

**UNIVERSITE KASDI MERBAH - OUARGLA**  
**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE**  
**Département des Sciences biologiques**



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**

*En Vue De L'obtention Du Diplôme de Magistère en Ecologie Saharienne et  
Environnement*

**THEME**

**Eaux usées épurées de la cuvette de Ouargla**  
**Gestion et risques environnementaux**

Soutenu publiquement par :

**M<sup>f</sup>: NADER Abdelkadir**

**Devant le jury**

<b>Président</b>	HACINI Messaoud	Professeur	U.K.M. Ouargla
<b>Promoteur</b>	SAKER Mohamed Lakhdar	Professeur	U.K.M. Ouargla
<b>Co-promoteur</b>	DADDI BOUHOUN Mustapha	M.C.A.	U.K.M. Ouargla
<b>Examineur</b>	IDDER Mohamed Tahar	M.C.A.	U.K.M. Ouargla
<b>Examineur</b>	BOUTOUTAOU Djamel	M.C.A.	U.K.M. Ouargla

**Année universitaire: 2013/2014**



## Remerciements

Je tiens à témoigner mon ample gratitude en premier lieu à Allah, qui m'a accordé la connaissance et la patience pour accomplir ce modeste travail.

J'affirme mes sincères remerciements à mon encadreur le Professeur SAKER Mohamed Lakhdar, enseignant à la faculté des sciences de la nature et de la vie à l'université Kasdi Merbah de Ouargla pour avoir accepté de m'encadrer, je lui présente mon entière reconnaissance du fait de son orientation, ses conseils, sa disponibilité et sa patience.

J'adresse aussi mes remerciements à mon co-encadreur Monsieur DADDI BOUHOUN Mustapha, Maître de conférences A à la dite faculté.

Je remercie autant le professeur HACINI Messaoud qui a accepté de présider le jury de soutenance de ce modeste mémoire, je remercie aussi les enseignants M<sup>rs</sup> BOUTOUTAOU Djamel et IDDER Mohamed Tahar, Maîtres de conférences A, qui ont accepté d'être examinateurs au sein de cet honorable jury.

Encore, ma reconnaissance est adressée à mes enseignants IDDER T, CHAABNA A, BOUZID H, CHAOUCH S, CHAHMA A et BOUALLALA M pour leurs sincères orientations et leurs précieux conseils et aides.

Également, ma gratitude est dédiée à mes collègues de post-graduation, surtout ceux qui m'ont soutenu tout au long de la réalisation de ce travail, notamment ABDALLAH, HAMZA, HAFFA, ABDELBASSAT, AMEL, HADJIRA et HAFSA.

J'adresse aussi un grand merci à mes collègues SAÏD A, DJEBBAR M, YOUNES B, YOUCEFI A, SELMI F, BOUDIF B, SIAD K, cadres et laborantins au sein du Laboratoire INSID Adrar, qui ont consacré leurs temps et leurs efforts pour que j'accomplisse mes analyses.

Ainsi, j'exprime mes cordiaux remerciements à mes confrères BAHAOUS et FATIHA de l'ANRH Adrar, BOULAL, MUSTAPHA et FATEHIA de l'URERMS Adrar, ABDELKADER, ALI, BRAHIM et ABDALLAH du CACQUE Adrar et Mme INGA du Laboratoire d'hygiène de Wilaya, DSP d'Adrar.

J'adresse aussi mes remerciements à Messieurs : DADDA MOUSSA H, CHADLI M, SOHAIB, SOFIANE et MOSSAAB.

Mes spéciaux remerciements à mes chers amis BERNAOUI A, KEDDI Y et KEDDI A, merci pour votre hospitalité, votre aide, votre soutien et votre bon accueil.

Je tiens à remercier l'ensemble des agriculteurs du site de REUE : BOUKHALFA, les MZABIA, BAISSA, DAGHA, ZEKRI, RAHIM, KOUANI, BADR, DEKKAIA et les autres, auxquels je suis très reconnaissant du fait de leurs aides, leur générosité et leurs informations très utiles.

Je remercie aussi la famille ASSAL de FRANE pour leur hospitalité et leur bon accueil.

Je remercie finalement ma petite et ma grande famille, auxquelles je présente mes remerciements et ma reconnaissance du fait de leurs patiences, leurs aides, leurs soutiens, leurs encouragements et leurs sincères prières.

## **Eaux usées épurées de la cuvette de Ouargla Gestion et risques environnementaux**

### **Résumé**

A l'instar des autres grandes agglomérations algériennes, l'agglomération de Ouargla évacue quotidiennement des volumes considérables d'eaux usées épurées (EUE), capables d'engendrer des impacts négatifs sur l'environnement.

L'objectif de notre travail de recherche est de mettre en lumière la politique actuelle de la gestion de ces EUE et de discerner les risques environnementaux qu'elle génère.

La stratégie adoptée pour la gestion des EUE de la cuvette de Ouargla vise à moyen terme la mobilisation de ces eaux en irrigation. En revanche, à court terme, la quasi-totalité de ces EUE est rejetée dans la nature, en parallèle, une réutilisation informelle de ces eaux en irrigation au sein de quelques lieux a été repérée.

Le milieu récepteur des EUE dénommé sebkhat Safioune est une sebkha isolée, d'environ 10000 ha de superficie, située à peu près à 40 km au nord de l'agglomération. Le site de réutilisation le plus représenté se situe à quelques centaines de mètres au nord de la STEP de Ouargla, renfermant plus d'une vingtaine de parcelles irriguées avec les EUE et plantées essentiellement en palmiers dattiers, dont la réutilisation des EUE n'est ni organisée ni contrôlée.

Le rejet des EUE a engendré des changements écologiques au niveau du milieu récepteur préalablement stérile : la génération d'un plan d'eau d'environ 600ha de superficie, l'installation d'une flore et d'une avifaune, la remontée de la nappe phréatique et l'accumulation des matières organiques humides sont les principaux impacts observés. En plus : la pollution carbonée, azotée et phosphorée de la nappe phréatique, la diminution de la salinité de la nappe, la diminution de la salinité et du SAR des sols, ainsi que l'enrichissement de l'horizon de surface des sols recevant les EUE en matière organique et en calcaire, sont les principaux effets constatés.

D'autre part, au niveau du site de réutilisation, l'irrigation avec les EUE ayant une salinité exagérée a engendré la remontée de la nappe phréatique, la diminution de la salinité et aussi la diminution du SAR des sols irrigués, reconnus comme étant des sols sableux et bien drainés.

**Mots clés :** eaux usées épurées, gestion, risques environnementaux, cuvette de Ouargla, Algérie.

## **Purified wastewaters in Ouargla basin Management and environmental risks**

### **Abstract**

Like other major Algerian cities, the agglomeration of Ouargla removes large volumes of purified wastewater (PWW) able to generating negative impacts on the environment.

Our study objective was to highlight the current management policy of the PWW and discern the environmental risks subsequent to this management.

The management of PWW derived from the basin of Ouargla aims to medium term the mobilization of these waters for irrigation. In the short term, almost all of these PWW is rejected in nature. Informal reuse in irrigation in some sites has been detected.

The receiving environment of the PWW is sebkhat Safioune, it's an isolated area of about 10.000 ha located approximately at 40 km north of the city of Ouargla. The site of reuse most represented is a few hundred meters to the north of treatment station of Ouargla, it contains more than twenty plots irrigated with PWW and mainly planted of date palms, the PWW reuse in this site is neither organized nor controlled.

PWW rejection has created ecological changes in the receiving environment previously barren, generating a water area of about 600ha, installation of flora and birdlife, rising water table and accumulation of wet organic matter are the main impacts observed. In addition : carbon , nitrogen and phosphorus pollutions in the water table , decreasing salinity of the water table , decreasing salinity and SAR soils and enrichment of the surface horizon of soils receiving PWW by organic matter and limestone are the main effects detected after laboratory analysis.

On the other hand in the reuse site, irrigation with exaggerated saline PWW led to the rise of ground water, decreasing salinity and also decreasing SAR soils recognized as permeable and well drained soils.

**Keywords:** purified wastewater, management, environmental risks, Ouargla basin, Algeria.

## المياه المستعملة المصفاة في حوض ورقلة تسيير و أخطار بيئي

### ملخص

على غرار التجمعات السكنية الكبرى في الجزائر ، يجلي التجمع السكاني لورقلة يوميا كميات معتبرة من المياه المستعملة المصفاة (م م م ) الكفيلة بإحداث تأثيرات سلبية على البيئة و المحيط.

الغرض من دراستنا ه ذه هو تسليط الضوء على السياسة الحالية لتسيير المياه المستعملة المصفاة و تبيان الأخطار البيئية المترتبة عن ه ذه السياسة.

تهدف الإستراتيجية المتبناة في تسيير ال م م م على مستوى حوض ورقلة على المدى المتوسط إلى تسخير ه ذه المياه لفائدة القطاع الزراعي ,بيد أنه نظرا لعدم استيفاء متطلبات ه ذا التسخير تلج أ المؤسسة المستغلة لمحطة التصفية إلى رم ي ه ذه المياه في الطبيعة ، في ه ذه الأثناء ننوه بوجود بعض المواقع التي تتم فيها إعادة استعمال ه ذه المياه للسقي و لكن بطريقة غير مبرمجة و لهذا غير منظمة.

الوسط المستقبل لل م م م يسمى سبخة سرفيون، ه ذا الموقع عبارة عن سبخة منعزلة ذات مساحة تناهز ال 10000 هكتار واقعة شمال مدينة ورقلة و تبعد عنها بحوالي 40 كلم.

أهم موقع لإعادة استعمال ال م م م للسقي يقع على بعد بضع مئ متر شمال محطة التصفية لمدينة ورقلة، يحوي ه ذا الموقع ما يربو عن عشرين قطعة أرضية مسقية بال م م م و مغروسة أساسا بنخيل التمور ، بينت استقصاءاتنا و تحقيقاتنا أن إعادة استعمال ال م م م للسقي في ه ذا الموقع لا تخضع لأي تنظيم أو مراقبة من طرف المؤسسات المعني له ذا الغرض من طرف التشريع الجزائري.

أحدث رم ي ال م م م في الطبيعة تغييرات بيئية على مستوى الوسط المستقبل : تكون مسطح مائي مساحته تقارب 600 هكتار، استقرار أنواع عدة من الطيور و كذا نمو بعض النباتات المميزة ،ارتفاع مستوى المياه الجوفية و تراكم المواد العضوية الرطبة هي أهم الآثار الملاحظة.

من أهم الآثار المستنتجة بعد القيام بالتحاليل المخبرية نذكر : تلوث المياه الجوفية القريبة من السطح بالمواد العضوية ، بالأزوت و الفسفور و كذلك انخفاض ملوحة ه ذه المياه الجوفية ، بالنسبة للتربة سجلنا انخفاض في ملوحة التربة و نسبة ادمصاص الصوديوم،لذا اغتناء الأفق السطحي للتربة المستقبل لل م م م بالمادة العضوية و الكلس.

من جهة أخرى أحدث السقي بواسطة ال م م م ذات الملوحة العالية ارتفاعا في مستوى المياه الجوفية و خفضا في ملوحة و نسبة ادمصاص صوديوم التربة المسقية المتميزة بنزحها الرملي و جودة صرفها للمياه.

**الكلمات الرئيسية:** المياه المستعملة المصفاة، تسيير، أخطار بيئي، حوض ورقلة، الجزائر.

## Liste des figures

<b>Figure 01.</b> Rejets des eaux usées épurées par milieu récepteur en Algérie (2004).....	8
<b>Figure 02.</b> Volumes d’eaux usées Générées, Épurées et Réutilisées dans cinq pays méditerranéens.....	9
<b>Figure 03.</b> Situation de la wilaya de Ouargla.....	18
<b>Figure 04.</b> Cadre physique de la cuvette de Ouargla.....	19
<b>Figure 05.</b> Relief géologique de la région de Ouargla .Superposition de la carte géologique de G.Busson au MNT.....	20
<b>Figure 06.</b> Schéma du processus d’assainissement de l’agglomération de Ouargla.....	25
<b>Figure 07.</b> Principe du lagunage aéré.....	27
<b>Figure 08.</b> Situation de la station d’épuration de Ouargla.....	27
<b>Figure 09.</b> Composantes de la station d’épuration de Ouargla.....	30
<b>Figure 10.</b> Itinéraire du canal de transfert des eaux usées épurées .....	31
<b>Figure 11.</b> Méthodologie détaillée de l’étude de la gestion des eaux usées épurées de la cuvette de Ouargla et des risques environnementaux générés suite à l’épandage des eaux usées épurées.....	37
<b>Figure 12.</b> Situation du site de réutilisation des eaux usées épurées en irrigation.....	38
<b>Figure 13.</b> Situation du milieu récepteur des eaux usées épurées et eaux de drainage.....	39
<b>Figure 14.</b> Parcelles échantillonnées au sein du site de réutilisation pour étude des effets de l’irrigation avec les eaux usées épurées sur les sols.....	41
<b>Figure 15.</b> Points de prélèvement des sols et des eaux de rejet au sein du milieu récepteur pour l’étude des effets de rejet des excédents hydriques sur les sols.....	47
<b>Figure 16.</b> Points de prélèvement des eaux de la nappe au sein de sebkhat Safioune.....	48
<b>Figure 17.</b> Choix de l’irrigation par les eaux usées épurées.....	50
<b>Figure 18.</b> Durée de l’irrigation avec les eaux usées épurées.....	51
<b>Figure 19.</b> Systèmes d’irrigation au sein des parcelles irriguées avec les eaux usées épurées .....	51
<b>Figure 20.</b> Autorisation d’irrigation avec les eaux usées épurées .....	51
<b>Figure 21.</b> Directives sur la restriction des cultures.....	51
<b>Figure 22.</b> Avis des irrigants concernant la qualité de l’eau usée épurée.....	52
<b>Figure 23.</b> Impacts constatés suite à l’irrigation avec les eaux usées épurées.....	52
<b>Figure 24.</b> Contact direct avec les eaux usées épurées.....	52
<b>Figure 25.</b> Utilisation des équipements de protection lors de l’irrigation avec les eaux usées épurées.....	52
<b>Figure 26.</b> Désagrément lors d’irrigation avec les eaux usées épurées.....	53
<b>Figure 27.</b> Sensibilisation sur les risques de la réutilisation des eaux usées épurées.....	53
<b>Figure 28.</b> Appui technique par les structures impliquées dans le domaine de réutilisation des eaux usées épurées.....	53
<b>Figure 29.</b> Suivi des impacts de l’irrigation avec les eaux usées épurées sur les sols et les cultures.....	54
<b>Figure 30.</b> Suivi sanitaire des agriculteurs irrigants avec les eaux usées épurées.....	54
<b>Figure 31.</b> Situation de sebkhat Safioune.....	55
<b>Figure 32.</b> Délimitation du plan d’eau généré à la sebkhat Safioune (Novembre 2012).....	56



<b>Figures 33 et 34.</b> Cartes de végétation générée à la sebkhat Safioune (Mars 2013).....	57
<b>Figure 35.</b> Répartition des espèces végétales au sein du milieu récepteur (Mars 2013)....	58
<b>Figure 36.</b> Carte de situation de la parcelle irriguée avec les eaux usées épurées et gérée par l'ONA.....	60
<b>Figure 37.</b> Situation du site de réutilisation des eaux usées épurées en irrigation.....	61
<b>Figure 38.</b> Plan parcellaire du site de réutilisation des eaux usées épurées .....	63
<b>Figure 39.</b> Pourcentages des superficies non cultivées ou cultivées irriguées par type d'eau au niveau du site de réutilisation des eaux usées épurées en irrigation.....	64
<b>Figure 40.</b> Pourcentages des parcelles irriguées par les eaux usées épurées par systèmes de cultures au niveau du site de réutilisation des eaux usées épurées en irrigation .....	64
<b>Figure 41.</b> Présentation du faciès chimique des eaux usées épurées réutilisées en irrigation selon le diagramme de Piper.....	67
<b>Figure 42.</b> Classification des eaux usées épurées réutilisées en irrigation selon le diagramme de Riverside modifié.....	67
<b>Figure 43.</b> Variations des valeurs du pH des sols au sein de la première couche 0-40cm au niveau du site de réutilisation des eaux usées épurées.....	70
<b>Figure 44.</b> Variations de valeurs du pH des sols en fonction de la profondeur au niveau du site de réutilisation des eaux usées épurées.....	70
<b>Figure 45.</b> Variations des valeurs de la CE de l'extrait dilué 1/5 en ms/cm à 25°C des sols au sein de la première couche 0-40cm au niveau du site de réutilisation des eaux usées épurées.....	72
<b>Figure 46.</b> Variations des valeurs de la CE de l'extrait dilué 1/5 en ms/cm à 25°C des sols en fonction de la profondeur au niveau du site de réutilisation des eaux usées épurées.....	72
<b>Figure 47.</b> Variations des sommes des cations solubles en méq/l au sein de la première couche 0-40cm des sols du site de réutilisation des eaux usées épurées.....	74
<b>Figure 48.</b> Variations des concentrations des cations solubles en méq/l au sein de la première couche 0-40cm des sols du site de réutilisation des eaux usées épurées.....	74
<b>Figure 49.</b> Variations des sommes des cations solubles en méq/l des sols du site de réutilisation des eaux usées épurées en irrigation en fonction de la profondeur.....	75
<b>Figure 50.</b> Variations des concentrations des cations solubles en méq/l des sols du site de réutilisation des eaux usées épurées en fonction de la profondeur.....	76
<b>Figure 51.</b> Variations des sommes des anions solubles en méq/l au sein de la première couche 0-40cm des sols du site de réutilisation des eaux usées épurées.....	77
<b>Figure 52.</b> Variations des concentrations des anions solubles en méq/l au sein de la première couche 0-40cm des sols du site de réutilisation des eaux usées épurées.....	78
<b>Figure 53.</b> Variations des sommes des anions solubles en méq/l des sols du site de réutilisation des eaux usées épurées en fonction de la profondeur.....	79
<b>Figure 54.</b> Variations des concentrations des anions solubles en méq/l des sols du site de réutilisation des eaux usées épurées en fonction de la profondeur.....	79
<b>Figure 55.</b> Évolution des faciès salins des sols irrigués au sein de la première couche 0-40cm au niveau du site de réutilisation des eaux usées épurées.....	81
<b>Figure 56.</b> Évolution des faciès salins des sols irrigués du site de réutilisation des eaux usées épurées en fonction de la profondeur.....	81
<b>Figure 57.</b> Variations des taux du SAR <sub>1/5</sub> au sein de la première couche 0-40cm des	

sols du site de réutilisation des eaux usées épurées.....	82
<b>Figure 58.</b> Variations des taux du SAR <sub>1/5</sub> des sols du site de réutilisation des eaux usées épurées en fonction de la profondeur.....	82
<b>Figure 59.</b> Variations des taux de carbone organique en % des sols (couche 0-10cm) du site de réutilisation des eaux usées épurées.....	83
<b>Figure 60.</b> Présentation des faciès chimiques des eaux rejetées selon le diagramme de Piper.....	86
<b>Figure 61.</b> Classification des eaux rejetées selon le diagramme de Riverside modifié.....	86
<b>Figure 62.</b> Variations des valeurs du pH des sols au sein de l'horizon de surface au niveau du milieu récepteur.....	89
<b>Figure 63.</b> Variations des valeurs du pH des sols en fonction de la profondeur au sein du milieu récepteur.....	89
<b>Figure 64.</b> Variations des valeurs de CE de l'extrait dilué 1/5 en ms/cm de l'horizon de surface des sols au niveau du milieu récepteur.....	90
<b>Figure 65.</b> Variations des valeurs de CE de l'extrait 1/5 en ms/cm des sols en fonction de la profondeur au niveau du milieu récepteur.....	91
<b>Figure 66.</b> Variations des sommes des cations solubles en méq/l des sols au sein de l'horizon de surface au niveau du milieu récepteur.....	93
<b>Figure 67.</b> Variations des concentrations des cations solubles en méq/l des sols au sein de l'horizon de surface au niveau du milieu récepteur.....	94
<b>Figure 68.</b> Variations des sommes des cations solubles en méq/l des sols en fonction de la profondeur au sein du milieu récepteur.....	95
<b>Figure 69.</b> Variations des concentrations des cations solubles en méq/l des sols en fonction de la profondeur au niveau du milieu récepteur.....	95
<b>Figure 70.</b> Variations des sommes des anions solubles en méq/l des sols au sein de l'horizon de surface au niveau du milieu récepteur.....	97
<b>Figure 71.</b> Variations des concentrations des anions solubles en méq/l des sols au sein de l'horizon de surface au niveau du milieu récepteur.....	98
<b>Figure 72.</b> Variations des sommes des anions solubles en méq/l des sols en fonction de la profondeur au sein du milieu récepteur.....	98
<b>Figure 73.</b> Variations des concentrations des anions solubles en méq/l des sols en fonction de la profondeur au sein du milieu récepteur.....	99
<b>Figure 74.</b> Évolution des faciès salins des horizons de surface des sols recevant les excédents hydriques au sein du milieu récepteur.....	101
<b>Figure 75.</b> Évolution des faciès salins en fonction de la profondeur des sols recevant les excédents hydriques au sein du milieu récepteur.....	101
<b>Figure 76.</b> Variations des taux de SAR <sub>1/5</sub> des sols au sein de l'horizon de surface au niveau du milieu récepteur.....	102
<b>Figure 77.</b> Variations des taux de SAR <sub>1/5</sub> des sols en fonction de la profondeur au niveau du milieu récepteur.....	102
<b>Figure 78.</b> Variations des taux de matière organique en % des sols au sein de l'horizon de surface au niveau du milieu récepteur.....	103
<b>Figure 79.</b> Variations des taux du calcaire total et actif en % des sols au sein de l'horizon de surface au niveau du milieu récepteur.....	105
<b>Figure 80.</b> Variations des taux de calcaire total en % des sols en fonction de la profondeur au niveau du milieu récepteur.....	105
<b>Figure 81.</b> Effet du rejet des excédents hydriques sur les pH des eaux de la nappe phréatique au niveau du milieu récepteur.....	107
<b>Figure 82.</b> Effet du rejet des excédents hydriques sur la CE en ms/cm des eaux de la nappe phréatique au niveau du milieu récepteur.....	108

<b>Figure 83.</b> Effet du rejet des excédents hydriques sur la pollution organique (DCO en mg/l) des eaux de la nappe phréatique au niveau du milieu récepteur.....	109
<b>Figure 84.</b> Effet du rejet des excédents hydriques sur l'accroissement des taux d'azote Kjeldahl en mg/l des eaux de la nappe phréatique au niveau du milieu récepteur.....	110
<b>Figure 85.</b> Effet du rejet des excédents hydriques sur l'accroissement des teneurs en phosphore total en mg/l de P des eaux de la nappe phréatique au niveau du milieu récepteur.....	111

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01.</b> Données de bases de la station d'épuration de Ouargla.....	28
<b>Tableau 02.</b> Liste non exhaustive des espèces d'oiseaux inventoriées au niveau de sebkhat Safioune.....	58
<b>Tableau 03.</b> Qualité des eaux usées épurées réutilisées en irrigation (période de prélèvement Mars 2013).....	66
<b>Tableau 04.</b> Caractéristiques des sols étudiés au niveau du site de réutilisation (période de prélèvement Mars 2013).....	69
<b>Tableau 05.</b> Comparaison des moyennes des pH des différentes couches des sols irrigués et non irrigués (test t de Student).....	71
<b>Tableau 06.</b> Comparaison des moyennes des CE $_{1/5}$ des différentes couches des sols irrigués et non irrigués (test t de Student, test unilatéral).....	73
<b>Tableau 07.</b> Comparaison des moyennes des concentrations des cations solubles des différentes couches des sols irrigués et non irrigués (test t de Student, test unilatéral).....	76
<b>Tableau 08.</b> Comparaison des moyennes des concentrations des anions solubles des différentes couches des sols irrigués et non irrigués (test t de Student, test unilatéral).....	80
<b>Tableau 09.</b> Comparaison des moyennes des SAR $_{1/5}$ des différentes couches des sols irrigués et non irrigués (test t de Student, test unilatéral).....	83
<b>Tableau 10.</b> Comparaison des moyennes des taux de carbone organique des couches de surface des sols irrigués et non irrigués (test t de Student).....	84
<b>Tableau 11.</b> Qualité physico-chimique des eaux rejetées au niveau du milieu récepteur (Période de prélèvement Mars 2013).....	85
<b>Tableau 12.</b> Caractéristiques des sols étudiés au niveau du milieu récepteur (Période de prélèvement Mars 2013).....	88
<b>Tableau 13.</b> Comparaison des moyennes des pH des sols situés dans la zone d'épandage et des sols témoins (test t de Student).....	90
<b>Tableau 14.</b> Comparaison des moyennes des CE $_{1/5}$ des sols situés dans la zone d'épandage et des sols témoins (test t de Student, test unilatéral).....	91
<b>Tableau 15.</b> Comparaison des moyennes des concentrations des cations solubles des sols situés dans la zone de rejet et des sols témoins (test t de Student, test unilatéral).....	96
<b>Tableau 16.</b> Comparaison des moyennes des concentrations des anions solubles des sols situés dans la zone de rejet et des sols témoins (test t de Student, test unilatéral).....	100
<b>Tableau 17.</b> Comparaison des moyennes des SAR $_{1/5}$ des sols situés dans la zone de rejet et des sols témoins (test t de Student, test unilatéral).....	103
<b>Tableau 18.</b> Comparaison des moyennes des taux de matière organique des sols situés dans la zone de rejet et des sols témoins (test t de Student, test unilatéral).....	104
<b>Tableau 19.</b> Comparaison des moyennes de taux de calcaire total des sols situés dans la zone de rejet et des sols témoins (test t de Student, test unilatéral).....	106
<b>Tableau 20.</b> Comparaison des moyennes des pH des eaux de nappe située au dessous de la zone d'épandage et du témoin (test t de Student).....	107
<b>Tableau 21.</b> Comparaison des moyennes des CE des eaux de nappe recevant les excédents hydriques et du témoin (test t de Student, test unilatéral).....	108

<b>Tableau 22.</b> Comparaison des moyennes des DCO des eaux de située au dessous de la zone d'épandage et du témoin (test t de Student, test unilatéral).....	109
<b>Tableau 23.</b> Comparaison des moyennes des teneurs en azote Kjeldahl des eaux de nappe située au dessous de la zone d'épandage et du témoin (test t de Student, test unilatéral).....	110
<b>Tableau 24.</b> Comparaison des moyennes des teneurs en phosphore total des eaux de nappe située au dessous de la zone d'épandage et du témoin (test t de Student, test unilatéral).....	111

## Liste des photos

<b>Photo 01.</b> Dégrilleur.....	29
<b>Photo 02.</b> Dessableur.....	29
<b>Photo 03.</b> Lagune d'aération.....	30
<b>Photo 04.</b> Lagune de finition.....	30
<b>Photo 05.</b> Embouchure du canal (point de rejet).....	31
<b>Photo 06.</b> Rejet des excédents hydriques au niveau du milieu récepteur (sebkhat Safioune).....	31
<b>Photos 07 et 08.</b> Végétation installée au sein du milieu récepteur.....	57
<b>Photos 09 et 10.</b> Avifaune installée au niveau de la zone humide de sebkhat Safioune.....	59
<b>Photos 11, 12 et 13.</b> Pollution des sols recevant les eaux de rejet au niveau de la sebkhat Safioune.....	59
<b>Photo 14.</b> Parcelle plantée exclusivement en palmiers et irriguée par les eaux usées épurées.....	62
<b>Photo 15.</b> Parcelle plantée en palmiers avec cultures annuelles irriguées par eaux usées épurées.....	62
<b>Photo 16.</b> Piquage des eaux usées épurées au sein du canal pour irrigation.....	62
<b>Photo 17.</b> Cultures irriguées par submersion.....	62
<b>Photo 18.</b> Palmiers irrigués en localisé.....	62

## Liste des abréviations

**ABHS** : Agence du Bassin Hydrographique Sud  
**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydriques  
**CAQUE** : Centre Algérien de Contrôle de Qualité et d'Emballage  
**CE** : Conductivité Électrique  
**CEAEQ** : Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec  
**CF**: Coliformes fécaux  
**CI**: Continental intercalaire  
**CT**: Complexe terminal  
**CW** : Chemin de Wilaya  
**DAPE** : Direction d'assainissement et de protection de l'environnement/ MRE  
**DBO** : Demande Biochimique en Oxygène  
**DCO** : Demande Chimique en Oxygène  
**DMRE** : Direction de Mobilisation des Ressources en Eaux/ MRE  
**DPAT**: Direction de Planification et d'Aménagement du Territoire  
**DRE** : Direction des Ressources en Eaux  
**DSA**: Direction des Services Agricoles  
**DSP** : Direction de Santé Publique  
**EDTA** : Acide Éthylène Diamine Tétra Acétique  
**EFF** : Effluent  
**ETM** : Éléments Traces Métalliques  
**EU**: Eaux Usées  
**EUE** : Eaux Usées Épurées  
**FAO**: Food and Agriculture organization  
**INSID**: Institut National des Sols de l'Irrigation et du Drainage  
**Irr** : Irrigué  
**ITDAS** : Institut Technique de Développement de l'Agriculture Saharienne  
**JORADP** : Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire  
**MES** : Matières En Suspension  
**MNT** : Modèle Numérique du Terrain  
**MO**: Matière organique  
**MRE** : Ministère de Ressources en Eaux  
**MTH**: Maladies à Transmission Hydrique  
**NGL** : Azote Global (Total)  
**NK**: Azote Kjeldahal  
**N org**: Azote organique  
**OMS**: Organisation Mondiale de Santé  
**ONA** : Office National d'Assainissement  
**ONM** : Office National de Météorologie  
**pH** : potentiel d'Hydrogène  
**PT** : Phosphore Total  
**REUE** : Réutilisation des Eaux Usées Épurées  
**RN** : Route Nationale  
**SAR** : Sodium Adsorption Ratio  
**SPED** : Station de Pompage des Eaux de Drainage  
**STEP**: Station d'épuration  
**URERMS**: Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien

# Sommaire

<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b>	1
<b>PREMIERE PARTIE : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>Chapitre I : Eaux usées épurées</b>	3
<b>Chapitre II : Contexte de l'étude</b>	18
<b>Chapitre III : Gestion des eaux usées épurées de la cuvette de Ouargla</b>	24
<b>DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES</b>	
<b>Chapitre IV : Matériels et méthodes</b>	34
I. Choix de la zone d'étude	34
II. Approche méthodologique de l'étude	34
<b>TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSIONS</b>	
<b>Chapitre V : Résultats des enquêtes sur terrain</b>	50
I. Enquêtes sur la gestion de la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation	50
II. Caractéristiques des sites d'épandage et changements écologiques constatés	54
<b>Chapitre VI : Evaluation des effets de l'épandage des eaux usées épurées sur le milieu hydro édaphique</b>	66
A. Étude des effets de l'irrigation avec les eaux usées épurées sur les sols du site de réutilisation	66
B. Étude des effets de rejet des excédents hydriques sur les sols au niveau du milieu récepteur	85
C. Étude des effets de rejet des excédents hydriques sur la qualité des eaux de la nappe phréatique au niveau du milieu récepteur	107
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	117
<b>Références bibliographiques</b>	
<b>Annexes</b>	
<b>Table des matières</b>	



# **I NTRODUCTION GENERALE**

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

La population algérienne est soumise à une expansion démographique considérable, menant à une augmentation continue des quantités des eaux utilisées et des eaux usées produites.

D'une part, les volumes croissants des eaux usées brutes rejetés dans la nature menacent la salubrité de l'environnement urbain et altèrent l'équilibre fragile des milieux naturels recevant ces eaux, d'où la pollution des sols, l'atteinte de la faune et la flore, et pis, la pollution des ressources hydriques, qu'elles soient superficielles ou souterraines, sources où l'homme puise la totalité de son eau potable.

Dans le même contexte, le pays s'est efforcé dès le début de ce siècle de trouver des moyens sûrs et respectant l'environnement pour éradiquer ces menaces.

De ce fait, une politique d'assainissement a été adoptée en vue de protéger l'environnement et préserver la santé publique. Cette politique est basée sur la collecte, l'épuration puis l'élimination de ces eaux usées.

Cette politique d'assainissement a généré des volumes importants d'eaux usées épurées dont la grande partie est rejetée, soit dans la mer, les cours d'eau, les chotts, les sebkhas où elles peuvent être elles-mêmes des sources de nuisances.

D'autre part, la garantie des besoins incessamment croissants en eau et en nourriture d'une population en pleine expansion est devenue un défi majeur pour un pays classé aujourd'hui parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, où la disponibilité en eau est actuellement de 500 m<sup>3</sup> et sera de moins de 450 m<sup>3</sup> par habitant et par an en 2020 (DMRE, 2012), chiffre très loin du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m<sup>3</sup> par habitant et par an.

Ce défi a poussé les pouvoirs publics à tracer une stratégie de mobilisation et de gestion intégrée des ressources en eau superficielles, souterraines et non conventionnelles, et par conséquent, la mobilisation des eaux usées épurées au profit des autres secteurs, notamment le secteur agricole est devenue l'un des axes principaux de la stratégie du secteur des ressources en eau en Algérie (DAPE, 2013).

Compte tenu de ce qui a été évoqué, une gestion des eaux usées épurées visant la récupération et la réutilisation des eaux usées épurées s'est avérée une option réaliste pour couvrir une part du déficit en eau dans le pays ; mais aussi, elle a émergé comme exigence pour contrôler les volumes importants des eaux usées issues de l'épuration, afin d'éliminer les nuisances relatives au rejet de ces eaux usées épurées, en vue de préserver l'environnement et la santé publique.

Dans le contexte de Ouargla, une gestion raisonnée de cette eau non conventionnelle peut procurer à l'agriculture un supplément d'eau et d'éléments fertilisants renouvelables et fiables, permettant ainsi de diminuer la surexploitation des ressources souterraines. En outre, elle allège la pression exercée sur les milieux récepteurs qui peuvent présenter des capacités d'absorption ou d'épuration limitées.

Cependant, si cette ressource constitue une valeur hydrique et un potentiel d'apport de matières fertilisantes, elle peut également présenter des risques et des menaces potentiels au niveau des sites d'épandage recevant ces eaux.

A cet égard, cette eau devrait être gérée soigneusement, surveillée et contrôlée, également un suivi périodique et régulier des sites d'épandage est requis pour évaluer les impacts de ces eaux sur l'environnement et intercepter les éventuels risques sur les usagers de ces eaux.

L'objectif de notre travail de recherche est de mettre en lumière la politique de gestion des eaux usées épurées de la cuvette de Ouargla, et de contribuer à apprécier les risques de dégradation des milieux hydro-édaphiques au niveau de quelques sites d'épandage.

Pour parvenir à cet objectif, trois axes de recherche ont été développés dont : un premier axe étudie la politique de gestion des eaux usées épurées de la cuvette de Ouargla, un deuxième axe identifie les différents sites d'épandage des eaux usées épurées, tout en étudiant leurs caractéristiques, et présente les changements écologiques générés suite à l'épandage des eaux usées épurées au niveau de ces sites, et un troisième axe analyse et apprécie dans quelques sites d'épandage les effets de l'élimination des eaux usées épurées sur la qualité des milieux hydro-édaphiques.

L'étude de la politique de gestion des eaux usées épurées de la cuvette de Ouargla s'est basée principalement sur des investigations concentrées sur la consultation des documents et des structures impliquées dans cette gestion, la réalisation des enquêtes sur le terrain et des questionnaires au profit des agriculteurs.

Les différents sites d'épandage ont été identifiés après la consultation de quelques structures, quant à l'étude des caractéristiques de ces sites et les changements écologiques générés suite à l'épandage des eaux usées épurées, elle a été l'aboutissement des enquêtes de terrain.

L'appréciation des risques de dégradation de la qualité des milieux hydro-édaphiques au niveau de quelques sites d'épandage a été faite suite aux campagnes d'échantillonnage des sols et des eaux de la nappe phréatique, et ceci par le biais d'analyses aux laboratoires.

Pour les sols, nous avons étudié leurs qualités du point de vue salinisation, alcalinisation et enrichissement en matière organique. Pour la nappe phréatique, la qualité de ses eaux a été étudiée du point de vue salinisation et pollutions organique, azotée et phosphorée, avec une caractérisation de la qualité des eaux usées épurées au niveau des sites étudiés.

Notre mémoire s'articule autour de trois parties principales dont : la première partie expose une synthèse bibliographique présentant les définitions et les concepts sur les eaux usées, les procédés d'épuration des eaux usées, les voies, les impacts et les normes d'élimination des eaux usées épurées, le contexte naturel de l'étude ainsi que la gestion des eaux usées épurées au niveau de la cuvette de Ouargla. La deuxième partie présente les sites étudiés, les méthodes d'études adoptées et les protocoles d'analyses utilisés, et la troisième partie présente et discute les résultats des enquêtes et des analyses obtenus.

Enfin, une conclusion générale recueillant les différents enseignements tirés de cette étude a été formulée.

**PREMIERE PARTIE**

**SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

## Chapitre I. Eaux usées épurées

### I. Généralités

#### I.1. Définition des eaux usées

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

Selon BAUMONT, les eaux usées sont les eaux rejetées par les collectivités et les industries et qui sont acheminées par les égouts en station d'épuration, afin d'être traitées. Après traitement, on les appelle des eaux usées épurées (BAUMONT et *al*, 2004).

#### I.2. Origines des eaux usées

Les eaux usées urbaines proviennent essentiellement des activités domestiques et industrielles, ainsi que des pratiques agricoles et des précipitations (les réseaux étant généralement unitaires) (BELAID, 2010).

##### I.2.1. Eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. 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 ;
- ❖ en eaux vannes ; il s'agit des rejets des toilettes chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux (GOMELLA et GUERREE, 1978).

##### I.2.2. Eaux usées industrielles

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, d'après GAUJOUS (1995), elles peuvent également contenir :

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

##### I.2.3. Eaux pluviales

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

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

- ❖ la remise en suspension des dépôts des collecteurs. Par temps sec, l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs du réseau est lent, ce qui favorise le dépôt des matières décantables. Lors d'une précipitation, le flux d'eau, le plus important permet la remise en suspension de ces dépôts (RODRIGEZ-GRACIA, 2004).

## II. Composition des eaux usées

En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, les substances contenues dans les eaux usées peuvent être classées en quatre groupes : les microorganismes, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques (micropolluants) et les substances nutritives (BAUMONT et *al*, 2004).

### II.1. Microorganismes des eaux usées

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. La microflore 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 (BELAID, 2010).

### II.2. Matières en suspension (MES) et colloïdes

Les matières en suspension peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles, ...) ou organique (produits de la décomposition des matières végétales ou animales, acides humiques ou fulviques par exemple). A ces composés s'ajoutent les micro-organismes, tels que bactéries, planctons, algues et virus (DEGREMONT, 2005).

Les matières colloïdales (moins de 1 micron) sont des MES de même origine que les précédentes, mais de plus petite taille, dont la décantation est excessivement lente. Elles sont génératrices de turbidité et de couleur (DEGREMONT, 2005).

### II.3. Micropolluants

Le terme micropolluant désigne un ensemble de substances qui, en raison de leur toxicité, de leur persistance et de leur bioaccumulation sont de nature à engendrer des nuisances, même lorsqu'elles sont rejetées en très faibles quantités (LARKEM et BACEL, 2005).

Les principaux micropolluants sont :

- ❖ certains métaux lourds et métalloïdes (Cd, Pb, Cr, Cu, ...Hg) ;
- ❖ composés phénoliques, organohalogéniques, organophosphorés et hydrocarbures aromatiques polycycliques (MIZI, 2006).

Il faut noter que, sauf exception, telle la présence d'établissements industriels très polluants raccordés directement au réseau d'assainissement, les concentrations en métaux lourds dans les eaux résiduaires traitées sont faibles (TOZE, 2006).

### II.4. Substances nutritives

Les éléments les plus fréquents dans les eaux usées sont l'azote, le phosphore et parfois le potassium, le zinc, le bore et le soufre. Ces éléments se trouvent en quantités appréciables,

mais en proportions très variables, que ce soit dans les eaux usées épurées ou brutes (BELAID, 2010).

### **III. Indicateurs et paramètres de qualité d'une eau**

Pour apprécier ou caractériser la qualité des eaux, différents paramètres sont utilisés que nous classerons ainsi : paramètres physico-chimiques, paramètres de la pollution particulaire, paramètres de la pollution organique, paramètres microbiologiques, micropolluants et éléments nutritifs.

#### **III.1. Paramètres physico-chimiques**

##### **III.1.1. pH**

Il représente le degré d'acidité ou d'alcalinité du milieu. Son influence se fait ressentir par le rôle qu'il exerce sur les autres éléments, comme les métaux dont il peut diminuer ou augmenter la solubilité et donc la disponibilité et la toxicité éventuelle (GAUJOUS, 1995).

##### **III.1.2. Température**

Il est important de connaître la température de l'eau avec précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels, et surtout des gaz et dans la détermination du pH (RODIER et *al*, 1996).

##### **III.1.3. Conductivité électrique (CE)**

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution (RODIER et *al*, 2009). Sa mesure est indispensable dans le cas d'une réutilisation des eaux usées en irrigation.

#### **III.2. Paramètres de la pollution particulaire**

##### **III.2.1. Matières En Suspension (MES)**

La détermination des matières en suspension (MES) est essentielle pour évaluer la répartition de la charge polluante entre pollution dissoute et pollution sédimentable, car le devenir de ces deux composantes est très différent, tant dans le milieu naturel que dans les systèmes d'épuration (TARMOUL, 2007).

Aussi la détermination des MES est importante pour orienter le choix du système d'irrigation dans le cas d'une réutilisation des eaux usées épurées, car selon la FAO, 2003, les quantités excessives de matières en suspension causent le colmatage des systèmes d'irrigation où les problèmes de colmatage les plus sérieux se produisent avec les systèmes goutte à goutte.

#### **III.3. Paramètres de la pollution organique**

##### **III.3.1. Demande Chimique en Oxygène (DCO)**

Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation par processus chimique des matières oxydables existantes dans l'eau. Sa mesure correspond donc à une estimation corrélative des matières oxydables présentes dans l'eau, quelque soit leur origine : organique ou minérale (BLIEFERT et PERRAUD, 2001).

### III.3.2. Demande Biochimique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>)

BERNE et CORDONNIER (1991), définissent la DBO<sub>5</sub> comme étant la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C à l'obscurité, et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée.

### III.4. Paramètres microbiologiques

Pour les bactéries, rechercher les organismes pathogènes de manière spécifique est trop coûteux et aléatoire, c'est pourquoi l'on s'intéresse aux concentrations de germes témoins (coliformes totaux, coliformes fécaux et streptocoques fécaux en général) pour estimer la population de pathogènes. En effet, il existe une corrélation entre la présence de ces bactéries témoins et la présence de bactéries pathogènes (BAUMONT *et al*, 2004).

Pour les parasites, il s'agit essentiellement de la recherche des formes de résistance des protozoaires (kystes) et des œufs d'helminthes.

Il est important de rappeler que les helminthes constituent le risque majeur à cause de leur persistance et leur très faible dose infectieuse. Les bactéries et les protozoaires présentent un risque plus faible. Les virus présentent le risque le moins élevé (Unité d'appui au programme, 2010).

### III.5. Micropolluants

Les micropolluants sont représentés essentiellement par des micropolluants minéraux (métaux lourds et métalloïdes) et des micropolluants organiques ;

Les métaux lourds sont les éléments les plus nocifs dans les eaux résiduaires (RODIER *et al* 2009).

En cas de réutilisation en irrigation, les métaux qui peuvent être présents dans les eaux résiduaires (cadmium (Cd), cuivre (Cu), molybdène (Mo), nickel (Ni) et zinc (Zn)) peuvent constituer un risque sanitaire significatif pour les humains et les animaux, et peuvent également affecter, à long terme, les cultures irriguées par suite d'accumulation dans le sol (FAO, 2003).

### III.6. Éléments nutritifs : Azote et phosphore

Le dosage de l'azote et du phosphore total dans les eaux usées épurées révèle le risque que présentent ces eaux vis-à-vis de l'eutrophisation des milieux aquatiques et les pollutions des nappes, et révèle aussi le pouvoir fertilisant de ces eaux en cas de réutilisation en agriculture.

## IV. Epuration des eaux usées

Par le terme d'épuration des eaux usées, on entend toutes les techniques qui contribuent à diminuer la teneur en composés indésirables contenus dans les eaux usées par des procédés biologiques, chimiques et/ou mécaniques (BLIEFERT et PERRAUD, 2001).



#### **IV.1. Etapes et procédés d'épuration des eaux usées**

Les différents degrés de traitements conventionnels sont :

##### **IV.1.1. Prétraitement**

Les eaux brutes doivent généralement subir avant leur traitement proprement dit, un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérations, uniquement physiques ou mécaniques. Il est destiné à extraire de l'eau brute, la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constitueront une gêne pour les traitements ultérieurs. Il s'agit principalement des déchets volumineux (dégrillage), des sables et graviers (dessablage) et des graisses (dégraissage-déshuilage) (DEGREMONT, 1978).

##### **IV.1.2. Traitements primaires**

Les traitements primaires sont des procédés de traitement physico-chimique faisant appel à des procédés physiques : filtration et décantation, et éventuellement des procédés physico-chimiques, tels que la coagulation- floculation.

##### **IV.1.3. Traitements secondaires**

Si les traitements primaires font appel à des procédés physico-chimiques, le traitement secondaire est une épuration biologique. C'est lors de ce traitement que s'élimine l'essentiel de la pollution carbonée biodégradable.

Leur principe est de provoquer une prolifération des micro-organismes aux dépens des matières organiques apportées par l'effluent, en présence ou non d'oxygène. Il s'agit en fait d'un véritable transfert d'une forme non préhensible (matières colloïdales et dissoutes) en un élément manipulable (suspension de micro-organismes) (LAVIGNE DELVILLE, 1994).

Les traitements secondaires biologiques visent donc l'abattement de la pollution dissoute et colloïdale.

##### **IV.1.4. Traitements tertiaires**

Les traitements tertiaires regroupent tous les traitements complémentaires visant à affiner la qualité de l'effluent ayant subi les traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. Leur utilisation s'impose lorsque la nature des milieux récepteurs recevant l'eau dépolluée l'exige (DEGREMONT, 1978).

Parmi ces milieux récepteurs sensibles, nous signalons :

- ❖ les zones sujettes aux phénomènes d'eutrophisation ;
- ❖ les eaux de baignade ;
- ❖ les sites de réutilisation.

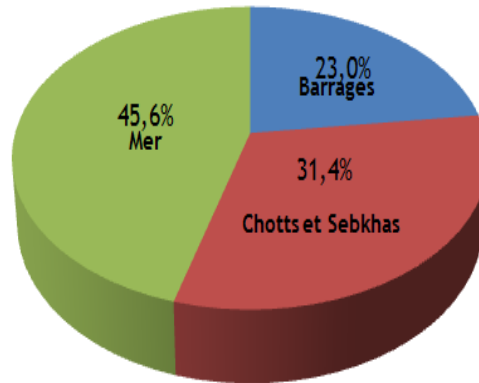
#### **V. Voies d'élimination des eaux usées épurées**

Après leur épuration, les eaux usées épurées gagnent une des deux destinations : soit elles vont être rejetées dans le milieu naturel ou bien elles vont être réutilisées dans différents domaines (agricole, industriel, municipal... etc.).

### V.1. Rejet des eaux usées épurées dans le milieu naturel

Dans le cas de rejet, les eaux usées épurées sont déversées dans le milieu naturel (cours d'eau, plans d'eau, chotts et sebkhas... etc).

En Algérie les eaux usées épurées sont rejetées soit au niveau de la mer, les chotts et les sebkhas ou les barrages par le biais des cours d'eau.



**Figure 01.** Rejets des EUE par milieu récepteur en Algérie (2004)

Source : TECSULT, 2007

#### V.1.1. Impacts de rejet des eaux usées épurées sur les milieux naturels

##### V.1.1.1. Impacts positifs

Le rejet des eaux usées épurées peut avoir des impacts positifs que nous citons, entre autres :

- ❖ l'alimentation des zones humides;
- ❖ le soutien d'étiage des cours d'eau (BRL, 2011).
- ❖ la création de zones humides surtout en régions arides et semi-arides.

##### V.1.1.2. Impacts négatifs

Les rejets des eaux usées même épurées dans certains milieux sensibles peuvent causer des problèmes environnementaux graves, parmi lesquels, nous citons :

- ❖ l'eutrophisation des écosystèmes aquatiques causée par l'excès de l'azote et du phosphore;
- ❖ l'augmentation de la turbidité des eaux réceptrices (ADLER, 2005) ;
- ❖ la contamination des zones destinées à la baignade par des microorganismes pathogènes ou par des substances chimiques (IFREMER, 2002) ;
- ❖ la pollution des sols par l'accumulation des éléments traces métalliques à long terme ;
- ❖ la salinisation ou la sodisation des sols si l'eau usée épurée rejetée est salée ou présente un pouvoir alcalinisant élevé ;
- ❖ la génération des certaines nuisances si les sols récepteurs présentent un pouvoir faible à épurer les matières organiques.

#### V.1.2. Normes de rejet

Dans plusieurs pays, des normes de rejet ont été établies afin d'atténuer les impacts négatifs de rejet des eaux usées épurées dans les milieux récepteurs, et d'éviter de causer des problèmes environnementaux pareils à ceux cités ci-dessus.

### a-A l'échelle nationale

La réglementation algérienne n'a pas consacré un texte qui spécifie les normes de rejet des eaux usées épurées urbaines. Les seules normes de rejets existantes sont celles concernant les effluents liquides industriels citées au sein du décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006, définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels (voir annexe 01). Parmi les valeurs limites définies dans ce décret, nous citons :

MES : 35 mg/l    DCO : 120 mg/l    DBO<sub>5</sub> :35 mg/l    NK : 30 mg/l    PT : 10 mg/l

### b-A l'échelle mondiale

Plusieurs pays ont établi des normes de rejet des effluents liquides afin de protéger l'environnement.

A titre d'exemple, la réglementation française distingue les stations qui rejettent en zone non sensible et celles qui rejettent en zone sensible à l'eutrophisation. En zone non sensible, seules les normes concernant les matières carbonées (DCO, DBO<sub>5</sub> et MES) sont à respecter, et en zone sensible, s'y ajoutent les normes concernant les nitrates et/ou les phosphates (voir annexes 02 et 03).

## V.2. Réutilisation des eaux usées épurées

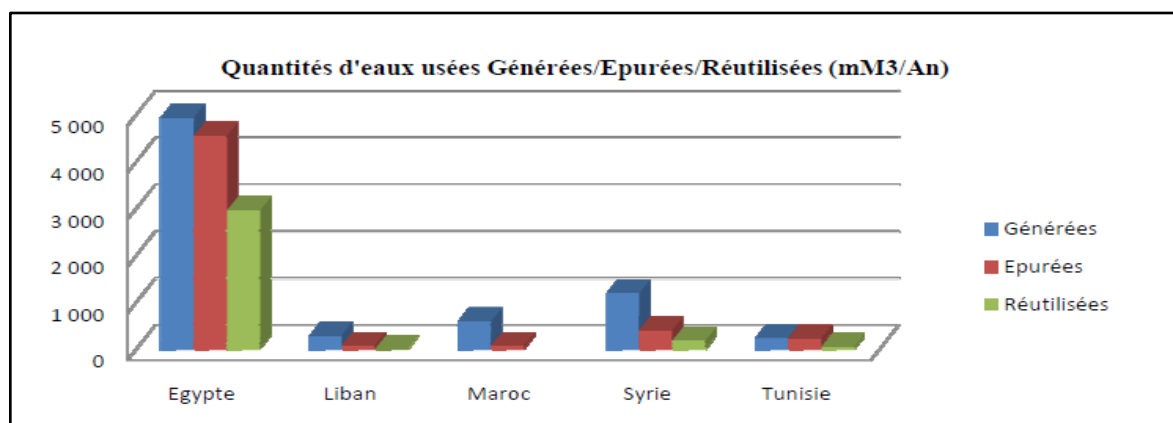
### V.2.1. Quelques chiffres

#### V.2.1.1. Réutilisation des eaux usées épurées dans le monde

La réutilisation des eaux usées épurées a connu un développement très rapide avec une croissance des volumes d'eaux usées réutilisées de l'ordre de 10 à 29 % par an en Europe (surtout les pays méditerranéens), aux États Unis et en Chine, et jusqu'à 41 % en Australie (LAZAROVA ET BRISSAUD, 2007).

#### V.2.1.2. Réutilisation des eaux usées épurées dans quelques pays de l'Afrique du Nord et du proche orient

La figure n°02 expose les volumes d'eaux usées générées, épurées et réutilisées dans quelques pays de l'Afrique du Nord et du proche orient.



**Figure 02.** Volumes d'eaux usées Générées, Épurées et Réutilisées dans cinq pays méditerranéens

Source : Étude du Groupe AHT, 2009

### V.2.1.3 Réutilisation des eaux usées épurées en Algérie

La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie peut être qualifiée d'embryonnaire et les volumes réutilisés sont très faibles (environ 14 millions m<sup>3</sup>/an).

Actuellement, 2% du volume d'eau usée épurée est réutilisée pour irriguer une superficie de 1 285 ha d'une façon réglementaire (DMRE, 2013).

Les chiffres ci-dessous précisent les volumes des eaux usées épurées réutilisées par an en Algérie :

Agriculture = 13 424 789m<sup>3</sup>

Lutte contre l'incendie = 138 066m<sup>3</sup>

Arrosage des arbres = 1 077 665m<sup>3</sup>

Lavage des chaussées = 370m<sup>3</sup>

Source : <http://www.ona.dz/SME.html>

### V.2.2. Motifs de la réutilisation des eaux usées épurées

La réutilisation des eaux usées épurées peut être envisagée en vue de :

- ❖ protéger l'environnement, qu'il soit marin, lacustre ou souterrain, afin de permettre le maintien d'usages ou de biodiversités en aval. On peut ainsi bâtir un projet de réutilisation en vue d'une limitation du rejet dans l'environnement, voire atteindre un rejet zéro dans le milieu;
- ❖ préserver la ressource pour faire face à une situation de stress hydrique (BRL, 2011).

### V.2.3. Usages des eaux usées épurées

Les principales utilisations des eaux usées épurées sont :

**a-Utilisation agricole** : la plus répandue, permettant d'exploiter l'eau et la matière fertilisante contenue dans ces eaux, réalisant ainsi une économie d'eau et d'engrais ;

**b-Utilisation municipale** : arrosage des espaces verts, lavage des rues, alimentation des plans d'eau, lutte contre les incendies, l'arrosage des terrains de golf, des chantiers de travaux publics, arrosage pour compactage des couches de base des routes et autoroutes ;

**c-Utilisation industrielle** : refroidissement ;

**d-Amélioration des ressources** : recharge des nappes pour la lutte contre les rabattements des nappes et la protection contre l'intrusion des biseaux salés en bord de mer.

Source : <http://www.ona.dz/REUE.html>

**e-Utilisation forestière** : Mise en valeur sylvicole (BRL, 2011).

### V.2.4. Impacts de la réutilisation des eaux usées épurées

#### V.2.4.1. Avantages environnementaux

La FAO considère que du point de vue environnemental, la récupération et la réutilisation de l'eau usée urbaine traitée pour l'irrigation constituent probablement l'approche d'élimination la plus sûre et la plus réaliste (FAO, 2003).

De même, pour l'OMS qui juge que du point de vue de la protection de l'environnement, la réutilisation des eaux usées est souvent la meilleure méthode d'évacuation (OMS, 1989).

Également, selon la FAO, lorsque l'eau usée est utilisée correctement à des fins agricoles, plutôt que toute autre utilisation, l'environnement peut être amélioré. Voici quelques avantages environnementaux :

- ❖ la suppression de rejet en eaux de surface, prévient l'éventualité de situations esthétiques désagréables, de conditions anaérobies dans les cours d'eau et l'eutrophisation des lacs et réservoirs ;
- ❖ la sauvegarde des ressources en eaux souterraines dans les zones de surexploitation de ces ressources par l'agriculture. Cette surexploitation pose le problème de l'épuisement et de l'intrusion du biseau salin ;
- ❖ la possibilité de conservation des sols et de leur amélioration par apport d'humus sur les terres agricoles et de prévention de l'érosion (FAO, 2003).

#### **V.2.4.2. Impacts négatifs et risques de la réutilisation des eaux usées épurées**

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

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

##### **V.2.4.2.1. Risques environnementaux**

###### **a- Effets sur le sol**

Les problèmes prévus au niveau du sol sont :

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

###### **b- Effets sur les eaux souterraines**

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

A titre indicatif, dans le périmètre de Sokra, du côté de Tunis Zekri et *al* (1995) cités in BELAID, 2010 ont constaté trois effets de l'irrigation par les eaux usées épurées sur la nappe phréatique :

- ❖ une augmentation de la salinité qui est passée de 2,3 à 4 ms/cm après 20 ans d'irrigation ;
- ❖ une contamination microbienne liée à la proximité de la nappe de la surface du sol ;
- ❖ une pollution par les métaux lourds.

