



جامعة باجي مختار - عنابة  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA



FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

## THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT en Sciences  
Option : Biologie végétale

### THEME

VALORISATION, ETUDE PHYTOTOXICOLOGIQUE DES  
QUALITES D'EAU D'IRRIGATION A PARTIR DES EAUX  
USEE, SUR DEUX CULTURES (TOMATE INDUSTRIELLE ET  
L'HARICOT VERT) DANS LA REGION D'EI-TARF

Présentée par : BOUZOU Lazhar Mourad

Premier directeur de thèse : RAHMOUNE C. Prof., Université Mentouri de Constantine 1.

Deuxième directeur de thèse : SERIDI Ratiba Prof., Université Badji Mokhtar - Annaba

#### Membres de Jury:

Président : M. TAHAR Ali Prof., Université Badji Mokhtar - Annaba

Examineurs : M. BRINIS Louhichi Prof., Université Badji Mokhtar - Annaba

M. SLIMANI Ali Prof., Université Chadli Bendjedid El-Tarf

M. SOLTANE Mahmoud Prof., Université Chadli Bendjedid El-Tarf

## Remerciements

J'adresse mes vifs remerciements au professeure **RATIBA Seridi** pour avoir co-encadré ce modeste travail. Son dynamisme et ses qualités humaines ont été une source de motivation permanente durant ces années de thèse. Je la remercie également pour toutes les connaissances que j'ai pu acquérir à son contact. Enfin, merci de sa patience.

Je tiens à témoigner ma reconnaissance au pr Rahlou Chaab, qui était disponible et ma encouragé pour finir ce projet.

J'exprime mes vifs remerciements au professeur **TAHAR Ali** qui m'a fait l'honneur d'examiner et de présider ce jury.

J'adresse mes remerciements au professeur **SOLTANE Mahmoud**, professeur **SLIMANI Ali** et professeur **BRINIS Louhichi** pour avoir accepté d'être examinateurs de cette thèse.

J'exprime ma reconnaissance au professeur **HOUHAMDI Moussa** pour la confiance qu'il m'a témoigné ainsi que pour ses encouragements.

Mes vifs remerciements vont également à l'intention du Docteur **BOUMENDJEL Mahieddine** pour son accompagnement et ses encouragements.

Il m'est particulièrement agréable d'exprimer ma gratitude et ma reconnaissance à mon ami Dr. **SAMAR Mohamed Faouzi**, pour avoir effectué les tests statistiques de cette thèse.

Mes remerciements spéciaux vont également à Madame **BOUZOU-MAMEN Nassima**, enseignante à l'Université Laghrour Abbes de Khenchela, pour l'aide, le soutien, les encouragements, les orientations et les conseils prodigués tout au long de ma thèse. Sans elle, beaucoup de choses auraient évolué autrement.

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une convention algéro-tunisienne entre l'université d'El-Tarf et L'INAT de Tunis avec la collaboration des différents laboratoires CERTE en Tunisie ONID et ONA en Algérie.

J'exprime ma reconnaissance aux professeurs : **Lies Mahmoud HAMZA**, ex directeur de L'INAT Tunis et actuel président de L'IRISA Tunis, ainsi que le professeur **Ahmed GHRABI**, président directeur général de CERTE de Tunis, qui ont toujours été disponibles et m'ont encouragé depuis mon Magistère jusqu'à la fin de cette thèse de doctorat.

J'exprime ma reconnaissance au Docteur **Boutrid Abdelaziz** pour la confiance qu'il m'a témoignée

Il m'est agréable de témoigner mon estime et ma reconnaissance à M. **Atalah Zinou** Ingénieur En Informatique , Ainsi **M. Ghaoui Lazhar** de m'avoir ouvert son bureau pour accéder à toutes les informations utiles pour cette thèse.

Je tiens surtout à adresser mes plus vifs remerciements à tous les membres du INGREF de Tunis avec qui j'ai eu le plaisir de travailler, particulièrement **DJOUDI Lamia**. Je ne saurais jamais oublier leur aide et leur disponibilité.

Enfin, je voudrais tout autant exprimer ma reconnaissance à tous ceux qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

# SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE .....	01
<i>Chapitre I: Synthèse bibliographique</i> .....	03
1. INTRODUCTION.....	03
2. COMPOSITION DES EAUX USEES .....	04
2.1. GENERALITES .....	04
2.2. MICROORGANISMES .....	04
2.2.1. LES BACTERIES.....	04
2.2.2. LES VIRUS .....	04
2.2.3. LES PROTOZOAIES.....	05
2.2.4. LES HELMINTHES.....	05
2.3. ELEMENTS TRACES ET METAUX LOURDS .....	06
2.4. SUBSTANCES NUTRITIVES.....	07
2.5. AUTRES PARAMETRES CARACTERISTIQUES .....	08
2.5.1. MATIERE EN SUSPENSION ET MATIERE ORGANIQUE.....	08
2.5.2. ELEMENTS TOXIQUES ORGANIQUES .....	09
2.5.3. SALINITE SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	09
3. LA REUTILISATION DES EAUX USEES.....	10
3.1. BILAN MONDIAL SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE .....	10
3.2. TRAITEMENT ET REUTILISATION DES EAUX USEES EN ALGERIE.....	13
3.2.1. INTRODUCTION.....	13
3.2.2. NIVEAU DE TRAITEMENT SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	13
3.2.3. DOMAINES DE REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES EN ALGERIE .....	14
3.3. LES DIFFERENTES REGLEMENTATIONS DANS LE MONDE.....	14
3.3.1. LES RECOMMANDATIONS DE L'OMS .....	14
3.3.2. LES RECOMMANDATIONS USEPA .....	15
3.3.3. LES RECOMMANDATIONS DE L'UNION EUROPEENNE .....	16
3.3.4. Aspects réglementaires et juridiques de l'Algérie. ....	18
3.4. Modes de réutilisation des eaux usées traitées .....	20
3.4.1. Généralités .....	20
3.4.2. Conditionnements et usages.....	21
4. Risques associés à la réutilisation des eaux usées.....	22
4.1. Risque sanitaire.....	22
4.2. Risques environnementaux .....	22
4.2.1. La salinisation du sol .....	22
4.2.2. Accumulation de métaux dans le sol .....	24
4.2.3. Effet de l'irrigation par les EU sur les propriétés physicochimiques du sol.....	26

4.2.4. Effet de l'irrigation par les EU sur les plantes cultivées.....	26
4.2.5. Impact de l'irrigation par les EU sur la nappe phréatique.....	28
5. Conclusion .....	28
<i>Chapitre II : Contexte D'étude</i> .....	29
1. Région d'étude .....	29
1.1. Localisation .....	29
1.2. Contexte climatique.....	29
1.2.1. Pluviométrie .....	29
1.2.2. Température .....	30
1.2.3. Evapotranspiration potentielle .....	31
1.2.4. Vents .....	31
3. Ressources en eau.....	32
3.1. Ressources en eau naturelle .....	32
3.2. Les Eaux Usées Traitées (EUT) .....	32
3.2.1. La station d'épuration des eaux usées (STEP) de El-Kala Sud .....	32
3.2.2. Les eaux usées traitées.....	35
4. Conclusion .....	38
<i>Chapitre III : Matériel Et Méthode</i> .....	39
1. CHOIX ET PRESENTATION DES SITES.....	39
1.1. LOCALISATION .....	39
OBJECTIF DE L'ESSAI :.....	39
2- CONDITIONS DE DEROULEMENT DE L'ESSAI : .....	39
2-1- TEMPERATURE : .....	39
2-2- PRECIPITATION : .....	40
2-3- L'IRRIGATION:.....	40
4- L'EAU .....	40
5- CONDUITE DE L'ESSAI.....	40
5-1- PREPARATION DES POTS : .....	41
5-2- LA PLANTATION .....	41
5-3- SOINS CULTURAUX.....	42
5-3-1- DESHERBAGE .....	42
5-3-2- TRAITEMENT PHYTOSANITAIRE : .....	42
5-3-3- LA FUMURE .....	42
5-4- LA RECOLTE .....	42
5-5- L'ARRACHAGE DES PLANTS : .....	42
6- LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL .....	42
7- PARAMETRES ETUDIES.....	43

<b>8- METHODES ET MESURES .....</b>	<b>43</b>
<b>8-1- METHODES D'ANALYSE D'EAU .....</b>	<b>43</b>
<b>8-1-1-METHODE D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES .....</b>	<b>43</b>
<b>8-1-2-PARAMETRES MORPHOLOGIQUES .....</b>	<b>47</b>
<b>8-2- PARAMETRES DE FLORAISON : .....</b>	<b>48</b>
<b>8-3- PARAMETRES DE PRODUCTION : .....</b>	<b>48</b>
<b>8-4- PARAMETRES DE QUALITE : .....</b>	<b>49</b>
<b>9-METHODES.....</b>	<b>50</b>
<b>9.1.ECHANTILLONNAGE ET MESURE DE CROISSANCE:.....</b>	<b>50</b>
<b>9.2.MESURE DE LA CROISSANCE PONDERALE.....</b>	<b>50</b>
<b>9.3.MESURE DE LA CROISSANCE EN LONGUEUR .....</b>	<b>50</b>
<b>9.4.ECHANTILLONNAGE ET MESURE DE CROISSANCE :.....</b>	<b>50</b>
<b>9.5.ANALYSE CHIMIQUE : .....</b>	<b>50</b>
<b>9.6.DOSAGE DE L'AZOTE KJELDHAL :.....</b>	<b>50</b>
<b>9.7.DOSAGE DES CHLORURES : .....</b>	<b>50</b>
<b>9.8.DOSAGE DU BORE :.....</b>	<b>50</b>
<b>9.9. DOSAGE DU SOUFRE TOTAL : .....</b>	<b>50</b>
<b>9.10. PREPARATION DU MATERIEL : .....</b>	<b>51</b>
<b>9.11.DOSAGE DE CALCIUM, POTASSIUM ET SODIUM :.....</b>	<b>51</b>
<b>9.12.DOSAGE DU COBALT, CUIVRE, FER, MAGNESIUM, MANGANESE ET ZINC.....</b>	<b>51</b>
<b>9.13.DOSAGE DU CADMIUM ET PLOMB.....</b>	<b>51</b>
<b>9.14.DOSAGE DU PHOSPHORE .....</b>	<b>51</b>
<b>10. CARACTERISATION DES EAUX.....</b>	<b>51</b>
<b>10.1. CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES EUT.....</b>	<b>51</b>
<b>10.2.CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE DE LA PÂTE SATURÉE (CÉS).....</b>	<b>51</b>
<b><i>Chapitre IV : Résultats et Discussions .....</i></b>	<b>52</b>
<b>    <b>Résultats : (Haricot Vert).....</b></b>	<b>52</b>
<b>1.Qualité physico-chimique des eaux d'irrigation .....</b>	<b>52</b>
<b>    1.1.Qualité des eaux usées traitées.....</b>	<b>52</b>
<b>    1.2.Classification chimique des EUT .....</b>	<b>54</b>
<b>2.Qualité bactériologique des eaux d'irrigations .....</b>	<b>56</b>
<b>3.Paramètres de germination .....</b>	<b>56</b>
<b>4.Paramètres morphologiques.....</b>	<b>57</b>
<b>5.Paramètre de floraison : .....</b>	<b>63</b>
<b>6.Paramètres de production :.....</b>	<b>66</b>
<b>7.Paramètre de qualité :.....</b>	<b>70</b>
<b>Interprétation des résultats et discussion : .....</b>	<b>76</b>

Conclusion (Hv) .....	78
<i>Résultats : (Tomate)</i> .....	80
1. Qualité physico-chimique des eaux d'irrigation : .....	80
2. Qualité bactériologique des eaux d'irrigation : .....	80
3. Paramètres morphologiques : .....	80
Interprétations des résultats et discussions (Tomate): .....	94
Conclusion (tomate) .....	95
3.1 Effets des eaux usées traitées sur la teneur en eau du l'haricot vert et de la tomate .....	96
3.2. Evaluation des exportations en azote, phosphore et potassium .....	96
3.3. Effet de la charge saline des eaux usées sur la composition chimique .....	100
3.3.1. Teneurs en calcium et magnésium .....	100
3.3.2. Teneur en sodium .....	100
3.3.3. Teneurs en soufre .....	101
3.3.4. Teneur en bore.....	101
3.3.5. Teneur en cuivre.....	102
3.3.6. Teneur en zinc .....	102
3.3.7. Teneurs en cadmium et plomb.....	103
Conclusion Générale .....	105
Références Bibliographiques	
Proposition et Recommandation (voir Annexe).	
Annexes	

## LISTES DES FIGURES

<b>FIGURE I.1 : INTEGRATION DES EAUX USEES TRAITEES DANS LE CYCLE GENERAL DES RESSOURCES EN EAU .....</b>	<b>01</b>
<b>FIGURE I.2 : CYCLE GEOCHIMIQUE SIMPLIFIE DES METAUX (SOURCE : MIQUEL, 2001) .....</b>	<b>06</b>
<b>FIGURE I.3: VOLUME MOYEN JOURNALIER DES EAUX USEES RECYCLEES EN QUELQUES PAYS DE LA MEDITERRANEE (DONNEES POUR LES ANNEES 2000-2003, ADAPTEES DE JIMENEZ ET ASANO, 2007). 11</b>	<b>11</b>
<b>FIGURE I.4: ASPECTS DE REUTILISATION DES EU DANS LES DIFFERENTES REGIONS DU MONDE (BOXIO ET AL. 2005) .....</b>	<b>20</b>
<b>FIGURE II.1 : LOCALISATION DU PERIMETRE A IRRIGUE PAR LES EAUX USEES TRAITEES .....</b>	<b>29</b>
<b>FIGURE II.2 : VARIATION ANNUELLE DE LA PLUVIOMETRIE (PERIODE 1968-2001, AEROPORT (KASDI MERBAH ANNABA) .....</b>	<b>30</b>
<b>FIGURE II.3 : VARIATION MENSUELLE DE LA PLUVIOMETRIE.....</b>	<b>30</b>
<b>FIGURE II.4 : CONFIGURATION DE L'ANCIENNE STEP DE EL-KALA .....</b>	<b>33</b>
<b>FIGURE II.5 : NOUVEAUX SYSTEME DE TRAITEMENT DE LA STEP DE EL-KALA .....</b>	<b>35</b>
<b>FIGURE II.6 : VARIATIONS MENSUELLES DES VOLUMES DES EUT UTILISEES (PERIODE 2003-2006) ...</b>	<b>37</b>
<b>FIGURE III-1 : LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....</b>	<b>42</b>
<b>FIGURE IV.1 : DIAGRAMME DE PIPER DES EAUX USEES TRAITEES DE LA STATION D'EPURATION D'EL-KALA.....</b>	<b>54</b>
<b>FIGURE IV.2 : DIAGRAMME DE SHÖELLER BERKALOFF DES EUT DE LA STATION D'EPURATION D'EL-KALA.....</b>	<b>55</b>
<b>FIGURE IV.3 : CLASSIFICATION DES EUT DE LA STATION D'EPURATION D'EL-KALA SELON LE DIAGRAMME DE RIVERSIDE.....</b>	<b>56</b>
<b>FIGURE IV-4 : VARIATION DES MOYENS DE GERMINATION EN FONCTION DE DIFFERENTS TRAITEMENTS.....</b>	<b>57</b>
<b>FIGURE IV-5 : VARIATION DES LONGUEURS MOYENNES DES PLANTS (CM) EN FONCTION DES DIFFERENTS TRAITEMENTS .....</b>	<b>58</b>
<b>FIGURE IV-6 : VARIATION DES DIAMETRES DES TIGES (CM) EN FONCTIONS DES DIFFERENTS TRAITEMENTS.....</b>	<b>60</b>
<b>FIGURE IV-7 : VARIATION DES NOMBRES DES FEUILLES EN FONCTION DES DIFFERENTS TRAITEMENTS .....</b>	<b>61</b>
<b>FIGURE IV-8 : VARIATION DES LONGUEURS MOYENNES DES FEUILLES EN FONCTION DE DIFFERENTS TRAITEMENTS.....</b>	<b>62</b>
<b>FIGURE IV-9 : VARIATION DE NOMBRE MOYEN DES FLEURS EN FONCTION DES DIFFERENTS TRAITEMENTS.....</b>	<b>65</b>
<b>FIGURE IV-10 : TAUX D'AVORTEMENTS SELON LES DIFFERENTS TRAITEMENTS.....</b>	<b>66</b>
<b>FIGURE IV-11 : NOMBRE MOYEN DES FRUITS EN FONCTION DE DIFFERENTS TRAITEMENTS.....</b>	<b>68</b>
<b>FIGURE IV-12 : POIDS MOYEN DES FRUITS DES DIFFERENTS TRAITEMENTS .....</b>	<b>69</b>
<b>FIGURE IV-13 : VARIATION DES RENDEMENTS EN FONCTION DES DIFFERENTS TRAITEMENTS .....</b>	<b>70</b>
<b>FIGURE IV-14 : LONGUEUR MOYEN DES FRUITS EN FONCTION DES DIFFERENTS TRAITEMENTS.....</b>	<b>71</b>
<b>FIGURE IV-15 : LONGUEUR MOYENNES DES RACINES EN FONCTION DES DIFFERENTS TRAITEMENTS .....</b>	<b>72</b>

## Listes des figures et tableaux

<b>FIGURE IV-16 : NOMBRE MOYEN DES RACINES EN FONCTION DES DIFFERENTS TRAITEMENTS .....</b>	<b>73</b>
<b>FIGURE IV-17 : NOMBRE MOYEN DE NODOSITE EN FONCTION DE DIFFERENTS TRAITEMENTS .....</b>	<b>75</b>
<b>FIGURE IV-18 : LA LONGUEUR DES TIGES PENDENT LE CYCLE VEGETATIF POUR LES QUATRE TRAITEMENTS.....</b>	<b>83</b>
<b>FIGURE IV-19 : DIAMETRE DES TIGES PENDENT LE CYCLE VEGETATIF POUR LES QUATRE TRAITEMENTS.....</b>	<b>85</b>
<b>FIGURE IV-20 : LE NOMBRE DES TIGES PENDENT LE CYCLE VEGETATIF POUR LES QUATRE TRAITEMENTS.....</b>	<b>88</b>
<b>FIGURE IV-21 : LA LONGUEUR DES RACINES PENDANT LE CYCLE VEGETATIF POUR LES QUATRE TRAITEMENTS.....</b>	<b>89</b>
<b>FIGURE IV-22 : LE NOMBRE DES FLEURS PENDENT LE CYCLE VEGETATIF POUR LES QUATRE TRAITEMENTS.....</b>	<b>91</b>
<b>FIGURE IV-23 : LE NOMBRE MOYEN DES FRUITS PAR PLANTS POUR CHAQUE TRAITEMENT .....</b>	<b>92</b>
<b>FIGURE IV-24 : LE TAUX MOYEN D'AVORTEMENT PAR PLANTS POUR CHAQUE TRAITEMENT.....</b>	<b>92</b>
<b>FIGURE IV-25 : LE DIAMETRE MOYEN DES FRUITS POUR CHAQUE TRAITEMENT.....</b>	<b>93</b>
<b>FIGURE IV-26 : LE POIDS MOYEN DES FRUITS.....</b>	<b>93</b>
<b>FIGURE IV-27: RELATION MATIERE SECHE PRODUITE - AZOTE, PHOSPHORE ET POTASSIUM ABSORBE POUR L'HARICOT VERT (A, B ET C) ET POUR LA TOMATE (D, E ET F).....</b>	<b>98</b>
<b>FIGURE IV-28. EFFET DES EAUX USEES SUR LA TENEUR EN SODIUM DANS LES DIFFERENTES PARTIES DU (HV) ET DE LA TOMATE (T). (%MS).....</b>	<b>101</b>
<b>FIGURE IV-29. EFFET DES EAUX USEES SUR LA TENEUR EN SOUFRE DANS LES DIFFERENTES PARTIES DU (HV) (A)'ET DE LA TOMATE (B) (%MS).....</b>	<b>101</b>
<b>FIGURE IV-30. EFFET DES EAUX USEES SUR LA TENEUR EN BORE DANS LES DIFFERENTES PARTIES DU HARICOT VERT (A) ET DE LA TOMATE (B) (PPM.MS). .....</b>	<b>102</b>
<b>FIGURE IV-31 : EFFET DES EAUX USEES SUR LA TENEUR EN ZINC DANS LES DIFFERENTES PARTIES (HV) (A) ET DE LA TOMATE (B). (PPM.MS) .....</b>	<b>102</b>

## LISTE DES TABLEAUX

<b>TABLEAU I.1: DIRECTIVES POUR L'INTERPRETATION DE LA QUALITE DE L'EAU POUR L'IRRIGATION (AYERS ET WESTCOT, 1985) .....</b>	<b>10</b>
<b>TABLEAU I.2 : DIFFERENTS PROCEDES POUR LE TRAITEMENT SECONDAIRE .....</b>	<b>13</b>
<b>TABLEAU I.3: RECOMMANDATIONS MICROBIOLOGIQUES REVISEES DE L'OMS (2000) POUR LA REUTILISATION EN AGRICULTURE DES EAUX USEES.....</b>	<b>16</b>
<b>TABLEAU I.4: NORMES BACTERIOLOGIQUES APPLIQUEES DANS CERTAINS PAYS ET PRECONISEES PAR DES ORGANISATIONS (LAVISON ET MOULIN, 2007) .....</b>	<b>17</b>
<b>TABLEAU I.5 : LIMITES RECOMMANDEES EN ELEMENTS TRACES (MGL-1) DANS LES EAUX USEES EPUREES DESTINEES A L'IRRIGATION (FAO, 2003) .....</b>	<b>18</b>
<b>TABLEAU I.6: TENEURS EN METAUX LOURDS (MG/KG) DANS LE SOL IRRIGUE PAR EU COMPAREES A UN TEMOIN ET AUX NORMES ANGLAISES POUR LES SOLS AGRICOLES (MAPENDA ET AL., 2005).....</b>	<b>25</b>
<b>TABLEAU I.7 : TENEURS EN METAUX LOURDS (MG/KG) DANS LES PLANTES DE LUZERNE COMPAREES AU TENEURS CONVENTIONNELLES TROUVEES DANS LES TISSUS DES PLANTE ET CORRELATION (R) AVEC LES TENEURS DANS LE SOL (ASSADIAN ET AL., 1998) .....</b>	<b>27</b>
<b>TABLEAU II.1: VARIATION MENSUELLE DE LA TEMPERATURE (°C).....</b>	<b>31</b>
<b>TABLEAU II.2: EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE MOYENNE MENSUELLE ET DEFICIT HYDRIQUE .....</b>	<b>31</b>
<b>TABLEAU II.3: CONCENTRATION DES METAUX LOURDS DANS LES EUT DE LA STEP DE EL-KALA ..</b>	<b>36</b>
<b>TABLEAU II.4: TENEURS EN METAUX LOURDS DANS LES BOUES SECHES DE LA STEP D'EL-KALA (ALLANI, 1993).....</b>	<b>36</b>
<b>TABLEAU II.5: QUANTITE D'EAUX USEES TRAITEES ET REUTILISEES EN (PERIODE 1990-2006, SOURCE ONA-EL-KALA) .....</b>	<b>37</b>
<b>TABLEAU III-1 : LES TEMPERATURES HEBDOMADAIRES DURANT L'EXPERIMENTATION .....</b>	<b>40</b>
<b>TABLEAU III-2: PROPRIETES PHYSIQUES DES SOLS UTILISES.....</b>	<b>41</b>
<b>TABLEAU IV-1 : LES RESULTATS D'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX D'IRRIGATION .....</b>	<b>52</b>
<b>TABLEAU IV.2 : QUALITE DES EAUX USEES TRAITEES DE LA STATION D'EPURATION DE EL-KALA (PERIODE 1984-2009) .....</b>	<b>53</b>
<b>TABLEAU IV.3: LES APPORTS MOYENNE DES FERTILISANTS D'UNE HAUTEUR D'EAU DE (600MM) (EN KG/H). .....</b>	<b>53</b>
<b>TABLEAU IV-4 : QUALITE MICROBIOLOGIQUE DES EAUX D'IRRIGATIONS (1000CF/100ML).....</b>	<b>56</b>
<b>TABLEAU IV-5 : NOMBRE MOYEN DE GERMINATION .....</b>	<b>56</b>
<b>TABLEAU IV-6 : LONGUEUR MOYENNE DES TIGES (CM).....</b>	<b>57</b>
<b>TABLEAU IV-7 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LA LONGUEUR DES TIGES DURANT LA FIN DE LA PHASE DE CROISSANCE.....</b>	<b>57</b>
<b>TABLEAU IV-8 : DIAMETRES MOYEN DES TIGES (CM).....</b>	<b>59</b>
<b>TABLEAU IV-9 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LES DIAMETRES DES TIGES A 37 JOURS APRES LE SEMIS.....</b>	<b>59</b>
<b>TABLEAU IV-10 : NOMBRE MOYEN DES FEUILLES .....</b>	<b>60</b>
<b>TABLEAU IV-11 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LE NOMBRE DES FEUILLES EN FIN DE CROISSANCE .....</b>	<b>60</b>
<b>TABLEAU IV-12 : LONGUEUR MOYENNE DES FEUILLES .....</b>	<b>61</b>

## Listes des figures et tableaux

<b>TABLEAU IV-13 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LA LONGUEUR DES FEUILLES EN FIN DE CROISSANCE .....</b>	<b>61</b>
<b>TABLEAU IV-14 : NOMBRE MOYEN DES FLEURS.....</b>	<b>63</b>
<b>TABLEAU IV-15 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LE NOMBRE DES FLEURS AU DEBUT DE FLORAISON .....</b>	<b>63</b>
<b>TABLEAU IV-16 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LE NOMBRE DES FLEURS EN PLEINE FLORAISON .....</b>	<b>64</b>
<b>TABLEAU IV-17 : TAUX MOYEN D'AVORTEMENT EN (%) .....</b>	<b>65</b>
<b>TABLEAU IV-18 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LE TAUX D'AVORTEMENT .....</b>	<b>65</b>
<b>TABLEAU IV-19 : NOMBRE MOYEN DES FRUITS PAR PLANTS .....</b>	<b>66</b>
<b>TABLEAU IV-20 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LE NOMBRE DES FRUITS .....</b>	<b>67</b>
<b>TABLEAU IV-21 : POIDS MOYEN DES FRUITS PAR PLANTS (GR) .....</b>	<b>68</b>
<b>TABLEAU IV-22 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LE POIDS DES FRUITS .....</b>	<b>68</b>
<b>TABLEAU IV-23 : RENDEMENTS DE PRODUCTION EN KG/PLANT .....</b>	<b>69</b>
<b>TABLEAU IV-24: LONGUEUR MOYENNE DES FRUITS (CM) : .....</b>	<b>70</b>
<b>TABLEAU IV-25 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LES LONGUEURS DES FRUITS .....</b>	<b>70</b>
<b>TABLEAU IV-26 : LONGUEURS MOYENNE DES RACINES (CM) .....</b>	<b>71</b>
<b>TABLEAU IV-27 : ANALYSE DE VARIANCE POUR LA LONGUEUR DES RACINES .....</b>	<b>71</b>
<b>TABLEAU TABLEAU IV-28: NOMBRE MOYEN DES RACINES .....</b>	<b>73</b>
<b>TABLEAU IV-29 : ANALYSE DE VARIANCE POUR LE NOMBRE DE RACINE .....</b>	<b>73</b>
<b>TABLEAU IV-30 : NOMBRE MOYEN DE NODOSITE .....</b>	<b>74</b>
<b>TABLEAU IV-31 : ANALYSE DE VARIANCE POUR LE NOMBRE DE NODOSITE.....</b>	<b>74</b>
<b>TABLEAU IV-31 : LES RESULTATS D'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX D'IRRIGATION .....</b>	<b>80</b>
<b>TABLEAU IV-32 : QUALITE MICROBIOLOGIQUE DES EAUX D'IRRIGATIONS (%).....</b>	<b>80</b>
<b>TABLEAU IV-34 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LA LONGUEUR DES TIGES LORS DE LA PLANTATION, EN UTILISANT LA SC AJUSTEE POUR LES TESTS.....</b>	<b>80</b>
<b>TABLEAU IV-35 : TESTS DE SIMULTANEITE DE DUNNETT.....</b>	<b>81</b>
<b>TABLEAU IV-36 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LA LONGUEUR DES TIGES AU DEBIT DE FLORAISON, EN UTILISANT LA SC AJUSTEE POUR LES TESTS .....</b>	<b>81</b>
<b>TABLEAU IV-37 : TESTS DE SIMULTANEITE DE DUNNETT.....</b>	<b>81</b>
<b>TABLEAU IV-38 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LA LONGUEUR DES TIGES EN PLEINE FLORAISON, EN UTILISANT LA SC AJUSTEE POUR LES TESTS .....</b>	<b>82</b>
<b>TABLEAU IV-39 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LA LONGUEUR DES TIGES AN MOMENT DE L'ARRACHAGE DES PLANTS, EN UTILISANT LA SC AJUSTEE POUR LES TESTS.....</b>	<b>82</b>
<b>TABLEAU IV-40 : TESTS DE SIMULTANEITE DE DUNNETT.....</b>	<b>82</b>
<b>TABLEAU IV-41: DIAMETRE MOYEN DES TIGES (CM) : .....</b>	<b>83</b>
<b>TABLEAU IV-42 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LES DIAMETRES A LA PLANTATION, EN UTILISANT LA SC AJUSTEE POUR LES TESTS.....</b>	<b>83</b>
<b>TABLEAU IV-43 : TESTS DE SIMULTANEITE DE DUNNETT.....</b>	<b>83</b>
<b>TABLEAU IV-44: ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LES DIAMETRES AU DEBIT DE FLORAISON, EN UTILISANT LA SC AJUSTEE POUR LES TESTS.....</b>	<b>84</b>

## Listes des figures et tableaux

<b>TABLEAU IV-45 : TESTS DE SIMULTANEITE DE DUNNETT.....</b>	<b>84</b>
<b>TABLEAU IV-46 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LES DIAMETRES EN PLEINE FLORAISON, EN UTILISANT LA SC AJUSTEE POUR LES TESTS.....</b>	<b>84</b>
<b>TABLEAU IV-47 : TESTS DE SIMULTANEITE DE DUNNETT.....</b>	<b>84</b>
<b>TABLEAU IV-48 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LES DIAMETRES AU MOMENT DE L'ARRACHAGE DES PLANTS, EN UTILISANT LA SC AJUSTEE POUR LES TESTS .....</b>	<b>85</b>
<b>TABLEAU IV-49 : TESTS DE SIMULTANEITE DE DUNNETT.....</b>	<b>85</b>
<b>TABLEAU IV-50 : NOMBRE MOYEN DES FEUILLES .....</b>	<b>86</b>
<b>TABLEAU IV-51 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LE NOMBRE DES FEUILLES A LA PLANTATION, EN UTILISANT LA SC AJUSTEE POUR LES TESTS.....</b>	<b>86</b>
<b>TABLEAU IV-52 : TESTS DE SIMULTANEITE DE DUNNETT.....</b>	<b>86</b>
<b>TABLEAU IV-53 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR NOMBRE DES FEUILLES AU DEBIT DE FLORAISON, EN UTILISANT LA SC AJUSTEE POUR LES TESTS .....</b>	<b>86</b>
<b>TABLEAU IV-54 : TESTS DE SIMULTANEITE DE DUNNETT.....</b>	<b>87</b>
<b>TABLEAU IV-55 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LE NOMBRE DES FEUILLES EN PLEINE FLORAISON, EN UTILISANT LA SC AJUSTEE POUR LES TESTS .....</b>	<b>87</b>
<b>TABLEAU IV-56 : TESTS DE SIMULTANEITE DE DUNNETT.....</b>	<b>87</b>
<b>TABLEAU IV-57 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LE NOMBRE DES FEUILLES AU MOMENT DE L'ARRACHAGE DES PLANTS, EN UTILISANT LA SC AJUSTEE POUR LES TESTS.....</b>	<b>87</b>
<b>TABLEAU IV-58 : LONGUEUR MOYENNE DES RACINES (CM) :.....</b>	<b>88</b>
<b>TABLEAU IV-59: ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LA LONGUEUR DES RACINES A LA PLANTATION, EN UTILISANT LA SC AJUSTEE POUR LES TESTS.....</b>	<b>88</b>
<b>TABLEAU IV-60: TESTS DE SIMULTANEITE DE DUNNETT .....</b>	<b>88</b>
<b>TABLEAU IV-61 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LA LONGUEUR DES RACINES AU MOMENT DE L'ARRACHAGE DES PLANTS, EN UTILISANT LA SC AJUSTEE POUR LES TESTS.....</b>	<b>89</b>
<b>TABLEAU IV-62 : TESTS DE SIMULTANEITE DE DUNNETT.....</b>	<b>89</b>
<b>TABLEAU IV-63 : NOMBRE MOYEN DES FLEURS.....</b>	<b>89</b>
<b>TABLEAU IV-64 : ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LE NOMBRE DES FLEURS AU DEBIT DE FLORAISON, EN UTILISANT LA SC AJUSTEE POUR LES TESTS.....</b>	<b>90</b>
<b>TABLEAU IV-65 : TESTS DE SIMULTANEITE DE DUNNETT.....</b>	<b>90</b>
<b>TABLEAU IV-66: ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LE NOMBRE DES FLEURS EN PLEINE FLORAISON, EN UTILISANT LA SC AJUSTEE POUR LES TESTS .....</b>	<b>90</b>
<b>TABLEAU IV-67 : TESTS DE SIMULTANEITE DE DUNNETT.....</b>	<b>90</b>
<b>TABLEAU IV-68 : ANALYSE DE REGRESSION : LE NOMBRE DE FLEURS EN PLEIN FLORAISON EN FONCTION DE DCO; DBO5; .....</b>	<b>91</b>
<b>TABLEAU IV-69 : ANALYSE DE VARIANCE.....</b>	<b>92</b>
<b>TABLEAU IV-70 : NOMBRE MOYEN DES FRUITS PAR PLANTS .....</b>	<b>92</b>
<b>TABLEAU IV-71 : TAUX D'AVORTEMENT (%) .....</b>	<b>92</b>
<b>TABLEAU IV-72: DIAMETRE MOYEN DES FRUITS (CM).....</b>	<b>93</b>
<b>TABLEAU IV-73: POIDS MOYEN DES FRUITS PAR PLANT (GR) :.....</b>	<b>93</b>

## Listes des figures et tableaux

<b>TABLEAU IV-74 : TENEUR EN EAU DES DIFFERENTS PARTIES DU L'HARICOT VERT (HV) ET DE LA TOMATE (TI) EXPRIME EN GG-1 MS .....</b>	<b>96</b>
<b>TABLEAU IV-75 : RENDEMENT DE L'HARICOT VERT (HV) ET DE LA TOMATE INDUSTRIELLE ; (TI) EN (T/HA) .....</b>	<b>96</b>
<b>TABLEAU IV-76 : EFFICACITE D'EXPORTATION DE N, P ET K PAR HARICOT VERT ET LA TOMATE...</b>	<b>97</b>
<b>TABLEAU IV-77 : QUANTITES DE N,P ET K EXPORTEES PAR L'HARICOT VERT (HV) ET LA TOMATE (TI) (EXPRIMEES EN KG/HA).....</b>	<b>98</b>
<b>TABLEAU IV-78 : EFFICACITE D'EXPORTATION DE N, P ET K PAR HARICOT VERT ET LA TOMATE...</b>	<b>98</b>
<b>TABLEAU IV-79 : EFFICACITE D'UTILISATION DE N, P ET K POUR (HV) HARICOT VERT ET LA TOMATE INDUSTRIELLE (TI). .....</b>	<b>100</b>
<b>TABLEAU IV-80 : . EFFET DES EAUX USEES SUR LES TENEURS EN CA ET MG DANS LES DIFFERENTES PARTIES DE L'HARICOT VERT (HV) ET DE LA TOMATE (%MS). .....</b>	<b>100</b>
<b>TABLEAU IV-81. EFFET DES EAUX USEES SUR LES TENEURS EN CUIVRE DANS LES DIFFERENTES PARTIES DU HARICOT VERT ET DE LA TOMATE (PPM.MS).....</b>	<b>102</b>
<b>TABLEAU IV-82 : EFFET DES EAUX USEES SUR LES TENEURS EN CADMIUM ET PLOMB DANS LES DIFFERENTES PARTIES DU HARICOT VERT ET DE LA TOMATE (PPM MS).....</b>	<b>103</b>

AcNH<sub>4</sub>: acétate d'ammonium  
ANPE: agence nationale de la protection de l'environnement  
CE: conductivité électrique  
CEC: capacité d'échange cationique  
COD: carbone organique dissout  
CT: coefficient de transport  
DBO<sub>5</sub>: Demande Biochimique en Oxygène  
DCO: demande chimique en oxygène  
DGGR: direction générale du génie rural  
DGT: diffusivité gradient in thin films  
DRX: diffraction des rayons X  
EDTA: acide éthylène-diamine-tétraacétique  
EF : enrichment factor (facteur d'enrichissement)  
EM: éléments métalliques  
ESP: taux de sodium échangeable  
EU: eaux usées  
EUT: eaux usées traitées  
FAO: Food and Agriculture Organisation  
FB: facteur de biodisponibilité  
MES: matières en suspension  
MO: matière organique  
OMS: Organisation Mondiale de la Santé  
ONAS: office national de l'assainissement  
RS: résidu sec  
SAR: sodium absorption ratio (ratio du Sodium Absorbable)  
STEP: station d'épuration  
SUVA: specific UV absorbance  
TF: facteur de transfert  
USEPA: United States Environmental Protection Agency  
USAID: United States Agency of International Development

# Introduction Générale

---

## Introduction générale

Le volume d'eau utilisée dans le monde a progressé plus de deux fois plus que le taux de croissance de la population, et un nombre grandissant de régions atteint la limite au-delà de laquelle il n'est plus possible de fournir des services fiables d'approvisionnement en eau (pour différents usages) (FAO, 2007). La croissance démographique et le développement économique exercent une pression sans précédent sur les ressources en eau, renouvelables mais limitées, notamment dans les régions arides. Il est estimé qu'à l'horizon 2025, 1,8 milliard de personnes vivront dans des pays ou des régions disposant de moins de 500 m<sup>3</sup> d'eau renouvelable par an et par habitant (FAO, 2007). Dans les pays de la marge sud de la Méditerranée et notamment dans la région arabe, connue pour son climat aride à semi-aride, la pénurie d'eau sera un fait marquant. La totalité des pays de cette région tombent sous le niveau de pénurie de 500 m<sup>3</sup> d'eau renouvelable par personne et par an (Hamouda, 2004).

Presque toutes les ressources accessibles d'eau douce dans la région sont déjà mobilisées. Par conséquent, il est normal de se tourner vers des ressources d'eau non conventionnelles pour satisfaire l'accroissement de la demande. Plusieurs pays de la région (comme les Etats du Golfe) ont fait de grands efforts en matière de dessalement de l'eau de mer afin de satisfaire la demande de leurs populations urbaines (Qadir et al. 2007). Cependant, en raison du coût élevé associé à cette technologie, son adoption est généralement limitée aux usages domestiques dans des pays à haut revenu. D'autres options, comme l'utilisation de l'eau de drainage, les eaux de qualité marginale à salinité élevée et les eaux usées peuvent être aussi valorisées pour l'irrigation afin de préserver les ressources en eau de bonne qualité pour la potabilisation (Qadir et al. 2007 ; FAO, 2007).

Parmi les domaines de réutilisation possible des eaux usées, l'irrigation constitue le secteur le plus intéressant. En fait, l'agriculture consomme plus 70 % des ressources en eaux notamment dans les pays en développement tels que les pays arabes (Hamouda, 2004). Actuellement, les eaux usées non traitées sont utilisées dans l'irrigation de 10 % des récoltes dans le monde selon une première étude mondiale sur l'irrigation par les eaux usées (Scott et al. 2004). Ces eaux procurent à l'agriculture une ressource précieuse et renouvelable et libèrent un volume supplémentaire d'eau de bonne qualité pour des utilisations prioritaires. Elles constituent en outre, une alternative aux rejets dans les milieux récepteurs qui peuvent présenter des capacités d'absorption limitées (Papaïacovou, 2001). Par ailleurs, le contenu de ces eaux en éléments nutritifs, notamment en azote, potassium et phosphore, permet de diminuer les frais de fertilisation des sols. L'utilisation des eaux usées peut également prévenir l'eutrophisation et éviter la croissance des algues dans les zones de rejets, telles les lacs et étangs. Si cette ressource constitue une valeur hydrique et un potentiel d'apport de matières fertilisantes, elle peut être également une source de pollution. Son contenu en éléments traces organiques et métalliques et en pathogènes ainsi que sa teneur élevée en azote peuvent présenter un risque pour l'environnement et la santé humaine.

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

En Algérie, dans le cadre d'une stratégie nationale d'utilisation optimale des ressources et d'économie en eau, une politique de réutilisation des eaux usées traitées (EUT) a été adoptée au début des années 80. En effet, sur 410 millions de m<sup>3</sup> d'eaux usées collectées par an, environ 140 millions m<sup>3</sup> d'eaux usées traitées sont valorisés en agriculture. A El-Tarf, une ville frontalière, wilaya

## Introduction Générale

---

à vocation agricole par excellence, la réutilisation des eaux usées traitées atteint 25% des eaux épurées, évaluée à 07 millions m<sup>3</sup>/an. A la lumière des résultats encourageants et du fait de la croissance de la demande en eaux usées traitées, un projet de dédoublement de la superficie des périmètres irrigués (de 500 à 710 ha) est en cours de validation. Cependant, le sol du périmètre d'El souarekh) daïra d'El-kala, déjà pauvre en éléments organiques, est vulnérable à l'eau dont la salinité est moyennement élevée. Il est donc nécessaire d'être vigilant quant à la qualité de l'eau utilisée.

L'étude que nous présentons est une contribution à l'évaluation de l'impact de l'irrigation par les EUT au niveau de la station d'épuration d'El-kala. L'objectif de travail est d'examiner l'état des sols en termes de salinisation, d'accumulation et de phytodisponibilité des éléments métalliques. Cette étude s'inscrit dans le cadre du programme national d'optimisation de la réutilisation des eaux usées traitées.

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une cotutelle entre l'université d'El-Tarf, (O.N.A.S). (D.R.H Wilaya d'El\_Tarf)), (direction de l'Environnement d'El-Tarf). Le choix des sites d'études et l'échantillonnage a été piloté par le l'université et les responsable de O.NAS. D'El -Kala) qui gère la réutilisation des eaux usées traitées.

Cette étude a été réalisée selon trois approches dont chacune présente une méthodologie d'échantillonnage et de caractérisation spécifique.

Une première approche axée sur l'effet général de l'irrigation par les eaux usées traités sur deux types de sols largement représentés au niveau du périmètre d'irrigation étudié (Argileuse sableuse et sableuse limoneuse). Ainsi, une caractérisation qualitative à travers la salinité, la sodicité et la fertilité a été effectuée sur des échantillons de sols prélevés de manière aléatoire et systématique à différentes profondeurs.

La deuxième approche consiste en une évaluation quantitative de la migration verticale des éléments métalliques et majeurs dans les deux types de sols irrigués par les EUT.

La troisième approche vise à étudier l'effet des pratiques agricoles sur l'accumulation et le transfert sol-plantes des métaux lourds dans les sols choisis. Ce transfert est étudié par la quantification des teneurs en métaux dans le sol, les racines et les parties aériennes de deux plantes (Tomate industrielle et Le Haricot vert) présentant des cycles de vie différents. Le travail de cette thèse fait l'objet d'une présentation en 04 chapitres.

Le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique présente un aperçu globale de la réutilisation des eaux usées alors que le second chapitre récapitule les caractéristiques générales des sites d'étude. Le troisième chapitre présente le Matériel et Méthode bien détaillée des différentes méthodes adoptées et des protocoles d'analyses utilisés. Les résultats des différentes approches. Ils traitent donc successivement :

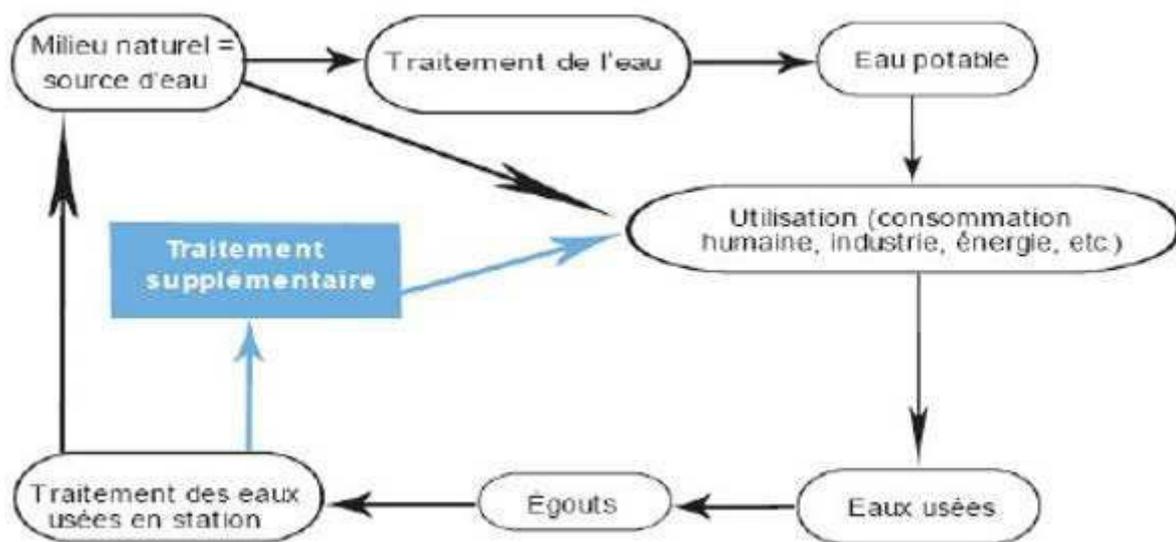
Chapitre V : Les résultats et les discussions des de notre expérimentation.

CONCLUSION GENERALE.

## 1. Introduction

Dans les régions souffrant de pénurie d'eau, les eaux usées ne sont plus considérées comme déchets à éliminer mais comme partie intégrante des ressources potentielles en eau. D'après la (figure I.1), la valorisation des eaux usées passe obligatoirement par deux étapes essentielles.

La première étape est la collecte des eaux usées. Cette étape nécessite l'installation d'un réseau d'égouts couvrant les différents secteurs urbains. En effet, la nature et les volumes des eaux usées collectées sont les facteurs les plus déterminants pour le choix du procédé de traitement et bien entendu, pour le dimensionnement des stations d'épuration. Ainsi, l'installation des stations d'épuration constitue la deuxième étape du schéma général de valorisation des eaux usées, bien que dans certains pays en voie de développement, ces eaux sont encore réutilisées à l'état brut. Les effluents une fois traités, au lieu d'être déversés dans le milieu naturel, vont être réutilisés pour différents usages. Dans certains pays où les normes de réutilisation sont drastiques, ces eaux usées vont subir des traitements supplémentaires pouvant aller jusqu'à la désinfection. En effet, c'est la finalité d'usage qui définit le niveau de traitement complémentaire.



