractéristiques		Profil 01			Profil 02		
		Horizons (cm)			Horizons (cm)		
		H 1	H 2	H 3	H 1	H 2	H 3
		0 – 09	09-67	67 – 100	0 – 07	07-35	35- 100
Granulométrie (%)	S. t. g	7,5	4,9	1,9	0,9	1,9	2,6
	S. g	8,7	6,5	6,1	1,2	3,5	4,7
	S. m	28	19,4	37,4	34,7	36,2	20,4
	S. f	38,7	56,1	49,6	51,2	42,2	53,3
	S. t. f	13,1	11,3	4,7	11,6	13,1	18
	L+A	2,6	0,2	0,5	0,4	3,1	0,7
Classe texturale		Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse
Calcaire total (%)		4,82	0,75	0,7	1,68	0,65	19,35
Gypse (%)		81,93	13,25	4,82	49,15	44,07	6,78
pH _{eau} (1/2,5)		7,51	7,4	7,25	7,52	7,4	7,33
pH _{KCL}		7,02	7,36	7,06	7,02	7,02	6,96
C.E (dS /m) (1/5)		3,14	2,93	1,9	4,8	2,54	1,94
Bilan ionique de l'extrait aqueux 1/5 (meq /l)	Cl ⁻	19,1	12,1	4,53	20,62	10,1	6,1
	HCO ₃ ⁻	1,03	0,9	0,1	1,18	1	0,9
	SO ₄ ²⁻	12,4	5,1	5,55	15,1	7,33	7,8
	Faciès des anions ⁽¹⁾	Chloruré	Chloruré	Sulfaté	Chloruré	Chloruré	Sulfaté
	Na ⁺ +K ⁺	28,01	13	5,68	33,33	15,16	6,2
	Ca ²⁺	4,2	3,1	6,1	3,1	3,2	6,8
	Mg ²⁺	1,33	1,22	1,29	1,22	1,07	0,25
	Faciès des cations	sodique	sodique	Calcique	sodique	sodique	Calcique
SAR à l'extrait 1/5	8,61	5,53	1,26	14,18	6,06	1,28	

S. t. g : Sable très grossiers, S. g : Sable grossiers, S. m : Sable moyen, S. f : Sable fin, S. t. f : Sable très fin, L+A : Limon + Argile.

⁽¹⁾ Le faciès est déterminé par le diagramme de Piper, voir les figures 28 et 33.

D'après les résultats des analyses du sol de **profil1**, le sol présente une texture sableuse, il est peu calcaire ($0,70\% \leq \text{CaCO}_3 \leq 4,82\%$) (BAIZE, 2000), les teneurs en gypse sont faibles à très élevés surtout au niveau de l'horizon de surface ($4,82\% \leq \text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O} \leq 81,93\%$). Au niveau du **profil 2** on a constaté que le sol a une texture sableuse, il est non calcaire à modérément calcaire ($0,65\% \leq \text{CaCO}_3 \leq 19,35\%$) (BAIZE, 2000), il est légèrement à extrêmement gypseux ($6,78\% \leq \text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O} \leq 49,15\%$).

On remarque que le pH pour les deux profils est alcalin (SOLTNER, 1989). Pour le premier profil (**pH P1**) (figure 23), il varie inversement avec la profondeur de la neutralité à l'alcalinité ($7,25 \leq \text{pH} \leq 7,51$) (CRAAQ, 2005) (annexe 3). La même chose pour le deuxième profil (**pH P2**), il varie inversement avec la profondeur, de la neutralité à l'alcalinité ($7,33 \leq \text{pH} \leq 7,52$) (CRAAQ, 2005).

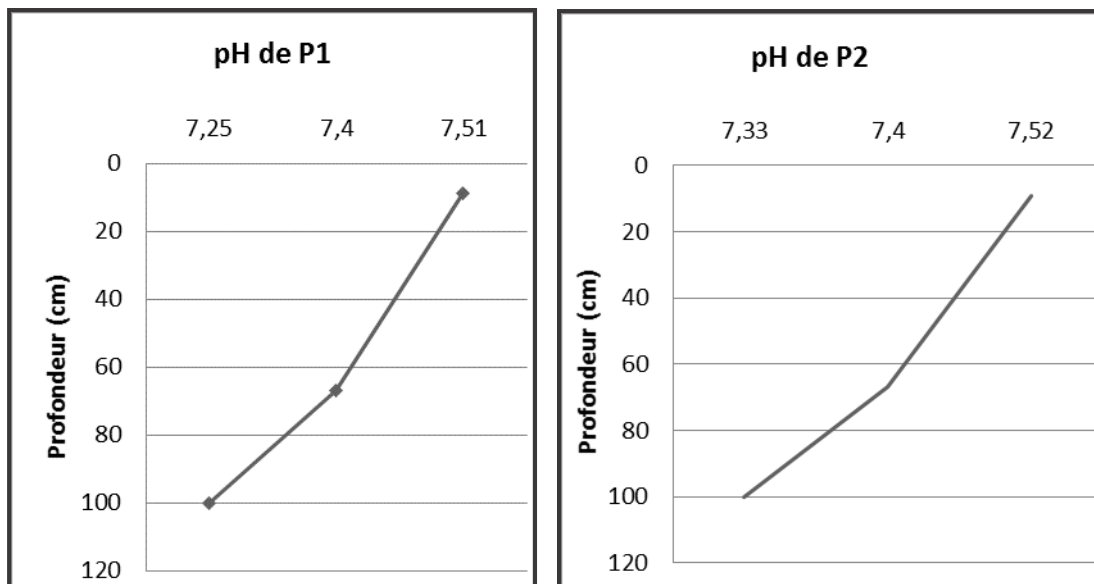


Figure 23: Le pH en fonction de la profondeur pour les deux profils.

Les valeurs de la conductivité électrique du premier profil sont élevées ($1,9 \text{ ds/m} \leq \text{CE} \leq 3,14 \text{ ds/m}$), ce qui atteste que le sol du bloc étudié est un sol très salé à extrêmement salé (AUBERT, 1978) ; il en est de même pour le deuxième profil où la conductivité électrique se situe dans les mêmes proportions ($1,94 \text{ ds/m} \leq \text{CE} \leq 4,8 \text{ ds/m}$). Par ailleurs, l'on constate que la CE des deux profils varie inversement avec la profondeur et suit la même allure que le pH (figure 24).

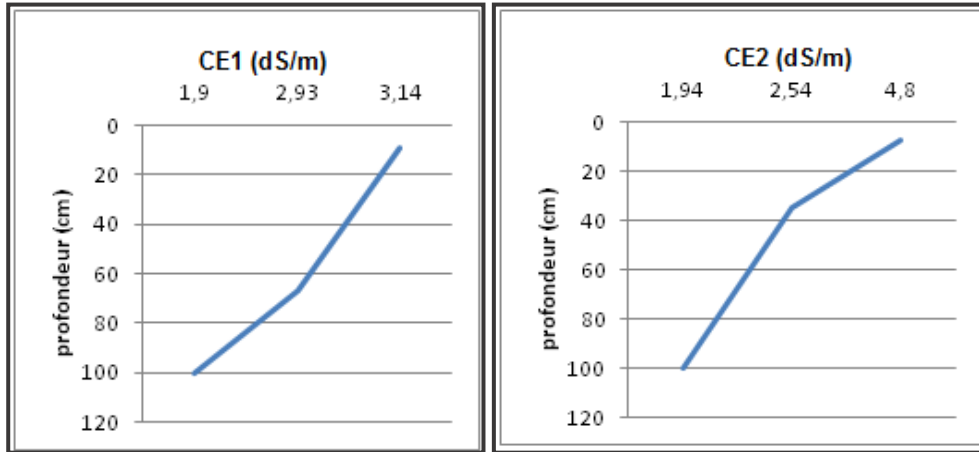


Figure 24: Profils salins des sols étudiés.

V-2-1-2 Bilan ionique du profil (1)

Afin de déterminer les sels dominants dans le sol responsables de la salinité, nous avons dosé les éléments majeurs qui se trouvent dans les extraits aqueux (1/5) des sols étudiés.

Les résultats indiquent une dominance des ions Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et Ca^{+2} quelque soit l'horizon étudié ; ils varient de 25 à 42% pour le sodium, de 20 à 34% pour les chlorures, de 14 à 24% pour les sulfates et de 6 à 27% pour le calcium (les autres ions présentent des concentrations très faibles (**figures 25,26 et 27**)).

L'ordre décroissant des principaux ions dans les horizons pour le profil (1) est le suivant :

Horizons 1 et 2 : $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++}$ et $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^-$

Horizon 3 : $\text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++}$ et $\text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$

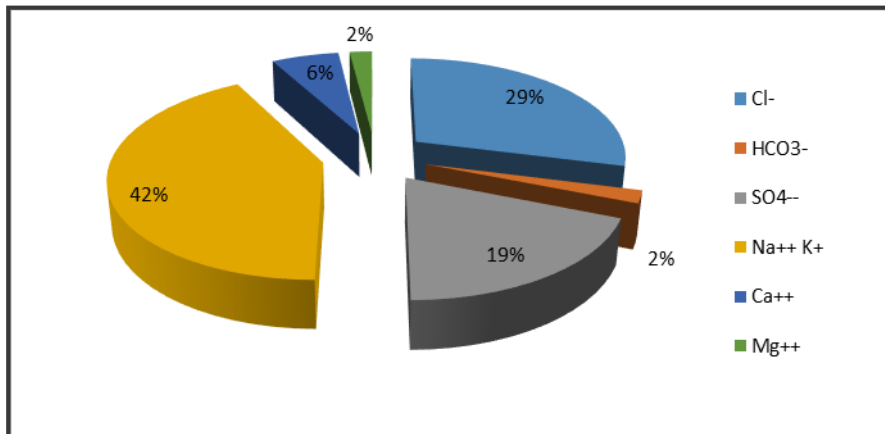


Figure 25: Répartition des ions dans le profil 1 (horizon 1).

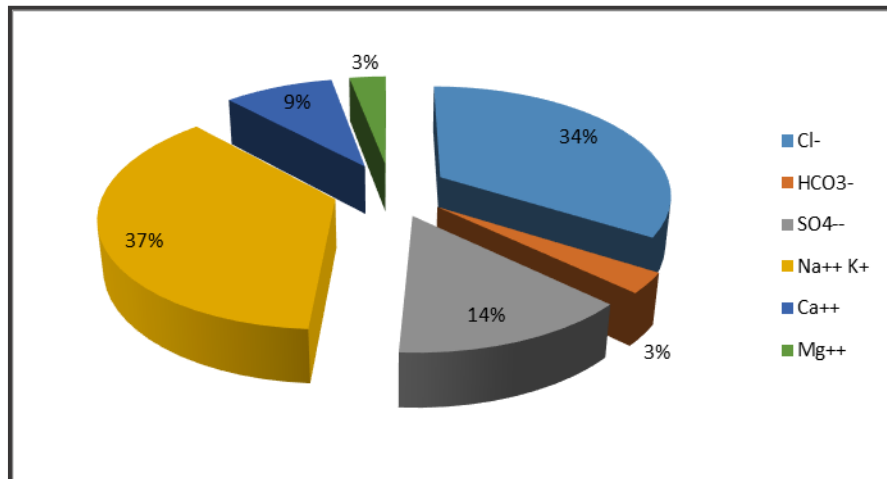


Figure 26: Répartition des ions dans le profil 1 (horizon 2).

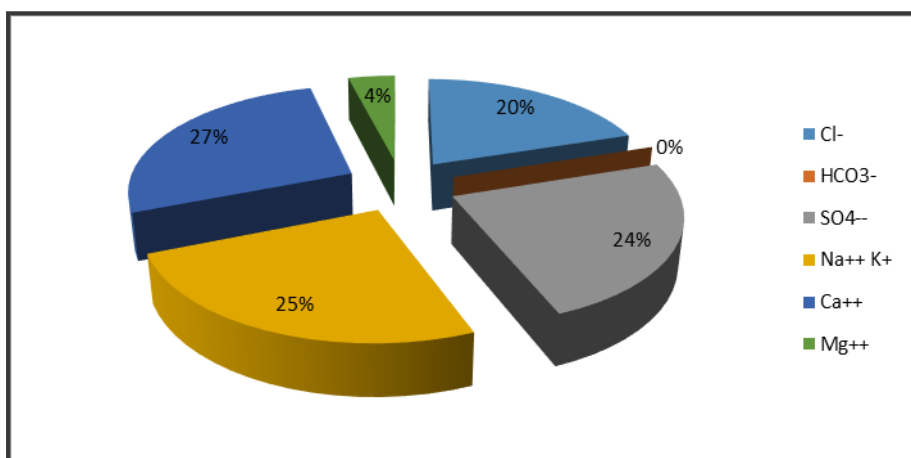


Figure 27 : Répartition des ions dans le profil 1 (horizon 3).

Le faciès chimique du profil (1) est comme suit : pour les horizons H1 et H2 chloruré sodique et différent pour H3 de type sulfaté calcique (**figure 28**).

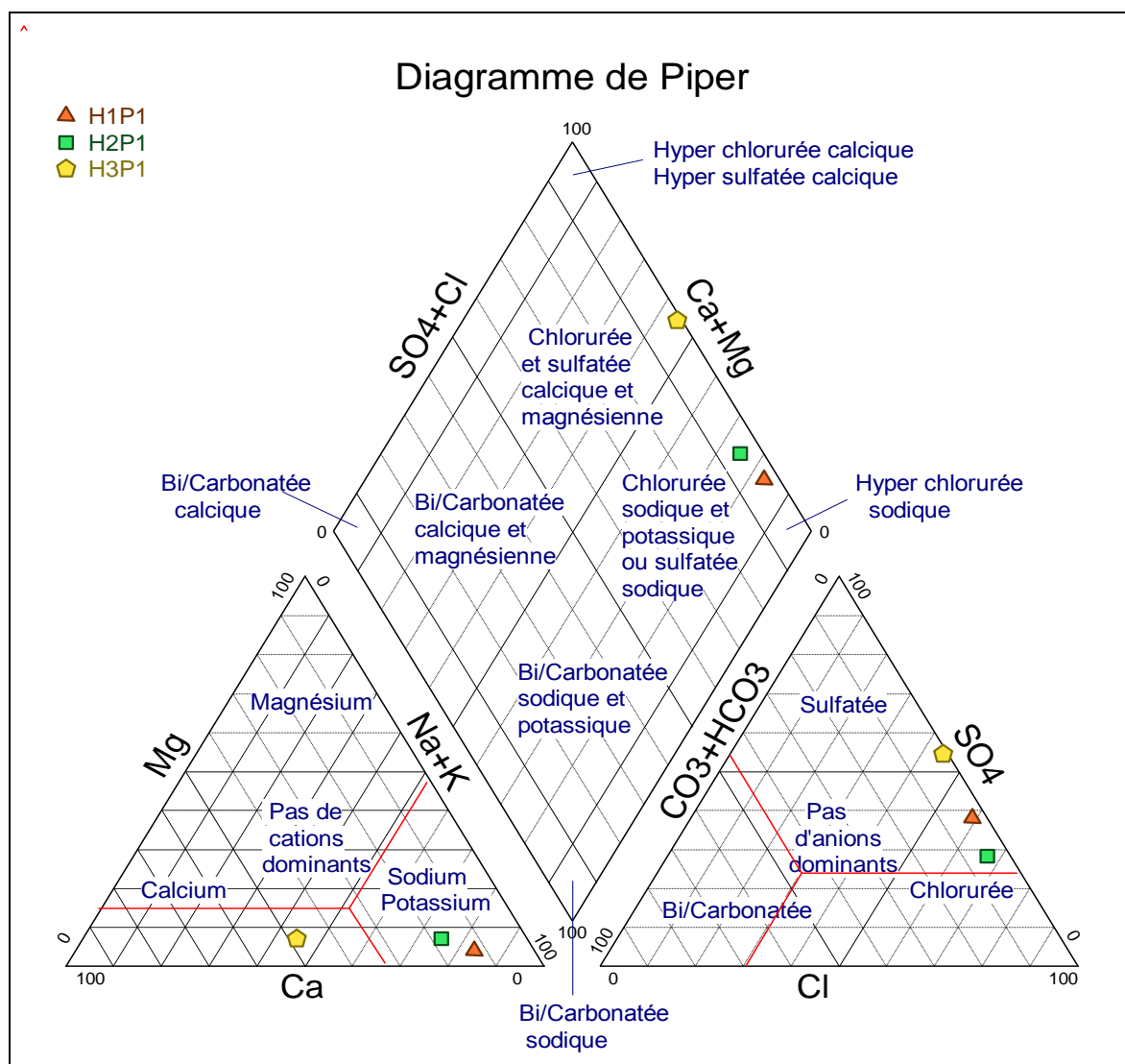


Figure 28: Diagramme de Piper pour le premier profil (avant l'irrigation)².

En fonction des valeurs du SAR du **profil 1** comprises entre $1,26 \leq SAR \leq 8,61$ (**figure 29**), nous pouvons conclure à l'absence du risque d'alcalinisation au niveau de l'horizon inférieur ($SAR < 4$) contrairement aux horizons supérieurs qui présentent une alcalinisation moyenne, cependant (**SERVANT, 1975**).

⁽²⁾ H : horizon, P : profil

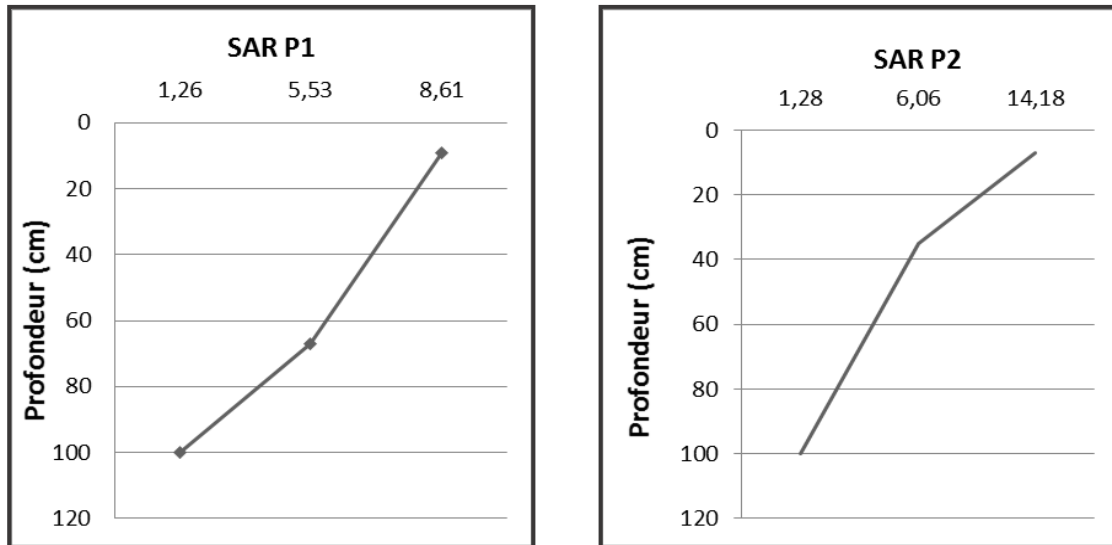


Figure 29: Le SAR de l'extrait (1/5) en fonction de profondeur pour les deux profils.