##### **V.2.4.2.2. Risques sanitaires**

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

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

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

Ces substances toxiques peuvent, à travers les produits irrigués avec des eaux usées, entrer dans la chaîne alimentaire. Cependant, le risque est extrêmement petit lors d'un usage des eaux usées domestiques (BENABDALLAH et NABEURT, 2003).

## **V.2.5. Normes de réutilisation des eaux usées épurées**

### **V.2.5.1. Normes microbiologiques**

Il existe deux grands groupes de normes s'inspirant, soit des recommandations de l'OMS, soit des recommandations de l'USEPA (United States Environmental Protection Agency) (ABBOU, 2010).

Les recommandations de l'OMS (annexe 04) ne concernent que l'usage agricole, la qualité microbiologique exigée est définie par le nombre d'œufs de nématodes et la teneur en coliformes fécaux. Pour chaque qualité microbiologique requise, un traitement des eaux usées est préconisé.

Les groupes potentiellement exposés et le mode d'irrigation souhaité sont également signalés. Les protozoaires ne sont pas mentionnés, car on suppose qu'ils sont éliminés dans les mêmes proportions que les helminthes. Les virus ne sont pas considérés non plus, leur présence étant difficile à détecter lors des contrôles de routine (Unité d'appui au programme, 2010).

Pour une irrigation non restrictive, les paramètres exigés sont de moins de 1 000 CF/100ml et moins de 0,1 œuf d'helminthe/l. Pour une utilisation restrictive, le nombre d'œufs d'helminthe est augmenté à 1 par litre ;

Ces normes sont réputées être applicables aux différents pays, particulièrement ceux en voie de développement (Unité d'appui au programme, 2010).

Contrairement aux recommandations de l'OMS, les recommandations de l'USEPA (annexe 05) concernent tous les usages envisageables pour des eaux usées épurées, et aussi les normes établies visent une qualité de zéro pathogène dans les eaux réutilisées. Pour la réutilisation en agriculture, elles exigent une eau contenant moins de 1 ou 200 coliformes thermo-tolérants/100ml selon la culture.

Parmi les normes de l'USEPA, les normes californiennes «title 22» apparues en 1978 sont considérées parmi les plus strictes dans le monde. Il y est exigé moins de 2,2 coliformes fécaux (CF)/100 ml pour une utilisation non limitée. Pour un usage restrictif, la limite maximale tolérée dans les eaux usées épurées est de 23 CF/100 ml (Unité d'appui au programme, 2010).

La norme algérienne représente un bon compromis entre les recommandations de l'OMS et celles plus sévères de l'USEPA. Cette norme est annexée dans l'arrêté interministériel du 2 janvier 2012, fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation (annexe 06).

La qualité microbiologique de l'eau épurée requise est définie par le nombre d'œufs de nématodes et la teneur en coliformes fécaux.

Pour une irrigation non restrictive, les paramètres exigés sont de moins de 100 CF/100ml et une absence totale des œufs de nématodes intestinaux. Pour une utilisation restrictive, le nombre d'œufs de nématodes toléré, qui est entre 0,1 à 1 œuf par litre, selon la culture et le nombre des coliformes fécaux toléré, compris entre 250 à 1000 CF/100ml selon culture. Lorsque l'irrigation est localisée, il n'y a pas de normes recommandées, les cultures irriguées sont celles exigeant un seuil inférieur à 1000 CF/100ml et 1 œuf par litre de nématodes, une autre condition est que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrisent la gestion de l'irrigation localisée et respectent les règles d'hygiène exigées.

#### **V.2.5.2. Normes physico-chimiques**

En ce qui concerne les normes physico-chimiques, la réglementation algérienne a suivi avec rigueur les directives de la FAO. Ces directives exposées en annexes 07 et 08 ont été bonifiées par la spécification d'autres paramètres, comme : DBO, DCO, MES, cyanures, phénols et mercure (voir annexe 09).

### **VI. Gestion des eaux usées épurées en Algérie**

#### **VI. 1. Cadre réglementaire**

La réglementation relative à la gestion des eaux usées épurées en Algérie comprend plusieurs textes qui organisent leur rejet et leur réutilisation et définissent les normes correspondantes, parmi ces textes, nous citons :

##### **Pour le degré d'épuration**

**La loi n° 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau** dont l'article 52 indique que les caractéristiques techniques des systèmes d'épuration des eaux usées sont fixées par voie réglementaire, en prenant en compte, notamment les critères relatifs aux agglomérations, aux possibilités d'utilisation des eaux épurées, et aux risques de contamination et de pollution.

##### **Dans le cas de rejet et de déversement des eaux usées épurées**

**La loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux** dont l'article 99 interdit d'évacuer, de jeter ou d'injecter dans les fonds du domaine public hydraulique des matières de toutes natures, et notamment, des effluents urbains et industriels, contenant des substances solides, liquides ou gazeuses, des agents pathogènes, en quantités et en concentrations de toxicité susceptible de porter atteinte à la santé publique, à la faune et à la flore ou nuire au développement économique.

Par ailleurs, l'article 100 stipule que le déversement ou l'immersion dans les fonds du domaine public hydraulique de matières ne présentant pas les risques prévus à l'article 99 ci-dessus, est soumis à une concession d'utilisation du domaine public hydraulique, appelée autorisation de déversement.

**La loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable** dont l'article 50 exige aux installations de déversement dès leur mise en service de fournir des effluents conformes aux conditions fixées par voie réglementaire. En outre, la réglementation détermine notamment :



- ✓ les conditions dans lesquelles doivent être réglementés ou interdits les déversements, écoulements, rejets, dépôts directs ou indirects d'eau et de matières, et plus généralement, tout fait susceptible d'altérer la qualité des eaux superficielles ou souterraines et des eaux du littoral ;
- ✓ les conditions dans lesquelles sont effectués les contrôles des caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et bactériologiques des eaux de déversement et les conditions dans lesquelles il est procédé aux prélèvements et aux analyses des échantillons.

**La loi n° 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau** dont l'article 44 déclare que les rejets d'effluents, les déversements ou les dépôts de matières de toutes natures ne présentant pas de risques de toxicité ou de nuisances dans le domaine public hydraulique sont soumis à une autorisation dont les conditions et les modalités d'octroi sont fixées par voie réglementaire.

Cependant, l'article 45 spécifie que l'autorisation prévue à l'article 44 ci-dessus est refusée, notamment lorsque les effluents ou les matières sont de nature à nuire :

- ✓ à la capacité de régénération naturelle des eaux ;
- ✓ aux exigences de l'utilisation des eaux ;
- ✓ à la santé et la salubrité publiques ;
- ✓ à la protection des écosystèmes aquatiques ;
- ✓ à l'écoulement normal des eaux ;
- ✓ aux activités de loisirs nautiques.

Le décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006, définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

### **Dans le cas de réutilisation**

**La loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux** dont l'article 137 spécifie que les eaux usées épurées peuvent être utilisées, soit pour certains besoins du secteur industriel, soit pour les besoins de l'irrigation de certaines cultures dans le secteur agricole.

Aussi **la loi n° 05 - 12 du 04 août 2005 relative à l'eau** dont :

- ✓ l'article 2 spécifie que la valorisation des eaux non conventionnelles est assignée pour accroître les potentialités hydriques ;
- ✓ l'article 4 considère que les eaux usées épurées et utilisées dans un but d'utilité publique font partie du domaine public hydraulique naturel ;
- ✓ l'article 6 stipule que la mobilisation, la production et l'utilisation des eaux non conventionnelles sont soumises aux conditions particulières ;
- ✓ les articles 77 et 82 instituent la concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ou d'arrosage d'espaces verts.

**Le décret 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 de charges type y afférent**, ce décret réglemente l'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation, en premier lieu, il précise que l'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation est soumise au régime de la concession. Cette 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.



Ce décret exige que l'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation doit être conforme aux clauses d'un cahier des charges-type que tout concessionnaire doit le souscrire.

Parmi les pièces jointes avec la demande de concession adressée par le demandeur au wali territorialement compétent, on cite :

- ✓ une description de la station d'épuration ou de lagunage d'où proviennent les eaux usées épurées, ainsi que le mode de traitement utilisé ;
- ✓ une fiche d'analyse des eaux usées épurées dont la qualité doit être conforme aux spécifications en vigueur ;
- ✓ 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 quantités et qualités requises ;
- ✓ un engagement des agriculteurs, utilisateurs des eaux usées épurées formulé sous forme d'un contrat liant l'agriculteur au concessionnaire ;
- ✓ un plan de situation des zones à irriguer.

Aussi, ce décret exige que la demande de concession doit être l'objet d'une étude technique faite par les services de l'hydraulique de la wilaya, en concertation avec les services de l'agriculture, de la santé et de la protection de l'environnement. Ces structures 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.

Ce décret prescrit aussi des mesures préventives afin de limiter les risques liés à l'usage des eaux usées épurées. Parmi ces mesures, nous citons :

- ✓ l'interdiction d'irriguer les cultures maraîchères dont les produits sont susceptibles d'être consommés crus ;
- ✓ dans le cas des arbres fruitiers, tout système d'irrigation mettant l'eau usée épurée en contact avec les fruits est interdit ;
- ✓ l'interdiction du pâturage direct sur les parcelles irriguées par des eaux usées épurées ;
- ✓ l'obligation d'un éloignement suffisant des périmètres irrigués par les eaux usées épurées par rapport aux routes, habitations, puits de surface et autres ouvrages destinés à l'alimentation en eau potable. Cet éloignement est fixé à 100 mètres.

Ce décret indique que dès la mise en œuvre de la concession, des 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 de l'eau, de mauvaises odeurs et de gîtes larvaires ;
- ✓ prévenir les risques de contamination des produits agricoles.

Il prescrit aussi la réalisation de contrôle régulier de la qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation. Ce contrôle doit se faire 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.

Aussi, il prescrit que les analyses doivent être effectuées par des 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.

En plus, ce décret définit les tâches des différents intervenants du point de vue suivi et contrôle, où :

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.

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.

Les services de l'agriculture de la wilaya doivent assurer :

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

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

En revenant aux clauses du cahier des charges-types dont tout concessionnaire doit le souscrire, parmi les obligations prescrites aux concessionnaires, nous citons :

- ✓ la vérification par le concessionnaire que la qualité des eaux usées épurées distribuées aux usagers est constamment conforme aux spécifications fixées par la réglementation en vigueur ;
- ✓ le renseignement des exploitants agricoles de toutes les analyses concernant la teneur en éléments fertilisants (N.P.K) au niveau des eaux usées épurées, afin de leur permettre d'adapter les éventuels apports en engrais ;
- ✓ la sensibilisation des 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 ;
- ✓ l'information des abonnés des conditions d'utilisation des eaux usées épurées ;
- ✓ le concessionnaire doit inclure dans le contrat le liant aux exploitants agricoles concernés, toute clause qui engage directement les usagers ;
- ✓ l'organisation par le concessionnaire et 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 ;

- ✓ la sensibilisation des agriculteurs sur les restrictions des cultures et les précautions à prendre en matière d'irrigation avec les eaux usées épurées.

Arrêté interministériel du 02 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation ;

Arrêté interministériel du 02 janvier 2012 fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées (voir annexe 10);

Aussi, un arrêté interministériel portant la liste des laboratoires agréés pour l'analyse des eaux usées épurées est en train d'élaboration.

## **VI. 2. Cadre institutionnel**

D'après la réglementation en vigueur l'organisation et le contrôle de l'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation au niveau local sont assurés par un cadre institutionnel renfermant les services des ressources en eau, les services agricoles, les services de santé publique, les services de l'environnement et les services du commerce public dont un comité de coordination et de suivi veille à garantir l'organisation et le contrôle de cette utilisation.

## **VI. 3. Stratégie de gestion des eaux usées épurées en Algérie**

La stratégie de gestion des eaux usées épurées a pour objectif leur mobilisation pour les autres secteurs, notamment le secteur agricole (DAPE, 2013). Ce qui révèle que la réutilisation des eaux usées épurées, notamment à des fins agricoles est devenue l'un des axes principaux de la stratégie du secteur des ressources en eau en Algérie.

Cette stratégie vise la collecte des eaux usées à travers un vaste programme de remise à niveau et d'extension du réseau d'assainissement national, l'épuration des eaux usées par la réalisation de stations d'épuration et de lagunage à travers le territoire national, la réutilisation de ces eaux au niveau de l'agriculture, de l'industrie et à un degré moindre, la recharge artificielle des nappes souterraines, notamment les nappes côtières pour faire reculer le biseau salé (DAPE, 2013).

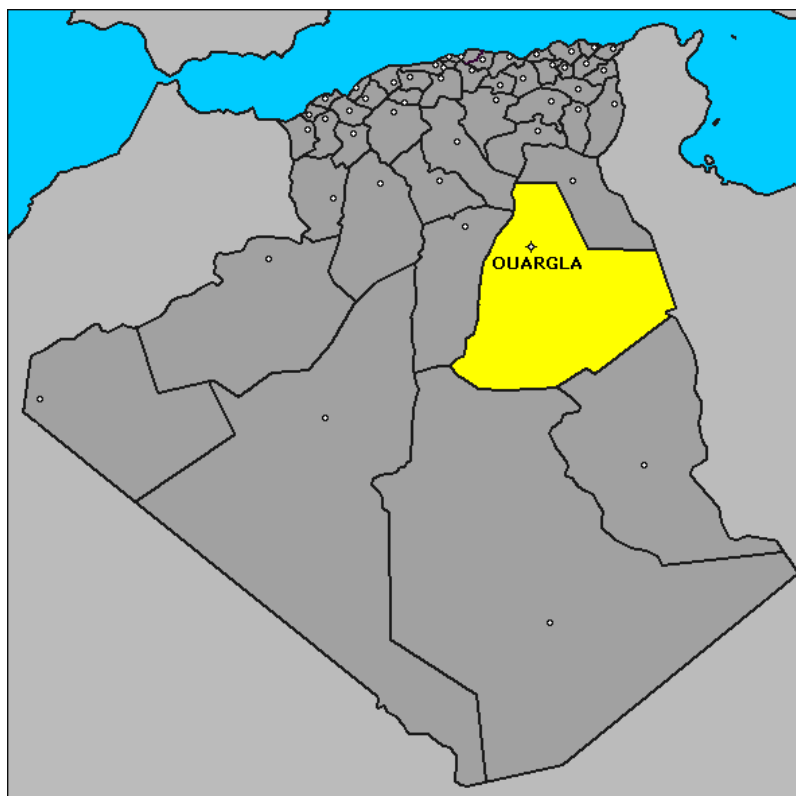
Ceci s'est reflété par le lancement d'un vaste programme de projets depuis l'an 2000. Ces projets, d'importance nationale, consistaient en la remise à niveau, l'extension du réseau d'assainissement national, l'épuration des eaux usées par la réalisation de stations d'épuration à travers le territoire national et l'adaptation des cadres réglementaire et institutionnel.

Selon la DAPE 2013, en 2020, les eaux usées représenteront un volume très appréciable de près de 2 milliards de m<sup>3</sup>, si la demande en eau est totalement satisfaite à cet horizon. Un tel volume, une fois épuré, pour des considérations écologiques ou de protection des ressources en eau, sera très apprécié quant à son utilisation par l'agriculture ou l'industrie (DAPE, 2013).

## Chapitre II. Contexte de l'étude

### I. Situation géographique

La wilaya de Ouargla se situe au sud-est de l'Algérie, couvrant une superficie de 163.230 Km<sup>2</sup> et demeure l'une des collectivités administratives les plus étendues du pays (DPAT, 2005). La commune de Ouargla est le chef-lieu de la wilaya.



**Figure 03.** Situation de la wilaya de Ouargla

**Source :** Luventicus-Cartes

Les villes de Ouargla, Rouissat et Aïn el Beïda forment une unité urbaine, appelée l'agglomération de Ouargla, qui avec ses palmeraies constitue l'une des plus grandes oasis du Sahara algérien.

L'agglomération de Ouargla est située dans une dépression appelée « Cuvette de Ouargla ». Cette cuvette dont notre étude s'est déroulée est sise dans le Bas-Sahara algérien ; elle correspond à la basse vallée fossile de l'Oued M'ya qui draine le versant Nord du plateau de Tadmaït, et se termine à Sebkhât Safiouné (HAMDI-AISSA et GIRARD, 2000).

La cuvette de Ouargla est limitée par :

- ❖ la Sebkhât Safiouné au Nord ;
- ❖ les ergs Touil et Arifdji à l'Est ;
- ❖ les dunes de Sedrata au Sud ;
- ❖ le versant Est de la dorsale du Mzab à l'Ouest (BG, 2004).

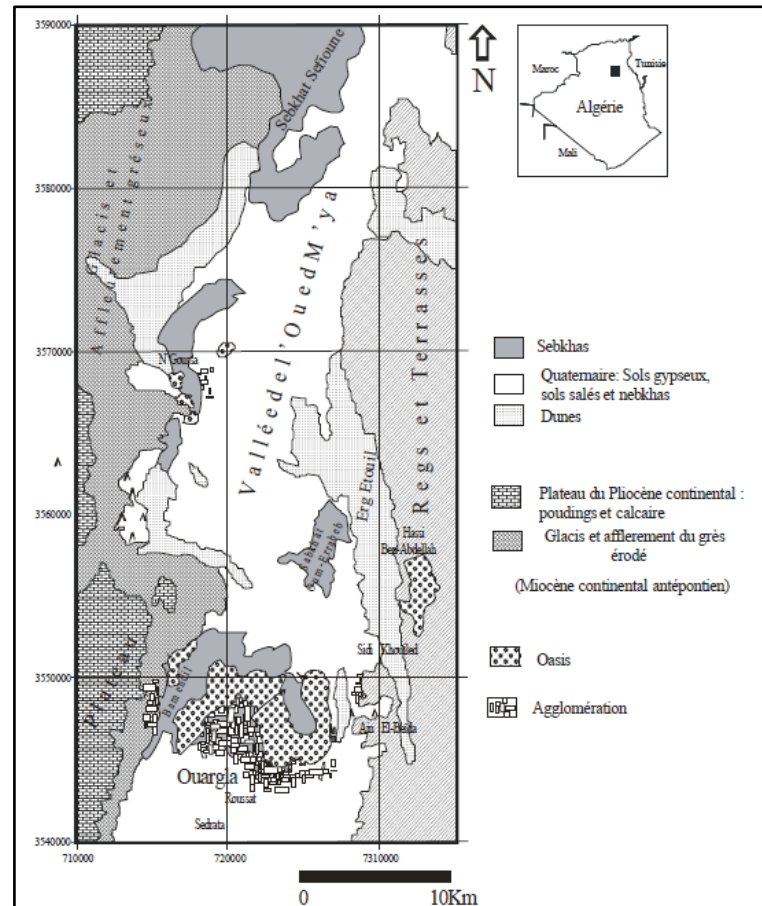


Figure 04. Cadre physique de la cuvette de Ouargla in NEZLI et *al*, 2007

## II. Données climatiques

La région de Ouargla est caractérisée par un climat de type saharien avec des températures élevées, une faible pluviométrie et une forte évaporation (LE HOUEROU, 1995).

D'après les données de l'ONM, 2012 (voir annexe 11), la température moyenne annuelle calculée pour la région de Ouargla pour la période comprise entre 2002 et 2012 est de 23.75°C. La moyenne des maxima du mois le plus chaud (juillet) dépasse les 44°C, la moyenne des minima du mois le plus froid (janvier) atteint les 4.77°C. La moyenne des précipitations annuelles calculée pour cette période est de l'ordre de 38.04 mm. Le cumul annuel de l'évaporation atteint en moyenne 3239.8 mm, avec 104,56 mm comme minimum enregistré le mois de décembre, et 459,45 mm comme maximum enregistré le mois de juillet.

## III. Géologie

La cuvette de Ouargla est creusée dans les formations continentales du Mio-pliocène. Il s'agit de sables rouges et de grès tendres, à stratifications entrecroisées, avec nodules calcaires, entrecoupés de niveaux calcaires ou gypseux que l'on voit affleurer sur ses bords Est et Ouest (BG, 2004).



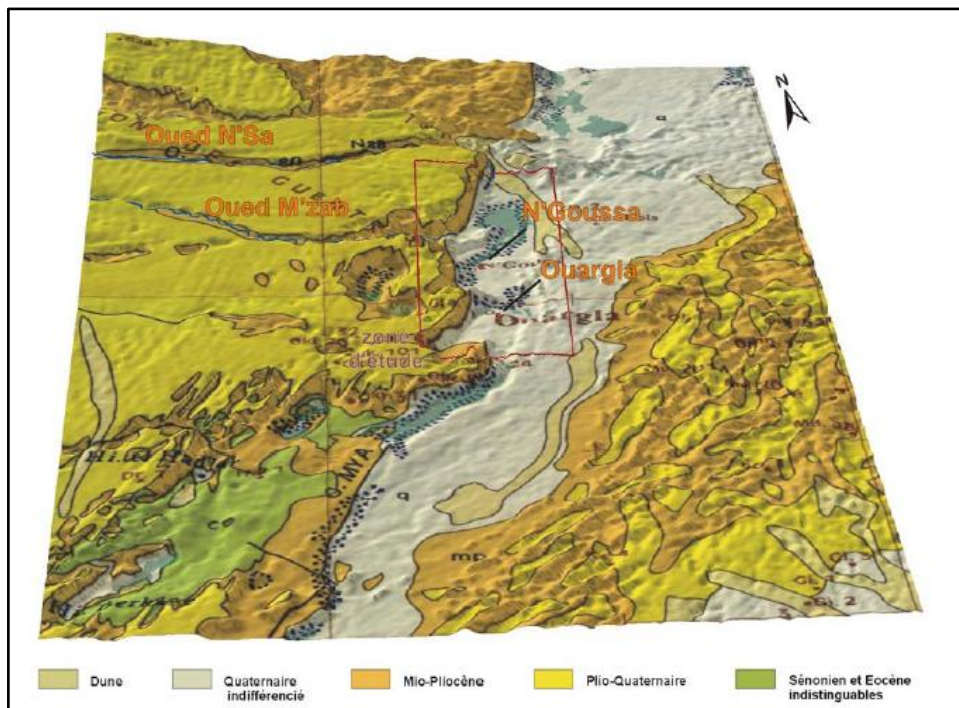
Au-dessous du fond de la vallée, des sondages ont mis en évidence, sous quelques mètres de sable :

- ❖ une alternance de niveaux formés de calcaires, de calcaires marneux, de sables argileux et de grès tendres, se terminant à la base par des argiles sableuses vers 30 à 45 m de profondeur ;
- ❖ des sables fins et gros, se terminant par des argiles sableuses à leur base vers 55 à 80m;
- ❖ les calcaires du Sénonien (jusque vers 250 m) ;
- ❖ un épais horizon d'argiles à évaporites (jusque vers 650 à 700 m) ;
- ❖ une centaine de mètres d'évaporites massives ;
- ❖ des argiles à évaporites plastiques, jusque vers 1050 – 1100 m de profondeur ;
- ❖ des sables et grès de l'Albien, se trouvant entre 1050 – 1100 m et 1350 – 1400 m de profondeur (BG, 2003).

#### IV. Géomorphologie

La géomorphologie de la région est constituée des éléments suivants :

- ❖ la Hamada (plateau où affleurent de grandes dalles rocheuses) Mio-Pliocène et Plio-Quaternaire : formation continentale détritique qui forme des plateaux dont l'altitude est de 200 m en moyenne ;
- ❖ les formations sableuses : composées de dunes et de cordons d'Erg ;
- ❖ les étendues alluviales correspondant au lit de l'Oued M'ya, selon un axe SW-NE ;
- ❖ les Sebkhas : marécages salés, le plus souvent asséchés, occupant le fond d'une dépression. La plus grande est la Sebkhat Safioune à l'extrémité Nord, c'est aussi le point le plus bas de la région (BG, 2004).



**Figure 05.** Relief géologique de la région de Ouargla Superposition de la carte géologique de G.Busson au MNT in BG ,2004

## V. Topographie

On distingue trois paliers de pentes :

- ❖ les pentes de 2 ‰, se localisent des pieds du Djebel Abbad à la rive de la Sebkhah de Ouargla ;
- ❖ les pentes de 1,8 ‰, sont situées au nord de la Sebkhah de Ouargla, jusqu'à la palmeraie de N'goussa ;
- ❖ la topographie devient pratiquement plane de N'goussa jusqu'aux rives de Sebkhah Safioune, à une pente de 0,6 ‰ (ANRH, 2005).

## VI. Hydrographie

Différents bassins versants (M'ya, M'zab, N'sa) forment le réseau hydrographique qui aboutit à Sebkhah Safioune au Nord de la cuvette de Ouargla (HAMDI AISSA, 2001). Parmi les Oueds les plus importants, nous citons : Oued M'ya, Oued N'sa et Oued M'zab.

### VI.1. Oued M'ya

L'Oued M'ya draine le versant Nord-Est du plateau de Tademaït. Le bassin de l'Oued M'ya couvre une superficie de 19 800 km<sup>2</sup>. Les écoulements sont plus fréquents en novembre, octobre, mai et juin. Les crues de l'Oued M'ya se perdent à 200 km en amont de la ville de Ouargla (BG, 2003).

Il est à noter que Ouargla ou la basse vallée de l'Oued M'ya ne connaît pas de talweg attribuable à l'Oued M'ya (DUBIEF, 1953), alors qu'il existe bien une vallée façonnée par l'Oued M'ya dans le Tademaït, mais elle disparaît dès la latitude de Ouargla où elle est remplacée par une dépression irrégulière (BALLAIS, 2010).

L'Oued M'ya est à l'origine de la création de toutes les sebkhas et chotts de la région. Son lit est asséché et comblé par des dépôts sédimentaires (ANRH, 2005).

### VI.2. Oued N'sa

Il couvre une superficie de 7800 km<sup>2</sup>. Il débute dans la région de Tilrhemt (wilaya de Laghouat) pour aboutir à Sebkhah Safioune. Il atteint la cuvette de Ouargla lorsque la crue est importante (ANRH, 2005).

### VI.3. Oued M'zab

L'Oued M'zab coule d'Ouest en Est, sur environ 320 km, de la région de Botma Rouila à 750m d'altitude jusqu'à Sebkhah Safioune à 107 m, située au Nord de la cuvette de Ouargla. La surface du bassin versant est de 5 000 km<sup>2</sup> (BG, 2003).

## VII. Hydrogéologie

La cuvette de Ouargla appartient au Bas-Sahara algérien. Il s'agit d'un immense bassin sédimentaire, en forme de synclinal dissymétrique, particulièrement bien doté en couches perméables, favorables à la circulation souterraine des eaux. Certaines recouvertes de terrains imperméables, assurent l'existence de nappes captives, alors que d'autres, situées au sommet

des dépôts et sans couverture étanche, permettent la formation de nappes phréatiques (BG, 2004).

Deux grands ensembles d'aquifères existent : l'inférieur est appelé le Continental Intercalaire (CI) et le supérieur est appelé le Complexe Terminal (CT). Une nappe phréatique d'importance plus modeste s'ajoute aux deux ensembles précédents.

### **VII.1. Nappe du Continental Intercalaire**

C'est un système aquifère multicouches dont la profondeur atteint localement 2000 m et dont la puissance varie entre 200 et 400 m. A Ouargla, il est exploité entre 1150 m et 1350 m de profondeur (BG, 2004). Les eaux de cette nappe sont moins minéralisées comparées à celles des autres nappes (voir annexe 12).

### **VII.2. Nappes du Complexe terminal**

L'ensemble aquifère du Complexe Terminal (CT), comprend trois aquifères différents, qui de haut en bas sont : le Mio-pliocène, le Sénonien et le Turonien (BG, 2003).

#### **VII.2.1. Nappe du Mio-Pliocène (nappe des sables)**

Nappe contenue dans les sables grossiers atteinte vers 30 à 60 m de profondeur (BG, 2003). Elle s'écoule du sud-sud-ouest vers le nord-nord-est en direction du Chott Melghir. Sa salinité est très variable, variant de 2 à 7 g/l (voir annexe 12). Elle est utilisée surtout pour l'irrigation (AMMOUR et TOUIL, 2007).

#### **VII.2.2. Nappe du Sénonien (nappe des calcaires)**

La nappe artésienne du Sénonien est exploitée dans les calcaires entre 140 et 200 m de profondeur. Le résidu sec varie entre 1,8 et 3,6 g/l (BG, 2003).

### **VII.3. Nappe phréatique**

La nappe phréatique repose sur un épais niveau imperméable, étanche, qui occupe tout le fond de la vallée de Ouargla et l'isole des nappes artésiennes sous-jacentes (BG, 2004).

Sa frange capillaire surgit souvent à la surface du sol sous forme de chotts. Elle est relativement profonde au niveau des hautes altitudes (Ergs), et moins profonde à proximité des palmeraies irriguées. Le sens d'écoulement des eaux est en général d'orientation sud-nord. Ces eaux s'écoulent vers la Sebkhata Safioune qui est le principal exutoire des eaux de cette nappe.

La qualité des eaux de la nappe phréatique est très dégradée. La conductivité électrique est très forte, elle augmente en allant du sud vers le nord. A sebkhata Safioune, la conductivité varie de 199 à 214 ms/cm à 25°C (voir annexe 12). Au niveau de N'goussa, la teneur en sels est d'environ 30 g/l (BG, 2003).



**VIII. Contexte pédologique**

Les sols de la zone aride de l'Algérie présentent une grande hétérogénéité et ils se composent essentiellement des sols minéraux bruts, des sols peu évolués, des sols halomorphes et des sols hydromorphes (HALITIM, 1988).

La région de Ouargla se caractérise par des sols légers, à prédominance sableuse et une structure particulière. Ils sont caractérisés par un faible taux de matière organique, un pH alcalin, une bonne aération et une forte salinité. On distingue trois types de sol qui sont : sol salsodique, sol hydromorphe et sol minéral brut (HALILAT, 1993).

## Chapitre III. Gestion des EUE de l'agglomération de Ouargla

### Préambule

La salubrité de l'agglomération de Ouargla a été atteinte le long des dernières décennies, parmi les causes de cette situation, les rejets des eaux usées brutes dans les sites proches de l'agglomération, avec tout ce qu'elles entraînent comme pollutions et désagréments à la population.

Pour remédier à cette situation, un projet d'assainissement de la cuvette de Ouargla a été concrétisé. Ce projet vise essentiellement à assainir l'agglomération par la collecte des eaux usées et des eaux de drainage, l'épuration des eaux usées puis l'évacuation des excédents hydriques (EUE et eaux de drainage) de l'agglomération de Ouargla vers un milieu récepteur de grande capacité, situé loin de l'agglomération, avec le maintien d'une possibilité de réutilisation des EUE.

Comme il a été prévu, la dite épuration a engendré des volumes considérables d'effluents épurés. On note que dès le début du fonctionnement de la STEP de Ouargla, des volumes importants des eaux usées épurées ont été générés (35000m<sup>3</sup> par jour, selon la dite STEP). Ces eaux pourvues de substances polluantes (matières organiques, micro-organismes, azote et phosphore) nécessitaient une gestion raisonnée afin :

- ❖ d'être rejetées avec le minimum de nuisances sur l'environnement;
- ❖ d'être convenablement exploitées comme ressources non conventionnelles, remplaçant les ressources conventionnelles très peu renouvelables, et dont les captages sont parfois très onéreux.

### Gestion des EUE de l'agglomération de Ouargla

Pour une gestion raisonnée des EUE de l'agglomération de Ouargla, la structure impliquée (ONA de Ouargla) a chapeauté un programme qui planifie, réalise et administre l'ensemble des actions qui garantissent une saine élimination de ces EUE, soit par rejet au niveau du milieu récepteur ou par réutilisation en irrigation.

Le dit programme est une partie intégrante du projet d'assainissement de la vallée de Ouargla. Ce programme de gestion des EUE inclue des actions qui assurent les objectifs suivants :

- ❖ le maintien de la salubrité de l'agglomération et la protection de l'environnement par la suppression de rejet des effluents bruts dans le milieu naturel ;
- ❖ la suppression des nuisances et des risques de contamination au niveau des zones urbanisées par l'acheminement des rejets des EUE vers un site plus éloigné et plus étendu ;
- ❖ le maintien d'une possibilité de réutilisation des EUE pour préserver les ressources hydriques de la cuvette, ressources considérées comme très peu renouvelables.

Dans ce chapitre, nous allons aborder d'une façon succincte le déroulement du processus d'assainissement de l'agglomération de Ouargla, ensuite, nous mettons en lumière la gestion actuelle des EUE de l'agglomération de Ouargla.

### I. Processus d'assainissement de l'agglomération de Ouargla

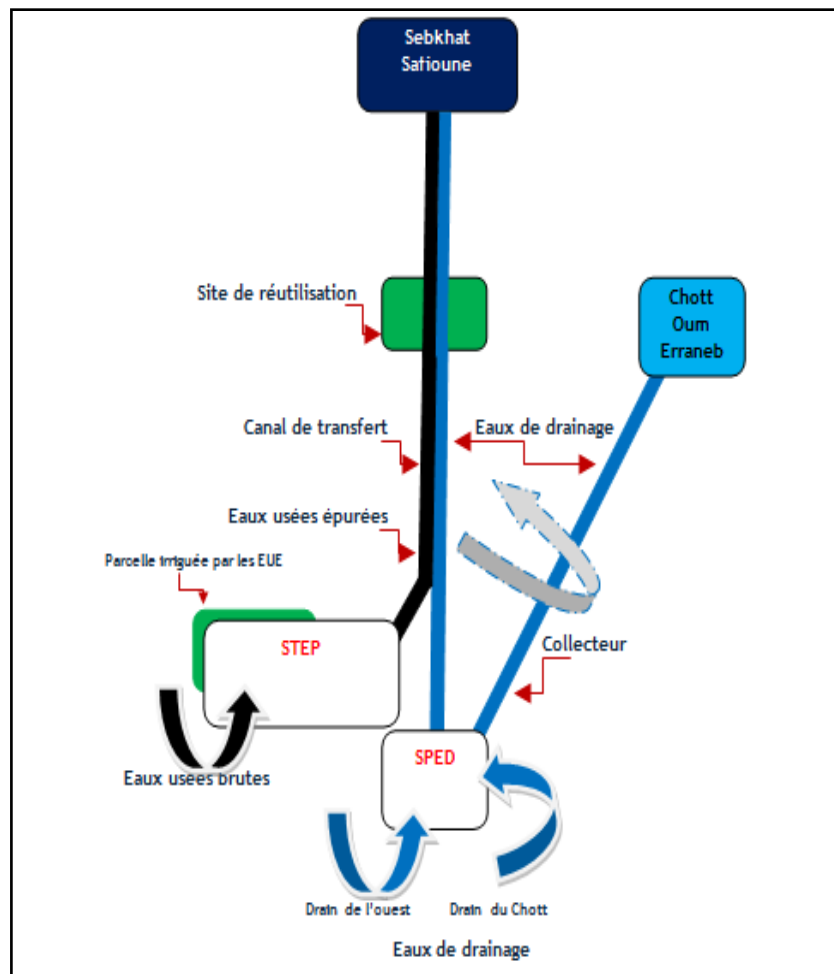
Ce processus comprend les différentes actions qui assurent l'élimination saine des excédents hydriques issus de l'agglomération de Ouargla et de ses palmeraies, eaux usées et eaux de drainage vers les milieux récepteurs.

#### Pour les EU

L'assainissement urbain garantit la collecte des eaux usées brutes de l'agglomération par le réseau d'assainissement, l'envoi de ces eaux vers la station d'épuration STEP de Ouargla afin d'être épurées, puis le rejet de ces EUE vers le milieu récepteur qui est sebkhat Safioune via un canal de transfert.

#### Pour les eaux de drainage

L'assainissement agricole vise la collecte des eaux excédentaires par un réseau qui draine les palmeraies contigües à l'agglomération, puis l'envoi de ces eaux à la SPED (Station de Pompage des Eaux de Drainage) via les deux grands drains (drain de chott et drain de l'ouest), ensuite le rejet de ces eaux suivant un planning, soit vers le chott d'Oum Erraneb par le biais d'un collecteur pour éviter l'assèchement de ce chott et assurer la pérennité de cette zone humide d'intérêt, soit vers sebkhat Safioune par le biais du canal de transfert.



**Figure 06.** Schéma du processus d'assainissement de l'agglomération de Ouargla

## II. Gestion actuelle des EUE de l'agglomération de Ouargla

La stratégie de gestion des EUE issues de l'agglomération de Ouargla est dépendante de celle tracée à l'échelle nationale. L'objectif de cette gestion à moyen terme est de mobiliser ces EUE pour les autres secteurs, notamment le secteur agricole.

Selon la DAPE, 2013, cette stratégie sera concrétisée par la collecte des EU à travers un vaste programme de remise à niveau et d'extension du réseau d'assainissement national, l'épuration des EU par la réalisation de stations d'épuration et de lagunage à travers le territoire national, la réutilisation de ces eaux en agriculture, en industrie et à un degré moindre pour la recharge artificielle des nappes, notamment les nappes côtières pour faire reculer le biseau salé.

A court terme, la gestion des EUE au niveau de la cuvette de Ouargla consiste à garantir le rejet de ces eaux dans la nature, des volumes restreints sont réutilisés d'une façon informelle en irrigation au niveau de quelques sites, tout en œuvrant à achever la formulation du cadre réglementaire, à organiser le cadre institutionnel et à assurer un traitement plus poussé des eaux usées épurées pour se conformer aux spécifications recommandées par la réglementation algérienne pour la réutilisation de ces EUE en irrigation (voir annexes 06 et 09).

### II.1. Mécanisme d'élimination des EUE issues de l'agglomération de Ouargla

Actuellement, l'élimination des EUE de l'agglomération de Ouargla se déroule suivant un mécanisme bien déterminé, incluant :

- ❖ l'acheminement vers le milieu récepteur par le biais du canal de transfert;
- ❖ le rejet au niveau du milieu récepteur ;
- ❖ la réutilisation informelle au niveau de quelques sites.

Le déroulement du mécanisme d'élimination des EUE et la détermination de ses étapes seront exposés ci-dessous.

En premier lieu, une mise en exergue de l'étape d'épuration et des aménagements consacrés pour cette épuration nous a paru comme nécessaire.

#### II.1.1. Épuration

Les effluents entrant à la station d'épuration de Ouargla subissent une épuration par lagunage aéré, un procédé extensif reposant sur une technique d'épuration biologique par culture libre avec un apport artificiel d'oxygène.

##### II.1.1.1. Aperçu sur le lagunage aéré

Le lagunage aéré est un procédé de traitement biologique extensif en cultures libres qui se différencie des boues activées par l'absence de recirculation de la culture bactérienne séparée par décantation avant rejet des eaux traitées.

Dans l'étage d'aération, les eaux à traiter sont en présence de micro-organismes qui vont consommer et assimiler les nutriments constitués par la pollution à éliminer. Ces micro-organismes sont essentiellement des bactéries et des champignons. L'oxygénation est dans le cas du lagunage aéré, apportée mécaniquement par un aérateur de surface ou une insufflation d'air (Commission Européenne, 2001).

Dans l'étage de décantation, les matières en suspension que sont les amas de micro-organismes et de particules piégées, décantent pour former les boues. Ces boues sont pompées régulièrement ou enlevées du bassin lorsqu'elles constituent un volume important. Cet étage de décantation est constitué d'une simple lagune de décantation, voire, ce qui est préférable, de deux bassins qu'il est possible de by-passer séparément pour procéder à leur curage (Commission Européenne, 2001).

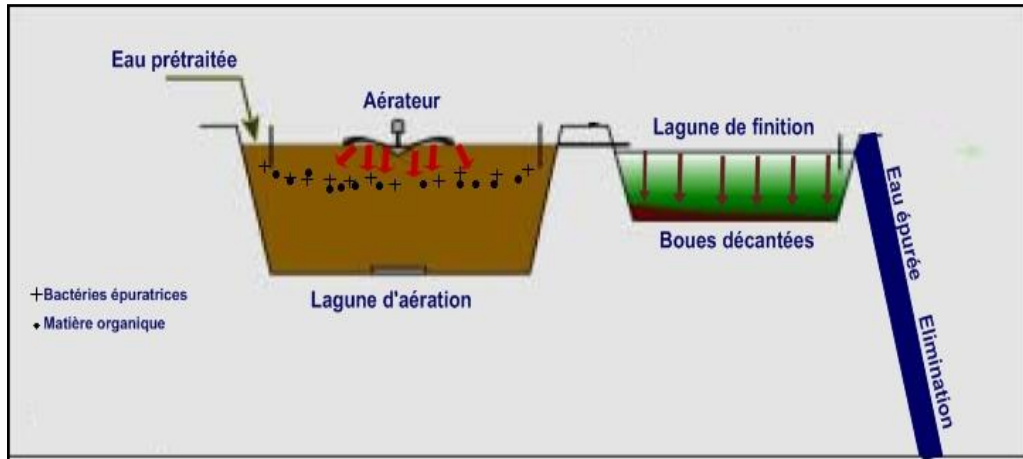


Figure 07. Principe du lagunage aéré

**II.1.1.2. Installation d'épuration**

L'épuration des eaux usées brutes de l'agglomération de Ouargla se fait au niveau de la station d'épuration de Ouargla, sa localisation, ses objectifs de traitement, ses caractéristiques ainsi que le déroulement des différentes étapes d'épuration seront exposés ci-dessous.

**a-Situation de la station d'épuration**

La station d'épuration de Ouargla se situe au nord-est de la ville de Ouargla, sa partie sud-est est sise presque à cinquante mètres au nord de l'évitement de la route nationale 49.

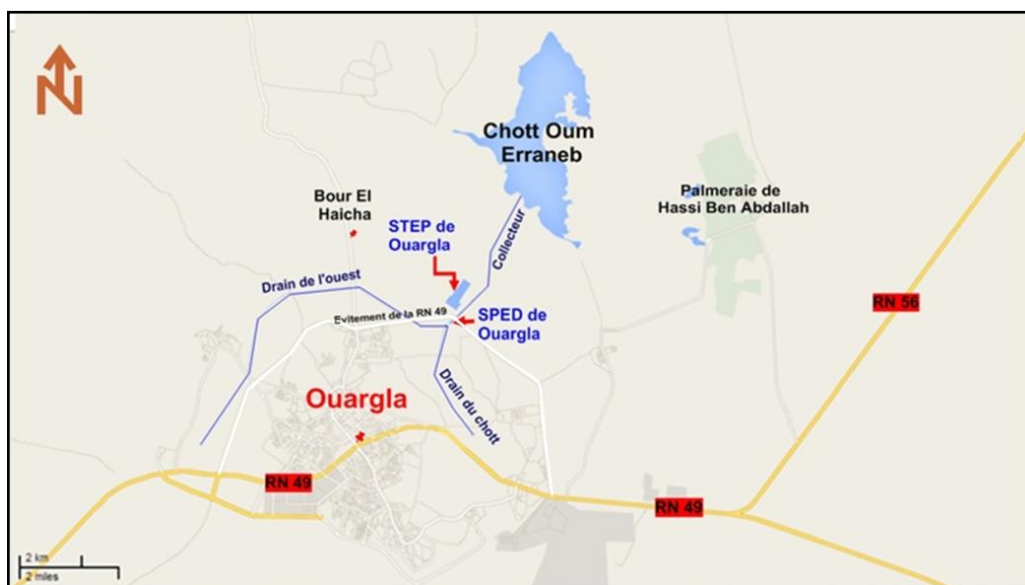


Figure 08. Situation de la station d'épuration de Ouargla

**b- Caractéristiques de la STEP de Ouargla**

Les données de base de la station d'épuration de Ouargla sont:

Surface totale: 80 ha

Capacité: 400.000 équivalents habitants

Nombre de lits de séchage: 11 lits

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

**Tableau 01.** Données de bases de la STEP de Ouargla (STEP de Ouargla, 2013)

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

**c-Qualité de traitement**

Selon la STEP de Ouargla l'objectif de traitement est de rabattre la pollution organique au dessous des valeurs suivantes :

Pour les MES: 35 mg/l

Pour la DCO: 125 mg/l

Pour la DBO<sub>5</sub>: 40 mg/l

**d-Étapes de traitement**

**NB :** les informations citées ci-après ont comme principale source la STEP de Ouargla.

Après passage dans le regard de dégazage les eaux usées seront dirigées vers l'ouvrage de prétraitement.

**d-1-Prétraitement**

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

**d-1-1-Dégrillage**

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



**Photo 01.** Dégrilleur

**d-1-2-Dessablage**

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



**Photo 02.** Dessableur

**d-2- Répartition des eaux prétraitées**

Disposé en tête de station en aval des ouvrages de prétraitement, le répartiteur permet de répartir les eaux usées vers les lagunes d'aération.

Les eaux prétraitées subissent ensuite un traitement par lagunage aéré. La filière est constituée de deux étages d'aération et d'un étage de finition.

**d-3- Traitement par lagunage aéré**

Dans les étages d'aération, l'oxygénation est assurée par des aérateurs de surface ; cette aération mécanique favorise le développement des bactéries qui dégradent la matière organique et assimilent les nutriments.



Ensuite, les eaux transitent de façon gravitaire vers les lagunes de finition où elles séjournent deux (02) jours. C'est le lieu de séparation physique d'eau épurée et de la boue biologique.



**Photo 03.** Lagune d'aération



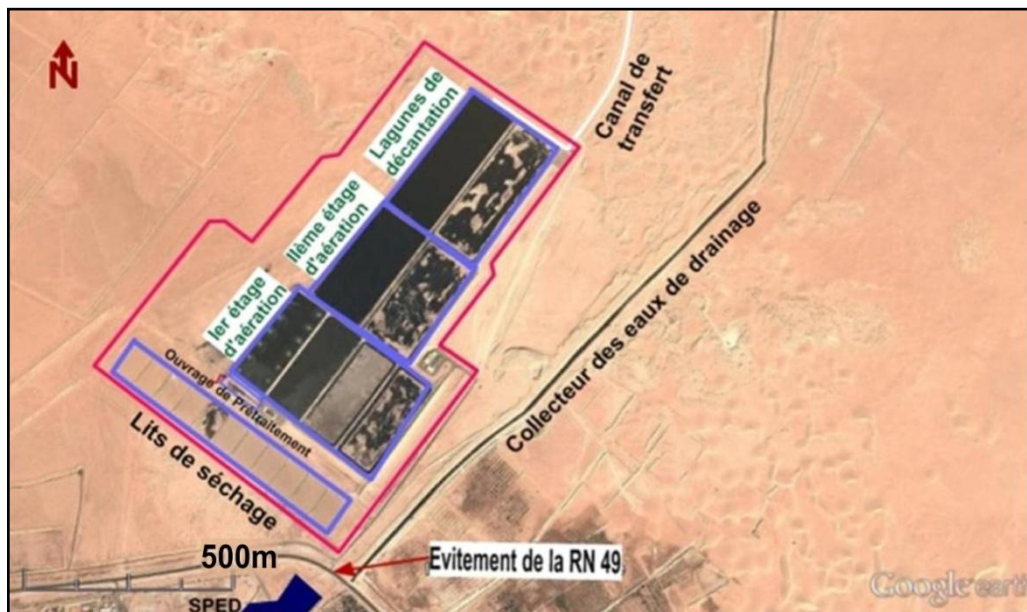
**Photo 04.** Lagune de finition

Dès leur sortie des lagunes de finition, les eaux usées épurées seront rassemblées par un collecteur et rejetées dans le canal de transfert vers le milieu récepteur.

#### d-4- Traitement des boues

Comprend le curage et le pompage des boues décantées aux fonds des lagunes vers les lits de séchage pour garantir leur siccité par évaporation naturelle couplée à un système de drainage.

Enfin, la figure 09 nous illustre les différentes composantes de l'installation d'épuration.



**Figure 09.** Composantes de la station d'épuration de Ouargla



### II.1.2. Acheminement

Dès la sortie des EUE de la STEP, un canal de transfert assure l'acheminement de ces eaux vers sebkhat Safioune, située à 40 km environ au nord de la STEP de Ouargla.

Le canal de transfert des excédents hydriques est un ouvrage construit en béton, étanche, de section rectangulaire de 2,9mx2,3m, composé de deux conduites, une achemine les EUE provenant de la STEP, et l'autre véhicule les eaux de drainage venant de la SPED. Les deux conduites sont séparées par une cloison de 1,5m de hauteur. Cette cloison a pour but la suppression de tout contact ou mélange entre les EUE et les eaux de drainage. Des ouvertures du côté de la conduite des EUE sont parsemées tout au long du canal, espacées de 100m environ. Ces ouvertures permettent des piquages des EUE en vue de les réutiliser en irrigation.

L'itinéraire du canal est sinueux, avec une longueur avoisinant les 40 km, mesurée de la sortie des EUE de la STEP jusqu'au point de rejet embouchure du canal dans sebkhat Safioune. Des photos et une carte illustrant l'itinéraire du canal seront exposées ci-dessous.

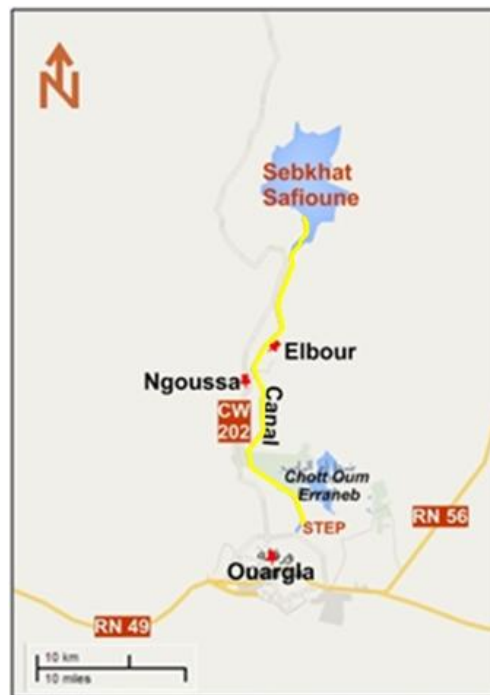


Figure 10. Itinéraire du canal de transfert



Photo 05. Embouchure du canal (point de rejet)



Photo 06. Rejet des excédents au niveau de sebkhat Safioune

### II.1.3. Rejet

Les excédents hydriques (EUE et eaux de drainage) acheminés par le canal de transfert circulent sous l'effet de la gravité (sans aucun pompage), où ils parcourent 40 km environ pour être rejetés au niveau du milieu récepteur qui est sebkhat Safioune ; ces eaux commencent à se mélanger à quelques mètres du point de rejet.

### II.1.4. Réutilisation

Une partie des EUE acheminées vers le milieu récepteur sera puisée de la sortie de la STEP ou du canal de transfert pour irriguer des cultures installées au sein de quelques sites de réutilisation.

Toutefois, nous annonçons que cette réutilisation est informelle et aucun site des sites de réutilisation existants n'est géré convenablement à la réglementation algérienne.

#### II.1.4.1. Gestion de la réutilisation des EUE au niveau de la cuvette de Ouargla

Une intention de généraliser la réutilisation des EUE en irrigation au niveau de la cuvette de Ouargla existait depuis la réalisation de l'étude du projet d'assainissement de la vallée de Ouargla. Cependant et suite à l'enregistrement de quelques contraintes liées essentiellement à la qualité des EUE, aucun projet de réutilisation réglementée n'a été amorcé et les sites irrigués actuellement avec les EUE ont tous des caractères informels.

Du point de vue qualité de l'EUE, les services de la DSA de Ouargla nous ont informé que cette eau a été déclarée inapte à l'irrigation, et ceci a été confirmé par l'institut national des sols de l'irrigation et du drainage qui rapporte cette inaptitude à la salinité exagérée de ces EUE.

D'autre part, la qualité microbiologique des EUE est loin d'être conforme aux normes microbiologiques exigées par la réglementation algérienne, surtout pour certaines catégories de cultures largement cultivées (maraichage notamment), d'où la nécessité de l'affinement du traitement des EUE.

Pour contourner ces contraintes, un projet de coopération algéro-hollandaise, baptisé Wawaria (Réutilisation des eaux usées pour l'irrigation en Algérie) a été lancé. Ce projet a pour but d'assurer un traitement tertiaire par filtration membranaire des eaux usées épurées de la station d'épuration, et ensuite, étudier par expérimentation l'effet de ces EUE sur quelques cultures maraîchères.

D'après l'ONA, Wawaria est suivi techniquement, pour la partie algérienne, par l'ONA et l'Institut national de la recherche agronomique d'Algérie (INRAA), et pour la partie hollandaise par des experts de l'Institut Alterra (Université de Wageningen), et ceux des sociétés NRO Fusion et PB Techniek spécialisées, respectivement dans la fabrication des unités de traitement tertiaire à membranes et les systèmes automatisés d'irrigation.

### Conclusion

La gestion actuelle des EUE issues de la STEP de Ouargla se déroule suivant un mécanisme bien déterminé. Après épuration, ces eaux seront acheminées par un canal de transfert pour être rejetées au niveau du milieu récepteur, dénommé sebkhat Safioune, situé à environ 40 km au nord de la dite STEP.

Une réutilisation des EUE issues de la STEP de Ouargla en irrigation a été envisagée. Cependant et suite à la non-conformité de ces eaux aux normes prescrites par la réglementation algérienne, aucun projet de réutilisation réglementée n'a été amorcé. Une coopération algéro-hollandaise a été initiée, celle-ci a pour but la garantie d'un traitement tertiaire des EUE, et ce, pour éliminer les contraintes de réutilisation de ces eaux en irrigation.

D'autre part, une réutilisation informelle et non organisée des EUE en irrigation a été observée au sein de quelques sites proches de la STEP de Ouargla.

## **DEUXIEME PARTIE**

### **MATERIELS ET METHODES**

## Chapitre IV. Matériels et méthodes d'études

Dans ce chapitre, nous avons essayé de présenter l'objectif de l'étude, la démarche adoptée pour atteindre cet objectif, ainsi que les méthodes utilisés pour mettre en évidence la politique de gestion des EUE, et déceler les effets de son élimination sur l'environnement.

### I. Choix de la zone d'étude

Au niveau de la cuvette de Ouargla, une nouvelle politique d'assainissement a été mise en œuvre ces dernières années. Celle-ci s'est révélée essentiellement par l'intégration de l'étape épuration dans le mécanisme d'assainissement des eaux usées.

Or, cette épuration génère quotidiennement des volumes importants des eaux usées épurées dont la stratégie de gestion, les voies actuelles d'élimination, les sites récepteurs de ces eaux ainsi que les effets d'épandage de ces eaux au niveau des sites récepteurs restent peu connus.

Notre recherche a comme objectif l'enquête sur ces thématiques peu connues, et ceci en essayant de mettre en lumière la politique de gestion des eaux usées épurées, d'identifier les différents sites d'épandage de ces eaux, et d'apprécier les risques de leur épandage sur le milieu hydro-édaphique : sol et nappe au niveau de quelques sites récepteurs.

### II. Approche méthodologique adoptée

Pour parvenir à l'objectif fixé, notre recherche s'est intéressée à trois principaux axes de recherche : le premier axe qui étudie la politique de gestion des EUE de l'agglomération de Ouargla, le deuxième axe qui identifie les différents sites d'épandage, étudie leurs caractéristiques et présente les changements écologiques générés suite à l'épandage des EUE au niveau de ces sites, et un troisième axe qui étudie les risques d'épandage de ces EUE sur le milieu hydro-édaphique au niveau de quelques sites.

#### II.1. Premier axe : étude de la gestion des EUE de l'agglomération de Ouargla

Les axes d'étude et d'investigation sur la gestion des EUE de l'agglomération de Ouargla ont été tracés en se référant à notre vision qui définit cette gestion comme étant la politique qui planifie, réalise, régit et administre l'ensemble des actions qui visent l'élimination de ces eaux, avec le minimum de nuisances sur l'environnement, ainsi l'exploitation rationnelle de ces ressources non conventionnelles.

Les méthodes utilisées pour étudier la politique de gestion des EUE issues de l'agglomération de Ouargla ont été principalement des investigations concentrées sur la consultation des documents et des structures impliquées dans le domaine de la gestion des EUE, et aussi des enquêtes réalisées sur le terrain. Des sondages réalisés au profit des irrigants avec les EUE sur la gestion de la réutilisation des EUE, et la gestion de ses risques ont été aussi parmi les méthodes d'études de la politique de la gestion des EUE de l'agglomération de Ouargla.

Parmi les documents les plus intéressants que nous avons consulté, on cite les études d'assainissement réalisées au niveau de la cuvette de Ouargla, les études et les rapports dédiés au sujet de l'utilisation des eaux usées épurées en Algérie, les mémoires et les articles scientifiques ayant abordé le sujet de notre étude, et enfin les textes législatifs qui réglementent le rejet et la réutilisation des EUE.