**Figure I.1 : Intégration des eaux usées traitées dans le cycle général des ressources en eau**

La réutilisation agricole constitue la principale filière de réutilisation des eaux usées à travers le monde. Cette réutilisation trouve sa motivation en trois points essentiels :

- 1) la nécessité de réserver les eaux de bonne qualité à l'alimentation en eau potable,
- 2) la préservation des milieux naturels et 3) l'économie d'engrais chimiques en exploitant le pouvoir fertilisant de ces eaux.

La connaissance de la composition des eaux usées est une étape primordiale pour la prévention des risques inhérents à leurs diverses utilisations. Au cours de ce chapitre, la composition des eaux usées est tout d'abord présentée. Par la suite, un aperçu est donné sur la réutilisation des eaux usées traitées ainsi que sur les aspects juridiques et techniques à l'échelle nationale et internationale. Enfin,

les différents impacts sur le milieu récepteur que peut engendrer la pratique de la réutilisation des eaux usées traitées sont considérés surtout sur le plan physico-chimique.

## **2. Composition des eaux usées**

### **2.1. Généralités**

Les eaux usées urbaines proviennent essentiellement des activités domestiques et industrielles ainsi que des eaux souterraines et des précipitations (les réseaux étant généralement unitaires). Les eaux domestiques proviennent des activités humaines quotidiennes, alors que les eaux usées industrielles sont très variées en termes de quantité et de qualité. Leurs caractéristiques dépendent du type d'industrie et du niveau de traitement que les eaux usées subissent avant leur rejet. La composition des eaux résiduaires urbaines brutes dépend donc, en d'autres termes:

essentiellement de l'activité humaine (eaux ménagères et eaux vannes), de la composition des eaux d'alimentation en eau potable et accessoirement de la nature des matériaux entrant dans la constitution des canalisations d'eau pour quelques constituants chimiques, de la nature et de la quantité des effluents industriels éventuellement rejetés dans le réseau urbain.

Les eaux usées urbaines contiennent des matières solides, des substances dissoutes et des microorganismes. Ces derniers sont la cause des principales restrictions imposées à la réutilisation des eaux usées.

En effet, la réglementation distingue des niveaux de qualité pour les eaux usées épurées, déterminés essentiellement par les taux de concentration en microorganismes. Il est donc indispensable de connaître la composition des eaux usées afin de définir les domaines de réutilisation possibles et le niveau de restriction.

### **2.2. Microorganismes**

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

#### **2.2.1. Les bactéries**

Les bactéries sont les microorganismes les plus communément rencontrés dans les eaux usées (Toze, 1999). Les eaux usées urbaines contiennent environ  $10^6$  à  $10^7$  bactéries/100 mL dont la plupart sont proteus et entérobactéries,  $10^3$  à  $10^4$  streptocoques et  $10^2$  à  $10^3$  clostridiums. La concentration en bactéries pathogènes est de l'ordre de  $10^4$  germes L-1. Parmi les plus détectées sont retrouvées, les salmonelles, dont celles responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Les coliformes thermotolérants sont des germes témoins de contamination fécale communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau.

#### **2.2.2. Les virus**

Les virus sont des parasites intracellulaires obligés qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre  $10^3$  et  $10^4$

particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées restent difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous-estimation de leur nombre réel. Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal. Parmi les virus entériques humains les plus nombreux il faut citer les entérovirus (exemple: polio), les rotavirus, les rétrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A. Il semble que les virus soient plus résistants dans l'environnement que les bactéries. Aulicino et al. (1996), ont constaté que, au cours de processus de traitement des eaux usées, les virus sont plus difficiles à éliminer que les bactéries classiques couramment utilisées comme indicateurs de la qualité bactériologique des eaux. De plus les auteurs ont détecté plusieurs virus dans les milieux récepteurs recevant des effluents traités tels que les rivières et les étangs. D'autre part, Blanc et Nasser (1996), ont constaté que les virus sont plus persistants, à température ambiante, dans un sol irrigué par des EUT que certains autres bactériophages.

### 2.2.3. Les protozoaires

Au cours de leur cycle vital, les protozoaires passent par une forme de résistance, les kystes, qui peuvent être véhiculés par les eaux résiduaires. Ces parasites sont très persistants. Ainsi, selon les conditions du milieu, ces organismes peuvent survivre plusieurs semaines voir même plusieurs années (Campos, 2008). Plusieurs protozoaires pathogènes ont été identifiés dans les eaux usées (Gennaccaro et al., 2003). Parmi les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne, *Giardia lamblia* et *Cryptosporidium parvum* (Toze 1997, in Toze, 2006). En revanche, 10 à 30 kystes, est une dose suffisante pour causer des troubles sanitaires (Campos, 2008).

### 2.2.4. Les helminthes

Les helminthes sont des parasites intestinaux, fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires. Dans les eaux usées urbaines, le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et 103 germes L-1. Beaucoup de ces helminthes ont des cycles de vie complexes comprenant un passage obligé par un hôte intermédiaire (Toze, 2006). Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les œufs.

Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires. En effet, la persistance de ces organismes à différentes conditions environnementales ainsi que leur résistance à la désinfection permet leur reproduction, ce qui constitue leur risque potentiel (Campos, 2008).

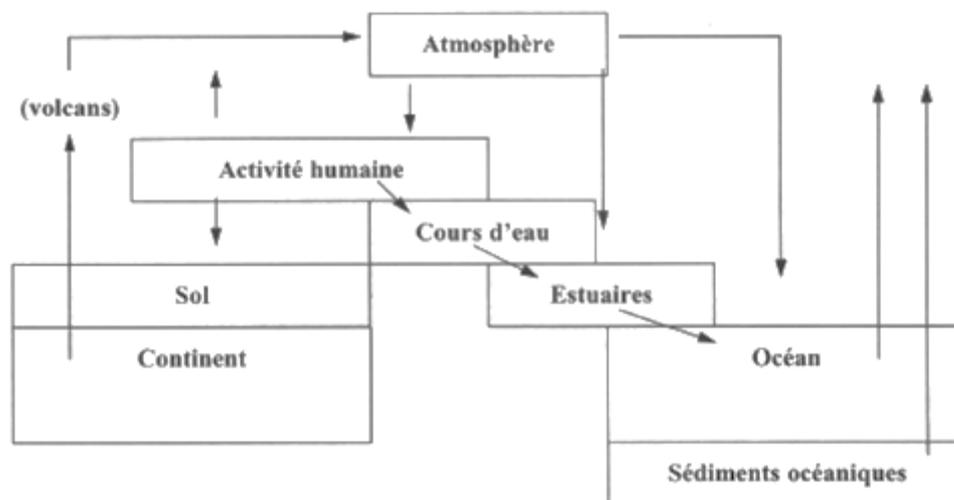
Les helminthes pathogènes rencontrés dans les eaux usées sont : *Ascaris lumbricoides*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichuria*, *Taenia saginata*.

L'analyse des risques sanitaires liés aux agents pathogènes susceptibles d'être transportés par les eaux usées est le fondement des recommandations proposées par l'Organisation Mondiale de la Santé en 1989 (OMS, 1989).

### 2.3. Eléments traces et métaux lourds

Les sources de métaux pour les milieux aquatiques sont multiples. On différencie principalement les sources d'origine naturelle et anthropique. En effet, les métaux sont présents naturellement dans les sols. Certains en sont des constituants majeurs (Al) ou importants pour la structure des minéraux (Fe, Mn) (Baize and Sterckeman, 2001; Hamon et al. 2004; Horckmans et al., 2005).

La figure I.2 montre le cycle des métaux dans l'environnement. Les principaux phénomènes naturels conduisant à la dissémination des métaux dans les compartiments environnementaux sont l'activité volcanique et l'érosion des roches (Doelsch et al., 2006). Dans le cas de l'activité volcanique, bien que la majeure partie de ces métaux retombe dans un rayon de 100 km, une partie significative atteint la stratosphère et se dissémine alors sur l'ensemble du globe terrestre (Garrett, 2000). Ainsi, par l'intermédiaire du compartiment atmosphérique, ils pourront ultérieurement atteindre les milieux aquatiques. D'autre part, l'altération chimique des roches permet une mise en circulation naturelle des métaux sous forme dissoute.



**Figure I.2 : Cycle géochimique simplifié des métaux (source : Miquel, 2001)**

En plus du fond géochimique, les milieux aquatiques sont enrichis en métaux par les activités humaines. Les métaux sont utilisés par l'homme comme matériaux mais également comme réactifs dans l'industrie (traitement de surface, intermédiaire réactionnel...) et l'agriculture (phytosanitaires). Les activités industrielles, ainsi que le trafic automobile émettent de fines particules métalliques dans l'atmosphère, principalement dans les zones urbaines (Azimi et al., 2005). Les métaux ainsi disséminés se déposent dans les divers compartiments environnementaux tels que les plans d'eau et les sols. Les métaux déposés sur les sols peuvent cependant atteindre les cours d'eau par ruissellement au cours des événements pluvieux.

Dans le cas du réseau unitaire de collecte des eaux usées, les eaux usées urbaines sont composées d'un mélange, d'eaux usées domestiques, d'eaux usées industrielles et d'eaux de ruissellement. Les

métaux contenus dans les eaux de ruissellement proviennent des dépôts atmosphériques mais également de la corrosion des surfaces de ruissellement (ex : toitures, gouttières) (Gromaire et al., 2001). En effet, la plupart des métaux dans les eaux de ruissellement sont majoritairement associés aux matières en suspension ou aux colloïdes (Makepeace et al. 1995). Dans les eaux industrielles, les métaux découlent directement de leur utilisation dans les procédés industriels. Ces eaux usées sont caractérisées par une importante variabilité de leur charge polluante. La charge en métaux des eaux domestiques est au contraire cyclique car elle découle de l'activité journalière des ménages. Les métaux contenus dans les eaux domestiques ont pour origine, d'une part, la corrosion des canalisations d'eau potable et, d'autre part, de l'usage des métaux dans les activités domestiques et dans des produits ménagers.

Dans certaines régions, les rejets miniers constituent, également, une source ponctuelle importante de métaux lourds (Braungardt et al., 2003 ; Figueira and Ribeiro, 2005).

Les eaux usées urbaines sont une des principales voies d'apport de métaux vers les écosystèmes aquatiques (Buzier et al., 2006). A l'entrée des stations d'épuration, une large partie des métaux contenue dans les eaux usées se trouve complexée avec la matière organique dissoute (Kunz et Jardin 2007, Giokas et al. 2011). 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, 2008).

Cependant, il faut noter que, sauf exception, telles la présence d'établissements industriels très polluants raccordés directement au réseau d'assainissement ou la réutilisation directe des eaux usées brutes, les concentrations en métaux lourds dans les eaux résiduaires traitées sont faibles et ne constituent pas un facteur limitant la réutilisation des eaux usées en irrigation (Toze, 2006). En effet, l'essentiel de ces métaux est retenu dans les boues des stations d'épuration lors du traitement des eaux usées (Faby et Brissaud, 1997).

## 2.4. Substances nutritives

Les nutriments se trouvent en grande quantité dans l'eau usée, et constituent un paramètre de qualité important pour la valorisation de ces eaux en agriculture et en gestion des paysages (Hamouda, 2007). 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. D'après Faby et Brissaud (2009), une lame d'eau résiduaire traitée de 100 mm peut apporter à l'hectare de terre agricole environ : de 16 à 62 kg d'azote, de 2 à 69 kg de potassium, de 4 à 24 kg de phosphore, de 18 à 208 kg de calcium, de 9 à 100 kg de magnésium, de 27 à 182 kg de sodium

D'autres macro- et micronutriments peuvent également être présents dans les eaux usées. En outre, la présence de matière organique sous différentes formes dans l'eau usée (solides en suspension, éléments colloïdaux et matières dissoutes) peut, par son effet à long terme sur la fertilité du sol, contribuer également à la stabilité structurale du sol (FAO, 2009).

Cette matière organique présente dans l'eau usée influe sur la biodisponibilité des macro- et des micronutriments qui sont essentiels à la nutrition des plantes (Toze, 2006), y-compris sur ceux se trouvant originellement dans le sol. Cependant, la valeur nutritive de l'eau usée peut excéder les besoins de la plante et constituer alors une source potentielle de pollution des eaux de nappe. Elle peut également poser des problèmes de développement végétatif excessif, en retardant la maturité ou en réduisant la qualité des cultures irriguées. Il est donc nécessaire de considérer les nutriments présents dans l'effluent traité en tant qu'élément du programme global de fertilisation des cultures irriguées. À cet égard, en usage agricole, l'analyse d'eau usée est requise au moins une fois au début de la saison culturale (FAO, 2003).

Le potentiel de fertilisation de l'eau usée traitée due à la présence de nutriments est un atout pour les cultures mais peut également être une source de pollution pour l'environnement, en fonction principalement de la gestion des eaux usées appliquées par les agriculteurs. Dans ce cadre, la FAO (2003) a promulgué de nouvelles mesures : Il est recommandé de surveiller NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, P et K, pour trois raisons principales :

- l'estimation des engrais additionnels à fournir pour optimiser le rendement et la qualité des cultures
- \*le choix du système agricole approprié pour la meilleure efficacité d'utilisation des nutriments et de l'eau
- la protection des eaux de surface et souterraine de la pollution par NO<sub>3</sub>-N.

## **2.5. Autres paramètres caractéristiques**

### **2.5.1. Matière en suspension et matière organique**

Les matières en suspension (MES) sont, en majeure partie, de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées, est associée aux MES (FAO, 2003). Les particules en suspension peuvent, par définition, être éliminées par décantation. C'est une étape simple et efficace pour réduire la charge organique et la teneur en germes pathogènes des eaux usées. Toutefois, un traitement beaucoup plus poussé est généralement requis pour faire face aux risques sanitaires. La présence de matière organique dans les eaux usées ne constitue pas, sauf cas très particulier, un obstacle à la réutilisation de ces eaux. Bien au contraire, elle contribue à la fertilité des sols. Cependant, l'expérience montre que le maintien d'une concentration importante en matière organique dans les eaux usées gêne considérablement l'efficacité des traitements destinés à éliminer les germes pathogènes (FAO, 2003). De plus, les concentrations significatives en matière organique peuvent aussi entraîner des odeurs désagréables, notamment s'il arrive que les eaux

stagnent en surface. Enfin, une présence excessive de matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que l'obturation des systèmes d'irrigation.

### 2.5.2. Eléments toxiques organiques

Les eaux usées contiennent des composés chimiques toxiques très persistants et qui ont une grande lipophilicité. Parmi ces composés, on peut citer les hydrocarbures polycycliques aromatiques, les alkyl-phénols, chlorophénols, phtalates, les pesticides et les résidus pharmaceutiques actifs. Certains composés ont un pouvoir de perturber le système endocrinien tels que les hydrocarbures polycycliques aromatiques et les alkylphénols (Belgiorno et al., 2007). En effet plusieurs environnements aquatiques ont été pollués par ces composés en plus des autres substances pharmaceutiques dont la principale source est les eaux usées (Kimura et al. 2004). Il s'est avéré que les stations d'épuration sont des sources potentielles de ces produits toxiques (Belgioro et al., 2007; Andreozzi et al., 2003).

Cependant, les faibles concentrations en ces composés dans les eaux usées limitent le risque d'exposition lors de leur réutilisation pour l'irrigation (Toze, 2006). De plus, En raison de la faible solubilité de ces éléments organiques, on les retrouvera concentrés dans les boues plutôt que dans les eaux résiduaires (FAO, 2003).

### 2.5.3. Salinité Synthèse bibliographique

La salinité d'une eau correspond à sa concentration en sels dissous dans leur ensemble. Elle est exprimée soit par la valeur de la conductivité électrique (CE) ou par le résidu sec (RS).

La CE de l'eau, peut être estimée à partir de la concentration en RS exprimé en g/l, en utilisant à titre indicatif les relations approximatives suivantes :

$RS \text{ (g/l)} = 0,64 \times CE \text{ (dS/m)}$  lorsque

$RS \text{ (g/l)} = 0,80 \times CE \text{ (dS/m)}$  lorsque

$CE < 5 \text{ dS/m}$ .

$CE > 5 \text{ dS/m}$ .

D'une manière générale, la concentration en sels de l'eau usée excède celle de l'eau du réseau d'alimentation en eau potable (Faby et Brissaud, 1997). Lorsque les eaux usées sont valorisées en irrigation, d'autres paramètres entre en considération notamment le SAR (ratio du Sodium Absorbable) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium échangeables. Généralement, le SAR et la CE de l'eau destinée pour l'irrigation, sont utilisés en combinaison afin d'évaluer le risque potentiel de salinisation des sols (Tableau I.1).

**Tableau I.1: Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (Ayers et Westcot, 1985)**

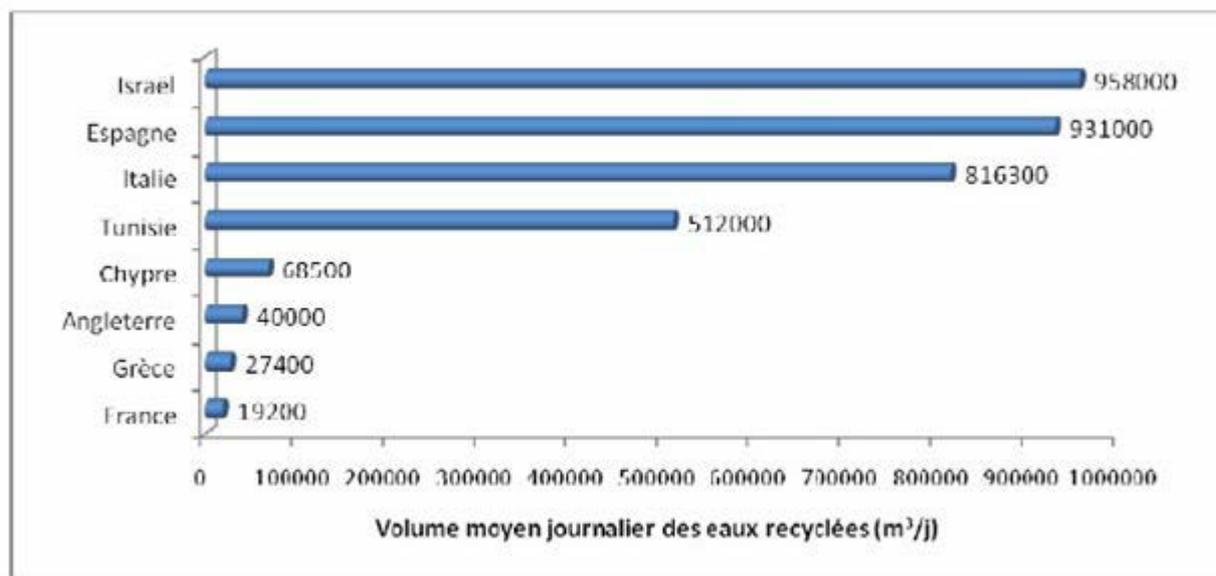
Problèmes potentiels en Degré de restriction Unités
Irrigation Aucun Léger à modéré Sévère Salinité
CE dS/m <0,70,7-3,0>0,30
TDS mg/L <450450-2000>2000
Infiltration
SAR= 0-3 et CE = dS/m >0,70,7-0,2<0,2
= 3-6=>1,21,2-0,3<0,3
= 6-12=>1,91,9-0,5<0,5
= 12-20=>2,92,9-1,3<1,3
= 20-40=>5,05,0-2,9<2,9
Toxicité Spécifique des ions
Sodium (Na)
Irrigation de surface SAR <33-9>9
Irrigation par aspersion méq/L <3>3
Chlorure (Cl)
Irrigation de surface méq/L <44-10>10
Irrigation par aspersion méq/L <3>3
még/L <0,70,7-3,0>3,0 Bore (B)
Effets divers
Azote (NO <sub>3</sub> -N) méq/L <55-30>30
Bicarbonates (HCO <sub>3</sub> ) méq/L <1,51,5-8,5>8,5
pH Gamme normale 6,5 - 8,4
CE: conductivité électrique; TDS: total dissolved solids; SAR: rapport d'absorption du sodium

### 3. La réutilisation des eaux usées

#### 3.1. Bilan mondial Synthèse bibliographique

Pendant les dernières années, la réutilisation des eaux usées 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, aux États Unis et en Chine, et jusqu'à 41 % en Australie. Le volume journalier actuel des eaux réutilisées atteint le chiffre impressionnant de 1,5-1,7 millions de m<sup>3</sup> par jour dans plusieurs pays, comme par exemple en Californie, en Floride, au Mexique et en Chine (Lazarova et Brissaud, 2007).

La figure I.3 illustre l'ampleur de la valorisation des eaux usées dans différents pays du monde (Jiménez et Asano, 2007).



**Figure I.3: Volume moyen journalier des eaux usées recyclées en quelques pays de la Méditerranée (données pour les années 2000-2003, adaptées de Jiménez et Asano, 2007).**

Il est bien évident, que la réutilisation des eaux usées (rejets bruts ou traités) a connu une promotion à travers le monde entier, sur la base de vraies expériences. En Amérique Latine (Peasey et al. 2000), environ 400 m<sup>3</sup>/s d'eaux usées brutes s'écoulent dans les eaux de surface et presque 500 000 hectares de terres agricoles sont irrigués avec des eaux usées, essentiellement sans conditionnement (Mexique-350000, Chili-16000, Pérou-5500 et Argentine-3700). Au Mexique, l'irrigation avec les eaux usées a débuté depuis 1926 pour l'irrigation de différents types de cultures. Ainsi, après plus de 80 ans, il existe 40 départements qui réutilisent les eaux usées, dont uniquement 11% sont traitées, pour l'irrigation des terres agricoles avec une surface totale de 350 milles hectares (Peasey et al. 2000). Dans la Vallée d'Amezqital se trouve le plus grand projet de réutilisation des eaux usées au monde avec 83 000 hectares irrigués avec des eaux usées brutes (Domínguez-Mariani et al., 2004).

Aux Etats-Unis, depuis 1955, les eaux usées sont réutilisées à des fins paysagères. En effet, outre l'arrosage de parcs, de parcours de golf et de jardins publics, des lacs artificiels ont été alimentés en tout ou partie par des eaux usées épurées (Puil, 1998). A titre d'exemple, en 1961, le lac Santee en Californie a été mis en eau et alimenté par des eaux épurées et désinfectées. Parmi les exemples de réutilisation agricole des eaux usées traitées (EUT), on peut citer ceux de Bakersfield et Orange en Californie et Manatee County en Floride. A Bakersfield, des effluents ayant en partie subit un traitement poussé sont utilisés pour l'irrigation de coton, de luzerne, de maïs, d'orge et de betteraves à sucre. A Orange (USA), 800 hectares d'espaces verts urbains sont arrosés et 400 hectares de terres

agricoles sont irrigués. Enfin, à Manatee County, des terrains de golf et des parcs et 3000 hectares de cultures agricoles et de pépinières sont irrigués (Puil, 1998).

En France, la réutilisation des eaux épurées est peu développée. Cela est essentiellement dû à l'abondance de ressources en eau dont la consommation ne dépasse pas 24 % des ressources disponibles (Lazarova et Brissaud, 2007). Bien que, dans ce pays, la réutilisation des EUT a débuté depuis les années quatre-vingt, la réutilisation directe d'eaux usées est restée limitée à quelques cas particuliers, notamment dans les îles de Ré, Noirmoutier, Oléron et de Porquerolles. A Noirmoutier, l'irrigation est réalisée sur 220 hectares de pommes de terre et de courgettes. A Ars-en-Ré, l'irrigation par aspersion est effectuée sur des cultures de maïs, de tournesol et de pomme de terre. Les cultures maraîchères et les vergers (pêchers, amandiers) de Porquerolles sont arrosées à la raie ou par irrigation localisée sur une surface d'irrigation de 30 hectares (Puil, 1998). Le projet de Clermont-Ferrand est le cas le plus important de réutilisation des eaux usées épurées en France. En 1996 et 1997, l'irrigation se faisait sur 50 ha (réseau pilote), puis en 1998, le périmètre s'est étendu à 580 ha, sur 8 communes totalisant 17 000 habitants. Pendant la saison d'irrigation (de juin à octobre), les effluents épurés subissent un traitement complémentaire en passant par des lagunes de stabilisation. En 1998, 150 000 m<sup>3</sup> d'effluents industriels et 440 000 m<sup>3</sup> d'effluents domestiques ont été ainsi utilisés après traitement pour l'agriculture. Les principales cultures sont le maïs, le maïs-semence et la betterave.

D'une manière générale, pratiquement tous les autres pays du pourtour de la Méditerranée, de l'Espagne à la Syrie, réutilisent des eaux usées (traitées et non traitées) pour diverses applications (Bixio et al., 2005). En effet, le bassin méditerranéen est une région où la pénurie en eau est particulièrement ressentie. C'est aussi l'une des régions où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée. Dans certains pays, cette réutilisation est devenue l'objet d'une politique nationale comme en Algérie, en Grèce et en Jordanie (Rebhun, 2004, Tsagarakis et al., 2004, Ammary, 2007, Bahri et Brissaud, 2002). En Algérie, les EUT représentent 4,3% des ressources en eau disponibles pour l'année 1996, et elles vont atteindre 11 % à l'horizon 2030. En Israël, ces eaux représentent 15 % des ressources disponibles pour l'année 2000 et environ 20% vers 2010 (Kamizoulis et al., 2003). En revanche, par rapport au total des ressources en eau, les volumes en eaux usées reconditionnées représentent environ, 7% en Algérie, 8% en Jordanie, 24% en Israël et 32% au Koweït. Cependant, la fraction réutilisée des eaux usées est très variable, avec pour ce dernier pays environ 10% alors que les chiffres sont de 20 -30 % en Algérie, 85 % en Jordanie et 92% en Israël (Kamizoulis et al., 2003).

La Jordanie se rapproche de son objectif de réutilisation de 100% des EU. Environ 90% des 73 millions de mètres cubes d'eau récupérées sur les 19 stations de traitement des eaux usées sont

aujourd'hui réutilisés, directement et indirectement, dans l'industrie, l'aménagement et l'agriculture (sources nouvelles, 2006).

### 3.2. Traitement et réutilisation des eaux usées en Algérie

#### 3.2.1. Introduction

Lors de la création de l'office national de l'assainissement (ONA), en 1999, la priorité en matière de traitement était d'assurer un traitement biologique aux effluents qui devaient être rejetés dans le milieu naturel. Les volumes traités ont évolué de 12 M (million) m<sup>3</sup>/an en 1975 à 169 Mm<sup>3</sup>/an en 2001 sur une capacité d'épuration totale de 218 Mm<sup>3</sup>/an. En 2008, les volumes traités ont atteint 230 Mm<sup>3</sup> (ONAS, 2008).

En 2009, les eaux usées sont traitées dans 100 stations d'épuration. Près de 50% des volumes d'eaux traitées sont produits dans le pôle du Grand Alger. La réutilisation étant encore relativement limitée, près de 80% des eaux traitées sont rejetées en mer. Des émissaires marins ont été par conséquent réalisés afin d'éloigner les effluents des grandes agglomérations et pour la préservation du littoral (Alatiri et al., 2002).

#### 3.2.2. Niveau de traitement Synthèse bibliographique

Les stations d'épuration traitent les eaux usées d'origine domestique (60 %), industrielles (30 %) et touristique (10 %). Le volume d'eau traité de 169 millions m<sup>3</sup> /an correspond à 89 millions de kg de DBO<sub>5</sub>/an et à 5,5 millions d'équivalents habitants (Benabdallah et Neubert, 2003).

Les procédés proposés incluent :

- le traitement primaire : comprend essentiellement le dégrillage et le dessablage qui peut être aéré ou non.
- le traitement secondaire (traitement biologique) : se fait selon les différents procédés d'épuration (Tableau I.2).
- le traitement tertiaire : Cinq stations d'épuration assurent un traitement tertiaire avec des étapes de déphosphatation et de dénitrification (rejet dans un oued et un barrage). Ces traitements concernent environ 4,8% des eaux usées traitées.

**Tableau I.2 : Différents procédés pour le traitement secondaire**

Types de procédés	Volume d'effluents traités (%)
Boues activées moyenne charge	46,9
Boues activées à faible charge	31,8
Lagunage	16,2
Lit bactérien	0,7
Lit bactérien et boues activées	4,4

### 3.2.3. Domaines de réutilisation des eaux usées traitées en Algérie

Les critères technico-économiques ont permis d'installer jusqu'à présent 750 hectares de périmètres irrigués pouvant mobiliser 30% des effluents rejetés (ONAS, 2008). Les volumes consommés varient énormément d'un périmètre à l'autre selon les conditions climatiques (soit de 05 à 12 Mm<sup>3</sup>/an). Les EUT constituent pour les agriculteurs une source d'eau disponible, cependant, celle-ci ne permet pas de développer les cultures à haute rentabilité économique et présente des risques sanitaires. Les meilleurs niveaux d'utilisation sont rencontrés dans les périmètres arboricoles, dans les régions ayant une tradition de l'irrigation et dans les régions semi-arides (Rejeb et al., 2002). En application du décret du 12/10/1990 qui vise le contrôle de la réutilisation des EUT par les services du ministère de l'agriculture de l'environnement et des ressources hydriques ainsi que par ceux du ministère de la santé publique, plusieurs projets sont programmés à moyen et à long terme pour la réutilisation des EUT (Ben Abdallah, 2003). Autour de la ville d'Alger, un grand projet est en cours d'étude pour la création de 6.000 ha de périmètres irrigués dont la première tranche couvrant 100 ha est programmée pour 2011. A long terme, il est envisagé d'irriguer 22.000 ha par les eaux usées traitées à l'horizon de 2020, soit une augmentation de plus de 300% par rapport à la situation actuelle.

En outre, quelque projets programmer en Algérie comme des terrains de paysagerie, des surfaces et des espaces verts, et des parcs d'attraction dont les superficies dépasse 100000 has à travers le territoire national.

D'autres projets d'espaces verts irrigués sont programmés pour l'autoroute Alger - Tlemcen et pour l'embellissement des différent lac Nord de l'Algérie, totalisant une superficie de 722 ha à l'horizon de 2011 et 1200 à l'horizon de 2021.

### 3.3. Les différentes réglementations dans le monde

A l'échelle mondiale, il n'existe pas une réglementation commune concernant la réutilisation des eaux usées. Ceci est dû à la diversité du climat, de la géologie et de la géographie, du type de sols et de cultures, mais surtout au contexte économique, politique et social du pays.

Cependant, quelques gouvernements et organismes ont déjà établi des normes de réutilisation tel l'état de Californie, l'OMS, la FAO, etc... La plupart des pays en voie de développement ont formulé leurs normes de réutilisation des eaux usées sur la base des recommandations fixées par l'un des organismes précités.

#### 3.3.1. Les recommandations de l'OMS

Les recommandations de l'OMS (Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture) ou « Recommandations sanitaires pour l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture » (1989) sont les seules à l'échelle internationale (Tableau I.3).

Elles ne concernent que l'usage agricole et sont ciblées sur des paramètres exclusivement microbiologiques. Elles sont source d'inspiration pour de nombreux pays à travers le monde.

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

L’OMS a publié en 2006 de nouvelles lignes directrices sur l’utilisation des eaux usées (WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater), qui tiennent compte des situations locales et privilégient les moyens à prendre pour réduire au minimum les risques sanitaires posés par ces eaux. L’approche innove surtout parce qu’elle encourage l’adoption de mesures relativement simples pour protéger la santé à tous les maillons de la chaîne alimentaire. Il s’agit d’une approche à barrières multiples qui cherche à protéger la santé des consommateurs avant que les aliments irrigués au moyen d’eaux usées n’atteignent leur assiette. Cette approche peut inclure la combinaison des éléments suivants: le traitement des eaux usées, la restriction des cultures, les techniques d’irrigation, le contrôle de l’exposition aux EU ainsi que le lavage, la désinfection et le cuisson des produits (OMS, 2006).

### 3.3.2. Les recommandations USEPA

L’USEPA (United States Environmental Protection Agency) a publié en 1992, en collaboration avec l’USAID (United States Agency of International Development), ses propres recommandations sur la réutilisation des EUT, intitulées “Guidelines for Water Reuse”. Contrairement à l’OMS, ces recommandations ne sont pas basées sur des études épidémiologiques ni sur une estimation du risque, mais sur un objectif de zéro pathogène dans les eaux réutilisées. Ces normes microbiologiques sont donc beaucoup plus strictes.

Les recommandations de l’USEPA concernent tous les usages envisageables pour des eaux usées épurées (usage urbain, agricole, industriel, recharge de nappe, etc.) ce qui en fait un outil puissant. Précisons que chaque état américain peut lui-même fixer ses propres recommandations, en s’inspirant plus ou moins de celles de l’USEPA. Ainsi, les normes californiennes “Title 22” sont extrêmement sévères, et ont inspiré de nombreuses réglementations dans le monde. Dans les recommandations de l’USEPA plusieurs paramètres sont pris en compte : le pH, la Demande Biologique en Oxygène (DBO5), la turbidité ou les solides en suspension et les coliformes fécaux.

Les deux recommandations (OMS et USEPA) s’opposent à plusieurs points de vue. Une des différences concerne le niveau de traitement recommandé. Il est dit dans le document de l’OMS qu’un traitement extrêmement efficace peut être atteint par des bassins de stabilisation, alors que l’USEPA n’évoque que des traitements de désinfection tertiaire type chloration, ozonation, etc. Les modes de contrôle varient aussi : alors que l’OMS préconise de contrôler le nombre de nématodes, l’USEPA recommande le comptage des coliformes totaux comme unique contrôle de la qualité

microbiologique. En général, l'OMS est taxée d'être trop laxiste, et l'USEPA de préconiser des traitements trop chers et trop technologiques, inaccessibles aux pays en voie de développement.

**Tableau I.3: Recommandations microbiologiques révisées de l'OMS (2000) pour la réutilisation en agriculture des eaux usées**

Catégories	Conditions de réutilisation	Groupes exposés	Techniques d'irrigation	Nématodes intestinaux b	Coliformes fécaux/100mL	Traitements recommandés pour atteindre le niveau de qualité microbiologique
<b>A</b>	Irrigation sans restrictions A1 pour les cultures maraîchères consommées crues, les terrains de sports, les parcs publics d	Travailleurs, consommateurs, public	Toutes	$\leq 1$	$\leq 10$ d	Série de bassins de stabilisation, réservoir de stockage et de traitement ou traitement équivalent permettant d'atteindre la qualité microbiologique escomptée
<b>B</b>	Irrigation restreinte. Céréales, cultures industrielles, fourragères, pâturage et forêt c	Travailleurs Population sis dans l'environnement proche	Par aspersion Par rigole d'infiltration ou par gravité Toutes	$\leq 1$ $\leq 1$ $\leq 0.1$ e	$\leq 10^5$ $\leq 10^3$ $\leq 10^3$	Série de bassins de rétention avec un temps de séjour suffisant (8 à 10 jours) ou traitement équivalent permettant l'abattement des œufs d'helminthes et des coliformes
<b>C</b>	Irrigation localisée sur des cultures (f) de la catégorie B s'il n'y a pas d'exposition des travailleurs ou du public	Aucun	Goutte-à-goutte, micro-jet, etc.	Non applicable	Non applicable	Pré-traitement nécessaire pour des raisons techniques liées à l'irrigation, mais pas moins qu'une sédimentation primaire

**a :** Dans certains cas, tenant compte du contexte épidémiologique, socioculturel et environnemental, ces limites sont changées en conséquence ;

**b :** Les espèces de *Ascaris* et *Trichuris*;

**c :** Durant la période d'irrigation

**d :** Des limites plus restrictives de moins de 200 coliformes fécaux /100 mL sont plus appropriées pour les Golfs, les hôtels et des espaces où le public peut avoir un contact direct avec les espaces irrigués.

**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.

### 3.3.3. Les recommandations de l'Union Européenne

L'Union Européenne accuse un retard en termes de législation sur la réutilisation des eaux usées épurées, puisqu'elle se limite à cette phrase de l'article 12 de la directive CEE numéro 91/271 de 1991 sur les eaux usées, qui établit que "des eaux usées traitées devront être réutilisées quand ce sera approprié" (Bontoux, 1997). Cette lacune n'a pas empêché les pays membres d'adopter leur propre réglementation, sans homogénéisation à l'échelle européenne. En effet, aujourd'hui, certains pays comme l'Italie s'inspirent des normes américaines, et d'autres, comme la France, des normes de l'OMS.

Les pays d'Europe qui ont une réglementation sont l'Italie, l'Espagne et la France (Junger, 2000). Certains pays tels que l'Espagne, Chypres ou l'Italie (Andreadakis et al., 2003) ont tendance à adopter des normes plus strictes que celle de l'OMS. L'Italie est le premier à avoir adopté une réglementation en 1977 qui suit dans les grandes lignes l'approche californienne.

Cependant, en Sicile, une réglementation régionale, plus proche de celle de l'OMS, a été mise en place (Andreadakis et al., 2003).

Le tableau I.4 montre les normes bactériologiques adoptées dans certains pays et organismes. Les conditions climatiques et géographiques, le niveau de développement et les moyens financiers sont les principaux facteurs influençant le choix des normes de réutilisation. Ainsi, des pays comme la Algérie et l'Afrique de sud ont opté pour les recommandations de l'OMS qui sont destinées essentiellement aux pays en développement. Alors que des pays développés tel que le Japon et Israël et d'autres pays riches comme le Koweït et l'Arabie Saoudite, ont choisi des normes plus sévères, généralement inspirées de celles de la Californie (Title 22).

Par contre, les normes établies dans certains pays développés comme la France, sont basées sur les recommandations de l'OMS.

D'autres organismes ont établi des recommandations complémentaires pour quelques paramètres chimiques. Ainsi, la FAO (2003) a fixé, selon la durée de réutilisation, des limites concernant les éléments traces dans les eaux usées traitées destinées à l'irrigation (Tableau I.5).

**Tableau I.4: Normes bactériologiques appliquées dans certains pays et préconisées par des organisations (Lavison et Moulin, 2007)**

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

**Tableau I.5 : Limites recommandées en éléments traces (mgL<sup>-1</sup>) dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2003)**

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

### 3.3.4. Aspects réglementaires et juridiques de l'Algérie.

L'utilisation des eaux usées traitées a été prévue et règlementée depuis 1975, dès la parution du Code des Eaux (loi n° 75-16 du 31 mars 1975). Ce dernier, notamment dans son article 106, interdit d'une part l'utilisation des eaux usées brutes et d'autre part l'irrigation des cultures consommables crues par les eaux usées traitées (DGGR, 1997). En 1985, les rejets des eaux usées dans le milieu récepteur ont été règlementés par le décret n° 85-56 du 2 janvier 1985.

Les normes de rejet et de réutilisation des eaux usées traitées, respectivement (NA 106-002) et (NA 106-03) parus en 1989, ont été élaborées sur la base des recommandations de la FAO et de l'OMS de telle sorte que les effluents rejetés puissent être réutilisés sans risque majeur.

Les eaux usées subissent un traitement primaire et secondaire et la restriction fixée en 1975 est toujours maintenue. Plusieurs décrets sont parus à partir de 1989, pour règlementer dans ce sens l'utilisation des eaux usées traitées dans le secteur agricole qui regroupe l'essentiel des usages.

**a-** Le décret n° 89-1047 du 28 juillet 1989, fixe les conditions d'utilisation des eaux usées traitées à des fins agricoles; ce texte stipule que l'utilisation des eaux usées doit faire l'objet d'une autorisation du Ministère de l'Agriculture, prise après accord du Ministère de la Santé Publique et du Ministère de l'Environnement détermine les précautions nécessaires à la protection de la santé des manipulateurs,

des consommateurs et de l'environnement. Un contrôle de la qualité physico-chimique et biologique de l'eau usée traitée d'une part et des cultures irriguées d'autre part est prévu. La fréquence des analyses y est de même spécifiée. Les ministres de l'intérieur, de l'économie nationale, de l'équipement et de l'habitat, de l'agriculture, de l'environnement et de la santé publique sont chargés de l'application de ce décret.

**b-** le décret n° 93 - 2447 du 13 décembre 1993, modifie le décret ci-dessus, et apporte quelques éléments nouveaux. L'article 4 indique que les analyses citées à l'article 3 du décret sont à la charge des organismes distributeurs, sous le contrôle des ministres de l'environnement et de l'aménagement du territoire et de la santé publique. L'article 5 interdit l'irrigation des cultures maraîchères qui peuvent être contaminées par les eaux usées traitées, alors que l'article 7 limite l'utilisation des eaux usées traitées à une liste des cultures à condition qu'aucune autre culture ne soit contaminée. Enfin, l'article 12 mentionne la décision de réglementer la réutilisation par un cahier des charges. Il fixe d'autre part les modalités de prélèvement et la fréquence des analyses pour les différents paramètres globaux de la pollution, ainsi que la recherche des œufs d'helminthes et des métaux lourds.

**c-** L'arrêté du ministre de l'agriculture du 21 Juin 1994 fixe la liste des cultures qui peuvent être irriguées par les eaux usées traitées, soit les fourrages, les céréales, les arbres fruitiers et fourragers, les cultures florales (à sécher).

**d-** Le cahier des charges approuvé par arrêté des ministres de l'agriculture, de l'environnement et de l'aménagement du territoire et de la santé publique du 28 Septembre 1995 fixe les modalités et les conditions particulières de l'utilisation des eaux usées traitées à des fins agricoles. Le cahier des charges prévoit, entre autres, une série de mesures de prévention et de contrôle des agriculteurs exposés aux risques de contamination directe par les EUT. On peut notamment citer l'analyse des paramètres physico-chimiques et parasitologies des EUT à effectuer par des laboratoires publics ou privés.

Au niveau environnemental, les projets d'irrigation à partir des eaux usées traitées doivent se conformer au décret n°91-362 du 10 mars 2010 réglementant les procédures d'élaboration d'une étude d'impact qui doit être approuvée par ministère de l'environnement.

Il faut rappeler également que la réglementation en vigueur interdit l'usage des eaux usées brutes ainsi que l'irrigation des cultures maraîchères par les EUT. Toute infraction, constatée par un agent de l'un des ministères concernés par la réutilisation, subit les pénalisations prévues par le code des eaux. Les cultures irriguées en question sont détruites sur le champ sous la responsabilité du Gouverneur de la région. Une commission de contrôle et de suivi de l'utilisation des eaux usées est instaurée dans chaque région depuis 1995 sous l'autorité du Gouverneur concerné suite à des directives présidentielles.

### 3.4. Modes de réutilisation des eaux usées traitées

#### 3.4.1. Généralités

La réutilisation des eaux usées est répandue dans le monde entier avec plusieurs types de valorisation. Il existe des milliers de projets utilisant des eaux usées (Boxio et al. 2008), mais dans la plupart des cas, les eaux usées sont utilisées à l'état brut ou après un traitement minimal, et pratiquement aucune mesure n'est prise pour protéger la santé (OMS, 1989).

Boxio et al. (2005) ont classés les différents types de réutilisation selon 4 catégories : 1- usage agricole, 2- usage urbain et périurbain et recharge des nappes, 3- usage industriel, 4- usages mixte. Sur le plan mondial, la réutilisation des EUT pour l'agriculture, l'industrie et les usages domestiques couvrent respectivement 70 %, 20 %, 10 % de leur demande en eau (Ecosse, 2001). Cependant, ces proportions varient selon les régions dans le monde (figure I.4).

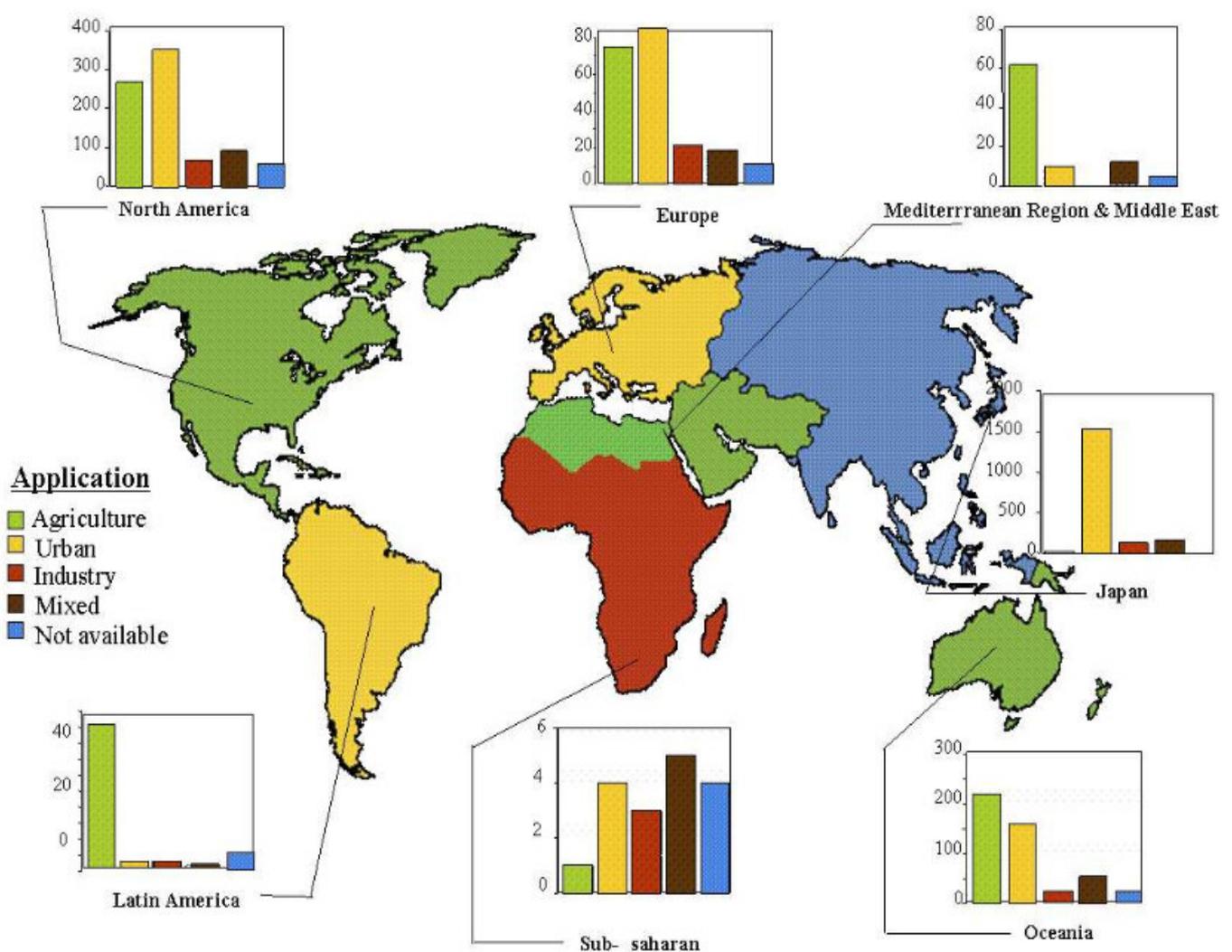


Figure I.4: Aspects de réutilisation des EU dans les différentes régions du monde (Boxio et al. 2005)

### 3.4.2. Conditionnements et usages

#### a. Agriculture et Aquaculture

La majorité des projets de réutilisation des eaux usées concerne des utilisations agricoles. La réutilisation pour l'irrigation est essentiellement présente dans les pays réputés agricoles mais dont les ressources hydriques sont faibles, comme le bassin méditerranéen, le Sud des Etats-Unis. Les plus grands projets de réutilisation ont été développés dans les régions de l'Ouest et de l'Est des Etats-Unis, l'espace méditerranéen, l'Australie, l'Afrique du Sud et dans les zones semi-arides de l'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud (Lazarova, 1998).

