

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE – MASTER 2<sup>ème</sup> ANNEE  
(INGENIEUR)**

Thème  
**AMELIORATION DU SYSTEME DE  
TRAITEMENT DES EAUX USEES DU 2iE :  
IMPACT SUR LA QUALITE SANITAIRE ET LE  
RENDEMENT D'UNE CULTURE DE LAITUE**

**Présenté par :**

**Débora KOUSSAKOU**

**Encadreurs**

- 1- Dr. Hamma YACOUBA
- 2- Mariam SOU

Année académique 2006-2007

## Dédicaces

✚ A mon Dieu tout puissant, mon bouclier et ma forteresse, qui ne cesse de me combler de ses bienfaits

✚ A mes parents René et Sara Koussakou qui avez fait de notre éducation votre souci principal. Vous qui avez été au côté de mes frères et moi, sans être lassés pendant les durs moments de notre parcours, vous qui m'avez montré le chemin de la vie, je ne pourrai que vous rendre toute ma reconnaissance.

# Remerciements

Tous mes remerciements à tous ceux qui, de près ou de loin, de par leurs pensées ou prières, leur soutien moral ou psychologique ont contribué à la réalisation de ce travail.

-Tous mes remerciements à M<sup>elle</sup> Mariam SOU qui a été toujours disponible à tout moment et qui, malgré ses travaux, m'a accordé soutien et compréhension.

-Je remercie Mr. Hamma YACOUBA qui malgré ces occupations, a accepté de jeter un regard critique sur le travail.

-A Sawadogo Yacouba qui malgré ses travaux a accordé un intérêt à m'assister dans les analyses microbiologiques, recevez mes remerciements.

-A messieurs KABORE Mathieu et OUEDRAOGO Moustapha, exploitants du site expérimental du 2iE, pour leur collaboration lors de nos travaux de terrains, je vous suis reconnaissante.

-Je remercie tout le corps professoral du 2iE pour l'attention accordé pendant cette étude.

-Mes remerciements vont à l'endroit de mes frères Samuel et Joseph et de mes sœurs Dorcas, Christine, Jacqueline et Mariane pour votre soutien de tous les jours et le courage que vous m'accordez.

-A Papa SOUDE Aristide et sa fille Marlenne, pour tout ce que vous avez été pendant ces moments.

-Ma reconnaissance à tous les compatriotes, vous aviez été ma famille dans cette école.

-A Binta SIDIBE pour ton assistance pendant ces durs moments.

-A Marius Roméo SAGBOHAN pour ton soutien et ton amitié, reçois mes remerciements.

-A Edmond pour ton soutien et tes conseils sans lesquels je ne saurais arriver, sois en remercié.

-A toute la 36<sup>ème</sup> promotion, nous avons combattu le bon combat nous permettant d'ouvrir les portes de la vie professionnelle, courage à vous pour la suite.

## **TABLE DES MATIERES**

SIGLES ET ABREVIATIONS .....	VIII
LISTE DES PHOTOS.....	<b>ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.</b>
LISTE DES FIGURES .....	IX
LISTE DES TABLEAUX .....	X
RESUME :.....	XI
<b>GENERALITES .....</b>	<b>1</b>
INTRODUCTION.....	2
CONTEXTE DE L'ETUDE.....	3
OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	4
<b>Première Partie : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>5</b>
<b>I. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DES EAUX USEES TRAITEES6</b>	
<b>I.1 Origine des eaux usées .....</b>	<b>6</b>
I.1.1. Les eaux usées domestiques.....	6
I.1.2. Les eaux usées industrielles et hospitalières.....	7
I.1.3. Les eaux pluviales (eau de ruissellement).....	7
<b>I.2 Composition physico-chimique des eaux usées .....</b>	<b>8</b>
I.2.1. Le phosphore .....	8
I.2.2. L'azote.....	9
I.2.3. Le Potassium.....	9
I.2.4. Les éléments traces métalliques (ETM).....	10
<b>I.3 Caractéristiques microbiologiques des eaux usées .....</b>	<b>10</b>
I.3.1. Les virus .....	10
I.3.2. Les bactéries.....	10
I.3.3. Les protozoaires.....	11
I.3.4. Les Helminthes.....	11
<b>I.4 Pollution et normes.....</b>	<b>11</b>
I.4.1. Polluants et normes physico-chimiques.....	12
I.4.1.1. <i>Pollution physico-chimique</i> .....	12
I.4.1.2. <i>Normes physico-chimiques</i> .....	13
I.4.2. Micro-organismes pathogènes et normes microbiologiques.....	15
I.4.2.1. <i>Pollution microbiologique</i> .....	15
I.4.2.2. <i>Normes microbiologiques</i> .....	15
<b>II. MODE DE TRAITEMENT DES EAUX USEES.....</b>	<b>16</b>

<b>III. IMPACTS DES EAUX USEES TRAITEES SUR LES CULTURES MARAICHERES.....</b>	<b>18</b>
<b>III.1 Impacts sur la qualité sanitaire.....</b>	<b>19</b>
<b>III.2 Valeur fertilisantes des eaux usées et rendement des cultures.....</b>	<b>23</b>
<b>Deuxième Partie : CADRE DE REFERENCE DE L'ETUDE.....</b>	<b>25</b>
<b>CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE.....</b>	<b>26</b>
<b>I. LA STATION DE TRAITEMENT .....</b>	<b>26</b>
<b>II. DESCRIPTION DES FILTRES.....</b>	<b>29</b>
<b>II.1 Filtre sur sable et sur gravier.....</b>	<b>29</b>
<b>II.2 Filtre pilote.....</b>	<b>29</b>
<b>III. LE SITE AGRONOMIQUE .....</b>	<b>30</b>
<b>III.1 Système d'approvisionnement en eau d'irrigation.....</b>	<b>30</b>
<b>III.2 Les parcelles de culture .....</b>	<b>31</b>
<b>IV. PROGRAMME D'EXECUTION DES TRAVAUX .....</b>	<b>32</b>
<b>IV.1 Etude bibliographique.....</b>	<b>34</b>
<b>IV.2 Phase d'expérimentation .....</b>	<b>34</b>
IV.2.1. Caractérisation initiale du sol.....	34
<b>IV.3 Suivi microbiologique du sol.....</b>	<b>34</b>
IV.3.1. Suivi de la croissance et de la qualité des plantes .....	34
IV.3.2. Suivi de la qualité sanitaire et physico- chimique des eaux.....	35
IV.3.3. Qualité de la récolte.....	35
IV.3.4. Suivi de l'efficacité des filtres.....	35
<b>CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES .....</b>	<b>36</b>
<b>I. METHODOLOGIE DE MISE EN CULTURE DU SOL.....</b>	<b>36</b>
<b>I.1 Dispositif expérimental.....</b>	<b>36</b>
<b>I.2 Répartition des parcelles .....</b>	<b>37</b>
<b>I.3 Préparation et entretien des parcelles.....</b>	<b>37</b>
I.3.1. Labour et binage .....	37
<b>I.4 Traitement phytosanitaire des parcelles .....</b>	<b>38</b>
<b>I.5 Mise en culture .....</b>	<b>39</b>
<b>II. PILOTAGE DE L'IRRIGATION.....</b>	<b>40</b>
<b>II.1 Estimation des besoins en eau des cultures .....</b>	<b>40</b>
<b>II.2 Description du bac d'évaporation .....</b>	<b>41</b>
<b>II.3 Détermination du coefficient d'évaporation en Kb.....</b>	<b>42</b>
<b>II.4 Détermination du coefficient cultural Kc.....</b>	<b>42</b>
<b>II.5 Détermination des besoins en eau des cultures.....</b>	<b>43</b>
<b>II.6 Méthode et programme d'irrigation.....</b>	<b>44</b>

<b>CHAPITRE 3 : SUIVI DE PARAMETRES CARACTERISTIQUES DE L'ETUDE.....</b>	<b>45</b>
<b>I. SUIVI DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES.....</b>	<b>45</b>
<b>I.1 Détermination du paramètre Ph du sol .....</b>	<b>45</b>
<b>I.2 Les paramètres physico- chimiques des eaux d'irrigation.....</b>	<b>45</b>
I.2.1. Mesure du pH.....	45
I.2.2. Mesure des paramètres chimiques des eaux d'irrigation .....	46
<b>II. SUIVI BACTERIOLOGIQUE ET PARASITAIRE .....</b>	<b>46</b>
<b>II.1 Analyse bactérienne du sol.....</b>	<b>48</b>
<b>II.2 Analyse bactérienne des eaux d'irrigation .....</b>	<b>49</b>
<b>II.3 Analyse bactérienne des laitues.....</b>	<b>50</b>
<b>II.4 Analyses parasite du sol, de l'eau et des laitues .....</b>	<b>51</b>
<b>III. DETERMINATION DES RENDEMENTS .....</b>	<b>52</b>
<b>III.1 Méthode de détermination des rendements.....</b>	<b>55</b>
<b>III.2 Détermination de la biomasse .....</b>	<b>56</b>
<b>Troisième Partie : RESULTATS ET INTERPRETATIONS DES DONNEES .....</b>	<b>58</b>
<b>CHAPITRE 1 : EVALUATION DE L'EFFICACITE DE L'IRRIGATION.....</b>	<b>59</b>
<b>I. BESOIN EN EAU DE LA CULTURE .....</b>	<b>59</b>
I.1 Mesure de l'évaporation .....	59
I.2 Détermination des besoins en eau des cultures.....	60
<b>II. PILOTAGE DE L'IRRIGATION .....</b>	<b>61</b>
<b>CHAPITRE 2 : ETUDE DU FONCTIONNEMENT DU FILTRE.....</b>	<b>62</b>
<b>I. GRANULOMETRIE DU MATERIAU FILTRANT .....</b>	<b>62</b>
<b>II. RESULTATS MICROBIOLOGIQUES DES EAUX D'IRRIGATION.....</b>	<b>62</b>
<b>III. SUIVI BACTERIEN DU FILTRE PILOTE.....</b>	<b>64</b>
<b>CHAPITRE 3 : CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES .....</b>	<b>66</b>
<b>I. LE PH INITIAL DU SOL. ....</b>	<b>66</b>
<b>II. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX D'IRRIGATION .....</b>	<b>67</b>
<b>II.1 Potentiel d'hydrogène des eaux d'irrigation .....</b>	<b>67</b>
<b>II.2 Les nitrates et ammoniums (NO3 et NH4) .....</b>	<b>68</b>
<b>II.3 Les ortho phosphates et le potassium (PO4 et K2O) .....</b>	<b>69</b>
<b>III. LA QUALITE FERTILISANTE DES EAUX D'IRRIGATION .....</b>	<b>72</b>
<b>IV. LA DETERMINATION DES RENDEMENTS DES LAITUES .....</b>	<b>74</b>
<b>IV.1 Les résultats de la biomasse.....</b>	<b>75</b>
<b>IV.2 Les résultats du rendement.....</b>	<b>76</b>
<b>CHAPITRE 4 : CARACTERISTIQUES MICROBIOLOGIQUES .....</b>	<b>79</b>
<b>I. MICROBIOLOGIE DES EAUX D'IRRIGATION .....</b>	<b>79</b>

<b>I.1 Bactériologie des eaux d'irrigation .....</b>	<b>79</b>
<b>I.2 Parasitologie des eaux d'irrigation .....</b>	<b>80</b>
<b>II. MICROBIOLOGIE DU SOL.....</b>	<b>81</b>
<b>II.1 Bactériologie .....</b>	<b>81</b>
<b>II.2 Parasitologie des sols .....</b>	<b>82</b>
<b>III. MICROBIOLOGIE DES LAITUES .....</b>	<b>84</b>
<b>III.1 Parasitologie des laitues .....</b>	<b>85</b>
<b>CHAPITRE 5 : INTERPRETATION ET DISCUSSION .....</b>	<b>86</b>
<b>I. SUR LE RENDEMENT DES CULTURES .....</b>	<b>86</b>
<b>II. SUR LA QUALITE SANITAIRE.....</b>	<b>88</b>
RECOMMANDATIONS .....	90
CONCLUSION .....	92
GLOSSAIRE.....	93
BIBLIOGRAPHIE.....	95
SITES INTERNET .....	98
ANNEXES .....	99
ANNEXE 1 : PLANNING D'EXECUTION DES TRAVAUX .....	101
ANNEXE 2 : SUIVI DE L'EVAPORATION. ....	104
ANNEXE 3 : ABAQUE DE DETERMINATION DE KC ET KB .....	107
ANNEXE 4 : FICHE DE SUIVI DES ANALYSES .....	109
ANNEXE 5 : FICHES DES DONNEES (CAMPAGNE 2) .....	114
ANNEXE 6 : SUIVI DES PARAMETRES DE L'ETUDE (CAMPAGNE 3) .....	123
ANNEXE 7 : PHOTOS DES PRODUITS DU TRAITEMENT PHYTOSANITAIRE.....	134
ANNEXE 8 : PHOTOS DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL DES ANALYSES .....	135
ANNEXE 9 : PROTOCOLE DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES.....	136

## **SIGLES ET ABREVIATIONS**

**2iE** : Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

**BM** : L'eau du Bassin de Maturation

**BUNASOL** : Bureau National des Sols

**CF** = Coliformes Fécaux

**E. coli** = Escherichia coli

**EF** : L'Eau Filtrée

**EIER** : Ecole inter Etats de l'Hydraulique et de l'Equipement Rural

**EIER** : Ecole Inter-états d'Ingénieurs de l'Equipement Rural

**EPFL** : Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

**ETM** = Elément Trace Métallique

**ETP** = Evapo-Transpiration Potentielle

**ETM** : Evapo-Transpiration Maximale

**ETSHER** : Ecole de Techniciens Supérieurs de l'Hydraulique et de l'Equipement Rural

**EU** = Eau Usée

**EUT** = Eau Usée Traitée

**FAO** : Organisation des nations unies pour l'Agriculture et l'Alimentation

**GEDU** : Equipement et Gestion de l'eau et des Déchets en milieu Urbain

**GVEA** : Gestion et Valorisation des Eaux et Assainissement

**INERA** : Institut National d'Etude et de Recherche Agronomique

**KOP** = Kystes et Oeufs de Parasites

**Les éléments N, P, K** : Les éléments azote, phosphore et potassium

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>**: Ammonium

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Nitrate

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**pH** : potentiel d'Hydrogène.

**REUT** : Réutilisation d'Eaux Usées Traitées

**SF** = Streptocoques Fécaux

**STEP** = Station d'EPuration

**UFC** = Unité Format Colonie

**UTER** : Unité Thématique d'Enseignement et de Recherche

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1: Système de traitement par lagunage des eaux usées du 2iE .....	18
Figure 2: Système de filtration du 2iE .....	18
Figure 3: Différentes filières de traitement des eaux usées du 2iE .....	27
Figure 4: Les bassins de lagunage du site du 2iE.....	27
Figure 5: Filtre sur sable et sur gravier.....	29
Figure 6: Filtre pilote.....	30
Figure 7: Bâche de stockage d'eau usée traitée .....	31
Figure 8: Les parcelles de culture de l'étude.....	32
Figure 9: Diagramme de la méthodologie générale .....	33
Figure 10: Parcelles du site expérimental du 2iE .....	36
Figure 11: Phase de repiquage des laitues.....	40
Figure 12: bac d'évaporation du site expérimental du 2iE (classe A).....	41
Figure 13: Les dimensions et superficies des parcelles.....	43
Figure 14: Boîtes incubées à 44°C (Détermination des coliformes).....	47
Figure 15: Présentation des lignes récoltées (Campagne 1) .....	54
Figure 16: Présentation des lignes récoltées (campagne 2).....	55
Figure 17: Courbes d'évolution de la demande climatiques.....	59
Figure 18: Courbe des coefficients d'efficacité des deux campagnes.....	60
Figure 19: Aperçu des matériaux de filtration colmatés .....	62
Figure 20: Courbes comparatives de la charge en Coliformes fécaux des eaux usées .....	63
Figure 21: Bactériologie des eaux du filtre pilote .....	65
Figure 22: Suivi du pH des eaux d'irrigation.....	67
Figure 23: Suivi des nitrates dans les eaux d'irrigation .....	68
Figure 24: Suivi les ammoniums dans les eaux d'irrigation .....	69
Figure 25: Suivi des ortho phosphates (PO <sub>4</sub> ) .....	70
Figure 26: Suivi du potassium (K) .....	71
Figure 27 : Biomasse des laitues (campagne 1 et 2).....	75
Figure 28: Aperçu des cultures de laitues (campagne1).....	76
Figure 29: Aperçu de cultures (Campagne 2) .....	76
Figure 30: Rendement des cultures (campagne 1 et 2).....	77
Figure 31: Diagramme comparatif des rendements .....	78
Figure 32: Charge en coliformes fécaux des eaux d'irrigation .....	79
Figure 33: Bactériologie des sols (coliformes fécaux).....	81
Figure 34: Charge en coliformes fécaux des laitues .....	84

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1: Limites recommandées en ETM dans les EUE destinées à l'irrigation <sup>a</sup> .....	13
Tableau 2: Directives d'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAO, 1985).....	14
Tableau 3: Pollution microbiologique des eaux usées .....	15
Tableau 4: Normes et directives microbiologique .....	16
Tableau 5: Dose minimale infectantes (DMI) moyennes des agents pathogènes .....	20
Tableau 6: Caractéristiques épidémiologiques des microbes pathogènes entériques en termes de leur efficacité en causant des infections par l'irrigation d'eau usée.....	20
Tableau 7: Qualité parasitaire des cultures maraichères (Niang, 1996). .....	21
Tableau 8: Inventaire de quelques germes pathogènes. ....	23
Tableau 9: Teneur initiale en éléments fertilisants du sol .....	32
Tableau 10: Traitement phytosanitaire .....	39
Tableau 11: Les paramètres de détermination de Kb .....	42
Tableau 12: Référence de protocoles d'analyse chimique des eaux .....	46
Tableau 13: Comparaison de la microbiologie du BM et EF .....	63
Tableau 14: Bactériologie des eaux du filtre (coliformes fécaux).....	64
Tableau 15:pH initial du sol des parcelles de culture. ....	66
Tableau 16: Evaluation des éléments fertilisants des eaux d'irrigation (campagne 2).....	72
Tableau 17: Synthèse de l'équivalent fertilisant de l'eau (campagne 2) .....	72
Tableau 18: Recommandations de l'INERA.....	73
Tableau 19: Evaluation des éléments fertilisants (campagne3).....	73
Tableau 20: Synthèse des éléments fertilisant de l'eau (campagne3).....	74
Tableau 21: Synthèse des éléments fertilisants des eaux d'irrigation.....	74
Tableau 22: Tableau comparatif des résultats de rendement des deux campagnes.....	77
Tableau 23: Charge en Escherichia Coli des eaux d'irrigation.....	80
Tableau 24 : Identification des Escherichia coli du sol.....	82
Tableau 25: Parasitologie du sol (campagne 2).....	83
Tableau 26: Tableau comparatif de la charge microbienne et la teneur en eau du sol.....	83
Tableau 27: Charge bactérienne (Escherichia Coli).....	85
Tableau 28: Parasitologie des laitues (campagne 2). ....	85

## **RESUME :**

La mobilisation et l'utilisation optimale de la ressource en eau en irrigation constituent de nos jours une préoccupation scientifique. Ainsi, de nombreuses études sont menées afin de déterminer les moyens possibles d'économiser ou d'optimiser la ressource disponible par une réutilisation des eaux usées traitées (REUT). La station d'épuration du 2iE présente au niveau du bassin de maturation, des eaux usées traitées ayant une charge en C.F. supérieure aux normes de l'OMS. De plus, la modification du système par l'ajout d'un procédé de filtration n'a pu arranger cette qualité. Cette étude sur « ***l'évaluation et la caractérisation de la qualité sanitaire des eaux usées traitées*** » s'est réalisée sur 06 parcelles expérimentales cultivées en laitue permettant l'analyse de l'eau filtrée avant et après filtration, et un suivi régulier des éléments fertilisants, bactériens et parasitaires. Elle permet de révéler une présence en Coliformes Totaux de l'ordre de  $10^6$  CF/100ml avec une moindre charge en E.Coli avoisinant 2000 UFC/100 ml ; les éléments fertilisants (N, P, K) présents confèrent une richesse appréciable à ces eaux. L'absence totale des eaux usées en parasites confirme la provenance de ces eaux (eaux usées domestiques). Le dysfonctionnement total du filtre dû à une mauvaise granulométrie du matériau filtrant n'a pu permettre une comparaison des rendements et de la qualité sanitaire de ces eaux, malgré l'utilisation d'un filtre prototype (capacité du filtre < besoins). Néanmoins, la valeur fertilisante des eaux usées après le BM améliore le rendement (la production) des laitues (11 à 13 t/ha) mais reste insuffisant pour les valeurs optimales (15 à 25 t/ha). L'analyse bactériologique des eaux réalisée au niveau du filtre prototype montre une amélioration de la charge ( $10^5$  CF/100ml) mais le temps d'étude alloué n'a pu permettre un fonctionnement optimal de ce dernier.