Aussi, nous avons sollicité l'information en se rapprochant des principaux acteurs locaux et nationaux impliqués dans le domaine de la gestion des EUE ; parmi ces auteurs, nous citons :

Au niveau local, l'ONA et la STEP de Ouargla, la DREW de Ouargla, la STEP de N'goussa, la subdivision des ressources en eau de N'goussa, l'ANRH et l'ABHS de Ouargla, la DSA de Ouargla, la subdivision agricole de N'goussa, et enfin les agriculteurs irrigants avec les EUE.

Au niveau national, les principales structures sollicitées pour un complément d'informations sont : la direction générale de l'ONA et le Ministère des Ressources en Eau, notamment la Direction de l'Assainissement et de la Protection de l'Environnement DAPE, ainsi que la Direction de la Mobilisation des Ressources en Eau DMRE.

En plus des consultations des documents et des structures, plusieurs sorties et des enquêtes au niveau de la STEP de Ouargla, et tout au long de l'itinéraire du canal du transfert des EUE jusqu'au milieu récepteur ont été réalisées, et ce pour bien caractériser le mécanisme d'élimination des EUE et identifier les différentes voies d'élimination existantes.

Enfin, des sondages des avis des agriculteurs ont été réalisés par le biais des questionnaires visant essentiellement des enquêtes sur : les raisons du choix de l'irrigation avec les EUE, la structure ayant attribué la concession ou l'autorisation de l'irrigation avec les EUE à ces agriculteurs, aussi les recommandations transmises lors de cette autorisation, la perception des agriculteurs des risques de l'irrigation avec les EUE, les mesures de protection entreprises lors de l'irrigation, les effets constatés par les agriculteurs de ces EUE sur les sols et les cultures, et enfin des enquêtes sur la présence et l'intervention des structures locales impliquées dans le domaine de la gestion des risques de la réutilisation des EUE en irrigation.

Le questionnaire-type (voir annexe 13) est élaboré en se référant à quelques enquêtes ayant le même objectif d'étude, les sorties de collectes des données n'ont pas été limitées à un temps précis, et durant ces sorties, on a pu sonder l'avis de 17 agriculteurs irrigants avec les EUE.

## **II.2. Deuxième axe : étude des caractéristiques des différents sites d'épandage des EUE**

L'étude dans cette partie a concerné l'identification, la description et la détermination des particularités des différents sites d'épandage, ainsi que les changements écologiques générés suite à l'épandage des EUE au sein de ces sites.

Pour le milieu récepteur, nous avons spécifié sa localisation, son importance hydrologique, les raisons de choix de ce site pour recevoir les eaux de rejet représentées par les EUE, issues de l'agglomération de Ouargla et les eaux de drainage issues des palmeraies contigües à cette agglomération, ainsi que les changements écologiques générés suite au rejet de ces eaux.

Pour les autres sites d'épandage représentés essentiellement par des sites de réutilisation des EUE pour l'irrigation, nous les avons identifiés ; ensuite, nous avons spécifié leurs localisations et leurs caractéristiques du point de vue superficie, systèmes de cultures et systèmes d'irrigation. Aussi, nous avons exposé quelques effets générés suite à l'irrigation avec les EUE.

Les méthodes utilisées pour identifier les différents sites d'épandage ont reposé sur la consultation des structures, comme la STEP de Ouargla et aussi sur plusieurs sorties de fouilles tout au long de l'itinéraire du canal du transfert des EUE jusqu'au milieu récepteur.

Les méthodes utilisées pour étudier les caractéristiques des sites d'épandage et les changements écologiques générés suite à l'élimination des EUE ont reposé sur des consultations de documents et des enquêtes, basées sur : des questionnaires réalisés auprès des agriculteurs (voir annexe 13), des observations, des descriptions, des inventaires, des délimitations par géo-référencement et des réalisations de cartes.

### **II.3.Troisième axe : évaluation des risques de dégradation du milieu hydro-édaphique**

L'étude dans cette partie a concerné l'évaluation des risques de dégradation du milieu hydro-édaphique suite à l'épandage des eaux usées épurées au niveau de quelques sites.

L'évaluation des impacts de l'épandage des eaux usées épurées sur les sols a visé la mise en évidence de l'effet de l'épandage de ces EUE sur la salinisation, l'alcalinisation et l'accumulation de la matière organique. Ce dernier paramètre a été ajouté suite à l'observation au niveau du milieu récepteur d'une accumulation des matières organiques humides suite à leur évolution en anaérobie.

En parallèle, l'évaluation des impacts de l'épandage des EUE sur les eaux de la nappe phréatique a visé l'étude des paramètres de salinisation et de pollutions organique, azotée et phosphorée.

Une caractérisation de la qualité des EUE au niveau des sites d'études choisis a été aussi effectuée.

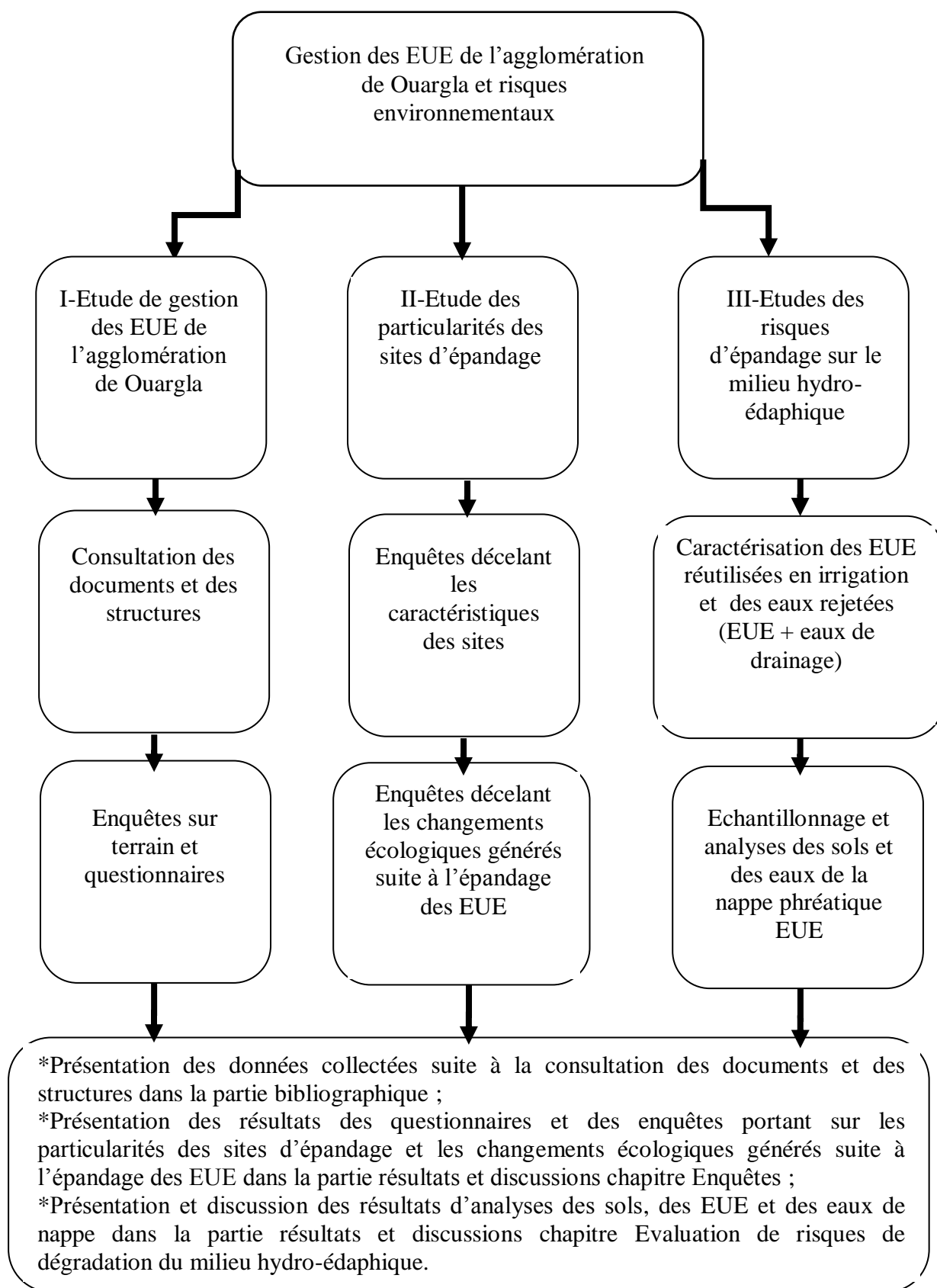
En plus du site de rejet situé à sebkhat Safioune, notre choix s'est orienté vers le site de réutilisation situé près de la STEP de Ouargla, qui est le seul site de réutilisation où l'irrigation est maintenue régulièrement depuis la mise en place des cultures, datant dans quelques parcelles à environ 3 ans.

Au niveau du site de réutilisation, nous étions contraints d'annuler l'étude de l'impact des EUE sur la nappe phréatique, suite à l'impossibilité du prélèvement (inexistence de piézomètres). En revanche, au niveau du milieu récepteur, l'étude de l'impact des excédents hydriques (EUE et eaux de drainage rejetées) sur la qualité de la nappe phréatique a été entamée du fait de la possibilité du prélèvement, même en l'absence de piézomètres.

L'étude de la qualité des sols a été réalisée suivant un axe horizontal qui examine les changements de la qualité des sols de la couche de surface, située entre 0 et 40cm au niveau du site de réutilisation et de l'horizon de surface au niveau du milieu récepteur ; et un axe vertical qui examine les changements de la qualité des sols, selon la profondeur.

Les analyses de sols ont été effectuées au niveau des laboratoires de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Ouargla et le laboratoire de l'INSID d'Adrar.

Les analyses des eaux usées épurées réutilisées en irrigation, des eaux de rejet et des eaux de la nappe phréatique ont été effectuées au niveau des laboratoires de : l'ANRH d'Adrar, l'URERMS d'Adrar, CAQUE d'Adrar et le laboratoire d'hygiène de Wilaya, DSP d'Adrar.



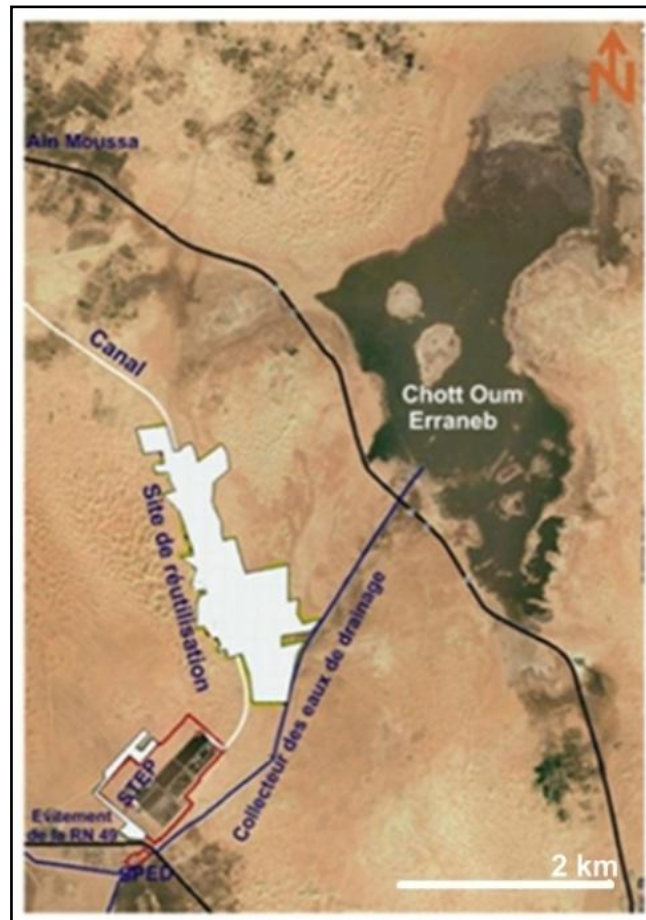
**Figure 11.** Méthodologie détaillée d'étude de la gestion des EUE de la cuvette de Ouargla et des risques environnementaux générés suite à l'épandage de ces EUE



### II.3.1. Localisation des sites d'étude

#### a-Situation du site de réutilisation

Le site de réutilisation choisi est sis à environ 500 mètres au nord de la STEP de Ouargla.



**Figure 12.** Situation du site de réutilisation des EUE en irrigation

C'est un site informel renfermant environ soixante dix parcelles de différentes superficies (1 ha, 2ha ou plus) dont moins de trente parcelles irriguées avec les EUE. Il est d'une superficie totale aménagée d'environ 100 ha et une superficie mise en culture n'excédant pas les 30 ha, dont 22 ha environ irrigués exclusivement avec les EUE, et 7 ha irrigués exclusivement avec des eaux conventionnelles (eaux de puits).

#### b- Situation du milieu récepteur

Sebkhat Safiouna est une vaste dépression, suffisamment éloignée des zones habitées, couvrant une superficie d'environ 10 000 hectares (IDDER, 2011). Elle se situe à 40 km environ au nord de l'agglomération de Ouargla.

Au sein de cette sebkha, un site de rejet de 2500 ha de superficie a été aménagé pour recevoir les eaux rejetées, représentées essentiellement par les EUE issues de l'agglomération de Ouargla et des eaux de drainage agricole collectées des palmeraies contiguës à cette agglomération.



**Figure 13.** Situation du milieu récepteur

Comme il a été susmentionné, en plus des EUE, cette sebkha reçoit les eaux de drainage agricole collectées des palmeraies contiguës à l'agglomération de Ouargla. Ces EUE et les eaux de drainage se mélangent dès l'embouchure du canal de transfert, et de ce fait, notre étude au niveau du milieu récepteur a comme objectif l'étude de l'effet des excédents hydriques (EUE et eaux de drainage) sur le milieu hydro-édaphique au niveau du milieu récepteur.

## **II.3.2. Étude des effets de l'irrigation avec les EUE sur les sols du site de réutilisation**

### **II.3.2.1. Description des sols étudiés**

Les sols du site de réutilisation sont des sols non calcaires, leur profondeur dépasse les 120cm ; ils sont caractérisés par une texture sableuse dominante ; avec toutefois, la présence par endroits d'un horizon limoneux humide, incluant des cristaux de gypse, et situé généralement à des profondeurs entre 60 à 80 cm.

### **II.3.2.2. Échantillonnage des eaux d'irrigation et des sols**

#### **II.3.2.2.1. Échantillonnage des EUE réutilisées en irrigation**

Les EUE réutilisées en irrigation ont été prélevées directement de la conduite d'amenée des eaux au sein de la parcelle P<sub>3</sub>, qui est une parcelle irriguée avec les EUE (voir figure 14), et ceci pour les analyses des paramètres physico-chimiques et microbiologiques. Les prélèvements sont effectués le mois de mars 2013.

## **a-Techniques de prélèvement et de conservation**

### **a-1. Caractérisation bactériologique**

Un examen bactériologique ne peut être valablement interprété que s'il est effectué sur un échantillon correctement prélevé (RODIER et *al*, 2009). Pour ceci on a veillé à prélever en respectant les conditions de stérilité où des flacons de prélèvement en verre ont été nettoyés, stérilisés à l'étuve à 180°C pendant 2 heures ; ils n'étaient ouverts qu'au moment du prélèvement. Après prélèvement, les flacons ont été étiquetés, mis dans une glacière et conservés à une température avoisinant 4°C puis transportés directement au laboratoire et conservés au réfrigérateur à 4°C jusqu'au moment des analyses (CEAEQ, 2008).

L'échantillon a été un prélèvement instantané, car selon le centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ, 2008), seuls les échantillons instantanés peuvent être soumis aux analyses microbiologiques.

### **a-2. Caractérisation parasitologique**

D'après RODIER et *al* (2009), les prélèvements des échantillons des eaux usées pour le dénombrement des œufs d'helminthes s'effectuent sans aucune précaution particulière, sans addition d'agent de conservation. Les échantillons seront conservés et transportés à la température ambiante, puis analysés dans les jours qui suivent les prélèvements.

### **a-3. Caractérisation physico-chimique**

Compte tenu de la diversité de la nature des eaux résiduares, il n'existe pas de technique de prélèvement satisfaisante en toutes circonstances (RODIER et *al*, 2009).

Dans notre cas, les prélèvements ont été des prélèvements instantanés. Après prélèvement, les échantillons ont été conservés dans une glacière à 4°C, puis transportés au laboratoire pour analyses.

Pour l'analyse de la DCO, le N Kjeldahl et le P total, on a ajouté quelques gouttes d'acide sulfurique concentré pour baisser le pH au dessous de 2 (RODIER et *al*, 2009).

## **II.3.2.2.2. Échantillonnage des sols étudiés**

Pour constater les impacts causés par l'irrigation avec les EUE sur les sols du site de réutilisation, une campagne d'échantillonnage effectuée le mois de Mars 2013 a touché plusieurs parcelles dans ce site. Les critères de choix et le dispositif d'échantillonnage seront illustrés ci-dessous.

### **a-Critères de choix des parcelles**

Le choix des parcelles cibles d'échantillonnage s'est basé sur :

- ❖ l'irrigation ou non des parcelles : parcelles irriguées ou non, les parcelles non irriguées sont considérées comme témoins ;
- ❖ l'âge de la parcelle (l'ancienneté de la mise en culture) : pour les parcelles irriguées par les EUE on a orienté notre choix vers les parcelles les plus anciennement cultivées, donc les parcelles subissant un long contact avec les EUE.

**b- Dispositif d'échantillonnage**

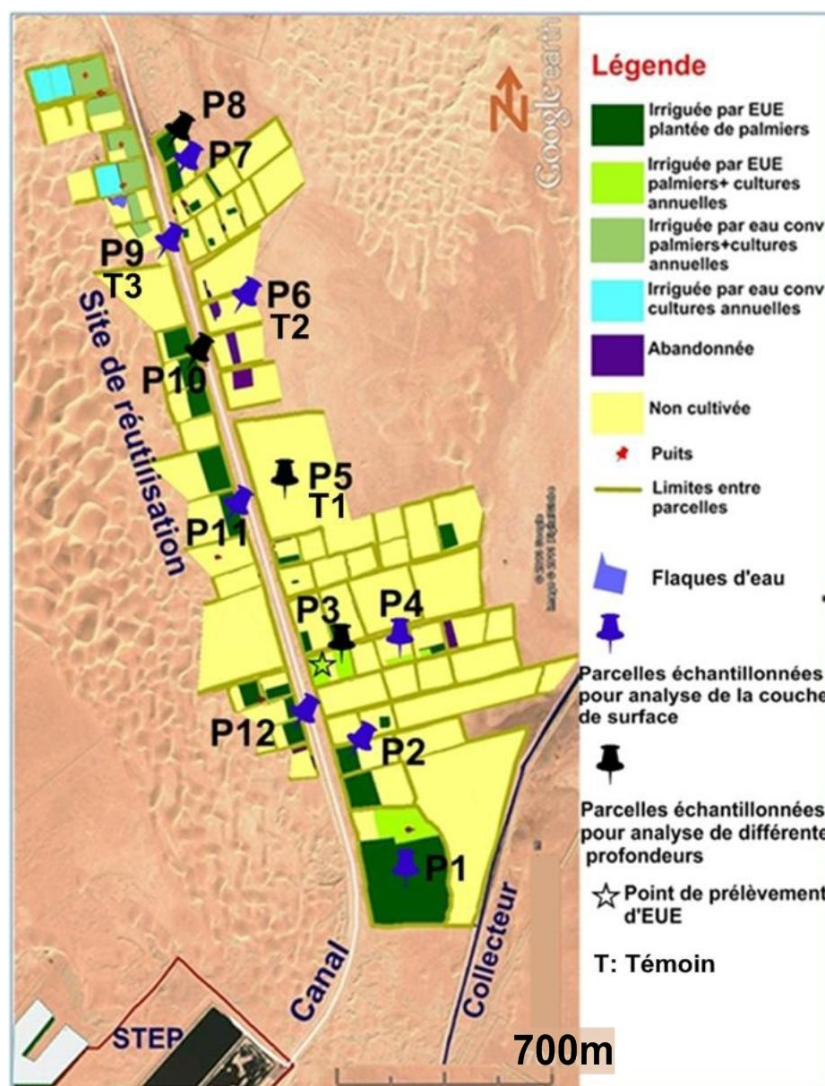
Pour constater les effets des EUE sur la couche de surface, on a choisi :

- ❖ Trois parcelles témoins, non irriguées et situées au sein du site (P<sub>5</sub>, P<sub>6</sub> et P<sub>9</sub>) ;
- ❖ Neuf parcelles irriguées par les EUE (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>, P<sub>7</sub>, P<sub>8</sub>, P<sub>10</sub>, P<sub>11</sub> et P<sub>12</sub>).

Le nombre de parcelles irriguées avec les EUE a été majoré afin de discerner avec confiance les effets des EUE sur les sols.

Ainsi, pour constater les effets des EUE selon la profondeur, quatre parcelles parmi les 12 parcelles ont été choisies (dont un témoin (P<sub>5</sub>), et trois irriguées avec les EUE (P<sub>3</sub>, P<sub>8</sub> et P<sub>10</sub>).

Ces quatre parcelles ont été aussi choisies pour étudier certaines caractéristiques des sols, notamment le calcaire, la granulométrie et le gypse.



**Figure 14.** Parcelles échantillonnées au sein du site de réutilisation pour étude des effets de l'irrigation avec les EUE sur les sols

### **c- Techniques et profondeurs de prélèvements**

Les échantillons ont été des échantillons composites, chaque échantillon est le résultat de plusieurs prélèvements mélangés et homogénéisés (JOLIVET et *al*, 2006).

Les prélèvements ont été réalisés à la tarière, selon les profondeurs suivantes : 0-40cm pour l'étude des effets de l'EUE sur la couche de surface, 0-40cm, 40-80cm et 80-120cm pour constater les effets de l'EUE en profondeur.

### **II.3.2.3. Caractérisation des eaux et des sols**

#### **II.3.2.3.1. Caractérisation des EUE réutilisées en irrigation**

Afin d'apprécier la qualité des EUE réutilisées en irrigation, des analyses des paramètres microbiologiques et physico-chimiques ont été réalisées.

#### **a- Analyses microbiologiques**

##### **a-1. Dénombrement des coliformes totaux et fécaux**

La méthode utilisée pour le dénombrement des coliformes était la méthode du dénombrement en milieu solide sur gélose VRBL (bouillon lactosé bilié au vert brillant) citée par RODIER et *al*, 2009.

##### **a-2. Dénombrement des œufs d'helminthes**

Pour dénombrer les œufs d'helminthes, la méthode d'analyse utilisée était la méthode par flottation-centrifugation mentionnée par RODIER et *al* 2009.

#### **b- Analyses physico-chimiques**

##### **b-1. Paramètres de salinité et d'alcalinité**

Le pH est mesuré en utilisant la méthode potentiométrique à l'aide d'un pH-mètre, de type CRISON.

La mesure de la conductivité électrique est effectuée à l'aide d'un conductivimètre, de type WTW inolab cond 730, muni d'une correction automatique de la température.

Pour la détermination des cations, les ions calcium et magnésium ont été dosés par complexométrie, tandis que les ions sodium et potassium ont été dosés par spectrométrie d'émission de flamme, en utilisant un appareil, de type BWB (RODIER et *al*, 2009).

Pour la détermination des anions, les chlorures ont été dosés par la méthode de Mohr, les sulfates ont été déterminés, en utilisant la méthode gravimétrique, les carbonates et les bicarbonates ont été titrés par l'acide sulfurique en présence d'indicateurs colorés (RODIER et *al*, 2009).

##### **b-2. Paramètres de pollution organique**

La DCO a été mesurée par oxydation au dichromate de potassium en excès puis dosage de cet excès par le sulfate de fer et d'ammonium.



En connaissant la quantité de dichromate de potassium consommé lors de l'essai, on peut en déduire la quantité d'oxygène équivalente (RODIER et *al*, 2009).

La détermination de la DBO<sub>5</sub> a été effectuée par la méthode de dilution qui a pour principe d'établir une dilution de l'eau riche en matières organiques par une eau apportant l'oxygène dissous dont on mesure la quantité résiduelle, dans des conditions opératoires bien déterminées, c'est-à-dire après incubation durant 5 jours, à 20 °C et dans l'obscurité (RODIER et *al*, 2009).

### **b-3. Éléments nutritifs**

#### **Azote kjeldahl**

Le dosage de l'azote Kjeldahl NK permet de déterminer les composés non oxydés de l'azote (N organique et N ammoniacal) (RODIER et *al*, 2009).

Les étapes d'analyse sont :

- ❖ minéralisation de l'azote à l'aide d'un minéralisateur de type BUCHI K- 425 en milieu acide, en présence de catalyseur et à température élevée ;
- ❖ ajout d'une solution d'hydroxyde de sodium pour déplacer en ammoniac l'azote ammoniacal formé ;
- ❖ distillation de l'ammoniac en utilisant un distillateur BUCHI K- 314 ;
- ❖ dosage par titrimétrie (RODIER et *al*, 2009).

#### **Phosphore total**

Une minéralisation transforme le phosphore organique en orthophosphates et permet ainsi d'accéder au phosphore total. Cette minéralisation a été réalisée à l'aide d'un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique. Après minéralisation, les orthophosphates ainsi formés sont dosés par colorimétrie (méthode au molybdate d'ammonium) à l'aide d'un colorimètre de type HACH (RODIER et *al*, 2009).

#### **II.3.2.3.2. Caractérisation de la qualité des sols étudiés**

Notre objectif est de discerner les effets des EUE sur :

- ❖ la salinisation et l'alcalinisation des sols : pH et CE ;
- ❖ l'évolution de la composition ionique des sols irrigués : bilan ionique ;
- ❖ l'évolution du pouvoir alcalinisant des sols irrigués : SAR ;
- ❖ l'enrichissement du sol en matière organique.

Une extraction des éléments traces métalliques a été faite pour apprécier la pollution en ETM, mais le dosage n'a pas été réalisé suite à l'absence des appareils garantissant ce dosage au niveau des laboratoires de la faculté.

Certaines caractéristiques des sols, notamment la granulométrie, le calcaire et le gypse ont été aussi déterminées.

### **a-Analyses effectuées pour la caractérisation de la qualité des sols irrigués**

Pour constater les effets des EUE sur les couches de surface des sols, les premières profondeurs (0-40 cm) de tous les échantillons ont été l'objet des déterminations suivantes : pH, CE et bilan ionique.

Pour le dosage du carbone organique et sachant que les MES-riches en MO- contenues dans les EUE seront bloquées au niveau des premiers centimètres du sol, les prélèvements ont concerné seulement les dix premiers centimètres.

Pour apercevoir les effets des EUE en profondeur, les différentes profondeurs du sol (0-40, 40-80 et 80-120 cm) des quatre parcelles précitées ont été l'objet des analyses suivantes : pH, CE et bilan ionique.

### **b- Méthodes d'analyses**

#### **b-1. Préparation des échantillons du sol avant analyse**

Les échantillons prélevés souvent humides ou frais ont été étalés et séchés à l'air libre. Après séchage, les échantillons ont été tamisés par passage à travers un tamis à maille carrée de 2mm de diamètre. Toutes les analyses ultérieures ont été réalisées sur des prises d'essai de terre fine (AUBERT, 1978).

#### **b-2. pH eau**

Le pH est mesuré dans une suspension de sol dont le rapport sol/eau est 1/2,5. Le mélange sol-eau est agité énergiquement pendant quelques minutes, puis laissé reposer durant 2 heures ;

Après étalonnage du pH-mètre et juste avant l'introduction de l'électrode, le contenu du bécher est remis en suspension. La valeur du pH est enregistrée après la stabilisation de la lecture (AUBERT, 1978). L'appareil utilisé pour la mesure est un pH-mètre, de type CRISON.

#### **b-3. Conductivité électrique**

La conductivité électrique est mesurée dans un extrait de sol dont le rapport sol/eau est 1/5, ceci en utilisant un conductivimètre, de type WTW inolab cond 730.

Le mélange sol-eau est agité pendant 1 heure, puis centrifugé durant 5 minutes à une vitesse de 2000 tours/minute. Le surnageant est recueilli où la lecture de la valeur de la CE a été effectuée après l'introduction de la sonde. Cet extrait a été conservé pour le dosage des ions solubles (AUBERT, 1978).

#### **b-4. Bilan ionique**

##### **b-4.1. Cations solubles**

Le Ca et le Mg ont été dosés par complexométrie à l'EDTA (ORSTOM, 1971). D'autre part, le Na et le K solubles ont été dosés par spectrométrie d'émission de flamme (AUBERT, 1978), en utilisant un photomètre à flamme, de type BWB.

#### **b.4.2. Anions solubles**

Les chlorures ont été dosés par la méthode de Mohr (AUBERT, 1978). La méthode utilisée pour la détermination des sulfates est la méthode gravimétrique (norme NF ISO 11048) où les ions  $\text{SO}_4^{2-}$  sont précipités à l'état de sulfate de baryum et évalués gravimétriquement. Enfin, les carbonates et les bicarbonates ont été titrés par l'acide sulfurique en présence d'indicateurs colorés, la phénophtaléine pour les carbonates et le méthylorange pour les bicarbonates (MATHIEU et *al*, 2003).

#### **b-5. Calcaire total**

Le calcaire total a été déterminé par la méthode gazométrique en utilisant un calcimètre de Bernard (AUBERT, 1978).

#### **b-6. Calcaire actif**

Le calcaire actif a été dosé par la méthode de Drouineau-Galet (AUBERT, 1978).

#### **b-7. Granulométrie**

L'analyse granulométrique nous donne une idée sur les pourcentages des différentes classes granulométriques d'un sol. La méthode utilisée pour connaître la composition granulométrique des sols est la méthode internationale, modifiée par l'utilisation de la pipette de Robinson (AUBERT, 1978). La texture des sols a été reconnue après extrapolation des pourcentages des différentes classes sur le triangle des textures de l'Aisne.

#### **b-8. Gypse**

Le dosage du gypse est effectué après attaque à chaud du sol par le carbonate d'ammonium, précipitation par le chlorure de baryum des sulfates issus de la dissolution du gypse, puis pesée du précipité après passage au four à moufles à 900°C pendant 1 heure (MATHIEU et *al*, 2003).

#### **b-9. Carbone organique et matière organique**

Le dosage du carbone organique est accompli en utilisant la méthode Walkley et Black modifiée (MATHIEU et *al*, 2003).

### **II.3.3. Étude des effets de rejet des excédents hydriques sur les sols et la nappe phréatique au niveau du milieu récepteur**

#### **II.3.3.1. Choix de la station de prélèvement des sols et des eaux**

Par le biais des enquêtes de reconnaissance et d'investigations réalisées au niveau du milieu récepteur, on a pu conclure que la bande incluant le transect, allant du point de rejet jusqu'au point A, ayant les coordonnées suivantes : N32°19'02,0'', E05°23'09,9'' (environ 1600m de longueur) est la zone présumée la plus influencée par les eaux de rejet. Ceci est dû à la stagnation des eaux de rejet à la surface des sols de cette bande, et aussi à leur percolation vers la nappe sous-jacente.

Actuellement, ces eaux ont régressé au niveau de la majeure partie de cette bande, en laissant derrière elles des quantités de boues déposées, soit à la surface ou au sein des sols.



La présomption que la pollution était avancée dans cette bande est basée sur les changements constatés au niveau de cette bande, parmi ces changements, nous citons :

- ❖ la couleur frappante de la surface des sols dans la majeure partie de cette bande ;
- ❖ l'odeur très nauséabonde ;
- ❖ la présence des horizons de surface de couleur noire à l'état humide (parfois atteignant 30cm de profondeur), pourvus en matière organique humide.

Suite à ce qui a été évoqué, nous avons choisi comme station d'échantillonnage la dite bande, ayant une superficie avoisinant les 30 ha, et ceci pour discerner les effets des eaux de rejet sur les sols et la nappe phréatique au niveau du milieu récepteur.

### **II.3.3.2. Description des sols étudiés**

Les sols des témoins sont des sols des sebkhas caractérisés par la présence d'une croûte saline non friable et une nappe phréatique située à une profondeur inférieure à 80 cm. Ce sont des sols, soit sableux, sablo-limoneux ou limono-sableux, très pauvres en matière organique, non ou peu calcaires et bien pourvus en gypse, surtout pour l'horizon sous-jacent compact et humide.

En revanche, les sols situés au sein de la station d'étude sont des sols moins salés, dépourvus de croûtes salines, hydromorphes dès la surface, ayant des horizons de surface avec des profondeurs entre 1 à 30 cm, pourvus en matière organique humide, provenant essentiellement des matières en suspension contenues dans les EUE. L'horizon sous-jacent compact et hydromorphe est très pauvre en matière organique, non calcaire et pourvu en gypse. La texture des sols est, soit sableuse, sablo-limoneuse ou limono-sableuse.

### **II.3.3.3. Échantillonnage des eaux de rejet, des sols et des eaux de la nappe phréatique**

#### **II.3.3.3.1. Échantillonnage des eaux de rejet**

Quatre échantillons des eaux de rejet ont été prélevés le mois de mars 2013 au niveau du chenal et du plan d'eau générés suite au rejet des excédents hydriques, où les points de prélèvements sont indiqués dans la figure n° 15. Nous précisons que ces échantillons ont été prélevés au-delà du point de confluence des EUE avec les eaux de drainage.

#### **a-Techniques de prélèvement et de conservation des eaux de rejet**

Les techniques de prélèvements et de conservation sont similaires à celles exposées dans le paragraphe : techniques de prélèvements et de conservation pour la caractérisation physico-chimique des EUE réutilisées en irrigation.

#### **II.3.3.3.2. Échantillonnage des sols**

Pour constater les effets engendrés par les eaux de rejet sur les sols, une campagne d'échantillonnage des sols au niveau de la station susmentionnée a été effectuée le mois de mars 2013.

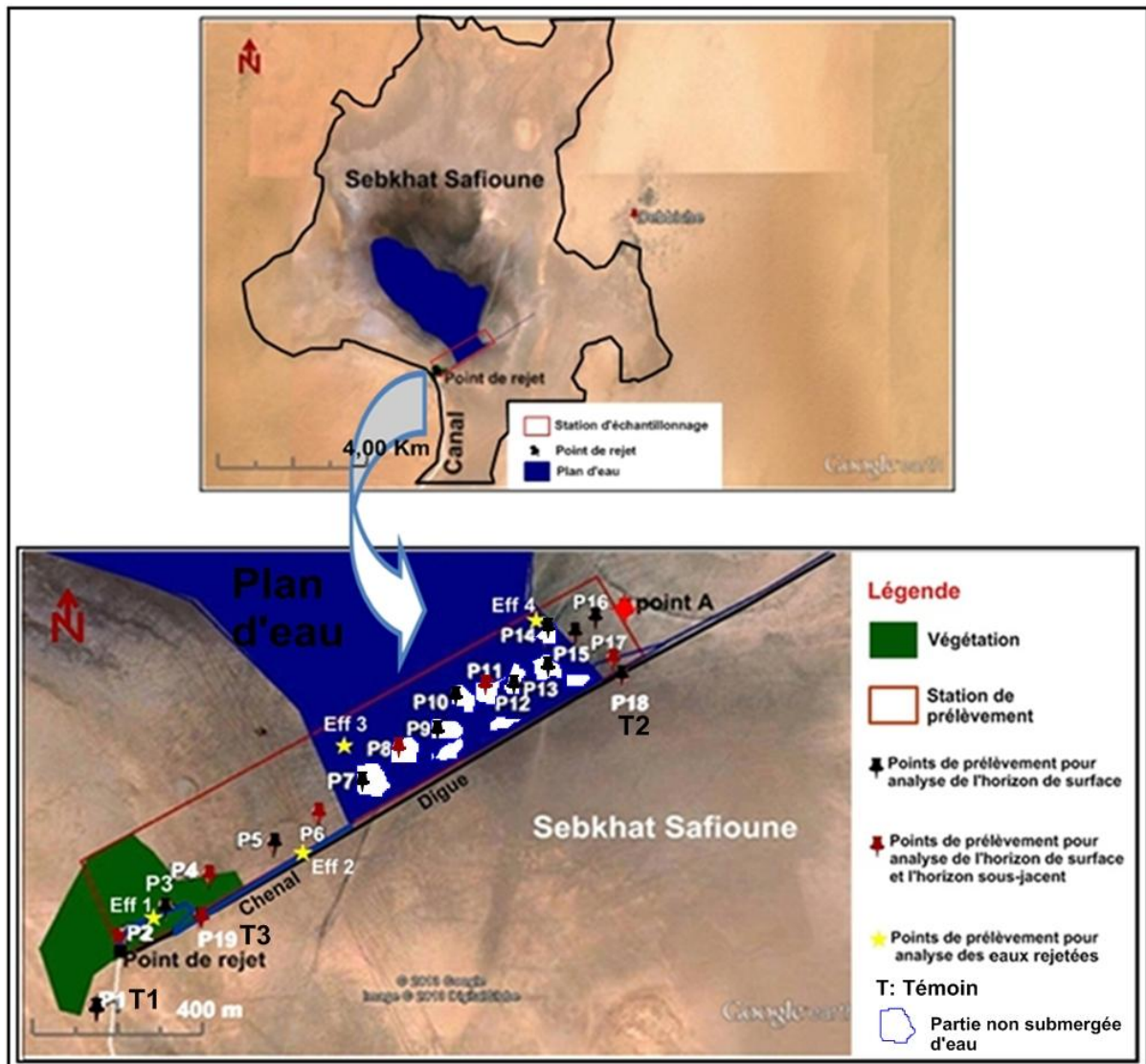
**a-Dispositif d'échantillonnage**

Les points de prélèvements au sein de la station ont été fixés en utilisant la méthode systématique (CEAEQ, 2008), d'où la distance entre les échantillons est approximativement la même. Vu que la bande est peu large surtout du côté du point de rejet, les points de prélèvements ont été tracés suivant le transect cité antérieurement.

Pour constater les effets des eaux de rejet sur l'horizon de surface, trois témoins (P<sub>1</sub>, P<sub>18</sub>, P<sub>19</sub>) situés hors de la zone d'épandage et seize échantillons (de P<sub>2</sub> à P<sub>17</sub>) inclus dans la station d'étude ont été prélevés.

Egalement, pour constater les effets des eaux de rejet en profondeur, un témoin (P<sub>19</sub>) et six échantillons sis dans la dite station (P<sub>2</sub>, P<sub>4</sub>, P<sub>6</sub>, P<sub>8</sub>, P<sub>11</sub>, P<sub>17</sub>) ont été choisis, les prélèvements ont concerné l'horizon de surface et l'horizon sous-jacent.

Ces derniers prélèvements ont été utilisés pour caractériser certaines propriétés des sols, notamment la granulométrie, le calcaire et le gypse.



**Figure 15.** Points de prélèvement des sols et des eaux de rejet au sein du milieu récepteur pour l'étude des effets de rejet des excédents hydriques sur les sols

### b-Techniques et profondeurs de prélèvements

Les échantillons prélevés à la tarière ont été des échantillons ponctuels.

Pour constater les effets des eaux de rejet sur l'horizon de surface, le prélèvement des témoins a été effectué sur une profondeur, située entre 0 et 20cm. Par contre, pour les échantillons inclus dans la station d'étude, les horizons de surface pourvus en matière organique ont été envisagés.

Pour constater les effets des eaux de rejet sur l'horizon sous-jacent, le prélèvement du témoin a été effectué sur une profondeur comprise entre 20 et 40cm. Par contre, pour les échantillons inclus dans la station d'étude, l'horizon sous-jacent a été envisagé.

#### II.3.3.3.3. Échantillonnage des eaux de la nappe phréatique

Pour constater les effets des eaux de rejet sur la nappe phréatique, quatre points de prélèvements ont été choisis dont : un témoin hors de la zone d'épandage, un point près du point de rejet et deux points situés dans des zones présumées très influencées par les EUE.



**Figure 16.** Points de prélèvement des eaux de la nappe au sein de sebkhath Safioune

Les prélèvements ont été effectués le mois de mars 2013 au niveau de la partie supérieure de la nappe après de simples creusages, du fait que la nappe est très proche de la surface.

### a-Techniques de prélèvements et de conservation des eaux de la nappe

Les prélèvements ont été des prélèvements instantanés. Après prélèvement, les échantillons ont été conservés dans une glacière à 4°C, puis transportés au laboratoire pour analyses.

Pour l'analyse de la DCO, le N kjeldahl et le P total, on a ajouté quelques gouttes d'acide sulfurique concentré pour baisser le pH au dessous de 2 (RODIER et *al*, 2009).

#### II.3.3.4. Caractérisation des eaux de rejet, des sols et des eaux de la nappe phréatique

##### II.3.3.4.1. Caractérisation de la qualité des eaux de rejet

Afin d'apprécier la qualité des eaux rejetées, des analyses des paramètres physico-chimiques ont été réalisées. Les méthodes d'analyses pour la caractérisation physico-chimique des eaux

rejetées sont analogues à celles exposées dans le paragraphe : caractérisation des EUE réutilisées en irrigation, analyses physico-chimiques.

#### **II.3.3.4.2. Caractérisation de la qualité des sols situés dans la zone d'épandage**

Notre objectif est de discerner les effets des eaux de rejet sur :

- ❖ la salinisation et l'alcalinisation des sols : pH et CE ;
- ❖ l'évolution de la composition ionique des sols recevant les eaux de rejet : bilan ionique ;
- ❖ l'évolution du pouvoir alcalinisant des sols recevant les eaux de rejet : SAR ;
- ❖ l'enrichissement des sols en matière organique.

Une extraction des éléments traces métalliques a été effectuée pour apprécier la pollution en ETM, mais le dosage n'a pas été réalisé suite aux contraintes susdites.

Certaines caractéristiques des sols, notamment la granulométrie, le calcaire et le gypse ont été aussi déterminées.

#### **a-Analyses effectuées pour constater les effets des eaux de rejet sur les sols**

Les horizons de surface ont été l'objet des analyses suivantes : pH, CE, bilan ionique et carbone organique.

Les paramètres mesurés pour étudier les effets des eaux de rejet en profondeur sont : pH, CE et bilan ionique.

#### **b- Méthodes d'analyses**

Les méthodes d'analyses et de préparation des échantillons des sols sont analogues à celles utilisées pour caractériser les sols irrigués au niveau du site de réutilisation.

#### **II.3.3.4.3. Caractérisation des eaux de la nappe phréatique**

Des analyses des paramètres physico-chimiques décelant l'effet de rejet sur la qualité des eaux de la nappe ont été faites.

#### **a- Analyses effectuées pour constater les effets des eaux de rejet sur la nappe**

Nous avons essayé de mettre en évidence l'effet de rejet sur la qualité de la nappe phréatique, en analysant les paramètres suivants : salinité et alcalinité (CE et pH), pollution organique (DCO), pollution azotée (N Kjeldahl) et pollution phosphorée (phosphore total).

Également, une extraction des éléments traces métalliques a été effectuée pour apprécier la pollution des eaux de la nappe phréatique en ETM, mais le dosage n'a pas été réalisé suite aux mêmes contraintes citées auparavant.

#### **b- Méthodes d'analyses**

Le pH, la CE, la DCO, le N Kjeldahl et le P total sont dosés en utilisant les méthodes d'analyses décrites antérieurement.

**TROISIEME PARTIE**

**RESULTATS ET DISCUSSIONS**

## Chapitre V. Résultats des enquêtes de terrain

Dans ce chapitre, nous avons procédé à la présentation des résultats de nos enquêtes réalisées sur terrain, où celles-ci ont comme objectifs :

- ❖ le sondage des avis des agriculteurs sur : les raisons de choix de l'irrigation avec les EUE, la perception des risques de l'irrigation avec les eaux usées épurées, la gestion de la réutilisation des EUE, et la gestion de ses risques par les structures impliquées dans le domaine de réutilisation des EUE en irrigation. Nous rappelons que cela a été accompli par le biais des questionnaires réalisés au profit des agriculteurs irrigants avec les EUE ;
- ❖ le discernement des particularités des différents sites d'épandage des EUE, notamment le site de réutilisation peu présenté dans la littérature, et la détermination des changements écologiques engendrés, suite à l'élimination des eaux usées épurées au sein des sites d'épandage.

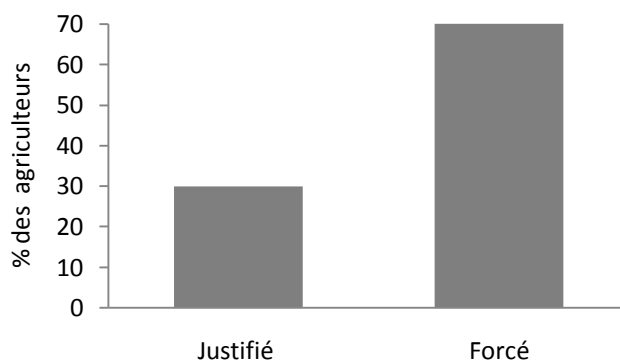
### I. Enquêtes sur la gestion de la REUE en irrigation et la gestion de ses risques

Des données collectées par le biais des sondages réalisés au profit de 17 agriculteurs irrigants avec les EUE sur la gestion de la REUE en irrigation, la perception des risques de la REUE et la gestion des risques de la REUE seront exposées ci-dessous.

#### I.1. Données sur l'irrigation avec les EUE

D'après notre sondage, le choix de l'irrigation avec les EUE de 30% des agriculteurs sujets d'enquêtes était justifié, où les raisons du choix sont multiples : eau disponible gratuitement, sans aucun captage, eau riche en éléments nutritifs...etc.

Les 70% des agriculteurs restants ont un choix forcé suite à l'absence d'approvisionnement en énergie électrique. D'ailleurs, certains parmi eux ont foré des puits, mais ceux-ci restent non exploités du fait de l'éloignement de la ligne électrique.



**Figure 17.** Choix de l'irrigation par les EUE

11,75% des agriculteurs sujets d'enquêtes ont commencé l'irrigation depuis trois ans, 41,25% depuis deux ans, 23,5% irriguent depuis un an, et les restants n'ont pas achevé une année en cet état.

Sur l'ensemble des agriculteurs sujets d'enquêtes, 70% utilisent un système d'irrigation localisé, tandis que les restes irriguent les cultures annuelles par submersion et amènent l'eau aux palmiers par rigoles.

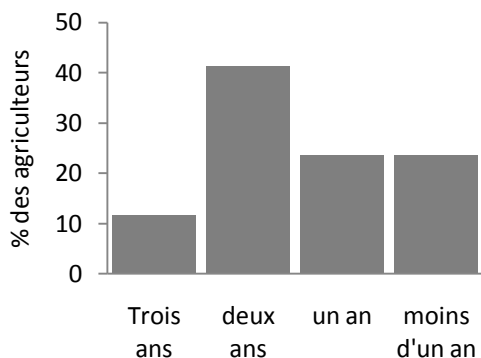


Figure 18. Durée de l'irrigation avec les EUE

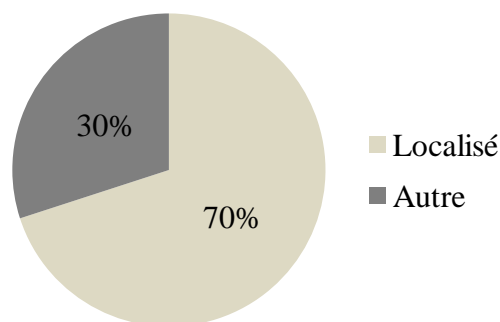


Figure 19. Systèmes d'irrigation

## I.2. Gestion de la réutilisation des EUE

59% des agriculteurs cibles d'enquêtes utilisent les EUE en irrigation sans autorisation. En revanche, 41% nous ont confirmé qu'ils ont eu des autorisations verbales de la part de l'ONA, leur permettant l'irrigation avec ces EUE.

D'autre part, 70% des agriculteurs enquêtés ignorent l'existence des directives de restrictions des cultures, exigeant aux agriculteurs d'éviter d'irriguer avec les EUE certaines cultures (cultures consommées crues en premier lieu), alors que 30% des agriculteurs enquêtés ont témoigné avoir reçu de la part de l'ONA des directives les empêchant d'irriguer avec les EUE, toutes cultures, autre que le palmier dattier.

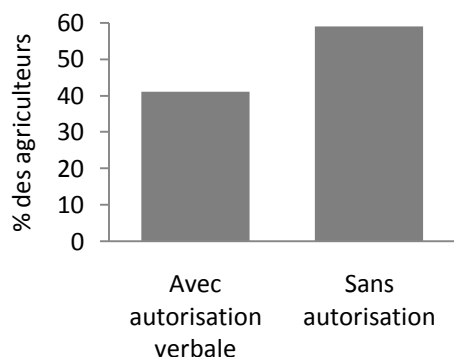


Figure 20. Autorisation d'irrigation

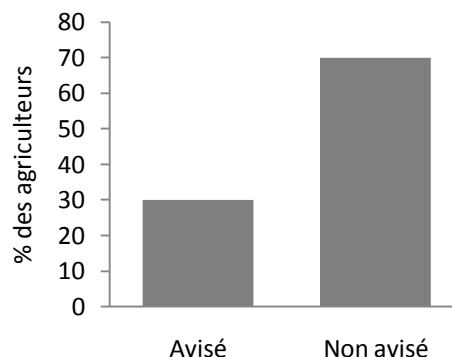


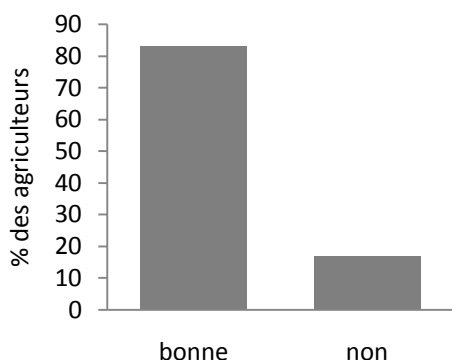
Figure 21. Directives sur la restriction des cultures



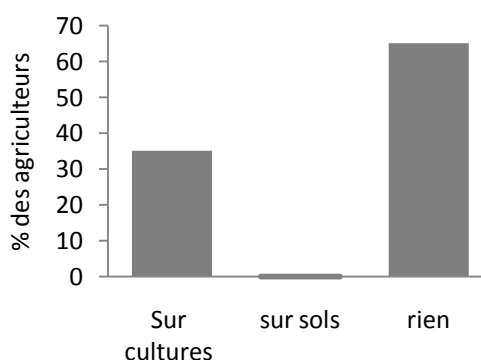
**I.3. Perception des agriculteurs des risques de l'irrigation par les EUE**

83% des agriculteurs questionnés pensent que la qualité des EUE est bonne et ne présente aucun risque. D'autre part, 17% pensent que l'irrigation avec cette eau peut présenter des risques sanitaires.

Aucun agriculteur n'a constaté des impacts négatifs apparents sur les sols, alors que 35% des agriculteurs questionnés ont constaté l'apparition des brûlures sur les palmes et un retard poussé de croissance au cours des premiers mois de la plantation des palmiers dattiers.

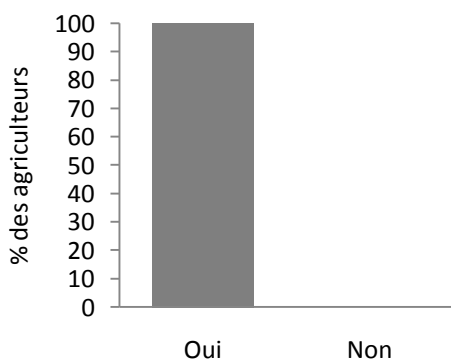


**Figure 22.** Avis des agriculteurs concernant la qualité de l'eau

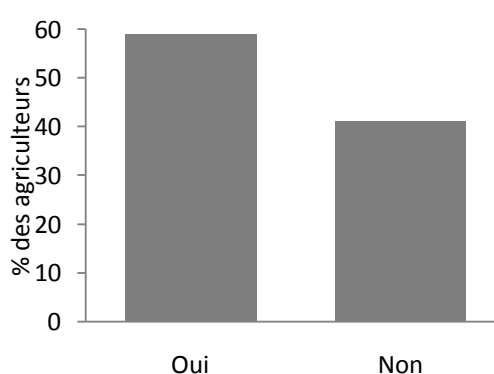


**Figure 23.** Impacts constatés

100% des agriculteurs interrogés ont confirmé que le contact direct avec les EUE à la parcelle est inévitable, mais seulement 59% entre eux ont annoncé qu'ils utilisent des équipements de protection, comme les bottes et les gants, alors que 41% ne prennent pas ces précautions, soit parce qu'ils ne sont pas informés des risques de l'irrigation avec ces eaux ou parce qu'ils sont convaincus que ces eaux ne présentent aucun risque.



**Figure 24.** Contact direct avec les EUE



**Figure 25.** Utilisation des équipements de protection



A noter aussi que 59% des agriculteurs interrogés trouvent un désagrément lors de l'irrigation avec les EUE, la principale cause de ce désagrément est l'odeur de ces EUE.

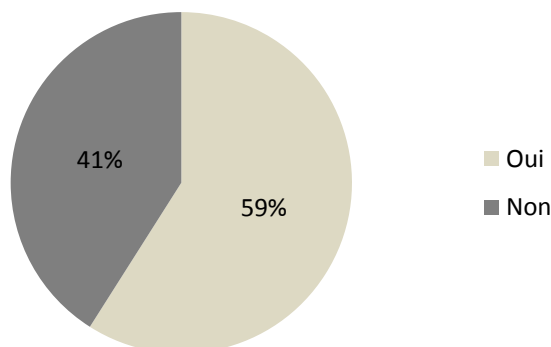


Figure 26. Désagrément lors d'irrigation

#### I.4. Gestion des risques de la réutilisation

Pour la gestion des risques de l'irrigation avec les EUE, tous les agriculteurs interrogés ont confirmé une absence totale des institutions impliquées dans le domaine de la gestion de la REUE.

Aussi, la totalité des agriculteurs revendique la présence de ces structures afin de :

- ❖ les sensibiliser des risques de l'irrigation par les EUE;
- ❖ les enseigner sur les directives de bonnes pratiques de la REUE ;
- ❖ les accompagner et les garantir de l'appui technique ;
- ❖ suivre les impacts des EUE sur les cultures et les sols ;
- ❖ suivre leur état sanitaire.

Ainsi, les figures n° 27, 28, 29 et 30 confirment ce qui a été énoncé, d'où aucun agriculteur n'a témoigné avoir reçu une sensibilisation, un appui technique ou un suivi quelconque de la part des structures impliquées dans le domaine de la gestion des risques des EUE.

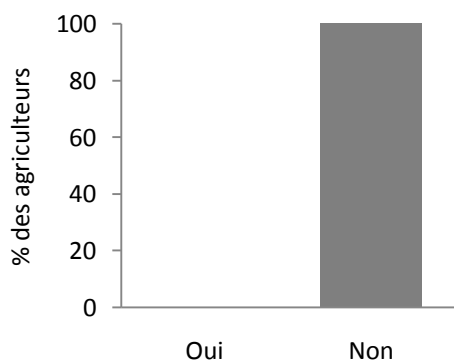


Figure 27. Sensibilisation sur les risques de la REUE

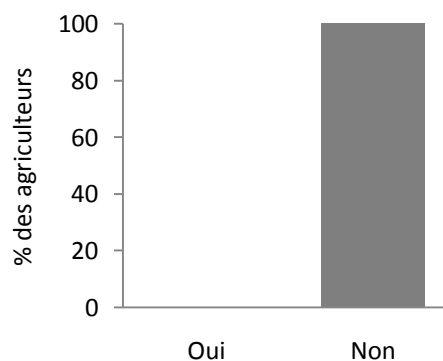
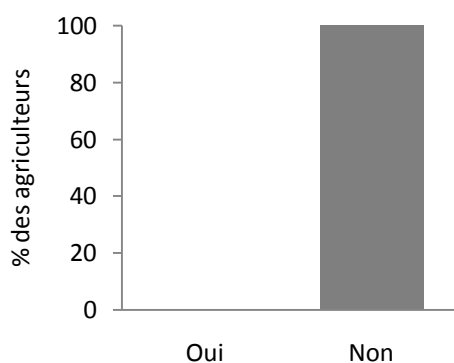
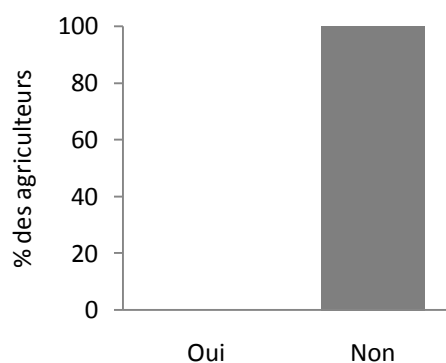


Figure 28. Appui technique par les structures impliquées



**Figure 29.** Suivi des impacts sur les sols et les cultures



**Figure 30.** Suivi sanitaire des agriculteurs

## II. Caractéristiques des sites d'épandage et des changements écologiques constatés

Sous ce titre, nous avons procédé à l'identification, la description et la détermination des particularités des différents sites d'épandage, ainsi que les changements écologiques générés suite à l'élimination des EUE au niveau de ces sites.

Les sites d'épandage sont, soit des sites récepteurs naturels qui reçoivent les EUE rejetées, dénommés aussi milieux récepteurs ou des sites de réutilisation des EUE.