La production commerciale du poisson dans des étangs avec les EUT est une pratique courante en Asie du sud et en Chine. Il existe en Inde, plus de 130 réseaux de viviers fertilisés par des eaux usées, couvrant une superficie d'environ 12 000 ha. La plupart sont situés dans l'Ouest du Bengale. Le plus vaste système d'aquaculture alimenté par des eaux usées se trouve à Calcutta (OMS, 1989). Une production de poissons à grande échelle avec des EUT est également réalisée aux Etats Unis. La plupart des étangs de loisirs qui utilisent les EUT aux Etats Unis permettent généralement la pêche. Quand des poissons sont pêchés dans ces étangs et sont destinés à la consommation humaine, la qualité du traitement des eaux doit être minutieusement évaluée (qualité chimique et microbiologique) afin d'éviter la bioaccumulation de contaminants toxiques à travers la chaîne alimentaire. Ainsi, les recommandations de l'OMS, 1989, exigent un nombre de coliformes totaux de 103 germes/100mL et l'absence d'œufs de nématode.

#### b. Secteur industriel

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique. Pour certains pays, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau pour l'industrie (OMS, 1989). Les plus grands secteurs consommateurs de l'eau sont les centrales thermiques et nucléaires (eau de refroidissement) et les papeteries. La qualité de l'eau réutilisée est réglementée et dépend du type d'application ou de production industrielle.

Aux Etats-Unis, par exemple, le volume des eaux résiduaires réutilisées en industrie est d'environ 790 000 m<sup>3</sup>/j, dont 68 % pour le refroidissement (Lazarova, 1998). En Arabie Saoudite, 15000 m<sup>3</sup>/j des EUT issue de la ville de Riyadh sont réutilisés dans les circuits de refroidissement de la raffinerie pétrolière de la région (USEPA, 2004).

#### c. Milieu urbain et périurbain

Les usages urbains et périurbains des eaux usées ayant subi un traitement se développent rapidement et deviennent un élément fondamental de la politique de gestion intégrée de l'eau dans les grandes agglomérations. Les bénéfices obtenus sont importants. Il faut noter en premier, la réduction

de la demande en eau potable qui peut atteindre 10-15 %, voire 40 % dans les zones résidentielles avec beaucoup d'espaces verts (Miller, 1990). Les usages les plus courants sont l'irrigation d'espaces verts (parcs, golfs, terrains sportifs), l'aménagement paysager (cascades, fontaines, plans d'eau), le lavage des rues ou des véhicules et la protection contre l'incendie. Les normes qui régissent la qualité des eaux usées destinées à de tels usages sont très sévères et voisines de celles en vigueur pour l'eau potable. Dans ce cas, les filières de traitement se rapprochent de celles de la production d'une eau potable.

La principale motivation concernant la recharge de nappe est la dégradation de sa qualité physico-chimique et/ou la diminution de sa capacité. Ce mode de réutilisation a lieu essentiellement dans des zones arides qui doivent faire face à des problèmes d'assèchement de nappes, ou dans des zones côtières où les nappes sont envahies par l'eau de mer.

## **4. Risques associés à la réutilisation des eaux usées**

### **4.1. Risque sanitaire**

Dans le cas de l'agriculture, il est prouvé depuis longtemps que les micro-organismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes (Sheikh et al., 1999). Les micro-organismes se retrouvent donc à la surface des plantes et sur le sol. Les feuilles et la plante créent un environnement frais, humide et à l'abri du soleil. Il peut donc y avoir une contamination pendant la croissance des plantes ou la récolte. Les pathogènes survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes (Asano, 1998). Le mode d'irrigation a une influence directe sur le risque : ainsi, l'irrigation souterraine ou gravitaire peut nuire à la qualité des eaux souterraines et de surface. Des contaminations directes peuvent avoir lieu lors de la maintenance du système d'irrigation. L'irrigation par aspersion crée des aérosols contaminants qui peuvent être transportés sur de longues distances. Alors que l'irrigation gravitaire à la raie et par inondation exposent les travailleurs à des hauts risques sanitaires, notamment lorsque le travail de la terre se fait sans protection (Peasey et al., 2000). Les nouvelles recommandations de l'OMS ont prévu des niveaux de risque selon la technique d'irrigation et les types des cultures (OMS, 2006).

### **4.2. Risques environnementaux**

#### **4.2.1. La salinisation du sol**

La salinisation du sol par une eau d'irrigation résulte des effets combinés de plusieurs facteurs (climat, caractéristiques du sol, topographie du terrain, techniques culturales, conduite des irrigations...etc.). En effet, chaque facteur va contribuer, selon son état, à l'accentuation ou à l'atténuation de la salinisation du sol.

### a. L'eau d'irrigation

La qualité de l'eau utilisée en irrigation est un facteur de premier ordre dans la salinisation du sol. En effet, le risque de salinisation du sol est exclu si l'eau d'irrigation est de bonne qualité même si les autres facteurs influençant ce processus sont favorables. La qualité d'une eau d'irrigation est estimée en prévoyant son influence sur les propriétés du sol et en considérant la tolérance des cultures pratiquées à la salure. Une eau est dite "de bonne qualité" lorsqu'elle n'entraîne ni la salinisation du sol irrigué ( $CE$  du sol  $> 4$  mS/cm), ni sa désagrégation (taux de sodium échangeable ESP du sol  $> 15\%$ ) (Brady and Weil, 2002). Les effets d'une eau d'irrigation sur le sol sont jugés à travers la concentration totale de cette eau en sels solubles et par son rapport de sodium absorbable (SAR) (Leone et al., 2007). Une grande quantité d'ions sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration (Suarez et al., 2006). Ceci est dû au fait que lorsque le sodium apporté par les eaux d'irrigation au sol est sous une forme échangeable, il remplace le calcium et le magnésium adsorbé sur les agrégats du sol et cause ainsi la dispersion de ces particules argileuses. Cette dispersion a comme conséquence la désagrégation des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec). Sa porosité se colmate, réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et de l'air, affectant ainsi sa structure (Halliwell et al., 2001; Leone et al., 2007).

Le choix du domaine de la réutilisation des eaux usées dépend essentiellement, de la qualité de l'effluent, des types de cultures, du système d'irrigation et des conditions édaphiques du sol (Pereira et al. 2002). Ainsi, la connaissance de la qualité physico-chimique de ces eaux usées est fondamentale afin de prévoir les éventuels impacts sur le milieu récepteur. En effet, lors de la réutilisation pour l'irrigation agricole, leur qualité est déterminée essentiellement par la salinité et surtout le contenu en ion sodium (Toze, 2006). Herpin et al. (2007) ont constaté que l'irrigation avec des EUT chargées en  $Na^+$ , entraîne une élévation des teneurs en cet élément dans tout le profil d'un sol de type « Typic Haplustox ».

De plus, ils ont signalé que le Calcium apporté par les EUT, entraîne la libération des ions sodium du complexe absorbant du sol sous forme échangeable, ce qui facilite sa migration en profondeur ainsi que sa biodisponibilité.

L'étude d'un autre cas d'irrigation avec des EUT, dont la charge en sel est de 1,8 g/l, a montré, après deux années de suivi, une augmentation de la conductivité électrique du sol de 0,92 dS/m à 1,93 dS/m sur les 40 premiers centimètres du sol, ce qui correspond à un apport en sel de l'ordre de 6,2 T/ha (Zekri et al., 1997).

Cette augmentation de la salinité du sol suite à l'irrigation par des eaux usées est également signalée par d'autres auteurs (Yadav et al., 2002; Al-Nakshabandi et al., 1997) b. Les modes d'irrigation Lorsque l'eau est de mauvaise qualité, le mode, la dose et la fréquence d'irrigation ont une influence directe sur le processus de salinisation du sol. Dans ces conditions, une dose supérieure

aux besoins du sol est favorable à une lixiviation (lessivage) des sels. Ce qui permet de maintenir la salinité du sol à un niveau raisonnable surtout si le drainage interne et externe est convenable. Heidarpour et al. (2007) ont étudié l'effet de l'irrigation par les EUT sur les propriétés chimiques du sol en testant deux systèmes d'irrigations différents. Le premier système est de surface, alors que le second est de subsurface. Ils ont constaté que système d'irrigation en subsurface augmentait la conductivité électrique du sol dans les horizons de surface. Par contre, le résultat inverse est observé avec le système d'irrigation de surface où la conductivité électrique est plus importante dans les niveaux inférieurs. D'après les auteurs, l'augmentation de la CE dans le premier cas est due à une remontée capillaire des sels en surface suite à l'évapotranspiration. Dans le second cas, c'est plutôt le lessivage des sels par les eaux d'irrigation qui est à l'origine de l'augmentation de la CE en profondeur. Il en résulte donc, que l'irrigation de surface permet mieux le lessivage des sels vers la profondeur.

Des périodes d'irrigation rapprochées conduisent au même résultat. Une irrigation fréquente entraîne le lessivage du sodium apporté par les EUT vers la profondeur du sol ce qui se manifeste par une augmentation du taux du sodium échangeable (Herpin et al., 2007). Le mode classique d'irrigation par submersion convient mieux à la désalinisation du profil de sol à chaque irrigation que tout autre mode d'irrigation localisée.

### **c. Les facteurs socio-économiques**

Les facteurs socio-économiques englobent le savoir-faire des agriculteurs (maîtrise des pratiques agricoles adéquates) et le capital dont ils disposent pour couvrir le coût des aménagements indispensables et celui des techniques culturales courantes (labour, semis et autres traitements). En effet, au sein d'un même périmètre irrigué, la gestion de l'irrigation, les soins apportés dans la préparation du sol et les pratiques culturales influencent largement l'accentuation ou l'atténuation du processus de salinisation selon le niveau de technicité des agriculteurs.

#### **4.2.2. Accumulation de métaux dans le sol**

Bien que la concentration en métaux dans les eaux usées surtout traitées soit faible, l'irrigation peut, à terme, entraîner l'accumulation de ces éléments dans le sol (Rattan et al., 2005). En effet, la rétention, par le sol, des éléments métalliques est gouvernée par divers phénomènes d'ordre mécanique, physico-chimique et même biologique (Mantinelli, 1999).

Bien entendu, les métaux acheminés vers le sol par les eaux usées, ne sont pas tous sous une forme assimilable ou bio disponible. En effet la forme chimique des métaux va dépendre des conditions intrinsèques du sol tels que le pH, le Eh, la matière organique, le taux d'argile, la CEC... (Mapanda et al., 2005).

L'accumulation d'éléments métalliques (EM) suite à l'irrigation avec des eaux usées brutes est souvent constatée. Ainsi, Mapanda et al. (2005) ont constaté une augmentation des teneurs en EM

dans les horizons de surface des sols irrigués par des eaux usées brutes durant des périodes de temps plus ou moins importantes. Les teneurs trouvées dans les horizons de surface sont largement supérieures à celles trouvées dans les horizons de subsurface et dans le sol témoin (tableau I.6). Les auteurs ont signalé qu'au bout de 5 à 60 ans, les teneurs des EM dans les sols de toutes les parcelles irriguées vont dépasser les limites exigées par les normes anglaises de teneur en métaux lourds dans les sols agricoles.

**Tableau I.6: teneurs en métaux lourds (mg/kg) dans le sol irrigué par EU comparées à un témoin et aux normes anglaises pour les sols agricoles (Mapenda et al., 2005)**

	Eléments Sol irrigué par EU (Horizon de surface)	Sol irrigué par EU (Horizon de subsurface)	Sol témoin	Normes anglaises (mg/kg)
Cu	7 – 145	3 – 40	10	50(pH < 5,5); 100
Zn	14 – 228	9 – 72	14	(5,5 < pH < 6,5)
Cd	0,5 - 3,4	0,5 - 2,9	0,5 - 2	200; pH < 5,5
Ni	<0,01 – 21	0 – 17	1 - 3,2	3
Cr	33- 225	8 – 47	54	50; pH < 5,5
Pb	4 – 59	3 – 38	1,2 - 18	400

Assadian et al. (1998) ont constaté qu'après 40 années de pratique, l'irrigation avec des eaux usées brutes mélangées avec des eaux de rivière a entraîné une augmentation des teneurs en métaux dans le sol. Les teneurs trouvées dépassent les 50 mg/kg pour le Zinc alors que pour les autres éléments (Cr, Ni, Pb, Co et Cd) elles sont au-dessous de 35 mg/Kg. Les fortes teneurs trouvées dans les horizons de surface montrent une corrélation positive avec les taux d'argiles et négative avec le taux de sable. D'une manière générale, les valeurs trouvées sont 29 fois plus supérieures aux teneurs trouvées dans des sols irrigués avec des eaux de rivières uniquement.

Flores et al. (1997) ont étudié l'effet de l'épandage d'eaux usées brutes sur des terres agricoles, pendant une longue période du temps allant de 60 à plus de 90 ans. Ils ont constaté une importante accumulation des métaux lourds dans le sol, essentiellement dans les horizons de surface, avec des teneurs variant entre 36 et 131 mg/kg pour le Pb, 1,28 et 5 mg/kg pour le Cd, 10,5 et 86,5 mg/kg pour le Cu et entre 154 et 235 mg/kg pour le Zn. Une étude de la spéciation chimique indique une fraction organique dominante suivie par la fraction carbonatée. Par contre, les fractions mobiles et échangeables ne dépassent pas 4,5 % du stock total de métaux dans la plupart des cas. De plus, les teneurs en métaux diminuent en fonction de la profondeur dans le sol. Ce phénomène est attribué par les auteurs, au taux de MO et de carbonates plus important en surface, ainsi qu'au pH élevé du sol. L'ensemble de ces facteurs a réduit la mobilité des métaux, issus des EU, dans le sol (Hatira et al., 1990).

Lucho-Constantino et al., (2005) ont étudié l'effet du temps sur l'accumulation des EM dans des sols agricoles irrigués par des EU sur des périodes de temps allant de 6 à 41 ans. Ils ont constaté une corrélation positive entre les teneurs en métaux dans le sol et les périodes d'épandage des eaux usées. Les teneurs trouvées dans les horizons de surface (0-30) varient entre 0,51 et 1,89 mg/kg pour le Cd,

11,59 et 2742 mg/kg pour Cr, 3,99 et 47,08 mg/kg pour le Pb et entre 9,2 et 123,8 mg/kg pour le bore. Ils montrent également que les fractions de métaux trouvées dans le sol, après spéciation chimique, sont essentiellement échangeables, liées à la MO et résiduelles. Rattan et al., (2005) ont étudié l'effet du temps sur l'enrichissement du sol en forme échangeable des EM suite à l'irrigation par des EU brutes. L'équipe a constaté que les teneurs en métaux dans le sol sont d'autant plus importantes que la période d'irrigation par EU est plus importante. Les mêmes auteurs montrent que les teneurs en Mn dans le sol, contrairement à ce qui était observé pour les autres éléments (Zn, Cu, Fe, Pb, Ni), enregistrent une diminution au cours des années d'irrigation. Ils ont attribués cette diminution des teneurs en manganèse à un effet de lessivage de cet élément qui se trouvait sous forme échangeable dans le sol récepteur.

Toutefois, il faut préciser que si l'augmentation des teneurs des métaux dans les sols irrigués par les EU, est une fonction de la durée de l'irrigation, l'effet du temps reste difficile à évaluer, car souvent les concentrations en métaux des effluents sont variables et méconnues. Dans ce cadre, Xiong et al., (2001) ont constaté une importante accumulation des métaux lourds dans les horizons A et B des sols agricoles suite à l'épandage des EU depuis plus d'un siècle.

D'après les auteurs, ces teneurs élevées sont dues à des accumulations au cours des années avec une augmentation des concentrations en métaux dans les effluents, notamment en Cr et en Zn. Solis et al., (2005) ont signalé également le rôle de certains paramètres physicochimiques du sol, tels que le pH et le carbone organique total (COT), sur la rétention ou la libération des métaux issus des EUT. En comparant les teneurs en métaux entre des sols irrigués par des eaux usées depuis 50 et 100 ans, les auteurs ont constaté une différence peu significative. En effet, dans la parcelle à 100 ans d'irrigation, les auteurs ont constaté une diminution du pH et du COT du sol. Suite à cet effet, les métaux adsorbés sur les agrégats du sol ont été libérés sous forme plus échangeable, ce qui a facilité, par conséquent, leur migration dans le sol ainsi que leur biodisponibilité.

#### **4.2.3. Effet de l'irrigation par les EU sur les propriétés physicochimiques du sol**

Bien évidemment, l'irrigation avec les eaux usées, affecte avec le temps certains paramètres du sol. Ainsi, une légèrement diminution du pH est observée dans certains sols basiques, (Yadav et al., 2002; Abbass et al., 2006; Rattan et al., 2005; Solis et al., 2005; Herpin et al., 2007).

Cette diminution est expliquée par un lessivage par les eaux d'irrigation des calcaires actifs qui sont responsables de l'alcalinité du sol (Solis et al., 2005). Les eaux usées, à travers leur pouvoir fertilisant, entraînent également une augmentation du taux de la MO et des éléments nutritifs du sol (Rattan et al., 2005; Yadav et al., 2002). Toutefois, ces éléments nutritifs stimulent l'activité microbologique du sol (Magesan et al., 2000, Ramirez-Fuentes et al., 2002), ce qui favorise la minéralisation de la MO entraînant du même coup la diminution de la CEC du sol (Solis et al., 2005; Herpin et al., 2007).

Magesan et al. (2000), signalent également que, suite à l'irrigation par les EU, cette intensification de l'activité microbiologique du sol diminue la conductivité hydraulique du sol du fait de la formation de biofilms bactériens qui colmatent la porosité du sol.

#### 4.2.4. Effet de l'irrigation par les EU sur les plantes cultivées

Du fait de leur teneur en éléments nutritifs et de leur richesse en oligoéléments, les eaux usées lorsqu'elles sont réutilisées pour l'irrigation, entraînent une amélioration des rendements des plantes cultivées. Dans ce cadre, Fars et al. (2003) et Mohammad Rusan et al. (2007) ont constaté une augmentation de la biomasse d'une plante fourragère lorsqu'elle est irriguée par une eau usée soit brute soit traitée. Ainsi, Fars et al. (2003) indiquent que les rendements enregistrés par rapport à un témoin dépassent les 110 %, pour les plantes irriguées par les deux types d'eau.

De même, l'irrigation par les EU entraîne un enrichissement important du tissu des plantes cultivées en oligoéléments (Yadav et al., 2002, Fars et al., 2003; Charfi, 1995). Les éléments traces qui sont généralement immobilisés dans les couches supérieures du sol peuvent provoqués, à long terme, des risques pour le développement des plantes. En effet, certains éléments traces (le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène), peu nombreux, sont reconnus nécessaires au développement des végétaux en très faibles quantités, (Faby et Brissaud, 1997). L'irrigation, à partir d'eaux usées, va apporter ces éléments, mais aussi d'autres oligo-éléments, non indispensables à la plante tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome, le sélénium et l'étain. La biodisponibilité des ces éléments dans le sol peut engendrer leur accumulation dans les tissus des plantes et dans certains cas, les teneurs en ces éléments peuvent atteindre des seuils de phytotoxicité (Faby et Brissaud, 1997).

Cependant, Yadav et al. (2002) ont constaté que les teneurs en métaux lourds au niveau des plantes irriguées par des eaux usées depuis 30 ans sont au dessous de seuil de toxicité pour les plantes. De même, Assadian et al. (1998) ont constaté que les teneurs en métaux dans des plantes de luzerne irriguées par EU, à l'exception du Zn, sont largement inférieures à celles trouvées dans le sol (tableau I.7). Les auteurs précisent également qu'il n'existe pas une corrélation évidente entre les teneurs en métaux dans les plantes cultivés et les sols. Ce résultat a été également rapporté par Solis et al. (2005.) et Rattan et al. (2005) qui précisent que le coefficient de transfert (TF) des métaux du sol vers les plantes, à l'exception du Zn également, ne varie pas de façon linéaire avec les teneurs dans le sol.

**Tableau I.7 : Teneurs en métaux lourds (mg/kg) dans les plantes de luzerne comparées au teneurs conventionnelles trouvées dans les tissus des plante et corrélation (r) avec les teneurs dans le sol (Assadian et al., 1998)**

Métaux lourds	Max.	moyenne	r	teneurs conventionnelles
Zn	44,4	26,7	0,6	21 – 120
Cr	12	1,7	0,01	10% du sol
Ni	5,1	1,7	0,01	0,1 - 5,0
Pb	16,6	0,6	0,2	0,5 - 5,3
Co	0,5	0,04	- 0,3	0,02- 0,5
Cd	0,2	0,01	0,3	0,1 - 7,6

Par ailleurs, il est possible dans certains cas que les teneurs en métaux lourds dans les plantes irriguées par les EU dépassent les teneurs trouvées dans des plantes témoins ou les limites de certaines valeurs guides telles que signalées par Xiong et al. (2001) et Muchuweti et al. (2006).

#### 4.2.5. Impact de l'irrigation par les EU sur la nappe phréatique

L'irrigation ou l'épandage des eaux usées sur des surfaces agricoles est l'une des techniques de recharge artificielle des nappes phréatiques couramment utilisée en région aride ou semi-aride (Asano et Cotruvo, 2004). Dans ce contexte, Ben Marzouk (2006), a constaté une remontée continue du niveau de la nappe phréatique suite à la pratique de l'irrigation par des eaux usées traitées dans la région d'El Hajeb en Tunisie. Au bout d'une dizaine d'année, cette remontée a atteint plus de 10 m. L'apport de l'irrigation à la recharge de la nappe est estimé à 0,1 Mm<sup>3</sup>/an ce qui correspond à 5% du volume des EUT réutilisées pour l'irrigation. Dans la même zone d'étude, Kallel et Bouzid (2002) ont constaté une augmentation de la salinité et de la concentration en éléments fertilisants (N et P) des eaux de la nappe suite à l'irrigation par les EUT.

Dans les périmètres dans l'irrigation est intense, Zekri et al., (1995) ont constaté trois effets, de l'irrigation par les EUT sur la nappe phréatique :

- une augmentation de la salinité qui a passé de 2,3 à 4 mS/cm après 20 ans d'irrigation
- une contamination microbiologique liée à la proximité de la nappe de la surface du sol
- une pollution par les métaux lourds

## 5. Conclusion

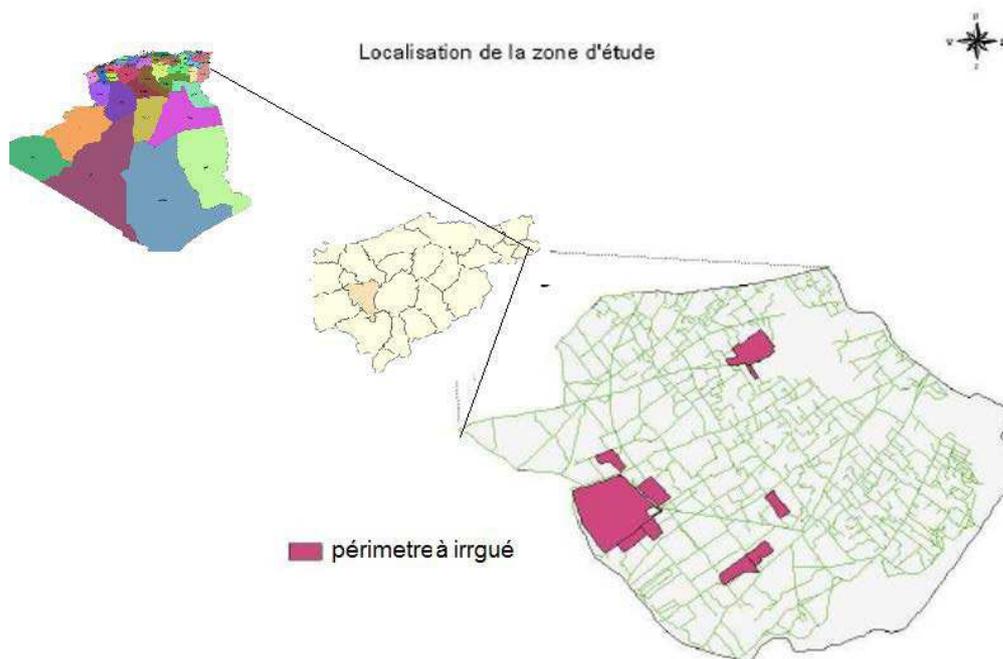
A travers leur composition chimique et biologique, les eaux usées constituent un mélange très complexe. Ainsi, même après traitement, ces eaux peuvent garder une pollution chimique et biologique résiduelle. Par ailleurs, les normes établies pour la réutilisation en irrigation de ces eaux, dans la plupart des cas, prennent en compte exclusivement les risques sanitaires et les impacts directs de cette pratique sur les exploitants et les consommateurs. Cependant, les exemples cités précédemment, montrent que la qualité physicochimique de ces effluents peut entraîner, à terme, la dégradation des sols irrigués et une accumulation d'éléments métalliques dans les sols et les plantes. Dans la région de El-Tarf, le périmètre d'El-Kala qui sera irrigué par des eaux usées issues de la station d'épuration de El-Kala-Sud. Ces eaux ont subi pendant une longue période un traitement partiel (lagunage aérée et décantation). Ainsi, après plus de 15 ans d'exploitation et en absence de suivi, l'impact sur les sols irrigués est peu connu. La présente étude a donc pour objet l'évaluation des effets de l'irrigation sur les sols et plus particulièrement sur la salinisation du sol et l'accumulation de métaux dans les sols et les plantes.

## 1. Région d'étude

### 1.1. Localisation

Le projet de périmètre irrigué par les eaux usées traitées de la station d'épuration Sud de El-kala. Il est situé à environ 22 km de la ville d'El-Tarf près de la frontière Algérienne (figure II.1). Elle est traversée par la route nationale qui relie El-Tarf à El-Kala. Route de Tunis. Le périmètre irrigué comprend deux grands périmètres :

- périmètre de Souarekh de 700 has.
- Périmètre de Oum-Etteboul est de 700 has.



**Figure II.1 : Localisation du périmètre à irrigué par les eaux usées traitées**

### 1.2. Contexte climatique

La région d'EL\_Kala possède un climat assez particulier. Par un été chaud et sec et un hiver froid et relativement arrosé.

#### 1.2.1. Pluviométrie

La pluviométrie, dans la région d'El-Kala se caractérise par des irrégularités aussi bien inter annuelles qu'intra annuelles (figure II.2 et II.3). Dans la station El-Kala, les précipitations annuelles enregistrées depuis un demi-siècle (1950-2001), donnent une pluviométrie moyenne de l'ordre de 212,3 mm.

L'automne et l'hiver sont les saisons les plus arrosées avec 41 et 30 % des précipitations annuelles respectivement (Atlas d'Algerie, 1997). L'été, faiblement pluvieux voire sec, peut être accompagné par des pluies fines qui acquièrent un caractère torrentiel dès la fin août. Les trois mois de l'été communément définis (Juin, Juillet, Août) ne totalisent que 8,2 mm, soit 4 % de la pluviométrie

annuelle. Le printemps, saison semi sèche, contribue pour 25% à la pluviométrie annuelle moyenne, notamment au mois de mars marqué par des pluies de faible intensité et de longue durée.

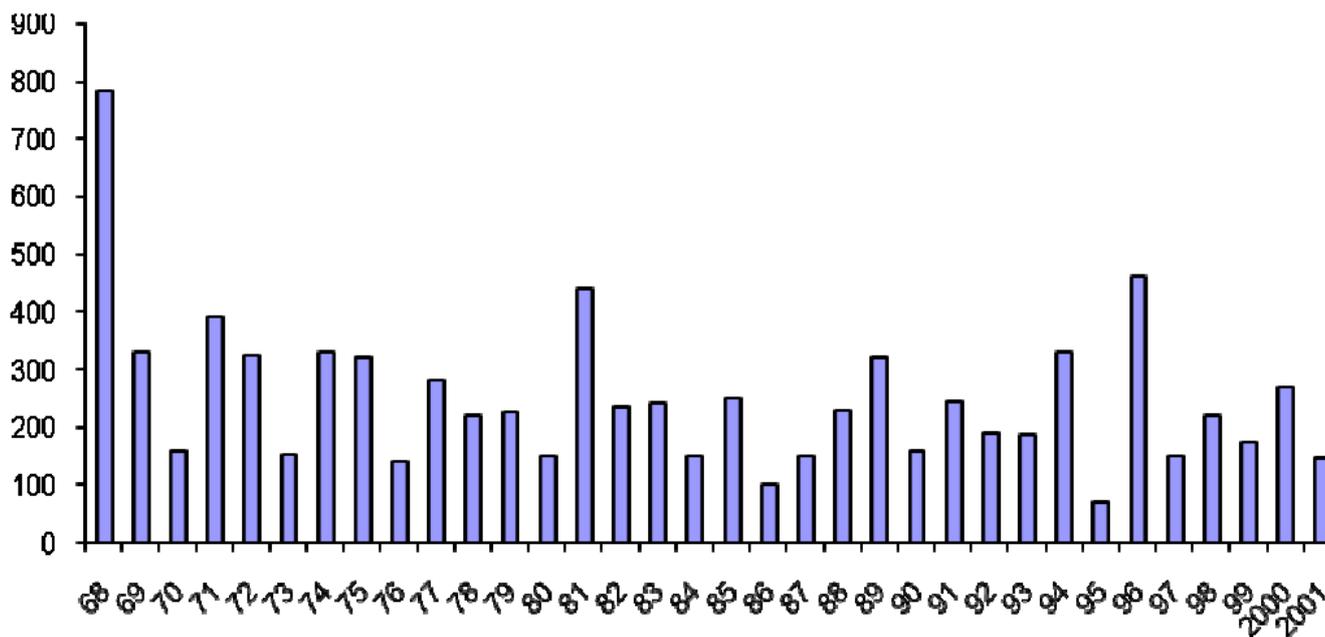


Figure II.2 : Variation annuelle de la pluviométrie (période 1968-2001, Aéroport (Kasdi Merbah Annaba))

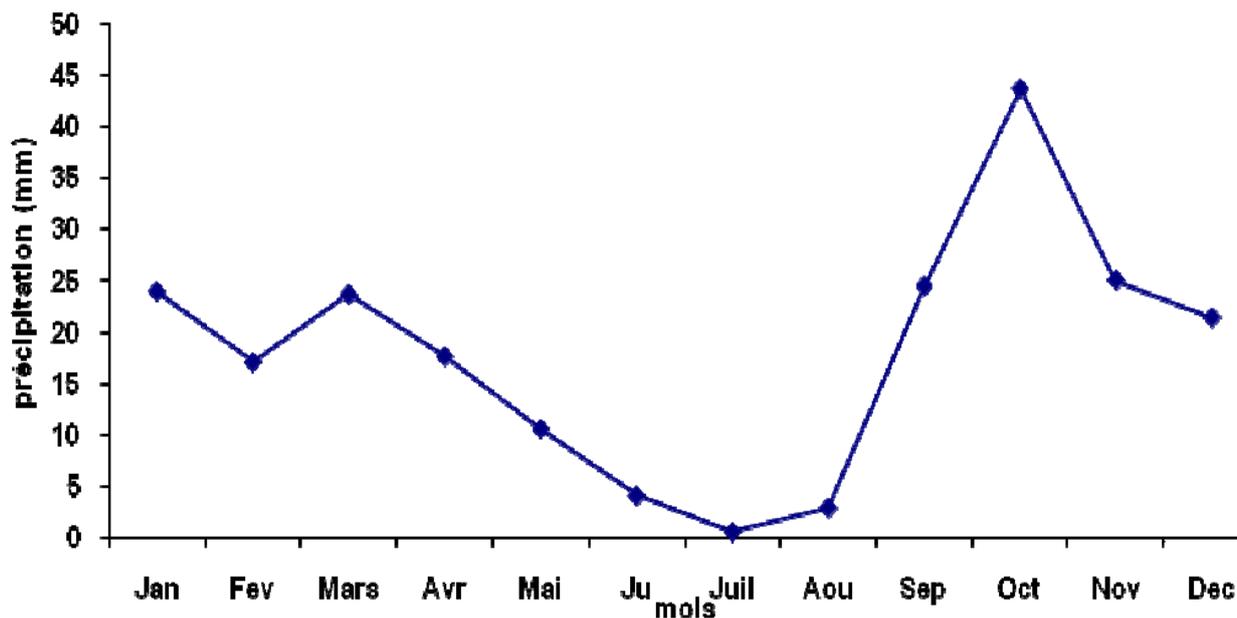


Tableau II.1: Variation mensuelle de la température (°C)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Année
Température moyenne (°C)	26,1	23	16.9	13.2	11.9	12.9	15.1	15.9	20.2	24.4	25.5	26.7	19.5
Moyenne des minima	19,8	16,1	10.6	6.7	5.8	6.5	8.4	11	14.4	17.8	19.2	21.1	13.2
Moyenne des maxima	29,7	25,8	21.4	17.6	16.7	18	19.5	21.8	25.4	28.9	32	35.2	24.1

Source: Aeroport Rabbeh Bitat Annaba

### 1.2.3. Evapotranspiration potentielle

D'après les mesures effectuées à la station d'El-Kala, l'évapotranspiration potentielle (ETP), est en moyenne de 1200 mm/an, répartie par mois comme il est indiqué dans le tableau II.2. La comparaison des relevés mensuels de la pluviométrie et des valeurs de l'ETP, montre un déficit hydrique important de l'ordre de 980 mm/an. Ce déficit est accentué de manière considérable durant la période allant de mai à septembre.

**Tableau II.2: Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et déficit hydrique**

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Anné
Pluie (mm)	25.2	39.9	25.7	19.7	23.4	17.6	23.8	18	10.8	4.2	07	3.32	12.3
ETP (mm)	125	91.5	55.3	36	40	49.5	78.5	102	134	153	165	165.1	194.8
D (mm)	-99.8	-51.6	-30	-16.3	-16.6	-31.9	-54.7	-84	-123.2	-48.8	-165	-162	-182.5

### 1.2.4. Vents

La région d'El-Kala est soumise à cinq principaux vents dominants (Atlas d'Algérie 1997) à savoir :

- Vents du Nord et du Nord-Ouest (Djebili) : ils sont d'origine marine, mais qui ont traversé d'importantes zones montagneuses. De ce fait, ils sont généralement secs. En hiver et même au printemps, ces vents sont froids et parfois glacés.
- Vents de Nord-Est (Chergui) : ils sont souvent porteurs de pluies dans des quantités relativement appréciables, car ce sont les seuls vents marins qui arrivent directement sur la région. En été le « Chergui » apporte à la région un peu de fraîcheur et d'humidité.
- Vents de Sud-Est (Guibli) : ils sont toujours tièdes et ayant soufflés au-dessus des zones littorales humides, ils peuvent occasionner quelques pluies sur la région.
- Vents d'Ouest (Gharbi) : ce sont des vents presque toujours secs, froids en hiver et chauds en été. Lorsqu'ils soufflent fréquemment en automne, ils annoncent une année sèche.
- Vents de Sud ou de Sud-ouest (Chihili ou Sirocco) : ce sont des vents brûlants et secs, surtout en été. En cette saison le Sirocco provoque une brusque élévation des températures et assèche le sol.

Les vitesses des vents sont généralement moyennes à faibles, avec une moyenne de 9 m/s, un maximum de 15 m/s et un minimum de 5 m/s.

## 3. Ressources en eau

### 3.1. Ressources en eau naturelle

Dans la plaine d'El-Tarf où les pentes sont faibles, le volume d'eau ruisselée est évalué à 8,2 millions de m<sup>3</sup>/an. Le potentiel mobilisable est estimé à 50%. Cependant les aménagements effectués n'ont permis de mobiliser que 4,2 millions de m<sup>3</sup>/an (Atlas de El-Tarf, 1994).

Il existe à El-Tarf, quelques nappes phréatiques subdivisées en deux unités hydrographiques :

- les nappes côtières, au nombre de 9 dans lesquelles l'écoulement se fait vers la mer, de l'ouest vers l'est.

- les nappes intérieures où l'écoulement se fait vers le Nord Est. Ces nappes ont un potentiel évalué à 39,28 Mm<sup>3</sup>/an dont la majorité est surexploitée. En 2005 l'exploitation avait atteint 48,12 Mm<sup>3</sup> (Marzouki, 2005). La nappe exploitée dans notre zone d'étude est celle d'El-Kala. Il s'agit d'une grande nappe de 737 km<sup>2</sup> de superficie dont les ressources exploitables sont évaluées à 16,2 Mm<sup>3</sup>/an. En 2005, les prélèvements de cette nappe ont atteint 17,83 Mm<sup>3</sup> assurés par 1011 puits (Ben Marzouk, 2005), mais 47% de ces ressources présentent une salinité > à 02 g/L.

La nappe profonde d'El-Tarf présente une extension importante de 20000 km<sup>2</sup>, avec une profondeur de captage se situant entre 200 et plus de 600 m, offrant ainsi des réserves considérables. Logée dans la série sableuse du Miocène supérieur (Serravalien supérieur-Tortonien), la nappe profonde d'El-Tarf est exploitée depuis longtemps par des forages artésiens, à destination Eau potable, dans sa partie Sud (Maliki, 2000). Le bilan provisoire de cette nappe montre un excédent de 16 Mm<sup>3</sup>/an, avec 34,5 Mm<sup>3</sup>/an de ressources exploitables contre 18,4 Mm<sup>3</sup>/an exploitées (Amouri, 1995 in Maliki, 2000).

### 3.2. Les Eaux Usées Traitées (EUT)

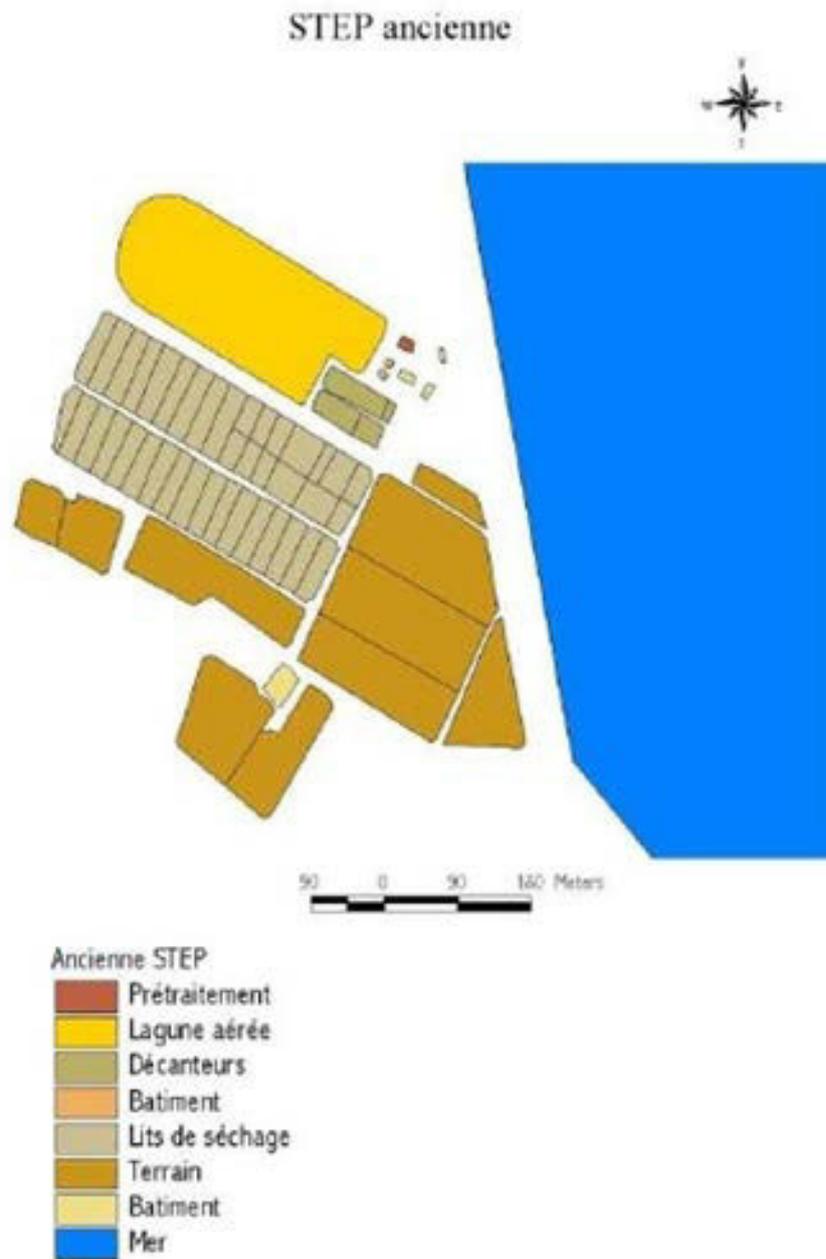
#### 3.2.1. La station d'épuration des eaux usées (STEP) de El-Kala Sud

##### a. Données générales

La station d'épuration de El-Kala Sud a été créée en 1983 pour traiter les eaux usées de la ville El-Kala (ville de El-Kala et ses environs). Elle se situe à 6 km au Sud de la ville. Les eaux arrivant à la station sont à dominance seulement domestiques. Pour l'année 2006, la répartition des eaux est estimée comme suit :

EU domestiques: 75%, EU collectives: 10%, EU touristiques: 8% et EU d'infiltration (Eaux Claires Parasites): 7%.

- La station d'épuration, dès sa création à 1983, a fonctionné sous la forme d'un lagunage aéré dimensionné pour un volume d'eau journalier moyen de 19000 m<sup>3</sup>. Le volume de la lagune était de 15000 m<sup>3</sup> pour une profondeur de 3,2 m. Elle s'étalait sur une superficie moyenne de 4,7 hectares (figure II.4). La STEP sous cette configuration fut rapidement en sur capacité avec pour exemple durant l'année 2004, un volume d'eau arrivant à la station de 21000 m<sup>3</sup>/jour en moyenne l'arrivage de cette eau se fait par ramassage des camions sous forme de collecte. jusqu'à la station



**Figure II.4 : Configuration de l'ancienne STEP d'El-Kala**

La saturation des ouvrages durant plusieurs années et les grandes quantités de boues qui se sont accumulées au niveau de la lagune ont affecté considérablement l'efficacité du procédé de traitement ce qui a engendré une détérioration progressive de la qualité des eaux produites (Allani, 1993). En effet, les paramètres de traitement (DCO, DB05 et MES) dépassent de loin et depuis longtemps les normes en vigueur.

Pour assurer un traitement adapté au volume et aux caractéristiques des eaux collectées, une réhabilitation et une extension de la station ont été réalisées en 2007 par l'ONA. Ce projet a permis d'installer un système de traitement par boue activée à faible charge à la place du lagunage aéré.

Sachant que le réseau de collecte du Grand El-Kala est divisé en trois secteurs, à savoir El-Kala Centre, Sud et Nord. Actuellement, la station d'épuration d'El-Kala ne reçoit que les eaux des deux secteurs d'El-Kala Centre et Sud. Les eaux du secteur d'El-Kala Nord sont traitées par une petite station qui se trouve sur la route d'Annaba créée au village de parc d'attraction et située à 10 km au Nord de la ville d'El-Kala.

### **b. Principe de fonctionnement du nouveau système de traitement**

Le procédé de lagunage aéré de la station d'épuration d'El-Kala Sud a été transformé en procédé à boues activées à faible charge, avec une configuration permettant une dénitrification en cascade (figure II.5). La station a été redimensionnée pour traiter un volume moyen journalier de 49500 m<sup>3</sup>, avec une charge journalière en DBO5 de 19440 kg/j (ONA, 2000). Les différents ouvrages du système de traitement sont les suivants :

- Un canal de dégazage à l'entrée de la station
- Un poste de dégrillage comportant deux grilles à fonctionnement automatique
- Un système de dessablage - déshuilage aéré
- Six bassins d'aération remplaçant l'ancienne lagune pour le traitement biologique, équipés de 16 aérateurs, soit 3 cascades formées chacune par un bassin anoxie et un bassin aérobie
- Une zone de décantation secondaire qui s'effectue dans 4 bassins circulaires de 43 m de diamètre
- Une station de pompage des boues en excès pour l'alimentation des épaisseurs et la recirculation en tête
- Un épaisseur des boues produites
- Une station de pompage des boues épaissies vers les lits de séchage ou le système de déshydratation mécanique.
- Un ensemble de lits de séchage des boues et un système de déshydratation mécanique.