V-2-1-3 Bilan ionique du profil (2)

Les résultats obtenus au niveau du profil 2 indiquent une dominance de concentration des ions Cl^- , SO_4^{--} et Na^+ (**figures 30,31 et 32**) dans les deux horizons de surface (zone d'accumulation des sels) ; ils varient de 22 à 45% pour le sodium, de 22 à 28% pour les chlorures et de 19 à 28% pour les sulfates. Par contre, les ions Ca^{++} et SO_4^{--} sont beaucoup plus élevés dans l'horizon 3 du fait d'une probable dissolution de gypse. Les ions HCO_3^- , K^+ et Mg^{++} sont présents dans de très faibles concentrations.

L'ordre décroissant des principaux ions dans le profil 2 est comme suit :

- Horizons 1 et 2 : $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++}$ et $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^-$
- Horizon 3 : $\text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++}$ et $\text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$

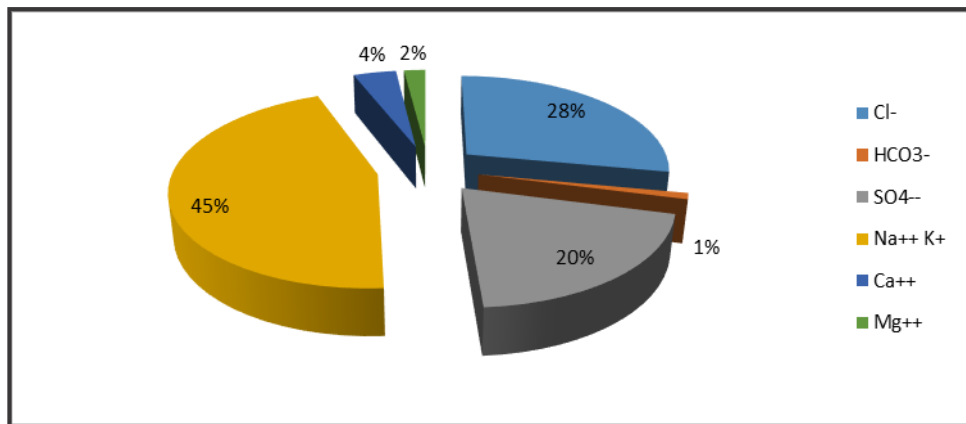


Figure 30 : Répartition des ions dans le profil 2 (horizon 1).

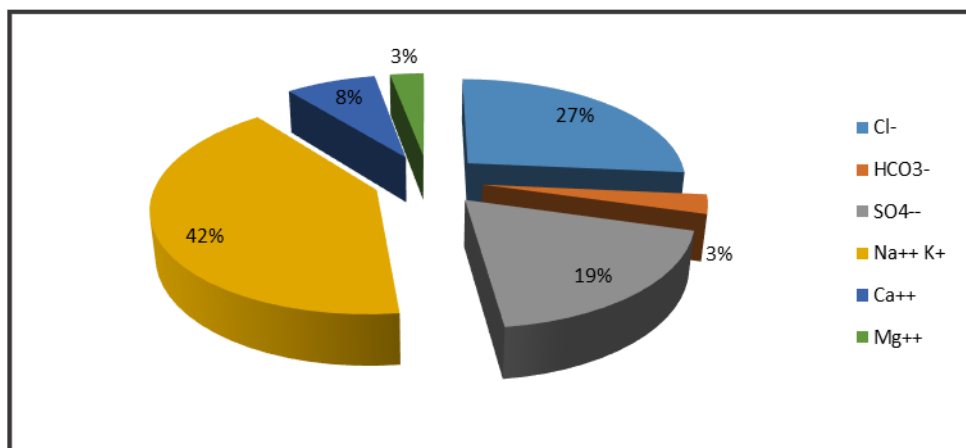


Figure 31: Répartition des ions dans le profil 2 (horizon 2).

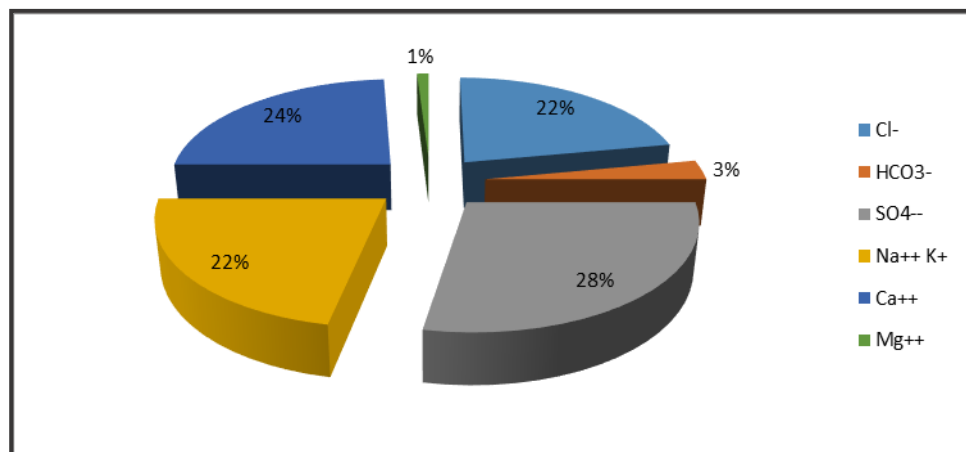


Figure 32 : Répartition des ions dans le profil 2 (horizon 3).

Le faciès chimique du deuxième profil est comme suit : chloruré sodique H1 et H2 et sulfaté calcique pour H3 (**figure 33**).

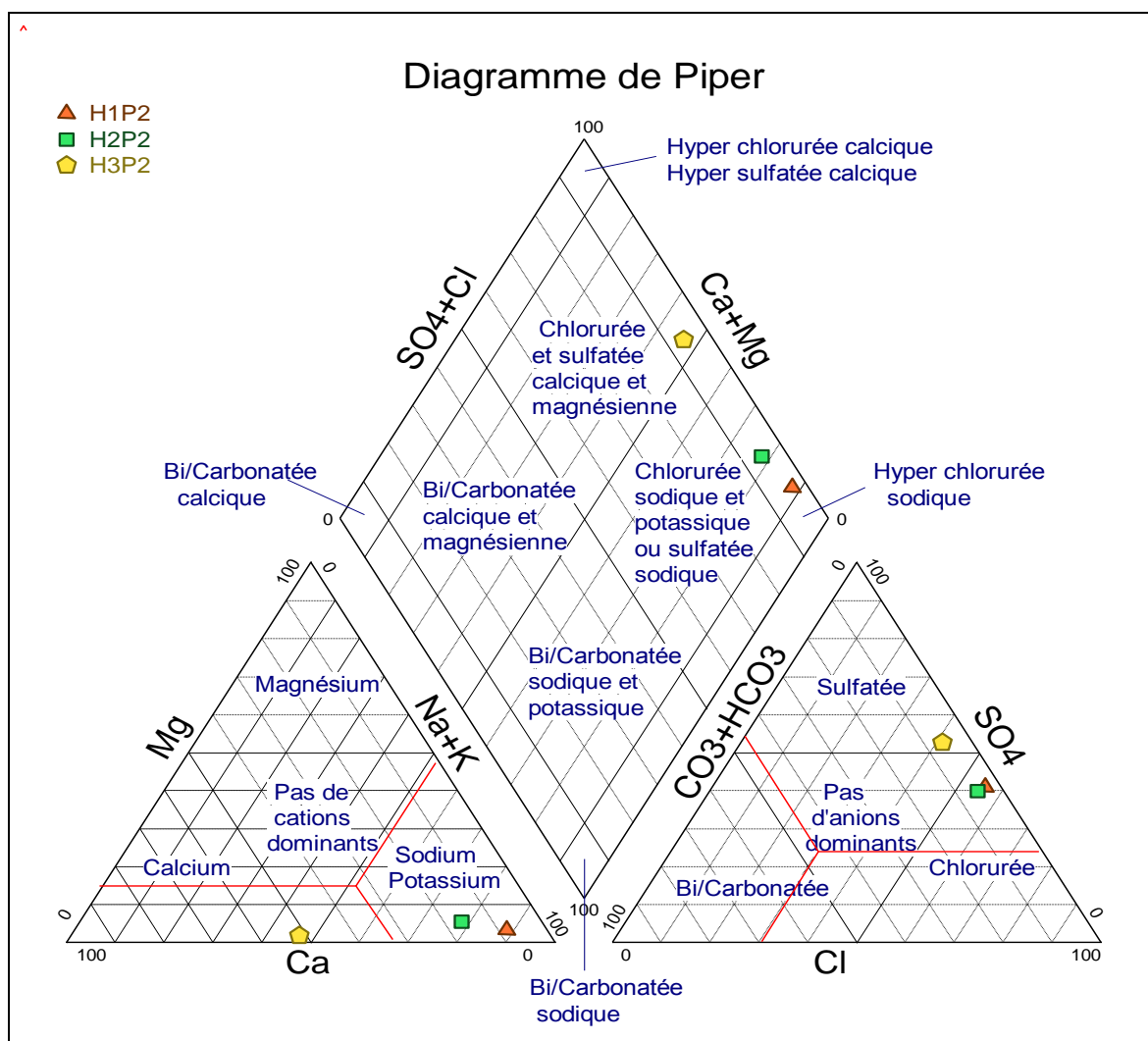


Figure 33 : Diagramme de Piper de deuxième profil (avant l'irrigation).

Les valeurs du SAR comprises entre $1,28 \leq SAR \leq 14,18$ indiquent une évolution inversement proportionnelle avec la profondeur (**figure 29**) : le degré d'alcalinisation est plus important au niveau des couches superficielles.

Ce constat est le même pour les deux profils ce qui indique par conséquent que le sol de la zone d'étude présente une salinisation intense au niveau essentiellement de l'horizon de surface. Cette salinisation est due au phénomène de remontée capillaire de l'eau : quand la nappe est salée, du sel se déposera en surface, ce phénomène étant accentué par la thermodialyse (**DURAND, 1983**).

La distribution des sels dans les deux profils (similaires par ailleurs) indique un profil salin de **type A³** (SERVANT, 1976 ; SERVANT, 1978).

Enfin, l'étude analytique des deux profils représentatifs de la parcelle indique globalement un sol homogène particulièrement dans sa couche arable.

V-2-2 Caractérisation du sol après irrigation

Cette partie est consacrée à l'étude de l'impact des eaux d'irrigation sur les caractéristiques physico-chimiques du sol sur les 30 premiers centimètres du sol; elle est basée sur la comparaison des différents paramètres étudiés du sol irrigué avec les eaux usées épurées par rapport au témoin (sol irrigué avec l'eau de forage). Les analyses ont été effectuées sur l'extrait aqueux (1/5), sauf le pH sur l'extrait aqueux (1/2,5).

Les résultats obtenus (**tableau 15**) indiquent un sol extrêmement salé (AUBERT, 1978) ; la CE du sol irrigué avec l'EUE est plus élevée par rapport à celle du sol irrigué par l'EF. Cette différence est la conséquence directe de la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation où celle de l'EUE est plus chargée en sels solubles. Contrairement à la CE, l'incidence sur le pH est négligeable. Les résultats obtenus à travers d'autres travaux de recherche (INSID, 2013 et BOUHANA, 2014) attestent pour le premier d'une différence non significative en matière de CE et pH (horizon 30-60 cm) et pour le deuxième, d'une diminution du pH du sol irrigué par les EUE.

Tableau 15: caractérisation physico-chimique du sol après l'irrigation.

	CE (dS/m) à 25°C	SAR	pH	calcaire total %	Anions solubles (méq/l)			Cations solubles (méq/l)			
					Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
sol irrigué par EUE	7,61	0,15	7,21	0,78	13	0,87	18,54	2,9	0,26	25,6	2,63
sol irrigué par EF	6,80	0,09	7,30	0,73	15	0,51	14,58	2,4	0,26	24,6	4,25

En définitif, l'irrigation a entraîné automatiquement une augmentation très significative de la CE du sol (plus de 100%) et que celle-ci est plus prononcée devant la mobilisation des EUE pour l'irrigation (voir **tableau 14**). Cette salinisation est le concours conjugué de l'apport des sels par l'eau d'irrigation (salinisation secondaire) et le

⁽³⁾ Profil salin de **type A** est caractérisé par une salinité ascendante, le maximum de salinité se situant dans les 10 ou 20 cm superficiels avec des valeurs très élevées par rapport aux horizons sous-jacents. Ce profil est typique pendant la saison sèche et parfois pendant la plus grande partie de l'année surtout dans des sols nus ou à faible recouvrement végétal. Cette classe de sol est bien exprimée dans le cas des textures limoneuses ou limono-sableuses avec des efflorescences salines en surface.

transfert ascendant des sels vers la surface durant la période estivale où la demande climatique est très importante.

V-2-2-1 Bilans ioniques des sols irrigués

L'impact des deux types d'eau d'irrigation (EUE et EF) sur la composition chimique du sol est analysé à travers les bilans ioniques ci-après (**figure 34**) ; il est fait une étude comparative entre le sol arrosé par l'EUE avec celui arrosé avec l'EF d'une part, et d'autre part ceux-ci par rapport au sol nu (avant l'irrigation).

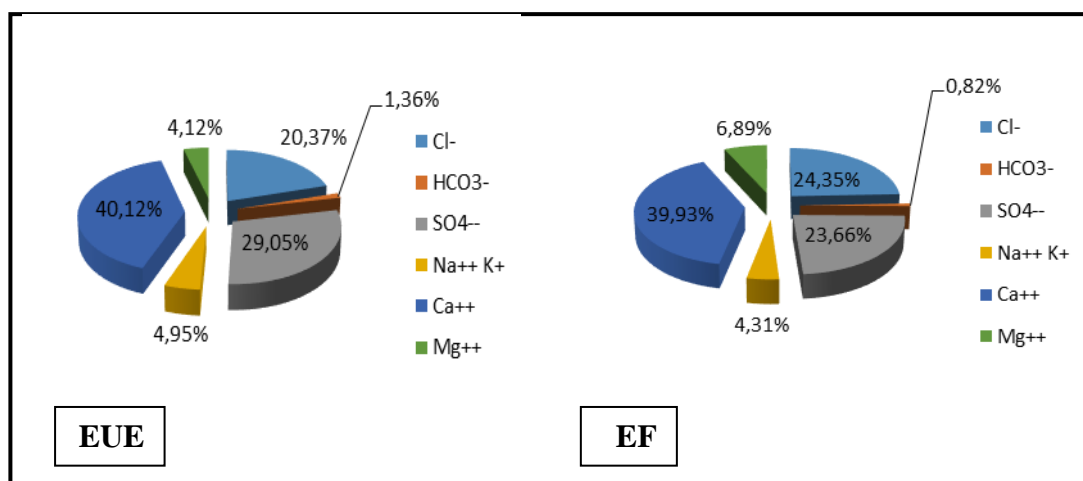


Figure 34 : Répartition des ions dans le sol de la parcelle étudiée, irriguée par l'EUE et l'EF.

L'ordre décroissant de dominance des ions solubles dans le sol irrigué avec l'EUE est comme suit :

- Pour les anions : $SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^-$
- Pour les cations : $Ca^{++} > Na^+ + K^+ > Mg^{++}$

L'ordre décroissant de dominance des ions solubles dans le sol irrigué avec l'EF est comme suit :

- Pour les anions : $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$
- Pour les cations : $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ + K^+$

Le faciès chimique du sol irrigué par l'EUE est sulfaté calcique par contre, celui qui est irrigué par l'EF est chloruré calcique (**figure 35**) ; l'irrigation a engendré une modification de ce faciès auparavant chloruré sodique (horizon H1).

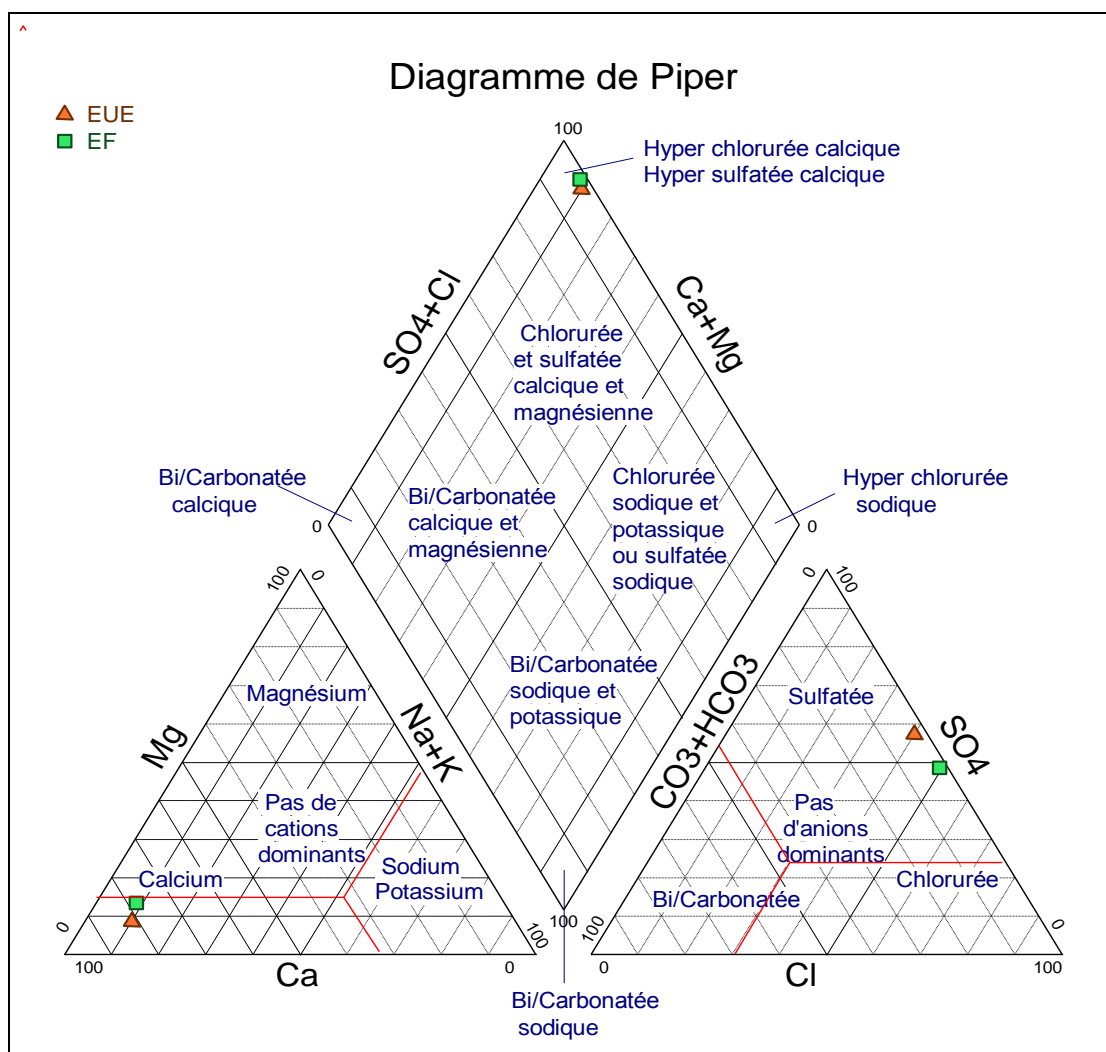


Figure 35 : Diagramme de Piper pour les deux blocs (après l'irrigation).