Dans notre cas, le milieu naturel recevant la grande partie des EUE issues de la STEP de Ouargla est sebkhat Safioune. Ce site reçoit aussi les eaux de drainage issues des palmeraies contiguës à l'agglomération de Ouargla.

Concernant les différents lieux de réutilisation, les enquêtes ont décelé la présence de deux lieux de réutilisation des EUE en irrigation : parcelle de l'ONA et un groupement de parcelles situé à proximité de la STEP, dénommé **site de réutilisation**. Quelques points de réutilisation isolés ont été repérés, dont trois à Ain Moussa et un à N'goussa.

### II.1. Milieu récepteur

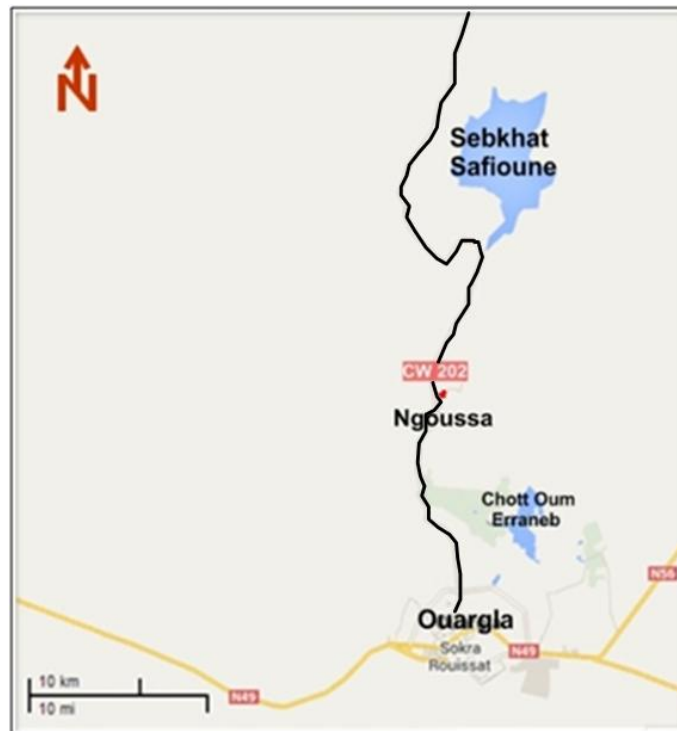
#### II.1.1. Localisation et description

Le milieu récepteur des EUE rejetées est sebkhat Safioune, c'est une vaste dépression suffisamment éloignée des zones habitées, couvrant une superficie d'environ 10.000 hectares (IDDER, 2011). Elle est située à 40 km environ au nord de l'agglomération de Ouargla.

Elle constitue le point le plus bas de la cuvette de Ouargla, aussi elle constitue l'exutoire naturel des crues des oueds N'sa et M'zab (BG, 2003).

Elle est limitée en bordure est et nord-est par une zone à topographie un peu plus élevée, occupée par une végétation clairsemée de tamarix, et de salicorne. A l'ouest et au sud, la sebkha est bordée par des dunes de sable (BG, 2003).

Avant le début de rejet des excédents hydriques, sebkhat Safioune était une étendue de sols salins, hydromorphes et dépourvus de toute sorte de végétation.



**Figure 31.** Situation de sebkhat Safioune

### II.1.2. Importance hydrologique et hydrogéologique

Sebkhat Safioune constitue une zone naturelle d'épandage, car c'est au niveau de cette sebkha, que se termine le parcours du grand fleuve de l'oued M'ya, qui prenait sa source, autrefois, dans les massifs montagneux du Tadmait, et qu'aboutissent les crues de l'oued M'zab et de l'oued N'sa (IDDER, 2011). Cette sebkha est aussi l'exutoire de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla (BG, 2003).

Actuellement, l'importance hydrologique de la sebkha se reflète par sa fonction comme étant une zone d'épandage naturel des crues des deux oueds (M'zab et N'sa). Cette sebkha peut être simulée à une gigantesque machine évaporatoire, recevant les eaux des crues des oueds et les exposant à une évaporation accrue par le climat de la région.

### II.1.3. Raisons du choix du site pour le rejet des EUE

Vu l'importance de son rôle naturel, un rôle similaire a été attribué à cette sebkha. Elle a été choisie comme site récepteur des EUE et des eaux de drainage de l'agglomération de Ouargla et de ses palmeraies. Les raisons de ce choix sont multiples, où l'on cite, parmi elles :

- ❖ son rôle comme machine évaporatoire gigantesque, pouvant évaporer potentiellement plus de 150 millions  $m^3$  /an (IDDER, 2011), volume dépassant nettement les volumes rejetés estimés à 18 millions  $m^3$ /an ;
- ❖ sa grande superficie et ses envergures nord-sud et est-ouest. Envergure est-ouest, environ 7 km et nord-sud, dépassant les 10 km ;

- ❖ sa situation isolée et lointaine des agglomérations, surtout la partie aménagée à recevoir les excédents hydriques. Elle est presque à 40 km de Ouargla, 20 km de N'goussa et plus de 4 km de Debbiche et Frane ;
- ❖ l'absence de tout intérêt du point de vue agricole et aussi l'absence de toute sorte de vie au niveau de cette sebkha (avant le rejet).

En contrepartie, il est intéressant de noter que ce site présente certains inconvénients où le plus important est le caractère hydromorphe des sols qui diminue grièvement sa capacité à dégrader les matières organiques véhiculées par les eaux usées épurées.

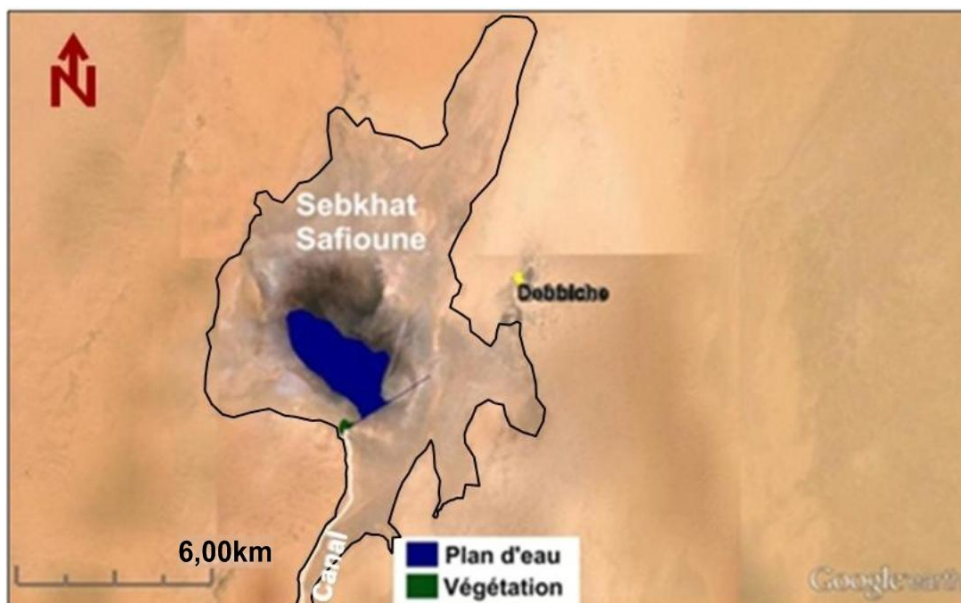
#### II.1.4. Effets de rejet des EUE au niveau du milieu récepteur

Le rejet des eaux au niveau de sebkhat Safioune a commencé en 2009. Au sein de cette sebkha, une superficie de 2500 ha a été délimitée par des digues superficielles réalisées dans le cadre du projet Assainissement de la cuvette de Ouargla pour recevoir les eaux de drainage et les eaux usées épurées, issues de l'agglomération de Ouargla (ONA, 2013).

La sebkha recevait quotidiennement 51000 m<sup>3</sup> d'excédents hydriques dont 35000 m<sup>3</sup> d'EUE et 16000 m<sup>3</sup> d'eaux de drainage. A noter que les eaux de drainage sont rejetées en alternance entre sebkhat Safioune et la sebkha Oum Erraneb, afin d'assurer la pérennité de cette zone humide dans le cadre d'un planning (ONA, 2013).

En plus de son effet indéniable sur la remontée de la nappe phréatique déjà proche de la surface du sol et sur la création des conditions d'hydromorphie au niveau des sols au sein de la zone d'épandage, le rejet de ces volumes d'eaux depuis 2009 a généré un plan d'eau d'environ 500 à 600 ha de superficie. Cette zone humide est distante du point de rejet d'environ 700m et reliée à celui-ci par un chenal.

Le plan d'eau a été l'objet d'une délimitation qui a abouti à la réalisation d'une carte de situation exposée ci-dessous.



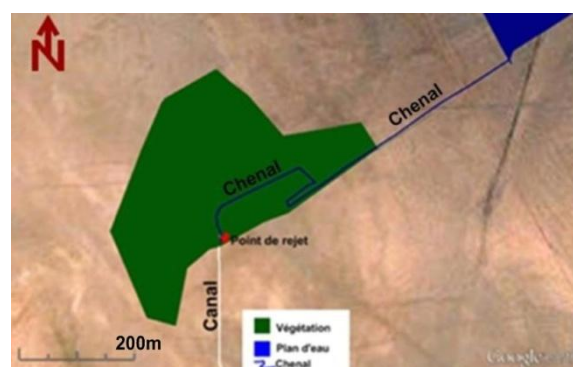
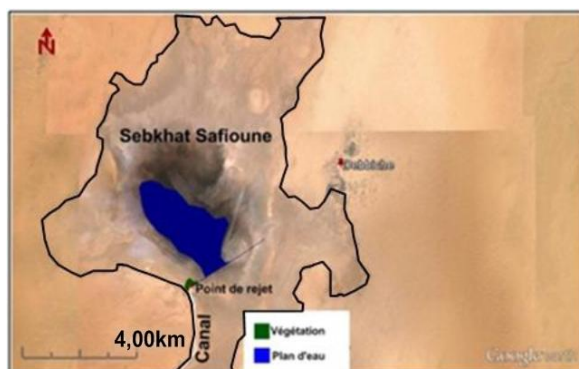
**Figure 32.** Délimitation du plan d'eau généré à la sebkhat Safioune (Novembre 2012)

Dès la formation de cette zone humide à eau libre, une flore caractéristique : roseaux, tamaris et *Halocnemum* s'est installée au voisinage du point de rejet (voir photos 07 et 08). Aussi, une avifaune venant des chotts de la cuvette ou d'autres lieux comportant plusieurs espèces vient de s'installer au niveau du plan d'eau.



**Photos 07 et 08.** Végétation installée au sein du milieu récepteur

La zone de végétation générée est d'une superficie de 10 ha environ, occupant les deux rives du chenal qui a comme origine le point de rejet et qui aboutit au plan d'eau (voir figures 33 et 34).



**Figures 33 et 34.** Cartes de végétation générée à la sebkhat Safioune (Mars 2013)

La dite zone est composée de trois subdivisions :

- ❖ la première (n°1 dans la carte ci-dessous) occupant une superficie de 1,2 ha environ et renfermant une seule espèce (*Halocnemum strobilaceum*), avec un taux de recouvrement dépassant les 80% ;
- ❖ la deuxième (n°2 dans la carte) occupant une superficie de 0,5ha environ, et renfermant une seule espèce (*Phragmites communis*), avec un taux de recouvrement dépassant les 90% ;

- ❖ la troisième (n°3 dans la carte) occupant le reste de la superficie, et renfermant quelques individus de tamarix et des individus isolés d'*Halocnemum*.

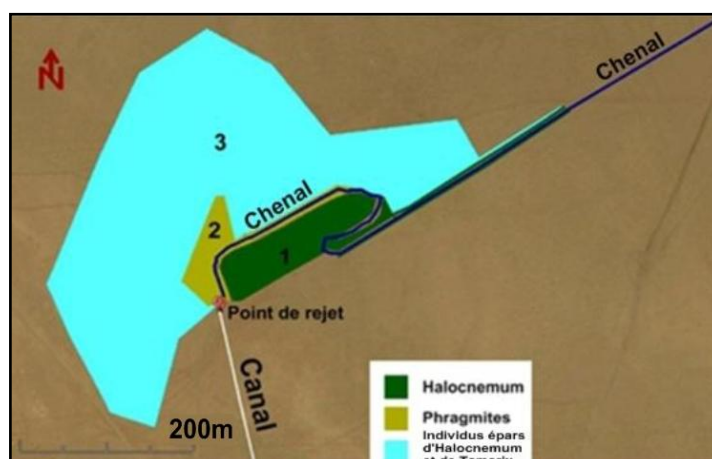


Figure 35. Répartition des espèces végétales au sein du milieu récepteur (Mars 2013)

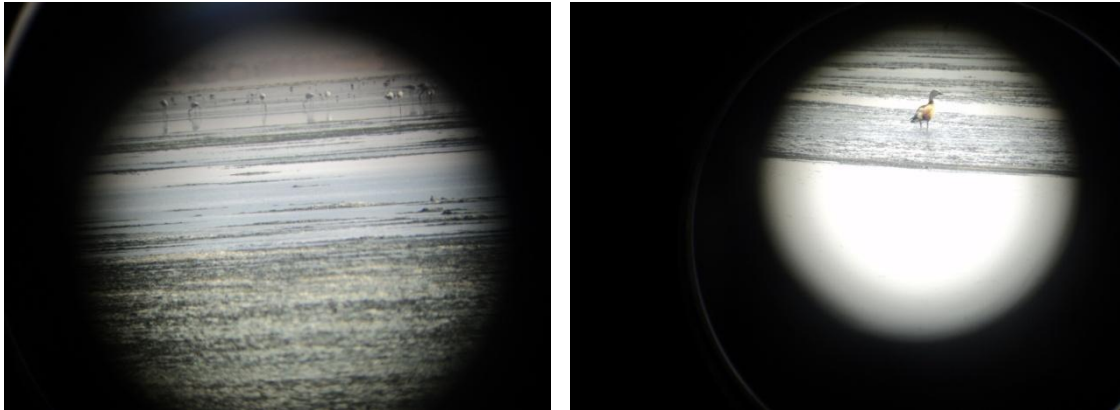
Concernant l’avifaune, une liste des espèces d’oiseaux observés dans la zone humide ainsi que le statut phénologique des espèces nous ont été indiqués par BOUZID Hakim, enseignant à la faculté des sciences de la nature et de la vie, de l’université de Ouargla. Cette liste est exposée dans le tableau n° 02.

Tableau 02. Liste non exhaustive des espèces d’oiseaux inventoriées au niveau de sebkhat Safioune (BOUZID, 2012)

Espèce	Statut	Espèce	Statut
Flamant rose	Nicheur	Chevalier gambette	Hivernant
Tadorne casarca	Nicheur	Chevalier cul blanc	Sédentaire
Tadorne de Belon	/	Chevalier arlequin	Hivernant
Canard chipeau	Hivernant	Chevalier combattant	Hivernant
Canard colvert	Hivernant	Bécasseau minute	Sédentaire
Canard pilet	Hivernant	Bécasseau variable	Hivernant
Sarcelle d’hiver	Hivernante	Bécassine des marais	/
Sarcelle d’été	Estivante	Goéland leucophé	Hivernant
Sarcelle marbrée	Sédentaire	Ganga tacheté	/
Cigogne blanche	Passager	Tourne pierre à collier	Hivernant
Cigogne noire	Passager	Héron cendré	Sédentaire
Ibis falcinelle	Sédentaire	Héron pourpré	Hivernant
Aigrette garzette	Sédentaire	Foulque macroule	Sédentaire Nicheuse
Grande aigrette	Hivernante	Poule d’eau	Sédentaire Nicheuse
Gravelot à collier interrompu	Nicheur	Crabier chevelu	/
Petit gravelot	Nicheur	Goéland railleur	/
Échasse blanche	Nicheuse	Glaréole à collier	Passager
Avocette élégante	Nicheuse		



Aussi, les photos n° 09 et 10 nous présentent quelques espèces aviaires observées au sein du milieu récepteur.



**Photos 09 et 10.** Avifaune installée au niveau de la zone humide de sebkhat Safioune

**Source :** BOUZID, 2012

Nous signalons aussi que le rejet des EUE a engendré une accumulation des matières organiques au niveau de la partie supérieure des sols reconnus comme étant des sols hydromorphes. Cette accumulation est accompagnée d'un changement de la couleur des sols (voir photos n° 11, 12 et 13), et une génération des nuisances olfactives dues essentiellement aux réactions de fermentation des matières organiques déposées à la surface ou interceptées dans la porosité lors de l'infiltration des EUE à travers les sols.



**Photos 11, 12 et 13.** Pollution des sols recevant les effluents au niveau de la sebkhat Safioune



Nous précisons que la profondeur de migration de la matière organique diffère selon le temps de séjour des eaux usées épurées au dessus des sols, et selon nos mesures, les profondeurs varient entre 1 et 30 cm.

La fermentation des matières organiques au niveau du milieu récepteur est favorisée par le règne des conditions d'hydromorphie. Selon GROSBELLET, 2008, l'hydromorphie crée un milieu anoxique menant à une perturbation de l'activité microbienne aérobie, et favorisant ainsi le déclenchement des réactions de fermentation. Les conséquences de ces réactions sont : le ralentissement de la minéralisation de la matière organique, et par voie de conséquence son accumulation, et éventuellement la production des gaz (méthane et autres), qui génèrent des nuisances olfactives et polluent à long terme l'atmosphère avoisinante.

L'accumulation des matières organiques confirme ce qui a été énoncé sur les performances des sols hydromorphes à épurer la matière organique.

## II.2 .Lieux de réutilisation des EUE

Sous ce titre, nous avons essayé de mettre en évidence les différents lieux de réutilisation et d'exposer leurs particularités, notamment le site de réutilisation peu connu.

Les enquêtes sur les lieux de réutilisation des EUE en irrigation ont décelé la présence de deux lieux de réutilisation : parcelle de l'ONA et un groupement de parcelles situé à proximité de la STEP que l'on dénomme **site de réutilisation** .Quelques points de réutilisation isolés ont été repérés, dont trois à Ain Moussa et un à N'goussa.

### II.2.1.Parcelle de l'ONA

C'est une parcelle irriguée par les EUE, située près de la STEP et gérée par l'ONA de Ouargla. Elle est de 16 ha de superficie, mise en culture depuis juin 2009, contenant 4000 palmiers dattiers et irriguée par un système localisé (STEP, 2012).

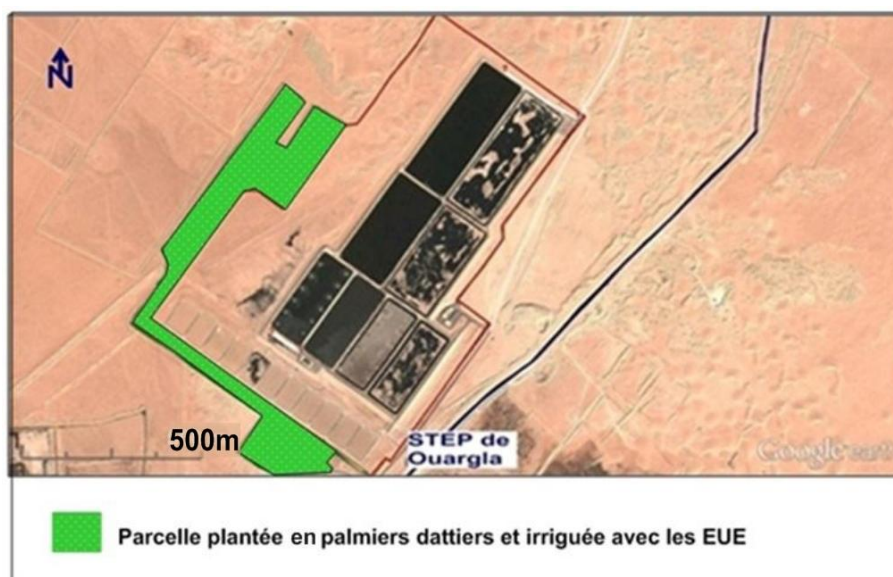


Figure 36. Parcelle irriguée avec les EUE et gérée par l'ONA



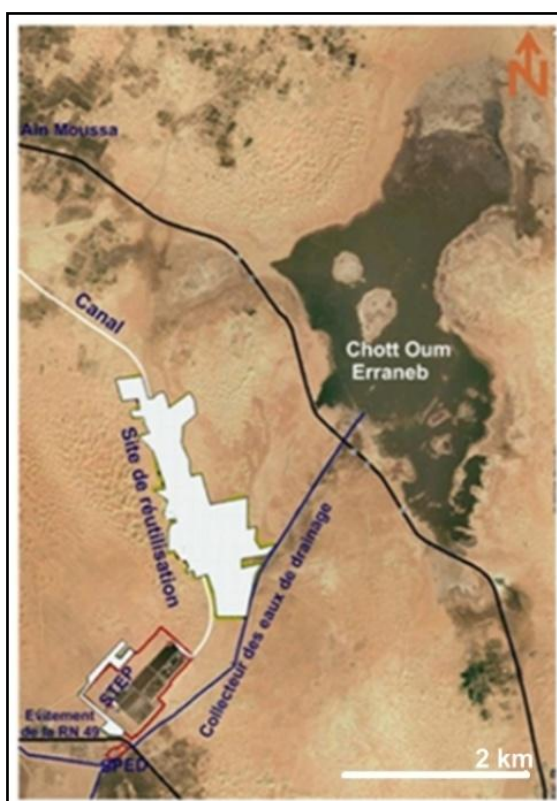
A noter aussi la présence au sein de la STEP des essences forestières (Casuarina) et des arbustes (laurier rose) irrigués avec les mêmes EUE et le même système d'irrigation, et qui ont réussi à se développer.

## II.2.2. Site de réutilisation

Dès le commencement du rejet des EUE vers le milieu récepteur, des piquages au sein du canal, près de la STEP ont pris place pour irriguer des parcelles plantées en palmiers dattiers et souvent de cultures annuelles. Le nombre de ces parcelles a augmenté progressivement. Cette augmentation a provoqué l'apparition d'un groupement de parcelles juxtaposées, d'une superficie totale de 100 ha environ, donnant l'allure d'un périmètre irrigué par les EUE (voir figures 37 et 38). A noter que sauf le canal de transfert, aucun autre aménagement collectif par l'Etat n'a été réalisé pour ce groupement.

### II.2.2.1. Caractéristiques du site

Le site de réutilisation est un site informel où la réutilisation des eaux usées épurées n'est ni organisée, ni contrôlée. Il se situe à 500 mètres environ au nord de la STEP. Il englobe environ soixante dix parcelles de différentes superficies (1 ha, 2ha et plus). Il est d'une superficie totale aménagée d'environ 100 ha, avec une superficie mise en culture n'excédant pas les 30 ha, dont 22 ha environ sont irrigués avec les EUE, et 7 ha irrigués exclusivement avec des eaux conventionnelles (eaux de puits ou mini forages).



**Figure 37.** Situation du site de réutilisation des EUE en irrigation

Les parcelles de ce site sont, soit plantées en palmiers dattiers (entièrement ou partiellement), non cultivées ou abandonnées. A noter la présence de quelques superficies réduites contenant

des cultures annuelles ou arboricoles (oliviers notamment) au niveau de quelques parcelles irriguées avec les EUE.



**Photo 14.** Parcelle plantée exclusivement en palmiers et irriguée par les EUE



**Photo 15.** Parcelle plantée en palmiers avec cultures annuelles irriguées par les EUE

La plupart des parcelles mises en culture sont irriguées avec les EUE pompées à travers les ouvertures parsemées au sein du canal.



**Photo 16.** Piquage des EUE au sein du canal pour irrigation

Les cultures sont irriguées soit en localisé ou par submersion.



**Photo 17.** Cultures irriguées par submersion



**Photo 18.** Palmiers irrigués en localisé



Quelques parcelles situées au nord-ouest du site sont irriguées exclusivement avec des eaux conventionnelles. Ces parcelles sont, soit plantées en palmiers dattiers avec des cultures annuelles sous étages, soit cultivées exclusivement en cultures annuelles.

La figure n° 38 expose les caractéristiques du site de réutilisation, à savoir : les systèmes de cultures, les parcelles cultivées ou non, et enfin les parcelles irriguées avec les EUE ou avec les eaux conventionnelles.

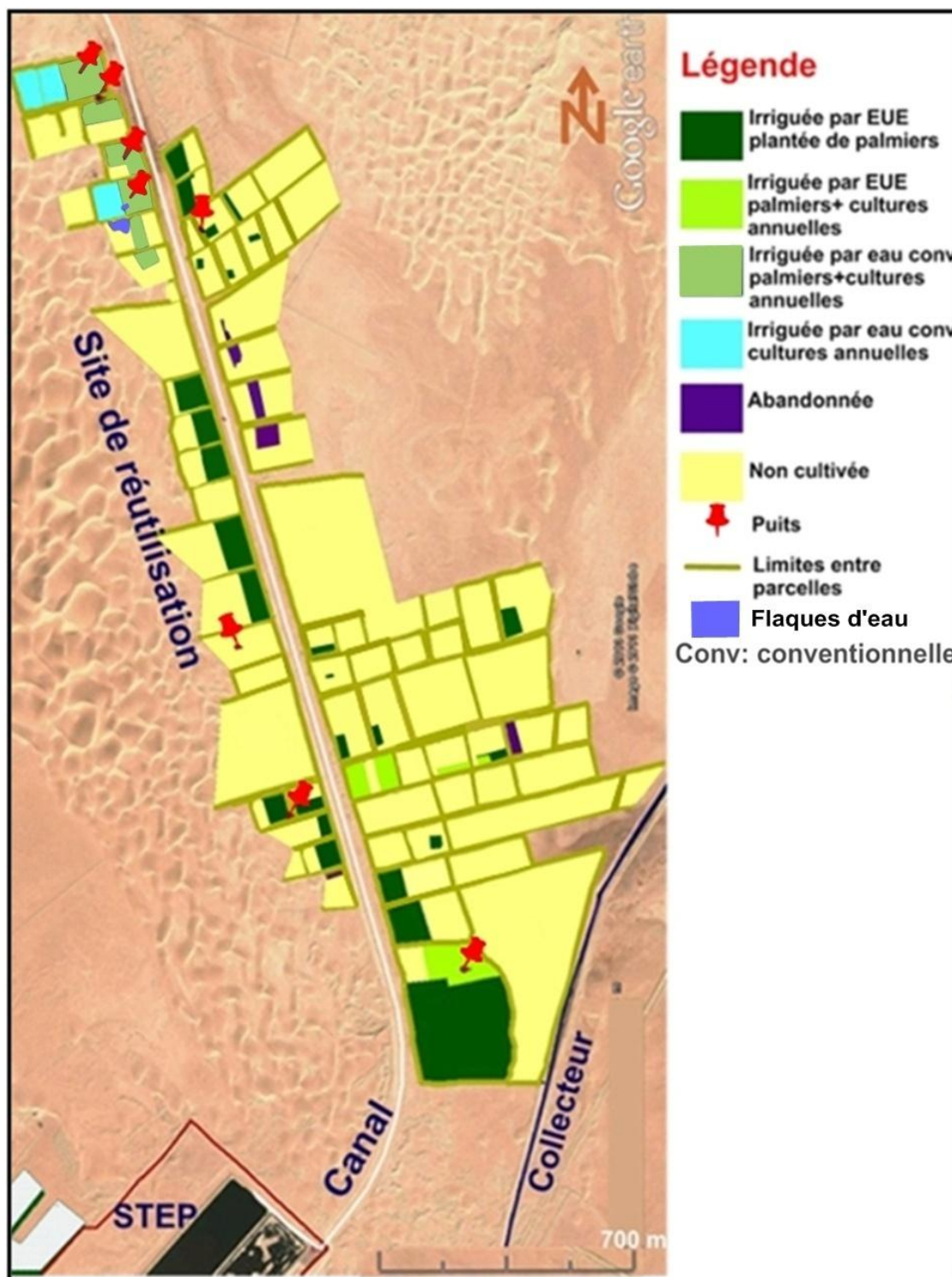
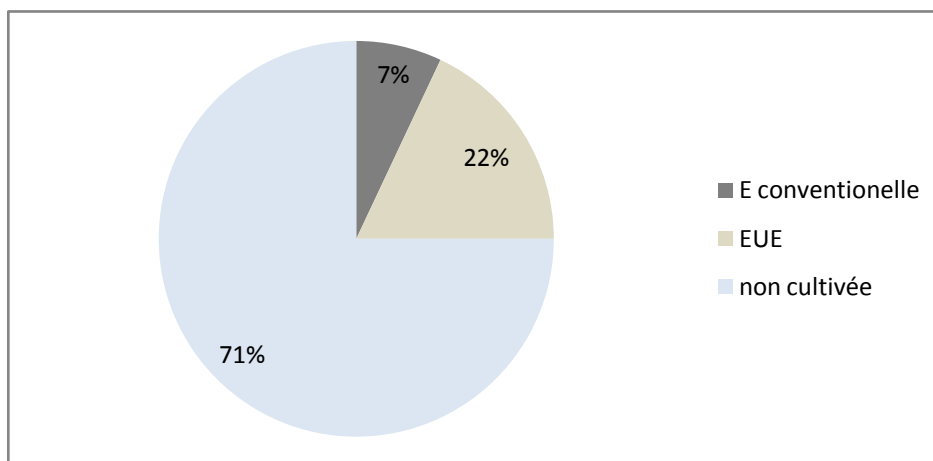


Figure 38. Plan parcellaire du site de réutilisation

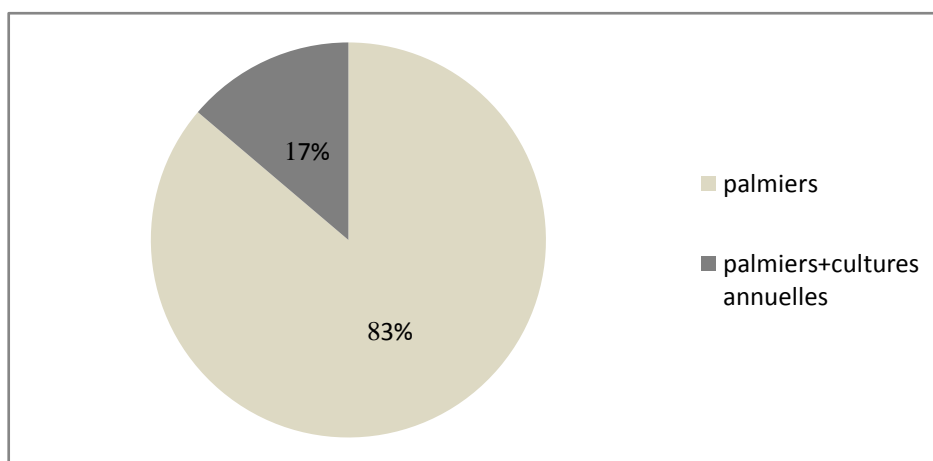
Des statistiques au niveau du site de réutilisation basées sur les critères suivants: mise en culture ou non des parcelles, type d'eau d'irrigation et systèmes de cultures au niveau des parcelles seront exposées ci-dessous.

La figure n° 39 montre que les espaces non cultivés représentent une superficie atteignant 71% de la superficie totale du site. Les parcelles mises en culture ont une superficie de 29% avec environ 22% pour les parcelles irriguées avec les EUE, et 7% pour celles irriguées avec les eaux conventionnelles.



**Figure 39.** Pourcentages des superficies non cultivées ou cultivées irriguées par type d'eau

La figure n°40 indique que le taux des parcelles irriguées avec les EUE et cultivées exclusivement en palmiers dattiers représente 83% du nombre total des parcelles irriguées avec les EUE. En revanche, le taux des parcelles irriguées avec les EUE et cultivées en palmiers dattiers avec des cultures sous étagées représente seulement 17%.



**Figure 40.** Pourcentages des parcelles irriguées par EUE par systèmes de cultures

### II.2.2.2. Effets de l'irrigation avec les EUE au niveau du site de réutilisation

Au sein du site de réutilisation, nous avons constaté des signes de remontée de la nappe phréatique, se manifestant essentiellement par l'apparition de plages imbibées d'eau à la surface de quelques parcelles. Ainsi, au cours de nos prélèvements de sol, nous avons enregistré des niveaux inférieurs à un mètre, engorgés d'eau au sein de quelques parcelles, surtout celles implantées au nord du site (P<sub>7</sub> et P<sub>8</sub>).

#### Conclusion

Au niveau du milieu récepteur, le rejet des eaux usées épurées et des eaux de drainage a engendré des changements écologiques importants. Ces changements ont contribué à atténuer la stérilité de ce site récepteur, et ce par la création d'une zone humide, garantissant des conditions favorables à l'installation d'une avifaune et d'une flore caractéristique.

Cependant, le rejet quotidien des volumes considérables des EUE et des eaux de drainage a généré des conditions d'hydromorphie affectant les sols dès la surface. Cette hydromorphie a réduit la capacité des sols contigus au plan d'eau à dégrader la matière organique apportée par les EUE, ce qui a abouti à son accumulation.

Au niveau du site de réutilisation, une utilisation informelle des EUE a pris naissance au sein d'une vingtaine de parcelles proches de la STEP de Ouargla. Ces parcelles sont plantées essentiellement en palmiers dattiers et irriguées, soit en localisé ou par submersion.

Aussi, suite à la pratique de l'irrigation au niveau de ces parcelles, des indices de remontée de la nappe phréatique ont commencé à se manifester en surface dans les basses topographies notamment au niveau des parcelles situées au nord du site (P<sub>7</sub> et P<sub>8</sub>).

L'investigation sur la perception des agriculteurs irrigants avec les EUE des risques de la REUE a décelé que la majorité des agriculteurs utilisant ces eaux usées épurées pensent que cette eau ne présente aucun risque. Cela est dû au manque de sensibilisation de la part des structures impliquées que nous l'imputons essentiellement au caractère informel de cette réutilisation.

Prenant en considération les risques potentiels de l'irrigation avec les eaux usées épurées, notamment ceux pouvant affecter la santé des utilisateurs de ces eaux (risques microbiologiques), une présence des acteurs de ce domaine, malgré le caractère informel de la réutilisation, est devenue une obligation, et ce pour prévenir l'atteinte de la santé publique.

## Chapitre VI. Evaluation des effets de l'épandage des EUE sur le milieu hydro édaphique

Dans ce chapitre, nous exposons les résultats obtenus, tout en essayant de formuler les interprétations jugées raisonnables. Nous rappelons que par le biais des résultats des analyses, nous avons tenté de déterminer les effets de l'épandage des EUE sur la qualité des sols de quelques sites récepteurs, et aussi sur la qualité de la nappe phréatique au niveau du milieu récepteur.

### A. Étude des effets de l'irrigation avec les EUE sur les sols du site de réutilisation

#### I. Caractérisation de la qualité des EUE réutilisées en irrigation

Le tableau n° 03 met en évidence la qualité des EUE réutilisées en irrigation au niveau du site de réutilisation.

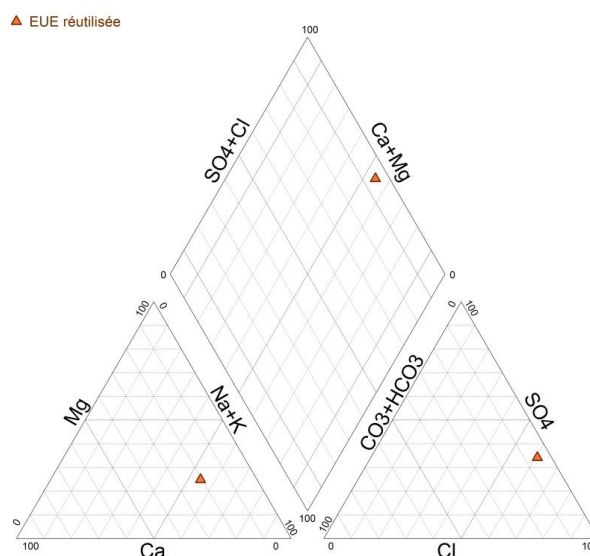
**Tableau 03.** Qualité des EUE réutilisées en irrigation (période de prélèvement Mars 2013)

<b>Paramètres</b>	
<b>Paramètres de salinité et d'alcalinité</b>	
pH	7,27
CE 25°C (ms/cm)	12,68
<b>Bilan ionique</b>	
<b>Cations solubles méq/l</b>	<b>158,36</b>
Ca <sup>++</sup> méq/l	32,50
Mg <sup>++</sup> méq/l	39,47
Na <sup>+</sup> méq/l	83,70
K <sup>+</sup> méq/l	2,69
<b>Anions solubles méq/l</b>	<b>160,17</b>
Cl <sup>-</sup> méq/l	97,18
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> méq/l	54,69
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> méq/l	0,00
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> méq/l	8,30
<b>SAR</b>	<b>13,95</b>
<b>Paramètres de la pollution organique</b>	
DCO mg/l	102
DBO <sub>5</sub> mg/l	28
<b>Éléments nutritifs</b>	
N Kjeldahl mg/l	38,50
P total mg/l	1,86
<b>Paramètres microbiologiques</b>	
Coliformes totaux germes/100ml	10 <sup>4</sup>
Coliformes fécaux germes/100ml	10 <sup>3</sup>
Œufs d'helminthes œufs/l	0

#### I.1. Classification chimique des EUE réutilisées en irrigation

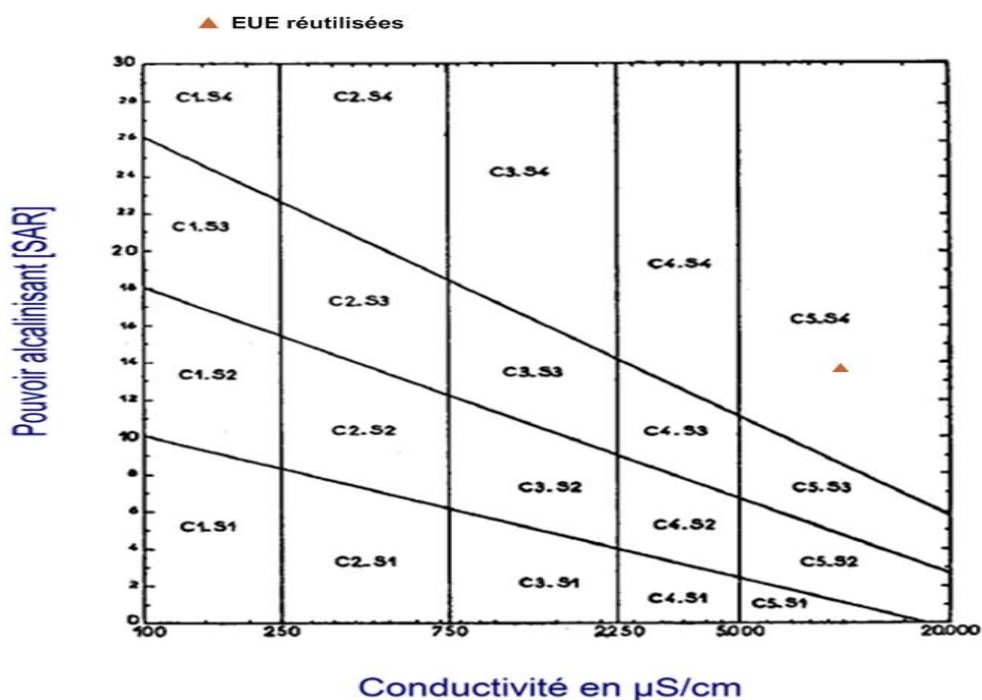
En vue de connaître le faciès chimique des eaux usées épurées réutilisées en irrigation, nous avons placé les pourcentages des concentrations en ions solubles majeurs (Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>,

$K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  et  $HCO_3^-$ ) sur le diagramme de Piper. La disposition des points sur le diagramme illustrée dans la figure n°41 indique que ces EUE possèdent un faciès chloruré sodique.



**Figure 41.** Présentation du faciès chimique des EUE réutilisées en irrigation selon le diagramme de Piper

Ainsi, en plaçant les valeurs de la conductivité électrique et du SAR de l'EUE sur le diagramme de la figure n° 42 (ce diagramme est celui proposé par le laboratoire de Riverside, modifié pour être utilisé d'une manière plus générale par l'addition de la classe C5), nous avons conclu que cette eau se dispose dans la classe C5-S4, présentant ainsi un risque de salinisation très élevé et un pouvoir alcalinisant fort.



**Figure 42.** Classification des EUE réutilisées en irrigation selon le diagramme de Riverside modifié, cité par Durand, 1973

## I.2. Synthèse sur la qualité des EUE réutilisées en irrigation

L'examen des résultats présentés dans les illustrations exposées ci-dessus nous a permis d'en sortir avec la synthèse suivante :

Du point de vue irrigation et selon la norme algérienne en vigueur, la qualité microbiologique des EUE, notamment le nombre de coliformes fécaux permet une utilisation de ces eaux pour une irrigation restrictive, et les cultures pouvant être irriguées sont les arbres fruitiers, les cultures céréalières, les cultures fourragères, les cultures industrielles et les arbres forestiers (voir annexe 06).

Pour les paramètres de salinité et d'alcalinité, le pH ne présente aucune contrainte, car situé dans l'intervalle prescrit par la norme algérienne, le pouvoir alcalinisant est fort, la conductivité électrique des eaux dépasse largement la valeur limite fixée par la réglementation algérienne à 3 ms/cm (voir annexe 09). Selon DURAND, 1961, ces eaux se disposent dans la classe C<sub>5</sub> -  $5 < CE < 20$  ms/cm, et se qualifient comme étant des eaux à salinité exagérée, utilisables exceptionnellement pour irriguer des cultures très tolérantes dans des sols perméables et bien drainés comme le palmier dattier qui, si planté dans des sols sableux et bien drainés, tolère une salinité d'eau d'irrigation atteignant les 15,5 ms/cm (voir annexe 14).

Pour les éléments nutritifs, l'EUE contient des quantités non négligeables en azote, donc une gestion raisonnée du couple fertilisation-irrigation est nécessaire pour éviter les dégâts sur les cultures, pouvant être causés suite à des apports non calculés en eau et en engrais.

## II. Caractéristiques des sols étudiés

Les sols étudiés au niveau du site de réutilisation ont des textures sableuses (selon le triangle de l'Aisne), avec des pourcentages de sable excédant les 89% dans la quasi-totalité des échantillons étudiés. Les pourcentages des limons ne dépassent guère les 5% et pour la fraction argileuse, elle est toujours faible, où elle demeure inférieure à 5,5%, exception faite pour la première couche du témoin P<sub>5</sub> qui a atteint un taux d'argile égal à 11,26%.

Les valeurs du pH des sols ne dépassent guère le seuil de 8,35 pour la première couche 0-40 cm, elles sont comprises généralement entre 8,00 et 8,35 ; pour la deuxième couche 40-80 cm, les valeurs du pH se situent entre 8,12 et 8,39, alors que pour la troisième couche, ces valeurs fluctuent entre 8,01 et 8,40.

Les taux de calcaire total sont en général inférieurs à 0,5%. On note la présence des échantillons ayant des teneurs légèrement élevées, mais la totalité des sols échantillonnés possèdent des taux de calcaire total inférieurs à 2%.

Des variabilités remarquables des teneurs en gypse ont été constatées au niveau de ces sols. Les teneurs varient entre 2,73 et 16,83% au niveau de la première couche, au niveau de la deuxième couche, elles oscillent entre 6,80 et 17,63%, et enfin, au niveau de la troisième couche, elles sont comprises entre 4,76 et 18,12%.

Suite à ce qui a été énoncé ci-dessus, nous pouvons conclure que les sols du site de REUE sont caractérisés par des textures sableuses, des taux très faibles en calcaire, des pH moyennement alcalins, et des teneurs faibles à moyennes en gypse.



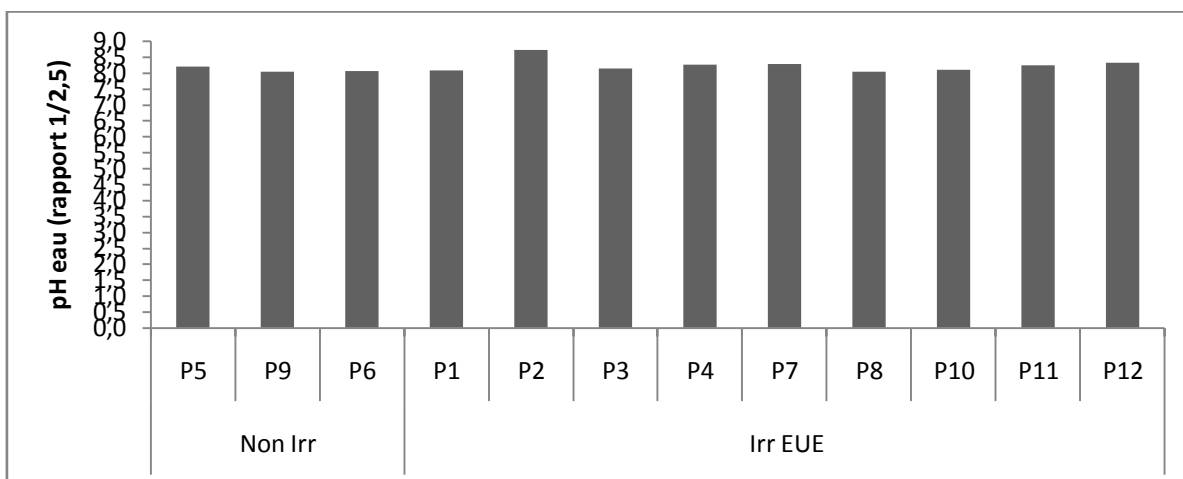
**Tableau 04.** Caractéristiques des sols étudiés au niveau du site de réutilisation (période de prélèvement Mars 2013)

Échantillons	Témoin non irrigué			Sols irrigués avec les EUE								
	P5 (T1)			P3			P8			P10		
Profondeur	0-40cm	40-80cm	80-120cm	0-40cm	40-80cm	80-120cm	0-40cm	40-80cm	80-120cm	0-40cm	40-80cm	80-120cm
pH eau (rapport 1/2,5)	8,19	8,27	8,01	8,13	8,23	8,17	8,03	8,39	8,40	8,10	8,12	8,24
CE (1/5, ms/cm à 25°C)	25,10	9,16	19,11	2,60	2,86	3,02	2,60	2,60	4,49	2,36	2,47	2,57
CaCO <sub>3</sub> total (%)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	1,87	0,42	0,21	0,21	0,21	0,10	0,21
Gypse (%)	10,35	6,80	11,32	4,07	7,65	10,92	16,83	17,63	18,12	2,73	12,10	4,76
Granulométrie												
A%	11,26	5,47	3,79	3,81	3,65	3,20	4,07	3,74	4,08	2,69	3,30	2,96
LF%	1,16	1,11	0,56	1,23	1,48	3,65	1,44	1,44	1,00	0,40	0,51	1,21
LG%	1,47	2,33	1,63	2,51	2,04	3,70	3,13	2,60	2,54	0,85	1,59	2,17
SF%	44,37	22,33	36,09	43,89	27,96	23,22	64,84	60,79	57,17	61,83	56,90	38,67
SG%	41,74	68,76	57,93	48,56	64,87	66,23	26,52	31,43	35,21	34,23	37,70	54,99

**III. Effets de l'irrigation avec les EUE sur la qualité des sols irrigués au niveau du site de REUE**

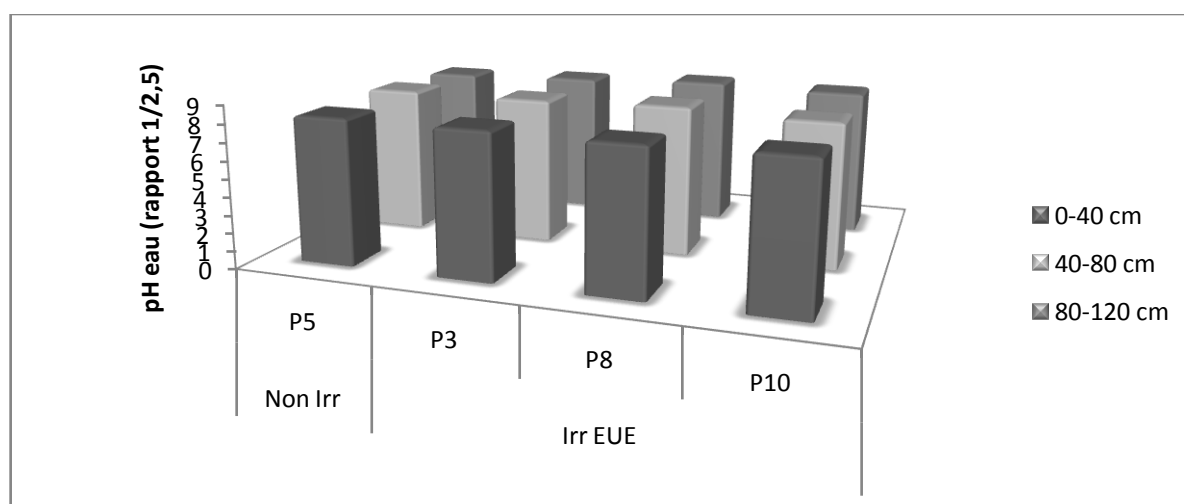
**III.1. Effet sur les pH des sols**

Les valeurs du pH de la première couche située entre 0 et 40 cm sont comprises en majeure partie entre 8,03 et 8,32. Une légère différence a été constatée entre les pH des sols irrigués par les EUE, ayant comme moyenne 8,24 et ceux non irrigués ayant une moyenne égale à 8,09.



**Figure 43.** Variations des valeurs du pH des sols au sein de la première couche 0-40cm au niveau du site de REUE

Concernant les variations des valeurs du pH en fonction de la profondeur, aussi une légère différence a été constatée entre les sols irrigués et les sols non irrigués. Nous notons que les moyennes des pH des sols irrigués avec les EUE enregistrées au niveau de la deuxième et la troisième couche sont respectivement de 8,25 et 8,27 ; en parallèle les valeurs du pH enregistrées pour les sols non irrigués sont respectivement de 8,27 et 8,01.



**Figure 44.** Variations des valeurs du pH des sols en fonction de la profondeur au niveau du site de REUE

Cependant et du point de vue statistique, les variations enregistrées entre les valeurs du pH des sols irrigués avec les EUE, et celles des sols non irrigués sont non significatives, et de ce

fait, on peut conclure que sur la base de nos données, l'irrigation avec les EUE n'avait pas un effet significatif sur les pH des sols irrigués ( $p < 5\%$ ).

**Tableau 05.** Comparaison des moyennes des pH des différentes couches des sols irrigués et non irrigués (test t de Student)

Paramètres	Profondeurs	Sols non irrigués			Sols irrigués avec les EUE			t-value	p%
		N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type		
pH eau (1/2,5)	0-40 cm	3	8,09	0,084	9	8,24	0,206	1,16	27,31 NS
	40-80 cm	1	8,27	0	3	8,25	0,136	-0,30	82,25 NS
	80-120 cm	1	8,01	0	3	8,27	0,118	3,82	6,22 NS

N: nombre des échantillons; t-value: valeur du test de Student ;

NS: non significatif ( $p > 5\%$ ).

L'absence d'un effet notable de l'irrigation avec les eaux usées épurées sur le pH des sols irrigués peut être expliquée par:

- ❖ le caractère légèrement basique des eaux d'irrigation. Selon l'OMS, 2012, l'épandage des eaux usées aux pH d'habitude légèrement alcalins sur des sols présentant une alcalinité appropriée ne perturbe pas l'équilibre acide-base du sol;
- ❖ l'alcalinité résiduelle négative des EUE et des solutions du sol, ceci est l'effet conjugué d'une faible teneur en carbonates solubles et en bicarbonates, et d'une teneur considérable en cations alcalino-terreux solubles : calcium et magnésium notamment. Selon BRADAÏ *et al*, 2008, la solution du sol évolue vers la voie neutre et non alcaline dans le cas d'une alcalinité résiduelle négative;
- ❖ le pouvoir tampon des sols salins qui s'oppose aux variations du pH, ceci est imputé à la richesse de ces sols en sels solubles qui empêchent toute alcalinisation possible de la solution du sol (DUCHAUFOR, 1983).

Ceci a été constaté au niveau des sols non irrigués extrêmement salés où leurs pH ont demeuré inférieurs à 8,30, malgré leurs taux d'adsorption de sodium élevés ( $SAR_{1/5}$  situés entre 10 et 25).

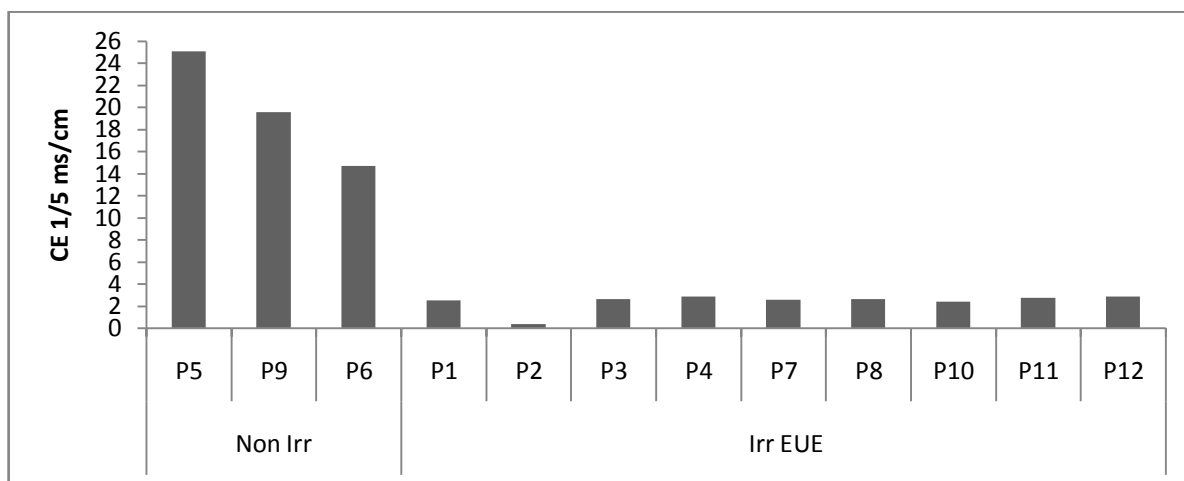
### III.2. Effet sur la salinité des sols

L'irrigation avec les EUE a engendré des baisses importantes de la salinité des couches de surface, situées entre 0 et 40 cm des sols irrigués et les résultats des mesures de la conductivité électrique exposés ci-dessous montrent une nette différence entre les sols non irrigués qui présentent selon Durand, 1973 (voir annexe 20) , des sols extrêmement salés et ceux irrigués par les EUE qui présentent des sols très salés.

D'une part, les valeurs de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5 des sols non irrigués sont très élevées. Elles sont réparties entre 14,66 ms/cm et 25,10 ms/cm, avec une moyenne de 19,78 ms/cm.

D'autre part, les valeurs de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5 enregistrées pour les parcelles irriguées avec les EUE sont groupées entre 2,36 et 2,84 ms/cm, exception faite

pour la parcelle P<sub>2</sub> où la valeur de la conductivité électrique est de 0,33 ms/cm, et la moyenne de la conductivité électrique correspondante est de 2,37 ms/cm.

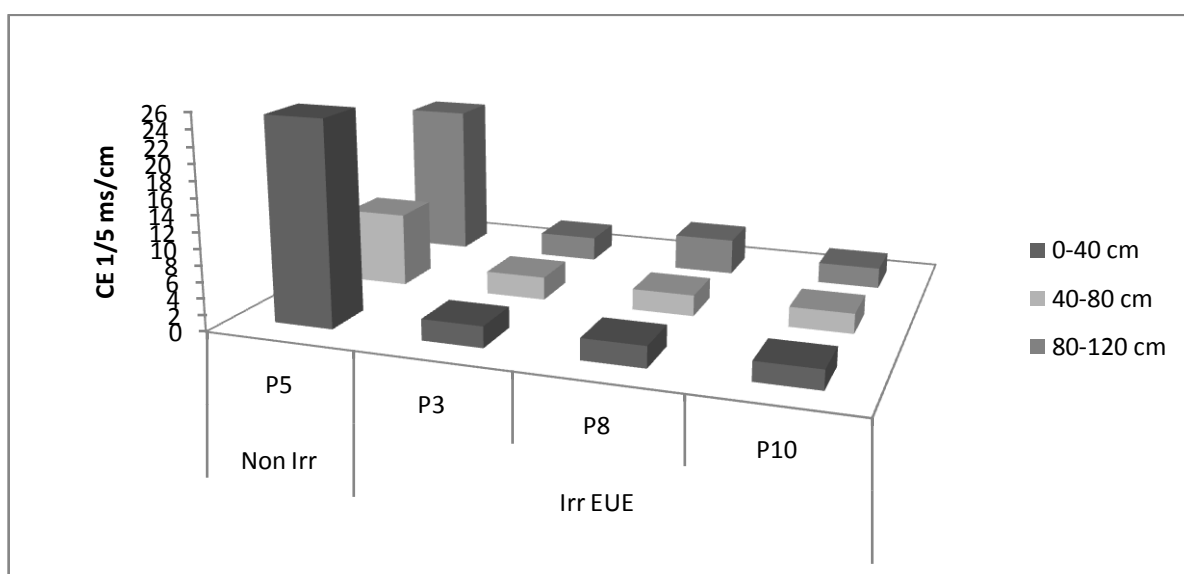


**Figure 45.** Variations des valeurs de la CE de l'extrait dilué 1/5 en ms/cm à 25°C des sols au sein de la première couche 0-40cm au niveau du site de REUE

En parallèle, il est utile de noter que la baisse de la salinité des sols irrigués a concerné toute la colonne de sol échantillonnée (0-120 cm), d'où une nette différence a été constatée entre les conductivités électriques des différentes couches de sols non irrigués, reconnues très importantes et celles de sols irrigués par les EUE qui sont beaucoup plus faibles.