## STEP sud réhabilitée

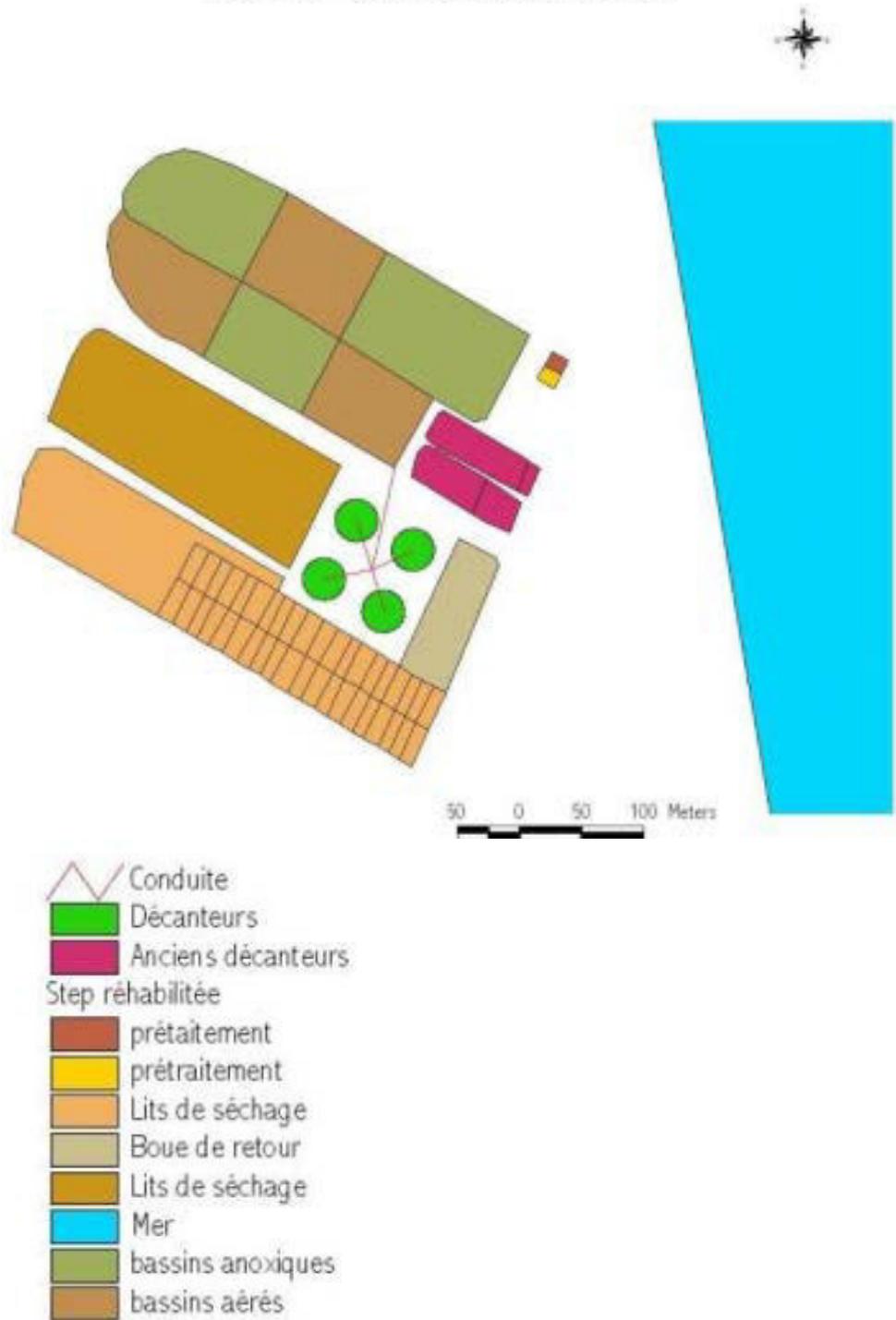


Figure II.5 : Nouveaux système de traitement de la STEP de El-Kala

### 3.2.2. Les eaux usées traitées

#### a. Qualité

Les paramètres de contrôle du fonctionnement du procédé de traitement de la station d'épuration s'appuient sur les mesures standards de MES, de la DCO et de la DBO5. Ces mesures ont été effectuées sur les eaux de sortie de STEP pour une évaluation continue de la qualité et pour déceler

tout dysfonctionnement de la station. Les premiers signes de défaillance du procédé de traitement sont apparus vers 1994, où les paramètres contrôlés ont dépassé largement les normes en vigueur (MES= 30mg/l, DCO= 90 mg/l et DBO5= 30 mg/l). Concernant les métaux lourds aucun suivi n'a été effectué sauf quelques analyses ponctuelles effectuées dans le cadre de diverses études. Les résultats des analyses sont rassemblés dans le tableau II.3 et annexes I. Les concentrations en éléments métalliques enregistrées sont au-dessous des limites exigées par les normes Algériennes pour la réutilisation à des fins agricoles (NA 106.03), hormis les concentrations en chrome qui dépassent parfois la limite exigée.

Cependant, on remarque que les teneurs en métaux lourds dans les boues de la station d'El-Kala sont très importantes comme le constate Allani en 1993 (tableau II.4). Il faut signaler également que les EUT de la STEP de El-Tarf ont une salinité élevée variant entre 3 et 5 g/l.

**Tableau II.3: Concentration des métaux lourds dans les EUT de la STEP de El-Kala**

	02/84	1991	18/04/95	25/04/95	13/01/00	2002	04/03	27/12/04	13/03/06
pH	7,8	7,1	-	7,95	-	7,15	7,84	7,5	7,73
Cd, mg/l	0,01	0,001	<0,02	-	<0,004	-	<0,041	<0,004	<0,004
Cr, mg/l	0,03	0,007	-	0,23	<0,015	-	-	0,11	0,17
Cu, mg/l	0,02	0,012	0,03	0,02	0,1	<0,01	0,06	0,05	0,03
Fe, mg/l	0,48	1,07	1,69	1,25	2,7	<0,013	0,11	0,95	1,32
Mn, mg/l	0,09	-	0,04	0,07	0,3	-	-	0,12	-
Ni, mg/l	0,04	0,03	0,07	0,02	<0,088	-	-	<0,088	<0,088
Pb, mg/l	-	0,001	<0,05	-	0,2	-	<0,041	<0,041	<0,041
Zn, mg/l	0,06	0,052	0,05	0,04	0,2	0,05	0,01	0,16	0,25

**Tableau II.4: Teneurs en métaux lourds dans les boues sèches de la STEP d'El-Kala (Allani, 1993)**

Elément	Fe	Cu	Cd	Cr	Co	Ni	Pb	Zn
Teneur (mg/kg)	134,10	391	6,9	287	4,9	28,5	54,1	157,5

### b. Quantité

Les volumes d'eaux usées traitées ont augmenté régulièrement depuis 1990 (tableau II.5). Cette évolution revient essentiellement au développement du système d'évacuation des eaux usées et pluviales qui est à son tour en relation étroite avec l'évolution démographique. Cependant, le taux d'eaux usées traitées réutilisées est variable, cela malgré l'augmentation des superficies irrigables qui sont passées de 300 hectares en 1990 à 400 hectares en 1998 puis à 538 hectares actuellement. Cette fluctuation est due essentiellement à la demande en eau au niveau du périmètre irrigué, aux conditions climatiques (sècheresse ou pluie) et aussi aux problèmes techniques affectant la station d'épuration ou celle de pompage.

De même, les volumes mensuels utilisés sont très variables d'une année à l'autre (figure II.6). La demande maximale en eau est enregistrée durant l'été mais peut commencer au mois de mai pour se prolonger jusqu'en octobre.

Tableau II.5: Quantité d'eaux usées traitées et réutilisées en (période 1990-2006, source ONA-El-Kala)

Année	EU traitées	EUT réutilisées (Mm <sup>3</sup> /an)	Taux de réutilisation
1990	3,06	1,54	22
1991	3,28	2,21	30
1992	4,08	1,88	23
1993	3,62	2,79	37
1994	3,97	3,74	47
1995	4,58	3,23	36
1996	4,56	1,59	19
1997	4,9	2,37	27
1998	4,58	2,37	26
1999	4,58	0,83	9
2000	4,54	1,67	18
2001	4,84	2,3	25
2002	4,68	3,18	34
2003	5,92	1,8	16,5
2004	5,72	2,77	24,7
2005	6.20	2,37	24.85
2006	6.50	1,92	25.00

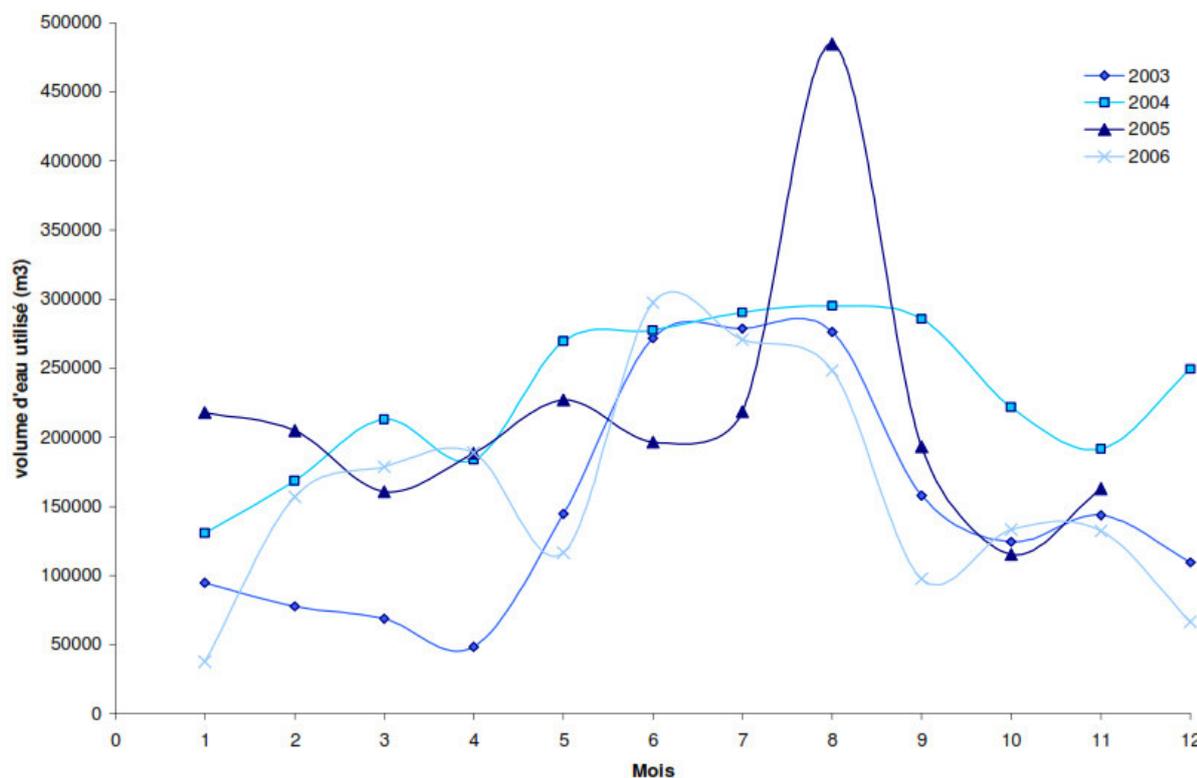


Figure II.6 : Variations mensuelles des volumes des EUT utilisées (période 2003-2006)

#### **4. Conclusion**

La région d'El-Kala se caractérise par un climat humide à sub-humide. Ce climat est responsable d'un bilan hydrologique négatif puisque l'évaporation l'emporte sur les précipitations (déficit hydrique de l'ordre de 1000 mm). De plus, la température moyenne annuelle de l'air de la région s'élève à 20°C témoignant d'un indice d'insolation élevé de l'ordre de 72 %. Tenant compte de l'ensemble de ces facteurs, le recours à l'irrigation est plus que nécessaire pour garantir les meilleurs rendements des cultures. Face à la rareté de ces ressources en eau ainsi qu'à la pression de la demande, l'option consiste à réutiliser les EUT.

Cette ressource abondante et régulière, constitue la stratégie la plus adéquate. Cependant, la qualité de ces eaux doit garantir à la fois la sécurité des exploitants et non détérioration de la qualité des sols. Les données sur la station de El-Kala montrent que durant 25 années, la qualité des eaux traitées n'est que très partiellement connue avec de probables dysfonctionnements et des concentrations en éléments métalliques plutôt importantes pour Fe, Zn, Pb, Cu, Cr par rapport à d'autres stations recevant des eaux usées domestiques essentiellement.

## 1. Choix et présentation des sites

### 1.1. Localisation

Dans l'étude de notre expérimentation nous avons choisi la STEP d'El-Kala (station-traitement des eaux polluantes), eau domestique, dite eau grise, sans les eaux industrielles, les 04 traitements des qualités des eaux utiliser sont :

L'irrigation par les eaux usées traitées se fait essentiellement sur deux types de sol : **Argileux sablo** et les sols d'apport de type **Limoneux sablo** peu évolués. Ces deux types de sol ont été, ainsi, choisis pour étudier l'effet de l'irrigation par les EUT. Ce domaine est composé de plusieurs extensions dont la plus large est oum Teboul ; et Souarekh.

### Objectif de l'essai :

Notre essai comporte une étude sur la ferti-irrigation de la (tomate industrielle-variété ISMAF<sub>1</sub>-) et (haricot vert) par des eaux résiduaires. Les objectifs escomptés sont les suivants :

- \* Quantifier l'effet des eaux usées sur la croissance et le rendement des deux cultures.
- \* Trouver et utiliser une solution intermédiaire afin de minimiser les inconvénients liés :
  - A la rareté de l'eau destinée à l'irrigation (par utilisation des eaux usées) ;
  - Au coût élevé de l'engrais artificiel (par la richesse des eaux résiduaires en éléments minéraux) ;
  - A l'investissement pour l'installation des stations d'épuration ;
  - Et enfin aux maladies occasionnées aux consommateurs (la santé humaine) e les dégâts occasionnées au sol, le sous-sol et l'environnement.

## 2- Conditions de déroulement de l'essai :

Les deux culture a été menée en plein champ au sein de la station STEP d'El Kala . La mise en place des deux cultures a été séparé a différente périodes et différente années, les blocs expérimentaux pour chaque culture est répétés 3 fois de suite avec 3 année différente.

Le semis de la tomate été en fin d'avril exactement le 20/04/2005.

Le semi de le haricot vert été au mois de mars 15/03/2006.

### 2-1- Température :

Les relevés des températures sont pris chaque semaine sur terrain en plein champ à l'aide d'un thermomètre Minimum/Maximum. Les températures sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau III-1 : Les températures hebdomadaires durant l'expérimentation

Temps (semaine)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T°C (jour)	22	26	28	24	22	26	28	30	28	27	30	28

### 2-2-Précipitation :

Il a plu le premier jour de la plantation (des faibles quantités de pluie) suivi par des éclaircies plus au moins progressives.

### 2-3- L'irrigation:

T0: Eau Témoin, eau courante).

T1: EUB 100%)

T2: 50%EUB; 50% EUT).

T3: Eau usée traité EUT).

**Il existe trois phases pour la volume d'eau apporté à l'irrigation.(voir tableau Annexe).**

❖ **La première phase** de conduite de l'irrigation pour chaque culture, et fonction à la capacité au champ qui est la CC. C'est-à-dire remplir le pot avec du sol, jusqu'au **X1= 05kg**, puis irriguer jusqu'au afin d'obtenir un drainage. Pendant 24 heures.

\*\* **Deuxième phase** : repeser le pot après 24 heures nous aurons **X2=5600g**.

❖ **troisième phase** : la différence  $P2 - P1 = P3$  (P3 est la quantité d'eau apporté pour chaque pot)

**5600 – 5000 = P3=600 ml** d'eau évaporé, avec une fréquence d'irrigation en fonction du stade végétatif et l'humidité du sol, grâce à un tensiomètre placé à l'intérieure d'un pot.

**Remarque importante** : le poids des pots est le même pour chaque traitement.et les deux cultures. (voir tableau ci-dessous)

Traitement	T0	T1	T2	T3
Poids (g)	5000g	5000g	5000g	5000g

### 3- Le matériel végétal

L'essai est réalisé sur une culture hybride de tomate industrielle originaire de l'Amérique tropicale (variété ISMA F<sub>1</sub>). Cette plante est caractérisée par sa grande tolérance en eau et en éléments fertilisants et par sa tolérance aux verticillium, fusarium, et aux nématodes. C'est une plante vigoureuse à port déterminé et permet une production importante (CAB Ben Omor).

Le haricot (Phaseolus spp, valgarus Légumineuses) est le fruit d'une plante originaire d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud. Le mot «haricot» désigne à la fois le fruit, la graine et la plante qui les produit.

### 4- L'eau

Les eaux utilisées pour l'irrigation de la culture sont caractérisées par quatre niveaux qui sont les suivants:

- T0 Eau courante potable: provenant de la station expérimentale;
- T1 100% Eau usée brute: qui est récupérée à partir du rejet final,, des eaux de l'aval de la station route de Tunis; situé sur la route national n :88, qui est un effluent de l'oued Kebir Est.

- T2 Un mélange de 50% eau usée et 50% eau usée Traite
- T3 (EUT fin de l'exercice du traitement situer vers l'aval).

## 5- Sol

Tableau III-2: propriétés physiques des sols utilisés.

Sol	Sol (A) Tomate	Sol (B) Haricot vert
<b>Granulométrie</b>		
<b>Argile (%) 0-2 <math>\mu\text{m}</math></b>	44	16
<b>Limon (%) 2-50 <math>\mu\text{m}</math></b>	16	20
<b>Sable (%) <math>\geq 50 \mu\text{m}</math></b>	40	64
<b>Texture</b>	Argilo-sableux	Sablo-limoneux
<b>Densité apparente</b>	1.06	1.25
<b>Humidité pondérale (<math>\text{kg}/\text{dm}^3</math>) à la capacité au champ</b>	32.5%	24%
<b>Point de flétrissement</b>	11%	7%

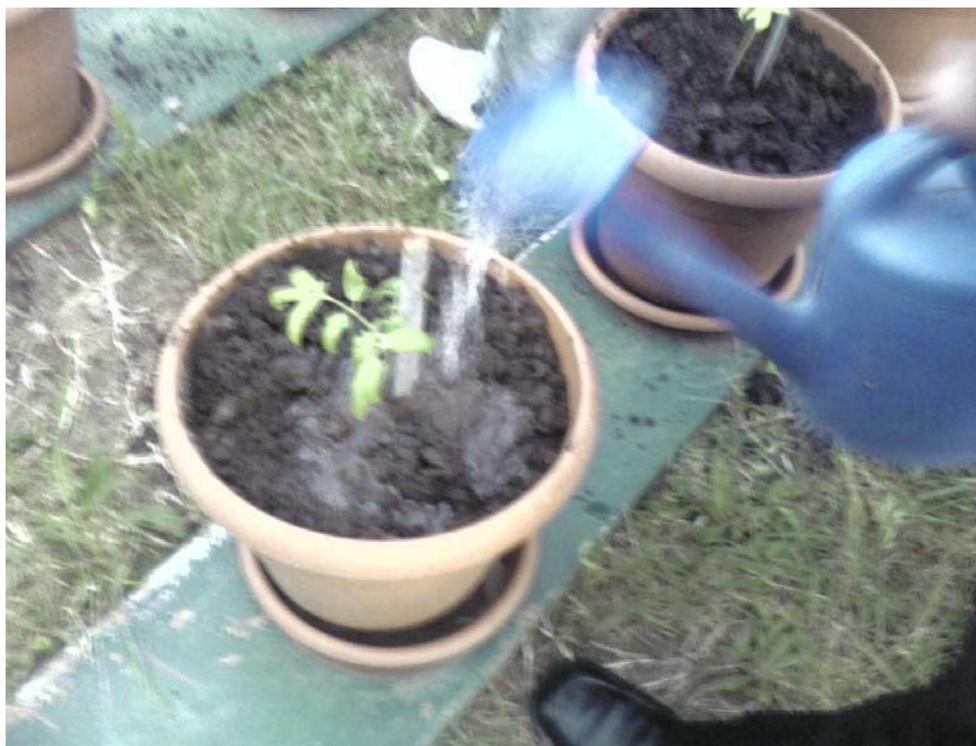
## 5- Conduite de l'essai

### 5-1- Préparation des pots :

- Mettre d'abord une couche de gravier pour le drainage ;
- Ajouter un sol limoneux ;
- Ajouter de l'argile pour sa caractéristique d'une meilleure rétention d'eau ;
- Rajouter une couche superficielle du sol limoneux ;
- Irriguer avec l'eau potable normale ;
- Ajouter de l'engrais N P K : 10.10.10 ;
- Irriguer les pots et les laisser 24 heures afin que l'engrais se dissolve.

### 5-2- La plantation :

Elle est effectuée le 20/04/2005, elle est faite deux jours après la préparation des pots pour que l'engrais devienne soluble.



**Photo III-1 : La mise en place de la culture (Djouda et Bouzou, 2007)**

### **5-3- Soins cultureux**

#### **5-3-1- Désherbage**

Compte tenu du faible développement des mauvaises herbes, le désherbage s'est fait manuellement.

#### **5-3-2- Traitement phytosanitaire**

Aucun traitement phytosanitaire n'a été réalisé.

#### **5-3-3- La fumure**

L'addition de N P K 10.10.10 s'est fait au moment de la préparation des pots.

### **5-4- La récolte**

Les fruits sont récoltés manuellement au stade de maturation et de consommation, seuls les fruits bien formés et bien matures ont été récoltés.

### **5-5- L'arrachage des plants**

L'arrachage des plants a été effectué à la fin de la récolte pour chaque traitement.

## **6- Le dispositif expérimental**

Dans cette expérience, le dispositif expérimental comporte (10) répétitions avec quatre (04) traitements:

- (To) Eau courante;
- (T1) Eau usée brute;
- (T2) Un mélange de 50% eau usée brute et 50% eau traité;
- (T3) EUT eau usée traité.

Le dispositif expérimental est représenté dans la figure suivante :

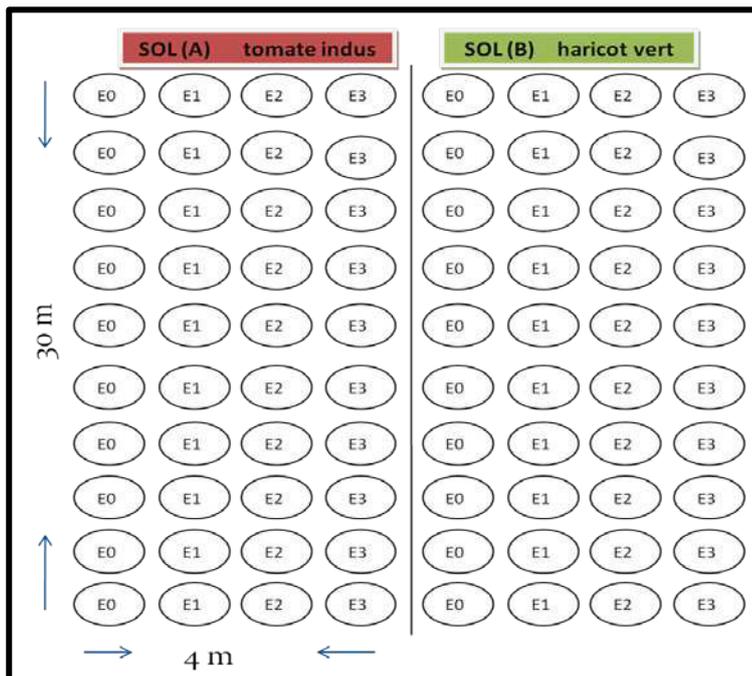


Figure III-1 : Le dispositif expérimental



Photo III-3 : Le dispositif expérimental (Djouda, 2007 ;Bouzou 2011)

### 7- Paramètres étudiés :

La valorisation des eaux résiduaires a été appréciée par la notation des paramètres suivants :

- Paramètres morphologiques,
- Paramètres de floraison,
- Paramètres de production.

**8- Méthodes et mesures :****8-1- Méthodes d'analyse d'eau :****8-1-1-Méthode d'analyses physico-chimiques :**

Les analyses physico-chimiques des eaux ont été réalisées au niveau du laboratoire de la station d'épuration à El Kala.

**A- Analyses physiques:****a- La température:**

Elle est mesurée à l'aide du thermomètre. On a trois échantillons (eau brute, eau du bassin d'aération et eau de sortie).

**b- Les matières en suspension:****\* Matériels utilisés:**

- Becher ;
- Pipette ;
- Ensemble de filtration ;
- Etuve ;
- Balance de précision.
- Les échantillons à analyser (eaux brutes, eaux de sortie et du bassin d'aération)

**\* Mode opératoire:**

1- Mesurer le poids du papier filtre vide par une balance de précision ;

1- Le mettre sur l'ensemble de filtration ;

3- Mettre 100 ml de la solution (l'échantillon) ;

4- Accélérer la vitesse de filtration à l'aide d'une pompe ;

5- Répéter l'opération avec les deux autres échantillons ;

6- Mettre chaque papier filtre sur une assiette spéciale ;

7- Les mettre dans l'étuve pendant 02 heures ou plus à une température de 150°C pour le séchage ;

8- Les mettre dans le dessiccateur pendant 30 minutes pour les refroidir en absorbant l'humidité ;

9- Mesurer le poids du papier filtre avec les matières en suspension (P2) ;

10- Enfin, calculer le poids des matières en suspension pour chaque échantillon par la méthode suivante:

$$P = \frac{P_2 - P_1}{10^6}$$

P : le poids du MES (mg)    P/100ml    MES (mg/l)

**B- Analyses chimiques:****1- pH :**

Est mesuré par un pH-mètre.

**2- La conductivité:**

Elle a pour appareil de mesure un conductimètre.

**3- Demande chimique en oxygène (DCO) :**

Elle convient à la quantité d'oxygène dissoute dans l'eau.

**\* Matériels utilisés :**

- Spectrophotomètre ;
- Becher ;
- Pipette volumétrique ;
- Réacteur à DCO ;
- Eau distillée ;
- Des tubes contenant le réacteur à digestion pour DCO ;
- Eaux usées: on a trois échantillons: eau brute, eau du bassin d'aération et eau de sortie.

**\* Mode opératoire:**

- 1- Homogénéiser 100 ml de l'échantillon pendant 30 secondes dans un mixer (pour les échantillons riches en particules solides, accroître le temps d'homogénéisation) ;
- 2- Pour la gamme de 200 à 15 000 mg/l, verser l'échantillon homogénéisé dans un bêcher de 250 ml et agiter lentement avec un agitateur magnétique ;
- 3- Mettre le réacteur à DCO sous tension. Préchauffer jusqu'à 150°C. Placer l'écran de protection devant le réacteur ;
- 4- Enlever les capuchons des deux tubes de réactif à digestion pour DCO. Choisir les tubes adaptés à la concentration ;
- 5- Tenir un tube incliné à 45°: utiliser une pipette volumétrique pour transférer 2.00ml de l'échantillon dans le tube (l'échantillon préparé). Utiliser une pipette Tensette ;
- 6- Tenir l'autre tube incliné à 45°: utiliser une pipette volumétrique pour transférer 2.00ml d'eau déionisée dans le tube (blanc). Utiliser une pipette Tensette ;
- 7- Refermer soigneusement les tubes. Les rincer avec de l'eau déionisée et les essuyer avec une serviette en papier propre;
- 8- Tenir les tubes par le capuchon du dessus d'un évier. Retourner doucement à plusieurs reprises pour homogénéiser. Placer les tubes dans le réacteur DCO préchauffé. Les tubes deviendra très chauds durant la digestion.
- 9- Chauffer les tubes pendant deux (02) heures ;

10- Mettre le réacteur hors tension. Attendre environ 20 minutes afin de laisser refroidir les tubes à moins de 120°C ;

11- Retourner plusieurs fois les tubes individuels pendant qu'ils sont encore chauds. Placer les tubes dans un support de cuve et les laisser refroidir à température ambiante ;

12- Passer à la section détermination par colorimétrie.

#### **4-Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)**

La DBO<sub>5</sub> la quantité d'oxygène nécessaire au développement des microorganismes.

Suite à la difficulté de la réalisation de l'analyse de la DBO<sub>5</sub>, on utilise la relation suivante: DBO<sub>5</sub>= 60% de la DCO.

#### **5- Azote ammoniacal:**

##### **Méthode au salicylate 0,02 à 2, 50 mg/l en NH<sub>3</sub>-N**

Dans cette analyse, on utilise le spectrophotomètre.

1- Pipeter 2,0 ml de l'échantillon dans un tube AmVer de réactif de dilution pour l'azote ammoniacal, gamme basse (l'échantillon préparé) ;

2- Pipeter 2,0ml d'eau sans ammoniac dans un autre tube AmVer, gamme basse (le blanc ;

3- À l'aide d'un entonnoir, transférer le contenu d'une pochette de réactif au salicylate d'ammoniac dans chaque tube ;

4- À l'aide d'un entonnoir, transférer le contenu d'une pochette de réactif au cyanate d'ammoniac dans chaque tube ;

5- Refermer convenablement les tubes et agiter jusqu'à la dissolution du réactif en poudre ;

6- Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur OK. Une période de réaction de 20 minutes va commencer ;

7- Essuyer l'extérieur du blanc (tube) et l'introduire dans le compartiment de cuve ;

8- Appuyer sur Zéro l'indication suivante apparaît à l'écran 0,00 mg/l NH<sub>3</sub>-N ;

9- Essuyer l'extérieur du tube contenant l'échantillon préparé et l'introduire dans le compartiment de cuve ;

10- Lire les résultats.

#### **6- Nitrates:**

##### **Méthode à l'acide chromatopique**

1- Utiliser un spectrophotomètre.

Sélectionner le programme Hach 344, Nitrate GHTNT. Appuyer sur démarrer ;

2- Retirer le capuchon d'un tube de réactif A Nitra Ver X et pipeter 1,00 ml de l'échantillon (le blanc) ;

3- Refermer le tube et le renverser dix fois pour homogénéiser ;

4- Essuyer l'extérieur du blanc (tube) et l'introduire dans le compartiment de la cuve ;

5- Appuyer sur Zéro l'indication suivante apparaît à l'écran 0,00 mg/l NO<sub>3</sub>-N ;

6- Retirer le tube de l'appareil. A l'aide d'un entonnoir, transférer le contenu d'une pochette de réactif B Nitra Ver X dans le tube ;

7- Refermer et renverser dix fois pour homogénéiser (échantillon préparé). Certaines particules solides ne se dissoudront pas ;

8- Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur OK.

Une période de réaction de 05 minutes va commencer ;

Ne plus retourner le tube. Une coloration jaune apparaîtra en présence de nitrates ;

9- Dans les 05 minutes après le retentissement de la minuterie, essuyer l'extérieur du tube contenant l'échantillon préparé et l'introduire dans le compartiment de cuve ;

10- Lire les résultats.

### 7- Nitrites:

#### Méthode Diazotation 0,003 à 0,500 mg/l NO<sub>2</sub>-N

1- Utiliser un spectrophotomètre.

Appuyer sur programme Hach. Sélectionner le programme 345 N. Nitrite GBTNT. Appuyer sur démarrer.

2- Pipeter 05 ml de l'échantillon dans un tube NitriVer 3 pour nitrite ;

3- Refermer le tube et agiter jusqu'à la dissolution du réactif en poudre (échantillon préparé).

Une coloration rose se développera en présence de nitrites ;

4- Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur OK. Une période de réaction de 20 minutes va commencer ;

5- Lorsque la minuterie retentit, transférer 05 ml de l'échantillon dans un tube vide (le blanc) ;

6- Essuyer l'extérieur du blanc (tube) et l'introduire dans le compartiment de la cuve ;

7- Appuyer sur Zéro, l'indication suivante apparaît à l'écran 0,000 mg/l NO<sub>2</sub>-N ;

8- Essuyer l'extérieur du tube contenant l'échantillon et l'introduire dans le compartiment de la cuve ;

10- Lire les résultats.

### 8- Les analyses microbiologiques des eaux :

Les analyses microbiologiques des eaux ont été réalisées au niveau du laboratoire du secteur sanitaire El Kala. On a utilisé 3 tubes de 10 ml, 3 tubes de 1 ml et 3 tubes de 0,1ml, cette méthode est appelée la méthode 3 3 3.

**8-1-2-Paramètres morphologiques :****A- La hauteur moyenne des plants (cm) :**

Elle a été mesurée en quatre (04) périodes : au moment de la plantation, au début de la phase de floraison, en pleine floraison et enfin à la récolte des plants. Ces mesures ont été réalisées pour tous les traitements du collet jusqu'au bourgeon terminal de la plante.



**Photo III-4 : La mesure de la hauteur moyenne des plants avant la plantation (Djouda & Bouzou, 2011)**

**B- Diamètre moyen des tiges (cm):**

Comme pour la taille, le diamètre du collet des plants est mesuré en même temps que la taille en utilisant un pied à coulisse.

**8-2- Paramètres de floraison :****A- Le nombre moyen de fleur par plant :**

On calcule le nombre de fleur pour chaque plant d'un même traitement et on calcule la moyenne.

**B- Le taux d'avortement :**

Il est mesuré par la division du nombre moyen des fleurs et le nombre moyen des fruits.

**8-3- Paramètres de production :****A- Nombre moyen des fruits :**

On mesure le nombre des fruits par plant et par traitement.

**B- Production moyenne totale par plant :**

Elle est calculée à partir du poids des fruits récoltés par plants.

**8-4- Paramètres de qualité :****A- Diamètre moyen des fruits (cm) :**

Comme pour le diamètre des tiges, la mesure du diamètre des fruits est ainsi prise à l'aide d'un pied à coulisse. Il est calculé après récolte par plant pour chaque traitement.

**B- Longueur des racines (cm) :**

Les mesures de la profondeur des racines dans le sol sont réalisées pour chaque plant et pour chaque traitement après arrachage des plants à la fin de la récolte à l'aide d'une règle graduée.



**Photo III-5: La mesure de la longueur des racines avant la plantation (Djouda & Bouzou,2011)**

- \*pot (diamètre de 80 cm, hauteur est de 60 cm)
- \*simple règle graduée
- \*Pied à coulisse
- \*photomètre a flamme
- \*spectre photomètre absorption atomique à flamme
- \*Méthode de colorimètre (dosage ,phosphore)
- \*Multi paramètre
- \*absorption atomique électrothermique.(métaux lourd)
- \* Le logiciel utilisée le SPS et le Q2

## 9-Méthodes

### 9.1.Echantillonnage et mesure de croissance:

Pour les deux cultures les prélèvement des feuilles de tiges des racines et des fruits , ont été faite à la fine de la production , tout le long du cycle végétatif.

### 9-2.Mesure de la croissance pondérale :

La croissance pondérale a été déterminée par les masses de matières fraîche et sèche pour une moyenne de 10 répétition chaque répétition étant constituée de 4 à 6 plants prélevés pour chaque pots.

### 9-3.Mesure de la croissance en longueur :

Les longueurs des tiges et les partie aérienne comme les feuilles ont été mesuré à l'aide d'une toise. Les valeurs données sont les longueurs moyennes de 10 répétitions, chaque répétition est-elle même une moyenne des mesures effectuées sur 6 à 15 plants.

Le sol a été irrigué de manière à être maintenu à 70% de sa capacité au champ environ 7kg/pot.

Pour éviter les problèmes liés à la germination, les graines ont germé dans des boites de pétri ; elles ont par la suite été repiquées.

La production de matière sèche a été déterminée pour tous les traitements considérés.

### 9.4.Echantillonnage et mesure de croissance :

Pour les deux essais, une période de croissance de 70 jours a été adoptée. A la fin de cette période, les parties aériennes ont été prélevées pot par pot et pesées en vue de la détermination de la matière fraîche puis séchées à 80°C jusqu'à un poids constant.

### 9.5.Analyse chimique :

Les échantillons prélevés pour la détermination de la croissance ont été utilisée pour l'analyse de la composition chimique. L'analyse a été réalisée sur chaque partie (feuilles, tiges, racines et fruits) séparément.

Après la détermination de la matière sèche, tous les échantillons pris individuellement ont été broyés finement. La poudre végétale obtenue a par la suite été minéralisée de différentes manières pour prendre en compte l'ensemble des éléments à doser.

### 9.6.Dosage de l'azote kjeldhal :

L'azote a été déterminé par la méthode Kjeldhal. La minéralisation à l'acide sulfurique a été suivie d'une distillation à l'aide d'un appareil Buchi. Les ions ammonium ont été récupérés dans l'acide borique puis titrés avec de l'acide chlorhydrique N/20.

### 9.7.Dosage des chlorures :

L'extraction a été faite par action de HNO<sub>3</sub> à 5% et à froid. Le dosage par colorimétrie a été effectué en présence de gélatine et d'un tampon acétique. Pour nos premières déterminations, nous avons utilisé un chloridimètre Buchler.

### 9.8.Dosage du bore :

La poudre végétale a été calcinée à 500°C pendant 4 heures, la reprise des cendres a été faite avec de l'acide acétique à 25%. Le développement de la couleur en présence de dianthrimide et sulfate d'hydrazine se fait à 90°C pendant 3 heures. Le dosage a été effectué par colorimétrie à 620 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible Perkin Elmer Lambda3.

### 9.9. Dosage du soufre total :

Le dosage des sulfates a été effectué par gravimétrie à l'état de BaSO<sub>4</sub>. L'attaque de la matière végétale se fait avec de l'acide nitro-perchlorique à chaud. La précipitation de SO<sub>4</sub><sup>-</sup> se fait avec BaCl<sub>2</sub> à 10% et à chaud. Après filtration et lavage jusqu'à la disparition des chlorures, le précipité a été calcine puis pesé.

### Dosage de Ca, Cd, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Na, k, p, Pb et Zn :

### 9.10. Préparation du matériel :

Pour l'ensemble de ces éléments, nous avons retenu l'attaque nitro-perchlorique. Le poids de la poudre végétale, la quantité d'acides ainsi que le volume final ont été modifiés selon la concentration présumée des éléments et de la limite de détection des appareils.

On utilise généralement 0.5 g/100 ml pour les éléments majeurs et 2 g/50 ml pour les microéléments.

### 9.11. Dosage de calcium, potassium et sodium :

Les dosages de Ca, K et Na ont été faits en émission de flamme soit sur le minéralisant directement soit après dilution à l'aide d'un photomètre à flamme de type Eppendorf.

### 9.12. Dosage du cobalt, cuivre, fer, magnésium, manganèse et zinc.

Ces éléments ont été dosés en absorption atomique avec flamme. Pour Zn, Cu et Mn, les dosages ont généralement été directement faits sur les minéralisâtes. Pour Mg et Fe, les dosages ont été réalisés sur les minéralisâtes dilués au chlorure de lanthane à 5% pour corriger les interférences. Les mesures ont été réalisées au moyen d'un spectrophotomètre d'absorption atomique Perkin Elmer 2380.

### 9.13. Dosage du cadmium et plomb

Les niveaux de concentration de ces éléments étaient trop faibles pour permettre une mesure correcte en absorption atomique en flamme. A cet effet, nous avons dû refaire certains dosages en augmentant le poids de la poudre et en réduisant le volume final, par la suite, nous avons réalisé des mesures en absorption atomique électrothermique. Le matériel utilisé était un four graphite HGA 400 - Perkin Elmer.

### 9.14. Dosage du phosphore

Le phosphore a été dosé par colorimétrie au vanadomolybdate à 436 nm.

## 10. Caractérisation des eaux

Les eaux usées traitées ont été prélevées au niveau du périmètre irrigué, directement, à partir de la prise de la station de traitement et sont conservées au froid pour analyse des paramètres physicochimiques.

### 10.1. Caractérisation physico-chimique des EUT

Le pH et la conductivité électrique des EUT ont été déterminés selon les protocoles de l'AFNOR (° NF T 90-008 et NF EN 27888) en utilisant un pH-mètre de type metertoldo et un conductimètre de type HANNA INSTRUMENT HI 9900. La demande chimique en oxygène (DCO), les matières en suspensions (MES), la Demande Biochimique en Oxygène (DBO5) et le phosphore total ont été mesurés selon les protocoles de l'AFNOR (NF T 90-018, NF EN 872, NF T 90-103, NF EN 1189). Les anions et les cations ont été déterminés par chromatographie ionique. Les métaux lourds ont été dosés par absorption atomique après digestion acide à l'eau régale (NF EN ISO 15587-1). L'alcalinité totale est mesurée par titration au HCl (NF EN ISO 9963-2).

### 10.2. Conductivité électrique de la pâte saturée (CEs):

Elle est mesurée selon la méthode préconisée par le laboratoire de Riverside (US Salinity Laboratory Staff ; Richards, 1954).

Dans une capsule à couvercle, une masse de 100 g de sol séché et tamisé à 2mm est introduite. Une pâte est préparée en ajoutant une quantité d'eau distillée et en la malaxant à l'aide d'une spatule, jusqu'à saturation. A saturation la pâte brille à la lumière, s'écoule légèrement à l'inclinaison de la capsule et glisse librement le long de la spatule. Ensuite, la capsule est fermée et laissée plusieurs heures au repos. La pâte est ensuite centrifugée à 4000 t/min durant une vingtaine de minutes. L'extrait obtenu est utilisé pour la mesure de la conductivité par un conductimètre de type Hanna instrument HI9932.

**Résultats : (Haricot Vert)****1/ Qualité physico-chimique des eaux d'irrigation :**

Les résultats d'analyse physico-chimique des eaux d'irrigation sont résumés dans le tableau

**Tableau IV-1 : Les résultats d'analyse physico-chimique des eaux d'irrigation**

Traitements	T <sub>0</sub>	T1	T2	T3
Ph	7,6	7,75	7,4	7,46
Température	24	23,8	23,8	22,9
Conductivité (CEds/m)	1.73	4.9	3.9	2.1
DCO (mg/ml)	165	28	21	50
DBO <sub>5</sub>	99	16,8	12,6	30
MES (mg/ml)	1	56	15	6
Nitrites (mg/l)	0,005	2	1,9	1,4
Nitrates (mg/l)	0.1	2,2	1,5	1,5
Azote ammoniacal (mg/l)	néant	Importante	Moyenne	Trace
Sels	néant	Trace	Trace	néant

**1.1. Qualité des eaux usées traitées**

Le suivi de la qualité des eaux usées traitées de la station d'épuration d'El-Kala a été réalisé depuis son fonctionnement en 1984. Le tableau IV.2 regroupe les résultats obtenus durant cette période en indiquant les valeurs limites (faibles et fortes) des paramètres de suivis (les détails de l'historique de la qualité des EUT) avec une comparaison aux normes de réutilisation des eaux usées traitées algérienne NA 206,01.

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

- Le pH des EUT d'El-Kala est généralement alcalin.
- La salinité des eaux dépasse dans la plupart des cas les 3 g L<sup>-1</sup> et atteint même souvent les 5 g L<sup>-1</sup>. La conductivité électrique équivalente à cette salinité enregistre elle aussi des valeurs importantes qui dépassent parfois la norme de réutilisation des EUT fixée à 7 mS/cm.
- Pour ce qui est en relation avec la charge polluante organique, les paramètres de suivi (DCO, DBO, MES...) indiquent généralement des valeurs élevées dépassant largement les normes de réutilisation.
- Les concentrations en métaux sont généralement faibles et ne dépassent pas les normes à l'exception du chrome. Il est important de signaler que la station d'épuration d'El-Kala traite des eaux usées urbaines constituées d'un mélange d'eaux usées domestiques seulement.

L'ensemble de ces facteurs, la défaillance du procédé du traitement de la station d'épuration ainsi que les difficultés de fonctionnement après sa réhabilitation ont contribué à la dégradation de la qualité des EUT.

Tableau IV.2 : Qualité des eaux usées traitées de la station d'épuration de El-Kala (période 1984-2009)

Paramètres	EUT El-Kala	Normes NA. 106.03
pH	7,6-8,6	6,5 – 8,5
CE, mS/cm	1.61-3.1	5
RS, g /l	1.7-1.9	-
MES, mg/l	1-56	30
DCO, mg/l	21-165	90
DBO <sub>5</sub> , mg/l	12.6-99	30
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg/l	0.005-2	-
Cl <sup>-</sup> , mg/l	554-740	2000
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , mg/l	90-390	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg/l	228.5-390	-
Na <sup>+</sup> , mg/l	214-390	-
Mg <sup>2+</sup> , mg/l	48.5-60,1	-
Ca <sup>2+</sup> , mg/l	150-340	-
Cd, mg/l	0,001-0,07	0,01
Cr, mg /l	0,12-1,2	0,1
Cu, mg/l	0,18-1,2	0,5
Fe, mg/l	0,66-1,98	5
Mn, mg/l	0,3-1	0,5
Ni, mg/l	0,9-1,14	0,2
Pb, mg/l	0,9-1,14	1
Zn, mg/l	0,72-0,8	5
SAR	5-6	-

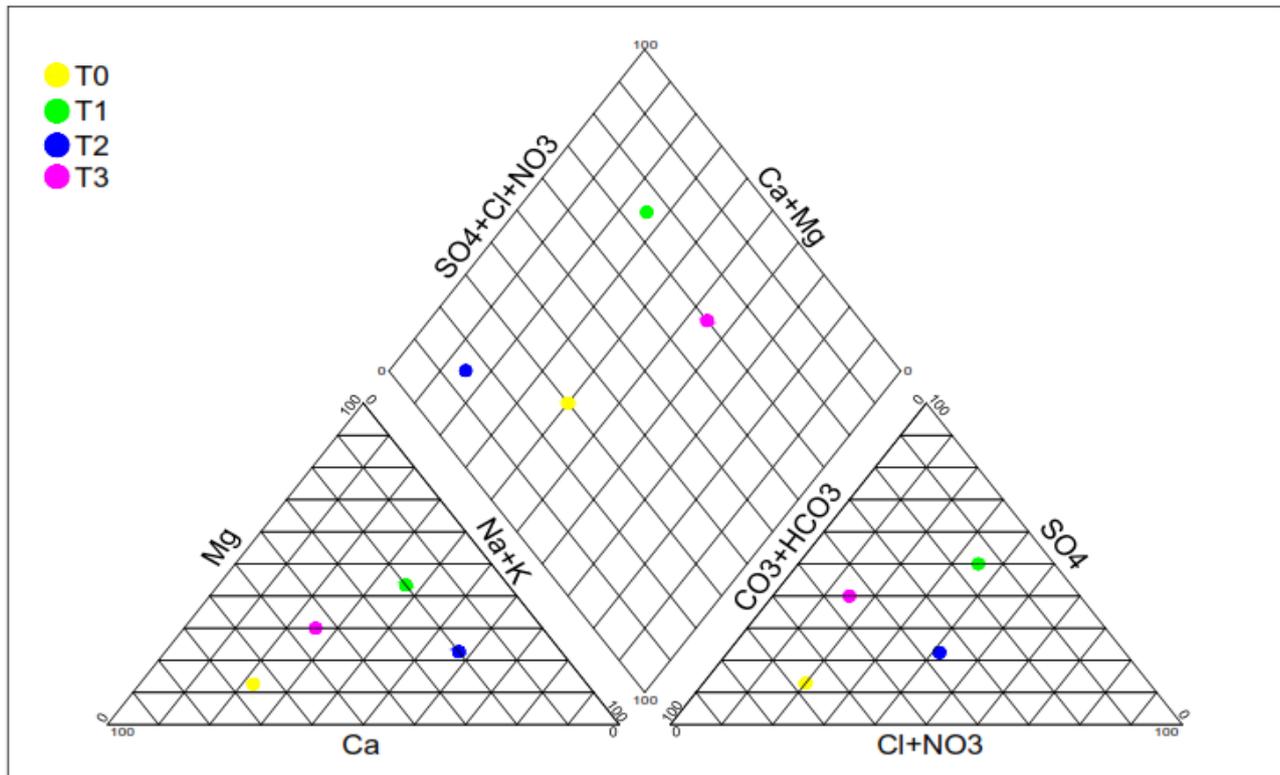
Tableau IV.3: les apports moyenne des fertilisants d'une hauteur d'eau de (600mm) (en Kg/h).