V-2-2-2 Comparaison des bilans ioniques des sols étudiés

Cette comparaison est faite à partir du **tableau 15** ; à court terme, nous notons une différence significative entre les deux traitements pour le sodium (associé au potassium) au profit de l'EUE soit 3,16 contre 2,66 méq/l. il en est de même pour les sulfates soit 18,54 contre 14,58 méq/l et inversement pour le magnésium soit 2,63 contre 4,25 meq/l.

Pour les autres ions, essentiellement le calcium et les chlorures, nous remarquons une différence négligeable entre les deux traitements.

V-2-2-3 Impact des eaux d’irrigation sur le sol

V-2-2-3-1 Sol irrigué par l’eau usée traitée

Les résultats d’analyses physico-chimiques des échantillons du sol avant et après l’irrigation par l’EUE sont synthétisés dans le **tableau 16**.

Tableau 16 : Résultats d’analyses physico-chimiques du sol (P1H1) avant et après irrigation avec l’eau usée traitée.

	CE (dS/m) à 25°C	SAR	pH	les anions (még/l)			les cations (még/l)		
				Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Na ⁺ +K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Eau Usée Epurée	13,51	9,37	7,3	106	9	11,31	113,74	12,06	1,95
Sol nu (profil 1 H1)	3,14	8,69	7,51	19,1	1,03	12,4	28,27	4,2	1,33
Sol irrigué par EUE	7,61	0,12	7,21	13	0,87	18,54	3,16	25,6	2,63

Les résultats obtenus attestent principalement d’une augmentation très significative de la conductivité électrique passant de 3,14 à 7,61 dS/m dans le bloc irrigué par l’eau usée traitée d’où une amplification de la salinité du sol. La très forte diminution du SAR est le fruit d’une irrigation soutenue ayant engendré une dissolution de NaCl (sel à forte solubilité) et l’entraînement en profondeur des ions Na⁺ et Cl⁻ ; parallèlement, le sol s’est enrichi en calcium, magnésium et sulfates qui constituent des éléments à même de composer des sels à faible solubilité comme CaSO₄ et MgSO₄ (**figure 36**).

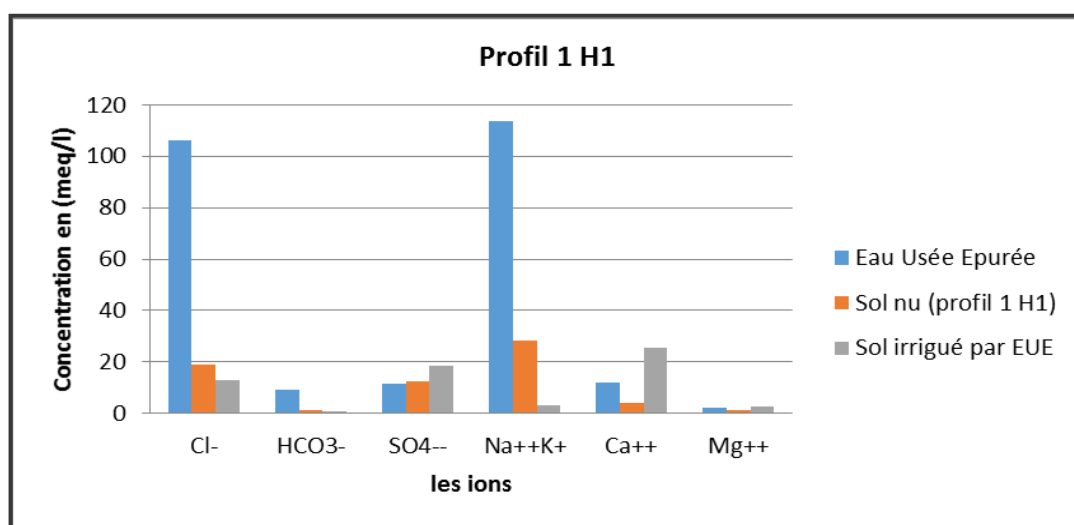


Figure 36 : Répartition des ions dans l’eau usée épurée, sol irrigué par cette eau et sol nu.

V-2-2-3-2 Sol irrigué par l'eau de forage

Les résultats d'analyses physico-chimiques des échantillons du sol avant et après l'irrigation par l'eau de forage sont synthétisés dans le **tableau 17**.

Tableau 17: Résultats d'analyses physico-chimiques obtenus du sol (P2 H1) avant et après l'irrigation par l'eau de forage.

	CE (dS/m) à 25°C	SAR	pH	Anions solubles (méq/l)			Cations solubles (méq/l)		
				Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Na ⁺ +K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Eau de forage	2,49	1,58	7,87	11,97	2,95	3,25	11,79	7,28	2,05
Sol nu (profil 2 H1)	4,8	13,33	7,52	20,62	1,18	15,10	33,33	3,1	1,22
Sol irrigué par EF	6,8	0,10	7,3	15	0,51	14,58	2,66	24,6	4,25

Comme dans le cas du sol irrigué par les eaux usées épurées, les résultats obtenus à partir de l'irrigation du sol par l'eau de forage (quoique les chiffres sont différents) de la même tendance de changement des propriétés chimiques du sol après irrigation. Nous soulignons l'augmentation de la salinité du sol à travers l'augmentation de la CE et la très forte diminution du SAR avec une diminution plus prononcée du sodium par rapport aux chlorures. Le sol s'est enrichi très fortement en calcium, significativement en magnésium et une stagnation en sulfates. Cela suppose qu'il y a des sels solubles tels que la NaCl et probablement d'autres sels CaCl₂, CaSO₄ à faible solubilité (**figure 37**).

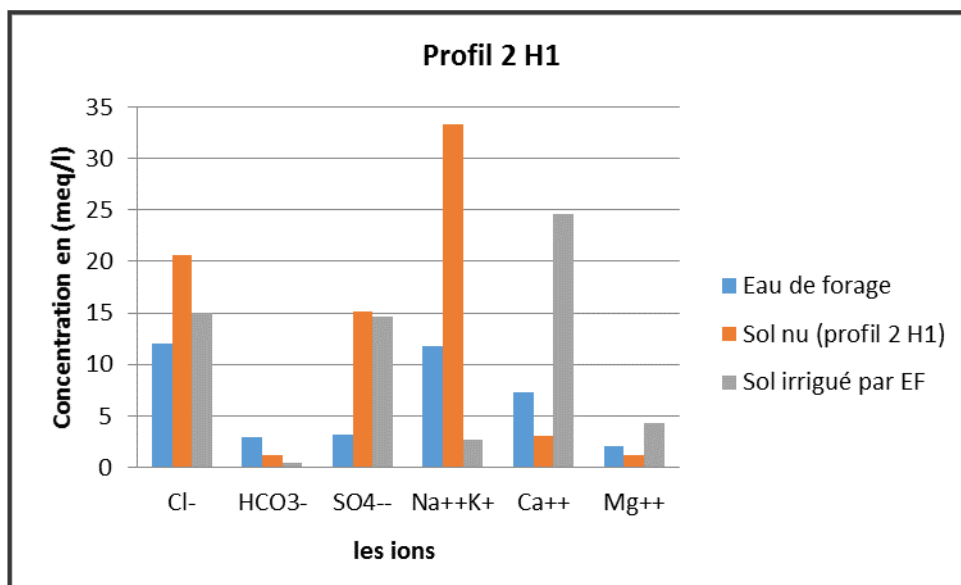


Figure 37 : Répartition des ions dans l'eau de forage, sol irrigué par cette eau et sol nu.

V-3 Matériel végétal

V-3-1 Calendrier d'arrosage

Les besoins en eau d'une culture sont calculés par la relation $ETm = ETP \cdot Kc$

Pour nos calculs, nous prenons la valeur de l'ETP calculée par la formule de Penman, ce qui nous donne pour le mois de pointe (juillet) :

$$ETm = 284,9 \times 0,90 = 256,41 \text{ mm.}$$

D'après (SOLTNER, 2005), **RFU en mm d'eau: $3 \times Da \times He \times P$**

Les données pour notre sol sont : Da :1,32 ; He :15,75% et P :30 cm

$$\text{RFU} = 3 \times 1,32 \times 15,75 \times 0,3 = 18,71 \text{ mm}$$

Donc la dose pratique d'arrosage (**D**) est égale à 18,71 mm soit 187,1 m³/ha. Cette quantité d'eau apportée est estimée dans 1m², donc on doit l'ajuster à la fosse de la plante. La superficie à irriguer pour chaque arbre correspond à **S= 0,5X0,5**

$$\text{D} = 18,71 \times 0,25 \text{ soit } 4,67 \text{ l}$$

Calcul de la fréquence d'arrosage :

$$N = \frac{ETM}{RFU} \text{ soit } N = \frac{256,41}{18,71} \text{ soit } N = 13,70$$

Soit une fréquence de 14 et par conséquent un intervalle d'irrigation T égal à :

$$T = \frac{31}{14} = 2,21$$

On devrait irriguer au mois de pointe (juillet) tous les deux jours.

Étant donné que la dose à appliquer est fixe, et que les besoins sont très variables d'un mois à l'autre, il est donc normal que la fréquence d'irrigation soit plus importante pendant les périodes de forte demande, c'est-à-dire entre le mois de mai et le mois de septembre (**tableau 18**).

Tableau 18 : doses et fréquences durant toute la période expérimentale.

	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre
Dose/j (l) ⁽¹⁾	4,57	4,57	4,57	4,57	4,57	4,57
T (intervalle entre deux arrosages en jours)	3	3	2	2	2	3

(1) Dose d'arrosage pour chaque individu en litre.

V-3-2 Mesures biométriques des plantes

V-3-2-1 Suivi de la croissance en hauteur

Les mesures biométriques sur l'*Acacia farnesiana* durant toute la durée de l'expérimentation montrent deux phases distinctes de croissance des plants (**figure 38**) soit :

- Une première phase sur les 7 premières semaines de suivi après plantation où l'on note une faible croissance pour tous les individus et une différence non significative entre les traitements. Cette phase correspond à une phase d'adaptation des individus à leur nouveau milieu (passage des conditions de la pépinière aux conditions naturelles, particulièrement en ce qui concerne l'exposition au soleil et au vent).
- Une deuxième phase de la 8^{ème} semaine jusqu'à la fin de l'expérimentation où l'effet traitement est significatif : les plants arrosés avec l'EF ont connu un fort le taux de croissance par rapport à ceux irrigués l'EUE. La hauteur moyenne des plants a atteint 106,42 cm pour le premier traitement contre 53,71 cm pour le deuxième soit environ le double de l'un par rapport à l'autre (**photos 16 et 17**). L'analyse statistique par l'ANOVA démontre que la différence en hauteur est significative où ($p = 0,000$) (**annexe 11.1**).

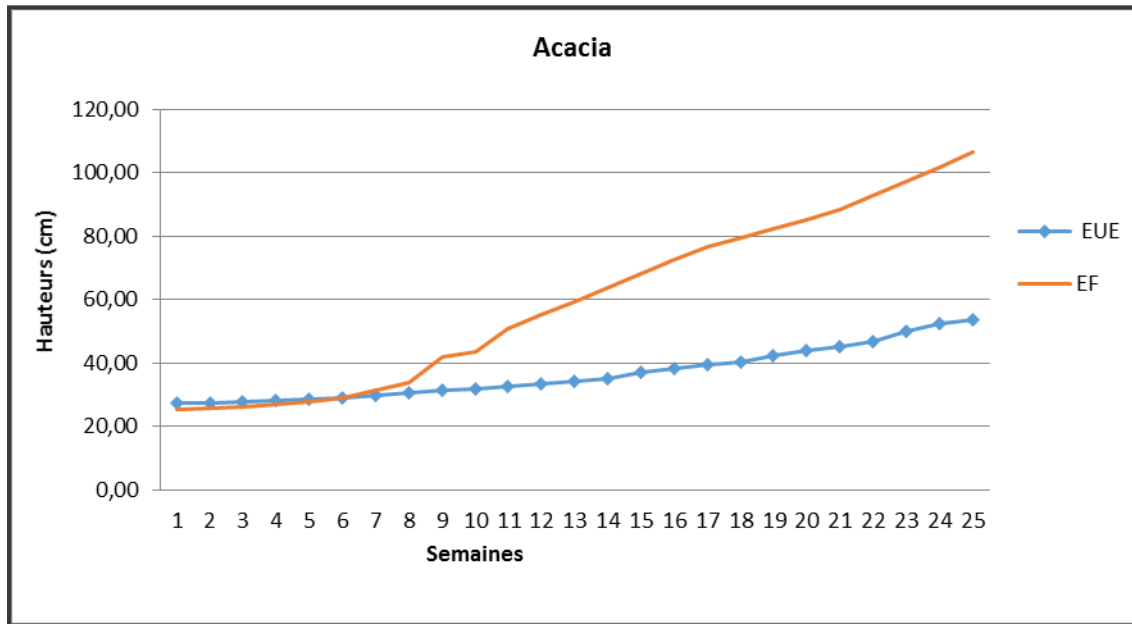


Figure 38 : Courbes de croissance en hauteur d'*Acacia farnesiana*.



Photo 16: Acacia arrosée avec l'EUE.



Photo 17: Acacia arrosée avec l'EF.

Les mesures biométriques sur *Leucaena leucocephala* durant toute la durée de l'expérimentation montrent une seule phase de croissance des plants avec néanmoins une amplification de la différence entre les traitements avec le temps (**figure 39**). A la fin de l'expérimentation, leucaena arrosé avec l'EF a atteint une hauteur moyenne de 86,35 cm contre 59,43 cm pour les plants irrigués par l'EUE (**photos 18 et 19**). L'analyse statistique par l'ANOVA démontre que la différence en hauteur est significative où ($p = 0,001$) (**annexe 11.2**).

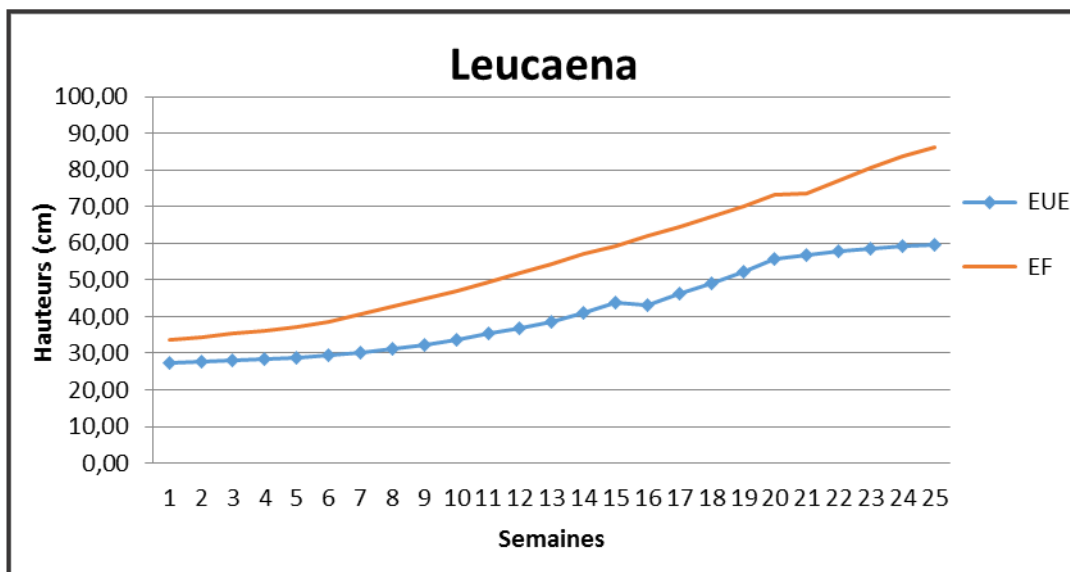


Figure 39 : Courbes de croissance en hauteur de *Leucaena leucocephala*.

En définitif, les plants irrigués avec l'eau de forage ont développé une croissance en hauteur largement supérieure par rapport à ceux soumis à une irrigation par les eaux usées épurées ; *l'Acacia farnesiana* s'est mieux comportée dans nos conditions édapho-climatiques sahariennes par rapport à l'autre essence.



Photo 18: Leucaena arrosé avec l'EUE.



Photo 19: Leucaena arrosé avec l'EF.

V-3-2-2 Suivi de la croissance en diamètre

Les mesures biométriques du diamètre réalisées sur les deux essences durant toute l'expérimentation au même titre que la hauteur des plants ont confirmé l'effet bénéfique de l'irrigation par l'eau de forage par rapport à l'irrigation par les eaux usées épurées.

Pour l'*Acacia farnesiana* (**figure 40**) on retrouve la même période d'adaptation des plants puis une différence de plus en plus importante entre les traitements : le diamètre moyen des plants irrigués avec l'EF a atteint 4,53 mm contre 1,95 mm pour les plants irrigués par l'EUE. L'analyse statistique par l'ANOVA démontre que la différence en diamètre est significative où ($p = 0,000$) (**annexe 11.3**).