Au sein de la deuxième couche 40-80cm, la conductivité du sol non irrigué est de 9,16 ms/cm. Cependant, celles des sols irrigués avec les EUE ont beaucoup diminué, dont leurs valeurs se situent entre 2,47 et 2,86 ms/cm, avec une moyenne qui atteint 2,64 ms/cm.

Pour la troisième couche 80-120cm et de manière similaire aux autres couches, la conductivité électrique du sol non irrigué, ayant comme valeur 19,11 ms/cm est beaucoup plus importante que celles des sols irrigués avec les EUE, ayant des valeurs comprises entre 2,57 et 4,49 ms/cm, avec une moyenne égale à 3,36 ms/cm.



**Figure 46.** Variations des valeurs de la CE de l'extrait dilué 1/5 en ms/cm à 25°C des sols en fonction de la profondeur au niveau du site de REUE

Du point de vue statistique, l'irrigation avec les EUE a un effet significatif sur la diminution de la salinité des sols irrigués et les valeurs des CE des sols irrigués sont significativement inférieures à celles des sols non irrigués.

**Tableau 06.** Comparaison des moyennes des CE  $_{1/5}$  des différentes couches des sols irrigués et non irrigués (test t de Student, test unilatéral)

Paramètres	Profondeurs	Sols non irrigués			Sols irrigués avec les EUE			t-value	t separ.var.est ddl= 2,03	p% One-sided
		N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type			
CE $_{1/5}$	0-40 cm	3	19,78	5,223	9	2,37	0,782			1,40*
	40-80 cm	1	9,16	0	3	2,64	0,199	-56,84		0,02***
	80-120 cm	1	19,11	0	3	3,36	1,004	-27,17		0,07**

N: nombre d'échantillons; t-value: valeur du test t de Student ;

t separ.var.est: valeur de t calculée après une estimation séparée des variances ; ddl : nombre de degrés de liberté calculé à l'aide de la formule de Satterthwaite ;

\* significatif pour  $p < 2,5\%$ ; \*\*significatif pour  $p < 0,5\%$ ; \*\*\*significatif pour  $p < 0,05\%$ .

La diminution de la conductivité électrique des sols irrigués est due au lessivage des sels par les eaux d'irrigation. En percolant en profondeur, les eaux de drainage ont entraîné avec elles des quantités importantes de sels solubles (AYERS et WESTCOT, 1985). Cet effet a été favorisé par la grande perméabilité des sols, le bon drainage du sous-sol, et certainement les volumes importants des eaux qui percolent à travers le sol.

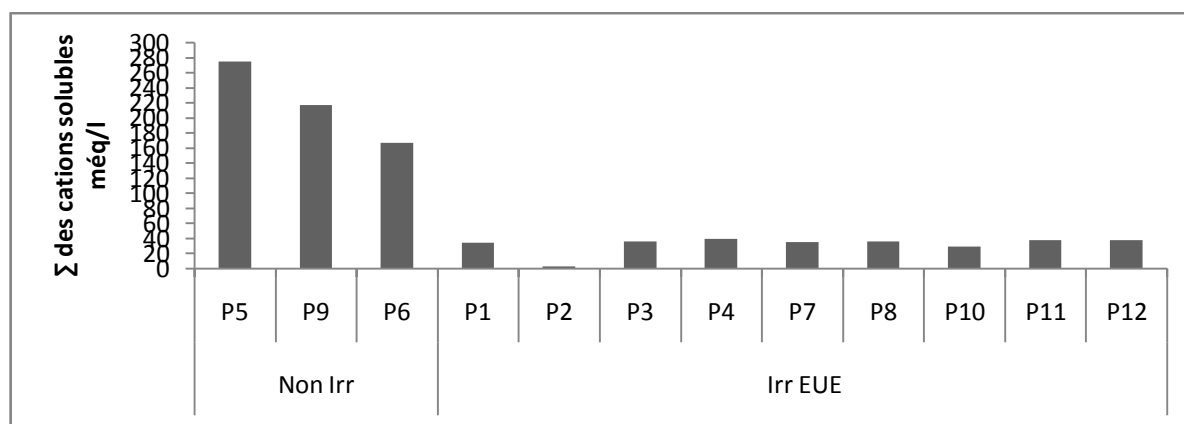
On note qu'un effet analogue a été constaté par SIMONNEAU et AUBERT, 1963, qui ont témoigné que le lessivage par l'eau d'irrigation a abaissé rapidement la salinité des sols, ayant des CE atteignant les 42 mmhos/cm à des valeurs situées entre 3.5 et 4 mmhos/cm.

### III.3. Effet sur l'évolution de la composition des sels solubles des sols irrigués

L'irrigation des sols avec les EUE a provoqué des chutes considérables des concentrations en ions solubles, ce qui s'est traduit par une baisse importante des sommes des ions solubles, et par conséquent une diminution notable de la salinité de ces sols. Nous signalons que les résultats du dosage des ions solubles au sein des différentes profondeurs de sols étudiés révèlent des variations très remarquables entre les sommes des ions solubles des sols non irrigués, reconnues très élevées et celles des sols irrigués par les EUE, reconnues beaucoup plus faibles.

#### III.3.1. Effet sur l'évolution de la composition cationique des solutions des sols

L'irrigation des sols avec les EUE a engendré un lessivage considérable des sels au niveau de la couche de surface. Nous avons enregistré que les sommes des cations solubles des extraits dilués des sols ont chuté considérablement. A titre comparatif, les dites sommes fluctuaient au niveau des parcelles témoins entre 166,74 méq/l et 274,57, avec une moyenne de 219,56 méq/l. En revanche, elles sont beaucoup moins importantes au niveau des sols irrigués avec les EUE, où elles balancent entre 29,55 et 39,91 méq/l (hormis le P<sub>2</sub>), avec une moyenne atteignant les 32,49 méq/l.



**Figure 47.** Variations des sommes des cations solubles en méq/l au sein de la première couche 0-40cm des sols du site de REUE

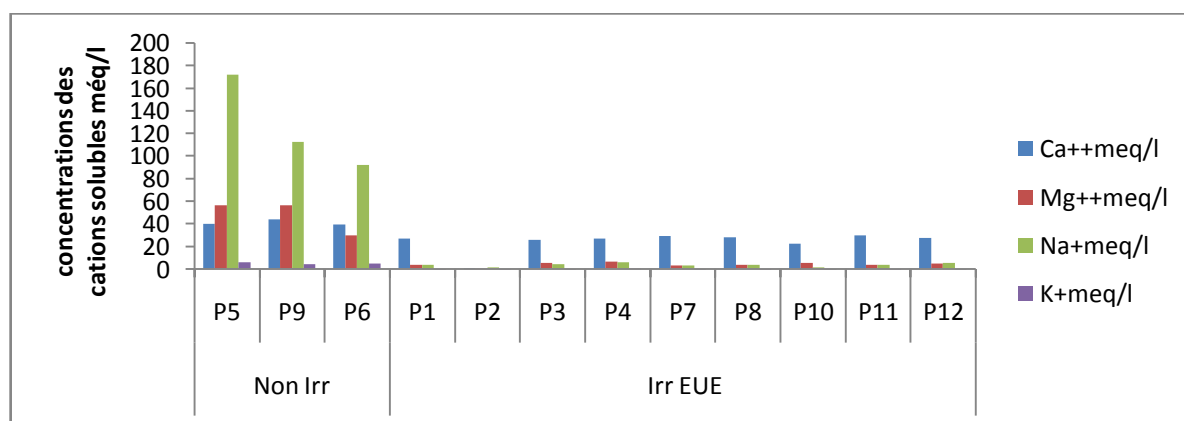
Nous signalons qu'on a enregistré une certaine selectivité lors de l'entraînement des cations par les eaux d'irrigation. Ainsi, l'élimination des cations sodium, potassium et magnésium a été très poussée et les quantités restantes en ces ions au niveau des sols irrigués sont très faibles, comparées à celles des témoins non irrigués. En revanche, l'élimination des cations calcium a été plus modeste.

Pour le sodium, les teneurs des témoins oscillent entre 92,17 et 171,91 méq/l avec une moyenne de 125,58 méq/l, alors que celles enregistrées au niveau des sols irrigués se situent au dessous de 6,26 méq/l, avec une moyenne de 3,94 méq/l.

Concernant le potassium, les teneurs oscillent entre 4,38 et 6,15 méq/l, avec une moyenne de 5,29 méq/l pour les témoins. Ces teneurs ont chuté au dessous de 0,53 méq/l au niveau des sols irrigués par les EUE, avec une moyenne de 0,18 méq/l.

Enfin, pour le magnésium, les teneurs balacent entre 29,75 et 56,25 méq/l, avec une moyenne de 47,35 méq/l pour les témoins. Ces teneurs ont chuté au dessous de 6,25 méq/l au niveau des sols irrigués par les EUE, avec une moyenne atteignant les 4,00 méq/l.

Cependant, l'élimination des cations calcium était beaucoup moins importante et les quantités restantes en ces ions au niveau des sols irrigués avec les EUE oscillent généralement entre 22,50 et 30,02 méq/l, avec une moyenne de 24,36 méq/l, qui ne sont pas très éloignées des teneurs des témoins comprises entre 39,50 et 44,25 méq/l, avec une moyenne de 41,33 méq/l.

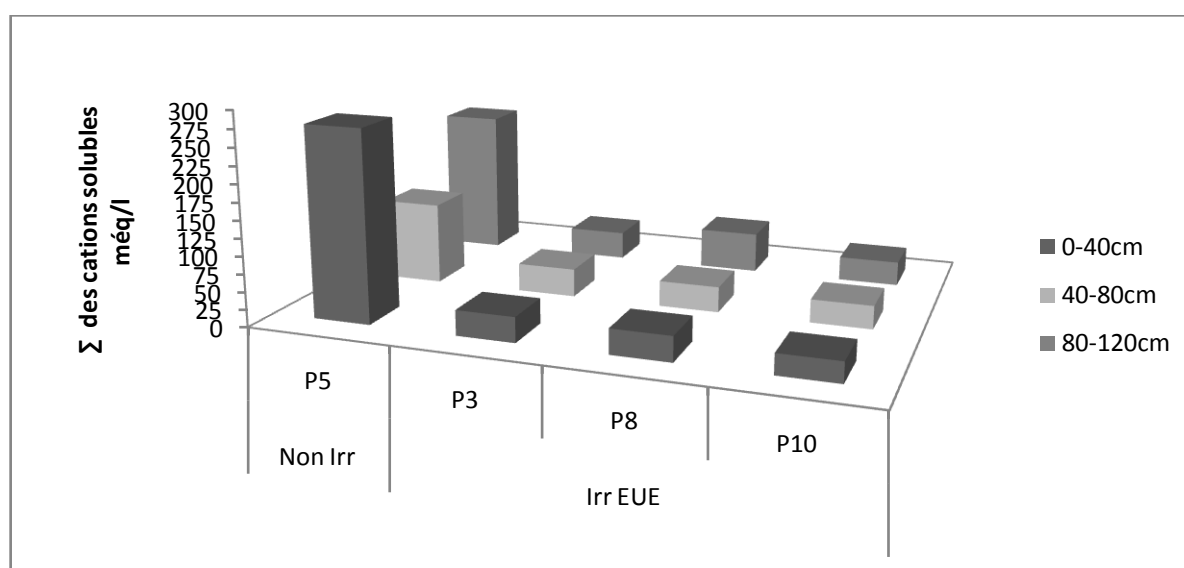


**Figure 48.** Variations des concentrations des cations solubles en méq/l au sein de la première couche 0-40cm des sols du site de REUE

Suivant l'axe vertical, nous avons enregistré que les eaux d'irrigation en percolant à travers les sols ont entraîné avec elles des quantités considérables d'ions solubles, provoquant ainsi un lessivage affectant toute la colonne du sol. Également, les résultats du dosage des cations solubles révèlent des écarts importants entre les concentrations des différentes couches du témoin non irrigué et de celles des couches des sols irrigués avec les EUE.

Pour la deuxième couche, la somme des cations solubles du sol non irrigué est de 118,00 méq/l. Cependant celles des sols irrigués ont beaucoup diminué, dont leurs valeurs se situent entre 33,48 et 40,58 méq/l, avec une moyenne de 36,96 méq/l.

Concernant la troisième couche et similairement aux autres couches, la somme des cations solubles du sol non irrigué ayant comme valeur 210,81 méq/l est beaucoup plus importante que celles des sols irrigués, ayant des valeurs comprises entre 34,91 et 58,05 méq/l, et une moyenne de 44,43 méq/l.



**Figure 49.** Variations des sommes des cations solubles en méq/l des sols du site de REUE en fonction de la profondeur

Nous notons que l'entraînement des cations solubles s'est déroulé avec une sélectivité analogue à celle enregistrée dans le cas de la couche de surface.

Pour le sodium, bien que les teneurs oscillent entre 56,65 et 171,91 méq/l au sein des différentes couches du témoin ; mais elles sont généralement moins de 6,39 méq/l au sein des différentes couches des sols irrigués.

Concernant le potassium, les teneurs oscillent généralement entre 4,63 et 6,15 méq/l pour le témoin, elles ont diminué dans la majorité des prélèvements au dessous de 0,20 méq/l au niveau des sols irrigués.

Dans le cas de l'ion magnésium, les teneurs varient entre 25,12 et 56,25 méq/l pour le témoin, et ont baissé au dessous de 8,00 méq/l au niveau des sols irrigués.

Cependant, dans le cas de l'ion calcium, l'élimination est beaucoup moins importante et les quantités restantes en cet ion au niveau des sols irrigués oscillent généralement entre 22,50 et



31,25 méq/l, qui ne sont pas éloignées des teneurs du témoin, comprises entre 35,25 et 40,50 méq/l.

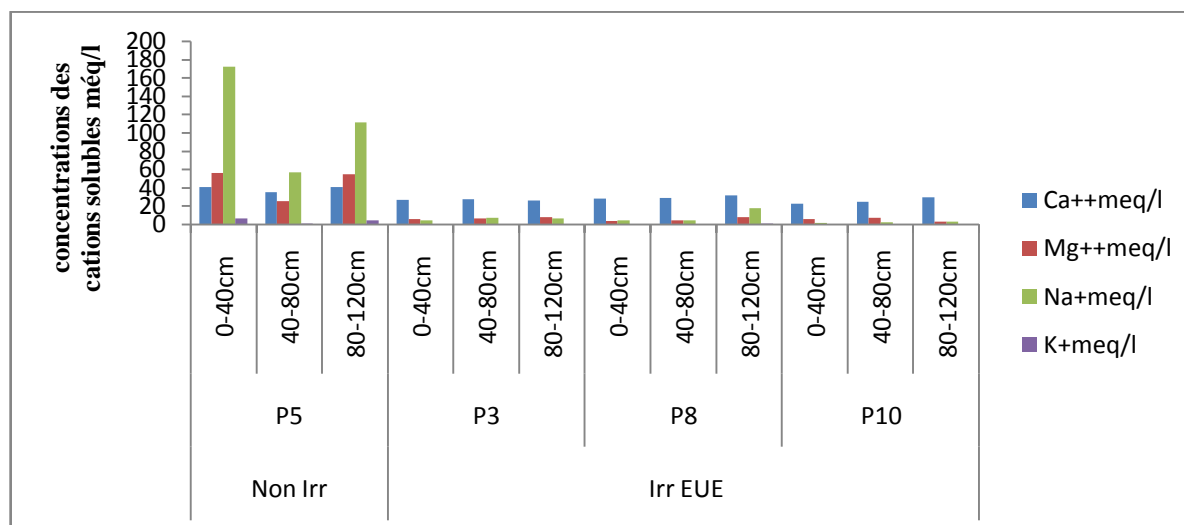


Figure 50. Variations des concentrations des cations solubles en méq/l des sols du site de REUE en fonction de la profondeur

Du point de vue statistique, l'irrigation avec les EUE a un effet significatif sur la diminution des concentrations des cations solubles, ainsi les concentrations des différents cations solubles au niveau des sols irrigués sont significativement inférieures à celles des sols non irrigués.

Tableau 07. Comparaison des moyennes des concentrations des cations solubles des différentes couches des sols irrigués et non irrigués (test t de Student, test unilatéral)

Paramètres	Profondeurs	Sols non irrigués			Sols irrigués avec les EUE			t-value	t separ. var. est ddl=	p% One-sided
		N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type			
Σ cations	0-40 cm	3	219,55	53,949	9	32,49	11,292		-5,96 ddl= 2,06	1,26*
	40-80 cm	1	118,00	0	3	36,96	3,552	-39,52		0,03***
	80-120 cm	1	210,81	0	3	44,43	12,101	-23,81		0,09**
Na+	0-40 cm	3	125,58	41,410	9	3,94	1,488		-5,09 ddl= 2,00	1,82*
	40-80 cm	1	56,65	0	3	4,46	2,437	-37,08		0,04***
	80-120 cm	1	110,93	0	3	8,90	7,944	-22,25		0,09**
K+	0-40 cm	3	5,28	0,886	9	0,18	0,133		-9,95 ddl= 2,03	0,47**
	40-80 cm	1	0,97	0	3	0,16	0,035	-39,78		0,03***
	80-120 cm	1	4,63	0	3	0,44	0,478	-15,20		0,22**
Mg++	0-40 cm	3	47,35	15,245	9	4,00	1,785		-4,91 ddl= 2,02	1,91*
	40-80 cm	1	25,12	0	3	5,75	1,323	-25,36		0,08**
	80-120 cm	1	54,75	0	3	6,25	3,031	-27,71		0,06**
Ca++	0-40 cm	3	41,33	2,554	9	24,36	8,924	-3,16		0,51*
	40-80 cm	1	35,25	0	3	26,58	2,155	-6,96		0,98*
	80-120 cm	1	40,50	0	3	28,83	2,810	-7,19		0,94*

N: nombre d'échantillons; t-value: valeur du test t de Student ;

t separ.var.est: valeur de t calculée après une estimation séparée des variances ; ddl : nombre de degrés de liberté calculé à l'aide de la formule de Satterthwaite ;

\* significatif pour  $p < 2,5\%$  ; \*\* significatif pour  $p < 0,5\%$  ; \*\*\* significatif pour  $p < 0,05\%$ .

Sans aucun doute, la diminution des concentrations des cations solubles est imputée au lessivage des sels contenant ces cations par les eaux d'irrigation.

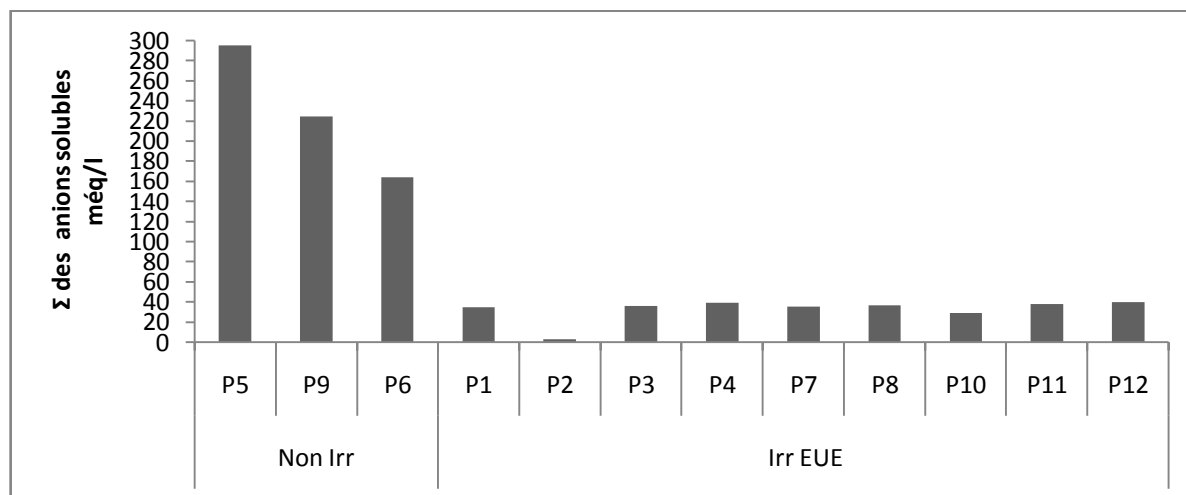
Concernant l'entraînement sélectif de certains cations solubles par les eaux de percolation, où nous signalons que cet effet a été constaté par plusieurs auteurs, où DUCHAUFOR, 1983, confirme que les cations monovalents sont les cations les plus entraînés par les eaux de percolation.

Aussi, SALIM et TESSIER, 1998, ont constaté que les teneurs en sodium sont toujours plus élevées que celles du calcium et du magnésium dans les eaux de percolation.

Cet entraînement sélectif est dû essentiellement à la différence de solubilité entre les cations monovalents et les cations bivalents. Etant plus solubles, les cations monovalents sont toujours les plus lessivés par les eaux de drainage (DUCHAUFOR, 1983).

### III.3.2. Effet sur l'évolution de la composition anionique des solutions du sol

Similairement au cas des cations solubles, l'irrigation des sols avec les EUE a provoqué une élimination considérable des anions solubles au niveau de la couche de surface, comprise entre 0 et 40 cm. Nous soulignons aussi que les sommes des anions solubles des extraits dilués des sols ont beaucoup diminué. Ces sommes sont comprises entre 163,69 et 294,86 méq/l au niveau des parcelles témoins, avec une moyenne atteignant 227,56 méq/l. En revanche, elles sont beaucoup moins importantes au niveau des sols irrigués avec les EUE, où elles se situent entre 29,31 et 39,88 méq/l (hormis le P<sub>2</sub>), avec une moyenne de 32,56 méq/l.



**Figure 51.** Variations des sommes des anions solubles en méq/l au sein de la première couche 0-40cm des sols du site de REUE

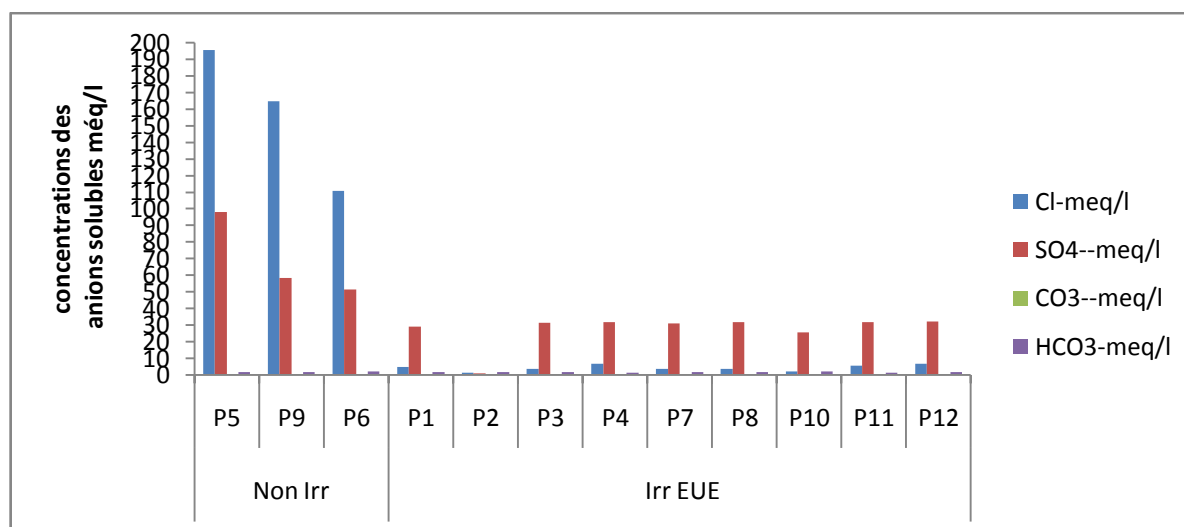
Similairement au cas des cations solubles, nous avons constaté une selectivité lors de l'entraînement des anions solubles où l'élimination des ions chlorures a été très poussée, et les quantités restantes en ces ions au niveau des sols irrigués, se situent en dessous de 6,50 méq/l,

où elles sont beaucoup plus faibles comparées à celles des témoins, situées entre 110,50 et 195,50 méq/l.

D'une part, les écarts très importants entre la moyenne des chlorures des témoins, située à 156,83 méq/l, et celle des sols irrigués avec les EUE située à 4,06 méq/l révèlent l'entraînement très remarquable de ces ions.

Toutefois, l'élimination des ions sulfates n'est pas trop poussée et les quantités restantes en cet ion au niveau des sols irrigués oscillent généralement entre 25,31 et 32,19 méq/l. D'autre part, les écarts entre la moyenne des sulfates des témoins située à 69,06 méq/l et celle des sols irrigués située à 27,06 méq/l, confirment que l'entraînement de ces ions n'est pas trop poussé, comparé à celui des chlorures.

Enfin, pour les ions bicarbonates présents en très faibles concentrations (de 1 à 2 méq/l), aucune variation due aux eaux d'irrigation n'a été constatée.

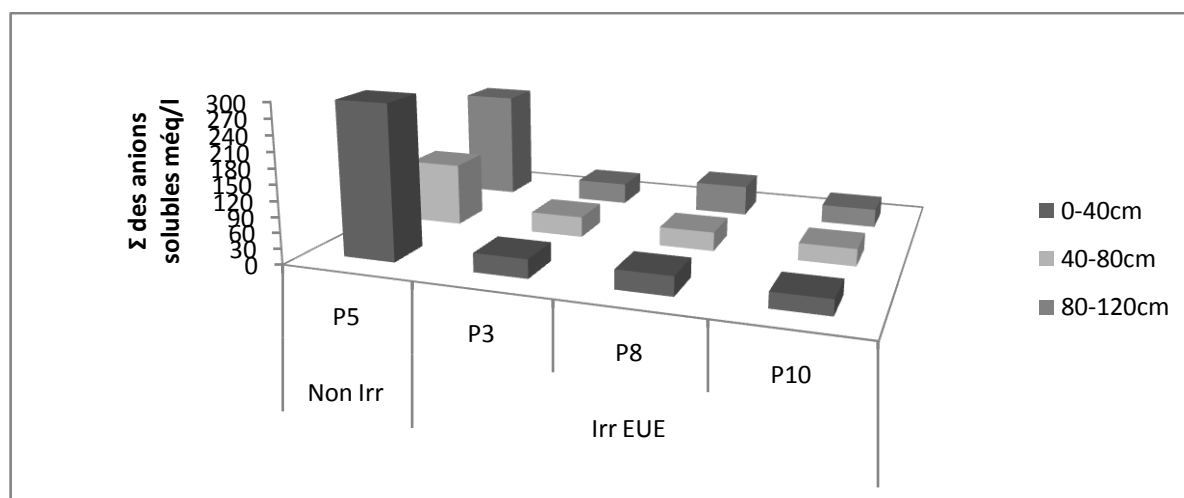


**Figure 52.** Variations des concentrations des anions solubles en méq/l au sein de la première couche 0-40cm des sols du site de REUE

En parallèle, les résultats du dosage des anions solubles révèlent des écarts importants entre les concentrations des différentes couches du témoin d'une part, et celles des couches des sols irrigués avec les EUE, d'autre part.

Au sein de la deuxième couche, la somme des anions solubles du sol non irrigué est de 121,04 méq/l. Cependant, celles des sols irrigués avec les EUE ont beaucoup diminué, dont leurs valeurs sont comprises entre 33,05 et 39,61 méq/l, avec une moyenne de 36,33 méq/l.

Concernant la troisième couche et comme les autres couches, la somme des anions solubles du sol non irrigué ayant comme valeur 213,04 méq/l, et est beaucoup plus importante que celle des sols irrigués avec les EUE, ayant des valeurs comprises entre 35,75 et 59,06 méq/l, et une moyenne atteignant 45,35 méq/l.



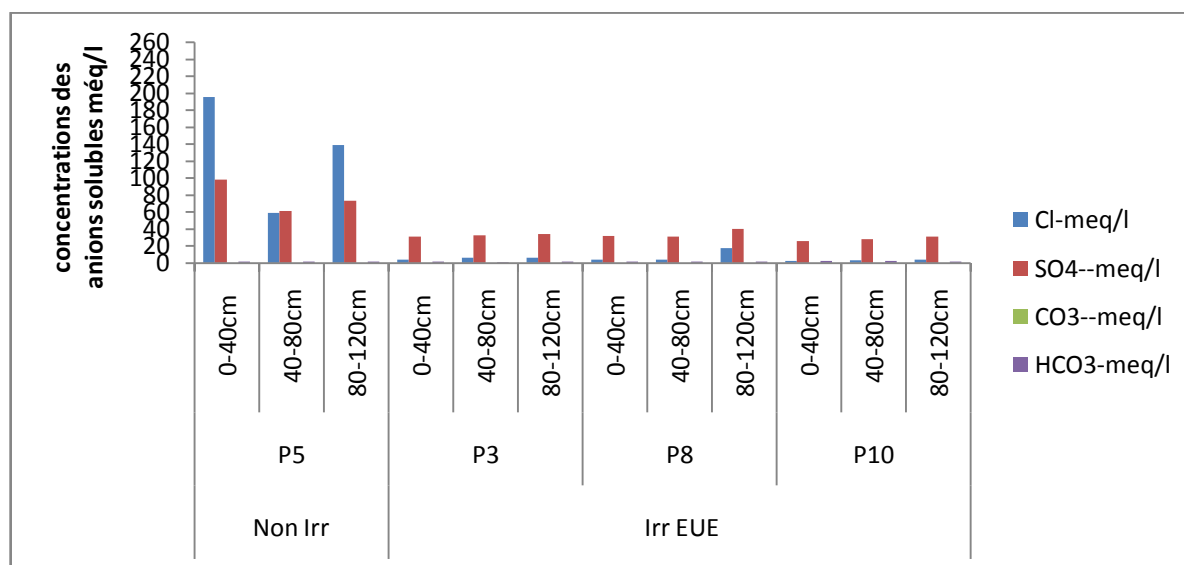
**Figure 53.** Variations des sommes des anions solubles en méq/l des sols du site de REUE en fonction de la profondeur

Nous avons constaté aussi que la sélectivité enregistrée lors de l'entraînement des anions solubles au sein de la première couche s'est maintenue également au sein des autres couches. Ainsi, l'élimination des chlorures a été très poussée et les quantités restantes en ces anions au niveau des sols irrigués sont très faibles comparées à celles des témoins. Cependant, l'élimination des sulfates reste modérée.

Dans le cas des ions chlorures, les teneurs du témoin sont comprises entre 58,50 et 195,50 méq/l, celles-ci ont diminué pour la quasi-totalité des cas en dessous de 6,00 méq/l au niveau des sols irrigués.

Cependant, dans le cas des ions sulfates, les teneurs du témoin fluctuent entre 61,04 et 97,86 méq/l, ces teneurs ont diminué entre 25,31 et 40,06 méq/l au niveau des sols irrigués. Ces valeurs sont plus importantes que celles enregistrées pour les ions chlorures.

Enfin, pour les ions bicarbonates présents en très faibles concentrations, aucune variation due aux eaux d'irrigation n'a été remarquée.



**Figure 54.** Variations des concentrations des anions solubles en méq/l des sols du site de REUE en fonction de la profondeur

D'un point de vue statistique, l'irrigation avec les EUE a un effet significatif sur la diminution des concentrations des anions chlorures et sulfates. Ainsi, les concentrations de ces ions solubles au niveau des sols irrigués sont significativement inférieures à celles enregistrées au niveau des sols non irrigués.

En revanche, aucune différence significative n'a été constatée entre les concentrations des ions hydrogénocarbonates des sols irrigués et non irrigués.

**Tableau 08.** Comparaison des moyennes des concentrations des anions solubles des différentes couches des sols irrigués et non irrigués (test t de Student, test unilatéral)

Paramètres	Profondeurs	Sols non irrigués			Sols irrigués avec les EUE			t-value	T separ.var.est ddl=	p% One-sided
		N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type			
Σ anions	0-40 cm	3	227,56	65,652	9	32,56	11,349		-5,12 ddl= 2,04	1,73*
	40-80 cm	1	121,04	0	3	36,33	3,280	-44,73		0,02***
	80-120 cm	1	213,04	0	3	45,35	12,186	-23,83		0,09**
Cl-	0-40 cm	3	156,83	43,015	9	4,06	1,895		-6,15 ddl= 2,00	1,27*
	40-80 cm	1	58,50	0	3	4,17	1,607	-58,55		0,01***
	80-120 cm	1	138,50	0	3	9,00	7,467	-30,04		0,06**
SO <sub>4</sub> --	0-40 cm	3	69,06	25,184	9	27,06	10,021	-4,37		0,69*
	40-80 cm	1	61,04	0	3	30,60	2,326	-22,66		0,09**
	80-120 cm	1	73,04	0	3	34,85	4,753	-13,91		0,26**
HCO <sub>3</sub> -	0-40 cm	3	1,67	0,289	9	1,44	0,300	-1,12		28,96 NS
	40-80 cm	1	1,50	0	3	1,57	0,513	0,22		84,28 NS
	80-120 cm	1	1,50	0	3	1,52	0,029	1,00		35,47 NS

N: nombre d'échantillons; t-value: valeur du test t de Student ;  
 t separ.var.est: valeur de t calculée après une estimation séparée des variances ; ddl : nombre de degrés de liberté calculé à l'aide de la formule de Satterthwaite ;  
 NS: non significatif (p>5%); \* significatif pour p< 2,5%; \*\*significatif pour p<0,5%;  
 \*\*\*significatif pour p< 0,05%.

Comme il a été illustré dans le cas des cations solubles, la diminution des concentrations des solutions des sols en anions solubles est imputée au lessivage des sels contenant ces anions.

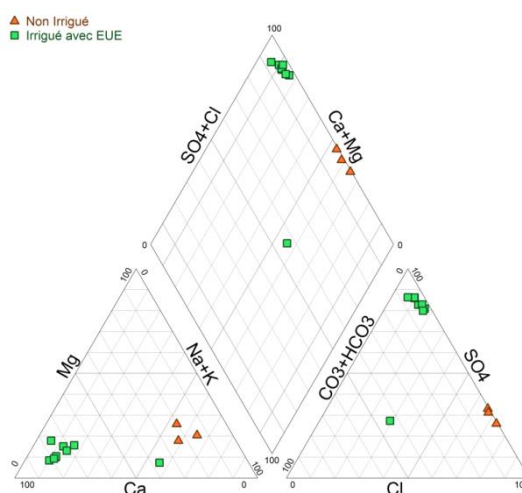
En ce qui concerne la sélectivité d'entraînement des chlorures, cette constatation a été aussi observée par SALIM et TESSIER, 1998. Ces auteurs ont signalé que les ions chlorures sont les anions les plus présents dans les eaux de percolation. Cette sélectivité est expliquée par la grande mobilité de ces anions, imputée essentiellement à leur solubilité très élevée (DURAND, 1953).

D'autre part, SIMONNEAU et AUBERT, 1963, en exposant l'amplitude de cet entraînement ont indiqué qu'en une saison d'irrigation sur une parcelle expérimentale, avec une eau titrant 4,5 g/l de résidu sec, irrigant un sol sableux, la teneur en chlorures (exprimée en NaCl) est passée de 24‰ à 1‰ pour les horizons supérieurs, et de 8‰ à 1,5‰ pour les couches profondes.

En plus de l'exposition de l'amplitude d'entraînement des chlorures, l'expérience de SIMONNEAU et AUBERT nous renseigne que dans les conditions favorables (sols perméables et sous-sols bien drainés), même l'utilisation d'une eau de salinité élevée peut lessiver des quantités importantes de sels solubles.

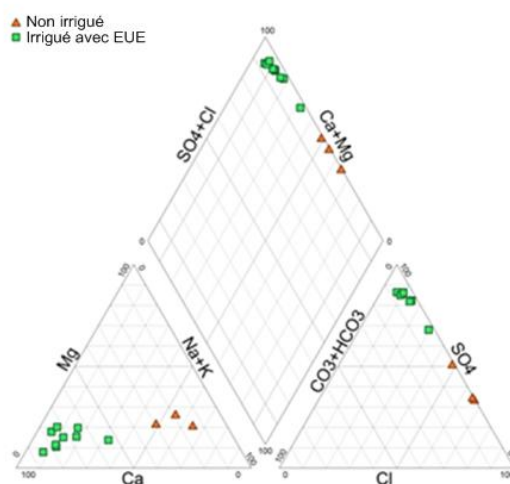
### III.4. Effet sur l'évolution des faciès salins des sols irrigués

Au sein de la première couche et comparés à ceux des témoins chlorurés sodiques, les faciès chimiques de la totalité, exception faite pour le P<sub>2</sub>, des sols irrigués avec les EUE ont évolué vers le pôle sulfaté calcique. Ainsi, la figure n°55 illustre la supériorité des pourcentages des ions calcium et sulfates sur les autres ions dans la composition chimique des solutions de la quasi totalité des sols irrigués avec les EUE.



**Figure 55.** Évolution des faciès salins des sols irrigués au sein de la première couche 0-40cm au niveau du site de REUE

Le même effet a été remarqué pour les couches sous-jacentes où les faciès chimiques de la quasi totalité des sols irrigués avec les EUE ont évolué vers le pôle sulfaté calcique. Ainsi, la figure n°56 illustre ce que nous venons d'annoncer.



**Figure 56.** Évolution des faciès salins des sols irrigués du site de REUE en fonction de la profondeur

L'évolution des faciès salins des sols irrigués vers le pôle sulfaté calcique est évidemment la conséquence de l'entraînement considérable du sodium et des chlorures, ajouté à un entraînement faible à modéré du calcium et des sulfates.

### III.5. Effet sur le pouvoir alcalinisant des sols

Des diminutions considérables des taux du SAR<sub>1/5</sub> ont été observées au sein des couches de sols irrigués. Pour la première couche, les taux sont compris entre 15 et 25 au niveau des témoins, avec une moyenne de 18,77. Ces taux ont baissé pour atteindre des valeurs se situant entre 0,60 et 2,10, avec une moyenne de 1,17 au niveau des sols irrigués avec les EUE.

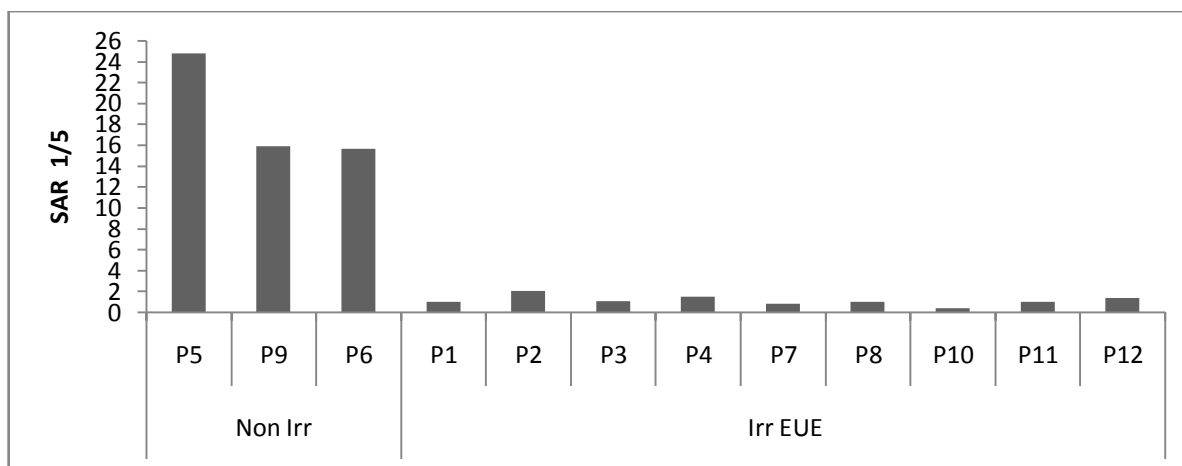


Figure 57. Variations des taux du SAR<sub>1/5</sub> au sein de la première couche 0-40cm des sols du site de REUE

Pour les couches sous-jacentes, les taux du SAR<sub>1/5</sub> du témoin se situent entre 10,31 et 16,07, ils ont aussi diminué au niveau des sols irrigués pour atteindre des valeurs, comprises majoritairement entre 0,46 et 1,75.

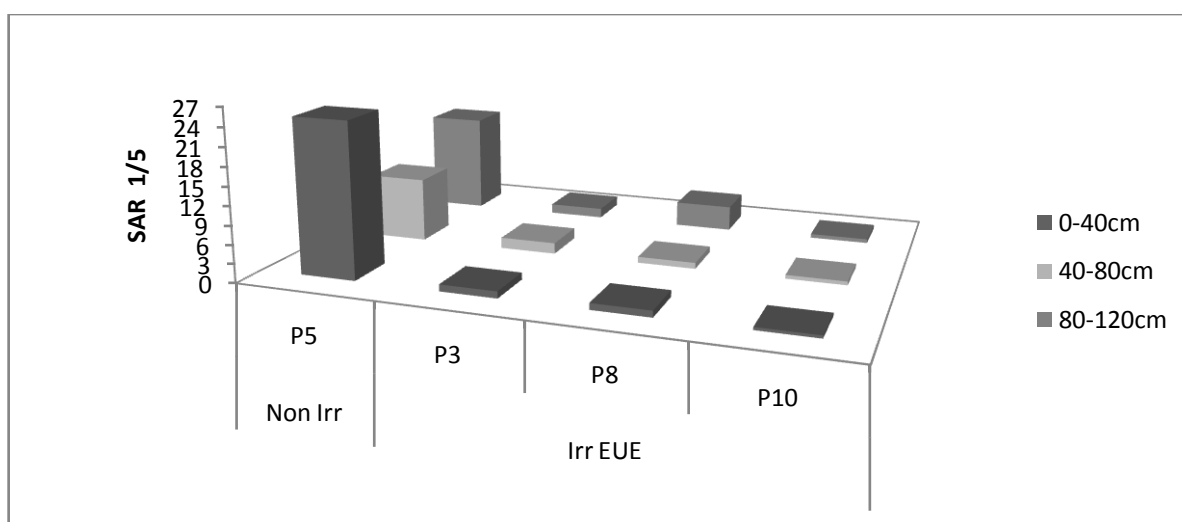


Figure 58. Variations des taux du SAR<sub>1/5</sub> des sols du site de REUE en fonction de la profondeur

Du point de vue statistique, l'irrigation avec les EUE a un effet significatif sur la diminution de la sodicité et des taux de SAR des sols irrigués, qui sont significativement inférieurs à ceux des sols non irrigués.



**Tableau 09.** Comparaison des moyennes des SAR<sub>1/5</sub> des différentes couches des sols irrigués et non irrigués (test t de Student, test unilatéral)

Paramètres	Profondeurs	Sols non irrigués			Sols irrigués avec les EUE			t-value	t separ.var.est ddl= 2,01	p% One-sided
		N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type			
SAR 1/5	0-40 cm	3	18,77	5,177	9	1,17	0,458			1,37*
	40-80 cm	1	10,31	0	3	1,11	0,587	-27,15		0,07**
	80-120 cm	1	16,07	0	3	2,07	1,751	-13,84		0,26**

N: nombre d'échantillons; t-value: valeur du test t de Student ;

t separ.var.est: valeur de t calculée après une estimation séparée des variances ; ddl : nombre de degrés de liberté calculé à l'aide de la formule de Satterthwaite ;

\* significatif pour p< 2,5%; \*\*significatif pour p<0,5%.

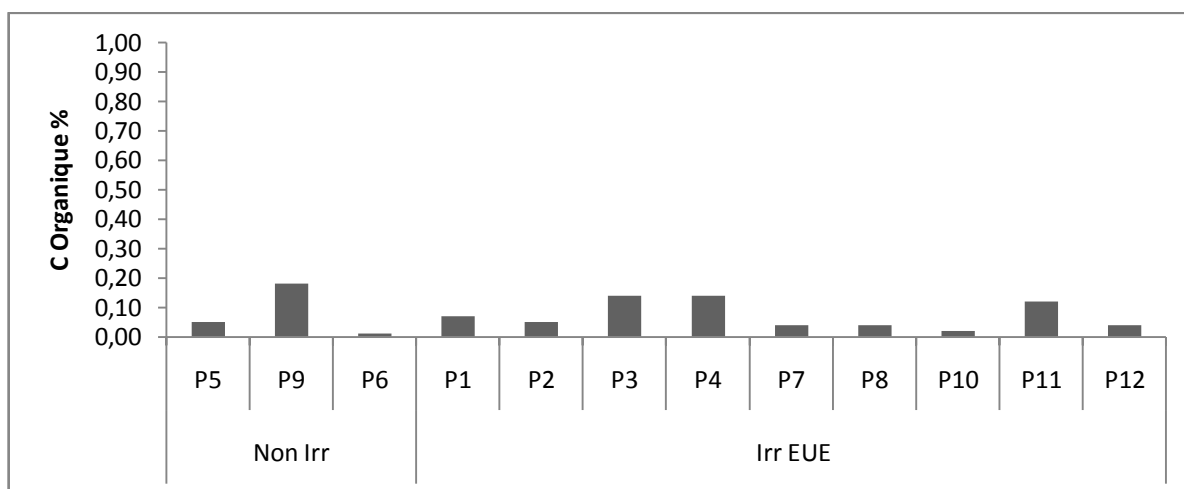
Les baisses considérables des taux du SAR<sub>1/5</sub> des sols irrigués sont dues à l'entraînement important des ions sodium conjugué au faible entraînement des ions calcium.

Il est important de signaler que les changements constatés dans la composition cationique des solutions des sols ont engendré des baisses des taux du SAR<sub>1/5</sub> des sols irrigués à des valeurs inférieures à 3. Par conséquent, ils ont conduit à l'élimination du caractère sodique de ces sols, et ce même, en se référant à une classification sévère, telle que la classification de RENGASAMY et OLSSON, 1991, qui considèrent comme sol sodique, tout sol ayant une valeur du SAR<sub>1/5</sub> supérieure à 3 (voir annexe 21 et 22).

### III.6. Effet sur la fertilité des sols

#### III.6.1. Effet sur l'enrichissement en matière organique

Les taux de carbone organique des sols sont très faibles au sein de la couche superficielle se situant entre 0-10cm, aussi aucune différence distinctive entre les témoins non irrigués et les sols irrigués avec les EUE n'a été envisagée. Les pourcentages sont compris entre 0,01 et 0,18% pour les témoins avec une moyenne de 0,08%, et entre 0,02 et 0,14% pour les parcelles irriguées par les EUE, avec une moyenne de 0,07%.



**Figure 59.** Variations des taux de carbone organique en % des sols (couche 0-10cm) du site de REUE

Statistiquement, aucune différence significative n'a été constatée entre les taux de carbone organique des sols irrigués et des sols non irrigués ( $p < 5\%$ ).

**Tableau 10.** Comparaison des moyennes des taux de carbone organique des couches de surface des sols irrigués et non irrigués (test t de Student)

Paramètres	Profondeurs	Sols non irrigués			Sols irrigués avec les EUE			t-value	p%
		N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type		
Carbone organique	0-10 cm	3	0,08	0,089	9	0,07	0,047	- 0,17	86,64 NS

N: nombre d'échantillons; t-value: valeur du test t de Student ; NS: non significatif ( $p > 5\%$ ).

Le très faible taux de matière organique des sols irrigués malgré les apports continus par les eaux d'irrigation, pourvues en cette matière peut être expliqué par l'importance de la minéralisation qui a comme conséquence principale la diminution de la teneur en matière organique apportée aux sols (GROSBELLETT, 2008).

Selon le même auteur, la minéralisation est accélérée par certaines conditions du milieu, dont la température, l'humidité, l'aération et l'alternance des phases humectation-dessiccation, sont les facteurs abiotiques les plus importants. On note que toutes ces conditions sont présentes au niveau du site de REUE, ce qui explique la minéralisation intense de la matière organique apportée par les eaux d'irrigation, et subséquentment les faibles taux de matière organique enregistrés.

D'autre part, la nature de la matière organique épandue influe elle aussi sur la vitesse de minéralisation. Selon l'OMS, 2012, la plupart des composés organiques contenus dans les eaux usées se décomposent rapidement dans les sols.

## B. Étude des effets de rejet des excédents hydriques sur les sols au niveau du milieu récepteur

### I. Caractérisation de la qualité des eaux rejetées

Les résultats de la caractérisation physico-chimiques des eaux rejetées sont exposés dans le tableau n°11.

**Tableau 11.** Qualité physico-chimique des eaux rejetées au niveau du milieu récepteur (Période de prélèvement Mars 2013)

Echantillon	Eff1	Eff2	Eff3	Eff4
<b>Paramètres de salinité et d'alcalinité</b>				
pH	7,46	8,02	8,22	8,24
CE 25°C (ms/cm)	14,43	14,47	15,55	19,26
<b>Bilan ionique</b>				
<b>Cations solubles méq/l</b>	<b>195,20</b>	<b>198,80</b>	<b>251,06</b>	<b>306,39</b>
Ca <sup>++</sup> méq/l	52,75	53,00	62,50	76,25
Mg <sup>++</sup> méq/l	63,33	65,07	60,80	84,25
Na <sup>+</sup> méq/l	76,30	77,91	125,09	137,30
K <sup>+</sup> méq/l	2,82	2,82	2,67	8,59
<b>Anions solubles méq/l</b>	<b>198,60</b>	<b>200,90</b>	<b>239,89</b>	<b>302,70</b>
Cl <sup>-</sup> méq/l	108,97	109,86	122,54	170,68
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> méq/l	80,88	81,04	106,70	119,67
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> méq/l	0,00	0,00	0,00	1,80
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> méq/l	8,75	10,00	10,65	10,55
<b>SAR</b>	<b>10,02</b>	<b>10,14</b>	<b>15,93</b>	<b>15,33</b>
<b>Paramètres de la pollution organique</b>				
DCO mg/l	102,40	134,00	/	/
DBO <sub>5</sub> mg/l	28,00	35,00	/	/
<b>Éléments nutritifs</b>				
N Kjeldahl mg/l	35,70	35,70	/	/
P total mg/l	1,96	1,79	/	/

I.1. Classification chimique des eaux rejetées

La disposition des pourcentages des ions solubles majeurs sur le diagramme de Piper indique que les eaux rejetées possèdent des faciès anioniques chlorurés, avec une disposition très proche du faciès sulfaté, et généralement, des faciès cationiques équilibrés où aucun cation n'est dominant.

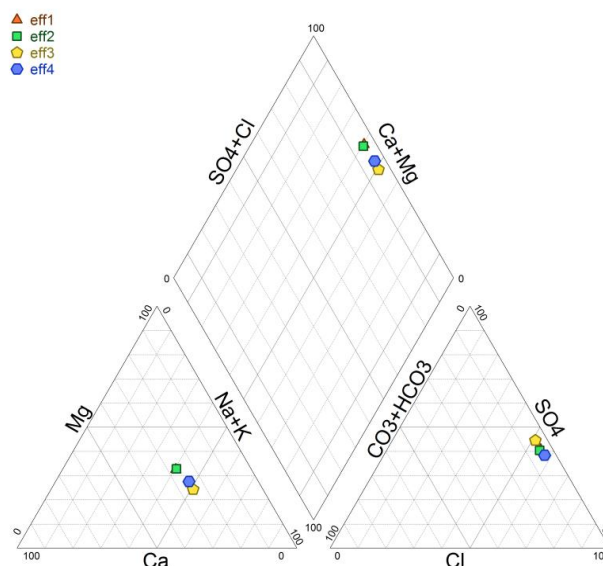


Figure 60. Présentation des faciès chimiques des eaux rejetées selon le diagramme de Piper

Aussi, la disposition des valeurs de la conductivité électrique et du SAR des eaux rejetées sur le diagramme de la figure n° 61 (ce diagramme est celui proposé par le laboratoire de Riverside, modifié pour être utilisé d'une manière plus générale par l'addition de la classe C5) révèle que ces eaux rejetées appartiennent à la classe C5-S4, présentant ainsi un pouvoir alcalinisant fort et un risque de salinisation très élevé.

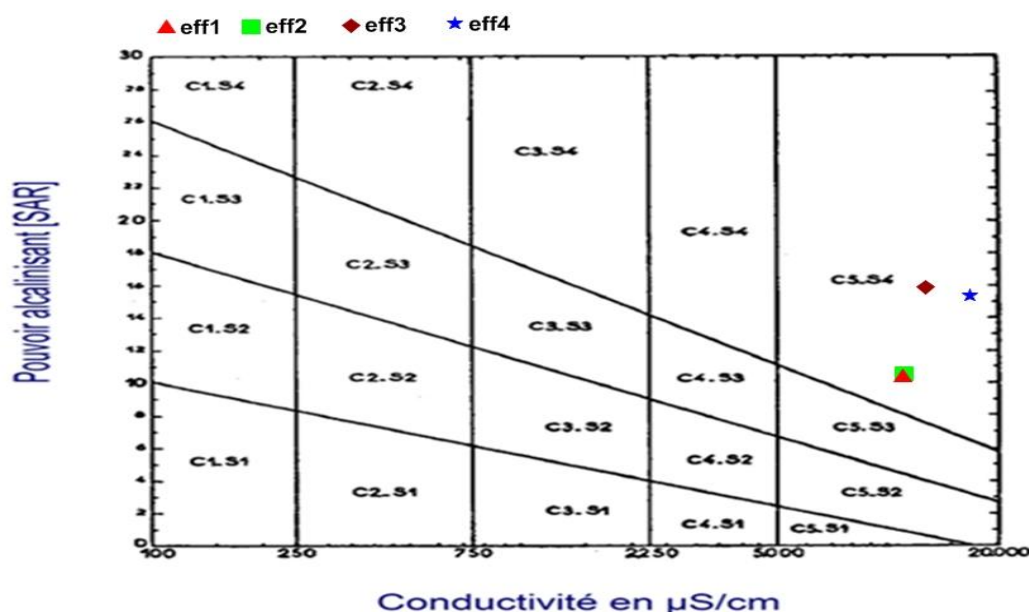


Figure 61. Classification des eaux rejetées selon le diagramme de Riverside modifié, cité par Durand, 1973

## II. Caractéristiques des sols étudiés

Les sols étudiés présentent des textures sableuses, sablo-limoneuses ou limono-sableuses.

Pour les horizons de surface, les sols proches du point de rejet, notamment les P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> présentent des textures sableuses (selon le triangle des textures de l'Aisne), avec plus de 85% de sable, moins de 7% de limon et moins de 7,5% d'argile. Cependant, dès les points P<sub>19</sub> et P<sub>4</sub>, un léger accroissement des taux d'argile et un accroissement marqué des taux de limon sont constatés où les textures deviennent soit : sablo-limoneuses au niveau des points P<sub>4</sub>, P<sub>19</sub>, P<sub>6</sub> et P<sub>8</sub>, avec des taux de sable se situant entre 66 et 77% ; des taux de limon compris entre 15 et 27% et des taux d'argile sis entre 7 et 11%, soit limono-sableuses au niveau des points P<sub>11</sub>, P<sub>17</sub> et P<sub>18</sub>, avec des taux de sable compris entre 44 et 54% ; des taux de limons compris entre 35 et 44% et des taux d'argile oscillant entre 9,8 et 15%.

D'autre part, la majorité des sols de l'horizon sous-jacent sont selon le triangle des textures de l'Aisne, soit des sables limoneux (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>6</sub> et P<sub>8</sub>), avec des taux de limon compris entre 14 et 27%, des taux de sable entre 68 et 78%, et des taux d'argile se situant entre 4 et 6%, soit des limons légers sableux, notamment pour les points P<sub>11</sub> et P<sub>17</sub>, avec des taux de limon de 40%, des taux de sable entre 54 et 55%, et des taux d'argile entre 4 et 5%. Il est à noter que seul le point P<sub>4</sub> présente une texture sableuse avec plus de 81% de sable, plus de 12% de limon et 6% d'argile.

Les sols étudiés présentent dans leur majorité des réactions moyennement alcalines, et la quasi totalité des valeurs du pH se situent entre 8,16 et 8,50.

Les taux de calcaire total oscillent entre 0,1 et 0,83% pour les horizons de surface des témoins. Cependant, pour les horizons de surface des sols situés dans la zone d'épandage, les taux présentent une hétérogénéité marquée, où les valeurs oscillent entre 0,42 et 12,09%.

Pour les horizons sous-jacents, les taux de calcaire total révèlent une remarquable monotonie et la quasi totalité des valeurs est égale à 0,10%.

Les teneurs en gypse des horizons de surface présentent une certaine uniformité, où nous avons noté de faibles à moyens taux de gypse, avec des valeurs fluctuant entre 7,29 et 16,76%.