L'utilisation de ces eaux usées traitées en agriculture constitue un avantage certain par son pouvoir fertilisant. L'assurance de la ressource en eau, la sauvegarde de l'environnement et de la santé humaine nécessitent encore des recherches plus poussées et l'association d'autres traitements et techniques complémentaires (goutte à goutte).



## **GENERALITES**

# INTRODUCTION

Bon nombre de pays en voie de développement dont le Burkina Faso ont choisi de développer l'agriculture qui est la base de leur économie.

La raréfaction des ressources en eau et la dégradation de leur qualité constituent un majeur pour le XXI<sup>ème</sup> siècle. Afin de préserver la qualité des masses d'eau et pour diminuer les prélèvements dans le milieu naturel, il convient de chercher des ressources en eau alternatives. La réutilisation des eaux usées épurées (REUE) peut constituer l'une des solutions alternatives. Dans cette perspectives, la Réutilisation d'Eau Usée (REU) recouvre deux notions complémentaires : **Le traitement puis la réutilisation.**

L'Institut international d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) dispose, en son sein, d'un système de traitement par lagunage et d'un espace d'expérimentation qui permet d'évaluer la qualité du traitement de ces eaux usées. Selon Brouwer et Chaney (1974), les eaux usées traitées sont riches en éléments fertilisants. Néanmoins, des questions de la qualité sanitaire se posent. Les eaux usées sont fortement chargées en polluants et en contaminants divers, ceci pose des problèmes de risques sanitaires liés à leur réutilisation et de traitements nécessaires.

Afin de résoudre ces différents problèmes, le 2iE a mis en place un traitement complémentaire de filtration qui a pour objectif d'améliorer la qualité bactérienne et parasitaire des eaux usées traitées. Cependant, ce système a un impact sur les teneurs en éléments fertilisants contenus dans les eaux usées traitées.

Le présent document synthétise le contenu de l'étude selon le plan suivant :

- ✚ **Dans une première partie**, nous ferons une analyse de la synthèse des connaissances nous permettant de mener à bon nos études.
- ✚ **La deuxième partie** présente les méthodes de travail adoptées. Elle comprend la méthodologie générale, les étapes des travaux de terrain et le suivi des paramètres.
- ✚ **La troisième partie**, présente l'analyse et l'interprétation des résultats ainsi que des études comparatives sur le rendement et la qualité sanitaire de la culture de laitue irriguée par l'eau usée traitée avant et après la filtration.

Toutes ces études nous permettront de conclure sur la nécessité et l'efficacité d'un filtre à sable, à l'aval de la station de lagunage. Pour répondre à ces objectifs et faciliter l'exploitation des données, un organigramme des étapes méthodologiques retrace la chronologie des différents travaux effectués auquel est joint un planning d'exécution des travaux.

## **CONTEXTE DE L'ETUDE**

Dans le cadre de la formation d'ingénierie, il est prévu un stage de fin de cycle au 2iE. Il intervient à la fin de formation et a pour objectif de mettre l'étudiant en situation professionnelle en lui permettant de travailler sur une étude de cas en relation avec ses acquis théoriques.

C'est dans cette logique que des études sont menées sur certaines unités du 2iE dont l'unité de traitement des eaux usées par lagunage. Ce travail est effectué dans le cadre global d'une thèse sur la valorisation des eaux usées traitées en agriculture (Mariam Sou).

Les différentes études déjà réalisées concernent l'estimation de la valeur fertilisante et la caractérisation de la qualité sanitaire des eaux usées à la sortie du bassin de maturation. Dans le souci d'optimiser cette réutilisation des eaux usées traitées (REUT) et améliorer la qualité sanitaire, l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement juge nécessaire de compléter par un autre traitement.

Ainsi, en 2007, la station de traitement a subi une modification avec l'ajout d'un système de filtration sur sable et gravier à l'aval du dernier bassin de lagunage (bassin de maturation).

Ce traitement a pour objectif d'améliorer la qualité bactérienne des eaux usées traitées.

Notre étude s'inscrit dans le cadre de l'estimation de la valeur fertilisante de l'eau filtrée et de l'évaluation de la qualité sanitaire de celles-ci. Les impacts de la réutilisation de l'eau usée sur les laitues permettront de conclure sur l'efficacité de la filtration.

## OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'objectif global de cette étude est d'observer l'effet du traitement par filtration sur le rendement puis la qualité sanitaire des laitues provenant de l'utilisation des EUT du site du 2iE avant et après filtration. Cela conduira à réaliser une étude comparative des deux types d'eau et à tirer une conclusion sur l'efficacité du système de filtration dont l'objectif était d'améliorer le système de traitement des EU du 2iE.

Les objectifs spécifiques de l'étude sont les suivants :

- ✚ Evaluer la valeur fertilisante des EUT avant et après filtration,
- ✚ Evaluer la contamination bactérienne et parasitaire du sol, des eaux d'irrigation et des laitues,
- ✚ Déterminer les rendements de la culture par irrigation de ces eaux,
- ✚ Déterminer la qualité sanitaire des laitues
- ✚ Effectuer une comparaison des résultats

La culture choisie est la laitue : à cause de sa période culturale faible comprise entre 30 et 40 jours. Les eaux d'irrigation permettant d'aboutir aux résultats de l'objectif sont :

- Les eaux usées traitées à la sortie du bassin de maturation,
- Les eaux usées traitées après passage à la filtration.

Pour atteindre ces objectifs, quatre parties ont été développées. Cette étude se limitera à l'évaluation de la qualité sanitaire des laitues.

**PREMIERE PARTIE : SYNTHESE  
BIBLIOGRAPHIQUE**

La pénurie d'eau est un fait largement reconnu dans les pays d'Afrique. Presque toutes les ressources accessibles 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. L'eau usée traitée récoltée à l'aval des systèmes d'assainissement urbain représente une eau renouvelable non conventionnelle, qui pourrait être une source attrayante et bon marché à employer en agriculture dans les centres périurbains. Cependant, en raison de la nature variable de la composition de cette eau (charge en constituants minéraux, organiques et biologiques) sa réutilisation devrait être gérée soigneusement, surveillée et contrôlée par des spécialistes afin de prévenir et d'anticiper sur les risques et menaces potentiels sur les usagers, le sol, l'eau et les cultures irriguées ainsi que sur l'environnement dans son ensemble (FAO ,2003).

L'irrigation des cultures avec les eaux usées devient de plus en plus fréquente. Cette pratique bien qu'elle ne soit pas socialement acceptée, elle connaît un essor considérable. L'utilisation des eaux usées demeure une des alternatives pouvant contribuer à pallier le déficit hydrique dans les pays où les ressources en eau sont limitées. Selon Brouwer et Chaney (1974) l'utilisation des eaux usées en agriculture constitue à la fois une ressource en eau et une source en éléments nutritifs nécessaire à la croissance des végétaux. Mais malgré ce double avantage, il est démontré que ces eaux influent sur la qualité sanitaire des cultures (FAO, 2003).

## **I. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DES EAUX USEES TRAITEES**

### **I.1 ORIGINE DES EAUX USEES**

#### **I.1.1. Les eaux usées domestiques**

Les eaux usées d'origine domestique sont issues du rejet des eaux utilisées dans les tâches ménagères courantes (lessive, toilette, douche, cuisine). Dans les centres urbains des grandes métropoles ces eaux sont collectées dans la plupart des cas par un réseau d'égouts.

On distingue deux catégories d'eaux usées domestiques :

-  Les eaux vannes qui correspondent aux eaux de toilettes,
-  Les eaux grises qui sont celles des autres tâches (lessive, douche, cuisine).

Selon Baumont et al (2004), la composition des eaux usées traitées est variable et dépend de la composition originelle de l'eau, de son utilisation et des utilisateurs eux mêmes. Les eaux grises sont chargées essentiellement de détergents, solvants, graisses et débris organiques tandis que les eaux vannes sont plutôt riches en diverses matières organiques

azotés et germes fécaux. Cette dernière catégorie contient entre autre des microorganismes pathogènes dans la catégorie des bactéries, les virus, les kystes de protozoaires et les œufs de parasites.

A travers l'eau et le sol qui sont les deux principaux véhicules, ces microorganismes peuvent être transférés sur les cultures qui deviennent à leur tour des supports de transmission des maladies vers l'homme. L'homme peut être contaminé après l'ingestion de produits agricoles contaminés.

### **I.1.2. Les eaux usées industrielles et hospitalières**

Tous les rejets résultants d'une utilisation autre que domestiques sont qualifiés d'eau usée industrielle ou hospitalière. Cela concerne des rejets des usines, des activités artisanales et commerciales : blanchissement, restaurant ; puis des laboratoires d'analyses médicales. Ces eaux peuvent suivre trois voies d'assainissement :

- ✚ rejet direct dans le réseau domestique,
- ✚ prétraitement puis rejet dans le réseau domestique
- ✚ traitement complet et rejet dans le milieu naturel.

Elles contiennent des matières organiques azotées et phosphorées, mais également des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures, des antibiotiques et autres produits pharmaceutiques peu ou pas biodégradables. La nature des polluants est étroitement liée à l'activité industrielle en amont des zones de rejet de ces eaux.

Les eaux usées industrielles sont généralement plus riches en éléments minéraux. Dans le cas d'un mélange des ces eaux avec des eaux usées domestiques, la salinité finale du mélange augmente très sensiblement et peut engendrer des pollutions environnementales importantes même en cas de traitement secondaire des ces eaux.

### **I.1.3. Les eaux pluviales (eau de ruissellement)**

Les eaux de pluie qui ruissellent sur les surfaces imperméabilisées (les routes bitumées, les toits...), peuvent être évacuées séparément ou dans le même réseau de collecte que les eaux usées. On distingue :

- ✚ Les réseaux unitaires : un seul collecteur assure le transport des eaux usées et des eaux pluviales d'où la variation de la composition des eaux usées qui arrivent à la station de traitement.
- ✚ Les réseaux séparatifs : deux réseaux sont mis en place, l'un pour collecter les eaux usées, l'autre pour collecter les eaux de ruissellement.

Le 2iE emploie ce dernier type de réseau où le réseau de collecte des eaux usées est différent du réseau de collecte des eaux de ruissellement. Les eaux de ruissellement peuvent constituer une source de pollution supplémentaire car elles sont capables d'entraîner des polluants de sources variables et de concentrations élevées.

## **I.2 COMPOSITION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX USEES**

Selon Radoux (1995), les principaux paramètres caractéristiques des eaux usées urbaines se regroupent en quatre grandes classes que sont : Les paramètres physiques (le pH, la température) ; les paramètres chimiques (Ca, Mg, K, Na, Cl, NO<sub>3</sub>, N, P,) ; les paramètres organiques (MES, DCO, DBO<sub>5</sub>, DTO) ; et les paramètres biologiques (bactéries, virus, les microflores).

Parmi les éléments chimiques, les paramètres caractéristiques de la valeur fertilisante des eaux usées sont : L'azote assimilable par la plante (nitrates et les ammoniums), le phosphore (ortho phosphates) assimilable par la plante ; et le potassium.

Les études de *Sou (2006)* et *Lakté (2006)* sur la qualité fertilisante des eaux usées domestiques ont montré qu'elles sont riches en éléments fertilisants.

### **I.2.1. Le phosphore**

Selon Skiredj (2007), il se trouve sous trois formes dans le sol:

- La forme diffusible, où le phosphore est lié au complexe argilo humique par le calcium et le magnésium.
- •les formes combinées, où le phosphore est immobilisé, en partie, par les hydroxydes d'aluminium et de fer dans les sols acides. Leur libération nécessite le chaulage du sol et l'apport d'humus.
- les formes insolubles, formées en terre calcaire par l'acide phosphorique combiné au calcium qui donne des phosphates de calcium dont certaines formes sont insolubles.

Le phosphore dans l'eau usée après traitement secondaire (comme par exemple un procédé de lagunage naturel), varie de 6 à 15 mg/l soit 15 à 35 mg/l de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (FAO, 2003). Le phosphore assimilable par la plante est sous forme d'ion monovalent (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) et bivalent (HPO<sub>2</sub><sup>-</sup>). Ces formes dépendent du pH du sol. Elles n'existent dans la solution du sol que dans les gammes de pH de 6.2 à 7.5 et au-delà.

### **I.2.2. L'azote**

Les eaux usées contiennent de l'azote sous forme d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), de nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) et de nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) qui sont les formes directement assimilables par les végétaux. Cependant, l'azote est présent sous forme organique ( $N_{org}$ ) constituant une réserve assimilable après une oxydation préalable dans le sol.

Les eaux usées traitées urbaines après traitement secondaires comportent une teneur en azote total variant entre 20 et 60 mg/l (FAO, 2003).

Dans le cas des eaux usées traitées du 2iE, l'apport d'azote est d'environ 60kg/ha, celle de phosphore de 28kg/ha et l'apport de potassium de 128kg/ha (Lakte, 2006).

La fraction ammoniacale de l'azote diminue généralement avec le temps en fonction de l'activité de nitrification. Une accumulation de l'ammonium dans le sol indique donc des apports supérieurs à la capacité de nitrification du sol. Les formes nitratées de l'azote du sol augmentent avec la nitrification de l'ammonium. Cette augmentation est suivie d'une chute du pH du sol. Les travaux de Kirby (1968) démontrent que le prélèvement de l'azote principalement sous forme de nitrate par la plante entraîne une alcalinisation du sol alors qu'une acidification du sol est observée lorsque le prélèvement effectué est sous forme d'ammoniacal. Les conclusions de cette étude concordent avec ceux d'Iskandar et al. (1976), qui ont démontrés que les sols ont tendance à s'acidifier lorsqu'ils sont irrigués avec des eaux usées à forte teneur en ammonium. Cette acidification résulte de la transformation de l'ammonium en nitrate qui est un processus biochimique libérateur d'ions hydrogène ( $\text{H}^+$ ). Les auteurs précisent que cette opération est effectuée quand ce phénomène se produit sur tous les sols, même dans le cas des sols amendés avec des fertilisants synthétiques.

La disponibilité de l'azote pour les plantes peut être également conditionnée par les conditions climatiques de la zone d'étude. Page et Talibudeen, (1977) puis Liao et Bartholomen, (1974) ont mis en évidence une accumulation de nitrate à la surface du sol en période sèche, ce qui rend cette source d'azote inaccessible à la zone racinaire des plantes.

### **I.2.3. Le Potassium**

Il joue un rôle important dans la croissance des plantes mais n'entre pas dans la composition organique des composés. La mobilité du potassium dans le sol est inférieure à celle des nitrates. Cependant les sols bien drainés peuvent entraîner une quantité appréciable de potassium en profondeur.

La concentration moyenne en K dans les eaux usées traitées (après un traitement secondaire) varie de 10 à 30 mg/l, soit 12 à 36 mg/l de  $\text{K}_2\text{O}$  (FAO, 2003).

#### **I.2.4. Les éléments traces métalliques (ETM)**

Les ETM proviennent principalement de hauts fourneaux, de raffineries, d'usines de production, de véhicules, de mines métallifères, d'industries de la céramique (plomb et cadmium), de tanneries (chrome), des centrales électriques utilisant du lignite, d'industries de l'aluminium, et d'industries électroniques et métallurgiques. Certains ETM peuvent précipiter dans les vidanges d'égouts qui peuvent par conséquent en contenir une teneur importante. Les ETM immobilisées dans les couches supérieures du sol, peuvent par accumulation, entraîner des risques pour le développement des plantes (Ni, Cu, Zn), la santé des hommes et des animaux (Mo, Cd). Le molybdène et surtout le cadmium sont toxiques pour les animaux et l'Homme, à des concentrations bien inférieures aux seuils de phytotoxicité (Faby, 1997).

### **I.3 CARACTERISTIQUES MICROBIOLOGIQUES DES EAUX USEES**

Les eaux usées sont fortement contaminées et porteuses de germes pathogènes (Niang et al, 2003 ; Koné, 2002 ; Mara et al, 1991). Ces micro-organismes comprennent, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes.

#### **I.3.1. Les virus**

Ce sont des micro-organismes qui se multiplient uniquement dans une cellule hôte. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre  $10^2$  et  $10^4$  particules par litre (Asano, 1998). Les entérovirus (polio), les rotavirus, les rétrovirus, les adénovirus et les virus de l'hépatite A sont les virus entériques humains les plus importants. Ils sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte.