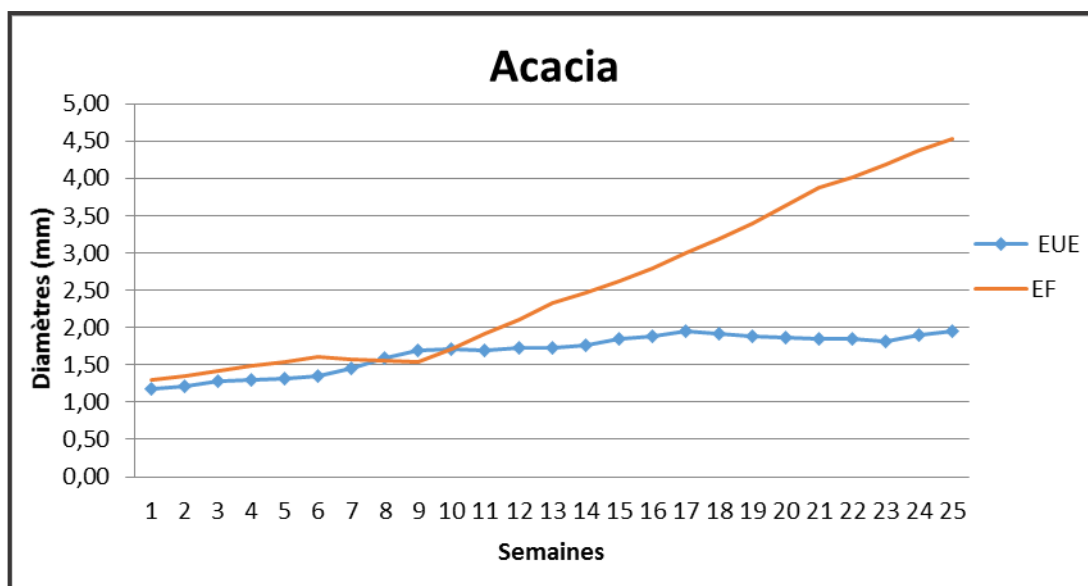


Figure 40: Courbes de croissance en diamètre d'*Acacia farnesiana*.

Pour *Leucaena leucocephala* (figures 41), au-delà de la sixième semaine, la différence de croissance est grandissante jusqu'à la fin de l'expérimentation. En matière d'influence de la qualité des eaux d'irrigation sur le végétal, nous retrouvons la même tendance que pour l'*Acacia farnesiana*. Les plants irrigués avec l'EF ont développé à un diamètre moyen de 4,05 mm contre 2,88 mm pour ceux irrigués avec l'EUE. L'analyse statistique par l'ANOVA démontre que la différence en diamètre est significative où ($p = 0,006$) (annexe 11.4).

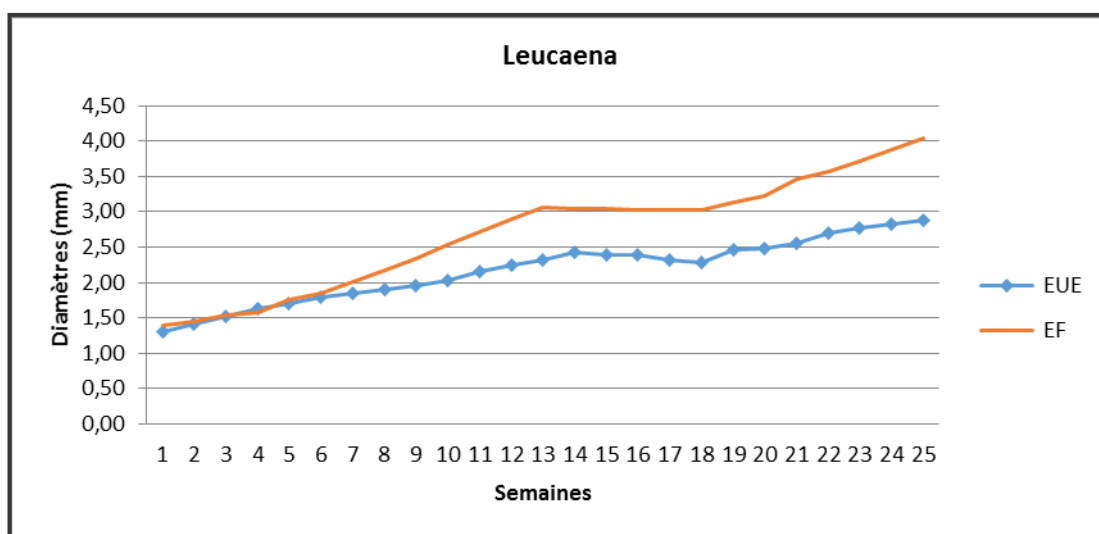


Figure 41: Courbes de croissance en diamètre de *Leucaena leucocephala*.

V-3-2-3 Synthèse de l'effet de la qualité de l'eau sur le végétal

Les résultats obtenus attestent de l'influence de la qualité des eaux d'irrigation sur le développement et la croissance des végétaux dans le cadre de cette expérimentation, il en ressort essentiellement (figures 42 et 43) :

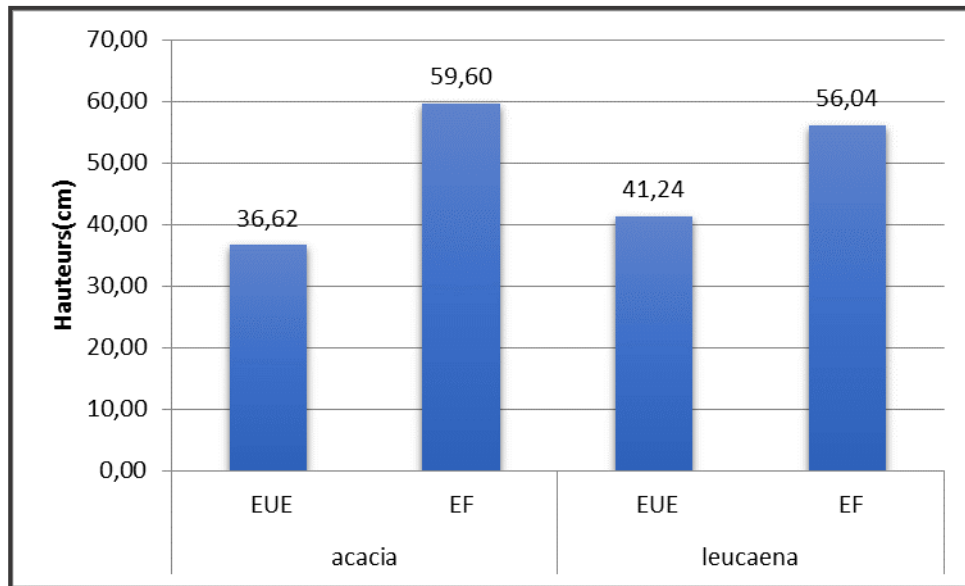


Figure 42: Variation de la hauteur en fonction de la qualité de l'eau utilisée.

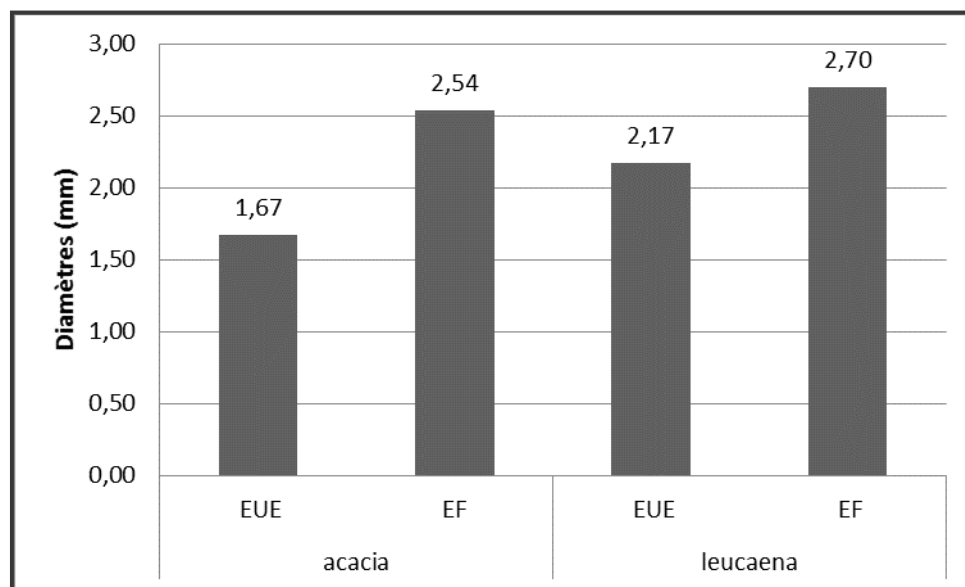


Figure 43: Variation du diamètre en fonction de qualité de l'eau.

- les plants des deux essences irriguées avec l'eau de forage ont connu une croissance (hauteur et diamètre) largement supérieure à ceux irrigués par l'eau usée épurée de la STEP de Ouargla
- en matière de comparaison interspécifique, nous notons un meilleur comportement (hauteur et diamètre) de leucaena par rapport à l'acacia lorsque les essences sont irriguées par l'EUE.
- l'essence qui a présenté une meilleure résistance vis-à-vis des conditions édapho-hydro-climatiques est l'acacia ; ceci est jugé en fonction du nombre d'individus ayant persisté jusqu'à la fin de l'expérience soit :
 - bloc arrosé par l'EF : l'acacia est 75%, leucaena est 70,83%.
 - bloc arrosé par l'EUE : l'acacia est 54,16 %, leucaena est 25%.

Les pertes de plants lors de l'expérimentation sont probablement dues à :

- La fragilité de quelques plants issus de la pépinière puisque l'ensemble n'était pas au même niveau de vigueur ;
- La difficulté d'adaptation vis-à-vis du nouveau milieu qui est caractérisé par des composantes différentes à celles de la pépinière ;
- Les conditions climatiques de milieu saharien qui est caractérisé par une forte température et un régime de vents qui se traduit par des courants chauds et des courants secs (sirocco) dont les couches superficielles peuvent s'échauffer le jour jusqu'à 70°C (**OZENDA, 1977**).
- La présence de vers dans le sol : on a rencontré quelques larves de *Melolontha melolontha* qui ont la faculté de s'attaquer aux racines des plantes.

Par ailleurs, le faible taux de croissance des plants essentiellement ceux irrigués par l'EUE peut s'expliquer par :

- L'eau d'irrigation est une solution de sels qui ont une action sur le sol qui les reçoit et qui peuvent dans les cas extrêmes les stériliser (**DURANT, 1960**) ; plus la conductivité est élevée, plus l'absorption de l'eau par la plante est difficile (**SOLTNER, 2005**) ;
- la présence excessive du chlore dans le sol exerce des effets défavorables sur la végétation et la qualité de certaines cultures. Dans certains cas il devient toxique, du fait qu'on trouve des points avec des teneurs qui

- dépassent largement 10 meq/l représentant le seuil maximum admissible pour les plantes (AYERS & WESTCOT, 1985 ; BRADAÏ *et al.*, (2008) ;
- **FABY & BRISSAUD, (1997)**, estiment que l'augmentation de la salure dans le milieu de culture produit une augmentation du potentiel osmotique de ce milieu. Si la solution interne des plantes reste constante, il s'ensuit une diminution du gradient de potentiel osmotique entre le milieu et la plante d'où une réduction de la disponibilité en eau. En réalité dans une certaine mesure, la plante ajuste la concentration de sa solution interne, quoi que avec un certain retard. Mais cet ajustement, ne peut évidemment pas compenser totalement l'effet de la salinité d'où une réduction de la turgescence des cellules et un retard de croissance.
 - La croissance des plantes est influencée par les effets osmotiques et spécifiques des ions, ainsi que par le déséquilibre ionique. Les effets osmotiques abaissent le potentiel hydrique externe, rendant l'eau moins disponible pour les plantes (**DRECHSEL *et al.*, 2011**).

Enfin, durant l'expérimentation nous avons observé quelques brûlures et chute des feuilles que l'excès de Cl^- et SO_4^{2-} pourraient en être les causes et de ce fait engendrer un ralentissement de croissance ayant des conséquences sur la production et la taille des fruits (**UNESCO, 1957**).

CHAPITRE VI : Perspectives et recommandations

Dans le cadre de la réutilisation des eaux usées épurées des STEP, Nous proposons une démarche à respecter afin de rentabiliser dans le sens large du terme cette eau non conventionnelle.

VI-1 Cadre réglementaire

L'étude de la stratégie de l'Algérie dans le domaine de la réutilisation des eaux usées montre un certain nombre de lacunes. Nos suggestions de mettre le point sur l'acteur « contrôleur» où il a été désigné par la lettre (C) dans la **figure 44**, afin d'élargir le cercle de contrôle de l'utilisation des eaux usées, en impliquant des nouveaux acteurs.

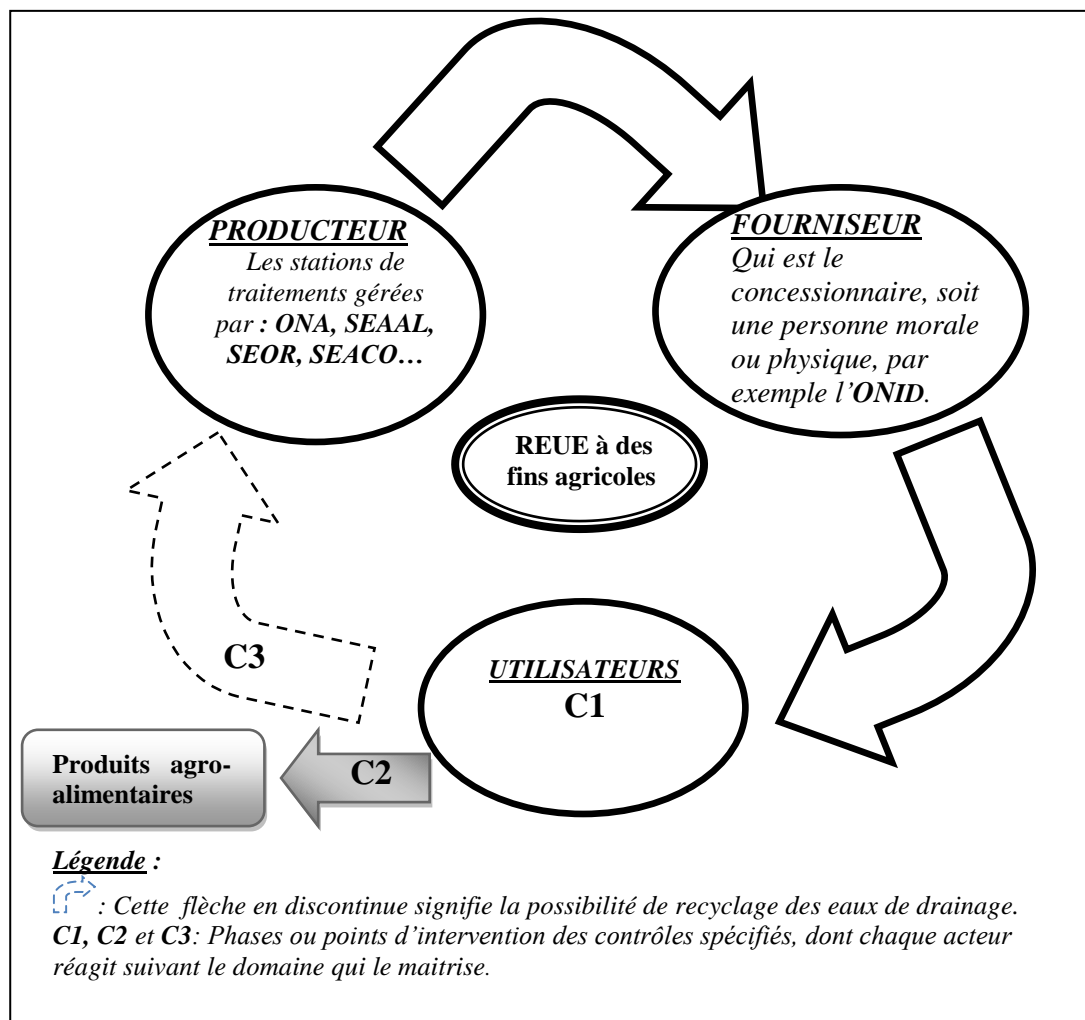


Figure 44 : Schéma proposé des acteurs intégrés dans la gestion de REUE.

Les points d'intervention selon la tâche spécifique de chaque acteur sont intégrés comme suit:

C1 : L'hygiène, l'encadrement et la recherche scientifique

- **Direction de l'environnement** : elle veille à éviter les risques sanitaires dus à la présence de composés chimiques, toxiques ou de germes infectieux.
- **Direction des services agricoles (DSA)** : elle suit le bétail qui s'alimente à partir de fourrages arrosés par l'EUE. Elle veille également à restreindre les cultures arrosées par l'eau usée épurée selon la liste indiquée dans l'article 15 du décret exécutif n°07-149 ;
- **Centres de formation** : Ils organisent avec la DSA et la DSP des séances pour l'encadrement des ouvriers pour assurer une bonne gestion des EUE.
- **CRSTRA, ITDAS, universités et laboratoires de recherches** : Ils se concertent pour faire des essais sur les végétaux ou cultures adaptées aux eaux usées épurées

C2 : Contrôle des produits issus des parcelles arrosées par l'eau recyclée

- **CACQE** : Il assure un contrôle biologique et physico-chimique des produits agricoles irrigués avec les EUE.
- **Inspecteurs de répression des fraudes de la DCW** : durant la commercialisation de ces produits, ils contrôlent leur exposition selon la réglementation en vigueur, à titre d'exemple l'étiquetage, les conditions de stockage, l'état sanitaire, etc.
- **ASSOCIATIONS DE PROTECTION DU CONSOMMATEUR** : Elles veillent à :
 - La sensibilisation du public aux risques sanitaires liés à la réutilisation des eaux usées à travers l'organisation de tournées et d'ateliers de formation et la distribution de prospectus de vulgarisation.
 - L'orientation du consommateur à propos de l'étiquetage et l'exposition de ces produits irrigués avec l'eau traitée.

C3 : Contrôle de l'évolution du sol et de l'eau de la nappe souterraine

- **INSID** : Il évalue la salinisation et l'alcalinisation du sol et contrôle la qualité de l'eau de drainage des parcelles. Il peut également évaluer les possibilités de son recyclage.

- **ANRH** : Il prévient les risques de contamination des eaux de la nappe souterraine et contrôle son niveau.

VI-2 Management des projets de REUE

Le management des projets dans la wilaya de Ouargla montre qu'il y a une défaillance de planification. De ce fait, nous proposons de tenir compte des points suivants :

- Il faut développer l'esprit de groupe et la coopération multidisciplinaire avec l'université et les laboratoires de recherche ;
- La planification doit se faire durant toutes les phases d'élaboration des projets par la coordination avec les structures concernées et la société civile.
- Les projets délicats comme la REUE doivent se baser sur les sondages d'opinions pour connaître l'envie et l'acceptabilité du public aux produits irrigués avec des EUE. Ces sondages doivent toucher toutes les catégories de la société : consommateurs, producteurs, revendeurs, administrations concernées et populations habitant à proximité des périmètres irrigués ;
- L'étude approfondie de l'impact sur l'environnement à long terme ;
- Faire l'analyse économique et financière des projets de REUE pour récupérer les coûts de subvention à long terme.