En revanche, un accroissement des taux de gypse au niveau des horizons sous-jacents a été remarqué, où les teneurs du sol en gypse sont comprises entre 15,69 et 35,06%.

Le tableau n°12 récapitule les caractéristiques des sols étudiés citées ci-dessus.

**Tableau 12.** Caractéristiques des sols étudiés au niveau du milieu récepteur (Période de prélèvement Mars 2013)

Échantillons	Témoïn		Sols situés dans la zone d'épandage											
	P19		P2		P4		P6		P8		P11		P17	
	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2
pH eau (rapport 1/2,5)	8,28	8,41	8,41	8,49	8,16	8,22	8,34	8,45	8,24	8,48	8,22	8,45	8,40	8,53
CE (1/5, ms/cm à 25°C)	29,50	14,32	3,70	3,41	12,38	12,38	7,02	7,66	5,25	4,01	5,35	4,62	14,55	9,46
CaCO <sub>3</sub> total (%)	0,83	0,10	0,62	0,10	5,40	0,10	0,42	0,10	3,74	0,10	7,27	0,10	12,09	0,21
CaCO <sub>3</sub> actif (%)	/	/	/	/	4,00	/	/	/	/	/	4,00	/	10,00	/
Gypse (%)	16,76	35,06	8,27	21,40	12,84	18,15	16,18	17,40	10,08	15,69	7,29	22,23	14,89	22,61
Granulométrie														
A%	11,81	6,67	5,62	3,91	9,38	6,13	7,29	4,64	7,14	4,24	9,84	4,21	11,06	5,40
LF%	11,95	8,78	1,70	10,66	10,93	6,78	7,22	10,96	14,18	15,00	22,08	26,08	24,72	25,80
LG%	8,81	6,09	2,48	7,79	11,70	5,75	8,05	11,09	12,42	12,32	13,60	14,06	19,83	14,88
SF%	50,27	45,27	65,35	57,86	58,64	62,08	66,42	63,17	59,73	58,22	50,18	43,94	37,66	41,42
SG%	17,16	33,19	24,85	19,78	9,35	19,26	11,02	10,14	6,53	10,22	4,30	11,71	6,73	12,50

III. Effets de rejet des excédents hydriques sur la qualité des sols du milieu récepteur

En plus des effets de rejet des excédents hydriques sur la salinité, l'alcalinité et l'enrichissement en matière organique, les résultats des analyses ont discerné une augmentation des taux de calcaire des horizons de surface des sols recevant les eaux rejetées, et de ce fait, l'effet sur l'enrichissement en calcaire sera aussi exposé.

III.1. Effet sur les pH des sols

Les pH des sols étudiés sont des pH alcalins, aucune différence notable n'a été perçue entre les pH des témoins et les pH des sols situés dans la zone d'épandage.

Au niveau de l'horizon de surface, les valeurs du pH des témoins sont comprises entre 8,18 et 8,33, avec une moyenne égale à 8,26. Pour les sols situés dans la zone d'épandage, la majeure partie des valeurs du pH est concentrée entre 8,16 et 8,48, avec une moyenne de 8,36.

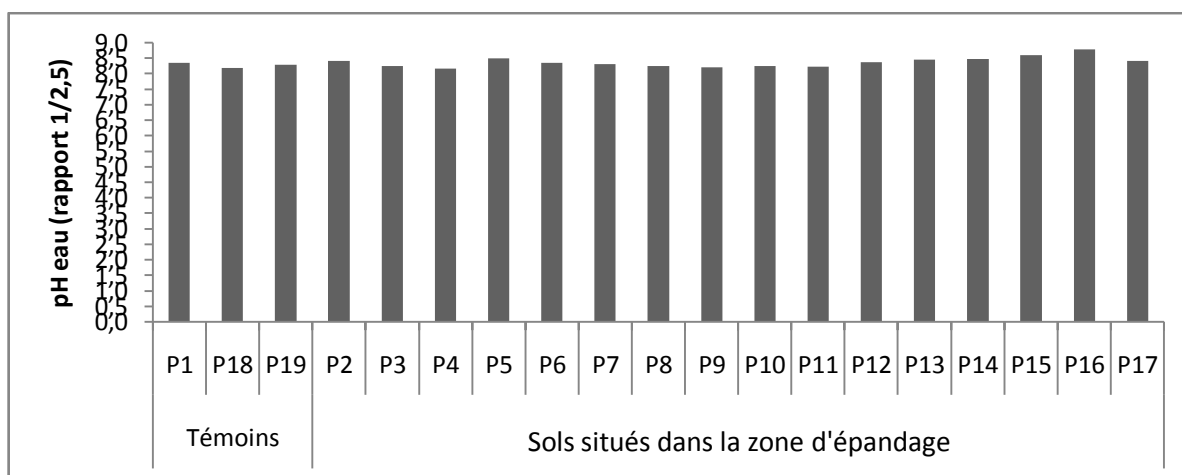


Figure 62. Variations des valeurs du pH des sols au sein de l'horizon de surface au niveau du milieu récepteur

Pour l'horizon sous-jacent, la valeur du pH enregistrée pour le témoin est de 8,41. En parallèle, la moyenne des valeurs du pH enregistrée pour les sols situés dans la zone d'épandage est de 8,44.

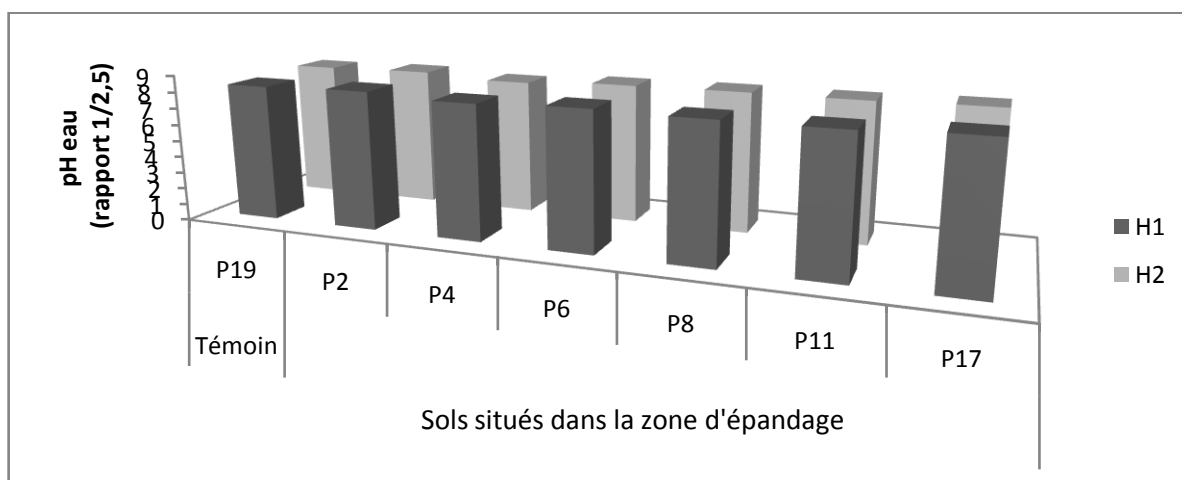


Figure 63. Variations des valeurs du pH des sols en fonction de la profondeur au sein du milieu récepteur



Statistiquement, le rejet des excédents hydriques n'a pas un effet significatif sur les pH des sols situés dans la zone d'épandage ( $p < 5\%$ ).

**Tableau 13.** Comparaison des moyennes des pH des sols situés dans la zone d'épandage et des sols témoins (test t de Student)

Paramètres	Horizons	Témoins			Sols situés dans la zone d'épandage			t-value	p%
		N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type		
pH eau (1/2,5)	H de surface	3	8,26	0,076	16	8,36	0,164	1,03	31,46 NS
	H sous-jacent	1	8,41	0	6	8,44	0,110	0,59	53,37 NS

N: nombre des échantillons; t-value: valeur du test de Student ;

NS: non significatif ( $p > 5\%$ ).

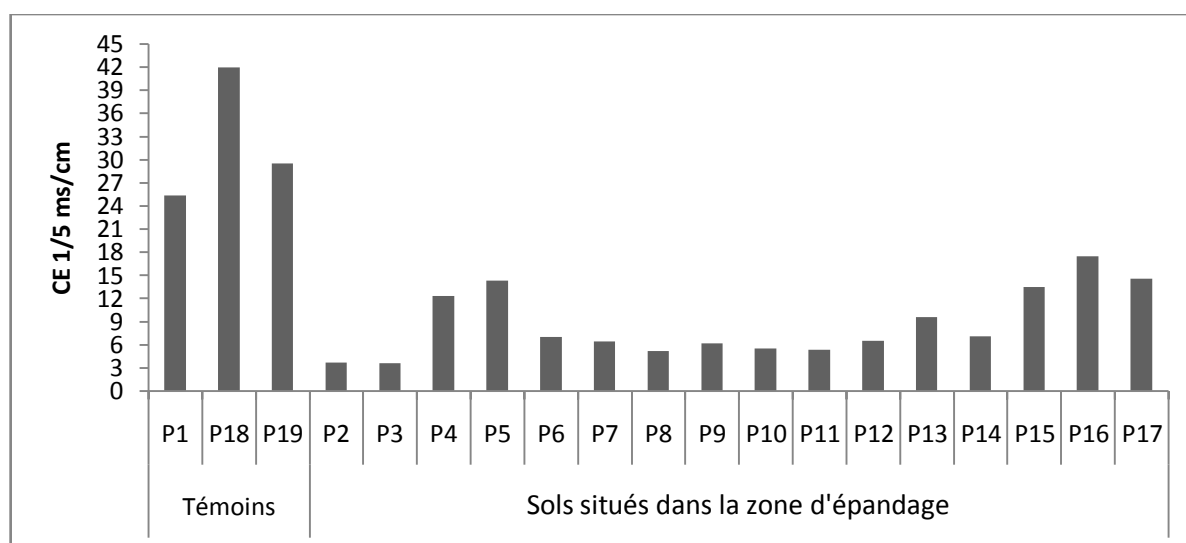
L'absence d'un effet remarquable des eaux de rejet sur les pH des sols situés dans la zone d'épandage peut être due aux tendances voisines des réactions des sols et des pH des eaux de rejet. Selon l'OMS, 2012, l'épandage des eaux ayant des pH légèrement alcalins sur des sols présentant une alcalinité appropriée ne perturbe pas l'équilibre acide-base du sol.

### III.2. Effet sur la salinité des sols

Les résultats des mesures de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5 de l'horizon de surface montrent une nette différence entre les sols des témoins et les sols situés dans la zone d'épandage.

Les valeurs de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5 des sols témoins sont très élevées ; elles oscillent entre 25,40 et 41,90 ms/cm, avec une moyenne égale à 32,27 ms/cm.

Cependant, au niveau des sols situés dans la zone d'épandage, les valeurs de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5 sont moins importantes. Toutefois, elles présentent des divergences significatives, où les valeurs sont réparties entre 3,64 et 17,48 ms/cm, avec une moyenne atteignant les 8,68 ms/cm.



**Figure 64.** Variations des valeurs de la CE de l'extrait dilué 1/5 en ms/cm de l'horizon de surface des sols au niveau du milieu récepteur

Egalement, au niveau de l'horizon sous-jacent H<sub>2</sub>, les résultats des mesures de la conductivité montrent une nette différence entre la CE<sub>1/5</sub> du témoin, ayant comme valeur 14,32 ms/cm et les CE<sub>1/5</sub> des sols situés dans la zone d'épandage, ayant des valeurs situées en majorité entre 3 et 10 ms/cm, et une moyenne égale à 6,04 ms/cm.

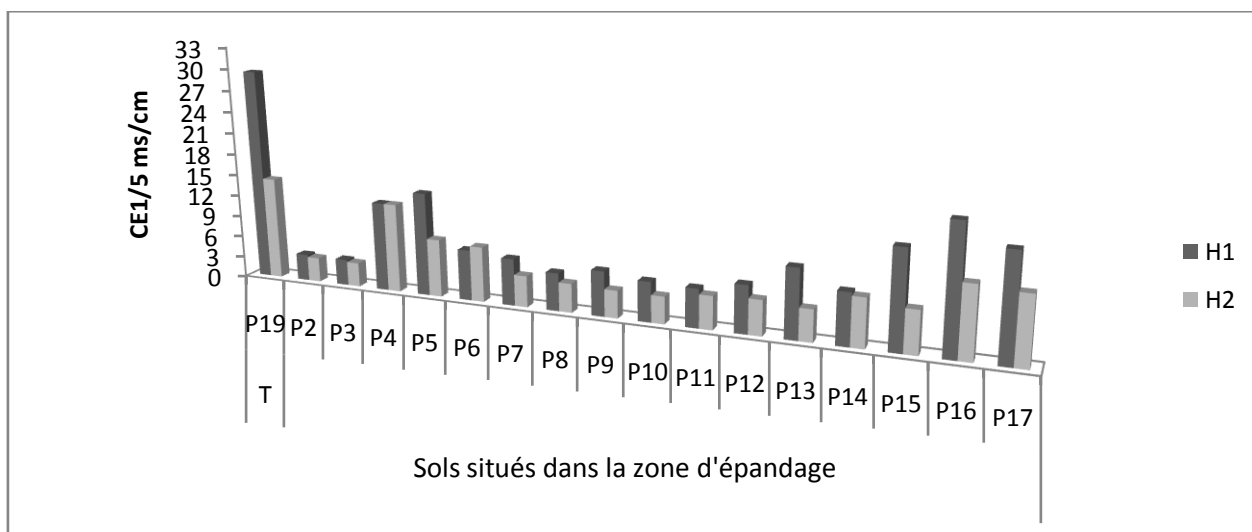


Figure 65. Variations des valeurs de la CE de l'extrait 1/5 en ms/cm des sols en fonction de la profondeur au niveau du milieu récepteur

Du point de vue statistique, les valeurs de la CE des sols situés dans la zone d'épandage sont significativement inférieures à celles des témoins.

Tableau 14. Comparaison des moyennes des CE<sub>1/5</sub> des sols situés dans la zone d'épandage et des sols témoins (test t de Student, test unilatéral)

Paramètres	Horizons	Témoins			Sols situés dans la zone d'épandage			t-value	p% One-sided
		N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type		
CE 1/5	H de surface	3	32,27	8,591	16	8,68	4,359	-7,43	0,00***
	H sous-jacent	1	14,32	0	16	6,04	2,724	-12,16	0,00***

N: nombre d'échantillons; t-value: valeur du test t de Student ; \*\*\*significatif pour p<0,05%.

Un examen attentif des valeurs de la CE des sols exposées au sein de la figure n°65 présentée ci-dessus nous a permis de déceler les observations suivantes :

- ❖ Dans un premier temps, on remarque une diminution de la salinité des sols situés dans la zone d'épandage, qui s'est manifestée au niveau des deux horizons, où cette diminution est la conséquence d'un lessivage des sels par les eaux percolées.

Le lessivage des sels a pris place dès le début du rejet des excédents hydriques au niveau du milieu récepteur. Ce lessivage s'est maintenu autant que les excédents hydriques percolaient en profondeur et que le niveau de la nappe phréatique permet cette percolation.

- ❖ au sein de l'horizon sous-jacent, les CE élevées de certains points (CE entre 5,9 et 12,4 ms/cm) peuvent être dues, soit à un lessivage non achevé au niveau de ces points, à cause d'un volume d'eaux percolées insuffisant ou à une mobilisation des sels par remontée capillaire déclenchée dès la régression des excédents hydriques de ces points.

La première hypothèse est soutenue par les travaux du CHERFOUH, 2010. Cet auteur témoigne que l'augmentation des volumes d'eaux percolant en profondeur a un effet manifeste sur l'amélioration des conditions de salinité des sols. Aussi, cet auteur a enregistré des baisses variables de conductivités électriques des sols dont l'amplitude est proportionnelle aux volumes d'eaux percolant en profondeur.

Cependant et sachant que les points ayant des conductivités élevées sont tous situés dans des zones ayant connu précocement la régression des excédents hydriques, c'est la deuxième hypothèse qui impute cette hausse de conductivité électrique à une salinisation par remontée capillaire, qui nous a paru la plus plausible. Pour les autres points ayant des conductivités inférieures et situés dans des zones n'ayant connu que récemment la régression des excédents hydriques, il est question de temps pour qu'ils subissent la même évolution.

- ❖ les valeurs des CE de l'horizon sous-jacent sont dans la quasi-totalité des cas inférieures aux valeurs enregistrées pour l'horizon de surface, ce qui reflète la dominance des mouvements ascendants des sels. Le profil salin ascendant de ces sols est le signe d'une resalinisation des horizons de surface, déclenchée suite à la régression des eaux de la surface de ces sols.

La salinisation des horizons de surface peut être imputée à l'aridité du climat (forte évaporation), à la présence d'une nappe phréatique salée et peu profonde, et aussi à l'absence du lessivage (ASKRI et al, 2010).

- ❖ Des salinités importantes des horizons de surface et/ou des écarts de salinité importants entre les horizons de surface et ceux sous-jacents ont été enregistrés au niveau des points ayant connu précocement la régression des excédents hydriques (salinité entre 7,0 et 17,5 ms/cm et écarts supérieur à 5 ms/cm). Cependant, pour les points n'ayant connu que récemment la régression des excédents hydriques, les salinités des horizons de surface et les écarts enregistrés sont plus faibles.

Selon ASKRI et al, 2010, les écarts de salinité entre les horizons sont imputés essentiellement à la dynamique des sels dans ces horizons. Selon cet auteur, la dynamique des sels dans les couches de sub-surface et profondes semble être moins influencée par l'évaporation que celle de l'horizon de surface, ce qui engendre un gradient de salure entre la couche de surface et les couches sous-jacentes.

Dans le cadre de notre recherche, nous avons constaté que le gradient de salure entre l'horizon de surface et l'horizon sous-jacent s'amplifie avec le temps. Cette amplification est due surtout à l'effet cumulé du gradient d'évaporation généré entre les couches de surface et les couches sous-jacentes.

Ces observations nous ont permis de reconstituer l'historique de l'évolution de la salinité des sols, depuis le rejet des excédents hydriques jusqu'au moment de prélèvement des sols.

Dans une première étape, la nappe située à une profondeur supérieure à 60 cm n'a pas entravé la percolation des excédents hydriques en profondeur. Celle-ci a permis le lessivage des sels de la colonne du sol échantillonnée, sise généralement entre 0 et 40 à 45 cm.

Dans une seconde étape, une remontée de la nappe, suivie d'une régression échelonnée des excédents hydriques de la zone échantillonnée a provoqué la cessation du lessivage. Subséquemment, une salinisation des sols s'est déclenchée suite à la mobilisation des sels par remontée capillaire. Cette mobilisation plus importante au niveau des horizons de surface a été favorisée par la forte évaporation, et aussi par la présence d'une nappe très proche de la surface. Enfin, nous soulignons que l'importance de cette salinisation a été relative au temps de régression des excédents hydriques, d'où les zones ayant connu précocement les régressions, sont celles recueillant les sols les plus salés.

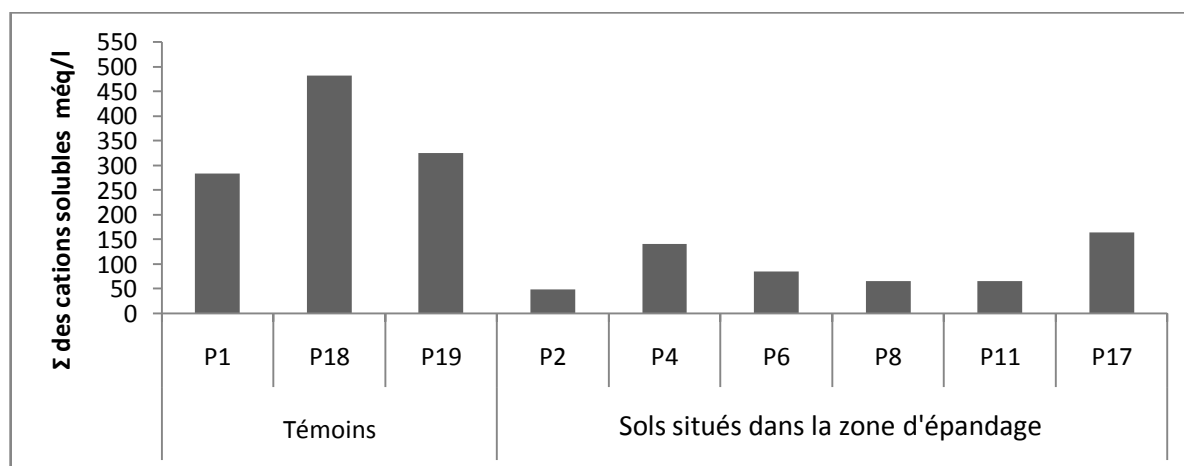
### III.3. Effet sur l'évolution de la composition des sels solubles des sols situés dans la zone d'épandage

Les résultats du dosage des ions solubles montrent une différence notable entre les teneurs des témoins et les teneurs des sols situés dans la zone d'épandage. Aussi, une variabilité des concentrations en ions solubles a été constatée au niveau des sols de la zone d'épandage.

#### III.3.1. Effet sur l'évolution de la composition cationique des solutions des sols

Les résultats des analyses révèlent que les sommes des cations solubles des témoins au niveau de l'horizon de surface fluctuent entre 283,77 et 481,21 méq/l, avec une moyenne de 363,32 méq/l. En revanche, les sommes des cations solubles des sols situés dans la zone d'épandage sont moins importantes ; elles oscillent entre 48,55 et 164,58 méq/l, avec une moyenne de 95,25 méq/l.

Une variabilité significative a été constatée au niveau des sols situés dans la zone d'épandage. On précise que les sommes des cations solubles des points P<sub>2</sub>, P<sub>8</sub> et P<sub>11</sub> (points situés dans des zones ayant connu des régressions récentes des excédents hydriques et ayant des CE<sub>1/5</sub> inférieures à 5,5 ms/cm) sont comprises entre 48,55 et 66,41 méq/l. Cependant, dans le cas des points P<sub>4</sub>, P<sub>6</sub> et P<sub>17</sub> (points situés dans des zones ayant connu généralement des régressions plus anciennes et ayant des CE<sub>1/5</sub> supérieures à 7,0 ms/cm) elles sont plus importantes et leurs valeurs oscillent entre 85,42 et 164,58 méq/l.

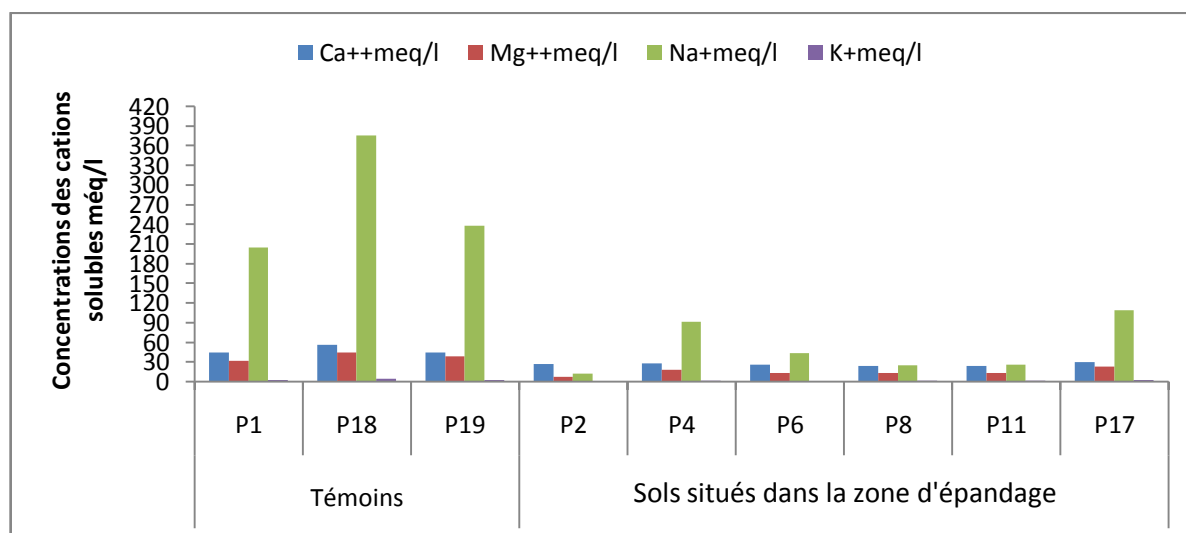


**Figure 66.** Variations des sommes des cations solubles en méq/l des sols au sein de l'horizon de surface au niveau du milieu récepteur

Pour les ions sodium, des écarts considérables ont été aperçus entre les différents points des sols situés dans la zone d'épandage. En effet, les concentrations des points situés dans des zones ayant connu des régressions récentes et ayant des  $CE_{1/5}$  inférieures à 5,5 ms/cm ( $P_2$ ,  $P_8$  et  $P_{11}$ ) sont inférieures à 26,17 méq/l. D'autre part, les concentrations des points situés dans des zones ayant connu des régressions plus anciennes et ayant des  $CE_{1/5}$  supérieures à 7,0 ms/cm ( $P_4$ ,  $P_6$  et  $P_{17}$ ) sont plus importantes, et sont comprises entre 44,35 et 109,04 méq/l. Toutefois, nous précisons que ces teneurs sont beaucoup plus inférieures à celles des témoins, se situant entre 204,77 et 375,65 méq/l.

Pour les ions calcium, les écarts entre les teneurs des sols situés dans la zone d'épandage sont trop limités. Aussi, leurs teneurs qui varient entre 24,50 et 30,25 méq/l, ne sont pas très éloignées de celles des témoins, comprises entre 44,50 et 56,75 méq/l.

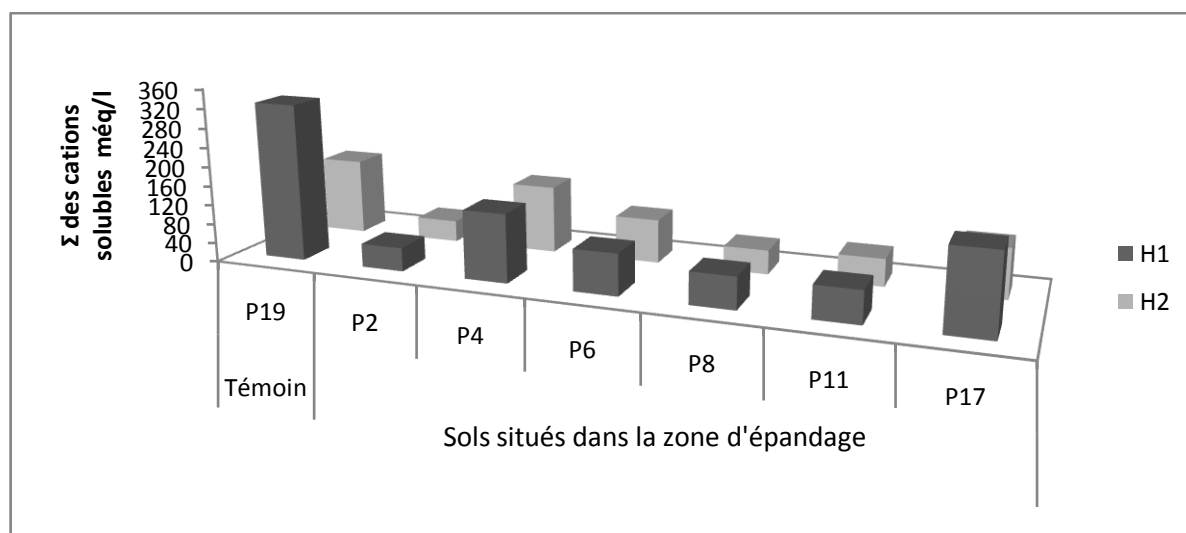
Enfin, pour les ions magnésium, les écarts entre les teneurs des sols situés dans la zone d'épandage sont plus ou moins restreints, et leurs valeurs qui oscillent entre 7,75 et 23,00 méq/l, sont légèrement à modérément inférieures à celles des témoins, situées entre 32,00 et 44,50 méq/l.



**Figure 67.** Variations des concentrations des cations solubles en méq/l des sols au sein de l'horizon de surface au niveau du milieu récepteur

Au sein de l'horizon sous-jacent, les sommes des cations solubles au niveau des sols situés dans la zone d'épandage fluctuent entre 44,37 et 139,17 méq/l, avec 80,52 méq/l comme moyenne. Ces valeurs sont inférieures à celle du témoin, culminant à 158,51 méq/l.

Une variabilité similaire au cas de l'horizon de surface a été constatée au niveau des sols situés dans la zone d'épandage. On indique que les sommes des cations solubles des points situés dans des zones ayant connu des régressions récentes, et ayant des  $CE_{1/5}$  inférieures à 4,7 ms/cm ( $P_2$ ,  $P_8$  et  $P_{11}$ ), sont comprises entre 44,37 et 56,56 méq/l. Cependant, celles des points situés dans des zones ayant connu des régressions plus anciennes et ayant des  $CE_{1/5}$  supérieures à 7,6 ms/cm ( $P_4$ ,  $P_6$  et  $P_{17}$ ) sont plus importantes, et elles fluctuent entre 90,35 et 139,17 méq/l.

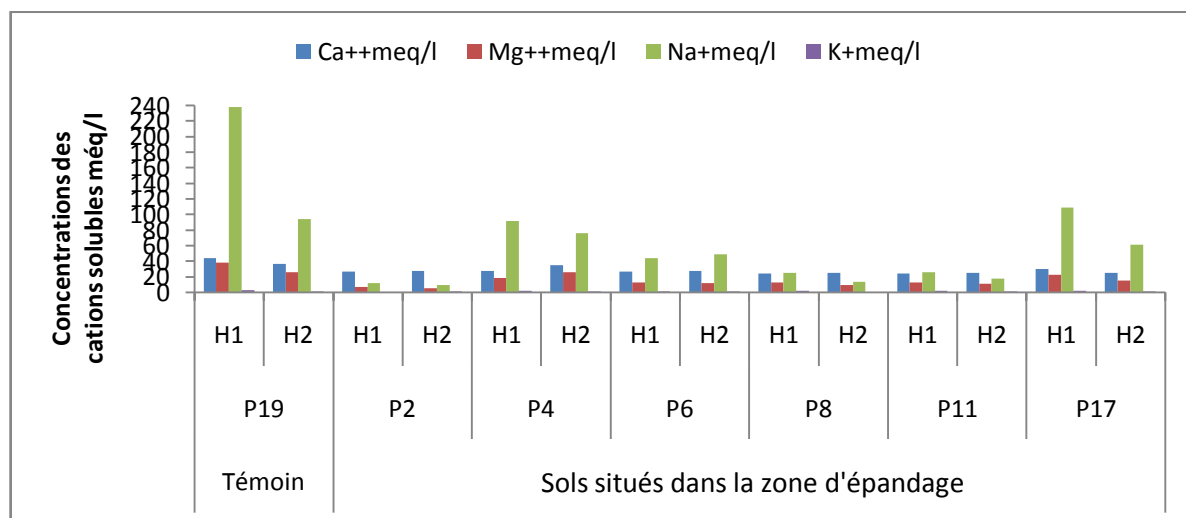


**Figure 68.** Variations des sommes des cations solubles en méq/l des sols en fonction de la profondeur au sein du milieu récepteur

Pour les ions sodium, des écarts importants ont été observés entre les différents points des sols situés dans la zone d'épandage. D'une part, les concentrations des cations solubles des points situés dans des zones ayant connu des régressions récentes et ayant des  $CE_{1/5}$  inférieures à 4,7 ms/cm (P<sub>2</sub>, P<sub>8</sub> et P<sub>11</sub>), sont situées entre 9,91 et 18,09 méq/l. D'autre part, celles des points situés dans des zones ayant connu des régressions plus anciennes et ayant des  $CE_{1/5}$  supérieures à 7,6 ms/cm (P<sub>4</sub>, P<sub>6</sub> et P<sub>17</sub>), sont plus importantes. Elles sont comprises entre 49,57 et 76,78 méq/l. Toutefois, nous précisons que ces teneurs sont sensiblement inférieures à celle du témoin, se situant à 94,48 méq/l.

Pour les ions calcium, les écarts entre les teneurs des sols situés dans la zone d'épandage sont trop limités, et leurs teneurs fluctuent entre 25,25 et 35,00 méq/l, non loin de celle du témoin, se situant à 36,75 méq/l.

Enfin, pour les ions magnésium, les écarts entre les teneurs des sols situés dans la zone d'épandage sont plus ou moins restreints, les teneurs oscillent généralement entre 5,50 et 15,25 méq/l, et sont modérément inférieures à celle du témoin, se situant à 26,00 méq/l.



**Figure 69.** Variations des concentrations des cations solubles en méq/l des sols en fonction de la profondeur au niveau du milieu récepteur

Statistiquement, les concentrations des cations solubles des sols situés dans la zone d'épandage sont significativement inférieures à celles des cations solubles des témoins.

**Tableau 15.** Comparaison des moyennes des concentrations des cations solubles des sols situés dans la zone de rejet et des sols témoins (test t de Student, test unilatéral)

Paramètres	Horizons	Témoins			Sols situés dans la zone d'épandage			t-value	p% One-sided
		N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type		
Σ cations	H de surface	3	363,32	104,153	6	95,25	46,590	-5,56	0,04***
	H sous-jacent	1	158,51	0	6	80,52	37,084	-5,15	0,18**
Na+	H de surface	3	272,90	90,552	6	51,69	39,540	-5,32	0,06**
	H sous-jacent	1	94,48	0	6	38,31	28,041	-4,90	0,22**
K+	H de surface	3	3,26	0,940	6	1,73	0,630	-2,95	1,07*
	H sous-jacent	1	1,28	0	6	1,00	0,290	-2,35	6,64 NS
Mg++	H de surface	3	38,50	6,265	6	14,92	5,272	-5,98	0,03***
	H sous-jacent	1	26,00	0	6	13,37	7,069	-4,37	0,36**
Ca++	H de surface	3	48,67	7,001	6	26,92	2,143	-7,40	0,01***
	H sous-jacent	1	36,75	0	6	27,83	3,717	-5,87	0,09**

N: nombre d'échantillons; t-value: valeur du test t de Student ;

NS: non significatif ( $p > 5\%$ ); \* significatif pour  $p < 2,5\%$ ; \*\*significatif pour  $p < 0,5\%$ ;

\*\*\*significatif pour  $p < 0,05\%$ .

La diminution des concentrations des cations solubles des sols situés dans la zone d'épandage est due essentiellement au lessivage des sels qui a eu lieu avant la régression des excédents hydriques. Quant aux écarts enregistrés entre les concentrations des cations solubles au niveau des différents points des sols situés dans la zone d'épandage, ils sont imputés aux variations des degrés de salinisation déclenchée suite à la régression des excédents hydriques.

Selon VINAS et JOUKOV 1974, les changements dans le type de salinité en fonction de la teneur en sels, sont liés à la solubilité différentielle des cations. Selon ces auteurs, quand la concentration en sels de la solution augmente, les cations bivalents moins solubles précipitent, alors que les cations monovalents plus solubles, tel que le sodium restent à l'état soluble dans la solution du sol, ce qui engendre une supériorité des ions sodium dans la solution des sols ayant des salinités élevées. Aussi, selon les mêmes auteurs, pour une faible salinité du sol, le type de salinité de la solution du sol est quant aux cations à dominance Na, Ca ou Na, pour une salinité de sol élevée, le Na domine de façon absolue sur les autres cations.

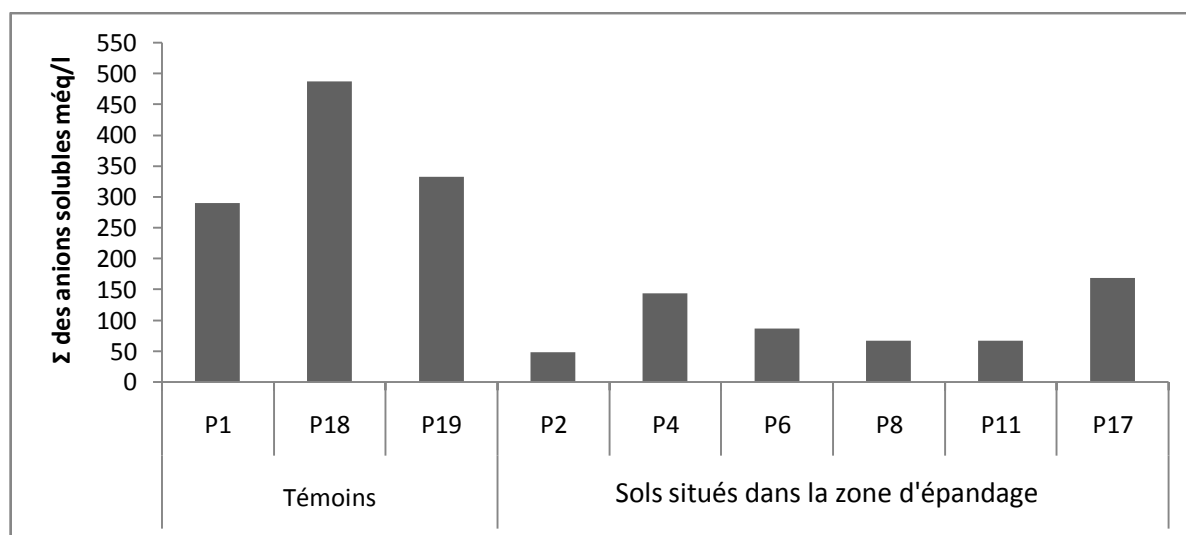
Ceci a été vérifié dans notre recherche où nous avons constaté que l'augmentation de la concentration de la solution du sol en sels sous l'effet de la remontée capillaire a été accompagnée par une élévation très réduite des concentrations des bivalents (Ca et Mg), ce qui a limité les écarts des concentrations des bivalents dus à l'augmentation de la salinité. Cependant, pour les cations monovalents, notamment les ions sodium, nous avons remarqué que lorsque les teneurs en sels augmentent sous l'effet de la remontée capillaire, les concentrations des ions sodium s'élèvent considérablement dans la solution des sols et ils deviennent les cations les plus intervenants dans l'enrichissement des solutions du sol en sels. Cette évolution a été la cause principale des écarts considérables enregistrés entre les points ayant connu des régressions récentes des excédents hydriques et ceux ayant connu des régressions plus anciennes.



### III.3.2. Effet sur l'évolution de la composition anionique des solutions des sols

Au niveau de l'horizon de surface, nous signalons que les sommes des anions solubles des témoins oscillent entre 289,85 et 486,70 méq/l, avec une moyenne de 369,69 méq/l. En revanche, celles des sols situés dans la zone d'épandage sont beaucoup plus inférieures, elles varient entre 48,40 et 168,40 méq/l, avec une moyenne de 97,10 méq/l.

Similairement au cas des cations solubles, une certaine variabilité a été constatée au niveau des sols situés dans la zone d'épandage. On indique que les sommes des anions solubles des points P<sub>2</sub>, P<sub>8</sub> et P<sub>11</sub> (points situés dans des zones ayant connu des régressions récentes des excédents hydriques et ayant des CE<sub>1/5</sub> inférieures à 5,5 ms/cm), sont comprises entre 48,40 et 67,39 méq/l. Cependant, dans le cas des points P<sub>4</sub>, P<sub>6</sub> et P<sub>17</sub> (points situés dans des zones ayant connu généralement des régressions plus anciennes et ayant des CE<sub>1/5</sub> supérieures à 7,0 ms/cm), les sommes sont plus importantes et leurs valeurs sont comprises entre 86,71 et 168,40 méq/l.



**Figure 70.** Variations des sommes des anions solubles en méq/l des sols au sein de l'horizon de surface au niveau du milieu récepteur

Pour les ions chlorures, des écarts considérables ont été aperçus entre les différents points des sols situés dans la zone d'épandage. D'une part, les concentrations des points situés dans des zones ayant connu des régressions récentes et ayant des CE<sub>1/5</sub> inférieures à 5,5 ms/cm (P<sub>2</sub>, P<sub>8</sub> et P<sub>11</sub>) sont inférieures à 20,50 méq/l ; d'autre part, les concentrations des points situés dans des zones ayant connu des régressions plus anciennes et ayant des CE<sub>1/5</sub> supérieures à 7,0 ms/cm (P<sub>4</sub>, P<sub>6</sub> et P<sub>17</sub>), sont plus importantes et sont comprises entre 36,00 et 94,00 méq/l. Cependant, nous précisons que ces teneurs sont inférieures à celles des témoins qui se situent entre 206,50 et 375,50 méq/l.

Pour les ions sulfates, les écarts entre les teneurs des sols situés dans la zone d'épandage sont moins importants comparés aux chlorures. Les concentrations des points situés dans des zones ayant connu des régressions récentes et ayant des CE<sub>1/5</sub> inférieures à 5,5 ms/cm (P<sub>2</sub>, P<sub>8</sub> et P<sub>11</sub>), sont situées entre 37,90 et 46,39 méq/l. Aussi, les concentrations des points situés dans des zones ayant connu des régressions plus anciennes et ayant des CE<sub>1/5</sub> supérieures à 7,0 ms/cm (P<sub>4</sub>, P<sub>6</sub> et P<sub>17</sub>), sont plus élevées et sont comprises entre 48,71 et 70,90 méq/l. Cependant, nous précisons que ces teneurs sont inférieures à celles des témoins situées entre 82,35 et 110,20 méq/l.

Enfin, pour les ions bicarbonates présents en très faibles concentrations, aucune variation notable due au rejet des excédents hydriques n'a été remarquée. Nous soulignons que la quasi-totalité des teneurs des sols en ces anions y compris celles des témoins, sont comprises entre 0,5 et 2,0 méq/l.

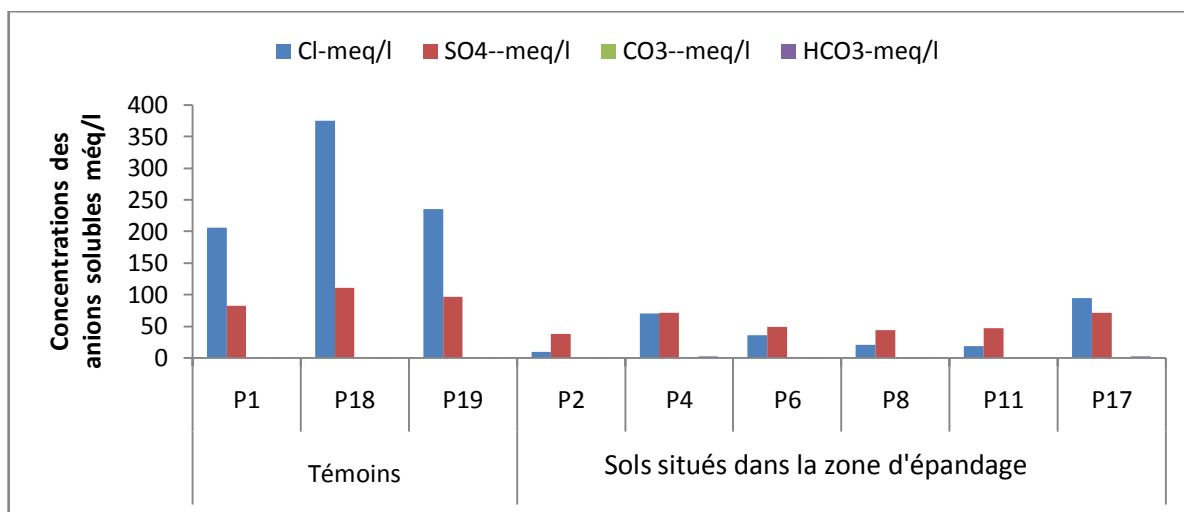


Figure 71. Variations des concentrations des anions solubles en méq/l des sols au sein de l'horizon de surface au niveau du milieu récepteur

Au sein de l'horizon sous-jacent, les sommes des anions solubles au niveau des sols situés dans la zone d'épandage oscillent entre 45,92 et 141,17 méq/l. Celle du témoin est égale à 160,96 méq/l. La moyenne des sommes des anions solubles enregistrée pour les sols situés dans la zone d'épandage est de 81,26 méq/l.

Une variabilité des sommes des anions solubles a été constatée au niveau des sols situés dans la zone d'épandage. On indique que les sommes des anions solubles des points situés dans des zones ayant connu des régressions récentes et ayant des  $CE_{1/5}$  inférieures à 4,7 ms/cm ( $P_2$ ,  $P_8$  et  $P_{11}$ ) sont comprises entre 45,92 et 57,63 méq/l/. Cependant, celles des points situés dans des zones ayant connu des régressions plus anciennes et ayant des  $CE_{1/5}$  supérieures à 7,6 ms/cm ( $P_4$ ,  $P_6$  et  $P_{17}$ ) sont plus importantes et fluctuent entre 88,81 et 141,17 méq/l.

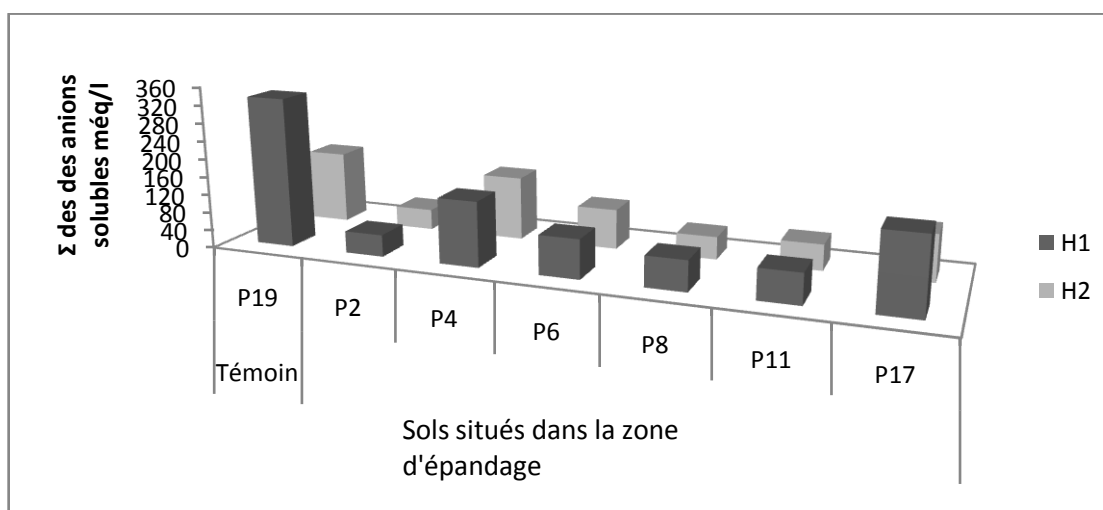
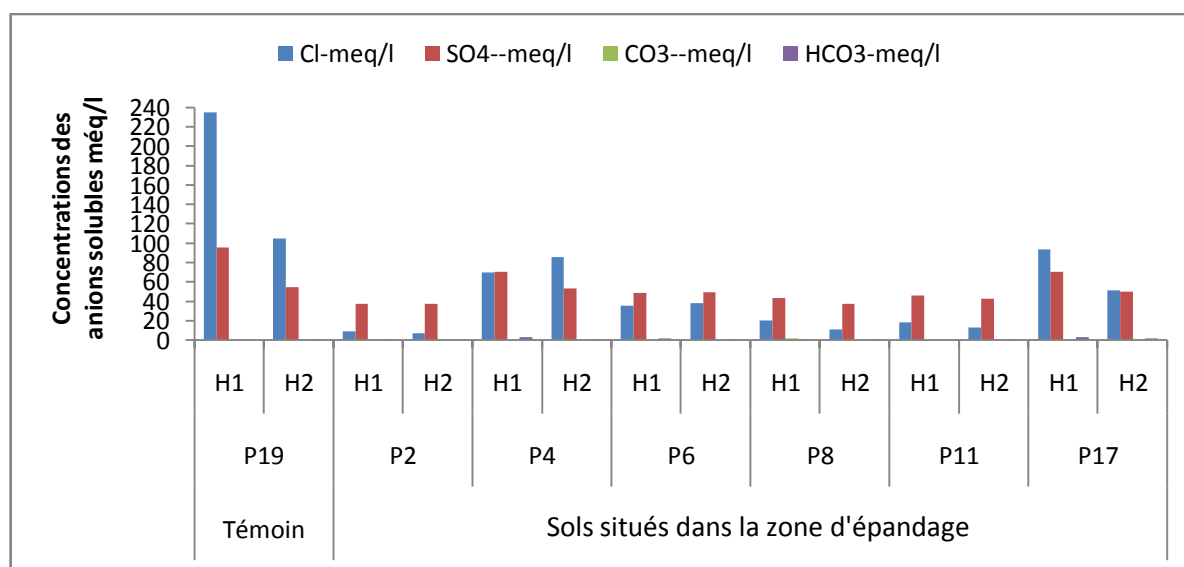


Figure 72. Variations des sommes des anions solubles en méq/l des sols en fonction de la profondeur au sein du milieu récepteur

Pour les ions chlorures, des écarts considérables ont été observés entre les différents points des sols situés dans la zone d'épandage. D'une part, les concentrations des points situés dans des zones ayant connu des régressions récentes et ayant des  $CE_{1/5}$  inférieures à 4,7 ms/cm ( $P_2$ ,  $P_8$  et  $P_{11}$ ) sont inférieures à 13,50 méq/l ; et d'autre part, les concentrations des points situés dans des zones ayant connu des régressions plus anciennes et ayant des  $CE_{1/5}$  supérieures à 7,6 ms/cm ( $P_4$ ,  $P_6$  et  $P_{17}$ ) sont plus importantes ; et elles sont comprises entre 38,50 et 86,00 méq/l. Cependant, nous précisons que ces teneurs sont sensiblement inférieures à celle du témoin, se situant à 105,00 méq/l.

Pour les ions sulfates, les écarts entre les teneurs des sols situés dans la zone d'épandage sont plus ou moins faibles. Les concentrations des points situés dans des zones ayant connu des régressions récentes et ayant des  $CE_{1/5}$  inférieures à 4,7 ms/cm ( $P_2$ ,  $P_8$  et  $P_{11}$ ) sont situées entre 37,92 et 43,13 méq/l. Aussi, les concentrations des points situés dans des zones ayant connu des régressions plus anciennes et ayant des  $CE_{1/5}$  supérieures à 7,6 ms/cm ( $P_4$ ,  $P_6$  et  $P_{17}$ ) sont légèrement élevées, et sont comprises entre 49,31 et 53,67 méq/l. Nous signalons également que ces teneurs sont légèrement inférieures à celle du témoin, qui est égale à 54,96 méq/l.

Pour les ions bicarbonates présents en faibles concentrations, aucune variation notable due au rejet des excédents hydriques n'a été constatée. Nous soulignons que la quasi totalité des teneurs des sols en ces anions, y compris celle du témoin sont comprises entre 1,0 et 2,0 méq/l.



**Figure 73.** Variations des concentrations des anions solubles en méq/l des sols en fonction de la profondeur au sein du milieu récepteur

Statistiquement, les concentrations des anions chlorures et sulfates des sols situés dans la zone d'épandage sont significativement inférieures à celles des sols témoins.

En revanche, aucune différence significative ( $p < 5\%$ ) n'a été constatée entre les concentrations des ions hydrogénocarbonates des sols situés dans la zone de rejet et des sols témoins.

**Tableau 16.** Comparaison des moyennes des concentrations des anions solubles des sols situés dans la zone de rejet et des sols témoins (test t de Student, test unilatéral)

Paramètres	Horizons	Témoins			Sols situés dans la zone d'épandage			t-value	p% One-sided
		N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type		
$\Sigma$ anions	H de surface	3	369,69	103,557	6	97,10	48,081	-5,61	0,04***
	H sous-jacent	1	160,96	0	6	81,26	37,227	-5,24	0,17**
Cl <sup>-</sup>	H de surface	3	272,50	90,371	6	41,41	33,445	-5,84	0,03***
	H sous-jacent	1	105,00	0	6	34,67	30,605	-5,63	0,12**
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	H de surface	3	96,19	13,926	6	53,021	14,287	-4,30	0,18**
	H sous-jacent	1	54,96	0	6	45,34	6,763	-3,48	0,88*
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H de surface	3	1,00	0	6	2,17	1,080	1,81	11,36 NS
	H sous-jacent	1	1,00	0	6	1,25	0,418	1,46	20,28 NS

N: nombre d'échantillons; t-value: valeur du test t de Student ;

NS: non significatif ( $p > 5\%$ ); \* significatif pour  $p < 2,5\%$ ; \*\*significatif pour  $p < 0,5\%$ ;

\*\*\*significatif pour  $p < 0,05\%$ .

Similairement au cas des cations solubles, la diminution des concentrations des anions solubles des sols situés dans la zone d'épandage est due essentiellement au lessivage des sels qui a eu lieu avant la régression des excédents hydriques. Quant aux écarts enregistrés entre les concentrations des anions solubles au niveau des différents points des sols situés dans la zone d'épandage, ils sont imputés aux variations des degrés de salinisation déclenchée suite à la régression des excédents hydriques.

Selon VINAS et JOUKOV 1974, les changements dans le type de salinité sont liés à la solubilité différentielle entre les chlorures et les sulfates, où selon ces auteurs, quand la concentration en sels de la solution augmente, les sulfates moins solubles précipitent ; alors que les chlorures plus solubles restent à l'état dissous dans la solution du sol, ce qui engendre une supériorité des ions chlorures dans la solution des sols ayant des salinités élevées. Aussi, selon les mêmes auteurs, pour une faible salinité du sol, le type de salinité de la solution du sol est complexe : SO<sub>4</sub>-Cl ou Cl-SO<sub>4</sub>, pour une salinité de sol plus élevée, les Cl prédominent.

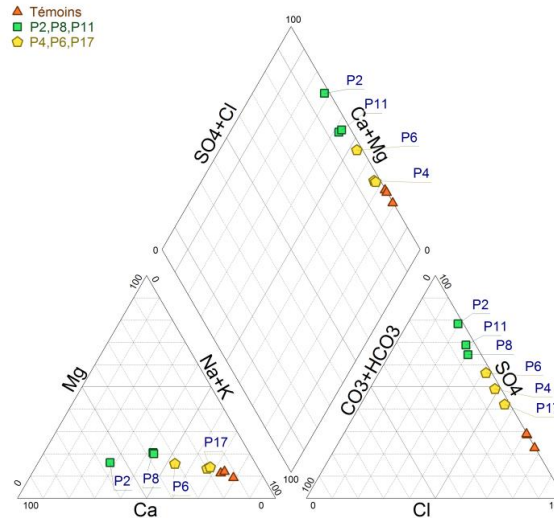
Dans le cadre de ce travail de recherche, nous avons remarqué que l'augmentation de la concentration de la solution du sol en sels sous l'effet de la remontée capillaire a été accompagnée par une élévation considérable des concentrations des ions chlorures, et une élévation moins importante des concentrations des ions sulfates.

#### III.4. Effet sur l'évolution des faciès salins des sols situés dans la zone d'épandage

Au niveau de l'horizon de surface, comparés à celui des témoins ayant un faciès chloruré sodique, les faciès chimiques des points situés dans des zones ayant connu des régressions récentes et ayant des CE<sub>1/5</sub> inférieures à 5,5 ms/cm (P<sub>2</sub>, P<sub>8</sub> et P<sub>11</sub>) ont évolué vers un faciès anionique sulfaté ; quant au faciès cationique, il est soit équilibré (P<sub>8</sub> et P<sub>11</sub>), soit calcique (P<sub>2</sub>).

Pour les points situés dans des zones ayant connu des régressions plus anciennes et ayant des CE<sub>1/5</sub> supérieures à 7,0 ms/cm (P<sub>4</sub>, P<sub>6</sub> et P<sub>17</sub>), les faciès chimiques ont évolué vers des faciès sulfaté sodique (P<sub>6</sub>), sulfaté chloruré sodique (P<sub>4</sub>) ou chloruré sodique, avec une disposition très proche d'un faciès sulfatée (P<sub>17</sub>).

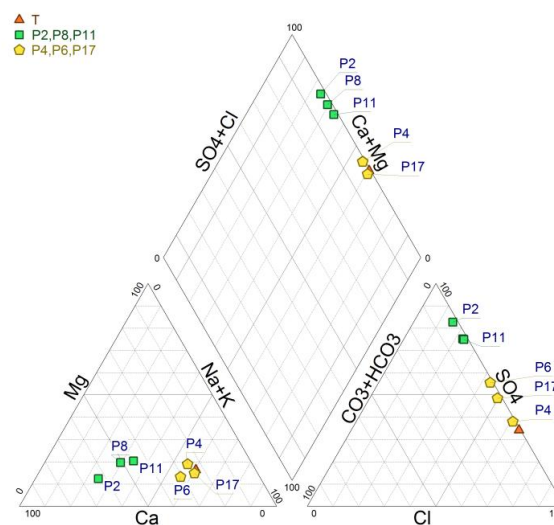
Ainsi, la présentation des pourcentages des ions majeurs solubles sur le diagramme de Piper expose ce qui a été énoncé.