	E0 mg/l	E1 mg/l	E2 mg/l	E3 mg/l
PH	7.6	8.6	7.9	7.6
CE (ds/m)	1.61	3.1	2.9	2.3
RS	1.71	1.9	1.7	1.82
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	228.5	390	299	370
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	90	360	390	350
Cl <sup>-</sup>	648	740	720	554
Ca <sup>++</sup>	250	340	290	150
Mg <sup>++</sup>	48.5	60.1	58	56.5
Na <sup>+</sup>	214	370	390	366

	E0 mg/l	E1 mg/l	E2 mg/l	E3 mg/l
N	126	240	200	189
P	0.1	40	20	24.6
K	19.3	317	120	217.6
B	0.01	12	0.9	6.00
Cd	Trace	-	-	Trace
Co	0.04	1.4	1.2	0.30
Cr	-	1.1	1.2	-
Cu	-	1.2	1.1	0.08
Fe'	0.06	0.9	0.7	0.98
Mn	0.06	1.0	0.9	0.30
Ni	-	1.9	1.5	0.36
Pb	-	0.9	0.9	0.14
Zn	-	0.8	0.8	0.72

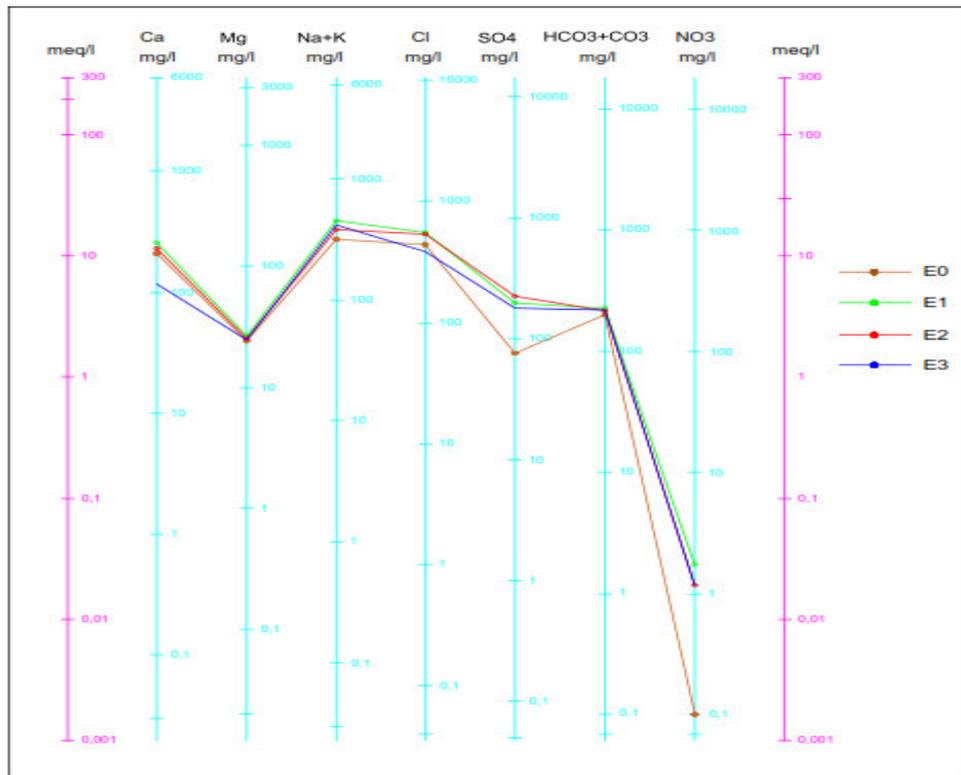
## 1.2. Classification chimique des EUT

Afin de déterminer le faciès chimique de ces EUT, nous avons placé les concentrations en éléments majeurs de ces eaux sur le diagramme de Piper. Ce diagramme correspond à une représentation losangique basée sur les pourcentages de concentrations en ions majeurs exprimés en méq/l. Cette représentation consiste à porter le pourcentage de chaque élément sur deux triangles équilatéraux, un pour les anions et l'autre pour les cations. La projection des points représentatifs sur le losange nous permet de déterminer le faciès chimique des eaux. D'après la figure IV.1, les points représentatifs des EUT sur le diagramme losangique se regroupent dans un seul nuage de points. Cette disposition de points montre que le faciès chimique dominant des EUT est chloruré sodique avec une légère tendance à un faciès sulfaté calcique.

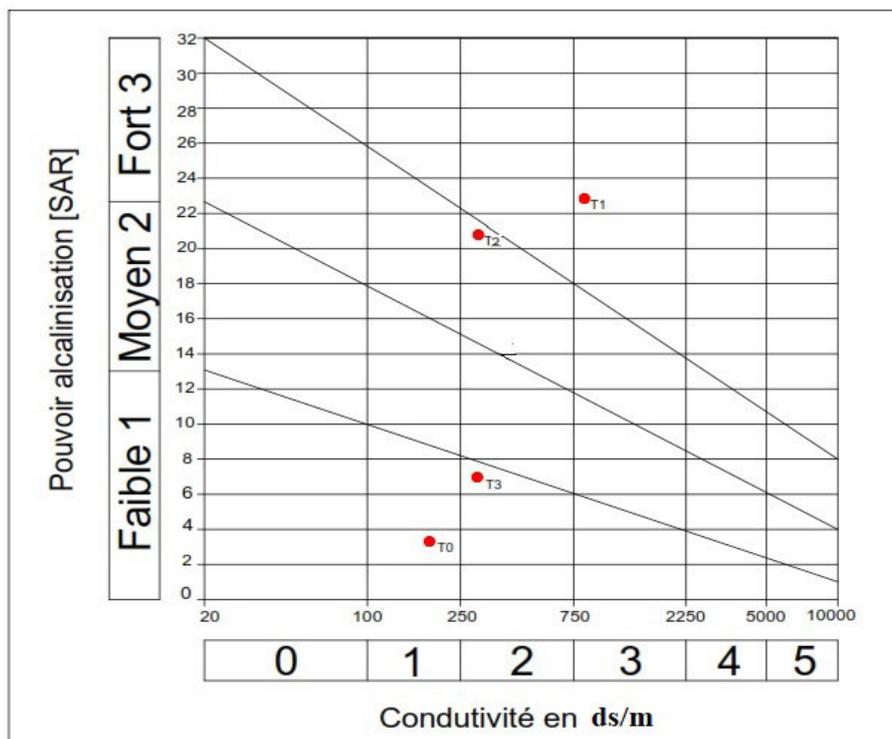


**Figure IV.1 : Diagramme de Piper des eaux usées traitées de la station d'épuration d'El-Kala**

Pour mettre en évidence la variabilité de la composition chimique des EUT, nous avons représenté les différents éléments chimiques sur le diagramme de Shøeller Berkaloff. Il s'agit d'une représentation graphique à échelle semi-logarithmique sur laquelle la composition en éléments majeurs est reportée. Une eau de composition donnée sera représentée par une ligne brisée. La représentation des EUT sur le diagramme de Shøeller Berkaloff (figure IV.2) permet de mettre en évidence une certaine hétérogénéité chimique des EUT de Sfax. Les variations de nature ainsi que de volumes des différents types d'effluents déversés dans la station d'épuration influent sur la composition finales des EUT. On remarque en particulier des concentrations en nitrates très variables.



**Figure IV.2 : Diagramme de Shøeller Berkloff des EUT de la station d'épuration d'El-Kala**  
 Par ailleurs, la combinaison de la conductivité électrique des EUT et du rapport d'absorption du sodium (SAR) permet de classer ces eaux selon le diagramme de classification des eaux d'irrigation de Riverside (figure IV.3). La représentation graphique de sept échantillons montre que les eaux usées traitées présentent un risque de salinisation élevée et un pouvoir alcalinisant plutôt modéré. Ainsi, l'utilisation de ces eaux nécessitera certaines précautions tel qu'un bon drainage des sols, notamment si les sols présentent une texture fine.



**Figure IV.3 : Classification des EUT de la station d'épuration d'El-kala selon le diagramme de Riverside**

2/ Qualité bactériologique des eaux d'irrigations

Tableau IV-4 : Qualité microbiologique des eaux d'irrigations (1000cf/100ml)

Traitements	T <sub>0</sub>	T1	T2	T3
Coliformes totaux	00	1100	42	825
Coliformes fécaux	00	1100	11	825

3/ Paramètres de germination :

- Nombre moyen de germination :

Tableau IV-5 : Nombre moyen de germination

Traitements	T <sub>0</sub>	T1	T2	T3
Moyen de germination	2,38	2,38	2,00	2,55

- le nombre moyen de germination : en utilise le test du Khi deux

-G : Le nombre de germination

Les dénombrements attendus sont imprimés sous les dénombrements observés

G	1	2-3	4-6	Total
T0	65,75	98,50	42,75	18
T1	35,75	149,5	12,75	18
T2	85,75	98.50	22.75	18
T3	65,75	98.50	42,75	18
Total	23	38	11	72

$$\text{Khi deux} = 0,011 + 0,237 + 0,568 + 1,315 + 2,132 + 1,114 + 0,880 + 0,237 + 0,205 + 0,011 + 0,237 + 0,568 = 7,514$$

$$\text{DL} = 6, P = 0,276 \text{ (pas de différence)}$$

4 cellules avec des dénombrements attendus inférieurs à 5,0

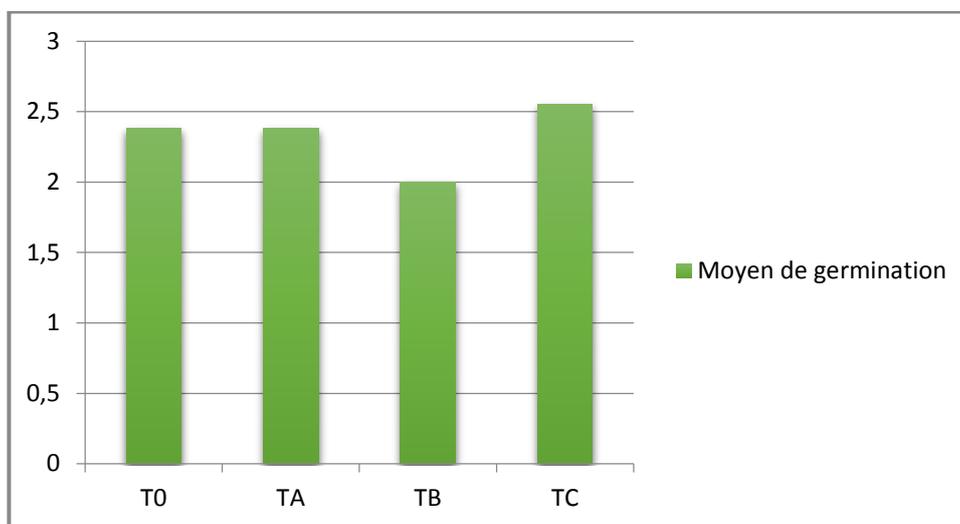


Figure IV-4 : Variation des moyens de germination en fonction de différents traitements

4/ Paramètres morphologiques

A - Longueurs moyenne des tiges :

Tableau IV-6 : Longueur moyenne des tiges (cm)

Traitements	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Longueur moyenne en Fin de croissance	14,504	15,764	15,198	17,503
Ecartype	3,080	3,115	3,137	3,047

ANOVA à un facteur contrôlé : La longueur des tiges en fonction de traitement

Tableau IV-7 : Analyse de la variance pour la longueur des tiges durant la fin de la phase de croissance

Source	DL	SC	CM	F	P
Traitement	3	88,71	29,57	3,09	0,033*
Erreur	68	651,35	9,58		
Total	71	740,06			

IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcarType	-----+-----+-----+-----
1	18	14,504	3,080	(-----*-----)
2	18	15,764	3,115	(-----*-----)
3	18	15,198	3,137	(-----*-----)
4	18	17,503	3,047	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----

Ecart-type groupé = 3,095      14,4    16,0    17,6

- Comparaisons de Dunnett avec un contrôle :

Taux d'erreur famille = 0,0200

Taux d'erreur individuel = 0,00733

Valeur critique = 2,76

Témoin = niveau (1) de traitement (T<sub>0</sub>)

- Intervalles pour la moyenne du traitement moins la moyenne du contrôle :

Niveau	Inférieur	Central	Supérieur	-----+-----+-----+-----
2	-1,593	1,259	4,111	(-----*-----)
3	-2,159	0,693	3,545	(-----*-----)
4	0,146	2,998	5,850	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----

0,0    2,5    5,0

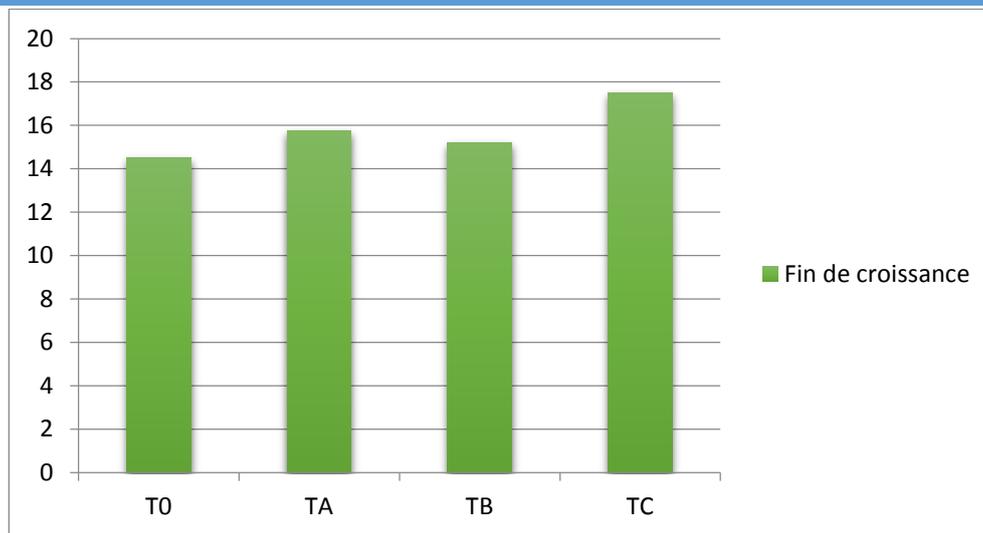


Figure IV-5 : Variation des longueurs moyennes des plants (cm) en fonction des différents traitements

**B- Diamètres moyen des tiges :**

Tableau IV-8 : Diamètres moyen des tiges (cm)

Traitements	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Diamètre moyen en fin de croissance	0,30	0,35	0,30	0,32
Ecartype	0,01514	0,02711	0,01514	0,02936

**ANOVA à un facteur contrôlé : Le diamètre des tiges en fonction de traitement**

Tableau IV-9 : Analyse de la variance pour les diamètres des tiges à 37 jours après le semis

Source	DL	SC	CM	F	P
Traitement	3	0,030817	0,010272	20,00	0,000**
Erreur	68	0,034933	0,000514		
Total	71	0,065750			

IC individuel à 95% pour la moyenne

Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcarType	IC
1	18	0,30056	0,01514	(---*---)
2	18	0,35056	0,02711	(---*---)
3	18	0,30056	0,01514	(---*---)
4	18	0,32500	0,02936	(---*---)

Ecart-type groupé = 0,02267      0,300    0,320    0,340    0,360

**- Comparaisons de Dunnett avec un contrôle :**

Taux d'erreur famille = 0,0300

Taux d'erreur individuel = 0,0112

Valeur critique = 2,61

Témoin = niveau (1) de traitement (T<sub>0</sub>)

**- Intervalles pour la moyenne du traitement moins la moyenne du contrôle :**

Niveau	Inférieur	Central	Supérieur	
2	0,03029	0,05000	0,06971	(-----*-----)
3	-0,01971	0,00000	0,01971	(-----*-----)
4	0,00473	0,02444	0,04416	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----  
0,000 0,025 0,050

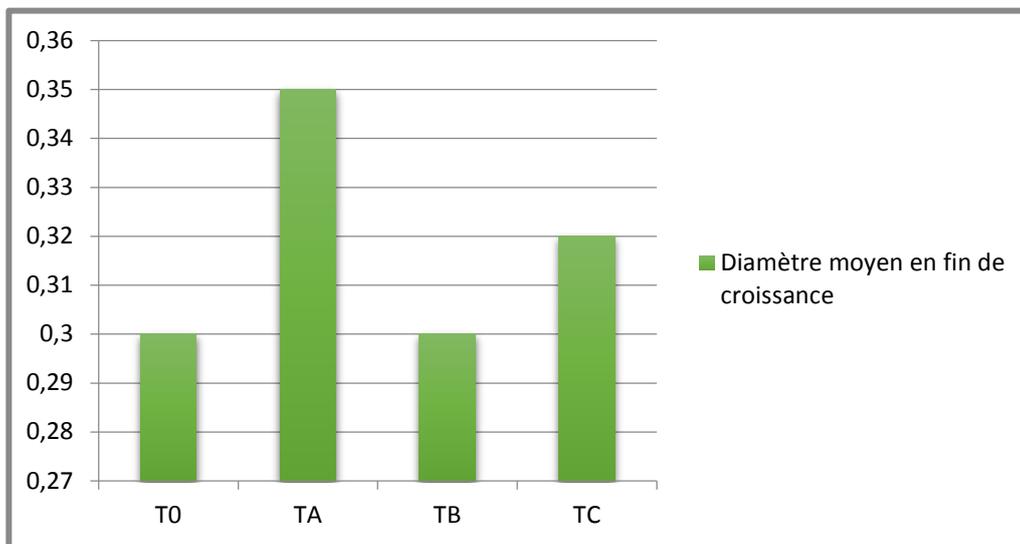


Figure IV-6 : Variation des diamètres des tiges (cm) en fonctions des différents traitements

**C - Nombre moyen des feuilles :**

**Tableau IV-10 : Nombre moyen des feuilles**

Traitements	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Nombre moyenne des feuilles en fin de croissance	7,773	8,667	8,417	8,056
Ecartype	0,854	1,715	1,965	1,559

**ANOVA à un facteur contrôlé : Le nombre des feuilles en fonction de traitement**

**Tableau IV-11 : Analyse de la variance pour le nombre des feuilles en fin de croissance**

Source	DL	SC	CM	F	P
Traitement	3	8,37	2,79	1,12	0,347
Erreur	68	169,35	2,49		
Total	71	177,72			

IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcartType
1	18	7,773	0,854
2	18	8,667	1,715
3	18	8,417	1,965
4	18	8,056	1,559

Ecart-type groupé = 1,578 7,70 8,40 9,10

**- Comparaisons de Dunnett avec un contrôle :**

Taux d'erreur famille = 0,0200

Taux d'erreur individuel = 0,00733

Valeur critique = 2,76

Témoin = niveau (1) de traitement (T<sub>0</sub>)

**- Intervalles pour la moyenne du traitement moins la moyenne du contrôle :**

Niveau	Inférieur	Central	Supérieur
2	-0,560	0,894	2,348
3	-0,810	0,644	2,098
4	-1,171	0,283	1,737

-1,0 0,0 1,0 2,0

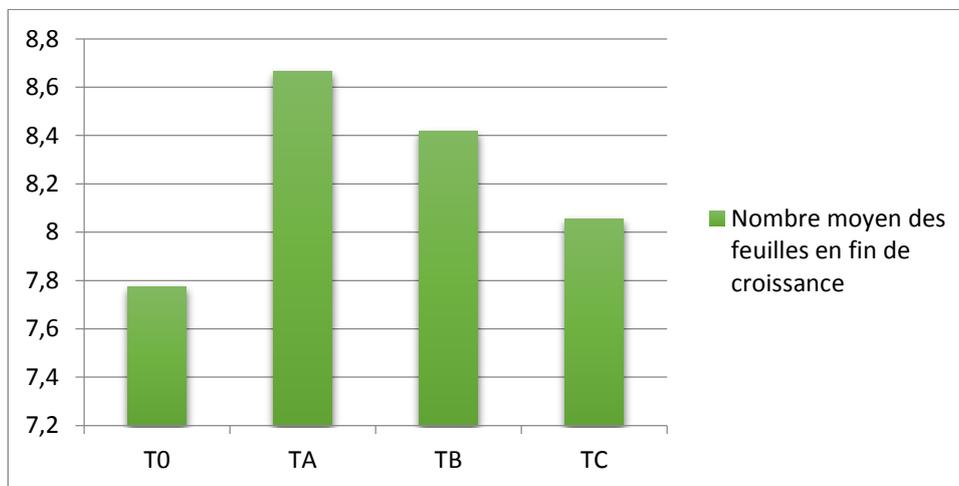


Figure IV-7 : variation des nombres des feuilles en fonction des différents traitements

**D- Longueurs moyenne des feuilles :**

Tableau IV-12 : Longueur moyenne des feuilles

Traitements	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Longueur moyenne des feuilles en fin de croissance	6,111	7,944	6,361	8,167
Ecartype	1,037	0,953	1,830	0,767

**Tableau IV-13 : Analyse de la variance pour la longueur des feuilles en fin de croissance**

Source	DL	SC	CM	F	P
Traitements	3	60,59	20,20	13,65	0,000**
Erreur	68	100,63	1,48		
Total	71	161,22			

IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcarType	-----+-----+-----+-----+
1	18	6,111	1,037	(-----*-----)
2	18	7,944	0,953	(-----*-----)
3	18	6,361	1,830	(-----*-----)
4	18	8,167	0,767	(-----*-----)

Ecart-type groupé = 1,216 6,0 7,0 8,0 9,0

**- Comparaisons de Dunnett avec un contrôle :**

Taux d'erreur famille = 0,0500

Taux d'erreur individuel = 0,0190

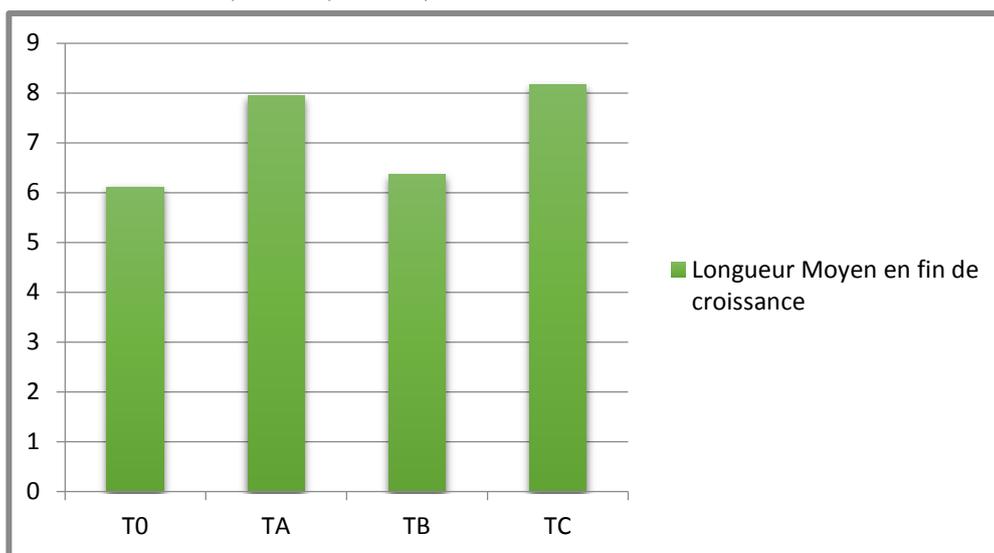
Valeur critique = 2,40

Témoin = niveau (1) de Traitement T<sub>0</sub>

**- Intervalles pour la moyenne du traitement moins la moyenne du contrôle :**

Niveau	Inférieur	Central	Supérieur	-----+-----+-----+-----
2	0,859	1,833	2,808	(-----*-----)
3	-0,724	0,250	1,224	(-----*-----)
4	1,081	2,056	3,030	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----  
0,0 1,0 2,0



**Figure IV-8 : Variation des longueurs moyennes des feuilles en fonction de différents traitements**

**5/ Paramètre de floraison :**

**A- Nombre moyen des fleurs :**

**Tableau IV-14 : Nombre moyen des fleurs**

Traitements	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Début floraison	5,431	8,441	6,389	9,352
Fin floraison	10,167	15,833	13,556	19,833

**ANOVA à un facteur contrôlé : Le nombre de fleurs en fonction de traitement**

**Tableau IV-15 : Analyse de la variance pour le nombre des fleurs au début de floraison**

Source	DL	SC	CM	F	P
Traitement	3	176,2	58,7	4,94	0,004*
Erreur	68	809,3	11,9		
Total	71	985,5			

IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcartType	Interval
1	18	5,431	2,033	(-----*-----)
2	18	8,441	4,413	(-----*-----)
3	18	6,389	3,008	(-----*-----)
4	18	9,352	3,867	(-----*-----)

Ecart-type groupé = 3,450 4,0 6,0 8,0 10,0

**- Comparaisons de Dunnett avec un contrôle :**

Taux d'erreur famille = 0,0500

Taux d'erreur individuel = 0,0190

Valeur critique = 2,40

Témoin = niveau (1) de traitement (T<sub>0</sub>)

**- Intervalles pour la moyenne du traitement moins la moyenne du contrôle :**

Niveau	Inférieur	Central	Supérieur	Interval
1	-5,772	-3,009	-0,246	(-----*-----)
3	-4,815	-2,052	0,711	(-----*-----)
4	-1,852	0,911	3,674	(-----*-----)

-5,0 -2,5 0,0 2,5

**Tableau IV-16 : Analyse de la variance pour le nombre des fleurs en pleine floraison**

Source	DL	SC	CM	F	P
Treatment	3	889,37	296,46	86,17	0,000**
Error	68	233,94	3,44		
Total	71	1123,32			

IC individuel à 95% pour la moyenne

Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	Ecart Type	-----+-----+-----+-----+-----+-----
1	18	10,167	1,543	(-*-)
2	18	15,833	1,724	(-*-)
3	18	13,556	2,093	(--*-)
4	18	19,833	2,007	(--*-)
-----+-----+-----+-----+-----+-----				

Ecart-type groupé = 1,855    10,5    14,0    17,5    21,0

**- Comparaisons de Dunnett avec un contrôle :**

Taux d'erreur famille = 0,0500

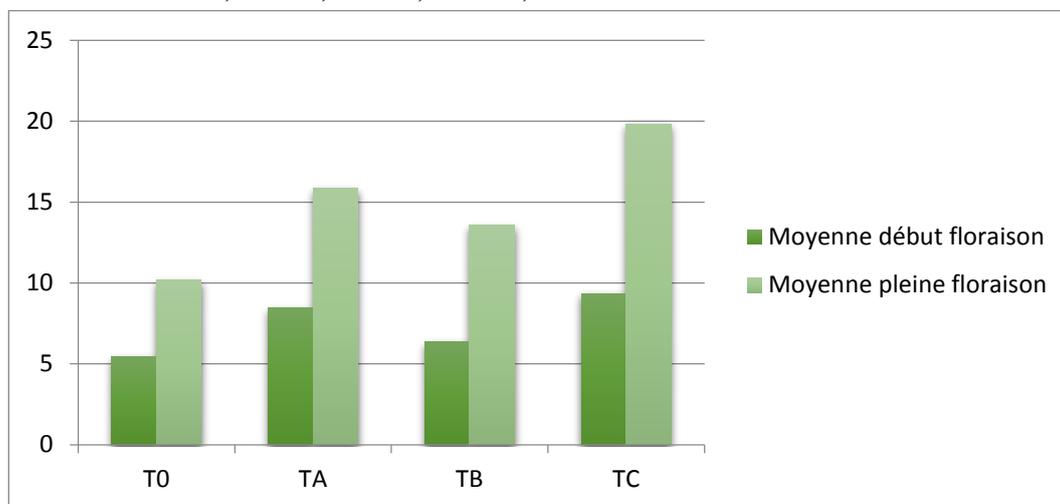
Taux d'erreur individuel = 0,0190

Valeur critique = 2,40

Témoin = niveau (1) de Traitement (T<sub>0</sub>)

**- Intervalles pour la moyenne du traitement moins la moyenne du contrôle :**

Niveau	Inférieur	Central	Supérieur	-----+-----+-----+-----+-----+-----
2	4,181	5,667	7,152	(-----*-----)
3	1,903	3,389	4,874	(-----*-----)
4	8,181	9,667	11,152	(-----*-----)
-----+-----+-----+-----+-----+-----				
	2,5	5,0	7,5	10,0



**Figure IV-9 : Variation de nombre moyen des fleurs en fonction des différents traitements**

**B- Le taux d'avortement (%) :**

**Tableau IV-17 : Taux moyen d'avortement en (%)**

Traitements	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Taux moyen d'avortement	10,38	11,23	14,76	6,95
Ecartype	1,162	2,184	2,169	2,593

**ANOVA à un facteur contrôlé : Le taux d'avortement en fonction de traitement**

**Tableau IV-18 : Analyse de la variance pour le taux d'avortement**

Source	DL	SC	CM	F	P
Traitements	3	9,44	3,15	0,72	0,545
Erreur	68	298,33	4,39		
Total	71	307,78			

IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcarType	-----+-----+-----+-----
1	18	1,056	1,162	(-----*-----)
2	18	1,778	2,184	(-----*-----)
3	18	2,000	2,169	(-----*-----)
4	18	1,389	2,593	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----

Ecart-type groupé = 2,095                      0,80    1,60    2,40

**- Comparaisons de Dunnett avec un contrôle :**

Taux d'erreur famille = 0,0500

Taux d'erreur individuel = 0,0190

Valeur critique = 2,40

Témoin = niveau (1) de Traitement (T<sub>0</sub>)

**- Intervalles pour la moyenne du traitement moins la moyenne du contrôle :**

Niveau	Inférieur	Central	Supérieur	--+-----+-----+-----+-----
2	-0,955	0,722	2,400	(-----*-----)
3	-0,733	0,944	2,622	(-----*-----)
4	-1,344	0,333	2,011	(-----*-----)

--+-----+-----+-----+-----

-1,2    0,0    1,2    2,4

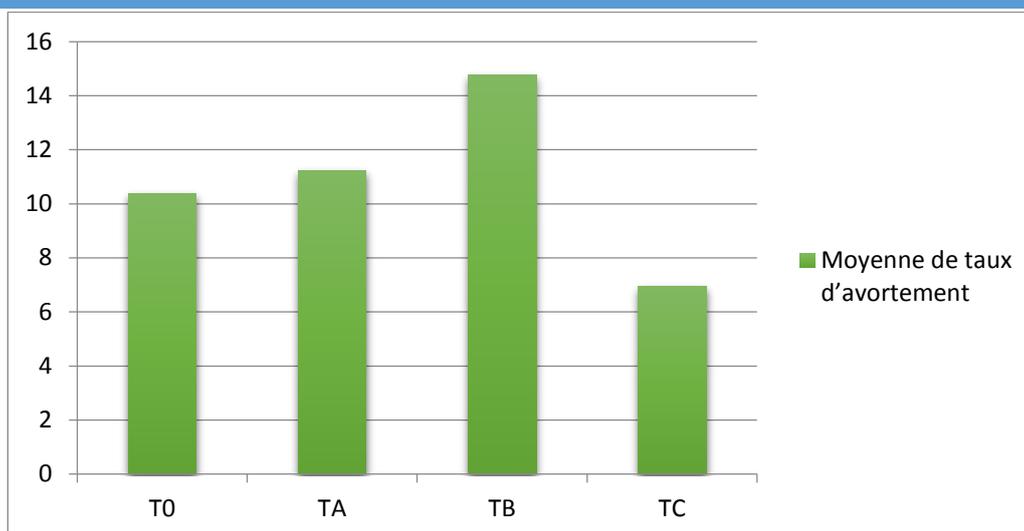


Figure IV-10 : Taux d'avortements selon les différents traitements

**6/Paramètres de production :**

**A- Nombre moyen des fruits par plants :**

Tableau IV-19 : Nombre moyen des fruits par plants

Traitements	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Nbrs moyen des fruits par pot	9,333	14,167	12,222	19,056
Ecartype	1,534	2,383	1,734	2,235

**ANOVA à un facteur contrôlé : Le nombre moyen des fruits**

Tableau IV-20 : Analyse de la variance pour le nombre des fruits

Source	DL	SC	CM	F	P
Traitements	3	902,72	300,91	75,07	0,000**
Erreur	68	272,56	4,01		
Total	71	1175,28			

IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcarType	-----+-----+-----+-----
1	18	9,333	1,534	(--*-)
2	18	14,167	2,383	(-*--)
3	18	12,222	1,734	(--*--)
4	18	19,056	2,235	(-*--)

Ecart-type groupé = 2,002 10,5 14,0 17,5

**- Comparaisons de Dunnett avec un contrôle :**

Taux d'erreur famille = 0,0500

Taux d'erreur individuel = 0,0190

Valeur critique = 2,40

Témoin = niveau (1) de Traitement T<sub>0</sub>

**- Intervalles pour la moyenne du traitement moins la moyenne du contrôle :**

Niveau	Inférieur	Central	Supérieur	-----+-----+-----+-----+
2	3,230	4,833	6,437	(----*----)
3	1,285	2,889	4,492	(----*----)
4	8,119	9,722	11,326	(----*----)

-----+-----+-----+-----+

3,0    6,0    9,0    12,0

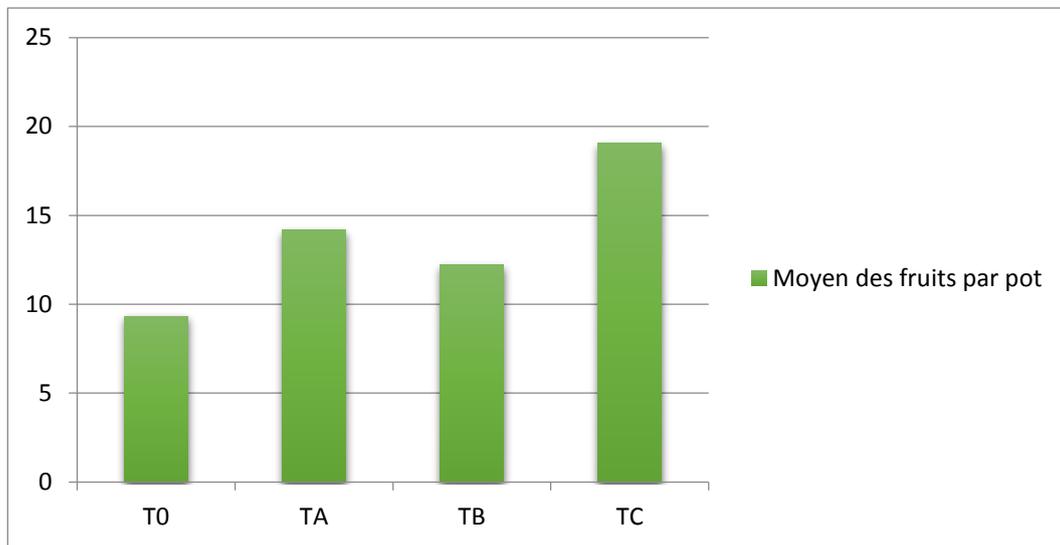


Figure IV-11 : Nombre moyen des fruits en fonction de différents traitements

**B- Production moyenne (gr) :**

Tableau IV-21 : Poids moyen des fruits par plants (gr)

Traitements	T0	T1	T2	T3
Poids moyen	40,04	96,13	46,67	113,02

**ANOVA à un facteur contrôlé : en fonction de traitement**

Tableau IV-22 : Analyse de la variance pour le poids des fruits

Source	DL	SC	CM	F	P
Traitement	3	70428,12	23476,04	9787,39	0,000**
Erreur	68	163,10	2,40		
Total	71	70591,22			



C- Rendement :

Tableau IV-23 : rendements de production en kg/plant

Traitements	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Rendement	60	144	70	169

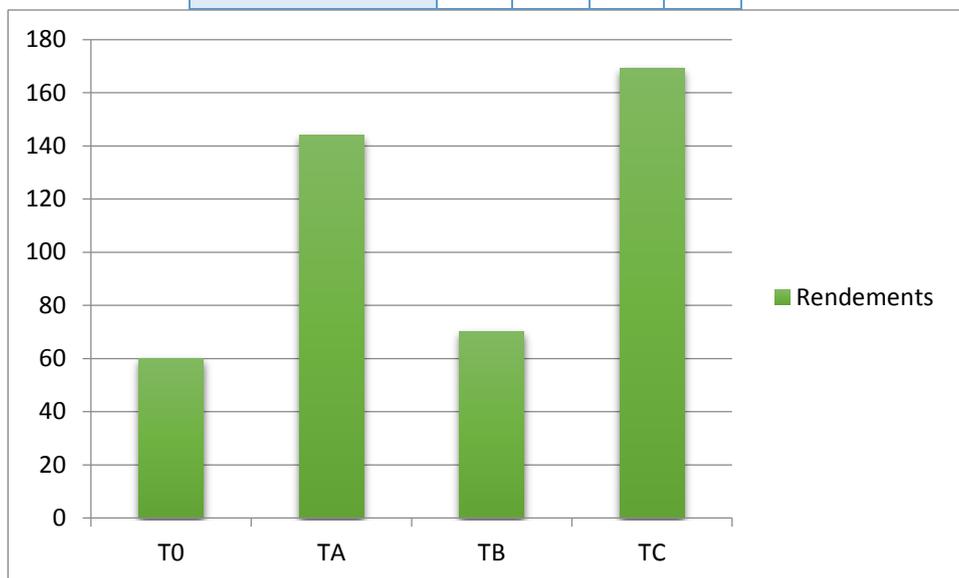


Figure IV-13 : Variation des rendements en fonction des différents traitements

7/ Paramètre de qualité :

A- Longueur moyenne des fruits (cm) :

Tableau IV-24: Longueur moyenne des fruits (cm) :

Traitements	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Longueur moyenne des fruits	7,417	12,778	9,417	14,083

ANOVA à un facteur contrôlé : Longueur des fruits en fonction de traitement

Tableau IV-25 : Analyse de la variance pour les longueurs des fruits

Source	DL	SC	CM	F	P
Traitements	3	503,84	167,95	52,75	0,000**
Erreur	68	216,49	3,18		
Total	71	720,33			

IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcarType	---+-----+-----+-----+---
1	18	7,417	1,620	(---*--)
2	18	12,778	1,904	(--*--)
3	18	9,417	2,302	(---*--)
4	18	14,083	1,088	(--*---)

Ecart-type groupé = 1,784      7,5      10,0      12,5      15,0

**- Comparaisons de Dunnett avec un contrôle :**

Taux d'erreur famille = 0,0500

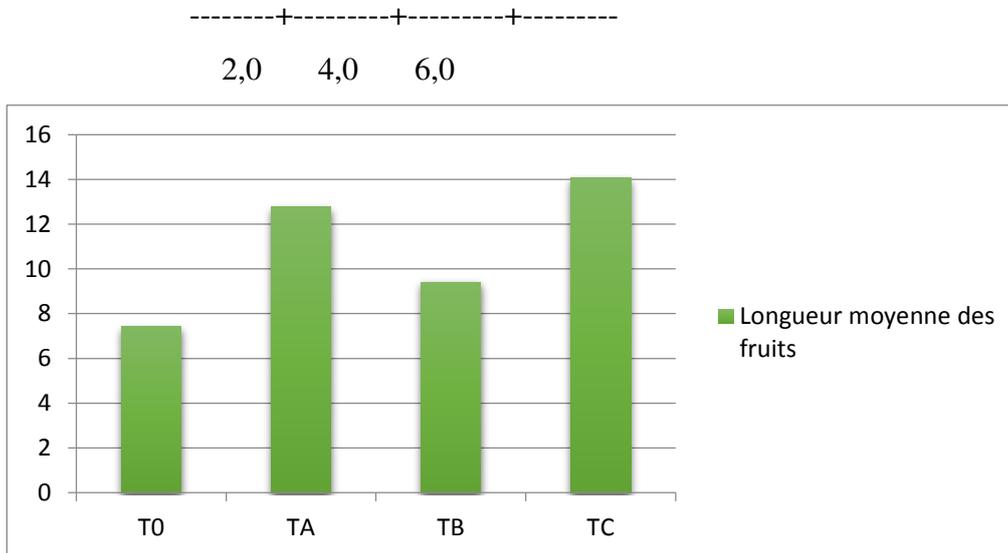
Taux d'erreur individuel = 0,0190

Valeur critique = 2,40

Témoin = niveau (1) de Traitement (T<sub>0</sub>)

**- Intervalles pour la moyenne du traitement moins la moyenne du contrôle :**

Niveau	Inférieur	Central	Supérieur	
2	3,932	5,361	6,790	(-----*-----)
3	0,571	2,000	3,429	(-----*-----)
4	5,238	6,667	8,096	(-----*-----)



**Figure IV-14 : Longueur moyen des fruits en fonction des différents traitements**

**A- Longueur moyenne des racines (cm) :**

**Tableau IV-26 : Longueurs moyenne des racines (cm)**

Traitements	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Longueur moyenne des racines	20,833	24,222	21,139	32,500

**ANOVA à un facteur contrôlé : Longueurs des racines en fonction de Traitement**

**Tableau IV-27 : Analyse de variance pour la longueur des racines**

Source	DL	SC	CM	F	P
Traitements	3	1596,57	532,19	56,32	0,000**
Erreur	68	642,51	9,45		
Total	71	2239,08			

IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcartType	
1	18	20,833	3,434	(---*---)
2	18	24,222	3,671	(---*--)
3	18	21,139	2,700	(---*--)
4	18	32,500	2,288	(--*---)

--+-----+-----+-----+-----

Ecart-type groupé = 3,074    20,0    24,0    28,0    32,0

**- Comparaisons de Dunnett avec un contrôle :**

Taux d'erreur famille = 0,0500

Taux d'erreur individuel = 0,0190

Valeur critique = 2,40

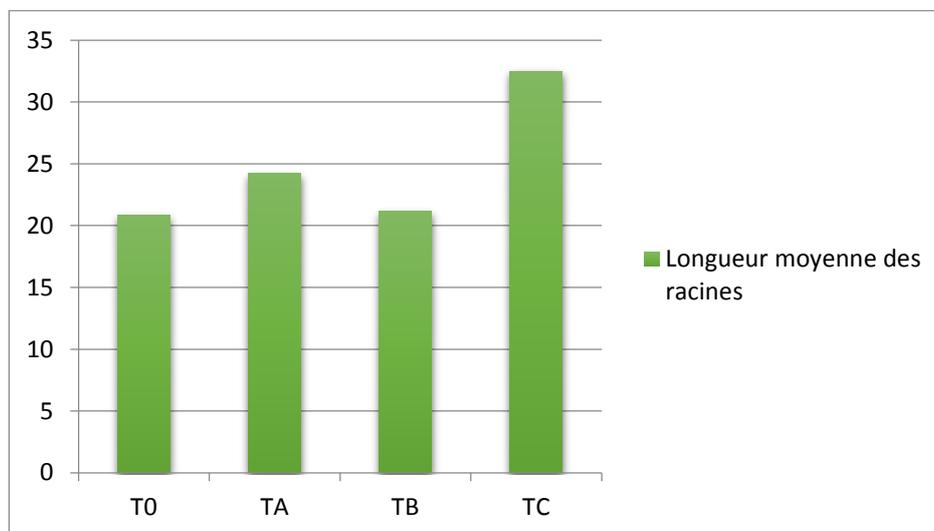
Témoin = niveau (1) de Traitement (T<sub>0</sub>)

**- Intervalles pour la moyenne du traitement moins la moyenne du contrôle :**

Niveau	Inférieur	Central	Supérieur	
2	0,927	3,389	5,851	(----*----)
3	-2,156	0,306	2,767	(----*----)
4	9,205	11,667	14,129	(----*----)

-----+-----+-----+-----+---

0,0    5,0    10,0    15,0



**Figure IV-15 : Longueur moyennes des racines en fonction des différents traitements**

**B- Nombre moyen des racines :**

**Tableau Tableau IV-28: Nombre moyen des racines**

Traitements	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Nombres moyen des racines	14,500	21,889	15,000	21,611

**ANOVA à un facteur contrôlé : Nombre de racine en fonction de Traitement**

**Tableau IV-29 : Analyse de variance pour le nombre de racine**

Source	DL	SC	CM	F	P
Traitement	3	884,94	294,98	33,29	0,000**
Erreur	68	602,56	8,86		
Total	71	1487,50			

IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcartType	-----+-----+-----+-----
1	18	14,500	3,073	(---*---)
2	18	21,889	3,879	(----*----)
3	18	15,000	3,106	(----*----)
4	18	21,611	1,145	(----*----)

-----+-----+-----+-----

Ecart-type groupé = 2,977      15,0    18,0    21,0

**- Comparaisons de Dunnett avec un contrôle :**

Taux d'erreur famille = 0,0500

Taux d'erreur individuel = 0,0190

Valeur critique = 2,40

Témoin = niveau (1) de Traitement (T<sub>0</sub>)

**- Intervalles pour la moyenne du traitement moins la moyenne du contrôle :**

Niveau	Inférieur	Central	Supérieur	-----+-----+-----+-----+-----
2	5,005	7,389	9,773	(-----*-----)
3	-1,884	0,500	2,884	(-----*-----)
4	4,727	7,111	9,495	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----

0,0    3,5    7,0    10,5

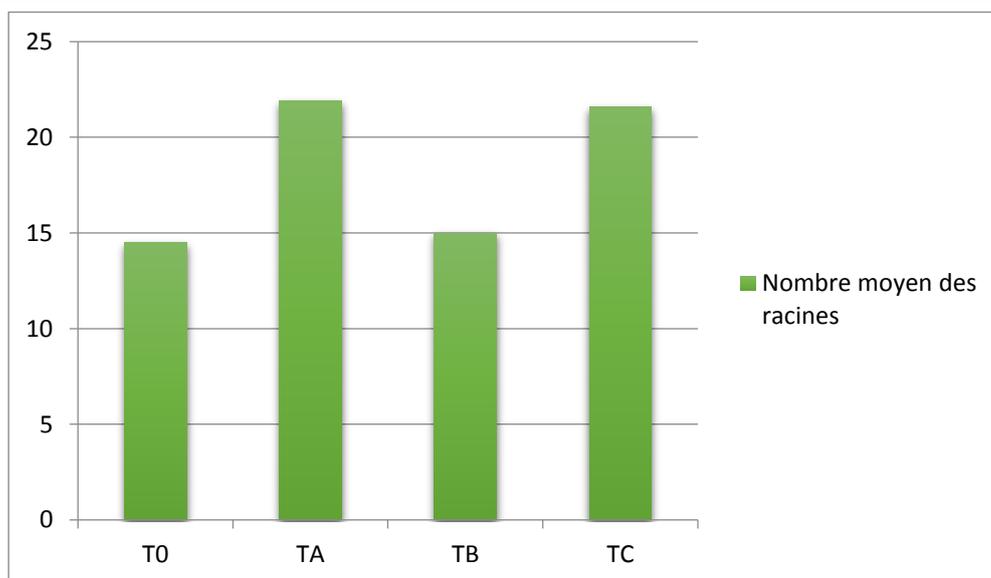


Figure IV-16 : Nombre moyen des racines en fonction des différents traitements

C- Nombre moyenne de nodosité :

Tableau IV-30 : Nombre moyen de nodosité

Traitements	T0	T1	T2	T3
Nombre moyen de nodosité	145,00	218,89	150,00	216,11

ANOVA à un facteur contrôlé : Nombre de nodosité en fonction de Traitement

Tableau IV-31 : Analyse de variance pour le nombre de nodosité

Source	DL	SC	CM	F	P
Traitement	3	88494	29498	33,29	0,000**
Erreur	68	60256	886		
Total	71	148750			

IC individuel à 95% pour la moyenne

Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcarType	-----+-----+-----+-----
1	18	145,00	30,73	(---*---)
2	18	218,89	38,79	(----*----)
3	18	150,00	31,06	(----*----)
4	18	216,11	11,45	(----*----)

-----+-----+-----+-----

Ecart-type groupé = 29,77      150      180      210

**- Comparaisons de Dunnett avec un contrôle :**

Taux d'erreur famille = 0,0500

Taux d'erreur individuel = 0,0190

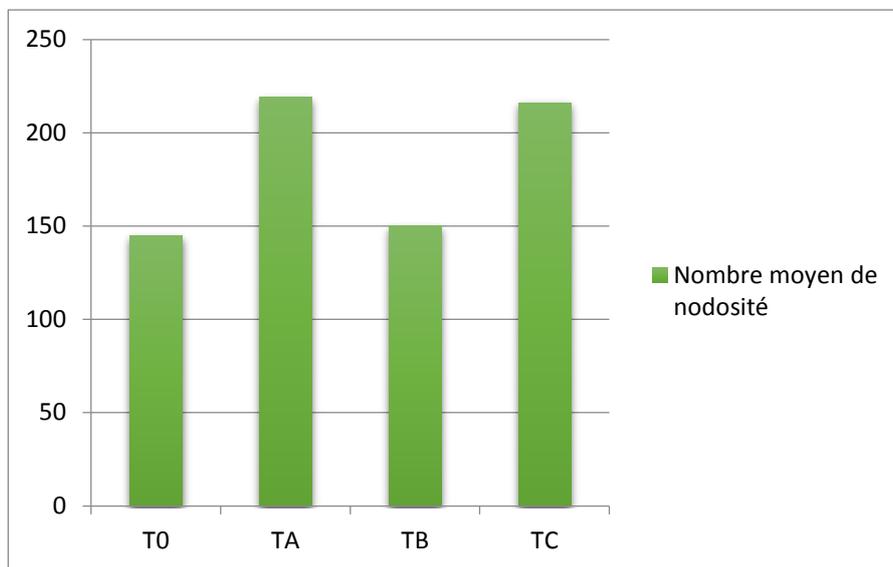
Valeur critique = 2,40

Témoin = niveau (1) de Traitement (T<sub>0</sub>)

**- Intervalles pour la moyenne du traitement moins la moyenne du contrôle :**

Niveau	Inférieur	Central	Supérieur	
2	50,05	73,89	97,73	(-----*-----)
3	-18,84	5,00	28,84	(-----*-----)
4	47,27	71,11	94,95	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+  
0      35      70      105



**Figure IV-17 : Nombre moyen de nodosité en fonction de différents traitements**

## Interprétation des résultats et discussion :

Nos interprétations et discussions des résultats sont basées sur une étude statistique à l'aide d'un logiciel MINITAB en se basant sur l'analyse de variance pour chaque paramètre et pour chaque traitement, bien sûr en comparant par le traitement témoin  $T_0$  (eau courante).