#### **I.3.2. Les bactéries**

Ce sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et  $10\mu\text{m}$ . Les bactéries entériques ne sont pas toutes pathogènes. Les eaux usées brutes contiennent en moyenne  $10^7$  à  $10^8$  ufc/l<sup>1</sup>, tandis que la concentration en bactéries pathogènes est de l'ordre de  $10^4$  ufc/l (Faby, 1997). Dans les analyses de routines destinées

---

<sup>1</sup> ufc/l = unité formant colonies (s'assimile au nombre de bactéries par litre)

à estimer la charge de bactéries issues de la flore intestinale de l'homme ou des animaux, il est d'usage de procéder au dénombrement d'indicateur de pollution fécale. Ces indicateurs sont des bactéries dont l'habitat naturel est la flore intestinale humaine. Leur présence dans l'eau permet de mettre en évidence une contamination des ces eaux par de la matière fécale. Les principaux indicateurs sont les **coliformes fécaux** dont l'espèce **Escherichia Coli** et dans une moindre mesure, les **entérocoques**.

### **I.3.3. Les protozoaires**

Il s'agit des organismes unicellulaires munis d'un noyau plus complexes et plus gros que les bactéries (Denyigba, 2004). La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes **parasites**. Certains protozoaires adoptent lors de leurs cycles de vie, des formes résistantes appelées **kystes**. On peut citer parmi ceux-ci, les *Entamoeba histolytica*, responsables de la dysenterie amibienne ou encore *Gardia lamblia*.

### **I.3.4. Les Helminthes**

Ce sont des organismes unicellulaires à l'image des protozoaires. Ces organismes sont classifiés parmi les **parasites**. Les **œufs d'helminthes** sont très résistants et peuvent survivre plusieurs semaines voire plusieurs mois (Bouhoum et al, 2003). La concentration des œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 1000 œufs/l (Faby, 1997).

L'ensemble des protozoaires et des helminthes forme la gamme des kystes et œufs de parasites (<sup>2</sup>**KOP**).

## **I.4 POLLUTION ET NORMES**

La réutilisation des eaux usées traitées implique de se conformer à des normes de protection sanitaire et environnementale. En effet, comme l'a précisé Wethe (2006) dans son manuscrit sur le traitement des eaux usées, la pollution de l'eau est une notion qui renvoi à plusieurs paramètres caractéristiques de cette eau.

Il distingue ainsi :

- ✚ la pollution primaire, qui comprend les paramètres de température, conductivité, pH et Matières en suspension - MES ;

---

<sup>2</sup> KOP : kystes de protozoaires et œufs de parasites

- ✚ la pollution secondaire, qui est la pollution organique, comprenant la Demande Biochimique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>), la Demande Chimique en Oxygène (DCO) et la Demande Total en Oxygène (DTO) ;
- ✚ la pollution tertiaire qui est d'origine minérale : azote, potassium, phosphate, ...
- ✚ et la pollution quaternaire qui concerne les micro-organismes : bactéries, virus...

#### **I.4.1. Polluants et normes physico-chimiques.**

##### ***I.4.1.1. Pollution physico-chimique***

Dans le contexte de la valorisation agricole des eaux usées, une partie des composées minérales se trouvant dans les eaux usées servent de macronutriments (N, P, K) ou d'oligo-éléments indispensables à la croissance des végétaux. Cependant, lorsque leurs concentrations deviennent très nettement supérieures aux besoins des cultures, ces éléments s'accumulent dans le sol et/ou dans la plante de manière excessive ou sont lessivés vers les eaux souterraines. Au-delà d'un certain seuil fixé par les normes, ces composés deviennent des polluants dont les impacts sur l'homme et l'environnement sont plus ou moins déterminés selon le type de composant. Il est nécessaire de tenir compte de tous les paramètres pour évaluer les besoins en éléments fertilisants des cultures. Certes, les éléments fertilisants sont importants pour une culture optimale mais lorsque leur quantité est élevée, elles peuvent avoir des conséquences néfastes sur la santé des usagers. On parle alors de pollution lorsque la quantité en élément chimique est excessive.

A concentration égale la toxicité des ions diffère d'un élément à l'autre ; le bore est par exemple plus toxique pour une culture en comparaison aux chlorures ou au sodium (FAO, 2003). C'est sur la base de cette toxicité que les normes sont déterminées.

**Les nitrates** : Selon Baumont et al, (2004), les nitrates, qui permettent de fournir de l'azote à la plante, sont également les polluants agricoles les plus fréquents. En effet, apportés en excès, ils peuvent avoir plusieurs impacts négatifs :

- ✚ sur les cultures : ils entraînent des retards de maturation, une altération de la qualité du produit final,
- ✚ sur le milieu naturel : les nitrates sont l'un des principaux agents responsables de l'eutrophisation des milieux aquatiques ;
- ✚ sur la santé humaine : les nitrates peuvent être à l'origine de la formation de nitrites et de nitrosamines. Les nitrites sont de puissants oxydants qui ont la capacité de transformer l'hémoglobine en méthémoglobine, rendant le sang incapable de transporter l'oxygène

jusqu'aux tissus. Les nourrissons de moins de 6 mois représentent une population à risque.

**Les phosphates** : Lorsqu'ils sont apportés au sol à travers les eaux usées, les phosphates entraînent une augmentation de la concentration du phosphore disponible dans le sol ; toutefois cette concentration diminue dans le temps à cause des mécanismes de rétention du sol. Par conséquent, le lessivage de cet élément est faible.

**Les éléments traces et métaux lourds** : Ils constituent l'un des problèmes cruciaux de la réutilisation des eaux usées traitées. Les métaux (cuivre, molybdène, nickel, et zinc) dans la plus part des cas lorsqu'ils sont en excès, s'accumulent dans les cultures qui sont ensuite consommées par les animaux et les Humains. Cela présente donc un véritable problème de santé publique (Biswas 1987). Pour réduire ces impacts négatifs, il est important de travailler dans le respect des normes fixées pour ces paramètres.

#### **1.4.1.2. Normes physico-chimiques**

Les normes FAO en éléments traces métalliques, relatives à l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture sont résumées dans le tableau 1. FAO (2003). Il existe deux valeurs seuil selon l'usage à court ou moyen terme de ces eaux.

**Tableau 1: Limites recommandées en ETM dans les EUE destinées à l'irrigation<sup>a</sup>**

<b>Constituants</b>	<b>Utilisation à long terme<sup>b</sup> (mg/l)</b>	<b>Utilisation à court terme<sup>c</sup> (mg/l)</b>
Aluminium	5,0	20,0
Arsenic	0,10	2,0
Béryllium	0,10	0,5
Bore	0,75	2,0
cadmium	0,01	0,05
Chlore	0,1	1,0
Cobalt	0,05	5,0
Cuivre	0,2	5,0
Flore	1,0	15,0
Fer	5,0	20,0
Plomb	5,0	10,0
Lithium	2,5	2,5
Manganèse	0,2	10,0
Molybdène	0,01	0,05
Nickel	0,2	2,0
Sélénium	0,02	0,02
Vanadium	0,1	1,0
Zinc	2,0	10,0

<sup>a</sup> Adapté de : Académie nationale des services- National Academy of Ingeneering

<sup>b</sup> Pour l'eau utilisée sans interruption sur tout les sols

<sup>c</sup> Pour l'eau utilisée pendant une période d'au plus 20 ans sur des sols de texture fine, neutres ou alcalins.

Les teneurs de certains éléments chimiques comme le sodium (Na), le chlore (Cl) et le bore (B) ont été fixées par la FAO (1985) permettant de qualifier les eaux d'irrigation.

Tableau 2: Directives d'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAO, 1985)

Problèmes potentiels en irrigation	Unités	Degré de restriction à l'usage		
		Aucun	Léger à modéré	Sévère
<b>Salinité</b>				
EC <sub>w</sub> <sup>3</sup>	dS/m	<0,7	0,7 – 3,0	>3
ou				
TDS	mg/l	<450	450 - 2000	>2000
<b>Infiltration</b>				
SAR <sup>4</sup> = 0-3 et EC <sub>w</sub> =		>0,7	0,7 - 0,2	0,2
=3-6 =	dS/m	>1,2	1,2 - 0,3	0,3
=6-12 =		>1,9	1,9 - 0,5	0,3
=12-20 =		>2,9	2,9 - 1,3	1,3
=20-40 =		>5,0	5,0 - 2,9	2,9
<b>Toxicité spécifique des ions Sodium (Na)</b>				
Irrigation de surface	SAR	<3	3 - 9	>9
Irrigation par aspersion	méq/l	<3	3	
<b>Chlorure (Cl)</b>				
Irrigation de surface	méq/l	<4	4 - 10	>10
Irrigation par aspersion	méq/l	<3	>3	
<b>Bore (B)</b>	mg/l	<0,7	0,7 - 3,0	>3,0
<b>Effets divers</b>				
Azotes (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N) <sup>5</sup>	méq/l	<5	5 - 30	>30
Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> )	méq/l	>1,5	1,5 - 8,5	>8,5
<b>pH</b>	Gamme normale : 6,5-8,4			

<sup>3</sup> EC<sub>w</sub> : Conductivité électrique en décisiemens par mètre à 25°C

<sup>4</sup> SAR : Taux d'absorption de sodium (Sodium Absorption Ratio)

<sup>5</sup> (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> -N) : Azote sous forme de nitrate rapporté en termes d'azote élémentaire

## **I.4.2. Micro-organismes pathogènes et normes microbiologiques**

### **I.4.2.1. Pollution microbiologique**

Les eaux usées contiennent des micro-organismes tels que les virus les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Les études de Faby (1997) et de Asano (1983) donnent la charge microbienne des eaux usées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 3: Pollution microbiologique des eaux usées**

<b>Désignations</b>	<b>Nombre pour un litre</b>
Virus	10 à 100000
Protozoaires	4 à 100000
Helminthes	5 à 188
bactéries	$10^7$ à $10^8$

Source : Faby (1997) et Asano (1983)

Les valeurs élevées de la charge microbienne signalent une pollution des eaux usées traitées.

Les analyses de l'eau après lagunage ont montré que l'eau usée traitée avait une concentration en germes témoins de contamination fécale (*coliformes thermo tolérants et entérocoques*) égale à  $10^5$  CF/100ml alors que les kystes et œufs d'helminthes sont entièrement éliminés (Devaux, 1998). Néanmoins, les coliformes fécaux restent supérieures au seuil de 1000 ufc/100 ml fixé par l'OMS<sup>6</sup> pour l'irrigation non restrictive. (WHO, 2006).

Compte tenu de ces raisons de forte concentration en micro-organismes, la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture est considérée comme sans risque uniquement dans le cas où ces eaux sont traitées et respectent les normes sanitaires fixées par l'OMS. Il s'agit des normes et directives conçues pour protéger les agriculteurs, les riverains et les consommateurs des produits agricoles.

### **I.4.2.2. Normes microbiologiques**

La contamination des eaux par les bactéries pathogènes est communément évaluée par la charge en coliformes fécaux. Celle des parasites est évaluée par le nombre d'œuf d'helminthe.

---

<sup>6</sup> OMS : Organisation Mondiale de la Santé

L'OMS (1989) recommande une élimination complète (ou quasi complète) des œufs d'helminthes, soit moins d'un œuf par litre et une charge en coliformes fécaux inférieure à 1000 C.F par 100 ml d'eau comme gage d'une eau de qualité convenable pour une irrigation non restrictive des cultures, y compris celles destinées à être consommées crues.

Les directives OMS servent de base aux réglementations de nombreux pays (cf. tableau 4). Ces réglementations ne sont pas définitives et des révisions régulières et progressives peuvent être appliquées pour tenir compte de l'évolution du niveau de vie des populations ou pour adapter les restrictions aux réalités économiques des pays concernés.

Depuis 2006 l'OMS revoit ses directives et semble désormais préconiser leur adaptation aux spécificités sociales et économiques de chaque pays.

**Tableau 4: Normes et directives microbiologique**

Les régions ou Institutions	Type	Qualité requise en termes de santé publique
Afrique du sud	Directives	La concentration doit être de 0,0 CF/100ml. Le niveau de traitement est primaire, secondaire et tertiaire
Mexique	Règlementation	En irrigation non restrictive, pour l'irrigation de crudités et fruits en contact avec le sol, <1000CT/100ml
Tunisie	Règlementations	Irrigation de légumes consommés crus : <1 œuf/l
OMS	Directives de 1989	<1000CF/100ml <1œuf/l
	Directives de 1994	<200CF/100ml <1œuf/l

Source : adapté Angelakis (1997)

## II. MODE DE TRAITEMENT DES EAUX USEES

Les procédés de traitement des eaux usées sont nombreux et variés. On peut les classer selon la nature du traitement (chimique, physique, biologique) ou selon le niveau de traitement (primaire, secondaire, tertiaire...).

Une station de traitement comporte généralement une phase de prétraitement, pendant laquelle les éléments les plus grossiers sont éliminés par dégrillage, puis par

flottaison/décantation. Ensuite les eaux subissent un traitement dit primaire, qui est une décantation prolongée pour éliminer les MES.

Les traitements physico-chimiques et/ou biologiques sont ensuite appliqués comme traitement secondaire afin d'éliminer la pollution organique. D'autre part, ces traitements physico-chimiques permettent un bon abattement des virus. Toutefois leur utilisation n'est pas toujours bien maîtrisée. (Asano, 1998).

Le traitement biologique comprend trois grands groupes :

- ✚ Le traitement sur boues activées, qui est un réacteur contenant les eaux à traiter, dans lequel est injectée une boue chargée de bactéries. Selon Faby (1997), une épuration biologique permet une élimination de 90% de virus et 60 à 90% de bactéries. C'est un traitement qui a cependant peu d'effet sur les kystes et les œufs d'helminthes.
- ✚ L'épuration sur lit bactérien est le plus ancien procédé biologique. Les bactéries sont cultivées sur un substrat neutre, comme des pierres concassées, de la pouzzolane, du mâchefer ou du plastique. Un traitement sur lit bactérien est plus efficace car il élimine non seulement les virus (30% à 40%) et les bactéries (50% à 95%), mais aussi les œufs d'helminthes (20% à 90%) et les kystes de protozoaires (83% à 99%).
- ✚ Le biofiltre : il combine les actions épuratrices de la filtration et de l'activité microbienne.

Le lagunage secondaire utilise des mécanismes naturels pour traiter les eaux usées : bactéries, photosynthèse et pouvoir germicide de la lumière et de certaines algues. Un traitement par lagunage comprend en générale trois types de bassins : bassin anaérobie, bassin facultatif et le bassin de maturation.

- ✚ Le bassin anaérobie permet de diminuer la charge en matière organique. L'anaérobiose est obtenue en apportant un effluent très chargé en matière organique.
- ✚ Le bassin facultatif permet le développement d'algues photosynthétiques qui vont produire de l'oxygène, tout en diminuant la charge en matière organique.

Le bassin de maturation va permettre l'élimination des pathogènes, sous l'action conjuguée des UV et du pouvoir germicide de certaines algues. Les bactéries pathogènes sont éliminées de 90% à 99%, cependant les quantités résiduelles restent importantes. L'élimination des virus est un peu moins efficace (Asano, 1998).

Le lagunage secondaire est donc un moyen peu coûteux et efficace pour traiter les eaux usées, notamment la pollution organique. Il nécessite peu de moyens financiers, techniques et humains. Toutefois, les résultats en termes d'abattement bactérien restent à améliorer.

Pour le cas de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) le système d'épuration est par lagunage. Il comprend essentiellement trois bassins schématisés par la figure 1 (Wethe, 2005):

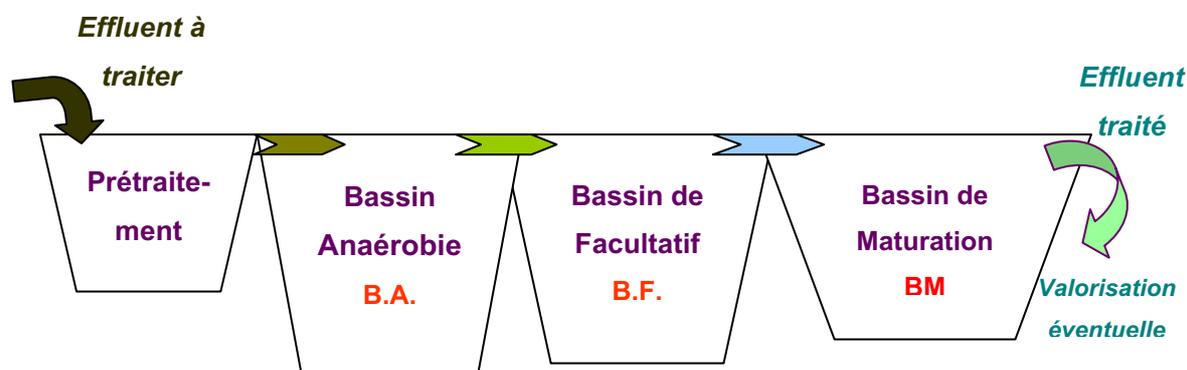
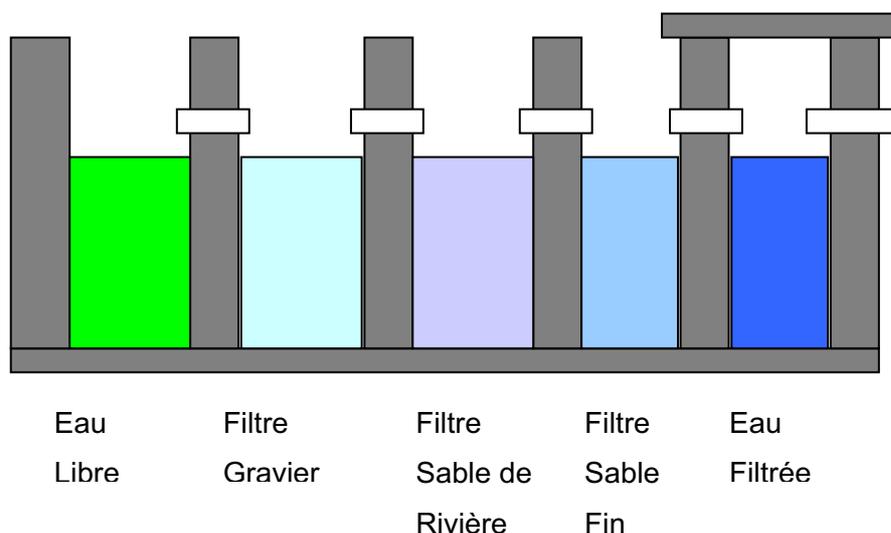


Figure 1: Système de traitement par lagunage des eaux usées du 2iE

La charge en coliformes fécaux à la sortie du système de lagunage reste relativement importante. Pour réduire davantage cette charge bactérienne, un filtre à sable est en cours d'expérimentation pour affiner le traitement quaternaire des eaux usées.