**Figure 74.** Évolution des faciès salins des horizons de surface des sols situés dans la zone d'épandage au sein du milieu récepteur

Au niveau de l'horizon sous-jacent, les faciès chimiques des points P<sub>2</sub>, P<sub>8</sub> et P<sub>11</sub> ont évolué vers un faciès anionique sulfaté et un faciès cationique, soit calcique (P<sub>2</sub>), soit équilibré (P<sub>8</sub> et P<sub>11</sub>). Pour les points P<sub>4</sub>, P<sub>6</sub> et P<sub>17</sub>, le faciès cationique demeure inchangé où la disposition de ces points sur le diagramme de Piper est très proche de celle du témoin. La même observation est faite pour le faciès anionique du point P<sub>4</sub>; quant au faciès anionique des deux autres points, il a évolué vers un faciès, soit sulfaté (P<sub>6</sub>), ou sulfaté chloruré (P<sub>17</sub>).

Ainsi, la présentation des pourcentages des ions majeurs solubles sur le diagramme de Piper exposée ci-dessous illustre les évolutions des faciès salins des horizons sous-jacents des sols situés dans la zone d'épandage indiquées dans le paragraphe précédent.



**Figure 75.** Évolution des faciès salins en fonction de la profondeur des sols situés dans la zone d'épandage au sein du milieu récepteur

III.5. Effet sur le pouvoir alcalinisant des sols

Situés entre 33,10 et 52,80 pour les témoins, les taux du SAR<sub>1/5</sub> ont diminué au dessous de 6,00 pour les points P<sub>2</sub>, P<sub>8</sub> et P<sub>11</sub>, ayant des CE<sub>1/5</sub> inférieures à 5,5 ms/cm et des concentrations relativement faibles en sodium. En revanche, pour les points P<sub>4</sub>, P<sub>6</sub> et P<sub>17</sub> ayant des CE<sub>1/5</sub> supérieures à 7,0 ms/cm et contenant des teneurs en sodium plus importantes, les taux du SAR<sub>1/5</sub> en sont plus élevés, et les valeurs sont comprises entre 9,92 et 21,13.

Les moyennes enregistrées pour les taux de SAR<sub>1/5</sub> sont respectivement de 40,91 pour les témoins et 10,84 pour les sols situés dans la zone d'épandage.

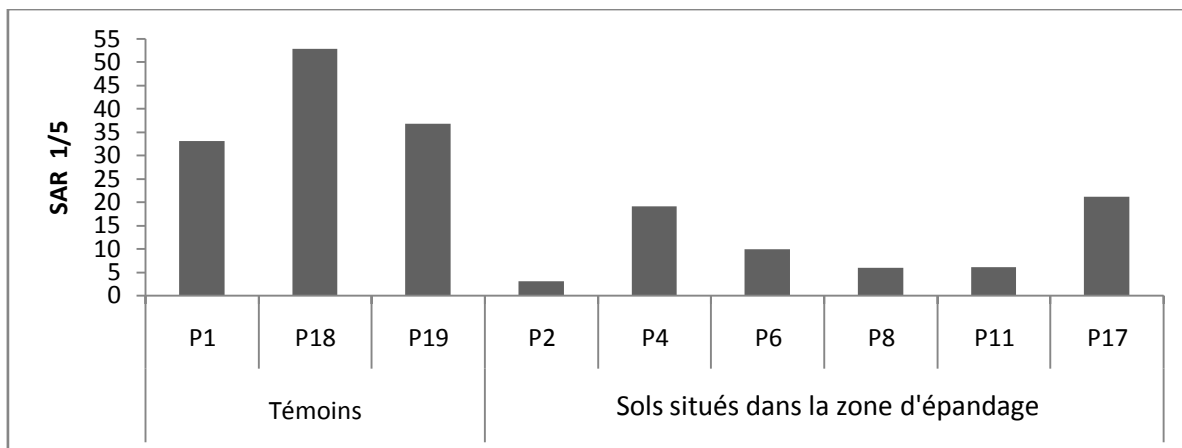


Figure 76. Variations des taux de SAR<sub>1/5</sub> des sols au sein de l'horizon de surface au niveau du milieu récepteur

Au niveau de l'horizon sous-jacent et similairement au cas de l'horizon de surface, la divergence des teneurs en sodium soluble des sols situés dans la zone d'épandage a engendré des baisses divergentes des taux d'adsorption de sodium. Pour les points P<sub>2</sub>, P<sub>8</sub> et P<sub>11</sub>, les taux du SAR<sub>1/5</sub> ont diminué au dessous de 4,19. En revanche, pour les points P<sub>4</sub>, P<sub>6</sub> et P<sub>17</sub> contenant des teneurs en sodium plus importantes, les taux du SAR<sub>1/5</sub> sont plus grands et les valeurs sont comprises entre 11,12 et 13,87. La valeur du SAR<sub>1/5</sub> du témoin est 16,87 ; et en parallèle, la moyenne des SAR<sub>1/5</sub> enregistrée pour les sols situés dans la zone d'épandage est de 8,10.

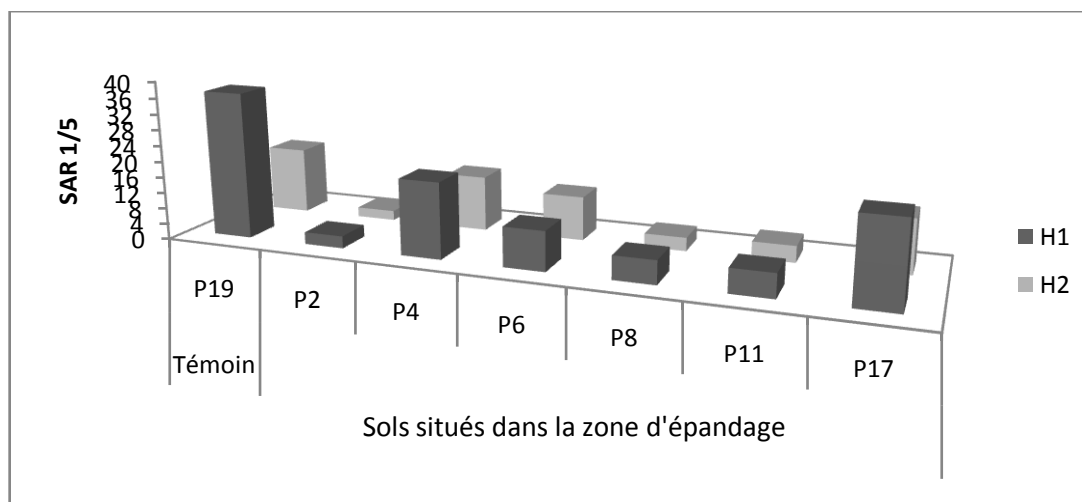


Figure 77. Variations des taux de SAR<sub>1/5</sub> des sols en fonction de la profondeur au niveau du milieu récepteur

Statistiquement, les taux du SAR<sub>1/5</sub> des sols situés dans la zone d'épandage sont significativement inférieurs à ceux des sols témoins.

**Tableau 17.** Comparaison des moyennes des SAR<sub>1/5</sub> des sols situés dans la zone de rejet et des sols témoins (test t de Student, test unilatéral)

Paramètres	Horizons	Témoins			Sols situés dans la zone d'épandage			t-value	p% One-sided
		N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type		
SAR 1/5	H de surface	3	40,90	10,464	6	10,84	7,518	-5,02	0,08**
	H sous-jacent	1	16,87	0	6	8,10	5,340	-4,02	0,51*

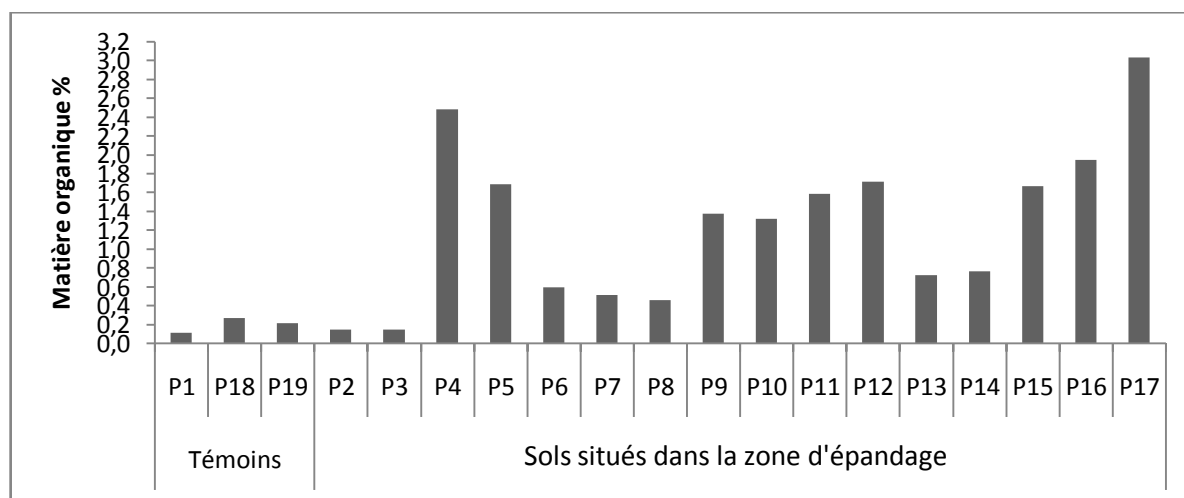
N: nombre d'échantillons; t-value: valeur du test t de Student ; \* significatif pour p< 2,5%; \*\*significatif pour p<0,5%.

La diminution des SAR des sols situés dans la zone d'épandage est due à l'entraînement considérable des ions sodium (avant la régression des excédents hydriques). Après la régression des excédents hydriques, la divergence des teneurs en sodium soluble due essentiellement aux variations de degrés de salinisation des sols situés dans la zone d'épandage est la cause des divergences enregistrées entre les taux d'adsorption de sodium de ces sols.

### III.6. Effet sur l'enrichissement en matière organique

Les résultats des taux de matière organique consolident les observations citées dans le chapitre consacré aux enquêtes qui renseignent sur la présence des matières organiques déposées par les eaux usées épurées au niveau de la zone recevant les excédents hydriques.

L'effet des EUE sur l'enrichissement en matière organique de l'horizon de surface des sols recevant ces eaux est un fait saillant. A l'opposé des horizons de surface des témoins qui présentent des taux très faibles en matière organique, avec 0,27% comme pic et 0,20% comme moyenne, la quasi-totalité des échantillons des sols situés dans la zone d'épandage ont des taux de matière organique supérieurs à 0,50% avec neuf échantillons possédant des teneurs en matière organique dépassant 1%, sept échantillons avec des taux dépassant les 1,50%, trois dépassant les 1,90%, un franchissant le seuil de 3% et une moyenne atteignant les 1,26%.



**Figure 78.** Variations des taux de matière organique en % des sols au sein de l'horizon de surface au niveau du milieu récepteur



Du point de vue statistique, le rejet des excédents hydriques a un effet significatif sur l'augmentation du taux de matière organique de l'horizon de surface des sols situés dans la zone d'épandage.

**Tableau 18.** Comparaison des moyennes des taux de matière organique des sols situés dans la zone de rejet et des sols témoins (test t de Student, test unilatéral)

Paramètres	Horizons	Témoins			Sols situés dans la zone d'épandage			t-value	p% One-sided
		N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type		
MO	H de surface	3	0,20	0,077	16	1,26	0,833	2,15	2,32*

N: nombre d'échantillons; t-value: valeur du test t de Student ; \* significatif pour  $p < 2,5\%$ .

L'augmentation des taux de matière organique de l'horizon de surface des sols situés dans la zone d'épandage est imputée à la dominance des conditions d'hydromorphie durant la période, où les excédents hydriques stagnaient en surface. Cette hydromorphie a engendré une perturbation de l'activité microbienne aérobie, ce qui a provoqué un ralentissement de la minéralisation de la matière organique véhiculée par les eaux usées épurées, et par voie de conséquence son accumulation (GROSBELLET, 2008).

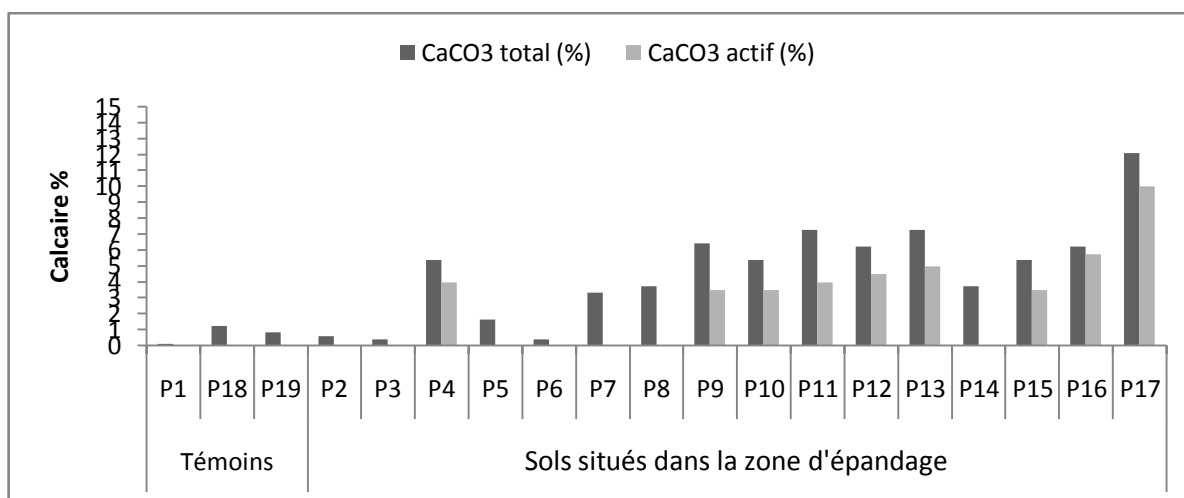
Cependant et suite à la régression des eaux de la majeure partie de la zone échantillonnée, l'intensité de l'hydromorphie s'est plus ou moins atténuée, ce qui a provoqué un accroissement de la vitesse du phénomène de minéralisation.

### III.7. Effet sur l'enrichissement en calcaire

Les résultats du dosage du calcaire dévoilent un certain effet des excédents hydriques sur l'élévation du taux de calcaire total au niveau de l'horizon de surface de la plupart des sols situés dans la zone d'épandage.

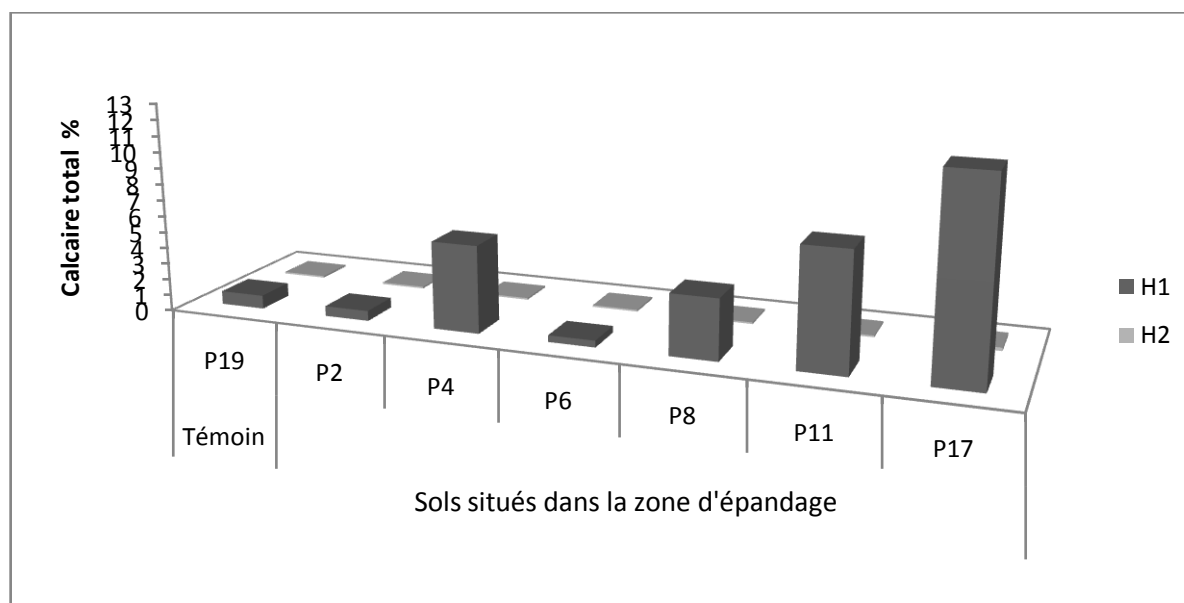
Pour les témoins, les taux de calcaire sont inférieurs à 1,25%, avec une moyenne de 0,72%. En revanche, pour les sols situés dans la zone d'épandage, les taux de calcaire total enregistrés sont en majeure partie supérieurs à 1,66%, et neuf points (plus de la moitié des échantillons) ont présenté des taux supérieurs à 5%, avec un pic enregistré, dépassant les 12%. La moyenne du taux de calcaire total au niveau de ces sols est de 4,73%.

Le taux de calcaire actif pour les neuf points ayant un taux de calcaire total dépassant les 5% est compris entre 3,50 et 10%.



**Figure 79.** Variations des taux du calcaire total et actif en % des sols au sein de l'horizon de surface au niveau du milieu récepteur

Au niveau de l'horizon sous-jacent des sols situés dans la zone d'épandage, aucune augmentation du taux de calcaire n'a été observée, où les valeurs du calcaire total très faibles, demeurent semblables à celle du témoin, qui se limite à 0,1%. Nous citons aussi que la moyenne du taux de calcaire enregistrée pour les sols situés dans la zone d'épandage est de 0,12%.



**Figure 80.** Variations des taux de calcaire total en % des sols en fonction de la profondeur au niveau du milieu récepteur

Du point de vue statistique, le rejet des excédents hydriques a un effet significatif sur l'enrichissement de l'horizon de surface des sols situés dans la zone d'épandage en calcaire total.

Au niveau de l'horizon sous-jacent, aucune différence significative ( $p < 5\%$ ) n'a été constatée entre le taux de calcaire des sols situés dans la zone d'épandage et le taux de calcaire du témoin.

**Tableau 19.** Comparaison des moyennes de taux de calcaire total des sols situés dans la zone de rejet et des sols témoins (test t de Student, test unilatéral)

Paramètres	Horizons	Témoins			Sols situés dans la zone d'épandage			t-value	p% One-sided
		N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type		
CaCO <sub>3</sub> total	H de surface	3	0,72	0,575	16	4,72	3,091	2,18	2,15*
	H sous-jacent	1	0,10	0	6	0,12	0,042	1,00	36,32 NS

N: nombre d'échantillons; t-value: valeur du test t de Student ;  
 NS: non significatif ( $p > 5\%$ ); \* significatif pour  $p < 2,5\%$ .

L'augmentation du taux de calcaire de l'horizon de surface des sols situés dans la zone d'épandage est la conséquence de l'enrichissement de cet horizon en matières en suspension retenues lors de l'infiltration des eaux usées épurées dans le sol. L'accumulation de ces MES qu'on présume qu'elles sont pourvues en calcaire a entraîné un accroissement du taux de calcaire de l'horizon de surface.

Cependant, au niveau de l'horizon sous-jacent, l'absence d'un enrichissement en calcaire est due essentiellement à l'inexistence des MES au sein de cet horizon.

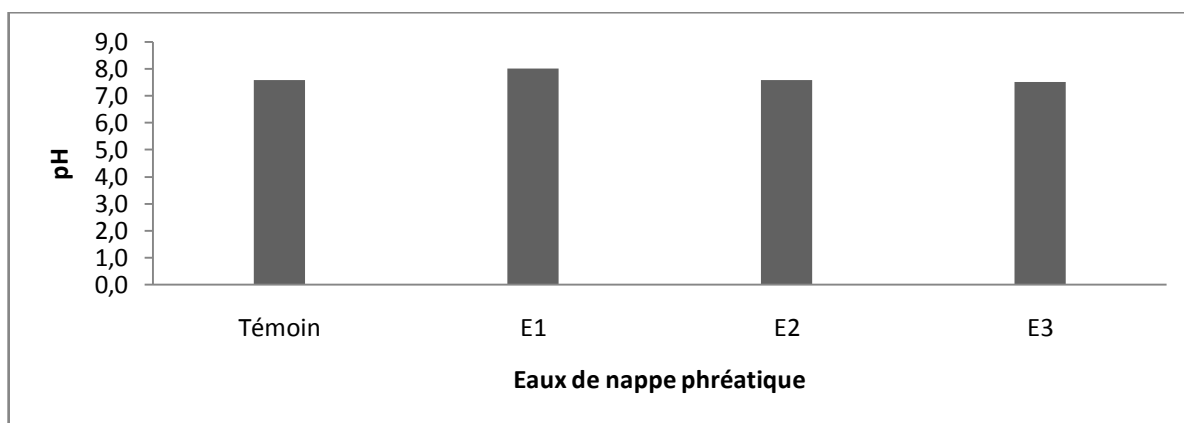
## C. Étude des effets de rejet des excédents hydriques sur la qualité des eaux de la nappe phréatique au niveau du milieu récepteur

Nous rappelons que sous ce titre, nous avons essayé de mettre en évidence l'effet des excédents hydriques qui percolent et rejoignent la nappe phréatique sur la qualité de cette dernière, notamment sa partie supérieure, et ceci en analysant les paramètres suivants : salinité et alcalinité (CE et pH), pollution organique (DCO), pollution azotée (N Kjeldahl) et pollution phosphorée (P total).

### I. Effets sur la salinité et l'alcalinité

#### I.1. Effet sur le pH

Aucun effet considérable des excédents hydriques sur le pH des eaux de la nappe phréatique n'a été observé. En fait, les valeurs du pH des eaux de la nappe situées au dessous de la zone d'épandage ne présentent aucune variation comparées à celle du témoin. Nous soulignons que les valeurs du pH y compris celles du témoin se situent entre 7,50 et 8,01.



**Figure 81.** Effet du rejet des excédents hydriques sur les pH des eaux de la nappe phréatique au niveau du milieu récepteur

Statistiquement, le rejet des excédents hydriques n'a pas un effet significatif ( $p < 5\%$ ) sur le pH des eaux de la nappe phréatique.

**Tableau 20.** Comparaison des moyennes des pH des eaux de nappe située au dessous de la zone d'épandage et du témoin (test t de Student)

Paramètre	Témoin			Eaux de nappe située au dessous de la zone d'épandage			t-value	p%
	Nbre échant	Moyenne	Ecart-type	Nbre échant	Moyenne	Ecart-type		
pH	1	7,58	0	3	7,70	0,274	0,73	53,79 NS

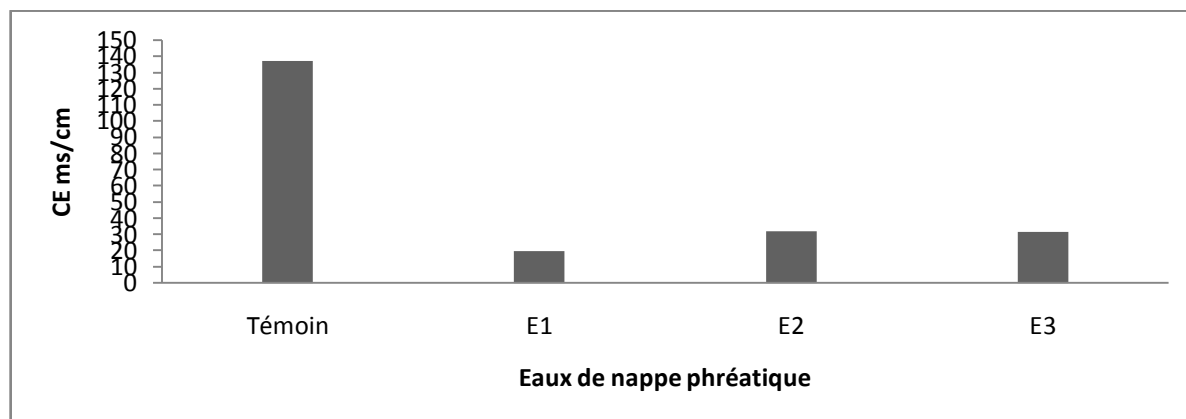
Nbre échant: nombre des échantillons; t-value: valeur du test de Student ;

NS: non significatif ( $p > 5\%$ ); \* significatif pour  $p < 5\%$

L'absence d'un effet remarquable des excédents hydriques sur le pH des eaux de la nappe s'explique par le caractère légèrement alcalin des excédents hydriques similaire à celui des eaux de la nappe.

## I.2. Effet sur la salinité

Une baisse importante de la conductivité électrique des eaux de la nappe a été constatée. Cet effet a été décelé suite aux variations enregistrées entre la valeur de la conductivité du témoin, atteignant 137,00 ms/cm et les valeurs de la conductivité des eaux de la nappe située au dessous de la zone d'épandage, comprises entre 19,77 et 32,10 ms/cm, avec une moyenne de l'ordre de 27,82 ms/cm.



**Figure 82.** Effet du rejet des excédents hydriques sur la conductivité électrique en ms/cm des eaux de la nappe phréatique au niveau du milieu récepteur

Du point de vue statistique, le rejet des excédents hydriques a un effet significatif sur la diminution de la salinité des eaux de la nappe.

**Tableau 21.** Comparaison des moyennes des CE des eaux de nappe recevant les excédents hydriques et du témoin (test t de Student, test unilatéral)

Paramètre	Témoin			Eaux de nappe située au dessous de la zone d'épandage			t-value	p% one-sided
	Nbre échant	Moyenne	Ecart-type	Nbre échant	Moyenne	Ecart-type		
CE	1	137,00	0	3	27,82	6,979	-27,09	0,07**

Nbre échant: nombre des échantillons; t-value: valeur du test de Student ;

NS: non significatif ( $p > 5\%$ ); \* significatif pour  $p < 2,5\%$  ; \*\*significatif pour  $p < 0,5\%$ .

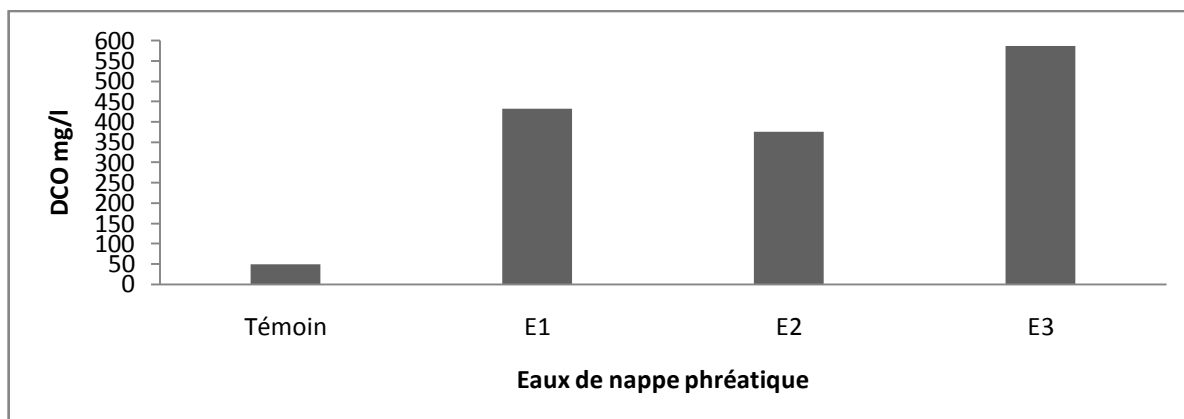
L'importante diminution de la CE des eaux de la nappe est imputée à la dilution des eaux de la nappe -notamment sa partie supérieure- ayant des salinités excessivement élevées par les excédents hydriques beaucoup moins minéralisées.

Nous signalons qu'un effet analogue a été mentionné par FARID et *al*, 1993, et RASHED et *al*, 1995, cités tous les deux in OMS, 2012. Selon l'OMS, 2012, ces auteurs ont constaté que le mélange des eaux usées percolées avec les eaux de la nappe depuis 1915 a conduit à une baisse de la salinité des eaux de cette dernière.

Egalement, MEKNI et *al*, 2012, ont constaté une diminution de la salinité des eaux de la nappe aux alentours les plus proches d'un site de recharge artificielle de la nappe par les eaux usées épurées.

## II. Effet sur la pollution organique

Des valeurs très élevées de la DCO des eaux de la nappe en contact avec les eaux de rejet ont été enregistrées. Ces valeurs sont comprises entre 374,4 et 585,6 mg/l, avec une moyenne de 464 mg/l. Cependant, la valeur de la DCO du témoin n'a pas excédé les 48,7 mg/l.



**Figure 83.** Effet du rejet des excédents hydriques sur la pollution organique (DCO en mg/l) des eaux de la nappe phréatique au niveau du milieu récepteur

Du point de vue statistique, le rejet des excédents hydriques a un effet significatif ( $p < 5\%$ ) sur l'augmentation de la DCO des eaux de la nappe.

**Tableau 22.** Comparaison des moyennes des DCO des eaux de située au dessous de la zone d'épandage et du témoin (test t de Student, test unilatéral)

Paramètre	Témoin			Eaux de nappe située au dessous de la zone d'épandage			t-value	p% one-sided
	Nbre échant	Moyenne	Ecart-type	Nbre échant	Moyenne	Ecart-type		
DCO	1	48,7	0	3	464,0	109,17	6,59	1,11*

Nbre échant: nombre des échantillons; t-value: valeur du test de Student ;

NS: non significatif ( $p > 5\%$ ); \* significatif pour  $p < 2,5\%$

L'augmentation de la DCO des eaux de la partie supérieure de la nappe décèle une pollution d'origine organique. Cette pollution est le résultat du transfert de matière organique par les eaux usées épurées vers la nappe. On note que ce type de transfert de la matière organique par les eaux usées a été signalé par BEAUCHAMP et VERNE, 2006.

Egalement, EL ASSLOUJ et *al*, 2007, ont constaté que les eaux usées en percolant vers la nappe phréatique ont entraîné des quantités considérables de matière organique. Ces auteurs témoignent que les valeurs de DCO des eaux de la nappe ont atteint des valeurs comprises entre 336 et 457 mg/l. Ces valeurs sont plus importantes par rapport à celles des témoins oscillant entre 50 et 100 mg/l.

Nous soulignons aussi que cette pollution a été favorisée par :

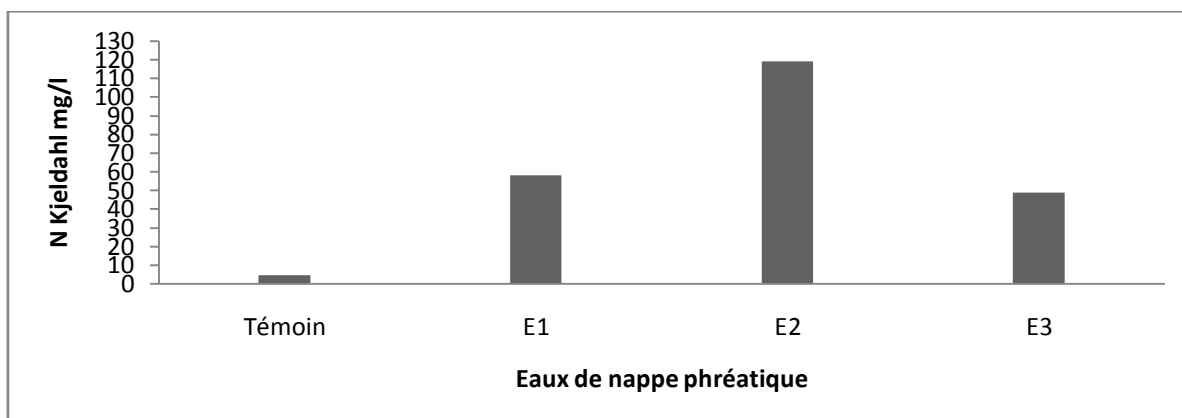
- ❖ la perméabilité et la porosité des sols ;
- ❖ la faible profondeur des sols ;

- ❖ le niveau élevé de la nappe (BEAUCHAMP et VERNE, 2006) ;
- ❖ le volume des eaux usées épurées atteignant la nappe ;
- ❖ la concentration en matière organique des eaux usées épurées.

### III. Effet sur la pollution azotée

Le dosage de l'azote Kjeldahl discerne un enrichissement en azote au niveau des eaux de la nappe situées au dessous de la zone recevant les excédents hydriques.

A titre comparatif, les teneurs en azote des eaux de la nappe en contact avec les excédents hydriques se situent entre 49 et 119 mg/l, avec une moyenne de 75,33 mg/l. Cependant, la valeur du témoin est égale seulement à 4,9 mg/l.



**Figure 84.** Effet du rejet des excédents hydriques sur l'accroissement des taux d'azote Kjeldahl en mg/l des eaux de la nappe phréatique au niveau du milieu récepteur

Cependant, du point de vue statistique et sur la base de nos données, le rejet des excédents hydriques n'a pas un effet significatif ( $p < 5\%$ ) sur l'augmentation des teneurs en azote des eaux de la nappe.

Cette non signification est due essentiellement à la grande variabilité enregistrée entre les teneurs en azote des eaux de la nappe phréatique située au dessous de la zone d'épandage, et aussi au nombre réduit des échantillons analysés, avec un nombre légèrement élevé, un résultat significatif peut être enregistré.

**Tableau 23.** Comparaison des moyennes des teneurs en azote Kjeldahl des eaux de nappe située au dessous de la zone d'épandage et du témoin (test t de Student, test unilatéral)

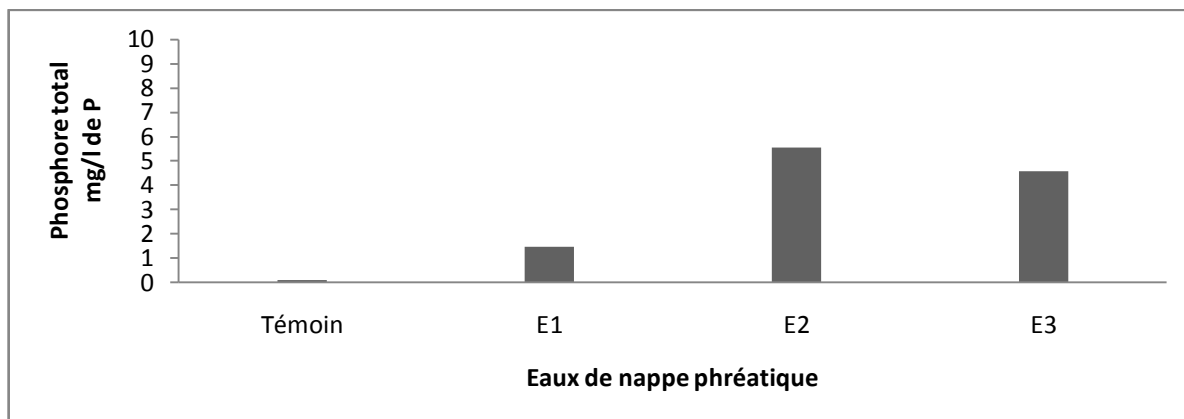
Paramètre	Témoin			Eaux de nappe située au dessous de la zone d'épandage			t-value	p%
	Nbre échant	Moyenne	Ecart-type	Nbre échant	Moyenne	Ecart-type		
N Kjeldahl	1	4,9	0	3	75,33	38,08	3,20	8,52 NS

Nbre échant: nombre des échantillons; t-value: valeur du test de Student ;  
NS: non significatif ( $p > 5\%$ ).



#### IV. Effet sur la pollution phosphorée

Les teneurs en phosphore total des eaux de la nappe phréatique situées au dessous des sols recevant les excédents hydriques sont plus importantes que celle du témoin. Les premières oscillent entre 1,46 et 5,54 mg/l de P, avec une moyenne qui atteint 3,86 mg/l, tandis que la dernière n'est que de 0,09 mg/l.



**Figure 85.** Effet du rejet des excédents hydriques sur l'accroissement des teneurs en phosphore total en mg/l de P des eaux de la nappe phréatique au niveau du milieu récepteur

En effet, du point de vue statistique et à la lumière de nos résultats, le rejet des excédents hydriques n'a pas un effet significatif ( $p < 5\%$ ) sur l'augmentation des teneurs en phosphore total des eaux de la nappe phréatique.

La non signification du test est due essentiellement à la grande variabilité enregistrée entre les teneurs en phosphore des eaux de la nappe phréatique située au dessous de la zone d'épandage, et aussi au nombre très réduit des échantillons analysés, avec un nombre légèrement élevé, un résultat significatif peut être enregistré.

**Tableau 24.** Comparaison des moyennes des teneurs en phosphore total des eaux de nappe située au dessous de la zone d'épandage et du témoin (test t de Student, test unilatéral)

Paramètre	Témoin			Eaux de nappe située au dessous de la zone d'épandage			t-value	p%
	Nbre échant	Moyenne	Ecart-type	Nbre échant	Moyenne	Ecart-type		
P total	1	0,10	0	3	3,86	2,129	3,061	9,32 NS

Nbre échant: nombre des échantillons; t-value: valeur du test de Student ;  
NS: non significatif ( $p > 5\%$ ).

## Conclusion

L'étude des effets de l'élimination des eaux usées épurées sur l'environnement, précisément les sols du site de réutilisation, les sols et la nappe phréatique du milieu récepteur a été entamée en une campagne d'échantillonnage pour chaque site.

Au niveau du site de réutilisation, 12 parcelles ont été échantillonnées dont 3 parcelles non irriguées et 9 autres irriguées, avec les eaux usées épurées et plantées en palmiers dattiers. Les prélèvements de sols ont été effectués suivant trois niveaux de profondeurs, à savoir : le premier niveau se situe entre 0-40cm, le deuxième niveau entre 40-80cm et le troisième niveau entre 80-120cm.

Aussi, une caractérisation de l'eau usée épurée réutilisée en irrigation a été réalisée. Les prélèvements ont été effectués au sein d'une parcelle irriguée avec cette eau.

Au niveau du milieu récepteur dit sebkhat Safioune, des prélèvements des eaux rejetées, des sols et des eaux de la nappe phréatique ont été effectués au sein d'une station présumée très influencée par les excédents hydriques (eaux usées épurées et eaux de drainage).

Pour les sols, en plus des 16 échantillons prélevés au sein de la dite station, trois autres témoins situés hors de la zone d'épandage ont été prélevés. Les prélèvements de sols ont concerné l'horizon supérieur pourvu en matière organique et l'horizon sous-jacent.

Pour les eaux de la nappe phréatique, 3 échantillons au sein de la station d'échantillonnage et un témoin hors de la zone d'épandage ont été prélevés.

Pour les eaux rejetées, 4 échantillons ont été prélevés en aval du point de confluence des eaux usées épurées avec les eaux de drainage.

Cette recherche nous a permis de discerner les effets engendrés suite à l'élimination des eaux usées épurées (soit par rejet dans le milieu récepteur ou par réutilisation en irrigation) sur les sols des sites d'épandage et la nappe phréatique au niveau du milieu récepteur.

### Au niveau du site de réutilisation

L'analyse de la qualité de l'eau usées réutilisée en irrigation a décelé que cette eau a un pH légèrement alcalin, une salinité élevée, dépassant les 12,60 ms/cm, un pouvoir alcalinisant fort et un faciès salin chloruré sodique. Aussi, l'analyse a montré que cette eau contient des teneurs non négligeables en matière organique, en azote et en phosphore total.

Les sols de ce site sont des sols ayant des textures sableuses, des pH moyennement alcalins et des teneurs très faibles en calcaire.

L'irrigation avec ces eaux a engendré des baisses très considérables des concentrations des ions solubles, et par conséquent des baisses importantes de la salinité. Cette baisse a été constatée au niveau de toute la colonne du sol échantillonnée. Ainsi, les profils salins de ces sols confirment la prédominance des mouvements descendants des sels.

Concernant la conductivité électrique, l'irrigation avec les eaux usées épurées a un effet évident sur la diminution des valeurs de ce paramètre. Comparés aux témoins non irrigués

ayant des  $CE_{1/5}$  importantes (entre 9 et 25 ms/cm), les sols irrigués ont des  $CE_{1/5}$  comprises généralement entre 2 et 3 ms/cm.

Globalement, les quantités de sels solubles entraînés par les eaux d'irrigation sont importantes. Cependant, une dissimilitude a été observée entre les quantités entraînées par ion soluble.

L'entraînement des ions sodium, magnésium et chlorures est important, et les quantités restantes dans les solutions des sols irrigués sont inférieures à 7 méq/l pour les ions sodium et chlorures, et à 8 méq/l pour les ions magnésium. Par contre, les sols non irrigués contiennent entre 56 et 195 méq/l pour les ions sodium et chlorures, et entre 26 et 56 méq/l pour l'ion magnésium.

En revanche, l'entraînement des ions calcium et sulfates est moins important et les quantités restantes dans les solutions des sols irrigués se situent entre 24 et 33 méq/l. Quant aux sols non irrigués, ils renferment entre 35 et 40 méq/l pour les ions calcium, et entre 61 et 97 méq/l pour les ions sulfates.

Les changements de la composition chimique des solutions des sols qui ont pris place après l'irrigation ont engendré des modifications des faciès salins de ces sols, qui étant initialement chlorurés sodiques ; ces faciès ont évolué après irrigation vers des faciès hyper-sulfatés calciques.

Aussi, ces changements ont réduit considérablement le SAR des sols irrigués, conduisant ainsi à l'élimination de leur caractère sodique. Comparés aux  $SAR_{1/5}$  des sols non irrigués, compris entre 10 et 25, les  $SAR_{1/5}$  des sols irrigués ne dépassent pas le taux de 2.

Enfin, pour la matière organique, malgré les apports continus par les eaux d'irrigation, aucune augmentation du taux de carbone organique des sols irrigués n'a été constatée. Paradoxalement, la moyenne enregistrée pour les témoins non irrigués qui est de 0,08% est légèrement supérieure à celle enregistrée pour les sols irrigués qui est de 0,07%.

### **Au niveau du milieu récepteur**

L'analyse de la qualité des eaux rejetées révèle que ces eaux ont des pH alcalins, des salinités élevées, situées entre 14 et 20 ms/cm, des taux de SAR élevés, compris entre 10 et 16, des faciès anioniques chlorurés, avec une disposition très proche du faciès sulfaté et des faciès cationiques équilibrés, où aucun cation ne prédomine. Aussi, ces eaux renferment des teneurs non négligeables en matière organique, azote et phosphore total.

Les sols du site de rejet sont des sols ayant des textures sablo-limoneuses ou limono-sableuses et des pH moyennement alcalins.

L'évolution de la salinité, de la composition en ions solubles et de la sodicité des sols situés dans la station d'étude est passée par deux phases bien distinctes : une première phase s'est déroulée avant la régression des excédents hydriques (eaux usées épurées et eaux de drainage), et une deuxième phase après la régression des excédents hydriques.

Durant la phase précédant la remontée de la nappe phréatique jusqu'en surface et la régression des excédents hydriques de la station d'étude, le rejet de ces excédents a engendré un

lessivage des sels et par conséquent des baisses de concentrations des ions solubles et des diminutions de la salinité de l'horizon de surface ; et l'horizon sous-jacent des sols de la station d'étude. Cependant, et dès le début de la régression des eaux de rejet de la station d'étude, une salinisation des horizons de surface et sous-jacent de ces sols est amorcée. Ainsi, les profils salins de ces sols confirment la prédominance des mouvements ascendants des sels.

Le déclenchement de la salinisation de ces sols est la conséquence d'une mobilisation des sels par remontée capillaire, favorisée par la forte évaporation et le niveau de la nappe phréatique proche de la surface du sol.

Concernant la conductivité électrique et malgré leur salinisation après la régression des excédents hydriques, les sols situés dans la station d'étude ayant des  $CE_{1/5}$ , situées entre 3,0 et 17,5 mmhos/cm demeurent moins salés que les témoins qui ont des  $CE_{1/5}$  beaucoup plus élevées (entre 25 et 42 ms/cm).

Une variabilité spatiale de la salinité des horizons de surface et sous-jacent des sols situés dans la station d'étude a été remarquée. Au niveau de certains points, les  $CE_{1/5}$  ont des valeurs relativement faibles, comprises généralement entre 3,0 et 5,5 mmhos/cm. En revanche, au niveau des autres points, les  $CE_{1/5}$  ont atteint des valeurs plus importantes, arrivant dans la plupart des cas à des valeurs, comprises entre 12 et 17,5 mmhos/cm.

L'importance du degré de salinisation des sols situés dans la station d'étude a été relative au temps de régression des excédents hydriques au niveau de cette zone, où les parties ayant connu des régressions récentes sont celles qui incluent les sols de faible salinité. En contrepartie, les sols plus salés sont ceux situés dans des parties ayant connu des régressions plus anciennes, et par conséquent un temps de salinisation plus étendu.

Les concentrations de sels solubles contenus dans les solutions de sols situés dans la station d'étude sont significativement inférieures à celles enregistrées pour les témoins. Toutefois et similairement au cas des  $CE_{1/5}$ , une certaine variabilité a été constatée entre les différents points situés dans cette station.

Nous précisons que les sommes des cations ou anions solubles des points situés dans des zones ayant connu des régressions récentes des excédents hydriques sont comprises entre 44,37 et 67,39 méq/l. Cependant, dans le cas des points situés dans des zones ayant connu des régressions plus anciennes des excédents hydriques, les sommes des cations ou anions solubles sont plus importantes, et leurs valeurs oscillent entre 85,42 et 168,40 méq/l. A titre comparatif, nous signalons que les sommes des cations ou des anions solubles des témoins fluctuent entre 283,77 et 486,70 méq/l.

Les concentrations des ions sodium et chlorures au niveau des points situés dans des zones ayant connu des régressions récentes des excédents hydriques et ayant des  $CE_{1/5}$  inférieures à 5,5 ms/cm sont inférieures à 27 méq/l. Cependant, dans le cas des points situés dans des zones ayant connu des régressions plus anciennes et ayant des  $CE_{1/5}$  situées entre 7,0 et 14,5 ms/cm, les concentrations sont plus importantes, et sont comprises entre 36,00 et 109,04 méq/l. Toutefois, nous précisons que ces teneurs sont inférieures à celles des témoins, se situant entre 204,77 et 375,65 méq/l.

Pour les concentrations des ions calcium, elles sont relativement faibles au niveau des différents points situés dans la station d'étude. Ainsi, les teneurs en calcium soluble oscillent

entre 24,50 et 35,00 méq/l, ne sont pas très éloignées de celles des témoins, situées entre 44,50 et 56,75 méq/l.

Egalement, les concentrations des ions magnésium sont relativement faibles. Pour les sols situés dans la zone d'épandage, elles sont inférieures à 23 méq/l. Ces teneurs sont modérément inférieures à celles des témoins, situées entre 32,00 et 44,50 méq/l.

Pour les sulfates, les concentrations en ces ions au niveau des points situés dans les zones ayant connu des régressions récentes des excédents hydriques, et ayant des  $CE_{1/5}$  inférieures à 5,5 ms/cm, sont situées entre 37,90 et 46,39 méq/l. D'autre part, au niveau des points situés dans des zones ayant connu des régressions plus anciennes des excédents hydriques et ayant des  $CE_{1/5}$  situées entre 7,0 et 14,5 ms/cm, les concentrations sont plus importantes et sont comprises entre 48,71 et 70,90 méq/l. Cependant, nous précisons que les teneurs enregistrées pour les témoins sont situées entre 82,35 et 110,20 méq/l.

Les variabilités enregistrées dans l'évolution de la composition chimique des solutions des sols ont engendré des évolutions divergentes des faciès salins des sols situés dans la zone d'épandage. Etant initialement chlorurés sodiques, ces faciès ont évolué, soit vers des faciès sulfatés calciques ou équilibrés pour les points possédant de faibles concentrations en sodium et chlorures, soit vers des faciès anioniques chlorurés sulfatés, sulfatés chlorurés ou sulfatés pour les points possédant des concentrations plus importants en chlorures. Quant au faciès cationique, aucun changement n'a été observé pour les points possédant des concentrations plus importants en sodium.

La divergence des teneurs en sodium au niveau des solutions des sols a engendré des divergences des taux d'adsorption de sodium des sols situés dans la zone d'épandage. Situés entre 33,10 et 52,80 pour les témoins, les taux du  $SAR_{1/5}$  ont diminué au dessous de 6,00 pour les points ayant des concentrations relativement faibles en sodium. En revanche, pour les points contenant des teneurs en sodium plus importantes, les taux du  $SAR_{1/5}$  sont plus élevés et les valeurs sont comprises entre 9,92 et 21,13.

Pour la matière organique, l'hydromorphie de l'horizon de surface a provoqué un ralentissement de la minéralisation des composés organiques véhiculés par les eaux usées épurées, et par conséquent, elle a conduit à son accumulation. Cette accumulation s'est manifestée par une augmentation du taux de matière organique de l'horizon de surface des sols situés dans la zone d'épandage, présentant des valeurs situées entre 0,50 et 3,03%. En revanche, le taux de matière organique des témoins n'a pas excédé 0,27%.

Enfin, un enrichissement de l'horizon de surface des sols situés dans la zone d'épandage en calcaire a été enregistré, avec des taux de calcaire total, oscillant en majorité entre 1,66 et 12,09%, significativement supérieurs à ceux des témoins, compris entre 0,1 et 1,25%.

### **Pour la nappe phréatique située au niveau du milieu récepteur**

En plus de la diminution de la salinité des eaux de la nappe phréatique situées en dessous de la zone d'épandage, le rejet des excédents hydriques a engendré une pollution en matière organique.

La dilution des eaux de la nappe phréatique anormalement salées, par les eaux de rejet est le premier effet enregistré. Cette dilution a abaissé la CE des eaux de nappe phréatique, dépassant les 130ms/cm avant le rejet à des valeurs inférieures à 32ms/cm.

D'autre part, les valeurs de la DCO reflètent clairement la pollution organique des eaux de la nappe phréatique par les excédents hydriques. Ces valeurs oscillant entre 374,4 et 585,6 mg/l sont beaucoup plus importantes que celle du témoin, se situant à 48,7 mg/l.

Corollairement, cette pollution organique a engendré des élévations des concentrations d'azote et du phosphore. La percolation des excédents hydriques pourvus en azote et en phosphore a augmenté les teneurs des eaux de la nappe phréatique en ces éléments à des valeurs, se situant entre 49,0 et 119,0 mg/l pour l'azote Kjeldahl, et entre 1,47 et 5,55 mg/l de P pour le phosphore total. Cependant, les teneurs du témoin n'excèdent pas les 4,9 mg/l pour l'azote Kjeldahl et 0,10 mg/l pour le phosphore total. Toutefois, nous soulignons que les élévations des teneurs des eaux de la nappe phréatique en azote et en phosphore sont statistiquement non significatives.

# **CONCLUSION GENERALE**



## CONCLUSION GENERALE

Notre travail de recherche ayant comme objet l'étude de la gestion des eaux usées épurées de la cuvette de Ouargla et l'appréciation des risques de dégradation des milieux hydro-édaphiques au niveau de quelques sites d'épandage de ces eaux, nous a permis de présenter les principaux résultats, et dégager les enseignements essentiels.

Actuellement, la gestion des eaux usées de la cuvette de Ouargla repose essentiellement sur : le développement de l'assainissement collectif par la remise à niveau et l'extension du réseau de collecte, l'épuration des eaux usées, puis l'élimination de ces eaux par rejet dans la nature.

Cette politique de gestion des eaux usées a amélioré profondément la salubrité de l'environnement urbain.

D'une part, la remise à niveau et l'extension du réseau d'assainissement collectif ont conduit à éradiquer les énormes mares d'eaux usées, stagnant pratiquement en permanence dans les quartiers populaires. D'autre part, l'épuration a engendré la suppression des nuisances générées suite au déversement des eaux usées sans traitement dans le milieu naturel.

La dite épuration garantie par la STEP de Ouargla a généré des volumes considérables d'eaux usées épurées. Nous pouvons souligner que dès la mise en marche de l'installation d'épuration, plus de 35.000 m<sup>3</sup> d'effluents épurés sont rejetés chaque jour hors de cette STEP.

Le déversement de ces volumes d'eaux usées épurées au niveau de l'ancien site de rejet (sebkhat Oum Erraneb), va constituer sans aucun doute une sérieuse menace sur l'environnement. Nous rappelons que ce site a montré une capacité d'absorption limitée, ce qui s'est traduit par l'apparition d'importantes nuisances, résultant essentiellement des débordements des eaux en dehors du site.

En revanche, ces volumes d'effluents épurés représentent un gisement important en eau et en éléments nutritifs, qui, s'ils sont réutilisés raisonnablement auront certainement des retombées très bénéfiques sur le développement de l'agriculture oasienne et son environnement.

Ces considérations ont amené les pouvoirs publics à adopter une stratégie de gestion des effluents épurés, visant à moyen terme leur mobilisation au profit de l'agriculture dans une perspective de durabilité. Ce choix constitue une alternative judicieuse, car la réutilisation de ces effluents pour l'irrigation, si elle est bien maîtrisée, en plus des apports continus en eau et éléments fertilisants qu'elle procure aux cultures, constitue du point de vue environnemental l'approche d'élimination des eaux usées épurées la plus sûre (FAO, 2003).

Cependant, à court terme et dans la perspective de l'achèvement de la formulation et la promulgation de la réglementation en rapport, l'organisation du cadre institutionnel et la réalisation des actions indispensables pour une réutilisation sans risques, la quasi-totalité de ces eaux, excepté un volume restreint réutilisé en irrigation au niveau de quelques sites informels, sera rejetée au niveau de sebkhat Safioune, reconnue comme étant un site de grande capacité d'absorption (environ 10000 ha), éloigné de l'agglomération (distante d'environ 40km) et isolée.

Pour bien gérer le mécanisme de rejet des eaux usées épurées, un canal de transfert de plus de 40km de longueur a été construit pour acheminer les eaux épurées et de drainage vers le milieu récepteur qui est sebkhat Safioune. Ce canal imperméabilisé évite toute infiltration de ces eaux au sein des terrains qui les parcourent.

Aussi, au sein du milieu récepteur, un site de 2500 ha a été aménagé pour recevoir les eaux usées épurées ainsi que les eaux de drainage.

D'autre part, et dans l'optique de généraliser la réutilisation des eaux usées épurées, des ouvertures permettant le pompage de ces eaux sont parsemées tout au long du canal.

Cette action a eu comme effet la création à quelques centaines de mètres au nord de la STEP de Ouargla d'un site de réutilisation « informel », renfermant plus d'une vingtaine de parcelles situées de part et d'autre du canal, dont la grande partie est irriguée avec les eaux usées épurées issues de la dite STEP.

Des prospections réalisées au niveau de ce site, nous ont permis de discerner ses particularités. Le site est d'une superficie totale d'environ 100 ha, contenant des parcelles nivelées, clôturées, nues ou plantées essentiellement de palmiers dattiers, avec une superficie irriguée avec les EUE, n'excédant pas les 25 ha, mais qui prend de l'extension.

Aussi, des enquêtes réalisées au profit des agriculteurs irrigants avec ces eaux sur la gestion de la réutilisation des EUE en irrigation, la perception des agriculteurs des risques de la réutilisation et la gestion de ces risques par les structures impliquées dans ce domaine ont révélé que la réutilisation des EUE en irrigation se fait de façon informelle, et elle est ni organisée, ni contrôlée. Concernant la perception des risques de la réutilisation, la majorité des agriculteurs pensent que l'irrigation avec ces eaux ne présente aucun risque. Au sujet de la gestion des risques de la réutilisation, aucune structure impliquée n'est présente pour gérer ces risques. Nous imputons cela au caractère informel de cette réutilisation.

Nos investigations de terrain complétées par un travail d'échantillonnage et d'analyses au laboratoire focalisé sur l'évaluation de l'impact de l'épandage des eaux usées épurées sur la qualité des sols du point de vue salinisation, alcalinisation et enrichissement en matière organique, et sur la qualité de la nappe phréatique du point de vue salinisation, pollutions organique, azotée et phosphorée, ont décelé que l'épandage des eaux usées épurées a généré des effets positifs, et d'autres négatifs au sein des sites qui les reçoivent.

Au sein du milieu récepteur, les rejets des eaux usées épurées et de drainage ont généré un plan d'eau de 600ha de superficie environ. Cela a contribué à atténuer la stérilité du milieu récepteur et à créer des conditions favorables à l'installation d'une avifaune et d'une flore, poussant sur les sols les moins salés.

D'autre part, le rejet journalier des volumes considérables d'excédents hydriques a provoqué la remontée de la nappe phréatique jusqu'à la surface du sol au sein de la zone d'épandage.

Cette remontée de la nappe phréatique a créé un milieu hydromorphe permanent saturant les sols dès la surface. Cette hydromorphie a réduit énormément le pouvoir des sols (notamment ceux contigus au plan d'eau), à épurer la matière organique déposée, soit à la surface ou au sein des sols. En créant des conditions d'anaérobie, la minéralisation de la matière organique a été ralentie suite à la perturbation de l'activité microbienne aérobie. Par conséquent, les

réactions de fermentation moins efficaces vis-à-vis de la décomposition de la matière organique se sont déclenchées, ce qui a provoqué une accumulation de cette matière organique. Cette voie d'évolution de la matière organique a généré des nuisances olfactives, et potentiellement l'atmosphère peut être polluée suite au dégagement des gaz issus de la fermentation.