Les paramètres étudiés de la plante sont : (1) le nombre moyen de germination, (2) la longueur moyenne des tiges, (3) le diamètre moyen des tiges, (4) le nombre moyen des feuilles, (5) la longueur moyenne des feuilles, (6) le nombre moyen des fleurs, (7) le taux moyen d'avortement, (8) le nombre moyen des fruits, (9) le poids moyen des fruits, (10) la longueur moyenne des fruits, (11) la longueur moyenne des racines, (12) le nombre moyen des racines, (13) le nombre moyen des nodosités.

La comparaison entre le taux de germination aux niveaux des quatre traitements selon le test **khi deux** montrant que il n'y a pas de différences durant cette phase, donc la qualité de l'eau d'irrigation n'influe pas sur le développement des semences pendant cette phase. Par contre la vitesse de germination est très visible pour chaque traitement, par ordre croissant  $T_3, T_1, T_2, T_0$ , (**voir tableau IV-5**).

Les mêmes résultats pour le nombre moyen des feuilles et le taux moyen d'avortement, d'après les analyses de la variance (**Test Dunnett**) aucune variation. (**Voir tableau IV-11, IV-18**).

Les résultats sont significatifs, pour le traitement  $T_C$  qui touchent :  
la longueur moyenne des tiges,

- Nombre moyen des fleurs au début de la phase de floraison, (**voir les tableaux IV-7, IV-15**).

Les analyses statistiques de la variance montrent des résultats hautement significatifs, avec des conclusions suivantes, on les classe de la manière suivante :

- 1- Le diamètre moyen des tiges pour  $T_1$
- 2- La longueur moyenne des feuilles pour  $T_3$
- 3- Le nombre moyen des fleurs en fin de phase de floraison pour  $T_3$
- 4- Le nombre moyen des fruits pour  $T_3$
- 5- Le poids moyen des fruits par pot pour  $T_3$
- 6- La longueur moyenne des fruits pour  $T_3$
- 7- La longueur moyenne des racines pour  $T_3$
- 8- Le nombre moyen des racines pour  $T_1$
- 9- Le nombre moyen des nodosités pour  $T_1$

Par rapport au témoin ( $T_0$ ) en raison de sa richesse importante en éléments minéraux, organiques et fertilisants, **voir les tableaux (IV-9, IV-10, IV-16, IV-20, IV-22, IV-25, IV-27, IV-29, IV-31)**.

Vu les analyses statistique de la variance pour le poids moyen pour chaque plant, nous résultats qui conclus d'une manière hautement significatif des rendements d'ordre croissant, avec  $T_0, T_2, T_1$  et  $T_3$ , (**voir tableau IV-22, IV-23 et figure IV-12, IV-13**).

D'après les analyses physico-chimiques et bactériologiques effectuées sur les traitements (eau potable, eau usée traité) nous avons obtenus la présence des problèmes surtout sanitaire, car la concentration en germes pathogènes plus importante pour les eaux usée épuré et la dilution 75%, alors que l'eau de l'autre dilution est acceptable en irrigation en comparaison avec les normes microbiologiques actuelles imposées aux eaux résiduaires utilisées pour l'irrigation.

Enfin, d'après notre suivie agronomique, biologique et microbiologique, les meilleurs résultats sont visibles pour les traitements T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub> (Voir histogramme) par rapport au témoin et la dilution 50/50. Alors il y a vraiment des relations entre le nombre de fleurs et les paramètres physico-chimiques de l'eau (DCO, DBO<sub>5</sub> et nitrate....) qui influent sur la production.

Nos résultats confirme avec des concrétisations dans les paramètres étudiés à différentes concentrations qui est le T<sub>3</sub> et le T<sub>1</sub>, à introduire dans le domaine de l'irrigation agricole et la mise en valeur des terres irrigables ce mélange de concentration entre eau usée et eau potable. Notre étude justement synchronise avec la politique actuelle de notre pays, qui à encouragé cette denrée précieuse.

**Conclusion (Hv)**

Les résultats décrits dans ce mémoire et en comparaison avec d'autres recherches bibliographiques, montrent que les analyses physico-chimiques et bactériologiques effectuées sur les eaux usées traitées et les deux mélanges (eau usée brute + eau potable), nous ont permis de conclure que les eaux se caractérisent par :

- Une teneur en éléments fertilisants peu intéressante ce qui donne à l'eau une faible valeur fertilisante et conviendra de la corriger par un apport azoté et phospho-potassique approprié, et d'autre part un faible pouvoir polluant par l'azote.
- Un quasi définitif, dépourvus de sel.
- La concentration de l'eau en germes pathogènes, est relativement importante pour l'eau usée traitée et l'eau diluée (75% eau usée traitée + 25% eau courante), mais favorable à l'irrigation pour le mélange 50% eau usée traitée et 50% eau courante.
- La qualité bactériologique de l'eau usée traitée est variable dans le temps, pour cela il est nécessaire d'analyser constamment les eaux usées traitées et les mélanges. Les prélèvements ne doivent pas être effectués lors des périodes de crues (risque d'intrusion des eaux pluviales dans les réseaux des eaux usées).
- Pour la culture irriguée avec l'eau usées traitées et les deux dilutions les rendements sont supérieurs à celui de la culture irriguée avec le témoin  $T_0$  (eau courante). compte tenu de la concentration élevée de l'eau usée traitée et du mélange 75% eau usée traitée et 25% eau courante et le mélange 50% eau usée traitée et 50% eau courante en germes pathogènes, et en vu de l'interdiction adoptée par la réglementation algérienne en vigueur au sujet de l'irrigation par les eaux usées traitées. On peut dire que seul la dilution 50% eau usée traitée et 50% eau potable est acceptable pour l'irrigation, cela nous montre que la gestion de l'eau dans notre étude est très respectés pour recommandé nous agriculteurs à suivre cette formule.

La valorisation, de cette étude technico-agro-économique valorise la consommation de cette culture, qui est riche en toute aliments, qui encourage la région pour la maitre en évidence, avec une occupation des grandes superficies, vu, son application est très facile, et sa consommation d'eau moins exigeante, et un coût d'achat acceptable sur le marché.

L'énormes selon la FAO, OMS, nous constatant que nous avons respecté leur résultats adéquats. Notre suivi, nous à permis de contrôler et rectifier quelque défaillances on point de vus écologique environnemental c'est-à-dire à recommander nous techniciens à ne pas gaspiller cette eau soit en plein champ ou bien dans la mer qui provoque une contamination soit pour la faune et la flore.

Cette étude peut nous guider vers une gestion de cette denrée précieuse qui est l'eau, dont une quantité initiale et de 29000 m<sup>3</sup> / jour, après épuration totale qui dure 7 heures, nous aurons à la sortie une quantité épuré environ 23000 m<sup>3</sup> / jour.

D'après la source de la direction du service agricole de la wilaya d'El-kala, on pourra irriguer avec cette quantité d'eau environ 800 hectares, avec une densité des plants par hectare et de 1500 plants /ha.

La politique actuelle de notre pays encourage la réutilisation de ces eaux avec des couts importants vis-à-vis la mise en valeur des terres agricole.

Alors; que notre étude, est le suivie confirme nos résultats trouvés, nous recommandons nos agriculteurs et techniciens d'achevé est continuer avec rigueur notre expérimentation.

**Résultats : (Tomate)****1/ Qualité physico-chimique des eaux d'irrigation :**

Les résultats d'analyse physico-chimique des eaux d'irrigation sont résumés dans le tableau n° 11

**Tableau IV-31 : Les résultats d'analyse physico-chimique des eaux d'irrigation**

Traitements	T0	T1	T2	T3
pH	7,6	7,75	7,4	7,86
Température (°C)	24	23,8	23,9	23,8
Conductivité (mmhos)	-20	-30	-23	-25
DCO (mg/ml)	165	28	21	50
DBO <sub>5</sub> (mg/ml)	99	16,8	12,6	30
MES (mg/ml)	1	56	15	6
Nitrites (mg/l)	0,005	trace	trace	trace
Nitrates (mg/l)	2,2	1,5	1,5	1,3
Azote ammoniacal (mg/l)	Trop grand	trace	trace	2,18

**2/ Qualité bactériologique des eaux d'irrigation :****Tableau IV-32 : Qualité microbiologique des eaux d'irrigations (%)**

Traitements	T0	T1	T2	T3
Coliformes totaux	00	1100	460	43
Coliformes fécaux	00	1100	460	11

**3/ Paramètres morphologiques :****a- La longueur moyenne des tiges****Tableau IV-33 : Longueur moyenne des tiges (cm)**

Traitements	T0	T1	T2	T3
Plantation	11,6	11,4	10,8	11,6
Début de floraison	26,2	35,1	33,6	26,7
Pleine floraison	31,3	42,3	38,0	30,1
Arrachage des plants	42,5	49,2	46,3	44,4

**Tableau IV-34 : Analyse de la variance pour la longueur des tiges lors de la plantation, en utilisant la SC ajustée pour les tests**

Source	DDL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Indice	3	0,5255	0,5255	0,1752	0,21	0,885ns
Erreur	16	13,1200	13,1200	0,8200		
Total	19	13,6455				

**Tableau IV-35 : Tests de simultanété de Dunnett**

Indice	Diffé des moyen	Er-T de la différe	Valeur de T	Valeur ajustée de P
T1	-0,3400	0,5727	-0,5937	0,8822
T2	-0,2200	0,5727	-0,3841	0,9625
T3	0,0600	0,5727	0,1048	0,9991

Variable de réponse : la longueur des tiges à la plantation

Comparaisons avec niveau de contrôle

Indice =T0 soustraites de : l'eau courante

**Tableau IV-36 : Analyse de la variance pour la longueur des tiges au débit de floraison, en utilisant la SC ajustée pour les tests**

Source	DDL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Indice	3	979,41	979,41	326,47	15,80	0,000***
Erreur	16	330,52	330,52	20,66		
Total	19	1309,93				

**Tableau IV-37 : Tests de simultanété de Dunnett**

Indice	Diffé des moyen	Er-T de la différence	Valeur de T	Valeur ajustée de P
T1	17,3600	2,875	6,0393	0,0001***
T2	7,2600	2,875	2,5256	0,0569*
T3	0,5600	2,875	0,1948	0,9946

Variable de réponse de la longueur des tiges au débit de floraison

Comparaisons avec niveau de contrôle

Indice =T0 soustraites de : l'eau courante

**Tableau IV-38 : Analyse de la variance pour la longueur des tiges en pleine floraison, en utilisant la SC ajustée pour les tests**

Source	DDL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Indice	3	187,04	187,04	62,35	1,94	0,165ns
Erreur	16	515,37	515,37	32,21		
Total	19	702,41				

**Tests de simultanéité de Dunnett**

Variable de réponse de la longueur des tiges en pleine floraison

Comparaisons avec niveau de contrôle

Indice = T<sub>0</sub> soustraites de : l'eau courante

Pas de différence significatif entre le témoin et les autres traitements.

**Tableau IV-39 : Analyse de la variance pour la longueur des tiges au moment de l'arrachage des plants, en utilisant la SC ajustée pour les tests**

Source	DDL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Indice	3	118,74	118,74	39,58	1,90	0,171ns
Erreur	16	333,87	333,87	20,87		
Total	19	452,61				

**Tableau IV-40 : Tests de simultanéité de Dunnett**

Indice	Diffé des moyen	Er-T de la différence	Valeur de T	Valeur ajustée de P
T1	6,420	2,889	2,2222	0,1008
T2	3,900	2,889	1,3499	0,4156
T3	1,500	2,889	0,5192	0,9160

Variable de réponse : la longueur des tiges au moment de l'arrachage des plants

Comparaisons avec niveau de contrôle

Indice = T<sub>0</sub> soustraites de : l'eau courante

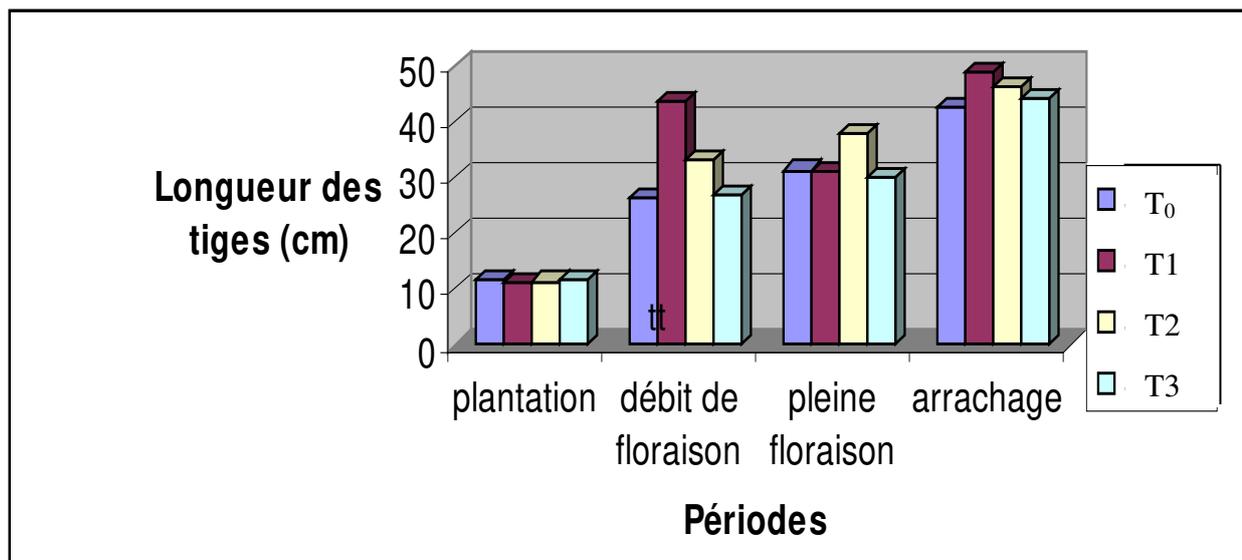


Figure IV-18 : La longueur des tiges pendant le cycle végétatif pour les quatre traitements

**b- Diamètre moyen des tiges**

**Tableau IV-41: Diamètre moyen des tiges (cm) :**

Traitements	T0	T1	T2	T3
Plantation	0,4	0,4	0,3	0,35
Début de floraison	0,6	1,1	0,7	0,6
Pleine floraison	0,8	1,4	0,92	0,8
Arrachage des plants	1,3	1,9	1,8	1,5

**Tableau IV-42 : Analyse de la variance pour les diamètres à la plantation, en utilisant la SC ajustée pour les tests**

Source	DDL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Indice	3	0,02150	0,02150	0,00717	0,55	0,655ns
Erreur	16	0,20800	0,20800	0,01300		
Total	19	0,22950				

**Tableau IV-43 : Tests de simultanété de Dunnett**

Indice	Différence des moyennes	Er-T de la différence	Valeur de T	Valeur ajustée de P
T1	0,00000	0,07211	0,000	1,0000
T2	-0,08000	0,07211	-1,109	0,5626
T3	-0,02000	0,07211	-0,277	0,9850

Variable de réponse : le diamètre des tiges à la plantation

Comparaisons avec niveau de contrôle

Indice =  $T_0$  soustraites de : l'eau courante

**Tableau IV-44: Analyse de la variance pour les diamètres au débit de floraison, en utilisant la SC ajustée pour les tests**

Source	DDL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Indice	3	0,89200	0,89200	0,29733	7,98	0,002***
Erreur	16	0,59600	0,59600	0,03725		
Total	19	1,48800				

**Tableau IV-45 : Tests de simultanété de Dunnett**

Indice	Différence des moyennes	Er-T de la différence	Valeur de T	Valeur ajustée de P
T1	0,52000	0,1221	4,2600	0,0017***
T2	0,10000	0,1221	0,8192	0,7531
T3	0,02000	0,1221	0,1638	0,9968

Variable de réponse : le diamètre des tiges au débit de floraison

Comparaisons avec niveau de contrôle

Indice =  $T_0$  soustraites de : l'eau courante

**Tableau IV-46 : Analyse de la variance pour les diamètres en pleine floraison, en utilisant la SC ajustée pour les tests**

Source	DDL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Indice	3	2,60150	2,60150	0,86717	35,04	0,000***
Erreur	16	0,39600	0,39600	0,02475		
Total	19	2,99750				

**Tableau IV-47 : Tests de simultanété de Dunnett**

Indice	Diff des moye	Er-T de la différence	Valeur de T	Valeur ajustée de P
T1	0,880000	0,09950	8,84433	0,0000**
T2	0,220000	0,09950	2,21108	0,1028
T3	-0,000000	0,09950	-0,00000	1,0000

Variable de réponse : le diamètre des tiges en pleine floraison

Comparaisons avec niveau de contrôle

Indice =  $T_0$  soustraites de : l'eau courante

**Tableau IV-48 : Analyse de la variance pour les diamètres au moment de l'arrachage des plants, en utilisant la SC ajustée pour les tests**

Source	DDL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Indice	3	1,9015	1,9015	0,6338	6,12	0,006***
Erreur	16	1,6560	1,6560	0,1035		
Total	19	3,5575				

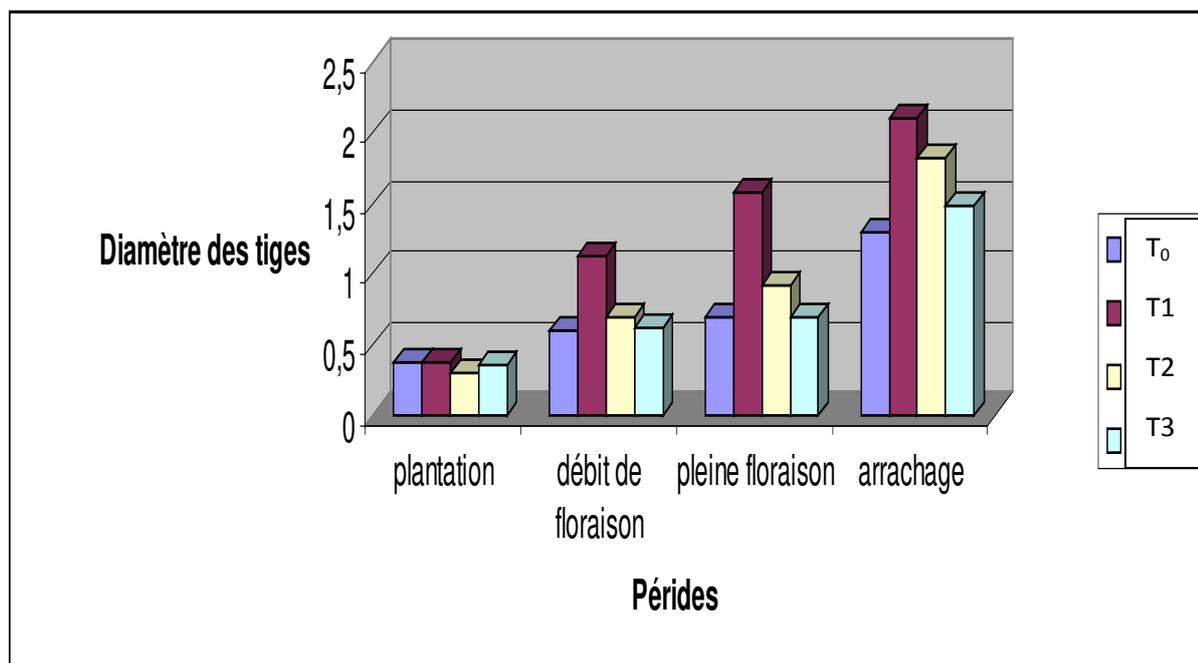
**Tableau IV-49 : Tests de simultanité de Dunnett**

Indice	Diff des moyen	Er-T de la différence	Valeur de T	Valeur ajustée de P
T1	0,8000	0,2035	3,9318	0,0033***
T2	0,5200	0,2035	2,5557	0,0537**
T3	0,1800	0,2035	0,8847	0,7109

Variable de réponse : le diamètre des tiges au moment de l'arrachage des plants

Comparaisons avec niveau de contrôle

Indice = T<sub>0</sub> soustraites de : l'eau courante

**Figure IV-19 : Diamètre des tiges pendant le cycle végétatif pour les quatre traitements**

## c- Nombre moyen des feuilles

Tableau IV-50 : Nombre moyen des feuilles

Traitements	T0	T1	T2	T3
Plantation	4	4	3	4
Début floraison	16	28	25	18
Pleine floraison	31	62	56	37
Arrachage des plants	22	39	35	25

Tableau IV-51 : Analyse de la variance pour le nombre des feuilles à la plantation, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DDL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Indice	3	1,350	1,350	0,450	0,38	0,772ns
Erreur	16	19,200	19,200	1,200		
Total	19	20,550				

Tableau IV-52 : Tests de simultanéité de Dunnett

Indice	Diff des moyen	Er-T de la différence	Valeur de T	Valeur ajustée de P
T1	-0,0000	0,6928	-0,0000	1,0000
T2	-0,6000	0,6928	-0,8660	0,7230
T3	0,0000	0,6928	0,0000	1,0000

Variable de réponse : le nombre des feuilles à la plantation

Comparaisons avec niveau de contrôle

Indice = T<sub>0</sub> soustraites de : l'eau courante

Tableau IV-53 : Analyse de la variance pour nombre des feuilles au débit de floraison, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DDL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Indice	3	467,35	467,35	155,78	2,28	0,118 ns
Erreur	16	1092,40	1092,40	68,27		
Total	19	1559,75				

**Tableau IV-54 : Tests de simultanéité de Dunnett**

Indice	Diff des moye	Er-T de la différence	Valeur de T	Valeur ajustée de P
T1	12,000	5,226	2,2963	0,0879
T2	7,600	5,226	1,4543	0,3592
T3	1,400	5,226	0,2679	0,9864

Variable de réponse : le nombre des feuilles au débit de floraison

Comparaisons avec niveau de contrôle

Indice = T<sub>0</sub> soustraites de : l'eau courante

**Tableau IV-55 : Analyse de la variance pour le nombre des feuilles en pleine floraison, en utilisant la SC ajustée pour les tests**

Source	DDL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Indice	3	3305,0	3305,0	1101,7	4,05	0,026**
Erreur	16	4356,0	4356,0	272,2		
Total	19	7661,0				

**Tableau IV-56 : Tests de simultanéité de Dunnett**

Indice	Différence des moyennes	Er-T de la différence	Valeur de T	Valeur ajustée de P
T1	31,000	10,44	2,9706	0,0236**
T2	25,000	10,44	2,3957	0,0729ns
T3	6,000	10,44	0,5750	0,8912ns

Variable de réponse : le nombre des feuilles en pleine floraison

Comparaisons avec niveau de contrôle

Indice = T<sub>0</sub> soustraites de : l'eau courante

**Tableau IV-57 : Analyse de la variance pour le nombre des feuilles au moment de l'arrachage des plants, en utilisant la SC ajustée pour les tests**

Source	DDL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
indice	3	1224,6	1224,6	408,2	3,91	0,029**
Erreur	16	1669,2	1669,2	104,3		
Total	19	2893,8				

#### Tests de simultanéité de Dunnett

Variable de réponse ; le nombre des feuilles au moment de l'arrachage des plants

Comparaisons avec niveau de contrôle

Indice = T<sub>0</sub> soustraites de : l'eau courante.

Pas de différence significative entre le témoin et les autres traitements.

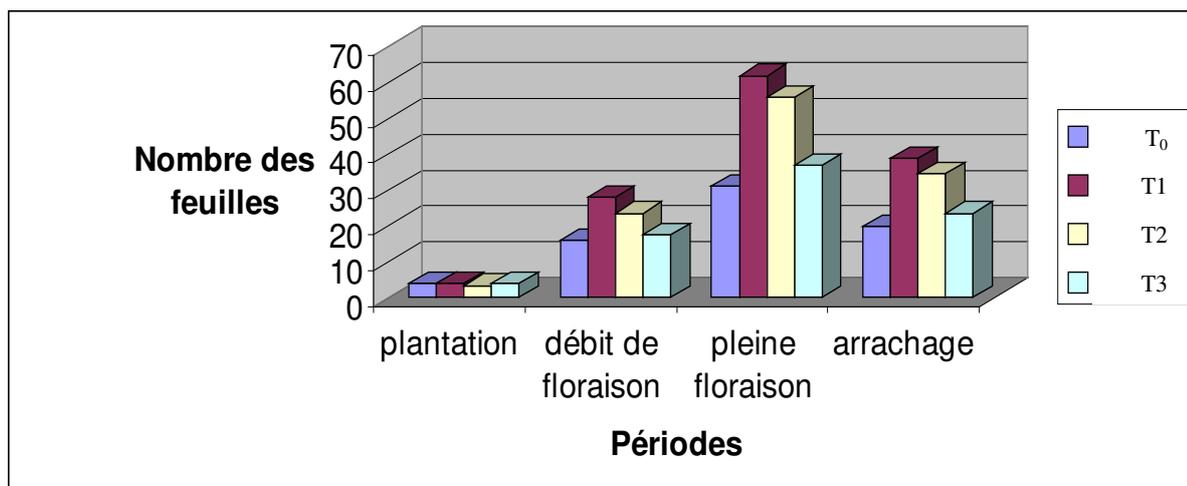


Figure IV-20 : Le nombre des tiges pendant le cycle végétatif pour les quatre traitements

d- Longueur moyenne des racines (cm)

Tableau IV-58 : Longueur moyenne des racines (cm) :

Traitements	T0	T1	T2	T3
Plantation	6,3	6,3	6,5	7,2
Arrachage des plants	15,6	28,3	22,2	16,3

Tableau IV-59: Analyse de la variance pour la longueur des racines à la plantation, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DDL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Indice	3	1,9620	1,9620	0,6540	1,88	0,174ns
Erreur	16	5,5760	5,5760	0,3485		
Total	19	7,5380				

Tableau IV-60: Tests de simultanité de Dunnett

Indice	Différence des moyennes	Er-T de la différence	Valeur de T	Valeur ajustée de P
T1	0,1800	0,3734	0,4821	0,9308
T2	0,3800	0,3734	1,0178	0,6228
T3	0,8400	0,3734	2,2498	0,0958

Variable de réponse : la longueur des racines au moment de la plantation

Comparaisons avec niveau de contrôle

Indice = T<sub>0</sub> soustraites de : l'eau courante

**Tableau IV-61 : Analyse de la variance pour la longueur des racines au moment de l'arrachage des plants, en utilisant la SC ajustée pour les tests**

Source	DDL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Indice	3	532,03	532,03	177,34	17,59	0,000***
Erreur	16	161,29	161,29	10,08		
Total	19	693,32				

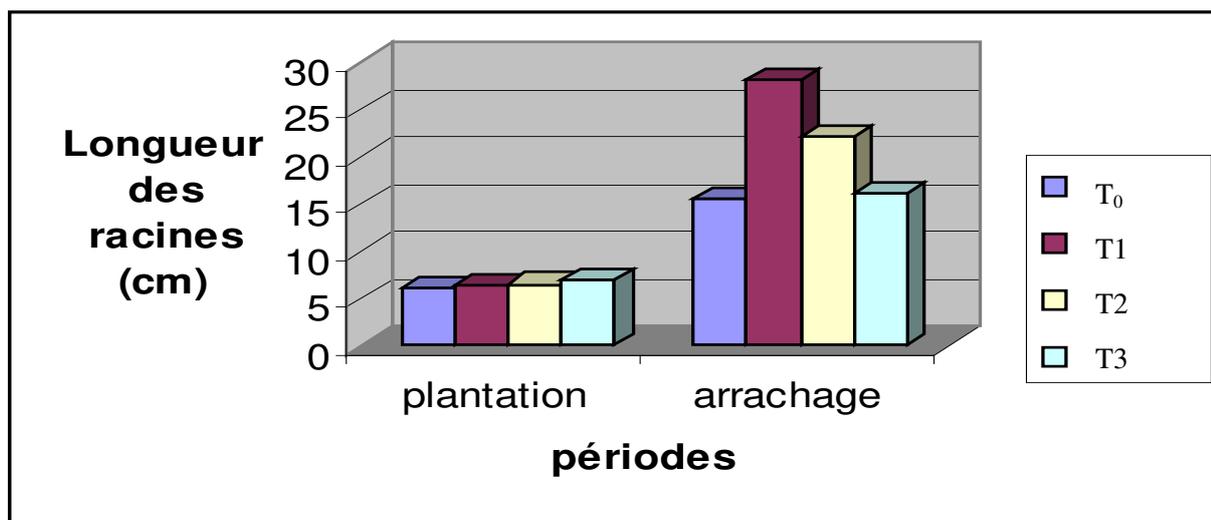
**Tableau IV-62 : Tests de simultanété de Dunnett**

Indice	Diff des moyen	Er-T de la différence	Valeur de T	Valeur ajustée de P
T1	12,7200	2,008	6,3346	0,0000***
T2	6,6200	2,008	3,2968	0,0121***
T3	0,6200	2,008	0,3088	0,9796

Variable de réponse : la longueur des racines au moment de l'arrachage des plants

Comparaisons avec niveau de contrôle

Indice = T<sub>0</sub> soustraites de : l'eau courante



**Figure IV-21 : La longueur des racines pendant le cycle végétatif pour les quatre traitements**

e- Nombre moyen des fleurs

**Tableau IV-63 : Nombre moyen des fleurs**

Traitements	T0	T1	T2	T3
Début floraison	23	41	35	29
Pleine floraison	34	82	70	38

**Tableau IV-64 : Analyse de la variance pour le nombre des fleurs au débit de floraison, en utilisant la SC ajustée pour les tests**

Source	DDL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Indice	3	943,75	943,75	314,58	3,26	0,049*
Erreur	16	1544,00	1544,00	96,50		
Total	19	2487,75				

**Tableau IV-65 : Tests de simultanété de Dunnett**

Indice	Diff des moyen	Er-T de la différence	Valeur de T	Valeur ajustée de P
T1	18,000	6,213	2,8972	0,0274***
T2	11,000	6,213	1,7705	0,2209
T3	4,000	6,213	0,6438	0,8566

**Tableau IV-66: Analyse de la variance pour le nombre des fleurs en pleine floraison, en utilisant la SC ajustée pour les tests**

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Indice	3	8425,8	8425,8	2808,6	13,14	0,000***
Erreur	16	3420,4	3420,4	213,8		
Total	19	11846,2				

**Tableau IV-67 : Tests de simultanété de Dunnett**

Indice	Diff des moyen	Er-T de la diffé	Valeur de T	Valeur ajustée de P
T1	48,000	9,247	5,1908	0,0003***
T2	35,400	9,247	3,8282	0,0040***
T3	3,400	9,247	0,3677	0,9668

Variable de réponse : le nombre de fleurs en plein floraison

Comparaisons avec niveau de contrôle

Indice = T<sub>0</sub> soustraites de : l'eau courante

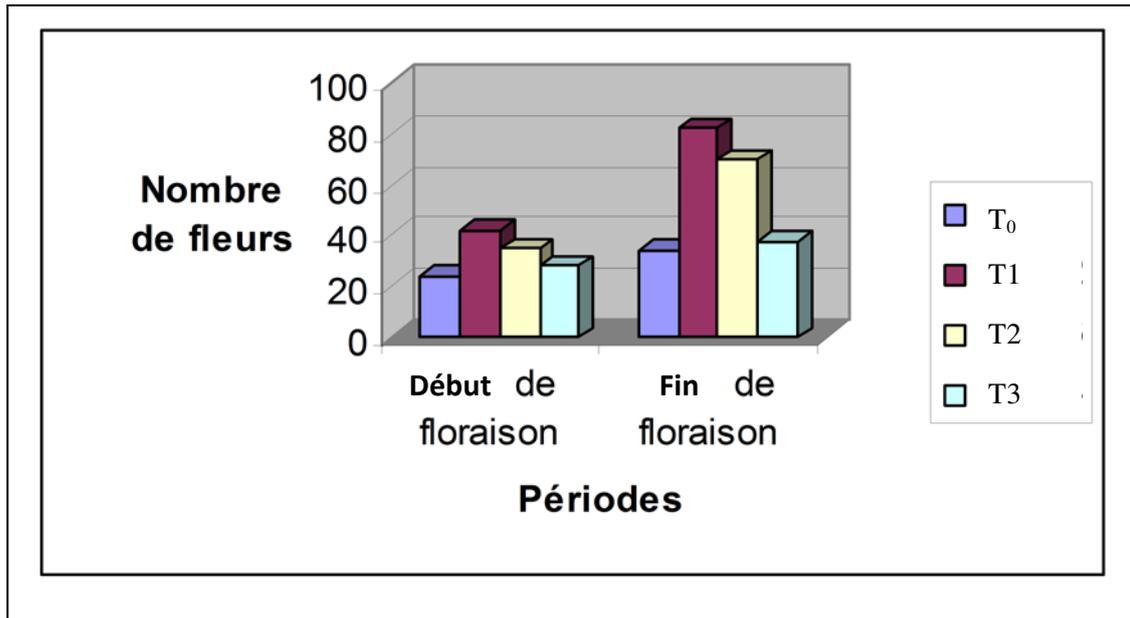


Figure IV-22 : Le nombre des fleurs pendant le cycle végétatif pour les quatre traitements

Analyse de régression : Le nombre de fleurs en plein floraison en fonction de DCO; DBO5; ...

- \* DBO5 est fortement corrélée avec d'autres variables X
- \* DBO5 a été retirée de l'équation
- \* PH est fortement corrélée avec d'autres variables X
- \* PH a été retirée de l'équation
- \* Température est fortement corrélée avec d'autres variables X
- \* Température a été retirée de l'équation
- \* conductivité est fortement corrélée avec d'autres variables X
- \* conductivité a été retirée de l'équation

L'équation de régression est

$$N \text{ fleur } 2 = - 24,1 - 0,527 \text{ DCO} + 0,397 \text{ MES} + 65,7 \text{ Nitrate}$$

Tableau IV-68 : Analyse de régression : Le nombre de fleurs en plein floraison en fonction de DCO; DBO5; ...

Répresseur	Coef	Er-T coef	T	P
Constante	-24,11	31,31	-0,77	0,453
DCO	-0,5268	0,1750	-3,01	0,008
MES	0,3973	0,2057	1,93	0,071
Nitrate	65,74	26,38	2,49	0,024

S = 14,62      R-carré = 71,1%      R-carré (ajust) = 65,7%

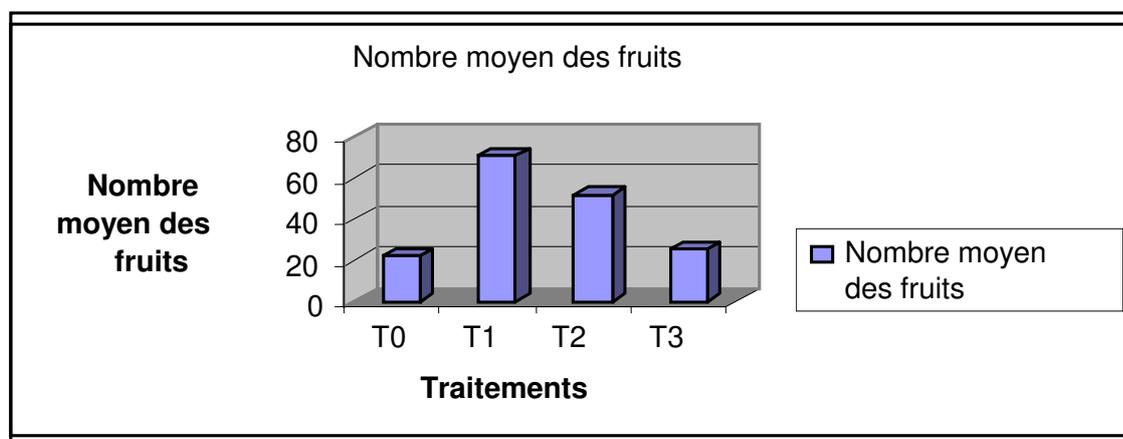
**Tableau IV-69 : Analyse de variance**

Source	DDL	SC	CM	F	P
Régression	3	8425,8	2808,6	13,14	0,000***
Erreur résidu	16	3420,4	213,8		
Total	19	11846,2			

**f- Nombre moyen des fruits par plants**

**Tableau IV-70 : Nombre moyen des fruits par plants**

Traitements	T0	T1	T2	T3
Nombre moyen des fruits	22	71	52	25

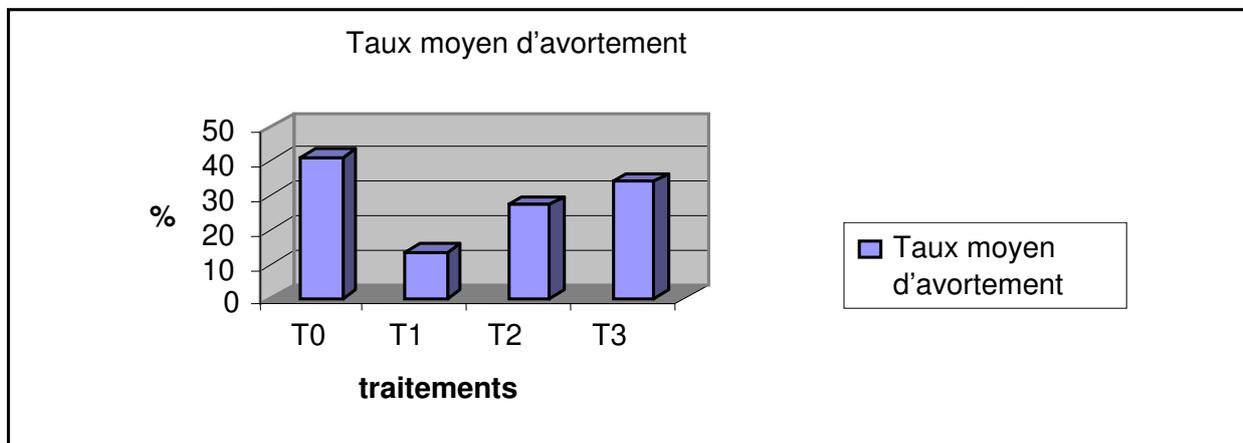


**Figure IV-23 : Le nombre moyen des fruits par plants pour chaque traitement**

**g- Taux d'avortement (%)**

**Tableau IV-71 : Taux d'avortement (%)**

Traitements	T0	T1	T2	T3
Taux moyen d'avortement	41,1	13,5	27,2	34,2

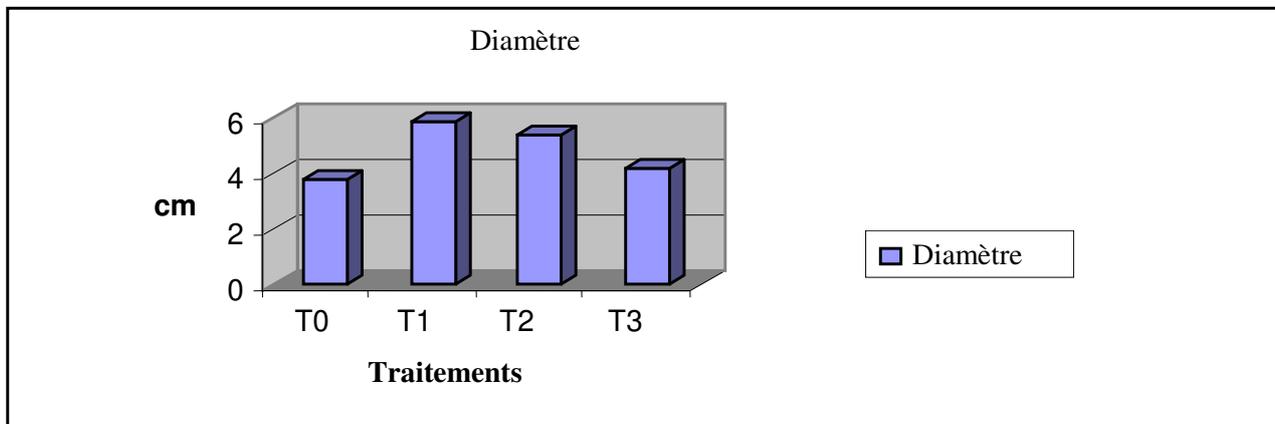


**Figure IV-24 : Le taux moyen d'avortement par plants pour chaque traitement**

**h- Diamètre moyen des fruits (cm)**

**Tableau IV-72: Diamètre moyen des fruits (cm)**

traitements	T0	T1	T2	T3
Diamètre	3,8	5,9	5,4	4,2

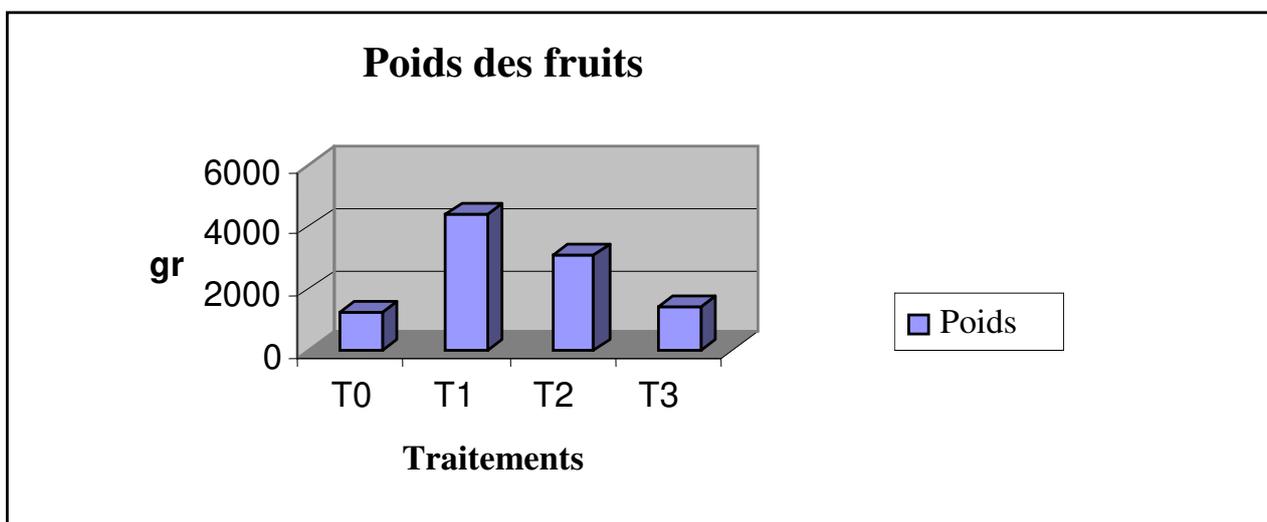


**Figure IV-25 : Le diamètre moyen des fruits pour chaque traitement**

**i- Poids moyen des fruits par plant (gr)**

**Tableau IV-73: Poids moyen des fruits par plant (gr) :**

Traitements	T0	T1	T2	T3
Poids	1210	4400	3120	1450



**Figure IV-26 : Le poids moyen des fruits**

## Interprétations des résultats et discussions (Tomate):

Nos interprétations et discussions des résultats sont basées sur une étude statistique à l'aide d'un logiciel appelé statistica en se basant sur l'analyse de variance à un critère (V1) pour chaque paramètre morphologique et pour chaque traitement, bien sur en comparant par le traitement témoin To (eau courante).

Les paramètres étudiés de la plante sont : la longueur des tiges, le diamètre des tiges, le nombre des feuilles, le nombre des fleurs, le nombre des fruits et la longueur des racines.