(Source : WETHE et al. 2006)

Figure 2: Système de filtration du 2iE

### III. IMPACTS DES EAUX USEES TRAITEES SUR LES CULTURES MARAICHÈRES

Dans le souci d'assurer la revalorisation des eaux usées, le secteur agricole constitue une des solutions les mieux adaptées car l'usage des eaux usées comme eaux d'irrigation a le

mérite d'apporter une réelle valeur ajoutée sur le plan économique aux exploitants agricoles qui s'en servent. Toutefois, cet usage n'est pas sans risque lorsque ces eaux sont utilisées sans traitement préalable. Les risques sont avérés tant sur le plan sanitaire que sur les impacts à plus ou moins long terme sur l'environnement.

### **III.1 IMPACTS SUR LA QUALITE SANITAIRE**

Les principaux facteurs qui déterminent le degré du risque sanitaire microbien sont (*Source :Khouri, 1994*) [*http/www. REUT en irrigation*]).

- ✚ la capacité des microbes pathogènes de survivre ou de se multiplier dans l'environnement,
- ✚ la dose requise pour l'infection,
- ✚ le besoin de la présence ou de l'absence d'intermédiaires,
- ✚ la susceptibilité de la personne au danger (l'exposition constante a pu créer l'immunité).

Les premières personnes exposées sur le plan sanitaire sont les travailleurs agricoles. Les risques encourus avec les travailleurs en contact avec les EU ont été étudiés. De Serres et Laliberté (1997) (*in Froese, 1998*) ont montré que des travailleurs d'une station d'épuration ayant contacté l'hépatite A avaient été contaminés sur leur lieu de travail. Mais Devaux (1998) a montré qu'avec un traitement adéquat, il était possible de réduire les risques de contamination.

La survie des micro-organismes dépend très fortement des conditions climatiques et environnementales. Les feuilles et les plantes créent un environnement frais, humide et parfois à l'abri du soleil. Plus une culture réunit ces conditions, plus elle sera susceptible de contenir des charges importantes d'organismes pathogènes. Cependant, les pathogènes survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes. (Asano, 1998).

D'après Cauchi (1996), les populations humaines exposées à une pathologie associée de manière certaine à une utilisation agricole d'effluents bruts ou traités sont de quatre ordres : les consommateurs de légumes crus ; les consommateurs de viande mal cuite, les travailleurs agricoles et les populations environnantes des périmètres irrigués d'EUT. L'auteur donne les doses minimales infectantes (DMI) moyennes des agents pathogènes présents dans les eaux usées, ces données sont résumées dans le tableau suivant.

**Tableau 5: Dose minimale infectantes (DMI) moyennes des agents pathogènes**

Micro-organismes	DMI
Virus	10 <sup>2</sup>
Bactéries	10 <sup>2</sup> - 10 <sup>6</sup>
helminthes	1- 10
Protozoaires	10- 10 <sup>2</sup>

La DMI correspond à la quantité de pathogènes qui doit être absorbé pour que les symptômes de la maladie se manifestent chez quelques sujets au moins. Les DMI sont très variables selon le type biologique de l'agent : de l'ordre de l'unité pour les helminthes, de la centaine pour les virus et les protozoaires, elles peuvent dépasser le million pour les bactéries. La DMI est différente aussi en fonction des individus, et leur réaction physiologique face à la contamination. L'infection varie d'un individu à un autre et dépend de l'immunité, de la voie d'infection et de l'étape de latence de l'agent pathogène.

Le tableau ci-dessous résume cette interaction entre les agents pathogènes et la dose minimale infectante.

**Tableau 6: Caractéristiques épidémiologiques des microbes pathogènes entériques en termes de leur efficacité en causant des infections par l'irrigation d'eau usée**

Microbes pathogènes	Persistance dans l' environnement	DMI	Immunité	Voie d'infection	Étape de Latence/sol
Virus	moyen	faible	longue	principalement par contact, nourriture et eau à la maison	non
Bactéries	Court à moyen	Moyenne à grande	court à moyen	principalement par contact, nourriture et eau à la maison	non
Protozoaire	court	faible à moyen	aucun à peu	principalement par contact, nourriture et eau à la maison	non
Helminthes	longue	faible	aucun à peu	principalement le contact avec le sol et la nourriture à l'extérieure de la maison	oui

Source : Gerba et al, 1975

En contamination microbiologique, il est important de prendre en compte le risque provenant de la consommation des légumes et fruits issus de l'arrosage avec les eaux usées. Les légumes produits sur les sites de maraîchage de Ouagadougou sont arrosés avec des eaux

usées brutes dont la qualité microbienne dépasse les normes recommandées par l'OMS (Cissé, 1997). Dans cette dernière étude, les concentrations moyennes en coliformes fécaux de la laitue sont de  $3 \cdot 10^4$  ufc/g.

Les résultats de Thiaw (2006) indiquent une faible contamination des feuilles de laitue par les kystes et œufs de parasites et une absence totale de ces KOP sur les carottes. Alors que les études de Niang (1996), portant sur la qualité parasitaire de cultures maraîchères (persils, laitues, carotte) de la ville de Dakar ont donné les résultats présentés ci-dessous.

**Tableau 7: Qualité parasitaire des cultures maraichères (Niang, 1996).**

<b>Parasite</b>	<b>Laitue</b>	<b>Persil</b>	<b>Carotte</b>
Amibe minuta	13 kystes	6 kystes	0
Amibe hystolitica	9 kystes	14 kystes	0
Anguillules	0	20 larves	0
Ankylostomes	2 larves	14 œufs	0
Ascaris	40 œufs	0	0
Levures bourgeonnantes	beaucoup	17	0
Némathelminthes	0	7 œufs	11 œufs
Plathelminthes	0	4 œufs	4 œufs
Trichomonas	13 œufs	12 œufs	3 œufs
Trichocéphale	4 œufs	0	0

L'analyse des résultats montre que certains légumes sont contaminés par des parasites comme les amibes sans temps de latence (durée nécessaire pour qu'un pathogène devienne infectieux) et à faible dose infectante. Cela signifie que la consommation de ces légumes sans lavage ni cuisson préalable peut engendrer des maladies de façon quasi-instantanée chez le consommateur.

L'ankylostome, l'ascaris et le trichocéphale sont des nématodes intestinaux qui ont une période de latence importante et n'ont pas besoin d'hôte intermédiaire pour être transmis à l'homme. La présence de leurs œufs et de leurs larves montre le degré de contamination de ces légumes. La présence des némathelminthes et des plathelminthes, qui sont des parasites nécessitant la présence d'un hôte intermédiaire, n'est pas pour autant sans danger. En effet, les animaux domestiques qui constituent les hôtes intermédiaires, se déplacent librement dans les maisons et s'abreuvent souvent avec les eaux de rinçage des légumes et

mangent les épluchures. La consommation de ces animaux par l'homme constitue donc la voie de transmission indirecte de ces parasites (Niang, 1996).

Il existe plusieurs voies de transmission d'agents pathogènes via les eaux usées non traitées utilisées en agriculture urbaine. Les coliformes se transmettent à l'homme principalement par la contamination de cultures irriguées avec des eaux usées.

Une étude effectuée au Ghana a également montré que les niveaux de contamination en coliformes fécaux et en œufs d'helminthe de cultures maraîchères irriguées par les eaux usées ont dépassé de façon significative les recommandations de l'OMS concernant l'irrigation sans restriction (irrigation de produits consommés crus). Le niveau de pollution en coliformes fécaux dépassant les normes a été également enregistré pour la laitue arrosée avec l'eau des puits ou des ruisseaux.

Les principales espèces d'œufs d'helminthe isolées dans l'eau et sur la laitue ont été les larves d'ascaris, entre autres. Les résultats ont montré que les sols déjà contaminés ainsi que le fumier de volaille ont contribué à la contamination des cultures. (Amoah et al, 2005).

On note également des risques liés à la pollution bactérienne. L'eau, au même titre que les plantes et le sol, lorsqu'elle est contaminée, peut transmettre des agents pathogènes, principales causes des maladies d'origine hydrique comme le choléra, la diarrhée, la typhoïde...

Les travaux de Cissé [1997] ont montré que le risque de prévalence de maladies bactériennes est plus élevé chez les maraîchers et leurs familles que sur le reste de la population. La prévalence des infections par l'ankylostome chez les enfants de maraîchers est de  $10.80 \pm 6.68$  % contre  $1.40 \pm 0.43$  % sur le reste de la population.

Pour les adultes, ces chiffres sont respectivement de  $40.67 \pm 7.38$  % contre  $14.90 \pm 5.09$  %. Ainsi diverses espèces d'organismes pathogènes, dont les agents responsables de maladies ont été isolés aussi bien dans les eaux que sur les légumes. Le tableau suivant dresse un inventaire non exhaustif de quelques germes bactériens pathogènes, rencontrés dans les eaux et les cultures souillées.

**Tableau 8: Inventaire de quelques germes pathogènes.**

<b>Bactéries</b>	<b>Risques sanitaire potentiel</b>
Salmonella	Gastro- entérite
Salmonella paratyphi B	Fièvre typhoïde
Staphylocoque	Staphylococcie
Hélicobacter pylori	Ulcère gastroduodéal
Shigelle	Dysenterie bacillaire

*Adapté des informations de l'Institut Pasteur, Mars 2006 (<http://www.pasteur.fr>)*

Les données du tableau ci-dessus montrent que certaines maladies ont pour sources les bactéries issues de la pollution des eaux usées d'irrigation et donc des cultures arrosées par elles. La pollution des cultures constitue alors des conséquences néfastes sur la santé des consommateurs et des travailleurs (ouvriers et agriculteurs).

### **III.2 VALEUR FERTILISANTES DES EAUX USEES ET RENDEMENT DES CULTURES**

Les eaux usées procurent l'élément fertilisant diminuant ainsi l'utilisation es engrais chimiques.

L'irrigation avec les eaux usées traitées joue un rôle essentiel dans l'accroissement et la stabilité des rendements des cultures. Dans les régions arides et semi-arides, l'irrigation avec les EUT est essentiellement pratiquée pour une agriculture économiquement viable (FAO, 2003).

Baumont (2004) dans ces études sur la REUT en irrigation, affirme que l'utilisation des EU à la place des engrais de synthèse coûteux est économiquement intéressante pour les agriculteurs. De plus, l'arrosage avec les eaux usées constituent une source de fertigation, c'est-à-dire, l'application combinée d'eau et de fertilisants via le système d'irrigation.

La première expérimentation sur la réutilisation des sous produits de la station de lagunage à macrophytes du 2iE a été suivie par Hounto de 1998 à 2000. Les objectifs de la recherche étaient (1) sur la valorisation agricole des sous-produits (fabrication de compost à partir de Pistia Stratiotes, - macro-végétal autoépuration utilisé sur le système de traitement à macrophyte) et (2) la réutilisation de l'effluent traité pour l'irrigation de la culture de tomate. Les résultats trouvés sur la valeur fertilisante des eaux usées épurées ont montré qu'elles étaient capables de produire un excédent de rendement de 10 tonnes/ha par rapport aux parcelles témoins irriguées avec l'eau de barrage. Sur les eaux de la même station, une autre étude conduite par Wima (2002), sur les cultures d'aubergines montre une

augmentation de rendement de 80%. Cette étude concorde avec celle de Sou (2005) qui montrent que les eaux usées traitées du 2iE ont un rendement meilleur sur la culture de laitue que celle de l'eau témoin.

Les travaux de Rejeb (1986), rapporte que l'eau usée a un effet fertilisant bien visible sur une culture de piment. Hammouri (1990) pour sa part, estime que l'eau usée épurée permet une augmentation de rendement de la tomate, de 26 % par rapport au témoin.

Neilson et al. (1989) pour leur part, obtiennent une production élevée ou similaire sur des cultures de tomate, poivron, oignon, concombre, haricot, melon, irriguées avec de l'eau usée traitée ou avec de l'eau douce associée à un supplément de fertilisation.

Day et al, (1962) rapportent que des céréales cultivées sous une irrigation à l'eau usée donnent des rendements plus élevés que celles irriguées sous une irrigation à l'eau de puits.

Toutes ces études s'accordent sur la conclusion que l'irrigation des cultures avec les EUT induisent des rendements élevés, assimilable parfois à l'irrigation par les eaux douces avec supplément de traitement d'engrais.

### **Conclusion :**

A la lumière de cette synthèse sur les travaux antérieurs relatifs à l'utilisation des eaux usées en agriculture, nous pouvons constater qu'entreprendre un projet de REUT est une démarche longue et délicate. Les eaux usées sont très concentrées en polluants (polluants chimiques microbiologiques ou ETM) et leur utilisation présente un risque sanitaire potentiel élevé. Mais il existe des traitements suffisamment puissants pour permettre d'abaisser les concentrations en polluants et donc le risque sanitaire, à un niveau acceptable. Le suivi de ces traitements est assuré grâce à la fixation des directives, normes ou réglementations. Enfin, la REUT en agriculture, serait un atout en ressource en eau et en éléments fertilisants, mais une considération du volet sanitaire se révèle être importante pour la prise en compte de l'environnement et de la santé humaine.

**DEUXIEME PARTIE : CADRE DE REFERENCE DE  
L'ETUDE**

## CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE

### I. LA STATION DE TRAITEMENT

La zone d'étude se trouve à l'Institut Internationale de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), site de Ouagadougou.

La ville de Ouagadougou est située dans la zone semi-aride selon la classification de Rodier (1989). La température moyenne annuelle est de 28.4°C, avec des maxima de 42° en période chaude. La pluviométrie moyenne annuelle est de 750,4 mm sur environ 120 jours (entre mi-juin et mi-septembre). La valeur de l'Evapotranspiration potentielle (ETP) moyenne annuelle est estimée à 166,1mm.

Le 2iE est un institut doté d'un département de recherche très actif dans le domaine du traitement des eaux usées. Dans le cadre de cette recherche, l'institut s'est doté d'une station expérimentale de lagunage à microphytes destinée au traitement des usées du campus des étudiants. La station d'épuration a été construite en 1989 avec trois objectifs principaux que sont (<sup>7</sup>GEDU, 2004) :

- ✚ Améliorer la qualité des eaux usées avant rejet dans le milieu récepteur ;
- ✚ mettre à la disposition des étudiants un outil pédagogique pour se familiariser aux différentes filières de traitement intensif et extensif des eaux usées ;
- ✚ un vaste champ expérimental pour la recherche en matière de procédé de traitement efficace et à faible coût adapté aux pays en développement

A ces objectifs initiaux, il a été ajouté plus récemment celui d'expérimenter l'utilisation des effluents traités pour évaluer leur pouvoir fertilisant sur les cultures maraîchères puis les impacts sanitaires et environnementaux relatifs à une telle pratique.

---

<sup>7</sup> GEDU : Gestion des eaux et déchets urbains

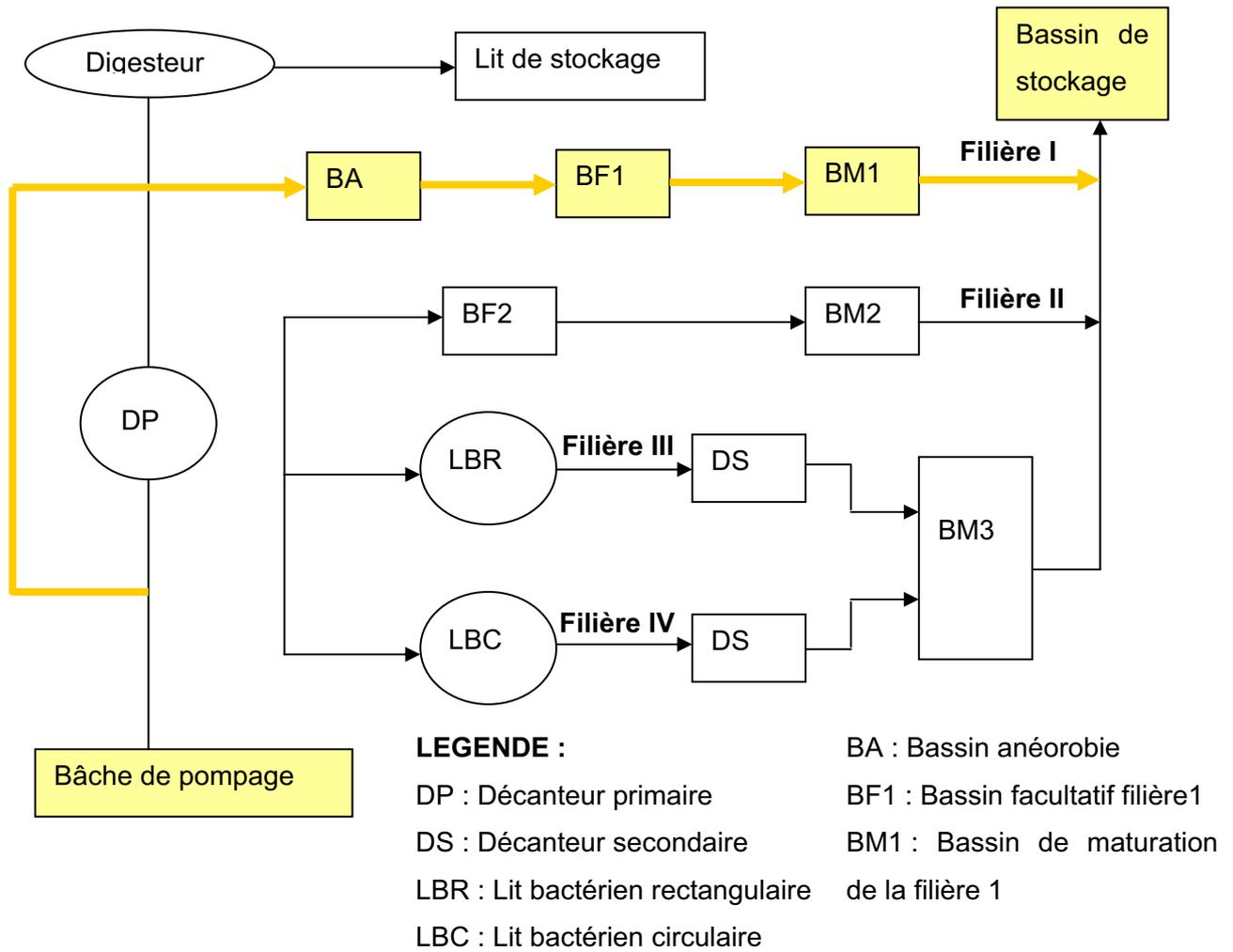


Figure 3: Différentes filières de traitement des eaux usées du 2iE



**LEGENDE :**

B.A : Bassin anaérobie
B.F : Bassin facultatif
B.M : Bassin de maturation

Figure 4: Les bassins de lagunage du site du 2iE

L'ensemble des systèmes de traitement présentés ci-dessous nous fournit les ressources en eau nécessaires pour nos différentes expériences. Pour une réussite des cultures d'expérimentation, il est nécessaire voire primordiale d'avoir une planification et un dispositif efficace et opérationnel.