VI-3 Gestion des EUE de la STEP de Ouargla

- L'utilisation de cette eau à toutes fins agricoles doit prendre en considération sa qualité physico-chimique, notamment :
 - Sa conductivité électrique (CE), qui est remédiable soit par l'ajout de l'eau de forage à l'EUE afin de minimiser sa concentration en sels solubles, soit par le choix des cultures supportant la salinité.
 - Ses matières en suspension (MES), qui engendrent le colmatage du réseau d'irrigation, nécessitent un traitement tertiaire.
- Mettre un plan de suivi des taux de salinité, concentrations des nitrates, phosphates et métaux lourds pour préserver la nappe et le sol contre la pollution;
- Réviser l'installation des périmètres agricole au voisinage du canal à cause du sol (Sebkha) et la remontée saisonnière de la nappe phréatique (risque de l'hydromorphie) ; ce risque pourrait constituer une menace pour

l'infrastructure (effondrement du canal) (**photo 20**). Sinon, il sera nécessaire d'améliorer les aménagements hydro-agricoles actuels en mettant en place un réseau de drainage.



Photo 20 : Remontée de la nappe au voisinage du canal due au manque de drainage.

- Installation d'un laboratoire pour les analyses microbiologiques au sein de la STEP ;
- L'ONA doit exiger un revenu pour couvrir ses dépenses liées au traitement des eaux. De ce fait, il sera utile réviser la décision de gratuité des effluents et fixer un prix symbolique de vente des eaux épurées ;
- Sensibiliser le citoyen via les médias d'utiliser cette eau comme alternative pour préserver nos aquifères non renouvelables ;
- Etudier la possibilité de générer l'énergie électrique par turbinage.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les résultats des investigations réalisées sur le projet de réutilisation des eaux usées épurées auprès des structures concernées et des agriculteurs qui réutilisent actuellement les eaux usées épurées nous mènent à conclure que cette réutilisation ne s'effectue pour l'instant pas dans cadre réglementaire. L'aspect réglementaire du projet de réutilisation des eaux épurées à Ouargla n'a en effet pas pu évoluer, d'une part, à cause de la qualité physico-chimique de l'eau, notamment pour ce qui concerne sa conductivité électrique jugée trop élevée, et d'autre part à cause du retard institutionnel accusé au niveau de l'élaboration de l'arrêté interministériel fixant la liste des laboratoires habilités à effectuer les analyses de qualité des EUE pouvant être utilisées à des fins d'irrigation. Les exploitations agricoles créées actuellement en aval de STEP demeurent par conséquent irriguées illicitement avec les eaux usées épurées à cause la négligence des autorités et l'inconscience des agriculteurs.

Pour l'étude expérimentale, le sol de la parcelle choisie possède une texture sableuse et une CE élevée qui atteint **4,8 dS/m** dans les horizons de surface. Les analyses effectuées sur les eaux d'irrigation démontrent que :

- Les eaux usées épurées de la STEP de Said Otba sont, aussi bien sur le plan bactériologique que sur le plan physico-chimique, non conformes aux normes de la réglementation en vigueur. Ces eaux appartiennent à la dernière classe de Riverside **C5 S4**, avec une CE qui atteint **13,51 dS/m** d'où un risque de salinisation élevé.
- Pour l'eau de forage présente une qualité physico-chimique médiocre à mauvaise avec une CE égale à **2,49 dS/m**. Elle appartient à la classe de Riverside **C4 S2**.

Les résultats de suivi des deux essences expérimentées ont permis de mettre en évidence que l'arrosage des plantes par l'eau usée épurée a un effet moins intéressant par rapport à leur arrosage avec l'eau conventionnelle issue du forage. Malgré ceci, notons que cette étude préliminaire a surtout été réalisée dans le but de mettre en évidence que la réutilisation des effluents traités de la STEP de Said-Otba est possible et permettrait donc dans une certaine mesure d'économiser les eaux de forage, qui sont des eaux fossiles, donc précieuses, pour d'autres usages plus exigeants en qualité, comme les usages domestiques.

Il est cependant important d'envisager l'amélioration de la qualité des eaux épurées en agissant sur le fonctionnement de la station d'épuration.

Pour l'étude d'impact des eaux usées épurées sur les paramètres physico-chimiques du sol, les résultats des deux traitements (EUE et témoins) sont presque similaires du fait de la lixiviation de la plus grande proportion des sels solubles vers les couches profondes avec un risque probable d'enrichissement du sol en sels moins solubles. Cependant, ces résultats sont préliminaires car la durée d'étude a été très courte. Lorsqu'on compare ces résultats avec ceux qui ont été enregistrés avant l'irrigation, essentiellement pour le premier horizon, on remarque qu'il y a une salinisation accrue due vraisemblablement à l'arrosage et à l'effet d'évaporation dans la période estivale qui engendre l'accumulation des sels à la surface.

Des études complémentaires doivent être envisagées, pour la parcelle étudiée, sur des durées plus longues afin d'approfondir les impacts sur le sol et sur la nappe et pour évaluer dans quelle mesure on pourra atténuer les risques sanitaires et environnementaux liés à la réutilisation de ces ressources hydriques de seconde main.

Références bibliographique

1. **ANRH, (2005)**, Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la wilaya de Ouargla, Ouargla, 23p.
2. **ADAMOU A., (2006)**, Contribution à l'étude de l'avifaune de la région de Ouargla, phénologie de la reproduction de l'Echasse blanche (*Himantopus himantopus*) dans le chott Ain El Beida. Mémoire magister Université Kasdi Merbah Ouargla, 117p.
3. **ADEME, (2003)**, Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture "organisation et fonctionnement d'une station d'épuration", Dossier : Assainissement et origines des boues, épandage agricole intérêt agronomique des boues d'épuration, épandage agricole des boues d'épuration et santé publique, Législation, Enjeux de l'épandage agricole), Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie Comité National des Boues, Paris, France.
4. **AOUINI. H., (2012)**. Caractérisation géochimique des zones humides entre deux climats, méditerranéen et aride par image satellitaire cas des lacs d'El Taref et les chott et sebkhas de Ouargla. Mémoire de magister, université Kasdi Merbah Ouargla, 106p.
5. **ASANO T., (1998)**, Wastewater Reclamation and Reuse, Water Quality Management Library Volume 10, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, PA, 1475p.
6. **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 de magister. Université KASDI MERBAH de Ouargla, 107 p.
7. **AUBERT. G., (1978)**, Méthodes d'analyses des sols. Ed. CRDP, Marseille, 191 p.
8. **AULICINO F. A., MASTRANTONIO A, ORSINI P., BELLUCCI C, USCILLO M. and LAROSA G. (1996)**, Enteric viruses in a wastewater treatment plant in Rome. Water, Air, and Soil Pollution. , Volume 91, Numbers 3-4, Kluwer academic publisher, Netherlands, pp 327-334.
9. **AYERS R.S. et WESTCOT D.S., (1985)**, Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29. FAO, Rome, 97p.
10. **BAGNOLS, F., GUAUSSEN, H., (1953)**, Saison sèche et indice xérothermique. Doc. Carte production végétale, Vol 1, Université Toulouse, 47 p.
11. **BAIZE D., (2000)**, Guide des analyses en pédologie. 2^{ème} édition, revue et augmentée, INRA Editions, Paris. 266p.

12. **BAUMONT S, CAMARD J-P, LEFRANC A, FRANCONI A. (2005)**, Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Observatoire régional de la santé Île-de-France, Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France, 222p.
13. **BEAUPOIL A, LE BORGNE C, MOUSSA ATTO A, MUCIG C et ROUX A., (2010)**, Risques sanitaire liés à la réutilisation des eaux usées traitée pour l'aéroaspersion des espaces verts. Ingénieur du génie sanitaire PERSAN, pp 46.
14. **BELAHMADI M. S. O., (2011)**, Etude de la biodégradation du 2,4-dichlorophénol par le micro-biote des effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d'Ibn Ziad. Mémoire magister de l'université Mentouri-Constantine, 83p.
15. **BELAID N., (2010)**, Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax : salinisation, accumulation et phyto-absorption des éléments métalliques. Thèse Doctorat de l'Université de Sfax, 188p.
16. **BLUMENTHAL U J., MARA DD., PEASEY A., RUIZ-PALACIOS G et STOTT R., (2000)**, Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. Bulletin. World Health Organisation.
17. **BONARD et GARDEL, (2004)**, Vallée de Ouargla. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission II. Rapport Final : Investigations, essais de pompage et bilans d'eau, établissement des cartes piézométriques, diagnostic des captages d'eau et mesures de réhabilitation, de protection des ressources en eau, Lausanne. 109 p.
18. **BOUHANA A., (2014)**, Gestion des produits d'épuration des eaux usées de la cuvette de Ouargla et perspectives de leurs valorisations en agronomie saharienne. Mémoire de Magister. Université Kasdi Merbah de Ouargla. 177 p.
19. **BRADAÏ A., DOUAOUI A., MARLET S., (2008)**, Qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols dans la plaine du Bas-Cheliff, **Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb. Actes du quatrième atelier régional du projet Sirma**, Mostaganem, Algérie. Ed Cirad, Montpellier, France, 7p.

20. **CAMPOS C., (2008)**, New perspectives on microbiological water control for wastewater reuse. Revue Desalination vol. 218, N°1-3, Publisher Elsevier, Amsterdam, PAYS-BAS, pp. 34-42.
21. **CASTANY G., (1983)**, Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Ed. Dunod, Paris (France), pp33-228.
22. **CAUCHI , HYVRARD, NAKACHE, SCHWARTZBROD, ZAGURY, BARON, CARRE, COURTOIS, DENIS, DERNAT, LARBAIGT, DERANGERE, MARTIGNE, et SEGURET. (1996)**, Dossier : la réutilisation des eaux usées après épuration. Techniques, Sciences et Méthodes 2, pp 81-118.
23. **CDARS, (2010) (a)**. Projet de réutilisation des eaux épurées de la STEP de Ouargla. Procès verbal de réunion du 11/07/2010. 4p.
24. **CDARS, (2010) (b)**. Projet de réutilisation des eaux épurées de la STEP de Ouargla : Etude pédologique. 9p.
25. **CDARS, (2011)**. Projet de réutilisation des eaux épurées de la STEP de Ouargla. Procès-verbal de réunion du 15/03/2011. 3p.
26. **Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec (CRAAQ), (2005)**, Guide de référence en fertilisation. 1ière édition. Première mise à jour (Avril 2005). Ed. C.R.A.A.Q, Sainte-Foy. 294 p.
27. **D.R.E Ouargla, (2012)**, Inventaire des forages et de la wilaya de Ouargla, Ouargla, 35p.
28. **DADA MOUSSA M.L., (2007)**, Les effets induits des différents programmes de développement agricole sur la préservation de l'écosystème saharien (cas de la région de Ouargla). Mémoire de Magister de l'Université Kasdi Merbah Ouargla, 113p.
29. **DAOUD Y. et HALITIM A., 1994**. Irrigation et salinisation au Sahara algérien. In Sécheresse n°3 vol 5, pp151-160.
30. **DDAZASA, (2010)**. Utilisation des eaux épurées de la STEP de Ouargla. Rapport de mission du 22 au 24 mars 2010. 7p.
31. **DDAZASA, (2013)**, Programme de l'économie d'eau 2010 – 2014, Réunion d'évaluation du 4^{ème} trimestre 2012, Ministère de l'agriculture et développement rural, direction de développement agricole dans les zones arides, 8p.
32. **DJEDDI H., (2007)**, L'utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières. Mém.de Magister. Eco et Env. Eco. Végétale. Univ. de Constantine. 144p.

33. **DJILI B., YUCEF F., HAMDI-AISSA B. et DADDI BOUHOUN M., (2010)**, Recueil des travaux pratiques d'agro-pédologie. Université KASDI MERBAH Ouargla, 10p.
34. **DJILI B., DAOUD Y., GAOUAR A., BELDJOUDI Z., (2003)**, La salinisation secondaire des sols au Sahara. Conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. in Sécheresse n°4, Vol 14, pp 241-246.
35. **DPAT, 2012.** Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire ; Annuaire statistique 2012 de la wilaya de Ouargla, Ouargla, 163p.
36. **DRAPEAU A. J., JANKOVIC S., (1977)**, Manuel de microbiologie de l'environnement, Ed OMS, Genève, 249p.
37. **DRECHSEL P., SCOTT C. A., RASCHID-SALLY L., and REDWOOD M. et BAHRI A., (2011)**, L'irrigation avec des eaux usées et la santé : évaluer et atténuer les risques dans les pays à faible revenu. Presses de l'université Québec, 440p.
38. **DUBIEF J., (1953)**, Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. S.E.S., Alger, 457p.
39. **DUBOST D., (1992)**, Aridité, agriculture et développement : le cas des oasis Algériennes. Sécheresse.n°3 vol 2, pp 85-96.
40. **DUBOST D., (2002)**, Écologie, Aménagement et Développement Agricole des oasis Algériennes. Ed. 2002 CRSTRA, 423p.
41. **DUKE, J. A. (1983)**, Handbook of Energy Crops. Centre for new crops and plants products Purdue University. NewCROPS web site (http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/)
42. **DURAND J.H., (1960)**, Contribution à l'étude des sols irrigués. L'évolution des sols sous l'influence de l'irrigation. Travaux des sections pédologie et agrologie, bulletin n°6, 13 p.
43. **DURAND J.H., (1983)**, Les sols irrigables : Étude pédologique. Presse Universitaire de France. Collection. Ed, ACCT et CILF. Paris. 339p.
44. **EDLINE F., (1996)**, L'épuration physico-chimique des eaux. 3^{ème} édition. Ed. CEBEDOC, Paris, 283p.
- 1- **FABY J.A et BRISSAUD F. (1997)**, L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau, 76p.
- 2- **FABY J.A et BRISSAUD F. (1998)**, L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau, 18p.

45. **FAO., (2003).** L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation, Bureau Régional pour le Proche-orient et Bureau sous-régional pour l'Afrique du Nord, 73p.
46. **FEPS (Fondation de l'Eau Potable Sûre), (2013),** Traitement des eaux usées, 11p. <http://www.safewater.org/PDFS/resourcesknowthefacts/traitement+eaux+usees.pdf>.
47. **HACHEMI H., (2012),** Les ressources en eau non conventionnelles en Algérie, Formation sous-régionale sur les Technologies innovantes et adaptables pour la réutilisation des eaux usées traitées, y compris le recharge des nappes et la désalinisation” (10-13 avril, Tunis – Tunisie), Tunisie, 14p. <http://www.h2020.net/fr/component/jdownloads/finish/175/1296.html>.
48. **HALILAT M.T., (1998),** Étude expérimentale de sable additionné d'argile, comportement physique et organisation en conditions salines et sodiques. Thèse de doctorat, Institut National d'Agronomie Paris-Grignon (France), 229p.
49. **HALITIM A., (1988),** Les sols des régions arides d'Algérie. Edition. OPU. Alger. 110p.
50. **HAMDI AÏSSA B., (2001),** Fonctionnement actuel et passé de sols du Nord du Sahara (cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique et minéralogique et variabilité spatiale. Thèse de doctorat, Institut National d'Agronomie Paris-Grignon (France), 310p.
51. **HAMDI AÏSSA B., GIRARD M. C., (2000),** L'utilisation de la télédétection en régions sahariennes pour l'analyse et l'extrapolation spatiale des pédopaysages. In Sécheresse, N°3, Vol 11, pp 179-188.
52. **HAMDI. W., (2011),** Qualité hygiénique et caractéristiques physicochimiques des eaux domestiques de quelques localités de la cuvette de Ouargla. Mémoire de magister, université Kasdi Merbah Ouargla, 88p.
53. **HAMODA M.F., (2004),** Water strategies and potential of water reuse in the south Mediterranean countries. Desalination, volume165. pp 31-41.
54. **IDDER A., IDDER T., HAMDI-AÏSSA B., CHELOUFI H., DOSSO M., et PHILIPPON O., (2014),** COMPARTIMENTATION ET ACCUMULATION ESTIVALE DES SELS NEUTRES DANS LES ARIDISOLS SABLEUX NUS DE LA CUVETTE D'OUARGLA (SAHARA ALGÉRIEN).
55. **IDDER T., (1998),** La dégradation de l'environnement urbain liée aux excédents hydriques au Sahara algérien : Impact des rejets d'origine agricole et urbain et techniques

de remédiations proposées, L'exemple de Ouargla. Thèse de doctorat, Université d'Angers (France), 178p. 284p.

56. **IDDER T., (2007)**, Le problème des excédents hydriques à Ouargla, situation actuelle et perspectives d'amélioration. Article scientifique, Sécheresse, n°3 vol 18, pp 161-167.
57. **INRA, (2013)**. *Acacia farnesiana*. L., jardin botanique villa Thuret (http://1.facebook.com/1/wAQFaIJKVAQFXY-pgRNoiPol09NB-hvA-ADaU0IbwZeuOXw/www6.sophia.inra.fr/jardin_thuret/Visite-virtuelle/Parcours-Plantes-aromatiques/Plantes-a-parfum/Acacia-farnesiana).
58. **INSID, (2008)**, Utilisation des eaux usées épurées de la STEP de Ouargla. Rapport technique. 7p.
59. **INSID, (2013)**, Effet de l'utilisation des eaux traitées des deux stations d'épurations de Ouargla et de Touggourt. 5p.
60. **Journal Officiel de l'Algérie n° 35, 2007.**
61. **Journal Officiel de l'Algérie n° 41, 2012.**
62. **KHADRAOUI A., (2006)**, Eaux et Sols en Algérie ; Gestion et impact sur l'environnement. Recueil des communications, Ed : Houma. Ouargla.392p.
63. **LABBADI K., MOUKAR M., (2010)**, Étude des performances de la station de traitement des eaux usées urbains par lagunage de la ville de Ouargla. Mém. Ing. Eco. et Env. Eco. Steppique et Saharienne. Univ. de Ouargla. 112p.
64. **LAOUINI. H., (2012)**. Caractérisation géochimique des zones humides entre deux climats, méditerranéen et aride par image satellitaire cas des lacs d'El Taref et les chott et sebkhas de Ouargla. Mémoire de magister, université Kasdi Merbah Ouargla, 106p.
65. **LAPIE G. & MAIGE A., (1914)**, Flore forestière illustrée comprenant toutes les espèces ligneuses de l'Algérie et les espèces les plus répandue en Tunisie, au Maroc et dans le Midi de la France. Ed. Orlhac, Paris, 357p.
66. **LAZAROVA V. et BRISSAUD F., (2007)**, Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France, L'eau, l'industrie, les nuisances N° 299, éditions-johanet, Paris, pp 43-53.
67. **LE HOUEROU H. N., (1995)**, Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique "diversité biologique, développement durable et désertisation", Options méditerranéennes, Série B, N°10, Montpellier (France), 396p.