On a constaté que les résultats sont vraiment significatifs pour chaque traitement durant tout le cycle de développement végétatif de la culture de tomate industrielle (variété hybride ISMA F<sub>1</sub>) (voir tableaux IV-34, IV-35, IV-44, IV-45, IV-46, IV-47, IV-48, IV-49...) qui montrent des valeurs des écarts significatifs pour chacun des paramètres étudiés en se comparant toujours au témoin (T<sub>0</sub>).

Les analyses statistiques de la variance montrent des différences hautement significatives pour le traitement eau usée brute (T<sub>B</sub>), Ainsi que les deux autres traitements par rapport au témoin et ce qui répond à sa richesse importante en éléments minéraux, organiques et fertilisants.

Les résultats obtenus convergent approximativement ceux effectués par d'autres chercheurs à titre d'exemple : Boulahbel et al (1999), yakoubi S. (1999) de l'INAT de Tunisie (Institut National d'Oronomie de Tunisie) et Belaid K. (2003) du CUET.

Le taux d'avortement dans notre cas est faible de l'ordre de 10% ce qui indique une bonne conduite des fréquences d'irrigation.

Ce résultat pourrait être la conséquence de la forte teneur de ces eaux en éléments nutritifs et la richesse en matière organique.

En revanche, la longueur des racines obtenues sur les pots irriguées avec les eaux usées est nettement supérieure que ceux donnés par le témoin la longueur des racines indique :

- un cycle végétatif long.
- un sol fertile (riche en matières organiques).

D'après les analyses physico-chimiques et bactériologique effectuées sur les traitements (eaux potable, eau usée brute et le dilutions 50% et 25% ) nous avons obtenu la présence des problèmes surtout sanitaire car la concentration en germes pathogènes plus importante pour les eaux usées brutes et la dilution 50%, alors que l'eau de l'autre dilution est acceptable en irrigation en comparaison avec les normes microbiologiques actuelles imposées aux eaux résiduaires utilisées pour l'irrigation.

Enfin, d'après notre travail, les meilleurs résultats sont visibles pour le traitement T<sub>2</sub> (Voir histogramme) par rapport au témoin, aux dilutions 50/50 et 25/75. Pour utiliser d'autres résultats, il faudra jouer sur les intervalles de comparaison en établissant des dilutions plus précises.

Une autre analyse facultative appelée régression nous a permis de démontrer qu'il y a vraiment des relations significatives entre le nombre de fleurs et les paramètres physico-chimiques de l'eau (DCO, DBO<sub>5</sub> et nitrate....) qui influent sur la production.

## Conclusion (tomate)

Les résultats décrits dans ce mémoire et en comparaison avec d'autres recherches effectuées comme les travaux de Belaid K. (2003) montrent que les analyses physico-chimique et bactériologiques effectuées sur les eaux usées et les deux mélanges (eau usée + eau potable), nous ont permis de conclure que les eaux se caractérisent par :

- Une teneur en éléments fertilisants peu intéressante ce qui donne à l'eau une faible valeur fertilisante et conviendra de la corriger par un apport azoté et phospho-potassique approprié, et d'autre part un faible pouvoir polluant par l'azote.
- Une quasi définitives des sels.
- La concentration de l'eau en germes pathogènes, est relativement importante pour l'eau usée brute et l'eau diluée (50% eau usée et 50% eau courante), mais favorable à l'irrigation pour le mélange 25%eau usée et 75% eau courante.
- La qualité bactériologique de l'eau usée brute est variable dans le temps, pour cela il est nécessaire d'analyser constamment les eaux usées brutes et les mélanges. Les prélèvements ne doivent pas être effectués lors des périodes de crues (risque d'intrusion des eaux pluviales dans les réseaux des eaux usées).
- Pour la culture irriguée avec l'eau usée brute et les deux dilutions, les rendements sont supérieurs à celui de la culture irriguée avec le témoin (eau courante). Compte tenu de la concentration élevée de l'eau usée brute et du mélange 50% eau usée et 50% eau courante en germes pathogènes, et en vu de l'interdiction adoptée par la réglementation algérienne en vigueur au sujet de l'irrigation par les eaux usées brutes. On peut dire que seul la dilution 25% eau usée et 75% eau courante est acceptable pour l'irrigation.

Puisque la culture de la tomate industrielle (variété ISMA F<sub>1</sub>) a donné les meilleurs résultats sur le rendement avec les dilutions d'un mélange de 50% eau usée brute et 50% eau courante et d'un mélange de 25%eau usée brute et 75%eau courant, on peut conseiller aux agriculteurs de suivre cette formule de mélange pour l'irrigation afin de mieux gérer cette denrée précieuse « l'eau », diminuer le coût de différents fertilisants et finalement encourager l'utilisation des variétés hybrides de la tomate industrielle comme la variété ISMA F<sub>1</sub> pour satisfaire les besoins de consommation dans notre pays.

### 3.1 Effets des eaux usées traitées sur la teneur en eau du l'haricot vert et de la tomate

Pour l'haricot vert, nous pouvons constater que seulement au cours de la production que les parties aériennes des plantes irriguées avec les eaux usées traitées présentent une hydratation supérieure à celle du témoin (Tableau 3). Pour la tomate, nous pouvons noter que la teneur en eau des racines et des parties aériennes (feuilles et tiges) dans le traitement E3 est sensiblement la même que celle du témoin. Cependant, nous remarquons que les fruits prélevés sur le traitement eaux usées (E3) sont moins hydratés que ceux du témoin notamment à la production.

**Tableau IV-74 : Teneur en eau des différents parties du l'haricot vert (HV) et de la tomate (Ti) exprimé en gg<sup>-1</sup> MS**

	Haricot vert			tomate		
	P.A	R	Fr	P.A	R	Fr
E0	2.1	2.3	1.5	2.3	1.1	6.2
E1	3.1	3.9	2.0	3.5	3.9	3.5
E2	2.9	2.4	2.4	2.5	3.1	4.0
E3	2.2	3.2	1.2	2.2	1.1	5.1

PA: partie aérienne ; Eo: eau de nappe ; R : racines ; E3: eau usée ; Fr: fruit

### 3.2. Evaluation des exportations en azote, phosphore et potassium

Nous avons évalué les exportations effectives de N, P et K par les 02 cultures ou les quantités en éléments absorbées par les parties végétales. Les résultats rendements sont dans le Tableau 4 (Charfi.D. 1995.)

**Tableau IV-75 : Rendement de l'haricot vert (HV) et de la tomate industrielle ; (TI) en (t/ha)**

	Haricot vert				tomate			
	E <sub>0</sub>	E1	E2	E <sub>3</sub>	E <sub>0</sub>	E1	E2	E <sub>3</sub>
<b>MV</b>	12.	13.4	10.0	3.8	15.5	12.0	11.5	11.8
<b>MS</b>	3.1	0.8	0.2	3.8	0.8	0.08	0.05	1.00

E<sub>0</sub> :eau témoin MV : matière verte- E1 : eau usée brute -E2 : 50% de mélange- E<sub>3</sub> : eau usée traité - MS : matière sèche .

On note qu'en présence d'eau usée, le haricot vert exporte des quantités de N, P et K supérieurs à celles du traitement E<sub>0</sub>, eau de nappe (Tableau IV-75). Pour la tomate, la différence de prélèvements des éléments fertilisants entre traitements E<sub>0</sub> et E<sub>3</sub> est faible, malgré un apport en N, P et K plus important par les eaux usées. Connaissant les quantités de N, P et K apportées par les eaux usées traitées et les eaux de nappe pour les deux cultures, ainsi que celles apportées par la fertilisation complémentaire, nous avons essayé de déterminer l'efficacité d'exportation selon Godin (1983) :

$$E_{ex} = \frac{\text{Quantité de N, P ou K exportée}}{\text{Quantité de N, P ou K apportée}}$$

Les résultats obtenus, exprimés en kg exportée/kg apporté, sont indiqués dans le **tableau 6**.

**Tableau IV-76 : Efficacité d'exportation de N, P et K par haricot vert et la tomate**

	Haricot vert		Tomate	
	E0	E3	E0	E3
N	0.20	0.31	0.19	0.19
P	0.17	0.17	0.10	0.8
K	0.67	0.34	0.37	0.17

E3 : eau traité E0:eau de nappe

Nous pouvons noter que pour le haricot vert, la quantité d'azote exportée dans le traitement E3 est le double de la quantité exportée dans le traitement E0 (**tableau IV-77**) alors que la différence entre les quantités d'azote apporté dans les deux traitements (E<sub>0</sub> et E<sub>3</sub>) n'est pas aussi grande; ainsi, l'efficacité d'exportation est plus élevée pour les eaux usées (**tableau IV-78**).

Pour l'haricot vert comme pour la tomate, les quantités de phosphore exportées par unité de phosphore apportée sont équivalentes pour les deux traitements E<sub>0</sub> et E<sub>3</sub> (**tableau IV-78**).

La comparaison entre les traitements E<sub>0</sub> et E<sub>3</sub> montre que bien que la quantité de potassium apportée par les eaux usées soit supérieure à celle apportée par les eaux de nappe (**tableau 1**), la différence entre les quantités de potassium exportées dans les deux traitements (**tableau IV-77**) est faible notamment pour la culture maraîchère, ceci correspond à une efficacité d'exportation moindre dans le cas du traitement eau usée pour les deux cultures étudiées (**tableau IV-78**).

La comparaison entre les deux espèces étudiées montre des efficacités d'exportation en N, P et K plus élevées pour l'haricot vert notamment en présence d'eau usée.

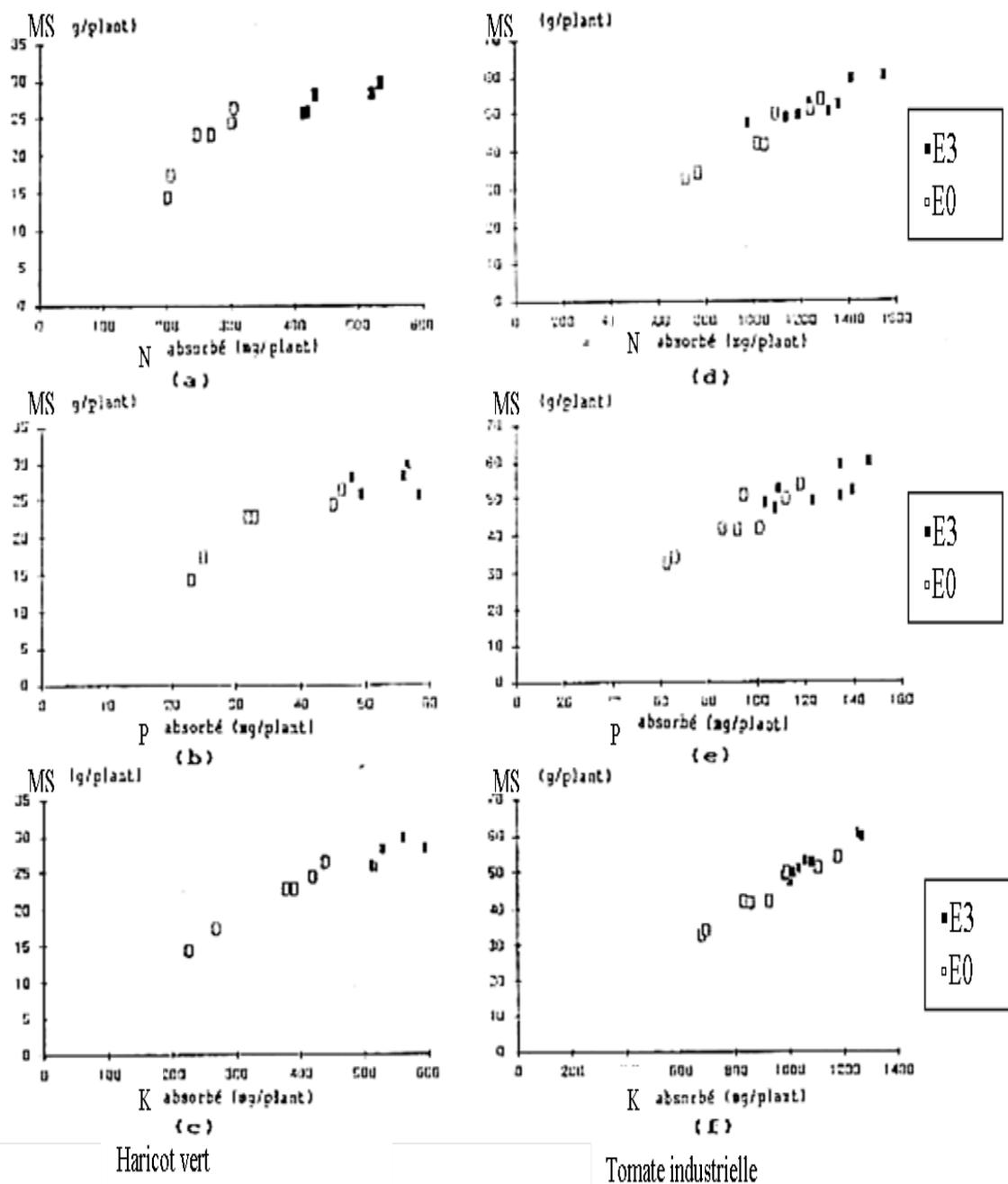


Figure IV-27: Relation matière sèche produite - azote, phosphore et potassium absorbé pour l'haricot vert (a, b et c) et pour la tomate (d, e et f)

**Tableau IV-77 : Quantités de N,P et K exportées par l'haricot vert (HV) et la tomate (TI) (exprimées en kg/ha).**

	Haricot vert				Tomate Industrielle				pouvons noter que
	E <sub>0</sub>	E1	E2	E <sub>3</sub>	E <sub>0</sub>	E1	E2	E <sub>3</sub>	
<b>N</b>	49.2	120	60.0	99.2	40.6	90.0	66.0	52.8	
<b>P</b>	6.6	10.5	5.5	11.3	3.8	5.2	4.1	5.1	
<b>K</b>	70.4	90.5	80.0	114.8	36.9	66.9	50.0	47.5	

pour le haricot vert, la quantité d'azote exportée dans le traitement E<sub>3</sub> est le double de la quantité exportée dans le traitement E<sub>0</sub> (Tableau 5) alors que la différence entre les quantités d'azote apporté dans les deux traitements (E<sub>0</sub> et E<sub>3</sub>) n'est pas aussi différente; ainsi, l'efficacité d'exportation est plus élevée pour les eaux usées (Tableau 6).

Pour l'haricot vert comme pour la tomate, les quantités de phosphore exportées par unité de phosphore apporté sont équivalentes pour les deux traitements E<sub>0</sub> et E<sub>3</sub>. La comparaison entre les traitements E<sub>0</sub> et E<sub>3</sub> montre que bien que la quantité de potassium apportée par les eaux usées soit supérieure à celle apportée par les eaux de nappe, la différence entre les quantités de potassium exportées dans les deux traitements est faible ; ceci correspond à une efficacité d'exportation moindre dans le cas du traitement eau usée pour les deux cultures étudiées. La comparaison entre les deux espèces étudiées montre des efficacités d'exportation en N, P et K plus élevées pour l'haricot vert notamment en présence d'eau usée.

**Tableau IV-78 : Efficacité d'exportation de N, P et K par haricot vert et la tomate**

	Haricot vert				Tomate			
	E0	E1	E2	E3	E0	E1	E2	E3
<b>N</b>	0.20	2.2	1.2	0.31	0.19	3.3	2.0	0.19
<b>P</b>	0.17	2.9	1.3	0.17	0.10	3.5	1.7	0.8
<b>K</b>	0.67	3.1	1.5	0.34	0.37	3.7	1.9	0.17

E<sub>3</sub> : eau traité E<sub>0</sub>:eau de nappe

L'efficacité d'utilisation de N, P et K (E<sub>u</sub>) est évaluée par la masse de matière sèche produite par lg d'élément absorbé (Glass 1999 ; Anderson 1985) :

$$E_u = \frac{\text{Matière sèche produite (g/plante)}}{\text{Quantité absorbée (g/plante)}}$$

Une autre approche a été adoptée par Soltani (1988) qui a utilisé la notion de coût de la croissance en un élément donné. Cette notion n'est autre que l'inverse du rapport défini ci-dessus. Cette peut être considérée comme constante dans notre cas (pour chaque zone/ et l'interprétation doit se faire en se référant au modèle théorique. On peut donc ainsi comparer directement les efficacités

Concernant le l'haricot vert, on note que les eaux de nappe permettent une meilleure utilisation de N, P et K que les eaux usées (Tableau 7). En effet, les efficacités d'utilisation de ces éléments dans le traitement E<sub>3</sub> sont nettement inférieures à celles observées dans le traitement E<sub>0</sub>. Cette efficacité moindre dans le traitement E<sub>3</sub> est à associer aux fortes doses de N, P ou K absorbées (consommation de luxe). Le l'haricot vert irrigué avec les eaux usées a absorbés des quantités en N, P et K double de celle du témoin pour une augmentation de matière sèche peu importante. Ainsi, l'augmentation de matière sèche observée en présence d'eau usée est inférieure à l'augmentation escompté si l'efficacité de N, P et K absorbé a été la même que celle du traitement E<sub>0</sub>.

**Tableau IV-79 : Efficacité d'utilisation de N, P et K pour (HV) haricot vert et la tomate industrielle (Ti).**

	Haricot vert				Tomate industrielle			
	E0	E1	E2	E3	E0	E1	E2	E3
N	83.6	120	60	60.2	42.4	90	45	41.5
P	637.8	900	300	506.7	476.3	500	200	433.9
K	60.9	140	70	50.8	47.9	100	80	48.5

Les efficacités d'utilisation de N, P et K par la tomate industrielle sont les mêmes pour les deux traitements E<sub>0</sub> et E<sub>3</sub>. La comparaison entre les deux espèces, montre que le haricot vert valorise mieux l'azote, le phosphore et le potassium absorbés que la tomate industrielle.

### 3.3. Effet de la charge saline des eaux usées sur la composition chimique

Si on se rapporte aux résultats d'analyse des eaux utilisées dans notre expérimentation, on constate que par rapport à l'eau de nappe, l'eau usée apporte une quantité supérieure en Na et SO<sub>4</sub>, une quantité équivalente en Mg et Cl et une quantité moindre en Ca. On se propose d'exposer les effets des eaux usées sur la composition en Ca, Mg, Na, Cl et S des différentes parties de l'haricot vert et de la tomate.

#### 3.3.1. Teneurs en calcium et magnésium

Les concentrations moyennes en Ca et Mg de l'eau de nappe sont respectivement de 250 et 50mg/l, celles des eaux usées traitées sont respectivement de 150 et 56mg/l. L'analyse minérale de la plante montre que, pour le haricot vert comme pour la tomate, l'irrigation avec les eaux usées n'a pas d'effet significatif sur les teneurs en Ca et Mg au niveau des différentes parties de la plante (Tableau 8).

**Tableau IV-80 : Effet des eaux usées sur les teneurs en Ca et Mg dans les différentes parties de l'haricot vert (HV) et de la tomate (%MS).**

		Haricot vert				Tomate industrielle			
		F	T	R	FR	F	T	R	FR
Ca	E0	0.73	0.37	1.9	0.26	1.9	0.22	0.05	0.20
	E1	1.1	2.1	3.1	2.2	2.2	2.3	3.4	3
	E2	0.60	1.0	1.5	1.1	1.1	1.2	1.7	1.5
	E3	0.62	0.32	1.3	0.20	1.6	0.35	0.03	0.17
Mg	E0	0.47	0.43	0.31	0.22	0.82	0.62	0.14	0.21
	E1	2.2	2.1	3.0	2.0	1.9	1.8	3.2	2.9
	E2	1.1	1.0	1.5	1.0	0.8	0.6	1.6	1.3
	E3	0.44	0.48	0.23	0.23	0.83	0.72	0.15	0.23

F : feuille; Fr : fruit ; E0 : eau témoin potable; E3 : eau usée traitée ; R : Racine

#### 3.3.2. Teneur en sodium

Les eaux usées sont plus chargées en Na (366 mg/l= 15,9 meq/l) que les eaux de nappe (214 mg/l= 9,3 meq/l) mais dans les deux cas les concentrations en Na sont faibles. La comparaison des figures 2 présentant les teneurs en sodium des différentes parties du (HV) et de la tomate (T) en fonction des traitements, met en évidence une accumulation de Na surtout dans les tiges de la tomate irriguée à l'eau usée les valeurs sont d'environ 5 fois celle du témoin (Figure 4). L'enrichissement en Na a également intéressé de manière très significative le fruit de la tomate et les racines des deux espèces. On note aussi que les teneurs en sodium les plus élevées se trouvent dans les racines et tiges de la tomate et les feuilles et les fruits sont les organes les moins chargés. Pour le haricot vert, le sodium est retenu dans les racines.

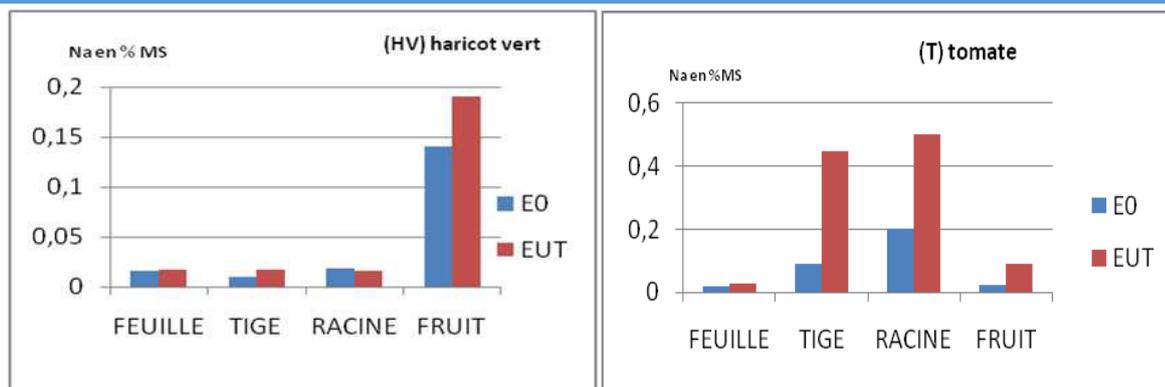


Figure IV-28. Effet des eaux usées sur la teneur en sodium dans les différentes parties du (HV) et de la tomate (T). (%MS)

### 3.3.3. Teneurs en soufre

Les eaux usées contiennent des quantités importantes de sulfates : les concentrations sont en moyennes de 350 mg/l et peuvent atteindre 950 mg/l alors que dans les eaux de nappe, les concentrations sont de l'ordre de 90 mg/l. L'analyse des différentes parties du haricot vert montre que l'eau usée traitée augmente les quantités de S dans les feuilles et tiges surtout au niveau de la dernière phase (Figure 5). Indépendamment des traitements, on remarque également que le soufre a tendance à se concentrer au niveau des racines.

Concernant la tomate, les teneurs en soufre des différentes parties de la plante ne présentent aucune différence entre les traitements  $E_0$  et  $E_3$ . Comme pour le haricot vert, on peut noter que le soufre est retenu dans les racines et que les fruits présentent les concentrations les plus faibles. Ainsi la concentration élevée des eaux usées en sulfates par rapport à l'eau de nappe ne se reflète sur la composition de la plante qu'à un faible degré et seulement pour le haricot vert.

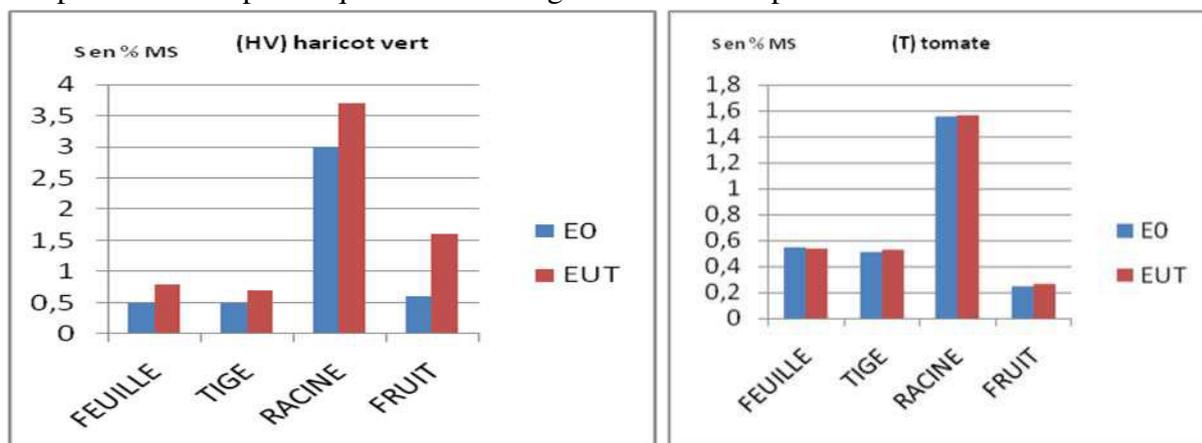


Figure IV-29. Effet des eaux usées sur la teneur en soufre dans les différentes parties du (HV) (a) et de la tomate (b) (%MS)

### 3.3.4. Teneur en bore

Les concentrations moyennes en bore des eaux usées traitées sont de l'ordre de 1 mg/l. Ayoub (1978) a trouvé des résultats comparables. Les eaux usées augmentent de façon significative les teneurs en bore dans les différentes parties du haricot vert (Figure 6) et dans les feuilles de la tomate sans toutefois provoquer des modifications dans le fruit (Figure 6).

Le bore migre vers les parties aériennes des deux espèces et se concentre dans les feuilles. Les fruits sont moyennement chargés en cet élément.

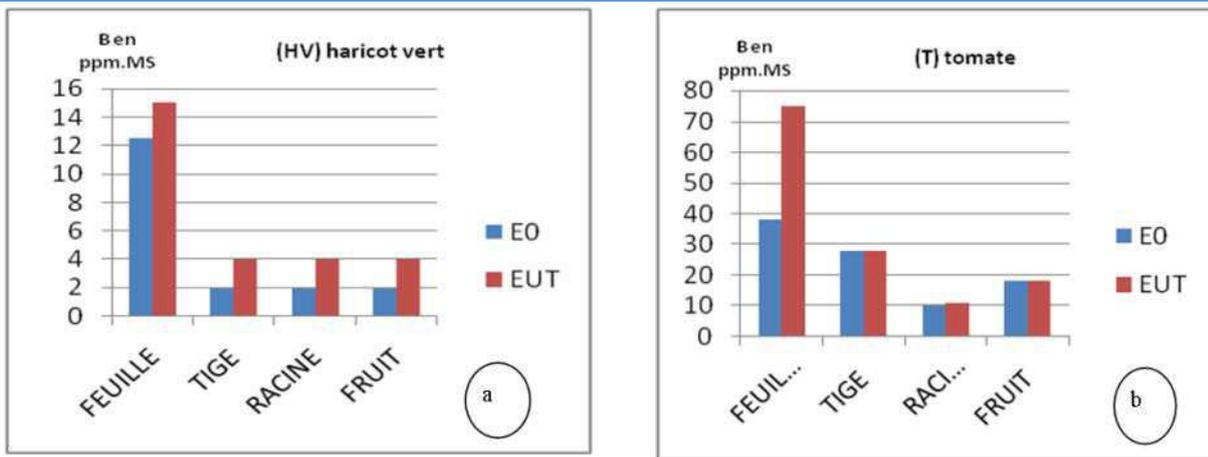


Figure IV-30. Effet des eaux usées sur la teneur en bore dans les différentes parties du haricot vert (a) et de la tomate (b) (ppm.MS).

3.3.5. Teneur en cuivre

Les teneurs en cuivre dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate ne sont pas modifiées par l'apport d'eaux usées traitées (Tableau ç). En effet, les différences entre traitements eau usée (E<sub>3</sub>) et eau de nappe (E<sub>0</sub>) sont insignifiantes. La différence assez faible entre les concentrations en Cu des eaux usées et des eaux de nappe explique ce résultat. Le même résultat est observé avec des teneurs en Cu ayant le même ordre de grandeur.

TableauIV-81. Effet des eaux usées sur les teneurs en cuivre dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate (ppm.MS).

	Haricot vert				Tomate industrielle			
	F	T	R	Fr	F	T	R	Fr
<b>E0</b>	1.8	1.2	1.5	0.4	1.0	2.9	2.0	2.5
<b>E1</b>	3.60	3.4	3	1.8	4.0	5.8	4.0	5.0
<b>E2</b>	2.5	2.4	2.0	1.0	2.0	3.5	2.6	3.0
<b>E3</b>	2.3	2.0	2.3	1.9	1.5	3.0	3.4	2.2

E<sub>0</sub>:eau de nappe ; E<sub>3</sub>:eau usée traité ; F :feuille ; T :tige ; R :racine ; Fr :fruit

3.3.6. Teneur en zinc

Les eaux usées traitées apportent une quantité en Zn (0,72Kg/ha pour 600mm d'eau) supérieure à celle apportée par les eaux de nappe (0,24 Kg/ha pour 600mm d'eau). La Figure 5 présentant les variations des teneurs en Zn dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate indiquant une augmentation significative de ces teneurs en présence d'eau usée dans les feuilles et racines.

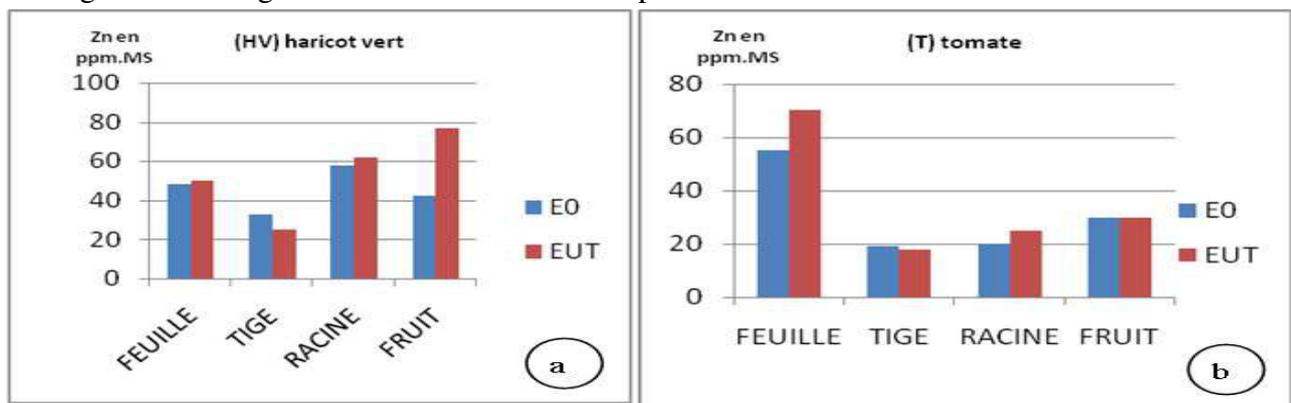


Figure IV-31 : Effet des eaux usées sur la teneur en zinc dans les différentes parties (HV) (a) et de la tomate (b). (ppm.MS)

### 3.3.7. Teneurs en cadmium et plomb

Le cadmium n'est présent dans les eaux usées qu'à l'état de traces. Quand au plomb, l'apport par les eaux usées est en moyenne de 1,14 Kg/ha pour 600 mm d'eau. Il n'y a pas de différence significative due à l'apport d'eau usée traitée au niveau des deux cultures (Tableau 10).

**Tableau IV-82 : Effet des eaux usées sur les teneurs en cadmium et Plomb dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate (ppm MS).**

		Haricot vert				Tomate industrielle			
		F	T	R	Fr	F	T	R	Fr
Cd	E0	0.10	0.75	0.00	0.1	0.00	0.00	0.76	0.26
	E1	1.2	1.3	2.5	2.5	0.90	1.00	1.9	0.90
	E2	0.15	0.52	0.39	0.17	0.12	0.025	0.74	0.27
	E3	0.20	0.30	0.79	0.25	0.25	0.05	0.72	0.28
Pb	E0	0.30	0.75	0.17	0.76	1.16	1.8	1.50	0.90
	E1	1.2	1.3	3.0	2.6	1.5	1.9	2.5	2.2
	E2	1.15	0.82	1.19	1.33	1.83	1.93	2.05	0.94
	E3	2.00	0.90	2.22	1.90	2.50	2.06	2.6	0.98

E<sub>0</sub>: eau de nappe ; E<sub>3</sub>: eau usée traitée ; F : feuille ; T : tige ; R : racine ; Fr : fruit

L'irrigation avec les eaux usées traitées a entraîné des modifications dans la composition chimique du végétal. Cette modification est variable en fonction de l'espèce considérée, de l'organe, de la nature et la concentration des éléments contenus dans les eaux usées traitées. La richesse de ces eaux en éléments nutritifs affecte de manière significative la composition en N, P et K du haricot vert. Les teneurs se sont accrues dans les différentes parties de la plante ; pour la tomate industrielle, aucun effet n'a été enregistré. D'autre part, nous avons pu noter que par rapport à la tomate ind, le haricot vert permet une meilleure exportation de N, P et K et présente des efficacités d'utilisation de ces éléments (N, P et K) supérieures. Ainsi, le haricot vert valorise mieux les matières fertilisantes apportées par les eaux usées. Cependant, la comparaison entre traitements E<sub>0</sub> et E<sub>3</sub> montre que pour la tomate, les mêmes quantités de N, P et K sont utilisées pour la production de 1 g de matière sèche quelle que soit la qualité d'eau. Pour le haricot vert, les eaux usées permettent un meilleur rendement mais les efficacités d'utilisation de N, P et K sont inférieures à celles obtenues en présence d'eau de nappe. Des études antérieures ont montré que des cultures fourragères, le bermuda-grass cotier, irrigué avec des eaux usées traitées présentent les meilleurs taux d'exportations de l'azote soit environ 67% et permettent une élimination de 20% du phosphore (Adam-Bradford A., Hoekstra F., van Veenhuizen R. 2009).

La réaction vis à vis des autres éléments majeurs s'est manifestée par une accumulation importante de Na dans les tiges et racines de la tomate irriguées à l'eau usée, au niveau des fruits. Les modifications ont été moins importantes et les teneurs plus faibles. Dans la partie aérienne du haricot vert, le sodium varie peu. Les chlorures s'accumulent dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate sans épargner le fruit. Les fruits de la tomate sont peu chargés en soufre et les modifications en fonction des traitements sont négligeables. Bien que le soufre soit retenu au niveau des racines, les parties aériennes du haricot vert ont tendance à l'accumuler en présence d'eau usée.

L'irrigation avec les eaux usées n'a pas entraîné de modifications importantes de la composition en micro-éléments des espèces étudiées. Pour les deux cultures, les teneurs en cadmium et plomb sont comparables dans les deux traitements E<sub>0</sub> et E<sub>3</sub> et sont dans les normes des plantes consommables, soient Cd < 3 ppm et Pb < 10 ppm (Melsted 1999 et Godin 1997). L'application des eaux usées augmente les teneurs en bore, fer et zinc des parties aériennes des deux cultures sans toutefois modifier les teneurs au niveau du fruit. Ces augmentations de B, Fe et Zn observées n'ont nullement affecté le comportement de la plante. Les teneurs enregistrées sont au dessous des seuils

d'alerte pour les plantes consommables, avec B < 150 ppm et Zn < 300 ppm (Melsted 1999). Dans des essais menés en Californie, Richard *et al.* (2009) ont montré que l'irrigation avec des eaux usées traitées ne modifie pas la composition en microéléments des parties consommables d'artichaut et des légumes.

Les feuilles de la tomate accumulent plus de bore, de zinc, de fer, de plomb et surtout de cadmium que les feuilles du haricot vert. Les concentrations de la plupart de ces éléments sont fortement réduites dans le fruit. Enfin, il faut surtout noter que l'apport des eaux usées n'a pas affecté les rendements des cultures. En effet, les rendements, notamment ceux du haricot vert ont augmenté d'une manière significative en présence d'eau usée.

## Conclusion Générale

Ce travail rentre dans le cadre d'un projet de recherche pluridisciplinaire sur la réutilisation agricole des eaux usées traitées en Algérie dont l'exécution est assurée par la structure DRH ,ONID et le grand bassin versants de l'Est.

Le périmètre à irrigué de Souarekh subira l'irrigation par les EUT de la station d'épuration d'El Kala-Sud avec une quantité d'eau traité environ  $19000\text{m}^3/\text{jr}$ , bien sur avec un grand réaménagement de la situation qui rentre dans un projet de la mise en valeur de 700has, divisée en deux zones. Zone nommé site (OTD calcisol).et 2<sup>ème</sup> site zone (BZ fluvisol), Cette étude avait donc pour objet d'évaluer l'état des sols irrigués par les EUT en termes de salinité, d'accumulation des éléments métalliques et de transfert de ces métaux potentiellement toxiques vers les plantes cultivées. Deux sites ont été sélectionnés qui diffèrent par plusieurs paramètres (type de sol, durée d'irrigation, système d'irrigation, pratiques culturales ...).

La caractérisation pédologique et physicochimique des sols étudiés (calcisol isohumique et fluvisol calcique) révèle quelques caractères communs aux deux sols, à savoir un pH basique, un taux élevé de calcaire total, un bon pouvoir tampon. On note cependant une grande différence entre les deux sites sélectionnés concernant les autres paramètres physiques et chimiques. Les effets de l'irrigation par les EUT sont d'ailleurs étroitement liés aux propriétés de chaque site.

Au niveau du site de l'OTD (calcisol), le système d'irrigation gravitaire grâce un canal d'irrigation à ciel ouvert, ou un canal enterré qui se prolonge à 20km qui déverse dans une retenue colinaire.

En favorisant le lessivage des eaux et des sels, la salinité (CE) et la sodicité (ESP) sont restés à un niveau relativement constant en réduisant le risque d'altération de la stabilité structurale de ce sol ou bien du rendement des cultures notamment durant la saison estivale marquée par une forte évapotranspiration. En outre, l'équation qui a été établie pour estimer la valeur de la conductivité électrique de la pâte saturée à partir de celle de l'extrait aqueux (CE1/5), permettra de faciliter le suivi et le contrôle de la salinité dans le calcisol.

Au niveau de la parcelle BZ (fluvisol), l'irrigation selon un système de plancher ou par aspersion (hiver) et l'application de labours profonds ont favorisé le lessivage des sels.

Cependant, les niveaux de surface de ce sol risquent la désagrégation en raison de l'augmentation de l'ESP qui atteint un niveau élevé. Cette étude a pu confirmer que les EUT de la station d'El\_Kala , peuvent présenter un risque relative de perte de stabilité structurale du fluvisol de texture relativement lourde, pour une longue durée d'irrigation.

Dans les EUT de la STEP d'El\_Kala Sud les concentrations en éléments métalliques (EM) sont relativement faibles, car il s'agit des eaux grises tout simplement. D'une manière générale dans notre cas d'étude,l'irrigation par les EUT des deux types de sols étudiés, sol (A) lourd pour la tomate industrielle, et un sol (B) pour l'haricot vert, bien sur dans des pots et non pas en plein champ, mais les sols sont les mêmes. Cependant, nos études statistiques sont limitées par le nombre de répétitions qui est de 10(dix).

Au niveau du fluvisol, l'irrigation par les EUT en fur à mesure et progressive se traduit par l'enrichissement général du sol en éléments métalliques et par leur lessivage sous la couche de (40 cm) puis par leur accumulation dans l'horizon situé entre 60 et 80 cm. Il serait intéressant de mieux évaluer la part des transferts liquides et colloïdaux dans ce lessivage. Nos analyses ont mis en évidence un impact de l'irrigation par les EUT sur la vitesse de décomposition et sur la répartition des matières organiques (MO) dans le fluvisol. Le fait que les EUT contiennent aussi de la matière organique labile doit effectivement favoriser des

transports de métaux sous forme colloïdale. Au niveau du calcisol (parcelle OTD), l'irrigation a entraîné une redistribution des éléments au sein du profil de sol avec une tendance à l'accumulation de certains éléments (Cr) en surface. Ainsi même en faible concentration dans les EUT, les éléments métalliques peuvent s'accumuler dans le calcisol. Cette accumulation est limitée pour le moment à la surface du sol. En se limitant à l'étude des premiers centimètres du sol, on a pu identifier divers facteurs impliqués dans cette accumulation des métaux ainsi que sur leur répartition spatiale. Il s'avère que les pratiques culturales appliquées et la rotation des cultures ont un rôle déterminant sur la répartition des éléments métalliques et leur accumulation dans les horizons de surface du calcisol. Rappelons que deux types de plantes maraichères sont cultivées peuvent montrer une accumulation relative en MO et en éléments métalliques. En outre il a été montré que la variabilité latérale des métaux est liée, entre autres aux paramètres du sol (pH, MO), à l'orientation du système d'irrigation. Cette variabilité est toutefois atténuée par les labours effectués vers la fin de chaque saison culturale qui permettent d'homogénéiser l'horizon de surface. Les pratiques culturales déterminent également la biodisponibilité de métaux pour les plantes. En effet, la MO est le seul paramètre du sol expliquant la biodisponibilité des éléments métalliques dans le calcisol. Cette biodisponibilité, diminue également en s'éloignant du canal d'irrigation. La phytoabsorption des éléments métalliques ne dépendant que du type de plante, aucune corrélation entre les teneurs en métaux dans les deux plantes étudiées (tomate et haricot) et les teneurs dans le sol n'a pu être établie. De plus, comme la plupart des plantes, les racines jouent le rôle de barrière vis-à-vis du phytotransfert des éléments métalliques. Ainsi, pour les deux plantes, le Zn est l'unique élément qui tend à s'accumuler dans les tissus des parties aériennes. Les autres éléments sont bloqués au niveau des racines.

La phytodisponibilité des éléments métalliques dans le sol a été également évaluée par des extractions à l'acétate d'ammonium comme il est généralement préconisé dans les études d'impact ou de suivi de pollutions sur les plantes. Il s'est avéré que la partie extraite est peu représentative de la fraction réellement biodisponible dans le sol. De nombreux protocoles d'extraction sont mis en oeuvre pour la détermination de la phytodisponibilité mais aucun n'est universellement valable pour tous les sols, tous les éléments ou toutes les plantes. Dans notre cas, cette fraction des éléments métalliques extraite à l'acétate d'ammonium combinée aux teneurs totales dans le sol, dans les racines et les parties aériennes des plantes nous ont permis d'établir une méthode permettant de mieux visualiser les phénomènes des transferts sol plantes. Cette méthode se base sur la détermination des enrichissements successifs sol-racines et racines-parties aériennes. Ainsi on a pu observer, pour les deux types de plantes étudiés, un ordre croissant d'absorption des éléments métalliques à partir du sol ( $Fe < Cr < Ni < Cu < Zn$ ) et aussi leurs redistributions depuis les racines vers les parties aériennes.

De même, les teneurs en métaux détectées notamment dans les plantes fourragères restent en dessous du seuil de toxicité que ce soit pour leur croissance ou pour l'alimentation du bétail.

Ainsi, outre la "spéciation" ou forme chimique du métal, les principaux facteurs de mobilité et de phyto disponibilité des éléments métalliques sont le pH et la MO du sol. Au niveau du calcisol qui est alcalin, il est tamponné en plus par la présence de la croûte calcaire en subsurface. Ainsi, la mobilité et la biodisponibilité des métaux dans le calcisol se trouvent limités à un tel pH, ce qui minimise, même à long terme, le risque de contamination des plantes par les formes phyto assimilables des éléments métalliques. Cependant, il convient de préciser que ces interprétations sont propres au sol (A) et ne peuvent pas être extrapolées à d'autres types de sols de ce même bloc. Au niveau du fluvisol (bloc B) par exemple, les propriétés du sol, les pratiques culturales et même le système d'irrigation sont différents que ceux utilisés au niveau du calcisol (bloc (A) Celle OTD). On a déjà observé une baisse relative du pH de ce sol après seulement quelques irrigations par les EUT. En plus, ce sol présente une grande variabilité texturale et structurale que ce soit latéralement ou

verticalement. Il serait donc judicieux d'approfondir l'étude sur ce sol en tenant compte des différentes propriétés déjà mentionnées. L'ensemble des résultats obtenus constitue une première étape vers la compréhension des effets affectant les sols irrigués par les EUT dans le périmètre de Souarekh dans le futur nous essayons d'introduire des études, l'impact de l'irrigation par les eaux usées traitées (EUT) valorisation des EUT à des fins d'irrigation de cultures fourragères (luzerne, sorgho et pérennes (oliviers). Le premier intérêt d'une telle démarche est qu'elle fournit un état présent des deux types de sols étudiés dans le périmètre qui peut ensuite être utile à un contrôle de la situation sur le long terme. Ce travail a par ailleurs, clairement mis en évidence que plusieurs facteurs sont impliqués dans les processus de salinisation des sols ainsi que dans l'accumulation des éléments métalliques et leur phytoabsorption. Il serait nécessaire de mener des études expérimentales en laboratoire ou au champs afin de mieux maîtriser certains de ces facteurs et d'affiner les pratiques culturales et les modes d'irrigation. L'étude menée sur la salinisation des sols irrigués reste ponctuelle et ne tient compte que de l'état du sol après la période d'irrigation estivale. Il serait nécessaire de vérifier que la salinisation des deux types de sol par les EUT n'est pas naturellement atténuée par le lessivage pluvial inter-saisonnier. Ceci est d'autant plus crucial qu'il est connu que la salinisation devient irréversible à partir du moment où elle entraîne une déstructuration du sol. Or il n'est pas évident de prévoir le temps nécessaire pour que la déstructuration du sol commence. Ce phénomène dépend, en effet, de plusieurs facteurs tel que le type de sol, la géomorphologie, les conditions climatiques ainsi que les types et la rotation des cultures. Les Éventuelles études sur la salinisation et la sodification des sols doivent tenir compte de ces Différents facteurs et du fait que le mode d'irrigation influence directement l'ensemble de ces facteurs. De même, il serait nécessaire d'étudier l'effet de la salinité sur le rendement des cultures qui demeure le souci majeur des exploitants. Une seconde perspective concerne la recherche d'indicateurs de suivi de l'accumulation des éléments métalliques issus des EUT. Les gestionnaires sont en effet à la recherche de critères facilement mesurables pour quantifier l'ampleur de l'accumulation ou du transferts de contaminants potentiels à partir de déchets ou de boues de STEP. A cet égard, la récente Directive européenne 93/67/EEC (2003) propose plusieurs modes de calculs visant à quantifier les risques associés aux nouvelles substances introduites dans l'environnement. Cette directive s'étend aussi aux substances pré existantes (révisant la loi EC No. 1488/94 de 1996). Cependant, en ce qui concerne les substances entraînant des effets retardés, comme c'est le cas des EUT, aucun mode de calcul simple n'est proposé et il est clairement préconisé d'élaborer un suivi sur le long-terme et de proposer des indicateurs au cas par cas. Dans le cas du périmètre d'irrigation d'El Kala, il semble indispensable de proposer d'autres solutions. Parallèlement à cet aspect, il propose une démarche biologique qui a permis d'identifier certains facteurs déterminant la phytoabsorption des métaux par les plantes ou les bactéries. La connaissance des facteurs impliqués dans la phytoabsorption des éléments métalliques doit être approfondie. Il serait intéressant à cet égard de tester la démarche bactériennes comme l'expérience de la sonatrach .