L'ensemble des systèmes de traitement présentés ci-dessous nous fournit les ressources en eau nécessaires pour nos différentes expériences. Pour une réussite des cultures d'expérimentation, il est nécessaire voir primordiale d'avoir un programme et un dispositif efficace et opérationnel.

La station a été réhabilitée en 2001, pour améliorer ses performances épuratoires.

Cette station de traitement reçoit les eaux usées domestiques en provenance des locaux du 2iE (dortoirs, bâtiments administratifs, cuisine, toilettes).

Les eaux usées sont collectées dans une bêche centrale de 3.5 m<sup>3</sup> munie à l'entrée d'un dégrilleur de 2 cm<sup>2</sup> de maille et équipée d'un système de relevage. Les refus du dégrilleur sont évacués manuellement.

Le système de relevage comprend deux pompes centrifuges identiques immergées, fonctionnant alternativement avec un débit de 6,4 m<sup>3</sup>/h (<sup>8</sup>GEDU, 2004) qui refoulent les eaux prétraitées par le dégrilleur vers la station, où elles peuvent être réparties sur six filières de traitement différentes.

- ✚ la filière I est composée de trois bassins en série: un bassin anaérobie, un bassin facultatif et un bassin de maturation. Cette filière reçoit les eaux brutes provenant directement de la bêche de relevage;
- ✚ la filière II comprend successivement un bassin facultatif et un bassin de maturation. Cette filière reçoit les eaux brutes ayant transitées au préalable dans un décanteur primaire ;
- ✚ la filière III est composée d'un lit bactérien rectangulaire suivi d'un décanteur secondaire et d'un bassin de maturation. Cette filière reçoit également les eaux du décanteur primaire ;
- ✚ la filière IV suit le même cheminement que la filière III, mais avec un autre que le lit bactérien de forme circulaire ;
- ✚ la filière V est un prototype de lagunage à macrophytes (Pistia Stratiotes).
- ✚ la filière VI concerne l'épuration par voie photochimique des eaux polluées par des substances organiques non biodégradables ou bio récalcitrantes.

---

<sup>8</sup> GEDU : Gestion des Eaux et Déchets Urbains

Les boues soutirées du décanteur primaire par siphonage, sont acheminées dans un épaisseur digesteur. Ainsi cette dernière peut être récupérée pour une éventuelle utilisation pour compost.

Parmi toutes ces filières, seule la filière I est actuellement utilisée comprenant, la bêche de relevage, le bassin anaérobie et le bassin facultatif.

En 2007, la filière I à été complétée par un système de filtration sur lit de sable et de gravier, dans le but d'améliorer ses performances épuratoires, notamment en termes d'abattement bactérien.

## II. DESCRIPTION DES FILTRES

Le système de traitement des eaux usées à la sortie du bassin de maturation est constitué d'un filtre sur sable et sur gravier. A ce filtre, s'ajoute un autre filtre pilote d'expérimentation permettant de procéder à une étude dans le cadre d'améliorer la filtration.

### II.1 FILTRE SUR SABLE ET SUR GRAVIER

Le filtre sur sable et sur gravier est constitué d'une série de bassins rectangulaires de longueur 3m et de largeur 1m. Le filtre récupère les eaux usées traitées à la sortie du bassin de maturation.



Figure 5: Filtre sur sable et sur gravier

### II.2 FILTRE PILOTE

Le filtre pilote, est un filtre mis en place en 2007 dans le cadre d'un stage de mémoire de fin d'étude. Il est composé d'une colonne cylindrique en fer de diamètre 190mm et de hauteur 2 m. Posé sur un cadre rectangulaire, le filtre est muni de trois robinets servant de prise. Il

comporte un montage de tuyaux permettant de suivre la pression dans le filtre. Trois pompes sont mises en place pour assurer le circuit hydraulique. L'eau du bassin de maturation est envoyée dans le filtre par pompage de l'eau d'un bac préalablement rempli.

La granulométrie du filtre, est du gravier de diamètre compris entre 8 mm et 10mm. Le filtre utilise uniquement que du gravier contrairement au filtre non fonctionnel.

Voici joint une photo du filtre permettant de voir les différentes composantes.



Figure 6: Filtre pilote

### III. LE SITE AGRONOMIQUE

A l'aval du système de traitement se trouve un terrain d'expérimentation sur lequel nous menons présentement nos études. Sur ce dernier, des études ont été réalisées sur plusieurs thèmes à savoir la qualité fertilisante, la qualité sanitaire des EUT....

Le site agronomique comprend le système d'approvisionnement en eau d'irrigation à partir de la step et les parcelles de culture.

#### III.1 SYSTEME D'APPROVISIONNEMENT EN EAU D'IRRIGATION

L'eau usée traitée provenant de la station de traitement est réutilisée pour arroser les parcelles de culture. Pour favoriser l'irrigation des cultures, le système dispose d'une bêche de stockage d'eau du bassin de maturation. Quant à l'eau filtrée, elle est acheminée vers les parcelles à l'aide d'une canalisation en PVC.



Figure 7: Bâche de stockage d'eau usée traitée

### III.2 LES PARCELLES DE CULTURE

Nous avons réalisé notre expérience en deux campagnes :

La première campagne a été réalisée dans le cadre de ressortir les différences existantes dans l'utilisation de l'eau usée traitée du bassin de maturation (BM) et de l'eau usée traitée et filtrée. Pour cette raison, nous avons utilisé six parcelles dont trois pour chaque type d'eau. La deuxième campagne quand à elle a permis de confirmer les résultats de la première campagne. Etant donné que les résultats de la première campagne prouvaient un dysfonctionnement du filtre, uniquement l'eau du bassin de maturation serait utilisée pour l'irrigation. On dispose alors cette fois de trois parcelles.

Les sols du site expérimental sont limoneux en surface et limoneux à tendance argileuse en profondeur. Les limons et les argiles constituent les éléments responsables de la capacité d'échange cationique d'un sol. Ils sont donc à l'origine des mécanismes de transfert d'une partie des ions minéraux nécessaires à la plante. Toutefois, les sols riches en limon sont beaucoup plus sensibles à la formation des croûtes de battance, réduisant l'infiltration de l'eau à la surface du sol. Les parcelles étudiées présentent les caractéristiques de sols limoneux et donc sensible à l'effet de battance.



Parcelles campagne 1



Parcelles campagne 2

**Figure 8: Les parcelles de culture de l'étude**

La teneur initiale du sol du site expérimental a été déterminée par Lakte (2006). La détermination des nitrites dans le sol, montre que la teneur en nitrite varie de 48,4 g à 109 g avec une moyenne de 64,54 g. En ce qui concerne les ammoniums, la teneur varie de 4,8 à 11, 2 g avec une moyenne de 8,20 g.

Dans notre étude, nous considérerons les valeurs moyennes pour estimer la teneur initiale du sol en éléments fertilisants. Certes, cette estimation comporte des erreurs car les parcelles n'ont pas toutes les mêmes caractéristiques initiales mais elle donne une explication sommaire sur les éléments fertilisants initiaux du sol.

Ces valeurs moyennes sont résumées au tableau suivant.

**Tableau 9: Teneur initiale en éléments fertilisants du sol**

teneur initial du sol en NO3 NH4 et P2O5 en kg/ha		
NO3 (kg/ha)	NH4 (kg/ha)	P2O5 (kg/ha)
107,57	13,67	4,80

Les nitrites contiennent 0,23% d'azote et les ammoniums 0,78% d'azote. Nous constatons dans ce cas que la teneur moyenne initial du sol en azote est de : **21,24 g**.

#### **IV. PROGRAMME D'EXECUTION DES TRAVAUX**

L'organisation chronologique comporte plusieurs étapes résumées sur le diagramme suivant :

- La phase des travaux préparatoires
- La phase expérimentale
- La phase de rédaction

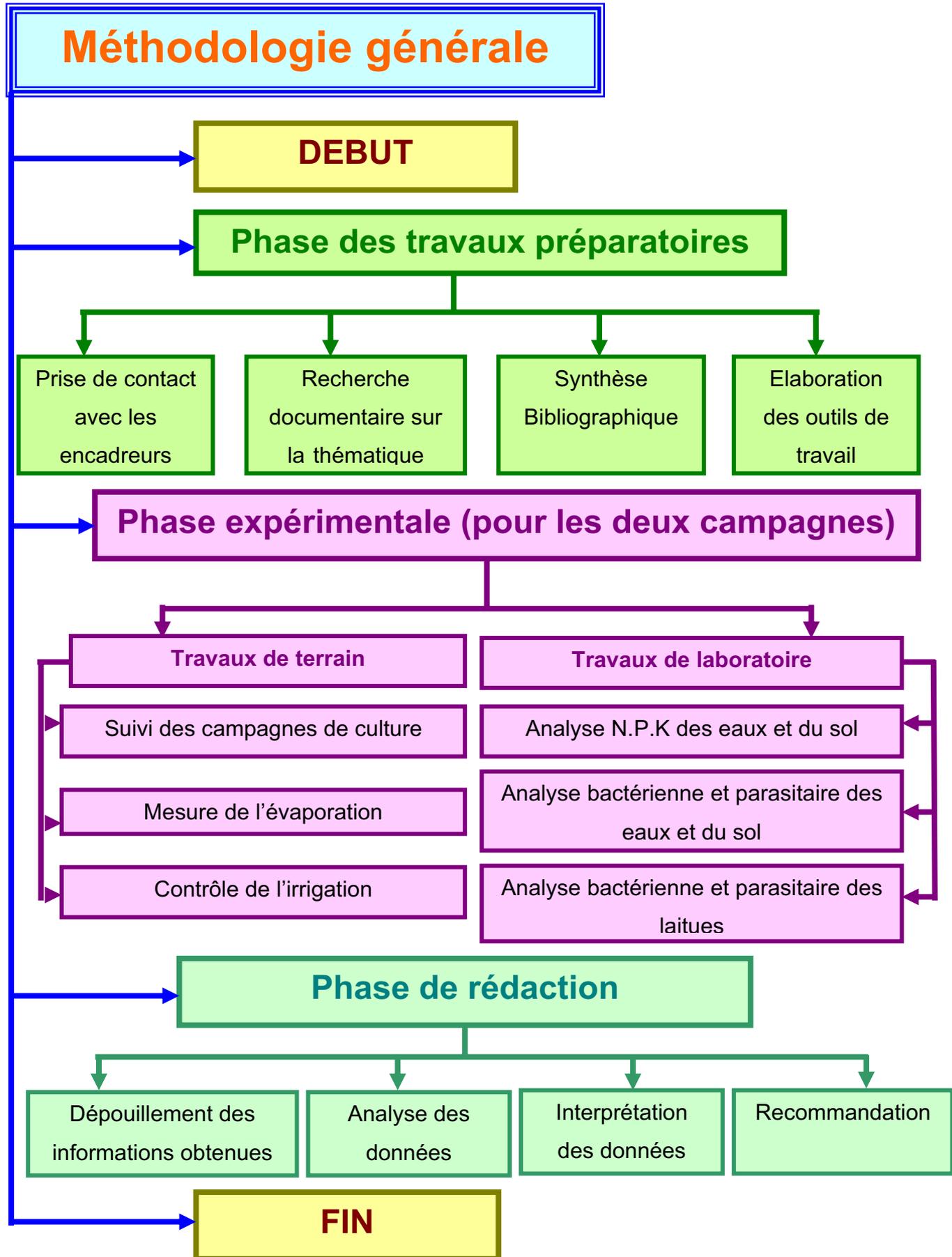


Figure 9: Diagramme de la méthodologie générale

## **IV.1 ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

Elle consiste à effectuer une étude bibliographique sur les travaux ayant déjà été faites sur la réutilisation des eaux usées en agriculture aussi bien au Burkina Faso que partout ailleurs dans le monde. Cette étude consistera à caractériser les eaux usées traitées et à donner leurs impacts sur la qualité sanitaire et le rendement des cultures.

## **IV.2 PHASE D'EXPERIMENTATION**

Cette partie consiste à mettre en place des cultures de laitue arrosées avec les deux types d'eau : l'eau usée à la sortie du bassin de maturation et l'eau usée traitée et filtrée. Les étapes suivantes sont suivies :

### **IV.2.1. Caractérisation initiale du sol**

Nous aurons :

- ✚ A déterminer les paramètres physiques du sol : la granulométrie et la teneur en eau.
- ✚ A déterminer les paramètres chimiques du sol : la teneur en azote, potassium, et phosphate.

## **IV.3 SUIVI MICROBIOLOGIQUE DU SOL**

Le suivi microbiologique du sol consistera à déterminer la qualité bactérienne et parasitaire du sol. Les bactéries recherchées sont les coliformes fécaux, les E. colis et les entérocoques ; puis les parasites recherchés sont les kystes de protozoaire et les œufs d'helminthes. Ce suivi est réalisé avant le repiquage des laitues, pendant leur croissance et à la récolte.

### **IV.3.1. Suivi de la croissance et de la qualité des plantes**

Elle nous permettra:

- ✚ de suivre quotidiennement la croissance des plantes depuis le repiquage jusqu'à la récolte, suivi qui aura pour but la détermination du rendement de la récolte. A ces rendements, on comparera avec les valeurs des rendements optimums.
- ✚ De déterminer la qualité sanitaire : bactérienne et parasitaire des laitues récoltées. Ces valeurs seront comparées à celle des normes de l'OMS.

#### **IV.3.2. Suivi de la qualité sanitaire et physico- chimique des eaux**

- ✚ Qualité bactérienne et parasitaire : Analyse des eaux une fois par semaine, pendant toute la durée de la culture (et une semaine avant le repiquage).
- ✚ Suivi de la teneur en azote, phosphates et potassium des eaux usées traitées avant et après la filtration : Analyse toute les semaines pendant toute la durée de la culture (et une semaine avant le repiquage).

Nous obtiendrons des valeurs qui nous permettrons de dégager l'influence de ces eaux sur la croissance et le rendement des cultures.

#### **IV.3.3. Qualité de la récolte**

Pendant cette phase, nous aurons :

- ✚ À déterminer le rendement de la récolte
- ✚ A analyser les cultures afin de déterminer leur qualité sanitaire
- ✚ Comparer le rendement et la qualité sanitaire entre les deux types d'eaux usées (eau usée traité avant filtration (bassin de maturation) et après filtration.

#### **IV.3.4. Suivi de l'efficacité des filtres**

Il s'agira dans cette partie, de procéder à un suivi microbiologique du filtre sur sable et sur gravier de l'eau sortant du bassin de maturation. Une expérimentation avec l'eau du filtre, nécessite un fonctionnement optimal de ce dernier.

Pour compléter les résultats sur l'efficacité du filtre, nous avons jugé nécessaire de réaliser le suivi bactériologique des d'un filtre pilote monté dans le cadre expérimentale afin de confirmer les résultats de l'efficacité du filtre.

A ce programme est joint le planning des travaux (**Annexes 1**)

## CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES

### I. METHODOLOGIE DE MISE EN CULTURE DU SOL

#### I.1 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

La phase expérimentale à été scindée en deux campagnes :

Le dispositif comprend les parcelles d'étude situées sur le site expérimental

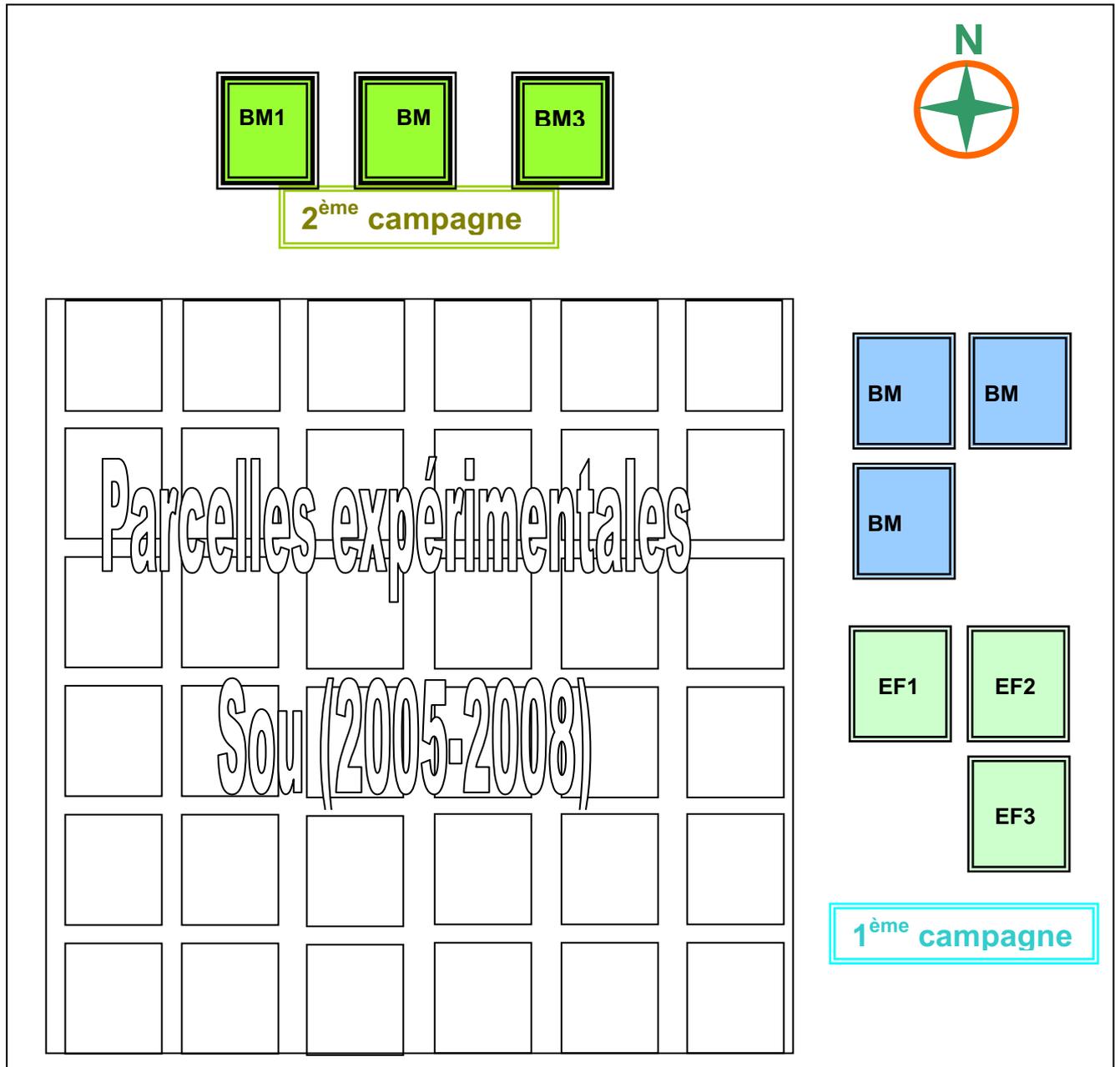


Figure 10: Parcelles du site expérimental du 2iE

La première campagne a consisté à mettre en culture six parcelles randomisées :

- trois parcelles arrosées avec l'eau du bassin de maturation (BM1, BM2, BM3),
- trois parcelles arrosées par l'eau filtrée (EF1, EF2, EF3).