68. **LENNTECH, (2014)**. water treatment solutions, « le SAR et l'irrigation ». <http://www.lenntech.fr/applications/irrigation/sar/irrigation/sar-risque-pour-eau-irrigation.htm>. Cette page a été consulté le 15/11/2014.
69. **MARSALEK J., SCHAEFER K. EXALL K. BRANNEN L. et AIDUN B., (2002)**, Réutilisation et recyclage de l'eau, Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg (Manitoba), Série d'ateliers du CCME sur les sciences de l'eau et les politiques. Compte rendu No. 3, 46 p.
70. **MATE, (2000)**, Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement. Alger. pp 100-105.
71. **MENSOUS M., (2011)**, Étude du système de gestion des eaux usées dans l'Oasis de Ouargla. Mémoire de Magister. Université Kasdi Merbah de Ouargla. 108 p.
72. **MERABET Y., (2012)**, Rapport sur Les nappes fossiles du Sahara. <http://dzactiviste.info/algerie-leternelle-puissance-energetique/>. Cette page a été consulté le 15/11/2014.
73. **METAHRI M. S., (2012)** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP de la ville de Tizi-Ouzou. Th. Doc. Univ. de MOULOUD MAMMARI de Tizi-Ouzou.
74. **MOULIN S., ROZEN-RECHELS D., STANKOVIC M., (2013)**, Traitement des eaux usées, Atelier de l'eau qualité vs quantité 1er semestre 2012/2013, CERES-ERTI, Paris, 12p.
75. **MOUSSA MOUMOUNI DJERMAKOYE H. (2005)**, Les eaux résiduaires des tanneries et des teintureriers. Caractérisation physico-chimiques, bactériologiques et impact sur les eaux de surfaces et les souterraines. Thèse Doctorat. Université de Bamako, Mali, 119p.
76. **MRE, (2013)**, Epuration des eaux usées. Document interne. Ministère des Ressources en eau. Algérie. 1p.
77. **N.A.S. (National Academy of Science) (1977)**, Leucaena: Promising Forage and Tree Crop for the Tropics. National Academy of Sciences. Washington, D.C., pp: 187.
78. **NEGAIS. H., (2007)**, L'effet du projet d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation sur l'écosystème oasien, cas du chott Ain Beida et chott d'Oum Erraneb. Mémoire ing, Université Kasdi Merbah Ouargla, 113 p.
79. **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'oued M'ya (Ouargla). Larhyss journal, issn 1112-3680, n° 06. Décembre 2007. pp. 121-134.

80. **NEZLI I.E., ACHOUR. S et HAMDI-AISSA. B., (2009)**, Approche hydrogéochemie à l'étude de la fluoration des eaux de la nappe du complexe terminal de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla). Courrier de savoir, pp57-62.

81. **NEZLI I.E., (2009)**, Approche hydrogéochemie à l'étude des aquifères de la basse vallée De L'oued M'ya (Ouargla), Thèse de Doctorat, Université Mohamed Kheider – Biskra, 118p.

82. **NISBET M. et VERNEAUX J., (1970)**, *Composantes chimiques des eaux courantes, Discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques*, nn. Sci-Univ. Fr-Comté, t.6, fasc. 2, p. 161-190.

83. **OLLIER CH., POIRIEE M., (1983)**, Irrigation théorie, technique et économie des arrosages. 6ème Edition. Bibliothèque de l'institut de topométrie du conservatoire national des arts et métiers. Ed, JOUVE PARIS. 503p.

84. **OMS & PNUE., (2005)**, Lignes directrices pour l'utilisation des eaux usées municipales dans la région méditerranéenne, Réunion des Coordonnateurs nationaux pour le MED, Athènes, 73 p.

85. **OMS. (1989)**, L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandations à visées sanitaires. Genève, Série de rapports techniques n° 778. 81p.

86. **OMS., (2012) (a)**, Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères : Utilisation des eaux usées en agriculture, Volume II, Ed OMS, Genève, 254 p

87. **OMS., (2012) (b)**, Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères : Utilisation des excréta et des eaux ménagères en agriculture, Volume IV, Ed OMS, Genève, 234 p

88. **ONA, (2013)**, Etat de mise en œuvre de la politique de la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles. Rapport interne, Office national d'assainissement, 7p.

89. **ONM, (2012)**, Bulletin d'informations climatiques, Office National Météorologique.

90. **OUALI M. S. (2001)**, Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux. Office des Publications Universitaires, Alger, pp12-31.

91. **OZENDA P., (1977)**, Flore du Sahara. 2^{ème} éd., Centre National de la Recherche Scientifique (C.N.R.S), Paris (France), 622 p.

92. **OZENDA P., (1991)**, Flore du Sahara. Ed. Centre National de la Recherche Scientifique (C.N.R.S), Paris (France), 625 p.
93. **PARROTTA J.A., (2000)**, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit Leucaena, tantan. In: J.K. Francis and C.A. Lowe, eds. Bioecología de árboles nativos y exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales. General Technical Report IITF- 15. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, Río Piedras, PR. p. 308-316.
94. **PASSAGER P., (1957)**, Ouargla (Sahara constantinois). Étude géographique et médicale. Arch. Inst. Pasteur. Alger.n°2 vol 35, pp 99-200.
95. **PAYARO K., (1982)**, Influence des doses d'irrigation sur les pertes en eau par percolation. Thèse Ing. Agr., INA, génie rural.
96. **PNUD-UNESCO, (1972)**, Projet Reg 100. Étude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet. U.N.E.S.C.O. Paris. 20p.
97. **QUEZEL P. & SANTA S., (1963)**, Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales tome II, Centre National de la Recherche Scientifique (C.N.R.S), Paris (France), 1170 p.
98. **RAMADE F., (2008)**, Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité. Ed. Dunod Paris, 726p.
99. **RNDE., (2003)**, Réseau National des Données sur l'Eau, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Institut Français de l'Environnement (IFEN), Office International de l'eau (OIE), Agences de l'eau, version 3, 56 p.
100. **RODIER J., BAZIN C., BROUTIN J.P., CHAMBON P., CHAMPSAUR H., et RODI L., (2005)**, L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8^{ème} édition. Ed. Dunod, Paris, 1383p.
101. **ROUVILOIS BRIGOL M., (1975)**, Le pays d'Ouargla (Sahara algérien), Variation et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Ed. Publications Univ. Paris, 316p.
102. **SASS (Système Aquifère du Sahara Septentrional) (2003)**, Observatoire du Sahara et du Sahel. Volume 2 : Hydrogéologie. Projet SASS. Coupes. Planches. Annexes. Tunis, Tunisie. 275p.
103. **SCHWARTZBROD L., (2000)**, Virus humains et santé publique : conséquences de l'utilisation des eaux usées et des boues en agriculture et conchyliculture. Université de Nancy, France, 298p.

104. **SERVANT J. M., (1978)**, La salinité dans le sol et les eaux: caractérisation et problèmes d'irrigation drainage. Bull. BRGM, Sec n°2, pp 123–142.
105. **SERVANT J. M., (1975)**, Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes. L'exemple des sols salés du Sud et Sud-Ouest de France. Th. d'Etat. Univ. Montpellier. 200p.
106. **SERVANT J.M, (1976)**, Sur quelques aspects de la pédogénèse en milieu halomorphe : l'exemple des sols salés de la région méditerranéenne Française. Ann. De l'INRA.vol. VI. n° 1, pp : 225-245.
107. **SOLTNER D., (1989)**, Les bases de la production végétale. Tome 1 ; le sol. 17^{ème}, Ed C.S.T.A. Angers, 468p.
108. **SOLTNER D., (2005)**, Les bases de la production végétale. Tome 1 ; le sol et son amélioration. 24^{ème} édition, C.S.T.A. Bressuire, France, 472p.
109. **STEPPLER H. A. & NAIR P. K. R., (1987)**, Agroforestry: a decade of development. ICRAF: International Council for Research in Agroforestry, Nairobi. 335p.
110. **TABOUCHE. N et ACHOUR. S., (2004)**, Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional Algérien. Lahryss journal pp 99-113.
111. **TIERCELIN J. R., (1998)**, Traité d'irrigation, Lavoisier Ed. TEE et DOC, Paris, 933p.
112. **TOUTAIN G., (1974)**, Conservation des sols en palmeraies sahariennes et bordurières au Sahara. CIHEAM- option Méditerranéennes N°25, pp 65-69.
113. **TOZE S., (2005)**, Reuse of effluent water -benefits and risks, Agricultural Water Management, vol. 80, pp 147-159.
114. **TOZE, S., (1999)**, PCR and the detection of microbial pathogens in water and wastewaters. Wat Res. Vol 33, N°17, Ed Elsevier Science Ltd, Great Britain, pp 3545–3556.
115. **UNESCO, (1957)**, Recherches sur la zone aride – IV. Utilisation des eaux salines, Compte rendu de recherches, Paris France, pp 11-26.
116. **United States Environmental Protection Agency and United States Agency for International Developmen (USEPA, USAID (1992)**, *Guidelines for water reuse*. Washington, DC, Technical Report No. 81.

117. **VAILLANT J.R., (1974)**, Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires : eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles. Ed. Eyrolles. Paris, 413p.

Webographie

Réf. E., 1 : Google earth, 2014.

Réf. E., 2 : http://fr.wikipedia.org/wiki/Duret%C3%A9_de_l'eau à été consulté le 24/02/2014

Réf. E., 3 : <http://www.cieau.com/les-eaux-usees/les-origines-des-eaux-usees> a été consulté le 31/08/2013.

Réf. E., 4 : www.dictionnaire-environnement.com a été consulté le 31/08/2013.

Réf. E., 5 : WFI, 2013, <http://fr.wikipedia.org/wiki/Cassier> a été consulté le 18/02/2013.

Outils informatiques

1. Excel 2007.
2. Logiciel Minitab version 13.

Annexe 1 : Les échelles d'interprétation de Sodium adsorption Ratio et degré d'alcalinisation des sols (SERVANT, 1975)

SAR	Degrés d'alcalinisation
≤ 4	Pas d'alcalinisation
$4 < SAR \leq 8$	Faible alcalinisation
$8 < SAR \leq 12$	Alcalinisation moyenne
$12 < SAR \leq 18$	Alcalinisation forte
> 18	Alcalinisation intense

Annexe 2 : Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (Ayers & Westcot, 1985)

Problèmes potentiels en Irrigation	Unités	Degré de restriction		
		Aucun	Léger à moindre	Sévère
Salinité				
CE	dS/m	<0,7	0,7-3,0	>0,30
TDS	mg/L	<450	450-2000	>2000
Infiltration				
SAR= 0-3 et CE =	dS/m	>0,7	0,7-0,2	<0,2
= 3-6 =		>1,2	1,2-0,3	<0,3
= 6-12 =		>1,9	1,9-0,5	<0,5
= 12-20 =		>2,9	2,9-1,3	<1,3
= 20-40 =		>5,0	5,0-2,9	<2,9
Toxicité Spécifique des ions				
Sodium (Na)				
Irrigation de surface	SAR	<3	3-9	>9
Irrigation par aspersion	még/L	<3	>3	
Chlorure (Cl)				
Irrigation de surface	még/L	<4	4-10	>10
Irrigation par aspersion	még/L	<3	>3	
Bore (B)	még/L	<0,7	0,7-3,0	>3,0
Effets divers				
Azote (NO ₃ -N)	még/L	<5	5-30	>30
Bicarbonates (HCO ₃)	még/L	<1,5	1,5-8,5	>8,5
pH		Gamme normale 6,5 - 8,4		

CE: conductivité électrique; TDS: total dissolved solids; SAR: rapport d'absorption du sodium

Annexe 3: Echelles d'interprétation de pH 1/2,5 (CRAAQ, 2005).

pH	Classe de réaction du sol
pH < 4,5	Extrêmement acide
4,5 < pH < 5	Très fortement acide
5,1 < pH < 5,5	Fortement acide
5,6 < pH < 6	Moyennement acide
6,1 < pH < 6,5	Faiblement acide
6,6 < pH < 7,3	Neutre
7,4 < pH < 7,8	Faiblement alcalin
7,9 < pH < 8,4	Moyennement alcalin
8,5 < pH < 9	Fortement alcalin
pH > 9	Très fortement alcalin

Annexe 4 : Bilan de la réutilisation des eaux usées épurées 1^{er} semestre 2013 (ONA, 2013).

STEP	Capacité Eq/H	Débit nominal m ³ /j	Vol épuré m ³ /an	Vol réutilisé m ³ /an	Superficie irriguée en ha	Culture
Boumerdes	75000	15000	920058	/	49	/
				/	76	/
Ouargla	260102	56997	2710550	271055	160	4000 Pamiers dattiers
kouinine (El Oued)	239134	44335	1596374	69170	17	Eucalyptus et Kazarina
Tlemcen	150000	30000	1357006	1160239	plaine de Hennaya 912,22	Arboriculture
Guelma	200000	32000	1187121	1187121	6980 guelma, boumahra, et Bouchegouf	Arboriculture
Sedrata	100000	10000	372459	372459	1800	Arboriculture
Mascara	100000	13000	765102	400		Olivier
Ghriss	48000	5800	118463	420		
Bouhanifia	32500	3900			475	
Hacine	20000	3200	38074	38074	390	
Oued Taria	21000	2520	76601	76601	196	
Hachem	15000	1800	94825	94825	220	
Sehaouria	12600	1513			143	
Tizi	12000	1440	62501	62501	200	
Mohammadia Est	19000	2280			175	
Total	1304336	223785	9299134	4215610		

Annexe 5 : Production des eaux usées par les SPA : SEAAL, SEACO, SEOR (MRE, 2013).

Wilaya	Commune	SITE STEP	Etat STEP	Procédé d'épuration	Capacité (m ³ /J)	Volume EUE (m ³ /j)
Alger	BARAKI	Baraki	Exploitation	Boues Activées à faible charge	150 000,00	85 000,00
Alger	REGHAIA	Reghaia	Exploitation	Boues Activées à moyen charge	80 000,00	57 534,00
Alger	STAOUELI	Staouali	Exploitation/Arrêt	Boues Activées à faible charge	0,00	0,00
Alger	Ain Benian	Beni Messous	Exploitation	Boues Activées à moyen charge	50 400,00	47 000,00
Alger	Zeralda	Zeralda	Travaux	Boues Activées à moyen charge	20 000,00	20 000,00
Annaba	ANNABA	Allalik	Exploitation	Boues Activées à faible charge	83 620,00	50 172,00
Oran	EL KARMA	El Karma	Exploitation	Boues Activées à moyen charge	80 000,00	75 000,00
Oran	Ain Turk	Ain Turk	Exploitation	Boues Activées à moyen charge	5 000,00	5 000,00
Oran	Bethioua	Bethioua	travaux en voie de lancement	Boues Activées à moyen charge	30 000,00	30 000,00
Constantine	Ali Mendjeli	Ain Mendjeli	Travaux en voie de lancement	Boues Activées à moyen charge	42 000,00	42 000,00
Constantine	Hamma Bouziane	Ibn Ziad	Exploitation	Boues Activées à moyen charge	69 120,00	51 178,00
Constantine	Zighoud Youcef	Zighoud Yoycef	Travaux	Boues Activées à moyen charge	24 700,00	24 700,00

8	JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 35	6 Joumada El Oula 1428 23 mai 2007
<p>Décret exécutif n° 07-149 du 3 Joumada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent.</p> <p>-----</p> <p>Le Chef du Gouvernement,</p> <p>Sur le rapport du ministre des ressources en eau,</p> <p>Vu la Constitution, notamment ses articles 85-4° et 125 (alinéa 2) ;</p> <p>Vu la loi n° 85-05 du 16 février 1985, modifiée et complétée, relative à la protection et à la promotion de la santé ;</p> <p>Vu la loi n° 87-17 du 1er août 1987 relative à la protection phytosanitaire ;</p> <p>Vu la loi n° 89-02 du 7 février 1989 relative aux règles générales de protection du consommateur ;</p> <p>Vu la loi n° 90-08 du 7 avril 1990, complétée, relative à la commune ;</p> <p>Vu la loi n° 90-09 du 7 avril 1990, complétée, relative à la wilaya ;</p> <p>Vu la loi n° 90-30 du 1er décembre 1990 portant loi domaniale ;</p> <p>Vu la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;</p> <p>Vu la loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau ;</p> <p>Vu le décret présidentiel n° 06-175 du 26 Rabie Ethani 1427 correspondant au 24 mai 2006 portant nomination du Chef du Gouvernement ;</p> <p>Vu le décret présidentiel n° 06-176 du 27 Rabie Ethani 1427 correspondant au 25 mai 2006 portant nomination des membres du Gouvernement ;</p> <p>Décète :</p> <p>Article 1er. — En application des dispositions des articles 76 et 78 de la loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005, susvisée, le présent décret a pour objet de fixer les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges- type y afférent.</p> <p style="text-align: center;">CHAPITRE I</p> <p style="text-align: center;">DISPOSITIONS PRELIMINAIRES</p> <p>Art. 2. — Au sens du présent décret, on entend par « eau usée épurée destinée à l'irrigation », toute eau usée dont la qualité, après un traitement approprié dans une station d'épuration ou de lagunage est conforme aux spécifications fixées par arrêté conjoint des ministres chargés des ressources en eau, de la santé et de l'agriculture.</p>	<p style="text-align: center;">CHAPITRE II</p> <p style="text-align: center;">CONCESSION D'UTILISATION DES EAUX USEES EPUREES</p> <p>Art. 3. — L'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation est soumise au régime de la concession.</p> <p>La concession peut être octroyée à toute personne morale ou physique, de droit public ou privé, qui se propose de distribuer, à des usagers, des eaux usées épurées à des fins d'irrigation au sens de l'article 2 ci-dessus.</p> <p>Art. 4. — L'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation doit être conforme aux clauses du cahier des charges-type annexé au présent décret auquel doit souscrire tout concessionnaire.</p> <p>Art. 5. — Le dossier de demande de concession est adressé par le demandeur, en double exemplaire, au wali territorialement compétent.</p> <p>La wilaya compétente est celle sur le territoire de laquelle sont situées les parcelles destinées à être irriguées par les eaux usées épurées.</p> <p>Art. 6. — La demande de concession doit comporter les noms, prénoms, et adresses pour les personnes physiques ou la raison sociale et l'adresse du siège social pour les personnes morales. Elle doit être accompagnée d'un mémoire technique, comportant notamment les documents et informations suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> — une description de la station d'épuration ou de lagunage d'où proviennent les eaux usées épurées ainsi que le mode de traitement utilisé ; — la description et les plans des ouvrages de stockage, d'amenée et de distribution des eaux usées épurées à réaliser ; — une fiche d'analyse des eaux usées épurées dont la qualité doit être conforme, aux spécifications en vigueur. Les analyses doivent dater de moins de trois (3) mois ; — la localisation et la superficie des terres destinées à être irriguées, avec un plan parcellaire à une échelle appropriée où seront indiqués les parcelles destinées à être irriguées et le mode d'irrigation préconisé ; — un accord écrit de l'organisme gestionnaire de la station d'épuration ou de lagunage par lequel il s'engage à fournir les volumes d'eaux usées épurées, en quantité et qualité requises ; — un engagement des agriculteurs, utilisateurs des eaux usées épurées ; — un plan de situation des installations d'amenée, de stockage et de distribution des eaux usées épurées, sur lequel doivent être reportés les ouvrages et réseaux d'alimentation en eau potable situés à proximité ainsi que les installations d'épuration. 	