Indicateur possible de l'impact des EUT sur les cultures pourrait être une déviation de la droite spécifique à chaque espèce. Ce test ne nécessiterait en effet qu'une analyse régulière. Dans l'optique d'une valorisation agricole des eaux usées traitées et des boues résiduelles en Algérie, nous avons essayé d'apporter une contribution à l'étude de leur incidence sur les végétaux cultivés. L'expérimentation a été menée sur une légumineuse, le haricot vert, et la tomate industrielle. L'irrigation avec les eaux usées traitées, riches en éléments fertilisants, entraîne un effet favorable sur le haricot vert, qui se traduit par une amélioration de la croissance. Une augmentation des teneurs en azote, phosphore et potassium également été notée. Toutefois, l'efficacité de N, P et K absorbé en présence des eaux usées est inférieure à

celle du témoin. Pour la tomate, aucun effet bénéfique sur la croissance ou la nutrition en N, P et K n'a été observé mais en même temps, nous n'avons pas noté d'effets dépressifs.

Nous n'avons pas relevé des cas de toxicité par les éléments nocifs même durant le cycle de la production. L'accumulation de certains éléments tels que le bore, le chlore, le fer et le zinc dans les tissus des deux espèces ainsi que celle du sodium dans les parties aériennes de la tomate peuvent être considérées comme normales.

Nous pouvons dire que dans le cas d'une bonne pratique agricole, les risques encourus par les cultures irriguées avec de telles eaux usées traitées sont minimes, au moins à court et moyen terme, d'autant plus que les éléments chimiques les plus polluants sont retenus dans les boues au cours de l'épuration. Seul le risque dû à l'azote est à appréhender et à prendre en compte. Le problème se poserait différemment si l'effluent était d'origine industrielle ou en cas de mauvais fonctionnement de la station d'épuration.

À partir de nos investigations en milieu contrôlé, nous avons constaté que les eaux usées utilisées présentent, sur la base de l'azote prélevé par le haricot vert, une efficacité agronomique et d'absorption inférieure à celle de l'ammonitrite. L'amélioration des rendements obtenus en présence d'eau usée traitée, accompagnée par une élévation des teneurs en azote par rapport à un témoin non fertilisé conduit à considérer l'apport des eaux usées comme un complément de fertilisation dont il faut tenir compte dans le calcul de la dose de fertilisation minérale à apporter.

Nous concluons bien sûr que la partie sol durant notre expérimentation a donné des résultats très significatifs après les analyses physico-chimiques des différentes couches pour chaque les deux cultures et les deux sols sans oublier l'analyse de l'eau de drainage qui confirme que le lessivage joue des rôles primordiaux dans l'élimination des toxines. (voir tableau Annexe).

À des fins agricoles nous pouvons conclure avec certitude que cette quantité d'énergie renouvelable est en réalité destinée pour l'irrigation dans la plaine de Souarekh sud d'El Kala. Environ une capacité de **1.96 Mm<sup>3</sup>** dont la superficie agricole utile est de 700 has (voir Annexe).

L'énorme besoin agricole pour l'irrigation des grandes cultures est de **5000 m<sup>3</sup>** à l'hectare, bien entendu.

Nous pouvons généraliser pour toutes les spéculations comme le maraichage et les cultures pérennes.

Cette opération qui pourra durer est d'être rentable avec la récupération des frais de notre proposition pour la nouvelle technique proposée dans notre étude, installation d'une STEP fiable. (voir Annexe).

**Références bibliographiques**

[1]. Amman. 1992. Consommation en eaux de deux variétés de tomate industrielle (ELGON et NAPOLI) sous irrigation localisée. Thèse d'ingénieur, I.N.A. d'Alger, 79p.

[2]. Belaid. 2003. La valorisation des eaux résiduaires par l'irrigation des cultures légumières (cas du haricot vert).

[3]. Boubakeur. 1998. Influence de la date de plantation sur le comportement de quelques variétés de tomate industrielle cultivées en sec dans la région de Annaba. Thèse d'ingénieur, I.N.A d'Alger, 72p.

[4]. Bouzou et al ; Thèse d'ingénieur d'état en sciences Agronomique 2005. INV EL\_Taref Algerie.

[5]. Catroux, Germon and Graffin. 1974. L'utilisation du sol comme système épurateur 80,184.

[6]. Gorini. 1997. Guide complet de la culture des tomates. Ed : Vecchi S.A. Paris, 120p.

[7]. Hariri. 2005. Etude comparative sur les paramètres agronomiques et technologiques entre quatre variétés hybrides FI de la tomate industrielle, dont l'un local en voie d'homologation, dans la région d'El Kala. Thèse d'ingénieur, I.S A. d'El Tarf, 2p.

[8]. Lakrouf. 1993. Itinéraire technique de la culture de la tomate industrielle et choix variétale. Journée d'étude et de réflexion sur la tomate industrielle (Jijel).

Abbas S.T., Sarfraz M., Mehdi S.M., Hassan G. et Obaid-Ur-Rehman (2007), Trace elements accumulation in soil and rice plants irrigated with the contaminated water; *Soil & Tillage Research* 94 503-509

Adamo, P., Denaix, L., Terribile, F., Zampella, M. (2003), Characterization of heavy metals in contaminated volcanic soils of the Solofrana river valley (Southern Italy). *Geoderma*. 117 (3-4), 347-366.

AFNOR, (2004), Evaluation de la qualité des sols, Volume 1. AFNOR Editions, Paris, 461 p.

Alatiri R., Rezgui F. et Aniba B. H., (2002), Réutilisation des eaux usées, cas de la Tunisie, "Forum de la gestion de la demande en eau" . Rabat, MAROC.

Allani A. (1993), Epuration des eaux résiduaires urbaines par lagunage aéré et désinfection par rayonnements ultraviolets. Thèse doc. Uni. Paris VII.

Al-Nakshabandi G.A., Saqqar M.M., Shatanawi M.R., Fayyad M., Al-Horani H. (1997), Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in

Jordan. *Agricultural Water Management* 34 81-94

Alvarez-Bernal D., Contreras-Ramos S.M., Trujillo-Tapia N., Olalde-Portugal V., FriasHernandez

J.T.et Dendooven L., (2006), Effects of tanneries wastewater on chemical and biological soil characteristics; *Applied Soil Ecology* 33, 269-277

Ammary B.Y. (2007), Wastewater reuse in Jordan: Present status and future plans *Desalination* 211, 164-176

Amouri M. (1998), Etude hydrogéologique de la nappe profonde de Sfax. Rapport DGRE CRDA de Sfax.

An Y.J., (2004), Soil ecotoxicity assessment using cadmium sensitive plants. *Environmental Science Technology* 127:21-26

Andreadakis A., Gavalaki E., Mamais D., Tzimas A. (2003), Wastewater reuse criteria in Greece. *Global Nest: the Int. J.* Vol 5, No 1, pp 9-14,

Andreozzi R., Raffle M. and Nicklas P. (2003), Pharmaceuticals in STP effluents and solar photodegradation in aquatic environment, *Chemosphere*, 50, 1319-1330.

Asano T. (1998), Wastewater reclamation and reuse. *Water quality management library*, 1475 pages.

Asano T., Cotruvob J.A., (2004), Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations. *Water Research* 38, 1941-1951

Assadian N.W., Esparza L.C., Fenn L.B., Ali A.S., Miyamoto S., Figueroa U.V., and Warrick, A.W., (1998), Spatial variability of heavy metals in irrigated alfalfa fields in the upper Rio Grande River Basin, *Agric. Water Manage.* 36, 141-156.

Assadian N.W., Fenna L.B., Flores-Ortizb M.A., Ali A.S. (1999), Spatial variability of solutes in a pecan orchard surface-irrigated with untreated effluents in the upper Rio Grande River basin. *Agricultural Water Management* 42 143 ± 156

Atlas du Gouvernorat de Sfax (1994), Direction de l' aménagement du territoire.

Aulicino E A., Mastrantonio A., Orsini E, Bellucci C., Muscillo M.and Larosa G. (1996), Enteric viruses in a wastewater treatment plant in Rome. *Water, Air, and Soil Pollution* 91: 327-334,

Ayers, R.S., D.S., Westcot (1985), *Water quality for agriculture*. Irrigation and Drainage Paper 29. FAO, Rome.

Azimi S., Rocher V., Muller M., Moilleron R. and Thevenot D.R. (2005), Sources, distribution and variability of hydrocarbons and metals in atmospheric deposition in an urban area (Paris, France). *Science of The Total Environment* 337(1-3): 223-239.

Bahri, A. and F. Brissaud. (2002), *Guidelines for Municipal Water Reuse in the Mediterranean Countries*. WHO regional Office for Europe, Euro Project Office, MAP, Athens, Greece, pp. 62.

Baize, D., Sterckeman, T., (2001), Of the necessity of knowledge of the natural pedogeochemical background content in the evaluation of the contamination of soils by trace elements. *The Science of The Total Environment* 264 (1-2), 127- 139.

Baize D. et Tomassone T., (2003), Modélisation empirique du transfert du cadmium et du zinc des sols vers les grains de blé tendre. *Etude et gestion des sols*, vol.10, 4, pp 219-239

Bauder, J.W., K.R., Hershberger, L.S., Browning (2008), Soil solution and exchange complex response to repeated wetting-drying with modestly saline-sodic water. *Irrig. Sci.* 26,121-130.  
Bédir M. (1995), Mécanismes géodynamiques des bassins associés aux couloirs de coulissement de la marge atlasique de la Tunisie. Thèse doc. Es-sciences. Fac Sc. Tunis  
Belgiorno V., Luigi Rizzo, Despo Fatta, Claudio Della Rocca, Giusy Lofranoa, Anastasia Nikolaou, Vincenzo Naddeo, Sureyya Meric (2007), Review on endocrine disruptingemerging

compounds in urban wastewater: occurrence and removal by photocatalysis and ultrasonic irradiation for wastewater reuse. *Desalination* 215 166-176

Ben Akacha M. (2001), Etude géologique de la région d' Agareb-Sfax : Evolution géomorphologique, néotectonique et paléogéographique. Mém. DEA. Fac Sc. Sfax

Ben Marzouk M. (2005), Situation de l' exploitation des nappes phréatiques du gouvernorat de Sfax. Rapport DGRE CRDA de Sfax.

Ben Marzouk M., (2006); recharge artificielle suite à l'irrigation par les eaux usées traitées annén 2005, Raport CRDA de Sfax.

Benabdallah S. et Neubert S. (2003), La réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie. German Development Institute (DIE), Bonn, Germany, ISBN/EAN:3-88985-259-9, p96

Bezel V. S. and Zhuikova T. V. (2007), Chemical Pollution: Transfer of Chemical Elements to the Aboveground Phytomass of Herbaceous Plants. *Russian Journal of Ecology* Vol. 38 No. 4

Bezel, V.S., Zhuikova, T.V., and Pozolotina, V.N., (1998), The Structure of Dandelion Cenopopulations and Specific Features of Heavy Metal Accumulation, *Ekologiya*, , vol. 29, no. 5, 376-382. In Bezel' V. S. and Zhuikova T. V. (2007), Chemical Pollution: Transfer of Chemical Elements to the Aboveground Phytomass of Herbaceous Plants, *Russian Journal of Ecology* Vol. 38 No. 4

Bidar G., Pruvot C., Garçon G., Verdin A., Shirali P., Douay F.(2008), Seasonal and annual variations of metal uptake, bioaccumulation, and toxicity in *Trifolium repens* and *Lolium perenne* growing in a heavy metal-contaminated field; *Environmental Science Pollution Research* DOI 10.1007/s11356-008-0021-4

Bismuth H. (1984), Les unités stratigraphiques du Miocène de la Tunisie orientale. Réunion de la Société des Sciences de la Terre de Tunisie, Tunis.

Bixio D., De Heyder B., Chikurel H., Muston M., Miska V., Joksimovic D., Schöfer A.I., Ravazzini A., Aharoni A., Savic D. and Thoeys C. (2005), Municipal wastewater reclamation: where do we stand? An overview of treatment technology and management practice. *Wat. Sci. Tech.: Wat. Supply*, 5(1) 77-85.

Bixio D., Thoeys C., Wintgens T., Ravazzini A., Miska V., Muston M., Chikurel H., Aharoni A., Joksimovic D., Melin T. (2008), Water reclamation and reuse: implementation and management issues. *Desalination* 218, 13-23

Blanc R. and Nasser A. (1996), Effect of effluent quality and temperature on the persistence of viruses in soil. *Water Science and Technology*, Volume 33, Issues 10-11, 237-242

Blumenthal U.J., Mara D.D., Peasey A., Ruiz-Palacios G., Stott R. (2000), Guidelines for the

microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *Bull. World Health Organ.*, 78(9) : 1104-16.

Bontoux L. (1997), *Municipal wastewater, public health and environment*. Institute for Prospective Technological Report, octobre, 18, 6 pages

Bouaziz S. (1995), *Etude de la tectonique cassante dans la plate-forme et l' Atlas Saharien (Tunisie méridionale) : Evolution des paléo-champs de contraintes et implications géodynamiques*. Thèse. Doc. Etat. Sc. Géol. Univ. Tunis II.

Bousnina A. (1997), *Le climat de Sfax*. Atlas- Editions.

Brady, N.C., Weil, R.R., (2002), *The Nature and Properties of Soils*, 13th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River. In : Leone A.P., Menenti M., Buondonno A., Letizia A., Maffei C., Sorrentino G., ( 2007 ). *A field experiment on spectrometry of crop response to soil salinity; Agricultural Water Management* 89 39 - 48

Braungardt C.B., Achterberg E.P., Elbaz-Poulichet F. and Morley N.H. (2003), *Metal geochemistry in a mine-polluted estuarine system in Spain*. *Applied Geochemistry* 18(11): 1757-1771.

Burgos P., Madejon E. Perez-de-Mora A., Cabrera F. (2008), *Horizontal and vertical variability of soil properties in a trace element contaminated area*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 10, 11-25

Burollet P.F. (1956), *Contribution à l' étude stratigraphique de la Tunisie Centrale DRE/TG*.

Buzier R., Tusseau-Vuillemin M.H., Mouchel J.M. (2006), *Evaluation of DGT as a metal speciation tool in wastewater*. *Science of the Total Environment* 358, 277- 285

Campos C. (2008), *New perspectives on microbiological water control for wastewater reuse*. *Desalination* 218, 34-42

Castany G. (1953), *Les plissements quaternaires en Tunisie*. C.R. Somm. Soc.Fr.

Charfi D., (1995); *Effet des eaux usées traitées sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et sur la physiologie de quelques espèces végétales cultivées au périmètre d'ElHajeb (Sfax)*. Thèse en écologie végétale, Fac. Sci. de Sfax.

Chen R. L. et Patrick JR W.H. (1980), *Nitrogen transformations in a simulated overland flow wastewater treatment system*, *Water Research* Vol 14, 1041-1046

Chen B, Shan XQ, Qian J. (1996), *Bioavailability index for quantitative evaluation of plant availability of extractable soil trace elements*. *Plant Soil* 186:275-283

Cheng S. (2003), *Heavy metals in plants and phytoremediation*. *Environmental Science Pollution Research* 10:335-340

Chow A.T., Tanji K.K. et Gao S. (2003), *Production of dissolved organic carbon (DOC) and trihalomethane (THM) precursor from peat soils*; *Water Research* 37 4475-4485

Conseil québécois des plantes fourragères (2002), *Guide sur la production de foin de commerce*. Numéro de catalogue: A42-99/2002F, ISBN 2-9807612-0-6, pp36

DGGR (1997), *Utilisation des eaux usées traitées en agriculture, recueil des lois, décrets et arrêtés*. Ministère de l'agriculture

Das A., Chakraborty R., Cervera M., De la Guardia M. (1995), *Metal speciation in solid matrices*. *Talanta* 42(8):1007- 1030

Davison W. and Zhang H. (1994), *In situ speciation measurements of trace components in natural waters using thin-films gels*. *Nature* 367: 546-548.

Döelsch E., Saint H., Virginie M., de Kerchove V., (2006), Sources of very high heavy metal content in soils of volcanic island (La Réunion). *Journal of Geochemical Exploration*, Volume 88, Issues 1-3, Pages 194-197

Domínguez-Mariani E., Carrillo-Chávez A., Ortega A. And Orozco-Esquivel M. T. (2004), Wastewater reuse in valsequillo agricultural area, Mexico: environmental impact on groundwater. *Water, Air, and Soil Pollution* 155: 251-267

Suarez D.L., Wood J.D. et Lesch S.M., (2006), Effect of SAR on water infiltration under a sequential rain-irrigation management system. *Agricultural water management* 86,150 - 164

Dudka, S., Piotrowska, H., Terelak, H., (1996), Transfer of cadmium, lead and zinc from industrially contaminated soil to crop plants: a field study. *Environmental Pollution* 94, 181-188

Ecosse D., (2001), Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde. *Mém. D.E.S.S. « Qualité et Gestion de l'Eau »*, Fac. Sciences Amiens, 62 p.

Faby J.A., Brissaud F. (1997), L' utilisation des eaux usées épurées en irrigation. *Office International de l' Eau*, 76 pages.

FAO (2003), L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. pp 73

FAO (2007), Agriculture et rareté de l' eau: une approche programmatique pour l' efficacité de

l' utilisation de l' eau et la productivité agricole. COAG/2007/7, Rome, pp15

Fars S., Boussehaj K., Nejmeddine A., Ouazzani N. Laghmari A. et Bouadili A. (2003), Réutilisation d'une eau résiduaire brute et purée en agriculture: Disponibilité de l'azote et trois métaux lourds (Cu, Cd et Cr). *Séminaire internationale: Réutilisation des eaux usées traitées et des sous-produits de l'épuration: optimisation, valorisation et durabilité*, septembre 2003, Tunis, Tunisie.

Figueira R. and Ribeiro T. (2005), Transplants of aquatic mosses as biomonitors of metals released by a mine effluent. *Environmental Pollution* 136(2): 293-301.

Flores L., Blas G., Hernandez G. et Alcalá R., (1997), Distribution and sequential extraction of some heavy metals from soils irrigated with wastewater from Mexico city. *Water, Air and Soil Pollution* 98: 105-117.

Garrett R.G. (2000), Natural sources of metals to the environment. *Human and Ecological Risk Assessment* 6(6): 945-963.

Gennaccaro A.L., McLaughlin M.R., Quintero-Betancourt W., Huffman D.E., Rose J.B., (2003), Infectious *Cryptosporidium parvum* oocysts in final reclaimed effluent. *Appl. Environ. Microbiol.* 69, 4983-4984.

Ghrefat H., Yusuf N. (2006), Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan. *Chemosphere* 65, 2114-2121

Giokas DL, Antelo J, Paleologos EK, Arce F, Karayannis MI. (2002), Copper fractionation with dissolved organic matter in natural waters and wastewater—a mixed micelle mediated methodology (cloud point extraction) employing flame atomic absorption spectrometry. *J Environ Monit*; 4:505- 10.

Grant, C.A., Buckley, W.T., Bailey, L.D., Selles, F., (1998), Cadmium accumulation in crops. *Canadian Journal of Plant Science* 78, 1-17.

Gratton W. S., Nkongolo K. K., Spiers G. A., (2000), Heavy Metal Accumulation in Soil and Jack Pine (*Pinus banksiana*) Needles in Sudbury, Ontario, Canada. *Bull. Environ. Contam.*

Toxicol. 64:550-557

Gromaire M.C., Garnaud S., Saad M. and Chebbo G. (2001), Contribution of different sources to the pollution of wet weather flows in combined sewers. *Water Research* 35(2): 521-533.

Grytsyuk N., Arapis T. G., Perepelyatnikova L., Ivanova T., Vynograd's' ka V. (2006), Heavy metals effects on forage crops yields and estimation of elements accumulation in plants as affected by soil. *Science of the Total Environment* 354, 224- 231

Gupta, R.K., Abrol I.P. (1990), Salt-affected soils: their reclamation and management for crop production. *Adv. in Soil Sci.* 11, 223-288.

Halliwell D.J., Barlow K.M. et Nash D.M., (2001), A review of the effects of wastewater sodium on soil properties and their implications for irrigation systems. *Aust. J. Soil Res.* 39, 1259-1267

. in Tose S. (2006); Reuse of effluent water—benefits and risks; *Agricultural Water Management* 80 147-159

Hamoda M.F. (2004), Water strategies and potential of water reuse in the south Mediterranean countries. *Desalination* 165, 31-41

Hamon, R. E., M. J. McLaughlin, R. J. Gilkes, A. W. Rate, B. Zarcinas, A. Robertson, G. Cozens, N. Radford, and L. Bettenay (2004), Geochemical indices allow estimation of heavy metal background concentrations in soils, *Global Biogeochem. Cycles*, 18, GB1014,

Hao X.-Z., Zhou D.-M., Huang D.-Q., Cang L., Zhang H.-L. and Wang H.,(2009), Heavy Metal Transfer from Soil to Vegetable in Southern Jiangsu Province, China. *Pedosphere* 19(3): 305-311

Hassouna M., Theraulaz F., Lafolie F., Massiani C. (2005), Characterisation and quantitative estimation of the hydrophobic, transphilic and hydrophilic fractions of DOC in soil using direct UV spectroscopy; *European Geosciences Union, Geophysical Research Abstracts*, Vol. 7, 06734,

Hatira A., Gallali T., Rouiller J., Guillet B. (1990): Stabilité et solubilité des complexes formés entre le cuivre, le plomb, le zinc et les acides fulviques. *Science du sol*, vol. 28, 2, pp 123-135,

Henning BJ, Snyman HG, Aveling TA (2001), Plant-soil interactions of sludge-borne heavy metals and the effect on maize (*Zea mays* L.) seedling growth. *Water Soil Anal* 27:71-78

Heidarpour H., Mostafazadeh-Fard B., Abedi koupai J., Malekian R., (2007), The effect of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. *Agricultural Water Management* 90, 87 - 94

Hernandez, L., Probst, A., Probst, J L., Ulrich, E. (2003), Heavy metal distribution in some French soils : evidence for atmospheric contamination. *The Science of the total Environment*. 312, 195-219.

Herpin U., Gloaguen T. V., da Fonseca A. F., Montes C. R., Mendonça F. C., Piveli R. P., Breulmann G., Forti M. C. Et Melfi A. J., (2007), Chemical effects on the soil-plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation- A pilot field study in Brazil. *Agricultural Water Management* 89, 105 - 115.

Hough, R.L., Young, S.D., Crout, N.M.J., (2003), Modelling of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn uptake, by winter wheat and forage maize, from a sewage disposal farm. *Soil Use Manage.* 19, 19-27.

Horckmans, L., Swennen, R., Deckers, J., Maquil, R., (2005), Local background concentrations of trace elements in soils: a case study in the Grand Duchy of Luxembourg. *Catena* 59 (3), 279-304.

- Huang K.-M., Lin S. (2003), Consequences and implication of heavy metal spatial variations in sediments of the Keelung River drainage basin, Taiwan. *Chemosphere* 53, 1113-1121
- Hulugalle N. R., Weaver T. B., Ghadiri H. et Hicks A. (2006), Changes in soil properties of an eastern Australian vertisol irrigated with Treated sewage effluent following Gypsum application. *land degradation & development* 17: 527-540
- Imai A, Fukushima T, Matsushige K, Kim YH, Choi K (2002), Characterization of dissolved organic matter in effluents from wastewater treatment plants. *Water Research* 36, 859-870
- Jamali M. K., Kazi T. G., Arain M. B., Afridi H. I., Jalbani N., Memon A. R., Shah A. (2007), Heavy metals from soil and domestic sewage sludge and their transfer to Sorghum plants *Environmental Chemistry Letters* 5:209-218
- Jimenez B. et Asano T. (2007), International survey of wastewater reclamation and reuse practice, eds. IWA Publishing
- Junger J.F. (2000), The reuse of urban waste water in agriculture: European Research on Treated Wastewater Reuse in Agriculture. *Urban Technology Network Project 10th*, 7 pages.
- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2000), Trace Elements in Soils and Plants (vol. 2). Boca Raton: CRC Press p 403
- Kalbitz K., Schmerwitz J., Schwesig D. et Matzner E. (2003), Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties; *Geoderma* 113 273- 291
- Kallel M. et Bouzid J., (2002), impact de la réutilisation des eaux usées traitées sur la qualité des eaux souterraines et sur le sol: cas de la région de sfax. *WATMED*, 10-13 Octobre 2002, Monastir, Tunisie
- McBride M., Sauve S., Hendershot, W., (1997), Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils. *European Journal Soil Science* 48, 337-346.
- McLaughlin, M.J., Zarcinas, B.A., Stevens, D.P., Cook, N., (2000), Soil testing for heavy metals. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 31, 1661-1700
- Miller K. (1990), US Water Reuse: current status and future trends, *Water Environment Technology*
- Miquel G. (2001). Rapport sur les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Paris, pp 365
- Mireles A., Solis C., Andrade E., Lagunas-Solar M., Pina C., Flocchini R.G., (2004), Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with wastewater from Mexico city. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 219-220 , 187-190
- Miyamoto S. et Chacon A. (2006), Soil salinity of urban turf areas irrigated with saline water II. Soil factors. *Landscape and Urban Planning* 77, 28-38
- Mohammad Rusan M.J., Hinnawi S., Rousan L., (2007), Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination* 215, 143-152
- Muchuweti M., Birkett J.W., Chinyanga E., Zvauya R., Scrimshaw M.D. et Lester J.N. (2006), Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: Implications for human health. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112 41-48
- Nair J., Levitan J., Oyama N. (2008), Zinc and copper uptake by silver beet grown in secondary treated effluent; *Bioresource Technology* 99, 2537-2543
- Nakayama, F.S., D.A., Bucks (1986), Trickle Irrigation for Crop Production: Design, Operation and Management. Elsevier, New York, NY. In Heidarpour, M., Mostafazadeh Fard,

- B., Abedi Koupai J., Malekian R. (2007), The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. *Agric. Water Manage.* 90, 87-94
- Neel C., Soubrand-Colin M., Piquet-Pissaloux A., Bril H. (2007), Mobility and bioavailability of Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in a basaltic grassland: Comparison of selective extractions with quantitative approaches at different scales. *Applied Geochemistry* 22, 724-735
- OMS (1989), L' utilisation des eaux usées en agriculture et aquiculture : recommandation a visées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé, Genève
- OMS (2006), WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volume II, Wastewater use in agriculture, pp 222
- ONAS (2000), Etude d' exécution de la nouvelle station dépuración de Sfax Nord et réhabilitation de la station d' épuration existante de Sfax Sud. Avant projet détaillé.
- ONAS (2008), Rapport annuel, pp16
- Ortiz O., Alcaniz J.M. (2006), Bioaccumulation of heavy metals in *Dactylis glomerata* L. growing in a calcareous soil amended with sewage sludge. *Bioresource Technology* 97, 545-552
- Papaiacovou I. (2001), Case study- wastewater reuse in Limassol as an alternative water source, *Desalination* 138, 55-59
- Peasey A., Blumenthal U., Mara D., Ruiz-Palacios G., (2000), A review of policy and standards for wastewater reuse in agriculture: a Latin American perspective. WELL Study, <http://www.iboro.ac.uk/well/>.
- Pereira L., Oweis S. T. et Zairi A., (2002), Irrigation management under water scarcity. *Agricultural water management*, 57, 175-206
- Pescod, MB. (1992), Wastewater treatment and use in agriculture. *Bull FAO*, vol. 47; Rome, Italy: FAO. pp125.
- Puil C. (1998), La réutilisation des eaux usées urbaines après épuration. *Mém. D.U.E.S.S. « Eau et Environnement »*, D.E.P., Université de Picardie, Amiens, , 62 pages
- Qadir M., Sharma B.R., Bruggeman A., Choukr-Allah R., Karajeh F. (2007), Nonconventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. *agricultural water management* 87, 2 - 22
- Ramirez-Fuentes E., Lucho-Constantino C., E. Escamilla-Silva et L. Dendooven (2002), Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time; *Bioresource Technology* 85, 179-187
- Rattan R.K., Datta S.P., Chhonkar P.K., Suribabu K., Singh A.K. (2005), Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater—a case study. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 109, 310-322
- Rebhun M. (2004), Desalination of reclaimed wastewater to prevent salinization of soils and groundwater. *Desalination* 160, 143-149
- Rejeb S., Chenini F., Khelil Mn., Chaabouni Z. et Xanthoulis D., (2002), Optimisation de la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation. *INGREF*, Avril.
- Rietz D.N. et Haynes R.J. (2003), Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology & Biochemistry* 35, 845-854
- Romkens P.F.A.M. et Dolfing J. (1998), Effect of Ca on the Solubility and Molecular Size

Distribution of DOC and Cu Binding in Soil Solution Samples; *Environmental Science & Technology*, vol. 32, N° 3 363-369

Russell J. M., Cooper R. N. & Lindsey S. B. (1993), Soil denitrification rates at wastewater irrigation sites receiving primary-treated and anaerobically treated meat-processing effluent; *Bioresource Technology* 43 41-46

Saidi, D., Y., Le Bissonnais, O., Duval, Y., Daoud, A., Halitim (2004), Effet du sodium échangeable et de la concentration saline sur les propriétés physiques des sols de la plaine du Cheliff (Algérie). *Etude Gestion Sols*, Vol. 11, N° 2, 81-92.

Scott, C., Faruqi N.I. and Raschid L. (eds) (2004), L' utilisation des eaux usées dans l' agriculture irriguée: faire face aux moyens d' existence et aux réalités environnementales, *New Scientist*, 18 août 2004 in sources nouvelles, actualités du secteur eau et assainissement, Edition Spéciale No. 16, novembre 2005

Sheikh B., Cooper R.C., Israel K.E. (1999), Hygienic evaluation of reclaimed water used to irrigate food crops - a case study. *Water Science and Technology*, 40 (4-5) : 261-267.

Shotyk W, Blaser P, Grunig A, Cheburkin AK. (2000), A new approach for quantifying cumulative, anthropogenic, atmospheric lead deposition using peat cores from bogs: Pb in eight Swiss peat bog profiles. *Sci. Total Environ.*; 249:281 -295.

Shuang X., QingLiang Z., LiangLiang W., LiNa W. & ZhiGang L. (2007), Fate of secondary effluent dissolved organic matter during soil-aquifer treatment; *Chinese Science Bulletin*, vol. 52 N° 18 2496-2505

Solis C., Andrade E., Mireles A., Reyes-Solis I.E., Garcia-Calderon N., Lagunas-Solar M.C., Pina C.U. et Flocchini R.G., (2005), Distribution of heavy metals in plants cultivated with wastewater irrigated soils during different periods of time. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 241, 351-355

*Sources Nouvelles* (2006), actualité du secteur eau et assainissement. No. 40, 3

Souza JF, Rauser WE (2003), Maize and radish sequester excess cadmium and zinc in different ways. *Plant Science* 165:1009-1022

Suarez D.L., James D. Wood, Scott M. Lesch, (2006), Effect of SAR on water infiltration under a sequential rain-irrigation management system. *Agricultural water management* 86,150 - 164

Tedeschi A. et Dell' Aquila R. (2005), Effects of irrigation with saline waters, at different concentrations, on soil physical and chemical characteristics. *Agricultural Water Management* 77, 308-322

Toze S. (2006), Reuse of effluent water—benefits and risks; *Agricultural Water Management* 80, 147-159

Toze, S., (1999), PCR and the detection of microbial pathogens in water and wastewaters. *Water Res.* 33, 3545-3556.

Traina S.J., Novak J., Smeck N.E, (1990), An ultraviolet absorbance method of estimating the percent aromatic carbon content of humic acids, *J. Environ. Qual.* 19 (1), 151-153. In Miegroet H.V., Boettinger J.L, Baker M.A., Nielsen J., Evans D. et Stum A. (2005), Soil carbon distribution and quality in a montane rangeland-forest mosaic in northern Utah; *Forest Ecology and Management* 220 284-299

Tremel-Schaub A. et Feix I., (2005), Contamination des sols: Transferts des sols vers les plantes. *EDP Sciences Editions*, pp 413.

Tye, A.M., Young, S.D., Crout, N.M.J., Zhang, H., Preston, S., Barbosa-Jefferson, V.L.,

- Davison, W., McGrath, S.P., Paton, G.I., Kilham, K., Resende, L., (2003), Predicting the activity of Cd<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup> in soil pore water from the radiolabile metal fraction. *Geochim. Acta* 67 (3), 375-385.
- Tsagarakis K.P., Dialynas G.E., Angelakis A.N. (2004), Water resources management in Crete (Greece) including water recycling and reuse and proposed quality criteria. *Agricultural Water Management* 66, 35-47
- U.S. Environmental Protection Agency "USEPA" (2004), Guidelines for Water Reuse. p 478
- Villagra P.E. et Cavagnaro J. B. (2005), Effects of salinity on the establishment and early growth of *Prosopis argentina* and *Prosopis alpataco* seedlings in two contrasting soils: Implications for their ecological success. *Austral Ecology* 30, 325-335
- Woitke P., Wellmitz J., Helm D., Kube P., Lepom P., Litheraty P. (2003), Analysis and assessment of heavy metal pollution in suspended solids and sediments of the river Danube. *Chemosphere* 51, 633-642
- Xiong X., Stagnitti, F., Peterson J., Allinson G. et Turoczy N., (2001), Heavy Metal Contamination of Pasture Soils by Irrigated Municipal Sewage. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 67:535-540
- Yadav RK, Goyal B, Sharma RK, Dubey SK et Minhas PS. (2002), Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and groundwater—A case study. *Environmental International* 28: 481-486
- Ye ZH, Yang ZY, Chan GYS, Wong MH (2001), Growth response of *Sesbania rostrata* and *S. cannabina* to sludge-amended lead/zinc mine tailings—a greenhouse study. *Environment International* 26:449-455
- Zekri S., Ghezal L., Aloui T., Djebbi K. (1997), Les externalités négatives de l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture; *Options Méditerranéennes, Série A / n° 31*

## Résumé:

Notre étude expérimentale consiste à réaliser une expérimentation Agronomique sur l'irrigation avec les eaux usées (domestique), dont le bloc expérimental se compose comme suite : **04 traitements** d'eau ; **02 cultures** (tomate) et (Haricot vert), cultiver sur **02 sols** : (A) lourd, (B) léger, l'ensemble forme un bloc de **80 pots**, avec une fréquence d'irrigation à la capacité au champ (CC). Des analyses physico-chimique minérales et toxiques se déterminent avec des lois statistiques comparatives pour définir la bonne qualité d'eau à des fins Agricoles.

**Mots clé : irrigation, physico-chimique, écologie, énergie renouvelable, qualité d'eau.**

## ملخص بالعربية:

دراستنا التجريبية تحتوي على متابعة بحث في ميدان الري الزراعي باستعمال المياه القذرة و الملوثة الغير الصناعية مع مربع الكتلة التجريبية يتركب من **04 أنواع** مختلفة من مياه السقي وصنفين **02 من المحصولين** مثل (الفاصوليا الخضراء) و (الطماطم الصناعية) باستعمال **02 نوعان مختلفان** من التربة ثقيلة وخفيفة (أ) و (ب).

مجموعة المربع التجريبي يتكون من **80** وعاء مع تردد الري في القدرة الميدانية مع إجراء تحاليل فيزيائية و كيميائية لثبوت وجود بعض السموم مثل المعادن الثقيلة وغيرها باستعمال قوانين وإحصائيات تثبت وتدلل على اختياري الجودة و النوعية الصالحة لسقي في فائدة المحاصيل الزراعية .

**كلمات مفتاح :** الري - فيزيائية و كيميائية - البيئة - الطاقة المتجددة - نوعية المياه.

## Summary

Our experimental study consists in carrying out an agronomic experiment on irrigation with waste water (domestic) whose experimental block is composed as follows: 04 water treatment, 02 crops (tomato) and (green bean), cultivate on 02 soils: ( a) heavy, (b) light, the whole forms a block of 80 pots, with frequent irrigation with field capacity (cc). Physicochemical analyzes are performed with comparative statistical laws to define good water quality for agricultural purposes.

## Key words

**Irrigation, Physicochemical, ecology, energy, renewable, water quality.**

## RESUME MODEL D'EPURATION DES EAUX USEES PAR SYSTEME Advanced ENVIRO))SEPTIC

C'est un procédé d'épuration des eaux usées autonome très efficace, économique et utilisé partout dans le monde. Il est exploité sans énergie, sans maintenance, sans bruit et sans rejets de déchets.

Ce système d'épuration des EU par Advanced ENVIRO)) SEPTIC présente de nombreux avantages et ses références mondiales sont très connues.

En Algérie 8 installations de ce model sont en activité depuis 2014 à Beni ourtilène (Sétif) et naftal Tamesguida nord en 2017.

### Schéma de principe de fonctionnement d'une installation (voir schéma)

**1-**Les EU sont acheminées dans la fosse septique qui sépare les liquides des solides.

**2-**Le surplus de liquide s'écoule dans la boîte de distribution qui les répartie dans différentes conduites (dimensions d'une conduite Enviro-Septic 3 m (10') de long, 30 cm (12'') de diamètre, peut contenir plus de 200 litres).

**3-**les bactéries fixées sur les parois des conduites se nourrissent de polluants contenus dans l'eau.

**4-**l'eau épurée propre et saine s'infiltré dans le sol en sécurité.

L'installation du système Enviro-septic a 4 composantes (voir schéma) :

- Membrane Bio-Accelerator
- Conduite d'infiltration cylindrique
- Membrane de fibres non tressées
- Membrane géotextile

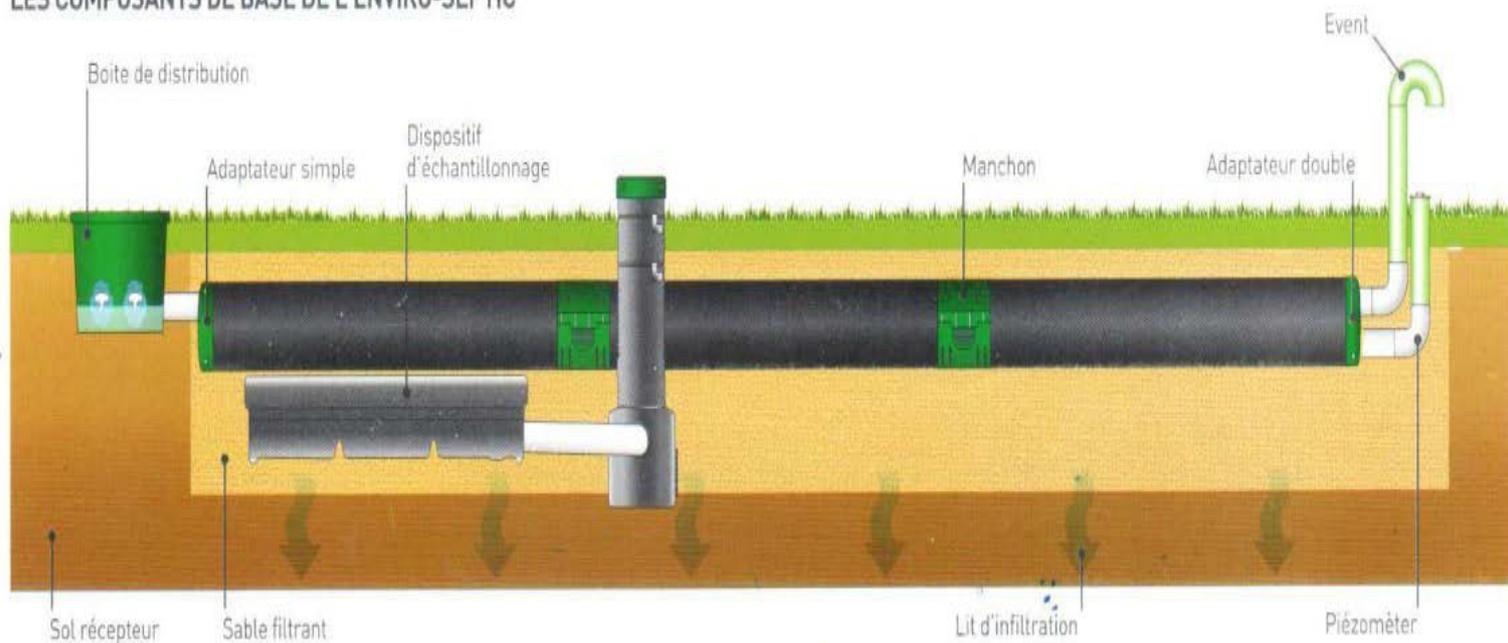
Le système Enviro-septic reproduit de façon naturelle les trois conditions essentielles pour la prolifération des micro-organismes qui traitent l'eau usée.

La technologie lie distribution, traitement et infiltration de l'eau en une seule activité.

Le Principe de fonctionnement, est un processus en 4 étapes ;

- Refroidissement des effluents et séparation des solides.
- Action des bactéries au niveau de la membrane fibreuse.
- Par capillarité, répartition des effluents sur la surface d'infiltration.
- Passage des effluents aux sols environnants.

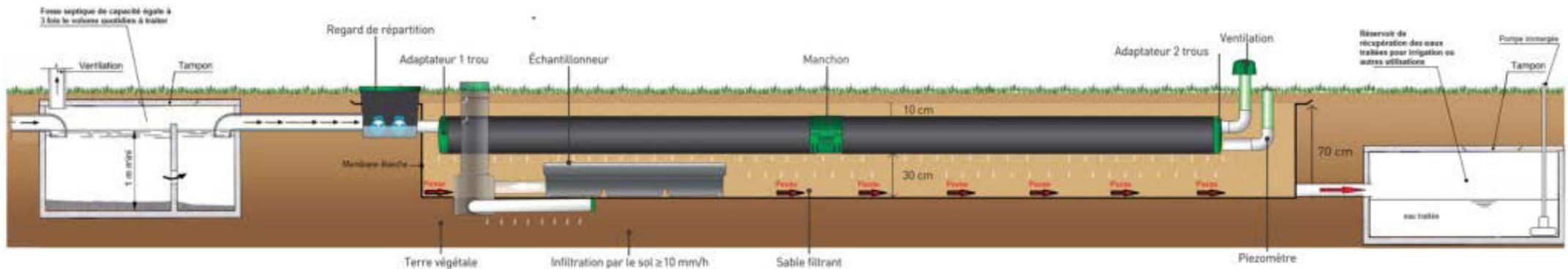
LES COMPOSANTS DE BASE DE L'ENVIRO-SEPTIC



# ADVANCED ENVIRO))SEPTIC<sup>MD</sup>

SEUL PROCÉDÉ DE TRAITEMENT DES EAUX USEES SANS ENERGIE, SANS PRODUITS CHIMIQUES, SANS MAINTENANCE, SANS REJETS DE DECHETS ET SANS ODEURS  
 النظام الوحيد لتصفية مياه الصرف الصحي دون طاقة، دون مواد كيميائية، دون صيانة، دون نفايات و دون روائح

Schéma de principe d'une installation advanced ENVIRO))SEPTIC



LE SEUL PROCÉDÉ DE TRAITEMENT  
DES **EAUX USÉES DOMESTIQUES**,  
SANS ÉNERGIE, SANS PRODUITS CHIMIQUES, SANS MAINTENANCE, SANS BRUIT,  
ÉLIMINANT LES ODEURS, NE REJETANT PAS DE DÉCHETS NI DE BOUES.

# ADVANCED ENVIRO))SEPTIC

**1** Les eaux usées sont acheminées dans la fosse septique qui sépare les solides des liquides.

**2** Le surplus de liquide s'écoule dans la boîte de distribution qui répartit les eaux dans les différentes conduites.

**3** Les bactéries se fixent sur les parois des conduites. Elles vont alors se nourrir des polluants contenus dans l'eau.

**4** L'eau propre et saine pour l'environnement s'infiltre dans le sol en toute sécurité ou peut être collectée à travers une membrane étanche comme indiqué sur la figure ci-contre.



**FICHE TECHNIQUE DE PROJET**

Bénéficiaire	Centre médico-psycho-pédagogique (CMPP) de Beni Ourtilane
Opération	Réalisation d'un Centre pour la prise en charge de différents types de handicaps (visuel, auditif, moteur et mental).
Intitulé du projet	Réalisation d'un système épuratoire pour le centre médico-psycho-pédagogique de Beni ourtilane
Montant T.T.C. du projet	Fourni gracieusement par Le Groupe SMi Construction Algérie
Entreprise de réalisation chargée de l'installation	Le Groupe SMi Construction Algérie / Amenhyd
Délai de réalisation	02 mois. Système d'épuration opérationnel depuis juin 2014
Capacité de traitement	Équivalent de 180 Hab. (élèves, personnel du centre)
Superficie	Érigé sur une assiette de 10 m x 18 m.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
 République Algérienne Démocratique et Populaire  
 Association Ibissama de Beni Ourtilane  
 Wilaya de Setif

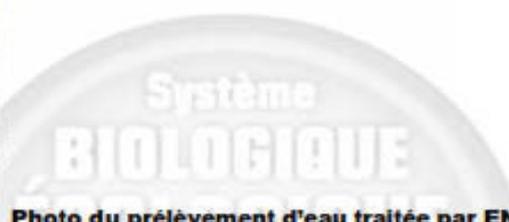


Photo du prélèvement d'eau traitée par ENVIRO))SEPTIC

**Test ONA de Novembre 2015**

L'eau est traitée à plus de 95%



Villa n° 40 coopérative EL AMEL extension « D »,  
 16 104. El Achour - Alger. Algérie.  
 Tél.: +213(0)561 69 84 64 – Téléc. : +213(0)21 33 15 84  
 Email : hmerabet@groupe-sm.com

	<b>FR 4.5.1/ 14 : FICHE D'ANALYSE</b>		<b>OFFICE NATIONAL DE L'ASSAINISSEMENT</b>
	<b>N°</b>	<b>Date</b>	<b>Laboratoire local de : Bougâa</b>
	--	26 Novembre 2015	<b>Autorisation d'exploitation N° :</b>
Client : LE GROUPE SM INTERNATIONAL CONSTRUCTION ALGERIE EURL			
Identification des échantillons: Eau traitées par système d'épuration biologique <u>Enviro))septic</u>			
Date de prélèvement: 23 Novembre 2015			
Date d'analyse: 23 Novembre 2015			
<b>Paramètres mesurés sur site</b>	<b>Méthode d'analyse</b>	<b>RESULTAT</b>	
pH		/	
Conductivité $\mu\text{S/cm}$ .		/	
<b>Paramètres mesurés au laboratoire</b>	<b>Méthode d'analyse</b>	<b>RESULTAT</b>	
MES mg/l	NFT 90-105-2	05	
DCO mg O <sub>2</sub> /l	--	/	
DBO mg O <sub>2</sub> /l	--	/	