La seconde campagne a été focalisée sur l'étude de l'eau du bassin de maturation. Ainsi trois parcelles, différentes de celles utilisées lors de la première campagne ont été mises en culture (BM1, BM2, BM3).

Le dispositif se trouve être différent pour les deux campagnes suivies. A chaque campagne de laitue, on change les parcelles afin d'assurer l'état initial du sol pour chacune et d'éviter une accumulation de la contamination.

## **I.2 REPARTITION DES PARCELLES**

Au cours de cette étude, nous avons réalisé deux campagnes sur le site expérimental du 2iE. La première campagne s'étend de Janvier à Février pour la laitue, et la deuxième de Mars à Avril pour la laitue.

Les deux campagnes de laitue réalisées dans un même cadre à savoir ; Améliorer le système de traitement des EU du 2iE ; ont pour but de déterminer les impacts de la REUT sur la qualité sanitaire et sur le rendement. Pour ce faire, elles sont caractérisées par les mêmes traitements de sol. Les différentes parcelles sont données à la **figure 5**

Les parcelles sont composées :

- D'un carré de rendement (de superficie 6m<sup>2</sup>) : c'est dans cette superficie que le rendement sera évalué.
- Les allées de 2,75m<sup>2</sup> de superficie : Elles constituent une barrière aux phénomènes externe.
- Chaque carré de rendement comporte sept (07) lignes de plantes et chaque ligne compte 16 plantes de laitue.

## **I.3 PREPARATION ET ENTRETIEN DES PARCELLES**

### **I.3.1. Labour et binage**

Les différentes parcelles expérimentales ont été labourées et binées avant le repiquage des plants de laitue.

**Le labour** est un travail physique qui consiste à remuer le sol pour l'ameublir facilitant ainsi le repiquage des plants, la pénétration et la croissance des racines. Il permet en outre d'aérer le sol et de le rendre perméable à l'eau. Pour faciliter cette opération, les parcelles sont arrosées au préalable pour y maintenir une certaine humidité, mais sans excès. Cette humidité est maintenue au niveau du sol grâce à l'apport de 16 arrosoirs d'eau par parcelle ; soit une hauteur totale d'eau de 268 mm.

La profondeur de labour varie de 35 à 40 cm et se fait manuellement.

**Le binage** se fait à la binette et permet de remuer la surface du sol pour émietter la terre sur les premiers centimètres. Son rôle est d'aérer le sol tassé par l'action de l'arrosage, tout en lui conservant son humidité et d'éliminer les mauvaises herbes. Le binage est effectué lorsque cela est jugé nécessaire ; c'est – à dire, à chaque fois qu'une croûte de battance se forme à la surface du sol.

#### **I.4 TRAITEMENT PHYTOSANITAIRE DES PARCELLES**

Le traitement phytosanitaire des parcelles est une tâche réalisée après le repiquage des cultures. Ces traitements sont à base de produits chimiques utilisés pour éradiquer ou prévenir les attaques d'insectes et de parasites divers sur les cultures.

La liste des produits utilisés et les doses employées sont résumées dans le tableau 10.

Tableau 10: Traitement phytosanitaire

Période de traitement	Maladies (agents responsables)	Mode d'emploi		
		Produits	Matières active	Doses par parcelle
Pépinière	chenilles,			5,4ml par
Repiquage	punaises,	Cyperal	Cyperméthrine	pulvérisateur
En phase de croissance	coléoptères, criquets	50 CE	50 g/L	contenant 4,5l d'eau pour 54m <sup>2</sup>
Pépinière				13,5g par pulvérisateur
Repiquage	Champignons,	Calliman 80	Manèbe 80%	contenant 4,5l d'eau
En phase de croissance	moisissures			pour 54m <sup>2</sup>
Pépinière	fourmis, termites,	Furadan 3G	Carbofurant a	Pépinière: 225 g/plant
Repiquage	vers gris et blancs		3%	
En phase de croissance				En repiquage: 2g/plant
Pépinière	Acariens, puceros	Cymétoate	Diméthoate	5,4 ml dans
Repiquage	chenille, aleurodes	Super EC	(400 g/L) et	1L d'eau
En phase de croissance	mineuses de feuilles		Cyperméthrin (36 g/L)	pour

### 1.5 MISE EN CULTURE

La culture expérimentée dans le cadre de cette étude est la laitue.

La mise en culture de cette plante nécessite au préalable d'établir une pépinière. Les plan obtenus grâce à cette pépinière sont ensuite repiqués au sol.

En raison de la courte durée de l'expérimentation, une pépinière n'a pas pu être mise en place. Les plants de laitue ont été achetés chez un pépiniériste au niveau du jardin maraîcher du barrage N°3 de Ouagadougou.

Compte tenu du caractère artisanal de ces pépinières, il est difficile de déterminer avec certitude la variété de laitue expérimentée.

Toutefois, selon le maraîcher et d'après les informations que nous avons pu obtenir des principales boutiques d'intrants de la ville, il semble que l'espèce et la variété de laitue que nous avons expérimenté soit la laitue Batavia et la variété Blonde de Paris.

Le repiquage de nos parcelles est effectué :

- ✚ Le 20 Janvier 2007 pour la première campagne,
- ✚ Le 21 Mars pour la seconde campagne.



Figure 11: Phase de repiquage des laitues

La photo ci-dessous donne le processus de repiquage des laitues. Les décamètres permettent de respecter les écartements entre lignes et plants. Les laitues sont repiquées après avoir préalablement arrosé les parcelles.

## II. PILOTAGE DE L'IRRIGATION

Le caractère expérimental de cette étude a nécessité d'intégrer dans notre méthodologie, une bonne maîtrise des apports en eau.

Le pilotage de l'irrigation s'est basé sur la détermination journalière de l'évaporation par un bac d'évaporation de type « Classe A ».

### II.1 ESTIMATION DES BESOINS EN EAU DES CULTURES

Les besoins en eau de la laitue ont été estimés sur le principe de base de la compensation de l'évapotranspiration.

Les données d'évaporation ont été obtenues d'une part, grâce aux données d'évapotranspiration moyennes mensuelle calculées par la formule de Penmann - station synoptique de Ouagadougou aéroport - données 2001 à 2004 du service météorologique de

Ouagadougou) et d'autre part, en effectuant un contrôle journalier à postiori de l'évaporation à proximité des parcelles expérimentales avec un bac d'évaporation.

Ces données d'évaporation (ETP Penmann ou évaporation bac) ont permis de calculer le besoin en eau de la plante en appliquant un coefficient cultural spécifique à la laitue. Les besoins sont exprimés en volume ou en hauteur d'eau par unité de temps.

## II.2 DESCRIPTION DU BAC D'EVAPORATION

Il se présente sous forme cylindrique, avec 122 cm de diamètre et 26 cm de hauteur. Il est posé sur un support en bois pour être disposé de manière parfaitement horizontal. Le fond du bac se trouve à 17 cm au dessus du TN. Les mesures de niveau d'eau dans le bac d'évaporation se font grâce à une graduation millimétrique solidaire à la paroi interne du bac. La lecture consiste à prélever le niveau d'eau dans le bac, correspondant à la lame d'eau évaporé en 24 heures. Les lectures se font entre 6 et 7 h du matin, avant le levé du soleil.

Les besoins en eau des cultures sont alors déterminés en appliquant la relation existant entre l'évapotranspiration de la plante et l'évaporation en bac mesurée. Cette relation entre les deux paramètres est empirique et tient compte du climat et du milieu environnant. Elle est exprimée à travers deux coefficients qui sont le coefficient du bac ( $K_b$ ) et le coefficient cultural ( $K_c$ ). Ces deux coefficients sont déterminés ci-dessous. (cf. abaques en **Annexe 3**)



**Figure 12: bac d'évaporation du site expérimental du 2iE (classe A)**

La photo ci-dessous montre le bac d'évaporation utilisée lors de nos campagnes de culture de laitues. Ce bac respecte les descriptions précédentes.

### II.3 DETERMINATION DU COEFFICIENT D'EVAPORATION EN Kb

Dans son cours d'agriculture sur le climat et les besoins en eau des cultures, en 1994 IBRAHIMA décrit les paramètres de détermination du coefficient d'évaporation en bac (Kb)

Ainsi, il tient compte :

- ✚ De l'état du bac,
- ✚ Du couvert du terrain
- ✚ De l'effet des conditions météorologiques (vent, température, humidité relative)

Tableau 11: Les paramètres de détermination de Kb

Etat du bac	Couvert du terrain	Effet des conditions météorologique
<p><b>Type:</b> Bac d'évaporation de classe A</p> <p><b>Etat:</b> Bac non enterré posé sur une plate forme en bois de 17cm au dessus du sol</p>	<p><b>Couvert du sol</b> Bac environné d'une jachère sèche</p> <p>La distance de la jachère sèche du côté exposé vent est d= 0 mètre</p>	<p><b>Humidité relative moyenne</b> HR varie entre 40 à 70</p> <p><b>Vent:</b> Modéré variant entre 175 et 425 km/jour</p>

De tous les paramètres spécifiés ci-dessus, Il ressort que le coefficient d'évaporation en bac est :

$$K_b = 0,75$$

### II.4 DETERMINATION DU COEFFICIENT CULTURAL Kc

De même que précédemment IBRAHIMA (1994, EIER), le coefficient Kc est fonction des paramètres suivants :

- ✚ Le type de culture,
- ✚ Le stade de développement de la culture,
- ✚ Les conditions climatiques.

De ces paramètres, nous obtenons le coefficient Kc.

$$K_c = 1$$

## II.5 DETERMINATION DES BESOINS EN EAU DES CULTURES

La connaissance des paramètres ci-dessus n'est pas suffisante pour la détermination des besoins en eau. La maîtrise de la superficie des parcelles se trouve être importante voir nécessaire. Comme décrit dans le dispositif expérimental, nos parcelles sont caractérisées par les données du tableau savant.

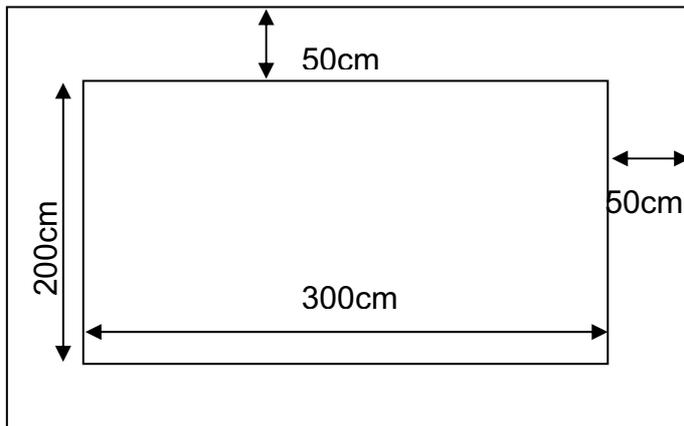


Figure 13: Les dimensions et superficies des parcelles

A partir de tous ces paramètres, les besoins en eau correspondent à :

$$BE = ETM \times S$$

$$ETM = K_b \times K_c \times E_{bac}$$

$$BE = [K_b \times K_c \times E_{bac}] \times S$$

Avec:

$$\left\{ \begin{array}{l} BE : \text{Besoin en eau de la culture en litres} \\ ETM : \text{Evapotranspiration maximale (mm)} \\ E_{bac} : \text{Evaporation en bac (mm)} \\ S : \text{superficie en m}^2 \\ K_b = 0,75 \text{ et } K_c = 1 \end{array} \right.$$

Le besoin en eau est déterminé, pour une culture donnée, avec le coefficient cultural correspondant au stade de développement maximum. Cela détermine un volume d'eau correspondant au besoin journalier maximal de la plante.

L'efficacité de l'irrigation est évaluée par le coefficient  $I_A$  :

$$I_A = \frac{\text{Apport journalier}}{\text{ETM (journalier)}}$$

Avec :

Apport journalier = quantité d'eau apportée par l'irrigation

C'est la dose brute d'irrigation

ETM journalier = évapotranspiration maximale journalière

C'est la dose nette de l'irrigation

Ce coefficient, appelé « efficacité de l'apport » permet d'estimer la fraction de l'évapotranspiration maximale (ETP) compensée par l'apport journalier d'eau à travers les irrigations.

## II.6 METHODE ET PROGRAMME D'IRRIGATION

La méthode d'arrosage des parcelles retenue est l'arrosage manuel, avec des arrosoirs métalliques de 10 litres. Ce choix se justifie par l'emploi quasi-systématique de ce type d'arrosage sur l'ensemble des sites maraîchers de la ville.

La dose d'eau apportée aux cultures est choisie pour répondre aux besoins en eau déterminée par la demande climatique journalière. L'apport de cette dose est effectué une fois par jour, aux heures les moins chaudes de la journée ; c'est-à-dire, dans la matinée ou dans la soirée. Les quantités d'eau apportées par jour sont celles de la dose d'eau calculée à partir de l'ETP moyenne mensuelle. Elle est fixée pour les deux campagnes à 30 litres par jour.

## CHAPITRE 3 : SUIVIE DE PARAMETRES CARACTERISTIQUES DE L'ETUDE

### I. SUIVI DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

#### I.1 DETERMINATION DU PARAMETRE PH DU SOL

La présence des éléments chimique du sol dépend de son alcalinité donc de son pH. Le prélèvement de l'azote sous forme nitrate par les plantes influence le sol. Le pH des sols entre donc dans le groupe des paramètres de sols analysés.

Le paramètre pH du sol est analysé au laboratoire de chimie et d'eau potable du 2iE, selon le **protocole normalisé ISO 10390 : 1994(F)**. Il permet la détermination du potentiel d'hydrogène du sol sur le principe de mesurage de pH à l'aide d'une électrode en verre dans une suspension de sol diluée 1 : 5 (V / V). L'appareillage utilisé pour la réalisation de cette analyse est un agitateur, un pH mètre pH 330i muni d'un dispositif d'électrodes groupées et d'un système de lecture électronique.

#### I.2 LES PARAMETRES PHYSICO- CHIMIQUES DES EAUX D'IRRIGATION

Les eaux usées ont fait l'objet d'un suivi hebdomadaire des paramètres suivants :

- l'azote assimilable par les plantes : nitrate, ammonium
- le phosphore assimilable : orthophosphates
- le potassium

L'ensemble des analyses sur les eaux d'irrigation a été réalisé aux laboratoires des eaux usées et des eaux potables du 2iE. La description des méthodes d'analyse et les différents protocoles sont résumés dans les pages suivantes associés aux éléments analysés. Les fiches d'analyse des paramètres du sol sont données en **Annexe4**

##### I.2.1. Mesure du pH

C'est la détermination de l'acidité ou de l'alcalinité des eaux d'irrigation. L'objectif de cette détermination est de vérifier que le pH des eaux d'irrigation n'influence pas sur celui des sols. L'appareillage utilisé étant identique à celui employé pour la détermination de pH des sols, la mesure du pH de l'eau se fait par lecture directe de la valeur de pH sur le système de lecture électronique.

### I.2.2. Mesure des paramètres chimiques des eaux d'irrigation

Les nutriments se trouvant en grande quantité dans l'eau usée, et qui sont importants en agriculture et en gestion des paysages sont l'azote, le phosphore et dans une moindre mesure le potassium.

Les plantes consomment l'azote sous la forme de nitrate et d'azote ammoniacal selon Kirby (1968) ce qui induit la recherche de ces deux formes de l'azote dans les eaux d'irrigation. C'est pour cela que les éléments fertilisants recherchés dans les eaux d'irrigation sont les nitrates, l'azote ammoniacal en plus de l'ortho phosphate et du potassium. Leurs analyses sont effectuées au laboratoire de chimie et d'eau potable du, 2iE grâce à différents appareillages.

L'analyse de chaque paramètre a été réalisée suivant les protocoles résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 12: Référence de protocoles d'analyse chimique des eaux**

Paramètre	Unités	Référence du protocole
pH		Mesure directe pHmètre électrique WTW
NO <sub>3</sub>	PPM	Spectrophotométrie HACH DR 2000 Méthode 8039 : Nitrate Haute Gamme (0 à 30 mg/L N-NO3)
NH <sub>4</sub>	PPM	NF T 90-015 d'aout 1975
K	PPM	Spectromètre à flamme JENWAY PFP7
PO <sub>4</sub>	PPM	Spectrophotométrie HACH DR 2000 Méthode 8114- Molybdovanadate : Phosphate, Ortho (0 à 45 mg/l de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) Pour eau, eaux résiduaires et eau de mer. <i>Méthode adaptée du "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"</i>

## II. SUIVI BACTERIOLOGIQUE ET PARASITAIRE

Le suivi bactériologique et parasitaire se résume en la mise en évidence de la contamination du sol, des eaux d'irrigation et des cultures arrosées par ces eaux. Les indicateurs sont bactériens sont les coliformes fécaux et Escherichia coli et les indicateurs parasitologiques sont les kystes et œufs de parasites. Les analyses sont effectuées dans les eaux d'irrigation, les sols et les cultures en phase de maturité.

Les bactéries se développent à 44°C alors qu'aucune croissance n'est observée à cette température pour des souches non fécales. La principale bactérie coliforme spécifiquement d'origine fécale est le genre *Escherichia coli*, qui comprend plus de 1000 espèces. Ce genre bactérien apparaît toujours en grande quantité dans les déjections animales et humaines et ne se trouve qu'exceptionnellement dans les sols et les eaux qui n'ont pas été l'objet d'une contamination d'origine fécale. Les coliformes fécaux ou thermo tolérants constituent donc un bon test pour la mise en évidence de la contamination fécale des eaux et des produits de cultures maraîchères.