Art. 7. — Les services de l'hydraulique de la wilaya doivent procéder à une étude technique de la demande de concession, en concertation avec les services de l'agriculture, de la santé et de la protection de l'environnement. Ils doivent, notamment :

- vérifier la disponibilité, en quantité et en qualité, des eaux usées épurées destinées à l'irrigation ;
- faire une évaluation technique de la faisabilité du projet ;
- procéder à une visite des lieux ;
- évaluer les risques de contamination des personnes, des cultures et des ressources en eau, ainsi que les conséquences sur l'environnement ;
- recueillir l'avis des assemblées populaires communales concernées.

Art. 8. — La concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation est octroyée par arrêté pris par le wali territorialement compétent.

Quand les terres destinées à être irriguées et la station d'épuration ou de lagunage sont situées sur le territoire de plus d'une wilaya, la concession est octroyée par un arrêté du ministre chargé des ressources en eau.

Art. 9. — L'arrêté de concession doit comporter les indications suivantes :

- la station d'épuration ou de lagunage d'où proviennent les eaux usées épurées ;
- les volumes des eaux usées épurées qui seront utilisés annuellement ;
- la localisation et la superficie des terres destinées à être irriguées.

Art 10 — L'administration a le droit de s'assurer, en tout temps, par la visite des ouvrages et des parcelles irriguées ainsi que par des prélèvements d'eau et de produits agricoles aux fins d'analyse, que les conditions auxquelles a souscrit le concessionnaire sont et demeurent observées.

Art. 11. — En cas de rejet de la demande de concession, l'autorité compétente notifie sa décision, motivée, au demandeur.

Art. 12. — En cas de refus, le demandeur peut introduire un recours dans un délai ne dépassant pas un mois à compter de la date de notification du refus avec de nouveaux éléments d'information ou de justification pour l'appui de sa demande.

Art. 13. — La concession peut être modifiée, réduite ou révoquée, à tout moment :

- en cas de non-respect des clauses du cahier des charges par le concessionnaire. Ce cas n'ouvre droit à aucune indemnité ;
- pour cause d'intérêt général. Ce cas ouvre droit à une indemnité, au profit du bénéficiaire, si ce dernier subit un préjudice.

CHAPITRE III

PREVENTION DES RISQUES LIES A L'USAGE DES EAUX USEES EPUREES

Art. 14. — L'irrigation, avec des eaux usées épurées des cultures maraîchères dont les produits sont consommables crus est interdite.

Art. 15. — La liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées est fixée par arrêté conjoint des ministres chargés des ressources en eau, de l'agriculture et de la santé.

Art. 16. — Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées épurées ne doivent porter aucune culture, autre que celles figurant sur la liste indiquée à l'article 15 ci-dessus.

Art. 17. — L'irrigation par les eaux usées épurées des cultures autorisées doit cesser au moins deux semaines avant la récolte.

La consommation des fruits tombant au sol est interdite ; ces fruits tombés doivent être détruits ou transportés à la décharge publique.

Art. 18. — L'irrigation des arbres fruitiers par aspersion, ou par tout autre système mettant l'eau usée épurée en contact avec les fruits est interdite.

Art. 19. — Le pâturage direct sur les parcelles et aires irriguées par les eaux usées épurées est interdit.

Art. 20. — Les parcelles irriguées, au moyen des eaux usées épurées, doivent être éloignées de plus de 100 mètres des routes, des habitations, des puits de surface et autres ouvrages destinés à l'alimentation en eau potable.

Art. 21. — L'irrigation des parcs et des espaces verts, au moyen des eaux usées épurées, doit s'effectuer en dehors des heures d'ouverture au public.

Art. 22. — Tout raccordement avec une canalisation transportant de l'eau potable est interdit.

Art. 23. — Toutes les bornes et tous les robinets d'irrigation du réseau de distribution des eaux usées épurées doivent comporter obligatoirement une plaque inamovible, signalant que l'eau est non potable et par conséquent impropre à la consommation.

Art. 24. — En cas de dégradation de la qualité de l'eau des puits situés à proximité des zones irriguées par les eaux usées épurées, l'utilisation d'eau de ces puits est soumise aux mêmes spécifications et conditions d'usage imposées aux eaux usées épurées. En cas de préjudice pour les agriculteurs concernés, la reconversion des cultures ainsi que des dommages subis sont à la charge du concessionnaire.

Art. 25. — L'exploitation à des fins d'irrigation des puits situés à l'intérieur des zones irriguées avec les eaux usées épurées n'est permise que pour les cultures autorisées sur ces zones.

CHAPITRE IV
CONTROLES SANITAIRES

Art. 26. — Lors de la mise en œuvre de la concession, les dispositions nécessaires doivent être prises par les différents intervenants, chacun en ce qui le concerne, de façon à :

- prévenir les risques de contamination des eaux de la nappe souterraine ;
- éviter que l'irrigation avec les eaux usées épurées ne soit, en aucun cas, la cause de stagnation d'eau, de mauvaises odeurs et de gîtes larvaires ;
- prévenir les risques de contamination des produits agricoles.

Art. 27. — La qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation doit faire l'objet d'un contrôle régulier par le concessionnaire, l'exploitant agricole, le gestionnaire de la station d'épuration ou de lagunage, les directions de wilaya de l'hydraulique, de la santé, de l'agriculture et du commerce et ce, afin de s'assurer que leur qualité est conforme aux spécifications fixées par la réglementation en vigueur.

Les analyses doivent être effectuées dans les laboratoires dont la liste est fixée par arrêté conjoint des ministres chargés des ressources en eau, de la santé, du commerce et de l'agriculture.

Art. 28. — Les services de l'hydraulique de la wilaya sont tenus de mettre en place un dispositif de suivi et de contrôle de :

- la qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation ;
- l'évolution de la qualité de l'eau de la nappe souterraine ;
- l'état des ouvrages de stockage et de distribution des eaux usées épurées.

Art. 29. — Les services de la santé de la wilaya doivent assurer un contrôle régulier de la santé du personnel affecté à l'irrigation avec les eaux usées épurées.

Art. 30. — Les services de l'agriculture de la wilaya doivent assurer :

- un contrôle phytosanitaire des cultures irriguées avec les eaux usées épurées ;
- l'évolution des caractéristiques des sols, sous irrigation avec des eaux usées épurées.

Art. 31. — Les services du commerce de la wilaya doivent assurer un contrôle biologique et physico-chimique des produits agricoles irrigués avec les eaux usées épurées.

CHAPITRE V
DISPOSITIONS FINANCIERES

Art. 32. — Le concessionnaire est tenu de régler les redevances fixées par la loi de finances, dues en raison de l'usage du domaine public hydraulique.

Art. 33. — Les tarifs applicables pour la fourniture d'eau usée épurée à usage agricole sont fixés conformément à la réglementation en vigueur.

Art. 34. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 3 Jomada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007.

Abdelaziz BELKHADEM.

ANNEXE

**CAHIER DES CHARGES-TYPE
RELATIF A L'UTILISATION DES EAUX USEES
EPUREES A DES FINS D'IRRIGATION**

Article 1er. — Le présent cahier des charges fixe les modalités et conditions d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation.

CHAPITRE I
ETENDUE DE LA CONCESSION

Art. 2. — Par arrêté n° du le wali de octroie à la concession d'utilisation, à des fins d'irrigation, des eaux usées épurées provenant de la station d'épuration de, sise dans la commune de

Les parcelles destinées à être irriguées sont situées sur le territoire de(s) commune(s) de et occupent une superficie totale deha, conformément au plan annexé au cahier des charges.

Art. 3. — Le présent cahier des charges confère à, désigné ci-dessous par « le concessionnaire », le droit exclusif d'assurer, au profit des usagers ci-après désignés, la distribution à des fins d'irrigation des eaux usées épurées provenant de la station d'épuration citée à l'article 2, ci-dessus.

L'exclusivité est assurée à l'intérieur des zones à irriguer, indiquées sur le plan annexé au présent cahier des charges.

Art. 4. — La durée de la concession est fixée à dix (10) ans, renouvelable.

CHAPITRE II DROITS ET OBLIGATIONS DU CONCESSIONNAIRE

Section 1

Utilisation des eaux usées épurées

Art. 5. — Le concessionnaire est tenu d'assurer une exploitation rationnelle des eaux usées épurées mises à sa disposition.

Art. 6. — Le concessionnaire est tenu de vérifier que la qualité des eaux usées épurées distribuées aux usagers est, constamment, conforme aux spécifications fixées par la réglementation en vigueur.

Art. 7. — Au titre de l'évolution des paramètres fertilisants (N.P.K) au niveau du sol irrigué à partir des eaux usées épurées, le concessionnaire est tenu de communiquer aux exploitants agricoles toutes les analyses concernant la teneur de ces éléments fertilisants au niveau des eaux usées épurées afin de leur permettre d'adapter, en conséquence, un éventuel apport en engrais.

Section 2

Exploitation et entretien des ouvrages de stockage et de distribution des eaux

Art. 8. — Les canalisations transportant des eaux usées épurées doivent être marquées d'une bande rouge de façon à les distinguer de celles destinées à l'approvisionnement en eau potable.

Art. 9. — Dans les cas où les canalisations transportant des eaux usées épurées doivent être posées à proximité de canalisations d'eau potable, elles devront être enterrées au moins 0,50 m au dessous de la canalisation d'eau domestique.

Art. 10. — Toutes les sorties, vannes, bornes et prises sur les réseaux de distribution des eaux usées épurées, doivent être sécurisées et protégées dans des chambres inviolables afin d'empêcher leur utilisation par des personnes non-autorisées.

Toutes les sorties doivent être peintes en rouge et porter sur un écriteau visible, de dimensions minimales 30 cm x 30 cm, portant la mention « Eaux usées épurées pour l'irrigation ».

Art. 11. — Les bassins de stockage des eaux usées épurées doivent être clôturés et leur accès interdit au public.

Art. 12. — Le concessionnaire a, à sa charge, l'entretien préventif et la réparation des ouvrages et des canalisations du réseau de distribution des eaux usées épurées. Il doit s'assurer de leur bon fonctionnement et éviter les fuites et le déversement de ces eaux en dehors des parcelles à irriguer.

Art. 13. — Les déchets et les produits de curage des ouvrages de stockage de l'eau usée épurée doivent être rassemblés dans un lieu protégé. Leur utilisation à des fins agricoles ne sera permise qu'après autorisation des services agricoles concernés.

Section 3

Irrigation des cultures

Art. 14. — Le concessionnaire s'engage à n'approvisionner en eau que les parcelles portant une culture autorisée telle que fixée sur la liste indiquée à l'article 15 du décret fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation, visées à l'article 2 du présent cahier des charges-type.

Art. 15. — Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées épurées doivent comporter obligatoirement un écriteau portant la mention « pâturage interdit ».

Section 4

Contrôles

Art. 16. — Le concessionnaire doit établir et tenir à jour les listes nominatives des exploitants agricoles et de leurs ouvriers manipulant les eaux usées épurées. Il doit transmettre ces listes aux services de la santé de la wilaya en vue de programmer leur contrôle sanitaire.

Art. 17. — Le concessionnaire doit aviser les exploitants agricoles ainsi que leurs employés, qui sont en contact direct avec les eaux usées épurées, des risques que présentent ces eaux pour leur santé ainsi que des précautions à prendre.

Ces précautions consistent notamment, en :

- le port d'une tenue de travail réservée à la manipulation de ces eaux ;
- le respect des règles d'hygiène corporelle ;
- l'application des recommandations faites par les services sanitaires en matière d'hygiène corporelle et d'examen médicaux.

CHAPITRE III

PREROGATIVES DE L'AUTORITE CONCEDANTE

Art. 18. — L'autorité concédante, à travers les différents services concernés de la wilaya, exerce les pouvoirs de contrôle sur le concessionnaire. Ces services peuvent à tout moment s'assurer que les activités du concessionnaire sont effectuées en conformité avec les dispositions du décret portant concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation et du présent cahier des charges.

Art. 19. — Lorsque ces services constatent que la qualité des eaux usées épurées n'est pas conforme aux spécifications fixées par la réglementation en vigueur, l'autorité concédante prononce la suspension à titre provisoire de la fourniture d'eau jusqu'à rétablissement de la qualité de l'eau usée épurée.

Art. 20. — En cas d'inexécution des conditions du présent cahier des charges, la concession peut être révoquée six (6) mois après la décision de suspension provisoire.

CHAPITRE IV
CLAUSES DIVERSES

Art. 21. — Le concessionnaire est tenu d'informer ses abonnés des conditions d'utilisation des eaux usées épurées. Il doit aussi reprendre et inclure, dans le contrat le liant aux exploitants agricoles concernés, toute clause qui engage directement les usagers.

Art. 22. — Le concessionnaire des eaux usées épurées doit organiser, conjointement avec les services de l'hydraulique et de la santé de la wilaya, des séances de formation destinées au personnel, ceux qui assurent l'exploitation et la maintenance des équipements ainsi qu'aux agriculteurs et à leur personnel qui utilisent les eaux usées épurées.

Cette formation doit inclure les aspects techniques, environnementaux et sanitaires.

Les agriculteurs doivent être sensibilisés sur les restrictions des cultures et les précautions à prendre en matière d'irrigation avec les eaux usées épurées.

Art. 23. — Sont annexés à l'original du cahier des charges particulier et en font partie intégrante, les documents ci-après :

- un accord écrit de l'organisme gestionnaire de la station d'épuration ou de lagunage par lequel il s'engage à fournir les volumes d'eaux usées épurées, en quantité et qualité requises ;
- une fiche d'analyse des eaux usées épurées dont la qualité doit être conforme aux normes fixées par la réglementation en vigueur ;
- le plan de situation des zones à irriguer ;
- un modèle du contrat liant l'agriculteur au concessionnaire.

Fait à, le

Pour le concessionnaire. Pour l'autorité concédante.

-----★-----

Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation.

Le ministre des ressources en eau,

Le ministre de l'agriculture et du développement rural,

Le ministre de la santé, de la population et de la réforme hospitalière,

Vu le décret présidentiel n° 10-149 du 14 Joumada Ethania 1431 correspondant au 28 mai 2010 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 05-464 du 4 Dhou El Kaada 1426 correspondant au 6 décembre 2005 relatif à l'organisation et au fonctionnement de la normalisation ;

Vu le décret exécutif n° 07-149 du 3 Joumada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent ;

Arrêtent :

Article 1er. — En application des dispositions de l'article 2 du décret exécutif n° 07-149 du 3 Joumada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007, susvisé, le présent arrêté a pour objet de fixer les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation conformément à l'annexe jointe.

Art. 2. — le présent arrêté sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012.

Le ministre des ressources en eau	Le ministre de l'agriculture et du développement rural
--------------------------------------	---

Abdelmalek SELLAL	Rachid BENAÏSSA
-------------------	-----------------

Le ministre de la santé, de la population
et de la réforme hospitalière

Djamel OULD ABBES

ANNEXE

SPECIFICATIONS DES EAUX USEES EPUREES
UTILISEES A DES FINS D'IRRIGATION

1. PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES

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

(1) L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol.

L'irrigation par aspersion est à éviter.

(2) Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.

(3) Pour les cultures industrielles et arbres forestiers, des paramètres plus permissifs peuvent être adoptés.

(4) Une directive plus stricte (<200 coliformes fécaux par 100 ml) est justifiée pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquels le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

(5) Exige une technique d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes.

(6) A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrisent la gestion de l'irrigation localisée et respectent les règles d'hygiène exigées. Aucune population alentour.

2. PARAMETRES PHYSICO - CHIMIQUES

PARAMETRES		UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
Physiques	pH	—	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR = 0 - 3 CE		0.2
	3 - 6		0.3
	6 - 12	ds/m	0.5
	12 - 20		1.3
	20 - 40		3
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (Cl)	meq/l	10
	AZOTE (NO ₃ - N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO ₃)	meq/l	8.5
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercur	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
Vanadium	mg/l	1.0	
Zinc	mg/l	10.0	

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

Annexe 8 : Arrêté interministériel du 2 janvier 2012, fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.

25 Chaâbane 1433
15 juillet 2012

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 41

21

Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.

Le ministre des ressources en eau,

Le ministre de l'agriculture et du développement rural,

Le ministre de la santé, de la population et de la réforme hospitalière,

Vu le décret présidentiel n° 10-149 du 14 Jomada Ethania 1431 correspondant au 28 mai 2010 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 05-464 du 4 Dhou El Kaada 1426 correspondant au 6 décembre 2005 relatif à l'organisation et au fonctionnement de la normalisation ;

Vu le décret exécutif n° 07-149 du 3 Jomada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent ;

Arrêtent :

Article 1er. — En application des dispositions de l'article 15 du décret exécutif n° 07-149 du 3 Jomada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007, susvisé, le présent arrêté a pour objet de fixer la liste des cultures autorisées pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées conformément à l'annexe jointe.

Art. 2. — Le présent arrêté sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012.

Le ministre des ressources en eau	Le ministre de l'agriculture et du développement rural
Abdelmalek SELLAL	Rachid BENAÏSSA

Le ministre de la santé,
de la population et de la réforme hospitalière
Djamel OULD ABBES

ANNEXE

LISTE DES CULTURES POUVANT ETRE IRRIGUEES AVEC DES EAUX USEES EPUREES

Groupes de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres fruitiers (1)	Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, rhubarbe, arachides, noix, olive.
Agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
Cultures fourragères (2)	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce et luzerne.
Culture industrielles	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, tabac, lin.
Cultures céréalières	Blé, orge, triticale et avoine.
Cultures de production de semences	Pomme de terre, haricot et petit pois.
Arbustes fourragers	Acacia et atriplex.
Plantes florales à sécher ou à usage industriel	Rosier, iris, jasmin, marjolaine et romarin.

(1) L'irrigation avec des eaux usées épurées est permise à condition que l'on cesse l'irrigation au moins deux (2) semaines avant la récolte. Les fruits tombés au sol ne sont pas ramassés et sont à détruire.

(2) Le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux usées épurées est strictement interdit et, ce afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs.

Annexe 9 :**QUESTIONNAIRE DE L'ENQUETE AUPRES DES EXPLOITATIONS AVOISINANTES
DU CANAL DE TRANSFERT****Nom et prénom :****Date**.....**Age :**.....**N°**.....**Sexe :**.....

1) Niveau d'éducation: / ___ /

- a. Ecole coranique b. Primaire c. Secondaire d. Universitaire

2) Profession actuelle / ___ /

Agriculteur

Fonctionnaire

Retraité

d. Autres (A préciser).....