Egalement, nous avons constaté que les eaux de rejet, notamment les eaux usées épurées en percolant en profondeur ont véhiculé différents polluants (matière organique, azote, phosphore), ce qui a altéré la qualité de la nappe phréatique.

En plus, le rejet des excédents hydriques a généré des modifications de la qualité des sols : la diminution de la salinité et du pouvoir alcalinisant des sols, ainsi que l'enrichissement des horizons de surface en matière organique et en calcaire sont les changements que nous avons pu constater au sein de notre station d'étude. Cependant, suite à la régression des excédents hydriques au delà de notre station d'étude et la cessation du lessivage, une salinisation des sols engendrée sous l'effet de l'ascension capillaire a été enregistrée.

Au niveau du site de réutilisation susmentionné, une forte diminution de la salinité et du pouvoir alcalinisant des sols irrigués a été constatée. Pour la matière organique, aucun effet remarquable dû à l'irrigation avec les eaux usées épurées n'a été enregistré.

La diminution de la salinité est le résultat de la pratique des doses abondantes d'irrigation au niveau des sols du site reconnu comme étant des sols filtrants. Ce fait a engendré des entraînements importants des sels solubles en profondeur. Cette pratique, quoiqu'elle a lessivé les sols sur une profondeur atteignant 120 cm, mais en revanche, elle a eu une forte incidence sur le phénomène de la remontée de la nappe phréatique, où leurs conséquences ont commencé à se manifester en surface dans les basses topographies, proches du canal de transfert, notamment celles situées au nord du site.

La désalinisation des sols irrigués a été très poussée ; aussi le lessivage des ions sodium, magnésium, potassium et chlorures l'a été. Cependant, celui des ions calcium et sulfates a été modéré.

Cet entraînement sélectif a engendré une évolution des faciès salins des sols irrigués, initialement chlorurés sodiques vers le pôle sulfaté calcique. Aussi, il a engendré des baisses des taux de SAR<sub>1/5</sub> à des valeurs très faibles, et par conséquent, il a conduit à la suppression du caractère sodique de ces sols.

En guise de conclusion, nous pouvons souligner que les eaux usées épurées représentent un gain pour l'agriculture saharienne dont on doit en tirer le maximum de profit.

Aussi, il est utile de signaler que certes la gestion actuelle des eaux usées épurées a engendré des effets avantageux sur plusieurs plans. Toutefois, ces eaux ont entraîné aussi des effets négatifs et des nuisances au niveau des sites récepteurs. Pour cela, il est nécessaire de proposer des actions pour les éliminer.

Au niveau du milieu récepteur et en vue d'éliminer les impacts négatifs engendrés, la meilleure solution est de réduire, voire même éliminer les rejets des eaux usées épurées vers ce site. Ceci sera réalisé par la création de sites irrigués avec les effluents épurés. En

réutilisant massivement ces effluents en amont, le volume des effluents épurés atteignant le milieu récepteur diminue, ce qui favorise la préservation du milieu récepteur.

Au niveau des sites de réutilisation et en vue d'éliminer les impacts négatifs engendrés et les risques potentiels, la réutilisation doit être gérée conformément à la réglementation algérienne.

Egalement, il faut noter que malgré les effets positifs de l'irrigation avec les eaux usées épurées sur la diminution de la salinité et du pouvoir alcalinisant des sols irrigués, la réutilisation de l'eau usée épurée pour l'irrigation demeure une source de risques sur les sols, la nappe, les cultures et les irrigants. Egalement, la salinité de l'eau est excessivement élevée, dépassant le seuil de tolérance de la plupart des cultures, ce qui limite grièvement le choix des cultures. Aussi, son utilisation apporte aux sols irrigués des quantités importantes en sels nécessitant d'être toujours lessivés, ce qui requiert des fractions de lessivage importantes pour entraîner ces sels en profondeur, qui avec le temps engendre la remontée de la nappe à un niveau entravant la croissance des cultures. En plus de la salinité, la contenance de germes pathogènes peut affecter la santé des irrigants et la richesse en éléments nutritifs (azote notamment) aggravent les risques.

Pour atténuer les effets négatifs et éliminer les risques potentiels de l'irrigation avec ces eaux, nous préconisons les recommandations suivantes :

- ❖ L'irrigation exclusive avec les eaux épurées est à proscrire, faute d'un traitement tertiaire approprié. Le mélange de l'eau réutilisée en irrigation avec des eaux conventionnelles moins salées est recommandé. Le mélange calculé avec des eaux claires et moins salées procure aux agriculteurs des effluents moins salés et plus clairs. En plus, il élargit l'éventail des cultures à irriguer, réduit leurs risques microbiologiques et leurs mauvaises odeurs. Ceci incite certainement les agriculteurs dubitatifs à les utiliser ;
- ❖ La réalisation d'un réseau de drainage au niveau des sites irrigués pour prévenir la remontée de la nappe phréatique ;
- ❖ La sensibilisation des agriculteurs des risques de la réutilisation des eaux usées épurées et la vulgarisation des directives de bonnes pratiques de la réutilisation des eaux usées épurées, et ceci malgré le caractère informel de cette réutilisation ;
- ❖ La programmation des suivis de la qualité des sols irrigués, des cultures et de la nappe, avec un suivi sanitaire périodique des agriculteurs réutilisant ces eaux.
- ❖ Concernant les éléments traces métalliques, nous supposons que les concentrations des eaux usées épurées en ces éléments ne présentent aucun risque du fait de l'inexistence d'une industrie lourde raccordée au réseau d'assainissement de l'agglomération. Aussi, la réaction basique des sols irrigués est capable d'immobiliser les éventuels métaux existants. Toutefois, une caractérisation des eaux usées épurées et un suivi de la qualité des sols irrigués demeurent des nécessités.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABBOU S., 2010.** Réutilisation des eaux usées épurées. Centre de formation aux métiers d'assainissement. Office National d'Assainissement.
- ADLER E., 2005.** Éléments sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement. ENTPE.
- AHT GROUP., 2009.** Identification et élimination des goulets d'étranglement pour l'utilisation des eaux usées dans le cadre de l'irrigation ou autres usages.
- AMMOUR F et TOUIL Y., 2007.** Études des possibilités de la réutilisation des eaux de drainage dans la cuvette de Ouargla. Journées scientifiques de traitement et réutilisation des eaux. 3 avril 2007, MVRE/ENSH.
- ANRH., 2005.** Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la wilaya de Ouargla. Ouargla.
- ASKRI B et BOUHLILA R., 2010.** Evolution de la salinité dans une oasis moderne de la Tunisie. Revue Etude et Gestion des Sols. Volume 17, 3-4. pp 197-212.
- AUBERT G., 1978.** Méthodes d'analyses des sols. Edition CRDP. Marseille
- AYERS R.S et WESTCOT D.W., 1985.** La qualité de l'eau en agriculture. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage, n° 29 Rev 1. Edition FAO. Rome. 174 p.
- AYERS R.S., 1977.** Quality of water for irrigation. Journal of irrigation and drainage. ASAE 103. 135-154 p.
- BAIZE D., 2000.** Guide des analyses en pédologie choix- expression- présentation- interprétation. Edition INRA. France. 247p.
- BALLAIS J L., 2010.** Des oueds mythiques aux rivières artificielles: l'hydrographie du bas Sahara Algérien. Géographie physique et environnement. Vol IV.
- BAUMONT S., CAMARD J.P., LEFRANC A et FRANCONI A., 2004.** Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS (Observatoire régional de santé d'Ile-de-France), France.
- BEAUCHAMP J et VERNE J., 2006.** Qualité et pollution des eaux souterraines.
- BELAID N., 2010.** Évaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques. Thèse de Doctorat en chimie et microbiologie de l'eau. Université de Sfax. Tunisie.
- BENABDALLAH S et NEUBERT S., 2003.** La réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie. Institut Allemand de Développement Bonn.Allemagne.
- BERNE F et CORDONIER J., 1991.** Traitement des eaux. Edition Technip.
- BG., 2004.** Études d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation: Mesures de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission II. Lausanne.
- BG., 2003.** Études d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation: Mesures de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Volet étude d'impact sur l'environnement mission IIB : caractérisation environnementale de la situation actuelle. Lausanne.
- BLIEFERT C et PERRAUD R., 2001.** Chimie de l'environnement Air, Eau, Sols, Déchets. Edition De Boeck université Bruxelles. Belgique.
- 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.
- BOIS G., 2005.** Écophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et sodique. Thèse de doctorat en sciences forestières. Faculté de foresterie et géomatique. Université Laval. Canada.

- BOUZID., 2013.** Liste non exhaustive des espèces aviaires installées à sebkhat Safioune.
- BRADAI A., DOUAOUI A et MARLET S., 2008.** Qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols dans la plaine du Bas-Chellif, Algérie. Acte du quatrième atelier régional du projet SIMA, Mostaganem, Algérie, 26-28 mai, 2008. 7p.
- BRL., 2011.** Réutilisation des eaux usées traitées -perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action. Rapport final. Agence Française de Développement.
- CEAEQ (Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec), 2008.** Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales. Cahier 1 Généralités. Québec.
- CEAEQ (Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec), 2008.** Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales. Cahier 2 Échantillonnage des rejets liquides. Québec.
- CEAEQ (Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec), 2008.** Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales. Cahier 5 Échantillonnage des sols. Québec.
- CHERFOUH R., 2010.** Saline water use: effects on soil salinity and alfalfa production under date palms in the Algerian Oasis.
- Commission Européenne., 2001.** Guide des procédés extensifs d'épuration des eaux usées, adaptés aux petites et moyennes collectivités. Office des publications officielles des communautés européennes. Luxembourg.
- C.R.A.A.Q (Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec), 2005.** Guide de référence en fertilisation. Edition C.R.A.A.Q, Sainte-Foy. 294 p.
- DAPE (Direction d'Assainissement et de Protection de l'Environnement /MRE), 2013.**
- DEGREMONT., 2005.** Mémento technique de l'eau. Tome 1. 10<sup>ème</sup> édition.
- DEGREMONT., 1978.** Mémento technique de l'eau : 8<sup>ème</sup> édition. Edition Technique et Documentation Lavoisier.
- DMRE (Direction de la Mobilisation des Ressources en Eau /MRE), 2013.** Bilan Semestriel 2013.
- DPAT (Direction de Planification et de l'Aménagement de Territoire), 2005.** Bilan des productions agricoles (de 1986/1987 à 2003/2004).
- DUCHAUFOR Ph ., 1983.** Pédogénèse et classification. 2<sup>ème</sup> édition. Masson. Paris. 466p..
- DURAND J.H ., 1973.** Utilisation des eaux salines pour l'irrigation. Institut national de la recherche agronomique, CRA du Sud-Ouest - Domaine de la Grande Ferrade 33 - Pont-de-la-Maye.
- DURAND J.H., 1961.** Travaux des sections pédologie et agrologie, Bulletin n°7, Contribution à l'étude des sols irrigués III - Le besoin en eau des plantes, aspect pédologique. Direction de l'hydraulique et de l'équipement rural, service des études scientifiques. Imp. Imbert - 26, rue Hoche, Alger.
- DURAND J.H., 1960.** Travaux des sections pédologie et agrologie, Bulletin n°6, Contribution à l'étude des sols irrigués I - L'évolution des sols sous l'influence de l'irrigation. Direction de l'hydraulique et de l'équipement rural, service des études scientifiques. Imp. Imbert - 26, rue Hoche, Alger.
- DURAND J.H ., 1953.** Etude géologique, hydrogéologique et pédologiques des croutes en Algérie. SES. Alger. 209 p.
- EL ASSLOUJ J., KHOLTEI S., EL AMRANI N et HILALI A., 2007.** Analyse de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la communauté des Mzamza, au voisinage des eaux usées. Afrique Science. pp109 – 122.
- FAO., 2003.** L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation.
- GAUJOUS D., 1995.** La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. Technique et documentation .Edition Lavoisier. Paris. France.



- GOMELLA C et GUERREE H., 1978.** Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées. Edition Eyrolles .Paris.
- GROSBELLET C., 2008.** Evolution et effets sur la structuration du sol de la matière organique apportée en grande quantité. Thèse de doctorat. Spécialité : sciences agronomiques. Université d'Angers.
- HALILAT M T., 1993.** Étude de la fertilisation azotée et potassique sur le blé dur (variété al dura) en zones sahariennes (région de Ouargla).Thèse magistère. Université Batna.
- HALITIM A., 1988.** Les sols des régions arides d'Algérie. Edition ITOPU. Alger.
- HAMDI AISSA B., 2001.** Le fonctionnement actuel et passé des sols du Nord-Sahara (Cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. Thèse Doctorat. Institut National Agronomique. Paris-Grignon.
- HAMDI AISSA B et GIRARD M C., 2000.** Utilisation de la télédétection en régions sahariennes, pour l'analyse et l'extrapolation spatiale des pédopaysages. Science et changements planétaires. Sécheresse. Volume 11. Numéro 03. pp179-188.
- IDDER T., IDDER A et MENSOUS M., 2011.** Les conséquences écologiques d'une gestion non raisonnée des eaux agricoles dans les oasis du Sahara algérien (Cas de l'oasis de Ouargla). Colloque international usages écologiques, économiques et sociaux de l'eau agricole en méditerranée : quels enjeux pour quels services ? Université de Provence. Marseille. 20-21 janvier.
- IFREMER., 2002.** La surveillance des rejets urbains en Méditerranée. Guide méthodologique.
- JOLIVET C., BOULONNE L et RATIÉ C., 2006.** Manuel de réseau de mesure de la qualité des sols. Edition 2006. Unité InfoSol. INRA Orléans. France.
- JOURNAL OFFICIEL de la RADP., 2012.** Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012, fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation. Journal N°41(15 juillet, 2012).
- JOURNAL OFFICIEL de la RADP., 2006.** Décret exécutif n°06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427, correspondant au 19 avril 2006, définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. Journal N°26 (23 avril, 2006).
- LAL R., BLUM H., VALENTINE C et STEWART BA., 1997.** Methods for assessment of soil degradation. Series: Advances in soil science.
- LARKEM F et BACEL S., 2005.** Traitements des eaux usées "effluents" de la raffinerie de Skikda. Mémoire d'ingénieur. Université de Constantine.
- LAVIGNE DELVILLE J C., 1994.**Dépolluer les eaux pluviales. Collection OTV.
- 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.
- LE HOUEROU H N., 1995.** Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique; Diversité biologique, développement durable et désertisation. CIHEAM/ACCT, Série B, N°10.
- MATHIEU C et PIELTAIN F., 2003.** Analyses chimiques des sols : Méthodes choisies. Tec et Doc. Lavoisier. Paris.
- MEKNI A., LISE C., SOUSSI A et GAALOUL N., 2012.**Evolution spatio-temporelle de la nappe phréatique de Korba-ElMida, Cap-Bon (Tunisie) et impact de sa recharge artificielle par les eaux usées traitées. Dix-huitièmes journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie de l'Association Internationale des Hydrogéologues. Ressources et gestion des aquifères littoraux. Cassis 2012.
- MIZI A., 2006.**Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de Bejaia et valorisation des déchets oléicoles. Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. Annaba.

- 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.
- OMS., 2012.** Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères, Volume II Utilisation des eaux usées en agriculture. 180p.
- OMS., 2006.** Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and grey water.
- OMS., 1989.** L'utilisation des eaux usées en agriculture et aquaculture : recommandation à visées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé, Genève.
- ONA de Ouargla (Office National d'Assainissement de Ouargla), 2012.**
- O.N.M., 2012.** Données climatiques de Ouargla.
- ORSTOM., 1971.** Méthodes de détermination des cations échangeables et de la capacité d'échange dans les sols. Initiations- Documentations techniques n°17. Paris.
- REFEA., 2003.** Les indicateurs de la qualité de l'eau, analyses physico-chimiques.
- RODIER J., LEGUBE B., MERLET N et coll ., 2009.** L'Analyse de l'eau. 9ème édition. Edition DUNOD, Paris.
- RODIER J., BAZIN C., CHAMBON P., BROUTIN J P., CHAMPSAUD H et RODI L., 1996.** Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8ème édition. Edition DUNOD, Paris.
- RODRIGEZ-GRACIA A., 2004.** Étude de la congélation comme technique de traitement des eaux: applications spécifiques. Thèse de doctorat. L'institut national des sciences appliquées de Toulouse. Université de Toulouse. France.
- SALIM S et TESSIER D., 1998.** Evolution des propriétés des sols physiques et physico-chimiques des sols salés de la basse vallée de l'Euphrate, Syrie. Revue Etude Gestion des Sols, 1998. 277-288 p.
- SIMONNEAU P et AUBERT G., 1963.** L'utilisation des eaux salées au Sahara. Annales agronomiques 14 (5). 859-872 p.
- STEP de Ouargla., 2013.**
- STEP de Ouargla., 2012.**
- TARMOUL F., 2007.** Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel "cas de la lagune de Beni-messous. Mémoire DEUA .Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral.
- TECSULT., 2007.** Étude de réutilisation des eaux épurées à des fins agricoles ou autres sur le territoire national. Synthèse globale. MRE- DAPE.
- TOZE S., 2006.** Reuse of effluent water-benefits and risks; Agricultural Water Management.
- Unité d'appui au programme (Union Européenne), 2010.** Appui au Secteur des Ressources en Eau en Algérie, EUROPEAID/122241/C/SER/DZ, ACTIVITÉ 202, Renforcement des capacités institutionnelles et légales du MRE, TDR 202/14, Élaboration de normes et de guides techniques pour l'utilisation des eaux usées épurées, Utilisation des eaux usées épurées en irrigation, Rapport de mission 3, Projet de normes et guide technique.
- VEOLIA., 2008.** Caractérisation de la pollution.
- VINAS A et JOUKOV B., 1974.** Etude agro-pédologique du Touat-Gourara. Secrétariat d'Etat à l'hydraulique. Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique, Sous-direction des ressources en sols.

<http://www.luventicus.org/articles/francais/04JeD026/ouargla.gif>. Carte de Ouargla.

<http://www.ona.dz/REUE.html>. Usages des eaux usées épurées.

<http://www.ona.dz/SME.html>. Volumes des eaux usées épurées réutilisées en Algérie. Dernière consultation Novembre 2013.

# **ANNEXES**

## ANNEXE 01

**Décret exécutif n°06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427, correspondant au 19 avril 2006, définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels (Algérie)**

VALEURS LIMITES DES PARAMETRES DE REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES INDUSTRIELS				
N°	PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCES AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
1	Température	°C	30	30
2	PH	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
3	MES	mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl	"	30	40
5	Phosphore total	"	10	15
6	DCO	"	120	130
7	DBO5	"	35	40
8	Aluminium	"	3	5
9	Substances toxiques bioaccumulables	"	0,005	0,01
10	Cyanures	"	0,1	0,15
11	Fluor et composés	"	15	20
12	Indice de phénols	"	0,3	0,5
13	Hydrocarbures totaux	"	10	15
14	Huiles et graisses	"	20	30
15	Cadmium	"	0,2	0,25
16	Cuivre total	"	0,5	1
17	Mercure total	"	0,01	0,05
18	Plomb total	"	0,5	0,75
19	Chrome Total	"	0,5	0,75
20	Etain total	"	2	2,5
21	Manganèse	"	1	1,5
22	Nickel total	"	0,5	0,75
23	Zinc total	"	3	5
24	Fer	"	3	5
25	Composés organiques chlorés	"	5	7

**Source : Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire, 2006**

## ANNEXE 02

**Normes françaises de rejet d'une station d'épuration : concentrations maximales autorisées en DBO<sub>5</sub>, DCO et MES**

Paramètre	Concentration maximale autorisée
DBO <sub>5</sub>	25 mg/l
DCO	125 mg/l
MES	35 mg/l*

\* Pour les rejets dans le milieu naturel de bassins de lagunage, cette valeur est fixée à 150 mg/l

Source : www.cieau.com

Source : BAUMONT et al, 2004

## ANNEXE 03

**Normes françaises de rejet d'une station d'épuration : concentrations maximales autorisées en azote et phosphore (normes pour les zones sensibles à l'eutrophisation)**

	Paramètre	Charge brute de pollution organique reçue en kg par jour	Concentration maximale autorisée
Zone sensible à l'azote	NGL*	600 à 6000	15 mg/l
		> 6000	10 mg/l
Zone sensible au phosphore	PT	600 à 6000	2 mg/l
		> 6000	1 mg/l

\* Ces exigences se réfèrent à une température de l'eau du réacteur biologique aérobie de la station d'épuration d'au moins 12° C. Cette condition de température peut être remplacée par la fixation de périodes d'exigibilité déterminées en fonction des conditions climatiques régionales.

Source : www.cieau.com

Source : BAUMONT et al, 2004

## ANNEXE 04

### Recommandations microbiologiques révisées de l'OMS pour le traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture<sup>a</sup> (Blumenthal et coll, 2000)

Catégories	Conditions de réutilisation	Groupes exposés	Techniques d'irrigation	Nématodes intestinaux <sup>b</sup>	Coliformes fécaux <sup>c</sup>	Traitements recommandés pour atteindre le niveau de qualité microbiologique
A	Irrigation sans restrictions A1 Pour les cultures maraichères consommées crues, les terrains de sports, les parcs publics <sup>d</sup>	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	$\leq 1$	$\leq 10^7$	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 <sup>f</sup>	B2 comme B1	Par rigole d'infiltration ou par gravité	$\leq 1$	$\leq 10^3$	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<sup>g</sup> 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 ( $\leq 200$  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  $\leq 1$  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.

Source : BAUMONT et al, 2004

## ANNEXE 05

### Recommandations de l'USEPA, 1992 et de la norme californienne destinées pour la réutilisation des eaux usées épurées

US EPA (1992)	< 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.

Source : BAUMONT et al, 2004

## ANNEXE 06

### Spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation (Algérie) Paramètres microbiologiques

SPECIFICATIONS DES EAUX USEES EPUREES UTILISEES A DES FINS D'IRRIGATION		
1. PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES		
GROUPE 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.

Source : JORADP, 2012



## ANNEXE 07

## Directives de la FAO pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation

Problèmes Potentiels en Irrigation	Unités	Degré de restriction à l'usage		
		Aucun	Léger à modéré	Sévère
<b>Salinité</b>				
EC <sub>w</sub> <sup>1</sup>	dS/m	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
ou TDS	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
<b>Infiltration</b>				
SAR <sup>2</sup> =0 - 3 et EC <sub>w</sub> =	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
<b>Toxicité Spécifique des ions</b>				
<b>Sodium (Na)</b>				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3 - 9	> 9
Irrigation par aspersion	még/l	< 3	> 3	
<b>Chlorure (Cl)</b>				
Irrigation de surface	még/l	< 4	4 - 10	> 10
Irrigation par aspersion	még/l	< 3	> 3	
<b>Bore (B)</b>	mg/l	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
<b>effets divers</b>				
Azote (NO <sub>3</sub> -N) <sup>3</sup>	mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> )	még/l	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
<b>pH</b>		Gamme normale 6.5 - 8.4		

<sup>1</sup> EC<sub>w</sub> signifie la conductivité électrique en deciSiemens par mètre à 25°C.  
<sup>2</sup> SAR signifie le taux d'adsorption de sodium (sodium adsorption ratio).  
<sup>3</sup> NO<sub>3</sub>-N signifie l'azote sous forme de nitrate rapporté en terme d'azote élémentaire. NH<sub>4</sub>-N et N-organique devraient être également examinés dans les eaux usées.

Source : FAO, 2003

## ANNEXE 08

Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation<sup>a</sup>

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

<sup>a</sup> Adapté de: Académie nationale des sciences - National Academy of Engineering (1973)  
<sup>b</sup> Pour l'eau utilisée sans interruption sur tous les sols  
<sup>c</sup> Pour l'eau utilisée pendant une période d'au plus 20 ans sur des sols de texture fine, neutres ou alcalins

Source : FAO, 2003

## ANNEXE 09

**Spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation (Algérie)**  
**Paramètres physico-chimiques**

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 = $\sigma - 3$ CE		0.2
	3 - 6	ds/m	0.3
6 - 12		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 <sub>3</sub> - N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> )	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.

Source : JORADP, 2012

## ANNEXE 10

## Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées (Algérie)

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, triticales 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.

Source : JORADP, 2012

## ANNEXE 11

## Données climatiques de la région de Ouargla (2002 - 2012)

	T(°C)		H (%)	V (m/s)	Evap. (mm)	Ins. (h)	T.moy (°C)	Préc. (mm)
	M	m						
Janvier	19,31	<b>4,77</b>	<b>59,64</b>	2,65	116,98	297,54	<b>12,07</b>	<b>9,345</b>
Février	21,23	6,51	51,59	3,08	149,26	288,63	13,79	1,255
Mars	25,93	9,85	44,82	3,54	217,90	244,69	18,03	5,664
Avril	30,76	14,67	37,91	4,06	280,39	269,83	22,94	1,527
Mai	35,55	19,43	33,68	<b>4,07</b>	353,19	289,95	27,77	0,636
Juin	39,48	24,46	28,59	3,95	410,10	276,42	32,82	0,573
Juillet	<b>44,11</b>	27,93	<b>26,55</b>	3,69	<b>459,45</b>	<b>334,95</b>	<b>36,22</b>	<b>0,318</b>
Août	43,80	27,11	28,09	3,24	438,21	327,67	35,24	1,718
Septembre	37,96	22,54	39,36	3,02	310,00	269,56	30,35	3,691
Octobre	32,27	17,05	45,73	2,94	253,58	245,71	25,27	6,127
Novembre	24,67	9,86	56,00	2,53	146,17	<b>235,61</b>	17,80	5,755
Décembre	19,75	5,46	59,41	<b>2,34</b>	<b>104,56</b>	258,90	12,67	1,436
Moyenne	<b>31,24</b>	<b>15,80</b>	<b>42,61</b>	<b>3,26</b>	<b>3239,81*</b>	<b>278,29</b>	<b>23,75</b>	<b>38,04*</b>

TM : Température maximale.

H : Humidité relative.

Ins. : Insolation.

Préc. : Précipitations.

\*: Cumul.

T m : Température minimale.

V : Vents.

T.moy : Température moyenne.

Evap. : Evaporation.

Source : ONM, 2012

## ANNEXE 12

## Caractéristiques physico-chimiques de quelques points de prélèvements d'eau au niveau des nappes de la cuvette de Ouargla

Paramètres	Nappe du continental intercalaire (Forage, agglomération de Ouargla)	Nappe Mio-pliocène (Puits, site de réutilisation)	Nappe phréatique (Sebkhat Safioune)
pH	7,68	7,54	7,32
CE 25°C ms/cm	2,40	3,84	164,40
Résidus secs mg/l	1882	3036	182600
Ca <sup>++</sup> méq/l	8,00	9,90	146,00
Mg <sup>++</sup> méq/l	7,36	14,51	671,25
Na <sup>+</sup> méq/l	11,25	14,80	4808,70
K <sup>+</sup> méq/l	1,46	7,44	50,00
Cl <sup>-</sup> méq/l	11,41	25,01	4288,17
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> méq/l	13,80	17,46	1638,35
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> méq/l	0,00	0,00	0,00
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> méq/l	3,00	3,10	8,35

## ANNEXE 13

## Fiche type du questionnaire réalisé au profit des agriculteurs irrigants avec les EUE

**I/Identification de l'exploitation**

- 1-Nom de l'agriculteur :  
 2-Age de l'agriculteur :  
 3-Activité agricole :  
     Principale          Secondaire  
 4-Localisation de la parcelle par rapport à le STEP :  
     Distance :  
 5-Superficie totale de la parcelle :  
 6-Superficie mise en culture :  
 7-Date de mise en culture :  
 8-Statut :  
     Propriété privée          Etat :    Attribution          Concession  
 9-Système de culture :  
     Mono                      Cultures en étages  
 10-Type de cultures sous étages :  
     Maraichage    Céréales    Fourrages    Arboriculture  
 11-Espèces :  
 12-Système d'irrigation :  
     Débit :            durée d'arrosage :          Fréquence :  
 13-Conduite culturale :

**II/Irrigation avec les EUE :****a/Historique :**

- 1-Choix de l'irrigation par les EUE :  
     Justifié          forcé (manque d'eau)  
 2-Raisons de l'irrigation par les EUE :  
     Pouvoir fertilisant    Minimisation des dépenses    Autres à préciser  
 3-Début de l'irrigation par les EUE :

**b/Statut :**

- 1-Concession de l'utilisation des EUE :  
     Contrat : oui          non  
 2-Directives sur la REUE :  
     Restriction des cultures : oui          non  
 3-Causes de la restriction :

**c/Perception des risques de la manipulation avec les EUE :**

- 1-Qualité de l'eau :  
     Bonne          mauvaise  
     Pourquoi :  
 2-Impacts constatés sur le sol :  
 3-Impacts constatés sur les cultures :

**d/Précautions :**

1-\*Utilisation des équipements spéciaux (gants, bottes) lors de l'arrosage :

Oui Non

2-\*Contact direct avec l'EUE lors de l'arrosage ou lors de l'installation des équipements de pompage :

Oui Non

3-\*Désagrément lors de l'arrosage ou lors de l'installation des équipements de pompage :

Odeur irritation brulure de la peau Autres à préciser

4-\*Maladies hydriques suite à des irrigations par les EUE :

Oui Non

**e/\*Appuis et Suivis faits par les structures impliquées dans le domaine de la REUE:**

**DSA :**

1-Crédit :

Oui Non

2-Encadrement technique :

Oui Non

3-Vulgarisation et sensibilisation des agriculteurs vis-à-vis des dangers potentiels de la REUE :

Oui Non

**DREW :**

1-Vulgarisation et sensibilisation des agriculteurs vis-à-vis des dangers potentiels de la REUE :

Oui Non

**DSP :**

1-Vulgarisation et sensibilisation des agriculteurs vis-à-vis des dangers potentiels de la REUE :

Oui Non

2-Suivi médical des agriculteurs :

Oui Non



## ANNEXE 14

**Limite supérieure admissible de la conductivité de l'eau en fonction de la tolérance de la culture aux sels et de la texture du sol**

I — Plantes peu tolérantes aux sels — Limite 4.000 micromhos/cm. à 25° C		Limite supérieure de la conductivité de l'eau d'irrigation en micromhos/cm. à 25° C
Texture		
Sable		2.500
Limon sableux		1.600
Limon		1.000
Limon argileux		800
Argile (irrigation normale)		400
Argile (irrigation continue)		800
II — Plantes moyennement tolérantes aux sels — Limite 10.000 micromhos/cm. à 25° C		
Sable		6.500
Limon sableux		4.000
Limon		3.000
Limon argileux		2.000
Argile (irrigation normale)		1.000
Argile (irrigation continue)		2.000
III — Plantes très tolérantes aux sels.		
Sable	Palmier	20.000 (théoriquement)
		15.500 (expérimentalement)
	Culture maraîchère	8.000
	Fourrages	12.000
Limon sableux	Grande culture	10.000
	Palmier	6 à 10.000
	Culture maraîchère	4.500
	Fourrages	7.000
Limon	Grande culture	6.000
	Palmier	8.000
	Culture maraîchère	3.500
	Fourrages	5.000
Limon argileux	Grande culture	4.500
	Palmier	6.000
	Culture maraîchère	2.400
	Fourrages	3.500
Argile	Grande culture	3.000
	Palmier	3.000
	Culture maraîchère	1.200
	Fourrages	1.800
	Grande culture	1.600

N.B. — Le drainage est indispensable dans tous les cas, il doit être d'autant plus serré qu'on se rapproche plus de la limite d'utilisation de l'eau et les doses d'irrigation seront, elles aussi, d'autant plus élevées.

**Source : DURAND, 1960**

## ANNEXE 15

## Echelle d'interprétation du pH des eaux

pH=7	pH neutre
7<pH<8	Neutralité approchée
pH>8	Alcalinité forte

Source : REFEA, 2003

## ANNEXE 16

## Classification des eaux d'après la conductivité électrique exprimée en micromhos/cm

C1 : Classe 1	CE < 250	Eaux faiblement salines
C2 : Classe 2	250 < CE < 750	Eaux à salinité moyenne
C3 : Classe 3	750 < CE < 2250	Eaux à forte salinité
C4 : Classe 4	2250 < CE < 5000	Eaux à très forte salinité
C5 : Classe 5	5000 < CE < 20000	Eaux à salinité exagérée

Source : DURAND, 1973

## ANNEXE 17

## Signification des classes de danger d'alcalinisation des eaux

S1 : Pas ou peu de danger d'alcalinisation

S2 : Danger d'alcalinisation appréciable dans les sols à texture fine

S3 : Eaux pouvant provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse dans la plupart des sols

S4 : Danger d'alcalinisation fort

Source : DURAND, 1973

## ANNEXE 18

## Echelle d'interprétation du pH des sols

pH eau rapport 1/2,5	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

Source : CRAAQ, 2005

## ANNEXE 19

## Echelle d'interprétation du calcaire total des sols

CaCO <sub>3</sub> %	Sol
CaCO <sub>3</sub> <1	Non calcaire
1<CaCO <sub>3</sub> <5	Peu calcaire
5<CaCO <sub>3</sub> <25	Modérément calcaire
25<CaCO <sub>3</sub> <50	Fortement calcaire
50<CaCO <sub>3</sub> <80	Très fortement calcaire
CaCO <sub>3</sub> >80	Excessivement calcaire

Source : BAIZE, 2000

## ANNEXE 20

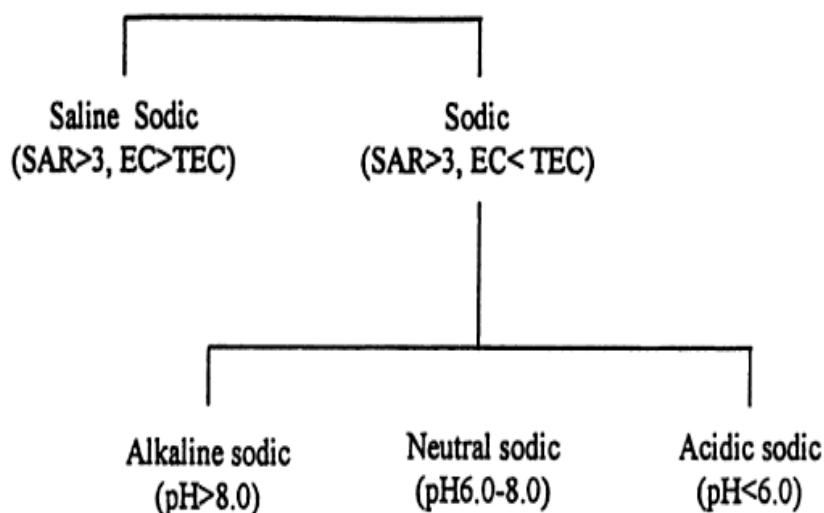
## Echelle de salinité des sols (CE en micromhos/cm à 25°C)

Degrés de salinité	Non salin	Légèrement salin	Salin	Très salin	Extrêmement salin
Extrait 1/5	<500	500-1000	1000-2000	2000-4000	>4000
Extrait saturé (Riverside)	<2000	2000-4000	4000-8000	8000-16000	>16000

Source : DURAND, 1973

## ANNEXE 21

## Classification des sols sodiques proposée par Rengasamy et Olsson, 1991



Proposed classification of sodic soils by Rengasamy and Olsson (1991). SAR denotes sodium adsorption ratio and EC is electrical conductivity, both measured on 1:5 soil-water suspension. TEC denotes threshold electrolyte concentration.

Source : LAL R et al, 1997

## ANNEXE 22

## Seuils de sodicité et de salinité utilisés pour un classement général des sols

Classement	ESP <sup>*</sup> (%)	SAR <sub>e</sub> <sup>*</sup>	CE <sub>e</sub> <sup>*</sup> (dS m <sup>-1</sup> ) <sup>*</sup>	SAR <sub>1:5</sub> <sup>*</sup>	CE <sub>1:5</sub> <sup>**</sup> (dS m <sup>-1</sup> ) <sup>**</sup>
Salin	< 15	< 13	> 4	< 10	> 0.2
Salin-sodique	> 15	> 13	> 4	> 10	> 0.2
Sodique	> 15	> 13	< 4	> 10	< 0.2

\* à partir des valeurs indiquées dans Essington (2004); \*\* en choisissant un facteur de conversion de 17 de la CE<sub>1:5</sub> à la CE<sub>e</sub> à partir des valeurs présentées dans Slavich & Petterson (1993) pour des sables, des sables limoneux ou des sables argileux.

Source : GREGORY BOIS, 2005

## Table des matières

<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b> .....	1
<b>Partie I : Synthèse bibliographique</b> .....	3
<b>Chapitre I : Eaux usées épurées</b> .....	3
I. Généralités.....	3
I.1. Définition des eaux usées.....	3
I.2. Origines des eaux usées.....	3
I.2.1. Eaux usées domestiques.....	3
I.2.2. Eaux usées industrielles.....	3
I.2.3. Eaux pluviales.....	3
II. Composition des eaux usées.....	4
II.1. Microorganismes des eaux usées.....	4
II.2. Matières en suspension (MES) et colloïdes.....	4
II.3. Micropolluants.....	4
II.4. Substances nutritives.....	4
III. Indicateurs et paramètres de qualité d'une eau.....	5
III.1. Paramètres physico-chimiques.....	5
III.1.1. pH.....	5
III.1.2. Température.....	5
III.1.3. Conductivité électrique (CE).....	5
III.2. Paramètres de la pollution particulaire.....	5
III.2.1. Matières En Suspension (MES).....	5
III.3. Paramètres de la pollution organique.....	5
III.3.1. Demande Chimique en Oxygène (DCO).....	5
III.3.2. Demande Biochimique en Oxygène (DBO <sub>5</sub> ).....	6
III.4. Paramètres microbiologiques.....	6
III.5. Micropolluants.....	6
III.6. Éléments nutritifs : Azote et phosphore.....	6
IV. Epuración des eaux usées.....	6
IV.1. Etapes et procédés d'épuration des eaux usées.....	7
IV.1.1. Prétraitement.....	7
IV.1.2. Traitement primaire.....	7
IV.1.3. Traitement secondaire.....	7
IV.1.4. Traitement tertiaire.....	7
V. Voies d'élimination des eaux usées épurées.....	7
V.1. Rejet des eaux usées épurées dans le milieu naturel.....	8
V.1.1. Impacts de rejet des eaux usées épurées sur les milieux naturels.....	8
V.1.1.1. Impacts positifs.....	8
V.1.1.2. Impacts négatifs.....	8
V.1.2. Normes de rejet.....	8
a-A l'échelle nationale.....	9
b-A l'échelle mondiale.....	9
V.2. Réutilisation des eaux usées épurées.....	9
V.2.1. Quelques chiffres.....	9
V.2.1.1. Réutilisation des eaux usées épurées dans le monde.....	9

V.2.1.2. Réutilisation des eaux usées épurées dans quelques pays de l’Afrique du Nord et du proche orient.....	9
V.2.1.3 Réutilisation des eaux usées épurées en Algérie.....	10
V.2.2. Motifs de la réutilisation des eaux usées épurées.....	10
V.2.3. Usages des eaux usées épurées.....	10
V.2.4. Impacts de la réutilisation des eaux usées épurées.....	10
V.2.4.1. Avantages environnementaux.....	10
V.2.4.2. Impacts négatifs et risques de la réutilisation des eaux usées épurées.....	11
V.2.4.2.1. Risques environnementaux.....	11
a- Effets sur le sol.....	11
b- Effets sur les eaux souterraines.....	11
V.2.4.2.2. Risques sanitaires.....	11
V.2.5. Normes de réutilisation des eaux usées épurées.....	12
V.2.5.1. Normes microbiologiques.....	12
V.2.5.2. Normes physico-chimiques.....	13
VI. Gestion des eaux usées épurées en Algérie.....	13
VI. 1. Cadre réglementaire.....	13
VI. 2. Cadre institutionnel.....	17
VI. 3. Stratégie de gestion des eaux usées épurées en Algérie.....	17
<b>Chapitre II : Contexte de l’étude.....</b>	<b>18</b>
I. Situation géographique.....	18
II. Données climatiques.....	19
III. Géologie.....	19
IV. Géomorphologie.....	20
V. Topographie.....	21
VI. Hydrographie.....	21
VI.1. Oued M’ya.....	21
VI.2. Oued N’sa.....	21
VI.3. Oued M’zab.....	21
VII. Hydrogéologie.....	21
VII.1. Nappe du Continental Intercalaire.....	22
VII.2. Nappes du Complexe terminal.....	22
VII.2.1. Nappe du Mio-Pliocène (nappe des sables).....	22
VII.2.2. Nappe du Sénonien (nappe des calcaires).....	22
VII.3. Nappe phréatique.....	22
VIII. Contexte pédologique.....	23
<b>Chapitre III : Gestion des eaux usées épurées de l’agglomération de Ouargla.....</b>	<b>24</b>
Préambule.....	24
I. Processus d’assainissement de l’agglomération de Ouargla.....	25
II. Gestion actuelle des eaux usées épurées de l’agglomération de Ouargla.....	26
II.1. Mécanisme d’élimination des eaux usées épurées issues de l’agglomération de Ouargla.....	26
II.1.1. Épuration.....	26
II.1.1.1. Aperçu sur le lagunage aéré.....	26
II.1.1.2. Installation d’épuration.....	27
a- Situation de la station d’épuration.....	27
b- Caractéristiques de la station d’épuration de Ouargla.....	28

c-Qualité de traitement.....	28
d-Étapes de traitement.....	28
d-1-Prétraitement.....	28
d-1-1-Dégrillage.....	29
d-1-2-Dessablage.....	29
d-2-Répartition des eaux prétraitées.....	29
d-3-Traitement par lagunage aéré.....	29
d-4-Traitement des boues.....	30
II.1.2.Acheminement.....	31
II.1.3.Rejet.....	32
II.1.4.Réutilisation.....	32
II.1.4.1. Gestion de la réutilisation des eaux usées épurées au niveau de la cuvette de Ouargla.....	32
Conclusion.....	32

**Partie II : Matériels et méthodes..... 34**

**Chapitre IV : Matériels et méthodes..... 34**

I. Choix de la zone d'étude.....	34
II. Approche méthodologique de l'étude.....	34
II.1.Premier axe : Etude de la gestion des eaux usées épurées de l'agglomération de Ouargla.....	34
II.2.Deuxième axe : Etude des caractéristiques des différents sites d'épandage des eaux usées épurées.....	35
II.3.Troisième axe : Evaluation des risques de dégradation du milieu hydro-édaphique.....	36
II.3.1. Localisation des sites d'étude.....	38
a-Situation du site de réutilisation.....	38
b-Situation du milieu récepteur.....	38
II.3.2. Étude des effets de l'irrigation avec les eaux usées épurées sur les sols du site de réutilisation.....	39
II.3.2.1. Description des sols étudiés.....	39
II.3.2.2.Échantillonnage des eaux d'irrigation et des sols.....	39
II.3.2.2.1.Échantillonnage des eaux usées épurées réutilisées en irrigation.....	39
a-Techniques de prélèvement et de conservation.....	40
a-1.Pour caractérisation bactériologique.....	40
a-2.Pour caractérisation parasitologique.....	40
a-3.Pour caractérisation physico-chimique.....	40
II.3.2.2.2.Échantillonnage des sols étudiés.....	40
a-Critères de choix des parcelles.....	40
b-Dispositif d'échantillonnage.....	41
c-Techniques et profondeurs de prélèvement.....	42
II.3.2.3.Caractérisation des eaux et des sols.....	42
II.3.2.3.1.Caractérisation des eaux usées épurées réutilisées en irrigation.....	42
a- Analyses microbiologiques.....	42
a-1.Dénombrement des coliformes totaux et fécaux.....	42
a-2.Dénombrement des œufs d'helminthes.....	42
b- Analyses physico-chimiques.....	42
b-1.Paramètres de salinité et d'alcalinité.....	42
b-2.Paramètres de pollution organique.....	42
b-3.Éléments nutritifs.....	43



II.3.2.3.2. Caractérisation de la qualité des sols étudiés.....	43
a-Analyses effectuées pour la caractérisation de la qualité des sols irrigués.....	44
b- Méthodes d'analyses.....	44
b-1. Préparation des échantillons de sol avant analyse.....	44
b-2. pH eau.....	44
b-3. Conductivité électrique.....	44
b-4. Bilan ionique.....	44
b-4.1. Cations solubles.....	44
b-4.2. Anions solubles.....	45
b-5. Calcaire total.....	45
b-6. Calcaire actif.....	45
b-7. Granulométrie.....	45
b-8. Gypse.....	45
b-9. Carbone organique et Matière organique.....	45
II.3.3. Étude des effets de rejet des excédents hydriques sur les sols et la nappe phréatique au niveau du milieu récepteur.....	45
II.3.3.1. Choix de la station de prélèvement des sols et des eaux.....	45
II.3.3.2. Description des sols étudiés.....	46
II.3.3.3. Échantillonnage des eaux de rejet, des sols et des eaux de la nappe phréatique....	46
II.3.3.3.1. Échantillonnage des eaux de rejet.....	46
a-Techniques de prélèvement et de conservation des eaux de rejet.....	46
II.3.3.3.2. Échantillonnage des sols.....	46
a-Dispositif d'échantillonnage.....	47
b-Techniques et profondeurs de prélèvement.....	48
II.3.3.3.3. Échantillonnage des eaux de la nappe phréatique.....	48
a-Techniques de prélèvement et de conservation des eaux de la nappe.....	48
II.3.3.4. Caractérisation des eaux de rejet, des sols et des eaux de la nappe phréatique.....	48
II.3.3.4.1. Caractérisation de la qualité des eaux de rejet.....	48
II.3.3.4.2. Caractérisation de la qualité des sols situés dans la zone d'épandage.....	49
a-Analyses effectuées pour constater les effets des eaux de rejet sur les sols.....	49
b-Méthodes d'analyses.....	49
II.3.3.4.3. Caractérisation des eaux de la nappe phréatique.....	49
a-Analyses effectuées pour constater les effets des eaux de rejet sur la nappe.....	49
b-Méthodes d'analyses.....	49
<b>Partie III : Résultats et discussions.....</b>	<b>50</b>
<b>Chapitre V : Résultats des enquêtes sur terrain.....</b>	<b>50</b>
I. Enquêtes sur la gestion de la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation et la gestion de ses risques.....	50
I.1. Données sur l'irrigation avec les eaux usées épurées.....	50
I.2. Gestion de la réutilisation des eaux usées épurées.....	51
I.3. Perception des agriculteurs des risques de l'irrigation avec les eaux usées épurées.....	52
I.4. Gestion des risques de la réutilisation des eaux usées épurées.....	53
II. Caractéristiques des sites d'épandage et changements écologiques constatés.....	54
II.1. Milieu récepteur.....	54
II.1.1. Localisation et description.....	54
II.1.2. Importance hydrologique et hydrogéologique.....	55
II.1.3. Raisons du choix du site pour le rejet des eaux usées épurées.....	55

II.1.4.Effets de rejet des eaux usées épurées au niveau du milieu récepteur.....	56
II.2.Lieux de réutilisation des eaux usées épurées.....	60
II.2.1.Parcelle de l'ONA.....	60
II.2.2.Site de réutilisation.....	61
II.2.2.1.Caractéristiques du site.....	61
II.2.2.2.Effets de l'irrigation avec les eaux usées épurées au niveau du site de réutilisation.....	65
Conclusion.....	65

**Chapitre VI : Evaluation des effets de l'épandage des eaux usées épurées sur le milieu hydro édaphique..... 66**

**A. Étude des effets de l'irrigation avec les eaux usées épurées sur les sols du site de réutilisation..... 66**

I. Caractérisation de la qualité des eaux usées épurées réutilisées en irrigation.....	66
I.1.Classification chimique des eaux usées épurées réutilisées en irrigation.....	66
I.2.Synthèse sur la qualité des eaux usées épurées réutilisées en irrigation.....	68
II. Caractéristiques des sols étudiés.....	68
III. Effets de l'irrigation avec les eaux usées épurées sur la qualité des sols irrigués au niveau du site de réutilisation.....	70
III.1.Effet sur les pH des sols.....	70
III.2.Effet sur la salinité des sols.....	71
III.3.Effet sur l'évolution de la composition des sels solubles des sols irrigués.....	73
III.3.1.Effet sur l'évolution de la composition cationique des solutions des sols.....	73
III.3.2.Effet sur l'évolution de la composition anionique des solutions des sols.....	77
III.4.Effet sur l'évolution des faciès salins des sols irrigués.....	81
III.5.Effet sur le pouvoir alcalinisant des sols.....	82
III.6.Effet sur la fertilité des sols.....	83
III.6.1.Effet sur l'enrichissement en matière organique.....	83

**B. Étude des effets de rejet des excédents hydriques sur les sols au niveau du milieu récepteur..... 85**

I. Caractérisation de la qualité des eaux rejetées.....	85
I.1.Classification chimique des eaux rejetées.....	86
II. Caractéristiques des sols étudiés.....	87
III. Effets de rejet des excédents hydriques sur la qualité des sols du milieu récepteur.....	89
III.1.Effet sur les pH des sols.....	89
III.2.Effet sur la salinité des sols.....	90
III.3.Effet sur l'évolution de la composition des sels solubles des sols situés dans la zone d'épandage.....	93
III.3.1.Effet sur l'évolution de la composition cationique des solutions des sols.....	93
III.3.2.Effet sur l'évolution de la composition anionique des solutions des sols.....	97
III.4.Effet sur l'évolution des faciès salins des sols situés dans la zone d'épandage.....	100
III.5.Effet sur le pouvoir alcalinisant des sols.....	102
III.6.Effet sur l'enrichissement en matière organique.....	103
III.7.Effet sur l'enrichissement en calcaire.....	104

**C. Étude des effets de rejet des excédents hydriques sur la qualité des eaux de la nappe phréatique au niveau du milieu récepteur..... 107**

I. Effets sur la salinité et l'alcalinité.....	107
I.1.Effet sur le pH.....	107
I.2.Effet sur la salinité.....	108

II.Effet sur la pollution organique.....	109
III.Effet sur la pollution azotée.....	110
IV.Effet sur la pollution phosphorée.....	111
Conclusion.....	112
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>117</b>
<b>Références bibliographiques</b>	
<b>Annexes</b>	

## Eaux usées épurées de la cuvette de Ouargla : Gestion et risques environnementaux

### Résumé

A l'instar des autres grandes agglomérations algériennes, l'agglomération de Ouargla évacue quotidiennement des volumes considérables d'eaux usées épurées (EUE), capables d'engendrer des impacts négatifs sur l'environnement.

L'objectif de notre travail de recherche est de mettre en lumière la politique actuelle de la gestion de ces EUE et de discerner les risques environnementaux qu'elle génère.

La stratégie adoptée pour la gestion des EUE de la cuvette de Ouargla vise à moyen terme la mobilisation de ces eaux en irrigation. En revanche, à court terme, la quasi-totalité de ces EUE est rejetée dans la nature, en parallèle, une réutilisation informelle de ces eaux en irrigation au sein de quelques lieux a été repérée.

Le milieu récepteur des EUE dénommé sebkhat Safioune est une sebkha isolée, d'environ 10000 ha de superficie, située à peu près à 40 km au nord de l'agglomération. Le site de réutilisation le plus représenté se situe à quelques centaines de mètres au nord de la STEP de Ouargla, renfermant plus d'une vingtaine de parcelles irriguées avec les EUE et plantées essentiellement en palmiers dattiers, dont la réutilisation des EUE n'est ni organisée ni contrôlée.

Le rejet des EUE a engendré des changements écologiques au niveau du milieu récepteur préalablement stérile : la génération d'un plan d'eau d'environ 600ha de superficie, l'installation d'une flore et d'une avifaune, la remontée de la nappe phréatique et l'accumulation des matières organiques humides sont les principaux impacts observés. En plus : la pollution carbonée, azotée et phosphorée de la nappe phréatique, la diminution de la salinité de la nappe, la diminution de la salinité et du SAR des sols, ainsi que l'enrichissement de l'horizon de surface des sols recevant les EUE en matière organique et en calcaire, sont les principaux effets constatés.

D'autre part, au niveau du site de réutilisation, l'irrigation avec les EUE ayant une salinité exagérée a engendré la remontée de la nappe phréatique, la diminution de la salinité et aussi la diminution du SAR des sols irrigués, reconnus comme étant des sols sableux et bien drainés.

**Mots clés :** eaux usées épurées, gestion, risques environnementaux, cuvette de Ouargla, Algérie.

### المياه المستعملة المصفاة في حوض ورقلة : تسيير و أخطار بيئي

#### ملخص

على غرار التجمعات السكنية الكبرى في الجزائر، يطوي التجمع السكاني لورقلة يوميا كميات معتبرة من المياه المستعملة المصفاة (م م م) الكفيلة بإحداث تأثيرات سلبية على البيئة والمحيط.

الغرض من دراستنا هذه هو تسليط الضوء على السياسة الحالية لتسيير المياه المستعملة المصفاة وتبيان لأخطار البيئية المترتبة عن هذه السياسة. تهدف الإستراتيجية المتبناة في تسيير ال م م م على مستوى حوض ورقلة على المدى المتوسط إلى تسخير هذه المياه لفائدة القطاع الزراعي بيد أنه نظرا لعدم استيفاء متطلبات هذا التسخير تلجأ المؤسسة المستعملة لمحطة التصفية إلى رمي هذه المياه في الطبيعة، في هذه الأثناء ننوه بوجود بعض المواقع التي تتم فيها إعادة استعمال هذه المياه للسقي ولكن بطريقة غير مبرمجة و لفا غير منظمة.

الوسط المستقبل لل م م م يسمى سيخة سرفين، هذا الموقع عبارة عن سبخة منعزلة ذات مساحة تناهز ال 10000 هكتار واقعة شمال مدينة ورقلة و تبعد عنها بحوالي 40 كلم. أهم موقع لإعادة استعمال ال م م م للسقي يقع على بعد بضع مئ متر شمال محطة التصفية لمدينة ورقلة، يحوي هذا الموقع ما يربو عن عشرين قطعة أرضية مسقية بال م م م و مغروسة أساسا بنخيل التمر، بينت استقصاءاتنا و تحقيقاتنا أن إعادة استعمال ال م م م للسقي في هذا الموقع لا تخضع لأي تنظيم أو مراقبة من طرف المؤسسات المعني لهذا الغرض من طرف التشريع الجزائري

أحدث رمي ال م م م في الطبيعة تغييرات بيئية على مستوى الوسط المستقبل :تكون مسطح مائي مساحته تقارب 600 هكتار،استقرار أنواع عدة من الطيور ولفدا نمو بعض النباتات المميز،ارتفاع مستوى المياه الجوفية و تراكم المواد العضوية الرطبة هي أهم الآثار الملحوظة.

من أهم الآثار المستنتجة بعد القيام بالتحاليل المخبرية نذكر تلوث المياه الجوفية القريبة من السطح بالمواد العضوية بالأزوت و الفسفور و كذلك انخفاض ملوحة هذه المياه الجوفية، بالنسبة للتربة سجلنا انخفاضا في ملوحة التربة و نسبة ادمصاص الصوديوم،لذا اغتناء الأفق السطحي للتربة المستقبلية لل م م م بالمادة العضوية و الكلس.

من جهة أخرى أحدث السقي بواسطة ال م م م ذات الملوحة العالية ارتفاعا في مستوى المياه الجوفية و خفضا في ملوحة و نسبة ادمصاص صوديوم التربة المسقية المتميزة بنهرعجها الرملي و جودة صرفها للمياه

**الكلمات الرئيسية:** المياه المستعملة المصفاة، تسيير، أخطار بيئي، حوض ورقلة، الجزائر.

### Purified wastewaters in Ouargla basin: Management and environmental risks

#### Abstract

Like other major Algerian cities, the agglomeration of Ouargla removes large volumes of purified wastewater (PWW) able to generating negative impacts on the environment.

Our study objective was to highlight the current management policy of the PWW and discern the environmental risks subsequent to this management.

The management of PWW derived from the basin of Ouargla aims to medium term the mobilization of these waters for irrigation. In the short term, almost all of these PWW is rejected in nature. Informal reuse in irrigation in some sites has been detected.

The receiving environment of the PWW is sebkhat Safioune, it's an isolated area of about 10.000 ha located approximately at 40 km north of the city of Ouargla. The site of reuse most represented is a few hundred meters to the north of treatment station of Ouargla, it contains more than twenty plots irrigated with PWW and mainly planted of date palms, the PWW reuse in this site is neither organized nor controlled.

PWW rejection has created ecological changes in the receiving environment previously barren, generating a water area of about 600ha, installation of flora and birdlife, rising water table and accumulation of wet organic matter are the main impacts observed. In addition : carbon , nitrogen and phosphorus pollutions in the water table , decreasing salinity of the water table , decreasing salinity and SAR soils and enrichment of the surface horizon of soils receiving PWW by organic matter and limestone are the main effects detected after laboratory analysis.

On the other hand in the reuse site, irrigation with exaggerated saline PWW led to the rise of ground water, decreasing salinity and also decreasing SAR soils recognized as permeable and well drained soils.

**Keywords:** purified wastewater, management, environmental risks, Ouargla basin, Algeria.