➤ **Les coliformes fécaux et *Escherichia Coli***

Les coliformes fécaux ont été analysés dans les eaux, dans le sol et sur les laitues selon les principes analytiques employés par Baba Moussa, (1995) et Cissé, (1997) Il s'agit d'une numération bactérienne sur milieu sélectif.

Cette procédure consiste à ensemercer par étalement un volume X (ml) d'échantillon sur le milieu de culture. Dans le cadre de notre étude, le milieu utilisé est Chromocult Agar. Ce milieu à été préalablement coulé en boîte de pétri de (5 cm de diamètre).

Les boîtes ensemençées sont incubées à 44°C pendant 18 à 24 heures et la lecture des colonies se fait par identification de colonies roses pour les coliformes fécaux et de colonies violettes pour *Escherichia coli*.



**Figure 14: Boîtes incubées à 44°C (Détermination des coliformes)**

➤ **Les streptocoques fécaux (S.F.)**

Les C.F. témoignent une contamination d'origine fécale récente (Satin et al, 1999). Il est donc apparu intéressant d'associer en complément, une recherche de S.F., qui est un indicateur plus résistant à des conditions environnementales difficiles, avec un temps de survie plus important. Les S.F. font partie de la flore intestinale des animaux, y compris celle de l'Homme. Ils ne sont pas pathogènes pour l'homme mais leur présence en grand nombre peut traduire la présence de bactéries pathogènes.

L'origine de la contamination fécale, mise en évidence par la recherche des S.F. peut être déterminée par l'utilisation du rapport C.F / S.F compris entre 2 et 4. Ce ratio est valable seulement quand la contamination est récente car les S.F. persistent plus que les C.F. dans l'eau (Bouchriti et al, 1992).

➤ **Les kystes et œufs de parasites (KOP) :**

Les parasites sont des protozoaires présents dans les fèces animales et humaines. Leur présence sur des sols de cultures, peut être source de contamination de cultures maraîchères.

## II.1 ANALYSE BACTERIENNE DU SOL

Les analyses sont réalisées avant le repiquage, pendant la croissance des cultures et à la récolte. Elles nécessitent du matériel approprié, d'une procédure succincte et des réactifs appropriés.

Elles sont réalisées avec les précautions permettant d'éviter toutes contaminations extérieures. L'estimation de la charge bactérienne se fait connaissant la teneur en eau du sol déterminé lors du prélèvement des échantillons. Pour ceux, le matériel utilisé, et le protocole de l'analyse est décrit dans l'annexe 10.

✚ Détermination de la teneur en eau des échantillons (w)

La teneur en eau de chaque échantillon est déterminée par la formule suivante :

$$W = \frac{(P_{\text{humide}} - P_{\text{sec}})}{P_{\text{sec}}} * 100$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{\text{humide}} : \text{Poids humide de l'échantillon} \\ P_{\text{sec}} : \text{Poids sec de l'échantillon} \\ W : \text{teneur en eau du sol} \end{array} \right.$$

#### Détermination de la charge bactérienne

En utilisant cette même méthode, pour les végétaux le calcul se fait en déterminant la charge bactérienne en nombre de colonie sans utiliser le volume de référence.

Une fois cette valeur déterminer, on calcule la charge bactérienne des laitues en UFC / g de plants. Le résultat final est alors exprimé en nombre UFC /g de végétal, selon la formule suivante sans :

$$N' = \frac{N}{m}$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} N' = \text{le résultat exprimé en nombre UFC/g} \\ N = \text{le résultat calculé si dessus} \\ m = \text{la masse total de végétaux prélevé pour} \\ \text{analyse.} \end{array} \right.$$

## II.2 ANALYSE BACTERIENNE DES EAUX D'IRRIGATION

Dans le cas des eaux usées traitées, les paramètres recherchés sont les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux.

Les coliformes fécaux ont été analysés dans les eaux et sur les légumes selon les procédures employées par Baba Moussa, (1995) et Cissé, (1997).

Il s'agit d'une numération bactérienne sur milieu sélectif, qui consiste à ensemercer par étalement un volume de X (ml) d'échantillon sur le milieu de culture, Chromocult Agar, préalablement coulé en boîte de pétri de (5 cm de diamètre). Les boîtesensemencées sont incubées à 44°C pendant 18 à 24 heures.

Le Milieu de culture Chromocult Agar à la particularité de permettre une identification générale des coliformes fécaux (colonies roses) et une identification spécifique d'E.Coli reconnaissable à la couleur violette des colonies.

Le protocole des analyses de la bactériologie sont présenté à l'annexe 10.

✚ Lecture et détermination de la charge bactérienne

La lecture des boîtes de Pétri pour les deux paramètres (C.F) et (S.F) est identique. Elle consiste à compter le nombre d'unité formant colonie sur chaque boîte et calculer la charge bactérienne pour un échantillon donné en appliquant la formule suivante :

$$N = \frac{n \cdot v}{(n_1 v_1 d_1) (n_2 v_2 d_2) \dots (n_i v_i d_i)}$$

Avec :

- N : Nombre de coliformes fécaux par volume de référence
- n : Somme de toute les colonies comptées sur toutes les boîtes
- v<sub>i</sub> : Volume utilisé pour les essais (0,1ml ou 1ml)
- d<sub>i</sub> : dilution utilisée (d= 1 si pas de dilution et d= 0,1 pour la dilution 1/10)
- n<sub>i</sub> : Nombre de boîtes comptées (pour toutes les dilutions prises en compte)
- V : volume de référence (ici le volume de référence est 100ml)

### II.3 ANALYSE BACTERIENNE DES LAITUES

Pour l'analyse bactériologique, on prépare 20g de laitue dans 180ml de solution NaCl. Agiter jusqu'à obtenir une coloration verdâtre du mélange. La solution obtenue estensemencée sur des boîtes de pétri (5 cm de diamètre) précédemment décrites.

Les différents protocoles sont consignés en annexe 10.

✚ Détermination de la charge bactérienne (en UFC / 100g de sol sec)

Chaque échantillon doit faire l'objet de 2 essais par dilution. Pour chaque analyse, on donnera une valeur moyenne des deux essais.

La charge bactérienne (C) sera calculée par la formule suivante :

$$C = c \times d \times 10 \times \frac{W}{100}$$

- c: nombre de colonie lu sur une boîte
- d:dilution appliquée lors de l'ensemencement
- facteur 10 : le nombre de colonie lu sur la boîte est représentatif de 10g de sol. Pour exprimer le résultat final en UFC / 100g, il faut donc multiplier la charge bactérienne par 10.
- w/100 : Pour exprimer les résultats en gramme de sol sec

#### II.4 ANALYSES PARASITAIRE DU SOL, DE L'EAU ET DES LAITUES

La recherche des parasites s'est effectuée suivant la méthode « SAF adaptée » utilisée par Cissé, (1997) et par Sou (doctorante au 2iE). Elle concerne les eaux et les végétaux. Son principe est basé sur la concentration des éléments décantables dont les œufs et les kystes font partie.

##### ➤ Les sols

On prépare pour chaque échantillon une solution de sol contenant 100g de sol et 1litre d'eau de javel. Agiter et homogénéiser pendant 25mn.

- Centrifuger ensuite pendant 10min, verser le surnageant et garder le culot.
- Mettre le SAF puis centrifuger pendant 10min, versé le surnageant et garde le culot.
- Mettre le NaCl et l'Ether puis centrifuger pendant 5min, verser le surnageant et garder le culot. Le culot ainsi obtenu sera analysé par lecture directe au microscope.

##### ➤ Les eaux

L'analyse de l'eau usée traité ne nécessite pas une préparation particulière de l'échantillon. Seule une dilution peut être utilisée en fonction de la charge de l'analyse précédente.

##### ➤ Les laitues

L'analyse parasitaire utilise 100 g de laitue dans un litre de solution de NaCl. Après agitation pendant 15minutes le liquide est soumis à une décantation pendant 24 heures. Pour la préparation du culot de l'observation des parasites, la méthode utilisée est celle décrite pour

les eaux usées qui utilisent le principe de « SAF adaptée » utilisée par Cissé, (1997). Elle concerne les eaux et les végétaux.

✚ Rôles des réactifs :

**L'eau de javel** : Permet de séparer d'une part les parasites des constituants du liquide, et d'autre part de les séparer entre eux.

**Le SAF** : Il a pour rôle la conservation des échantillons. Le SAF permet de conserver le culot pendant une longue durée.

**Le NaCl et l'Ether** : Ils ont pour rôle de séparer les substances grasses des parasites.

✚ Détermination des kystes et les œufs de parasites

Le culot initialement préparé est observé au microscope entre lame et lamelle à l'objectif 40 pour identifier et compter des différents kystes et œufs.

Les échantillons d'eau sont directement décantés. Les échantillons de végétaux subissent au préalable un prétraitement qui consiste à décaper la surface avec un mélange de poudre de verre et de détergent cationique suivi d'un rinçage dans des récipients contenant de l'eau. Cette eau de rinçage constitue l'échantillon à décanter.

La charge parasitaire ( $N_p$ ) est calculée selon la formule suivante :

$$N_p = 0,3 / Y$$

Avec :

Y : le nombre d'œufs lu sous entre lame et lamelle, c'est le nombre d'œufs par ml.

Ainsi, le nombre d'œufs de parasites par litre est donné par la formule :

$$\text{Le nombre d'œufs de parasites par litre} = (\sum \text{œufs de parasites présents} / V) * k.$$

Où :

V : volume de l'échantillon initial d'eau de lavage

K : représente une constante liée au rendement de la méthode ( $k = 1.42$ )

### III. DETERMINATION DES RENDEMENTS

Les rendements des différentes parcelles de laitue sont déterminés à l'issus des récoltes.

Les récoltes ont été effectuées à la maturation des plants de laitues soit environ 30 jours après le repiquage pour la première campagne et d'environ 40 jours pour la seconde campagne. Elle a consisté à couper à la base de la plante de laitue, sur des lignes préalablement choisies. .

Les lignes récoltées sont choisies parmi les lignes les plus complètes ; c'est-à-dire les lignes disposant de la totalité des pieds mis en place au premier repiquage.

➤ **choix des lignes de la première campagne**



Figure 15: Présentation des lignes récoltées (Campagne 1)

LEGENDE :

- Les plants des lignes récoltées
- Plants arrosés par l'eau du bassin de maturation (BM)
- Plants arrosés par l'eau filtrée (EF)

➤ **Troisième campagne :**

Le procédé de récolte de la troisième campagne est le même que celui de la deuxième campagne. Mais la position ainsi que la longueur des lignes reste différente d'une campagne à une autre.

La figure 8 et le tableau 11 résume la description de cette récolte.

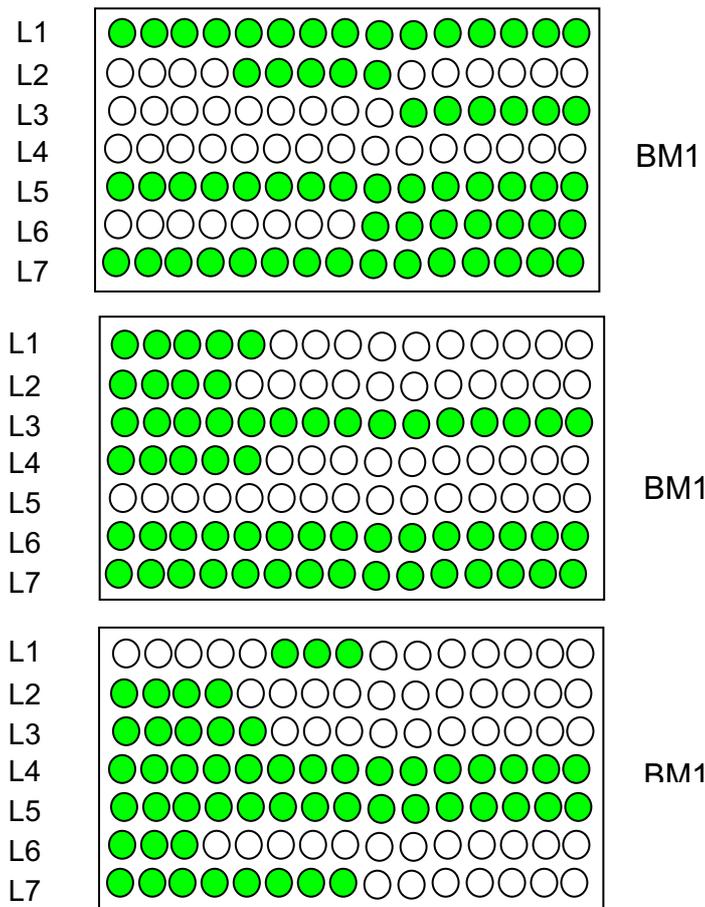


Figure 16: Présentation des lignes récoltées (campagne 2)

LEGENDE :

- Les plants des lignes récoltées
- Plants non récoltés

### III.1 METHODE DE DETERMINATION DES RENDEMENTS

A partir de la méthode de récolte décrite ci-dessus, on détermine la surface couverte par les pieds de laitue récoltés; La détermination de ces surfaces est fonction du nombre de ligne et de la position des lignes et se fait en connaissant la longueur des lignes récoltées et la largeur d'influence. Ainsi, on estime le rendement de la récolte rapporté à l'hectare.

➤ **La surface de laitue récoltée**

Elle correspond à la formule suivante :

$$S_i = \sum (e_i \times l_i).$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} -e_i \text{ (m)} : \text{largeur d'influence de la ligne récoltée} \\ -l_i \text{ (m)} : \text{longueur de la ligne récoltée} \\ S_i \text{ (m}^2\text{)} : \text{Surface de laitue récoltée} \end{array} \right.$$

➤ **Détermination du rendement**

La connaissance de la surface ouverte par des laitues et le poids des laitues récolté, permet de calculer le rendement de la récolte à partir de la formule :

$$R \text{ (t / ha)} = \frac{P \text{ (g)}}{100 * S_i \text{ (m}^2\text{)}}$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} R : \text{Le rendement de la parcelle (en tonne / hectare)} \\ P : \text{Poids de la laitue récoltée en gramme} \\ S_i : \text{La superficie des laitues récoltées (en m}^2\text{)} \end{array} \right.$$

### III.2 DETERMINATION DE LA BIOMASSE

Le suivi des paramètres de la biomasse commence à la fin de la troisième semaine ou lorsque la reprise des plants est homogène sur l'ensemble des parcelles. Compte tenu du cycle de croissance relativement court de la laitue (30 à 40 jours), les fréquences de prélèvement ont été restreintes :

- ✚ pour la première campagne, nous avons réalisé trois mesures de biomasse.
- ✚ la seconde campagne a bénéficiée de quatre mesures de biomasse. Elle s'étend sur deux semaines dont deux fois par semaine.

La mesure de la biomasse est basée sur la détermination du poids sec des pieds de laitues. Le prélèvement d'échantillon est de 3 pieds par parcelles. Les échantillons prélevés pesés à l'état frais puis mis à l'étuve à 105 °C jusqu'à obtention d'un poids sec constant pesée

également. Les résultats de la biomasse sont généralement exprimés en kg/ha de poids sec, ou encore en % du poids frais.

Les résultats sont une moyenne de trois essais :

$$P_s = \frac{1}{3} \times (\sum P_{Si})$$

$P_s$  : Poids sec moyen par parcelle et par prélèvement

$P_{Si}$  : Poids sec calculé par échantillon  $i$  prélevé  
( $i = 1, 2 \dots 3$ )

$P_{Se}$  : Poids sec de l'échantillon

Tare : poids de la tare

Avec :  $P_{Si} = P_{Se} - \text{tare}$

La détermination de la teneur en eau des laitues se fait en utilisant la formule suivante :

$$w = \frac{(Ph - Ps) * 100}{Ph}$$

Avec :

$P_h$  : Poids humide moyen des laitues  
 $P_s$  : Poids sec moyen des laitues  
 $w$  : teneur en eau des laitues.

**TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET  
INTERPRETATIONS DES DONNEES**

# CHAPITRE 1 : EVALUATION DE L'EFFICACITE DE L'IRRIGATION

## I. BESOIN EN EAU DE LA CULTURE

### I.1 MESURE DE L'EVAPORATION

Le but de cette partie est la détermination quotidienne des besoins en eau de la plante nécessaire pour compenser l'évapotranspiration. Pour cette raison les mesures sont faites chaque jour afin de suivre l'évolution quotidienne de l'évaporation. Ce qui nous permet d'assurer le contrôle postérieur des apports d'eau.

La maîtrise des influences climatiques est primordiale pour la quantification des besoins en eau des cultures. La synthèse de la demande climatique est donnée sur la figure9.

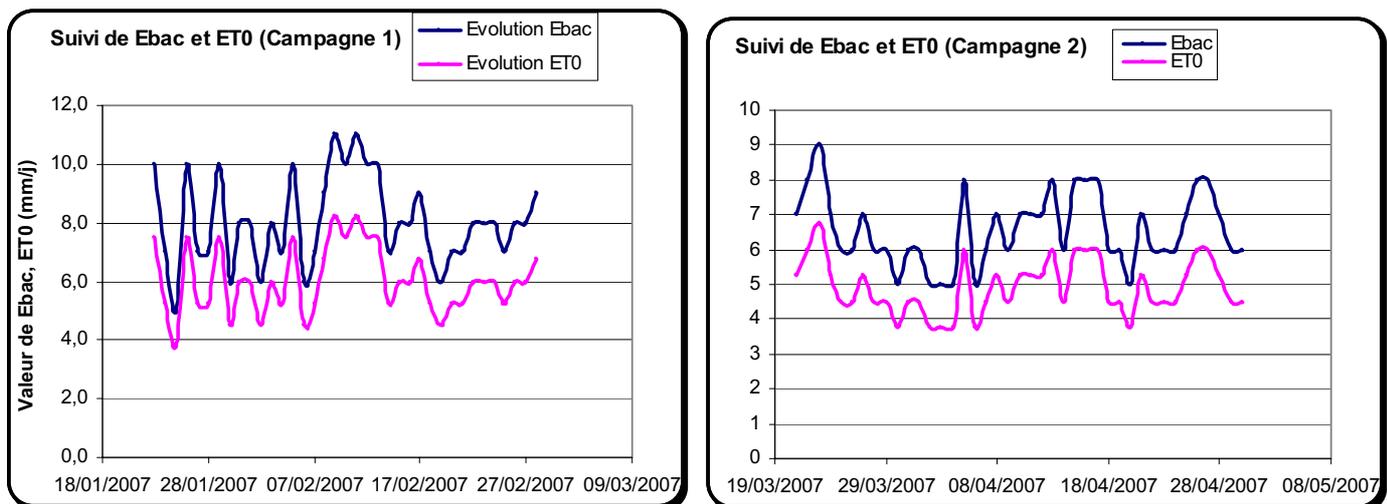


Figure 17: Courbes d'évolution de la demande climatiques

De ces deux figures, nous pouvons constater que la demande climatique de la troisième campagne est inférieure à celle de la deuxième campagne. En ce qui concerne la troisième campagne, la demande affiche une fluctuation autour de 7mm avec une valeur maximale de 9mm. Tandis que la deuxième campagne affiche une variation autour de 8mm avec un maximum de 11mm.