3) Pourquoi utilisez-vous cette ressource en eau ? / ___ /

- a. Proche du site des cultures
b. Gratuite
c. Améliore la nutrition des plantes
d. Autres (A préciser) -----

4) Le pompage d'eau à travers le canal, est-il autorisé?

5) Quelles sont les techniques que vous utilisez pour arroser les plantes ?

6) Comment jugez-vous la qualité des eaux ? / ___ / a. Bonne b. Moyenne c. Mauvaise.

Justifiez?

7) Utilisez- vous des équipements spéciaux (gants, bottes,) lors de l'arrosage ? / ___ /

a. Oui b. Non. Justifiez?

8) Avez-vous rencontré des maladies en utilisant cette eau? / ___ / a. Oui b. Non. Lesquelles ?

9) Quelle est la surface de l'exploitation.....

10) Statut légal: / ___ /

- a. Héritage b. Achat c. Métayage d. Don de l'Etat

11) Mode de fonctionnement de l'exploitation / ___ /

- a. Par le propriétaire b. Par un ouvrier

12) Depuis combien de temps cultivez-vous cette surface ?.....

13) Quelles sont les cultures que vous pratiquez ?

14) Quels sont les difficultés et contraintes auxquels vous êtes généralement confrontés ?

Annexe 10 : Méthodes d'analyses bactériologiques.

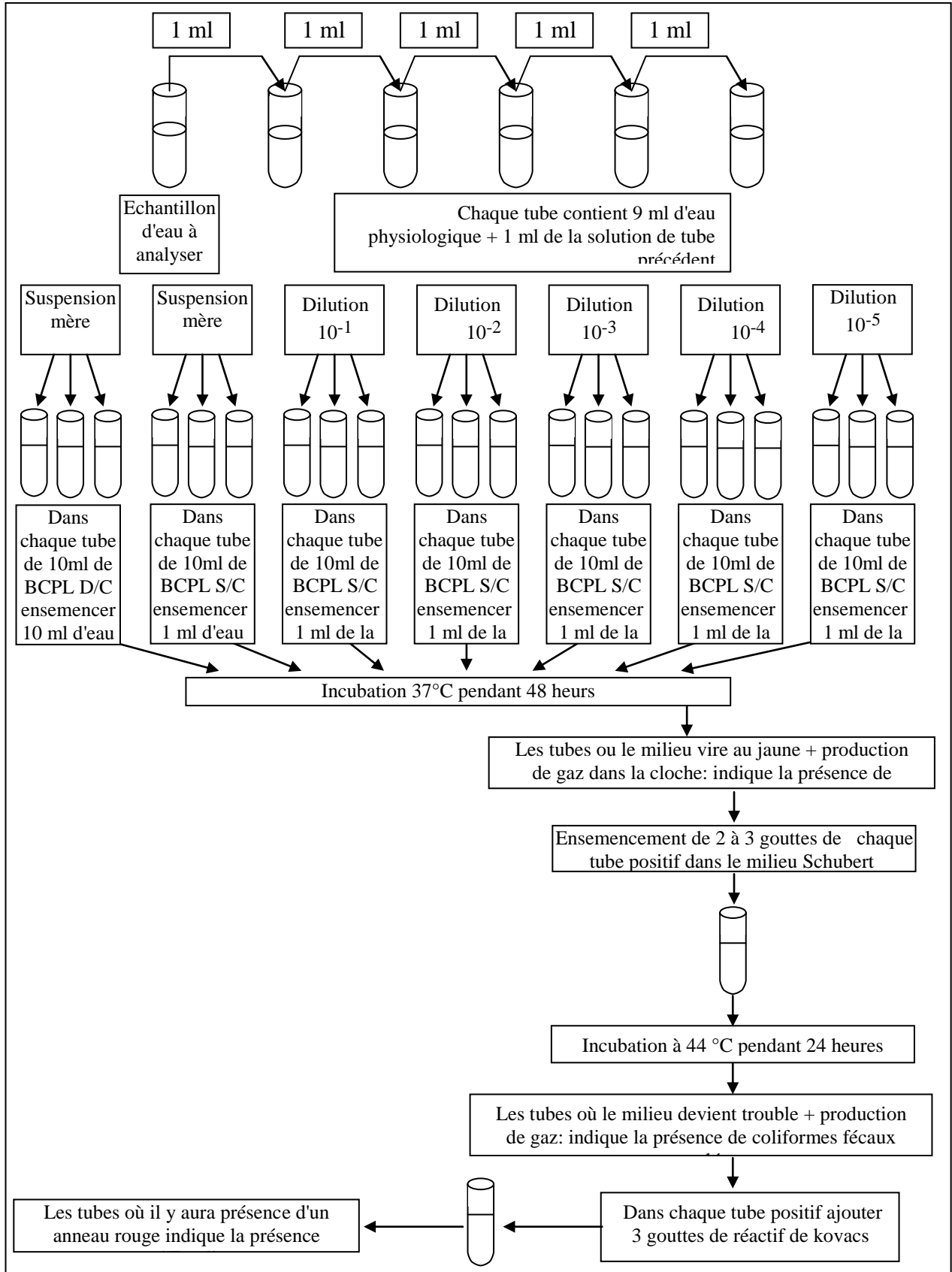


Figure 45: Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux.

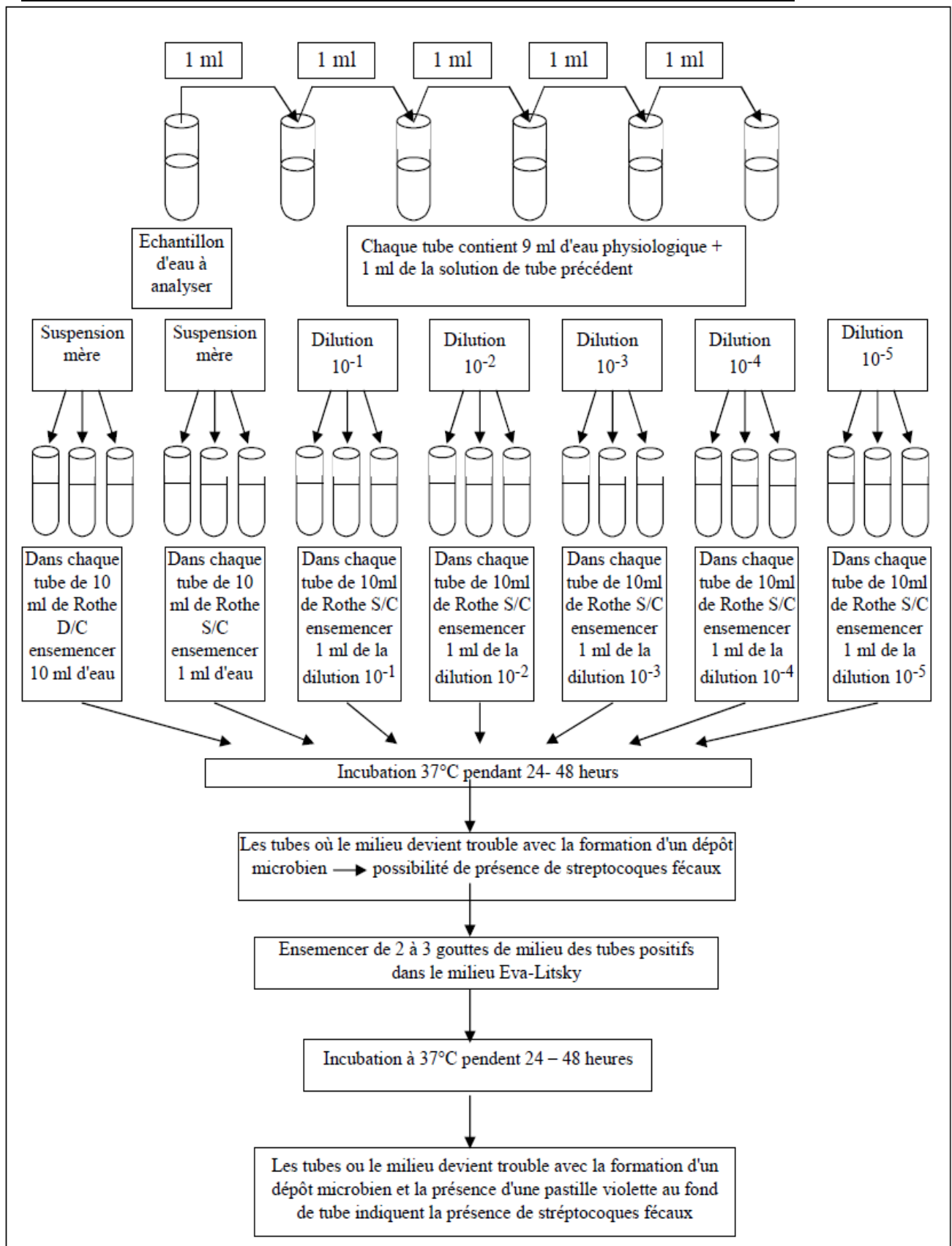


Figure 46 : Recherche et dénombrement des streptocoques totaux et fécaux.

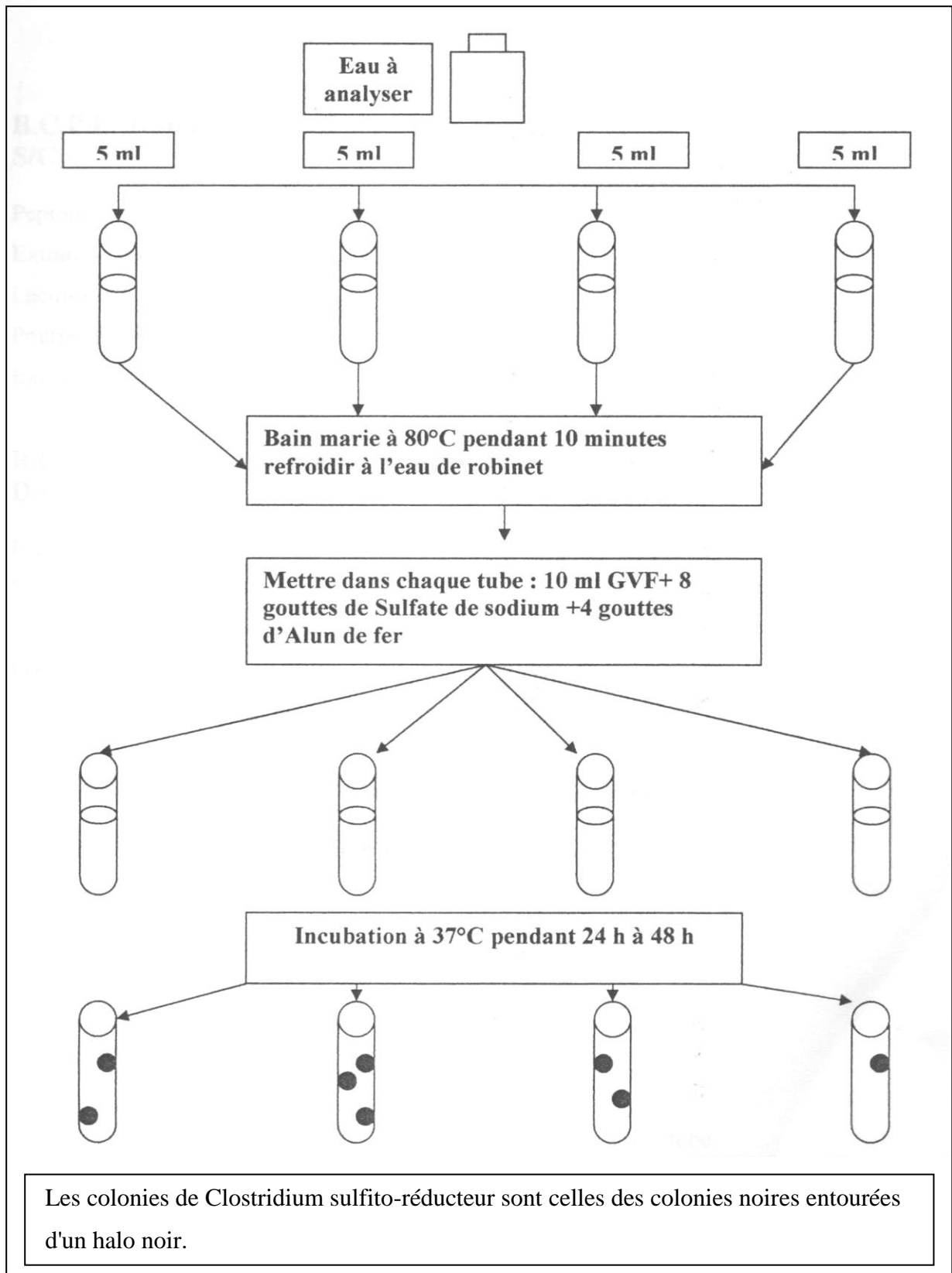


Figure 47 : Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs.

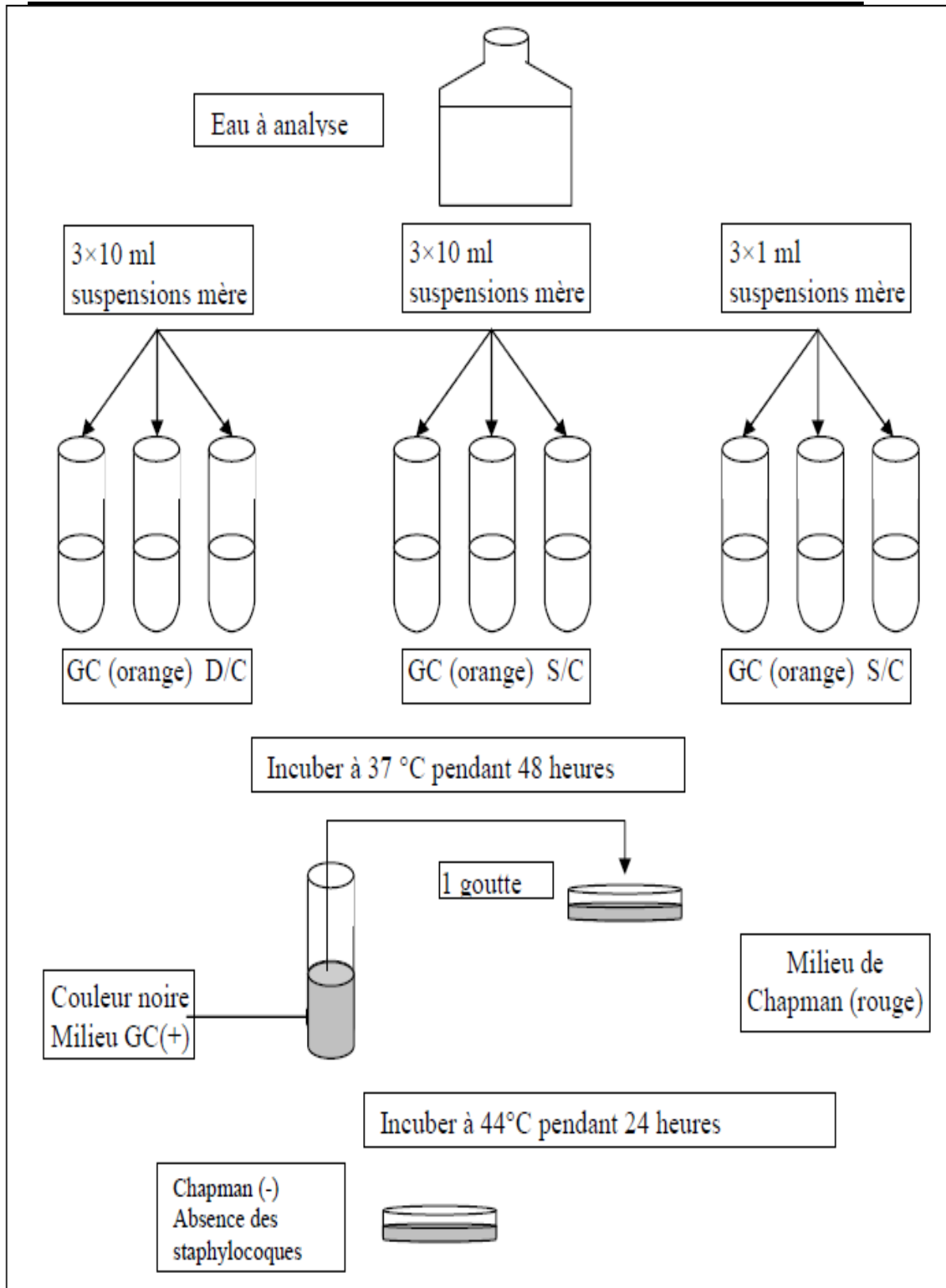


Figure 48 : Recherche des staphylocoques (LABBADI et MOUKAR, 2010).

Annexe 11 : Les rapports d'analyse statistique**Annexe 11.1 acacia**

ANOVA à un facteur contrôlé : EUE; EF

Analyse de variance

Source	DL	SC	CM	F	P
Facteur	1	6603	6603	16,15	0,000
Erreur	48	19625	409		
Total	49	26228			

IC individuel à 95% pour la moyenne

Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcarType	-----+-----+-----+-----+
EUE	25	36,62	8,21	(-----*-----)
EF	25	59,60	27,39	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+
Ecart-type groupé =			20,22	36 48 60

Annexe 11.2 leucaena

ANOVA à un facteur contrôlé : EUE; EF

Analyse de variance

Source	DL	SC	CM	F	P
Facteur	1	2737	2737	12,80	0,001
Erreur	48	10262	214		
Total	49	12998			

IC individuel à 95% pour la moyenne

Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcarType	-----+-----+-----+-----+
EUE	25	41,24	11,82	(-----*-----)
EF	25	56,04	16,97	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+
Ecart-type groupé =			14,62	40,0 48,0 56,0 64,0

Annexe 11.3 acacia

ANOVA à un facteur contrôlé : EUE; EF

Analyse de variance

Source	DL	SC	CM	F	P
Facteur	1	9,531	9,531	15,50	0,000
Erreur	48	29,519	0,615		
Total	49	39,050			

IC individuel à 95% pour la moyenne

Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcarType	-----+-----+-----+-----+-----
EUE	25	1,6688	0,2556	(-----*-----)
EF	25	2,5420	1,0792	(-----*-----)
-----+-----+-----+-----+-----				
Ecart-type groupé =		0,7842	1,50	2,00 2,50 3,00

Annexe 11.4 Leucaena

ANOVA à un facteur contrôlé : EUE; EF

Analyse de variance

Source	DL	SC	CM	F	P
Facteur	1	3,501	3,501	8,42	0,006
Erreur	48	19,953	0,416		
Total	49	23,454			

IC individuel à 95% pour la moyenne

Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcarType	-----+-----+-----+-----+-----
EUE	25	2,1720	0,4463	(-----*-----)
EF	25	2,7012	0,7951	(-----*-----)
-----+-----+-----+-----+-----				
Ecart-type groupé =		0,6447	2,10	2,40 2,70