## I.2 DETERMINATION DES BESOINS EN EAU DES CULTURES

Etant donné que l'évaporation réelle est étroitement liée aux besoins en eau de la culture, nous pourrions alors estimer la demande des plantes.

Au cours notre première campagne, l'évapotranspiration a beaucoup varié avec sa courbe en forme de dentelles. Cette variation est également constatée au niveau des besoins en eau des cultures. Nous pouvons alors constater que la valeur moyenne des besoins journalière est de **6,04mm** pour les parcelles cultivées. Tandis que la deuxième campagne présente une moyenne journalière des besoins en eau des cultures est de **5,54mm**.

La valeur moyenne de l'évapotranspiration nous a permis de caler la dose journalière d'apport à trois (03) arrosoirs de **10 litres** par jours soit **30 litres** soit de **5 mm** d'eau chaque jour et par parcelle. Mais cette dose bien qu'elle répond en moyenne à la demande, n'est pas suffisante pour couvrir toutes les contraintes climatiques des périodes de forte évaporation de la première campagne allant jusqu'à **8,25 mm**.

La détermination de l'évaporation par la méthode du bac est la meilleure du fait qu'elle tient compte des demandes climatiques journalières. La méthode du bac assure le suivi postérieur de l'irrigation. Etant donné que les valeurs de l'ET<sub>0</sub> varient, il serait alors nécessaire d'évaluer l'efficacité des apports au cours du cycle cultural. L'évaluation de l'efficacité des apports est obtenue par la détermination du coefficient d'efficacité des apports qui est donnée par le rapport des apports et de la demande.

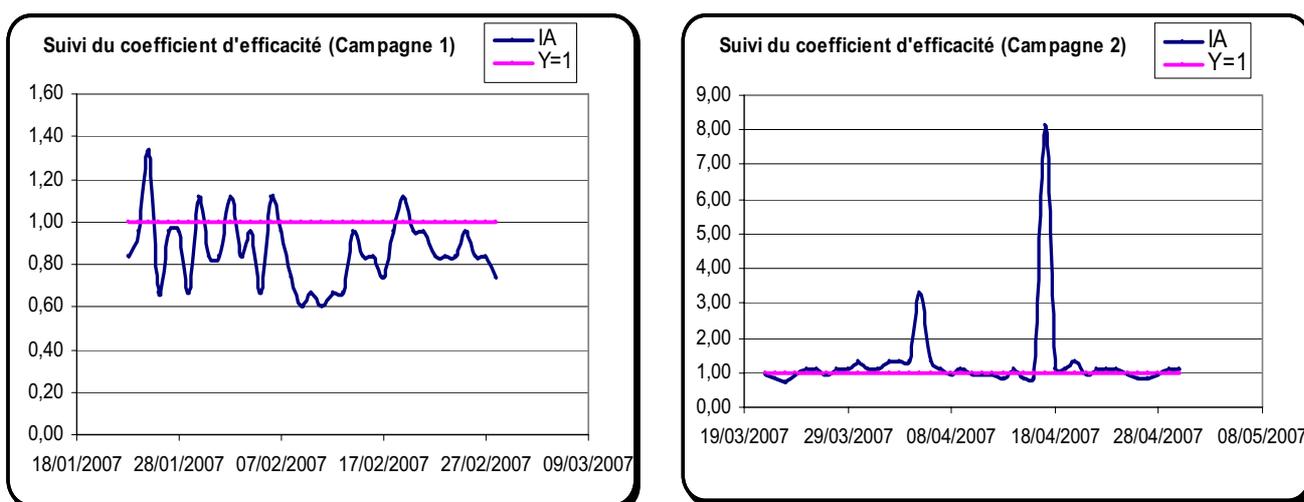


Figure 18: Courbe des coefficients d'efficacité des deux campagnes

Les courbes des coefficients d'apport ont été jointes à la courbe  $Y=1$  qui illustre une réponse à la demande des plantes. La relation entre les deux courbes permet de juger l'efficacité des apports.

## II. PILOTAGE DE L'IRRIGATION

Les valeurs initiales de l'estimation des besoins en eau de la plantes (campagne 1) sont voisines d 30litres (c'est-à-dire 36,0 ; 31,5 ; 22,5). C'est sur cette base que la dose a été fixée à 30litres. Mais, au cours de la période culturale, l'évapotranspiration a été croissante à cause du début de la période chaude. Au cours de la seconde

La courbe des coefficients d'apport se situant en grande partie en dessous de la droite d'équation  $Y=1$  démontre que les besoins en eau n'ont pas été satisfaits sur l'ensemble du cycle cultural. Le coefficient cultural a été choisi en considérant les paramètres de la période de croissance, c'est-à-dire sur la base de la demande maximale de la plante. La considération globale d'un seul coefficient cultural pour la détermination des besoins en eau des cultures, est un paramètre qui peut favoriser un déficit. Cela se justifie par les apports des premières semaines de culture qui révèle qu'ils sont suffisants. A partir de la deuxième semaine, l'évaporation croit rendant ainsi les apports insuffisants et donc un déficit hydrique.

Ainsi, durant la période de culture de la première campagne, le rapport moyen de l'efficacité de l'arrosage est de 0,86.

La deuxième campagne quand à elle, à l'instar de la première campagne a utilisée la même dose à savoir 30 litres d'eau par jour durant son cycle cultural. L'estimation des besoins en eau enregistrée révèle une moyenne de 29,4 litres. Au cours de la seconde campagne,(période moins chaude). Les apports ont été satisfaisants avec une moyenne du rapport des coefficients d'apport égale à 1,28. Les valeurs élevées des apports correspondent aux journées de pluie à savoir le **05 Avril** avec une pluviométrie de **13,5mm** et le **17 Avril** avec une pluviométrie de **33,5mm**. Pour ces deux jours de pluie, nous n'observons que  $IA \gg 1$ .

L'irrigation est faite avec des eaux usées traitées comportant régulièrement des nutriments, toute quantité d'eau d'irrigation qui dépasse les besoins de la culture peut créer un problème. Le problème peut être environnemental et/ ou agronomique. L'irrigation avec les eaux usées requiert le suivi strict du programme d'irrigation. (FAO, 2003). Pour éviter de créer des problèmes à la culture, il est préférable de prendre en compte toutes les variations climatiques.

## CHAPITRE 2 : ETUDE DU FONCTIONNEMENT DU FILTRE

### I. GRANULOMETRIE DU MATERIAU FILTRANT

L'objectif de notre étude était de dégager les impacts de la filtration sur la qualité sanitaire et le rendement des laitues. Pour atteindre cet objectif, il faut s'assurer que le filtre fonctionne bien. Pour ce faire, la première campagne nous a permis de tirer les conclusions sur l'efficacité du filtre.

Le filtre a été dimensionné sur la base de la filtration sur sable et sur gravier. La granulométrie des matériaux utilisés est : du sable de diamètre  $< 5\mu\text{m}$  et du gravier de diamètre compris entre 8mm et 10mm (GAYE, 2007). Le gravier utilisé ne correspondait pas aux matériaux initialement prévu. A la place du gravier, le filtre utilisait du granite concassé comportant des particules fines. Nous avons remarqué un phénomène de colmatage fréquent à un intervalle de deux semaines environ. Signalons au passage que le sable et le gravier utilisés pour la filtration n'ont pas subi un traitement préalable (lavage).



Gravier colmaté



Sable colmaté

Figure 19: Aperçu des matériaux de filtration colmatés

Pour analyser l'efficacité du filtre, nous avons effectué des études microbiologiques sur l'eau filtrée et l'eau du bassin de maturation.

### II. RESULTATS MICROBIOLOGIQUES DES EAUX D'IRRIGATION

Le suivi de la microbiologie des eaux usées avant et après filtration donne les résultats résumés dans le tableau 15. Ce tableau contient les charges en *Coliformes fécaux*, en *Escherichia Coli*, et en *Entérocoque*.

Tableau 13: Comparaison de la microbiologie du BM et EF

Synthèse de la bactériologie des EUT du BM et du filtre (campagne 1)						
Dates	Coliformes fécaux		Escherichia Coli		Entérocoque	
	BM	EF	BM	EF	BM	EF
15/01/2007	2,75E+04	4,60E+04	3	0	0	0
22/01/2007	4,10E+04	3,50E+04	1	0	0	0
29/01/2007	2,40E+05	2,42E+05	1	1	0	0
14/02/2007	1,07E+05	3,16E+05	0	0	0	0
20/02/2007	1,08E+05	4,34E+05	1	5	0	0

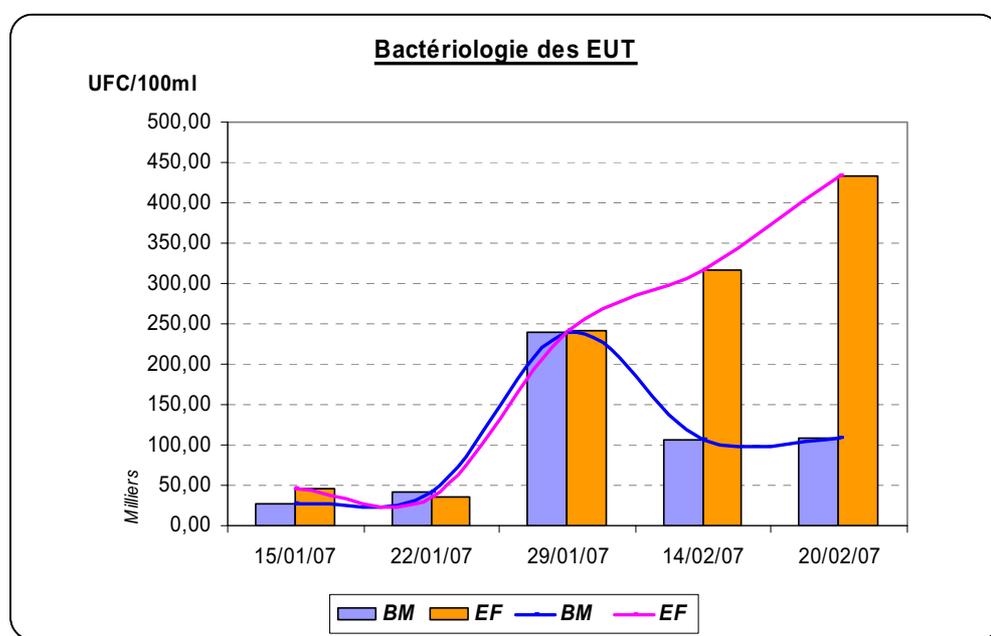


Figure 20: Courbes comparatives de la charge en Coliformes fécaux des eaux usées

Le graphe ci-dessous donne les courbes de la microbiologie des eaux avant et après filtration. Les deux courbes font ressortir deux parties semblables.

La première comprend la première semaine où le sable et le gravier ont été nouvellement introduits dans le filtre. Dans cette dernière, la charge bactérienne est presque la même pour les deux types d'eau.

La deuxième qui comprend le reste des mesures. Dans cette partie, nous remarquons que la charge en coliformes fécaux des eaux filtrées est croissante et dépasse celle des eaux du bassin de maturation.

Avec ces résultats de la microbiologie des eaux, nous constatons que l'objectif du filtre à savoir améliorer l'abattement microbien, n'est pas atteint.

Nous pouvons envisager plusieurs hypothèses :

- ✚ L'utilisation du sable et du gravier dont la granulométrie ne correspondant aux résultats des études de dimensionnement. Ce qui crée un colmatage et une nécessité de vidange répéter.
- ✚ Le manque du traitement du sable et du gravier avant tout usage du filtre : C'est la contamination du matériau qui explique la charge élevée au niveau du filtre dépassant de loin celle de l'eau du bassin de maturation (BM).

Les différents éléments cités ci-dessous nous permettent de conclure que le filtre n'a pas bien fonctionné de manière à atteindre les objectifs fixés de l'étude

Le dysfonctionnement du filtre est alors un obstacle à l'aboutissement des objectifs de l'étude. Pour cette raison, nous avons pris la décision de procéder à l'étude sur l'impact de la qualité sanitaire et du rendement des cultures arrosées par l'eau usée traitée du bassin de maturation.

### III. SUIVI BACTERIEN DU FILTRE PILOTE

Nous avons réalisé le suivi bactérien par analyse de l'eau à l'entrée et à la sortie du filtre dès sa mise en place. Au cours de la première semaine, les analyses faites ont montré que le filtre n'était pas encore stable. Avec les mêmes analyses la semaine suivante qui ne donnent pas de résultats satisfaisants, nous pouvons conclure qu'il faut un temps un peu long pour que le bio film se constitue et permettent d'avoir un abattement acceptable.

Les résultats de la première semaine ont montré que l'eau filtrée contenait une charge élevée en E. Coli que l'eau du bassin de maturation. Alors que les résultats de la seconde semaine prouve une absence de contamination en E.Coli.

**Tableau 14: Bactériologie des eaux du filtre (coliformes fécaux)**

<b>synthèse bactériologie du filtre pilote</b>		
<b>Charge en coliforme fécaux du filtre pilote (CF/100ml)</b>		
<b>Dates</b>	<b>BM</b>	<b>EF</b>
26/04/2007	2,00E+05	1,96E+06
27/04/2007	9,00E+05	1,32E+06
30/04/2007	3,30E+05	1,80E+05
01/05/2007	4,40E+05	3,10E+05
02/05/2007	2,70E+05	1,90E+05

Les valeurs du tableau ci-dessus sont celle de la semaine où nous avons constaté que les valeurs étaient un peu stables. Nous constatons que la déférence de charge des eaux du BM et filtrées est moins d'une unité logarithmique de l'ordre de  $10^5$ . Mais l'abattement reste toujours très supérieur de la norme de l'OMS (<1000 CF/100ml). Ce qui rend toujours l'eau impropre pour l'irrigation des cultures.

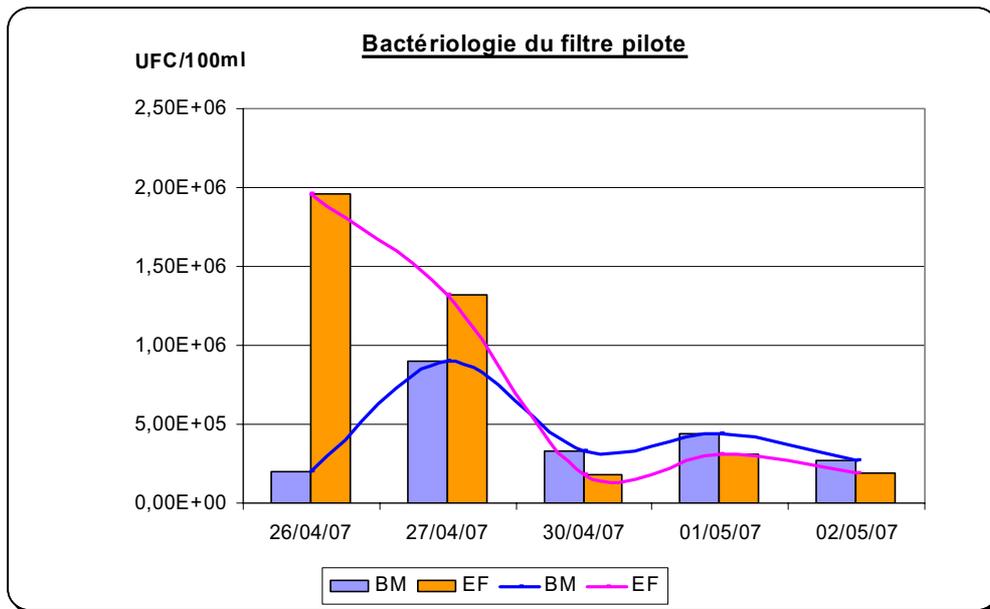


Figure 21: Bactériologie des eaux du filtre pilote

A partir du graphique ci dessus, nous constatons que la charge en coliformes fécaux des eaux usées traitées filtrées à la sortie du filtre pilote est élevée par rapport à celle des eaux usées traitées du bassin de maturation. Cette différence est due à la formation du biofilm qui n'est pas total pour permettre un meilleur abattement. Tandis qu'au cours des semaines suivantes,

## CHAPITRE 3 : CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

Le dysfonctionnement du filtre sur sable et sur gravier a été mis en évidence par le choix des matériaux de filtrants, qui se sont colmatés très rapidement. Pour cette raison, nous considérons que les données tant bactériologiques que physico-chimiques sur les eaux usées traitées sortant de ce filtre ne sont pas représentatives d'un filtre en état de fonctionnement optimal. Par conséquent, les rendements de laitue issus des parcelles arrosées avec les eaux usées traitées filtrées ne seront présentés dans ce travail.

L'étude sur le rendement de la laitue se limitera donc à celle des parcelles arrosées avec les eaux usées traitées du bassin du Maturation.

Par ailleurs nous établirons une comparaison du pouvoir fertilisant de ces eaux usées sur es trois années d'étude où ces eaux ont été utilisées pour l'arrosage de laitue, cela pour mettre en évidence la variabilité de ces éléments fertilisant d'une année à l'autre.

### I. LE PH INITIAL DU SOL.

Le sol de nature limoneuse a un pH initial qui varie suivant les parcelles et les campagnes. Le tableau ci-dessous donne ses différentes.

Tableau 15:pH initial du sol des parcelles de culture.

Campagne 1		Campagne 2	
Parcelles	pH	Parcelles	pH
BM1	7	BM1	7,1
BM2	7,1	BM2	7,1
BM3	7,1	BM3	7

Les valeurs de pH montrent qu'il varie autour de 7. Donc le pH est suffisamment élevé et on pas besoin de le relever. Car le pH optimum pour les sols de culture est compris entre 6,2 et 7,5. Pour maintenir le pH du sol dans la gamme des pH optimum, il faut que les eaux d'irrigation aient des pH acceptables.

## II. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX D'IRRIGATION

### II.1 POTENTIEL D'HYDROGENE DES EAUX D'IRRIGATION

Les mesures de pH sont faites au même moment que les autres paramètres caractéristiques.

Le suivi du potentiel d'hydrogène pendant les deux campagnes de culture se résume sur la figure ci-dessous.

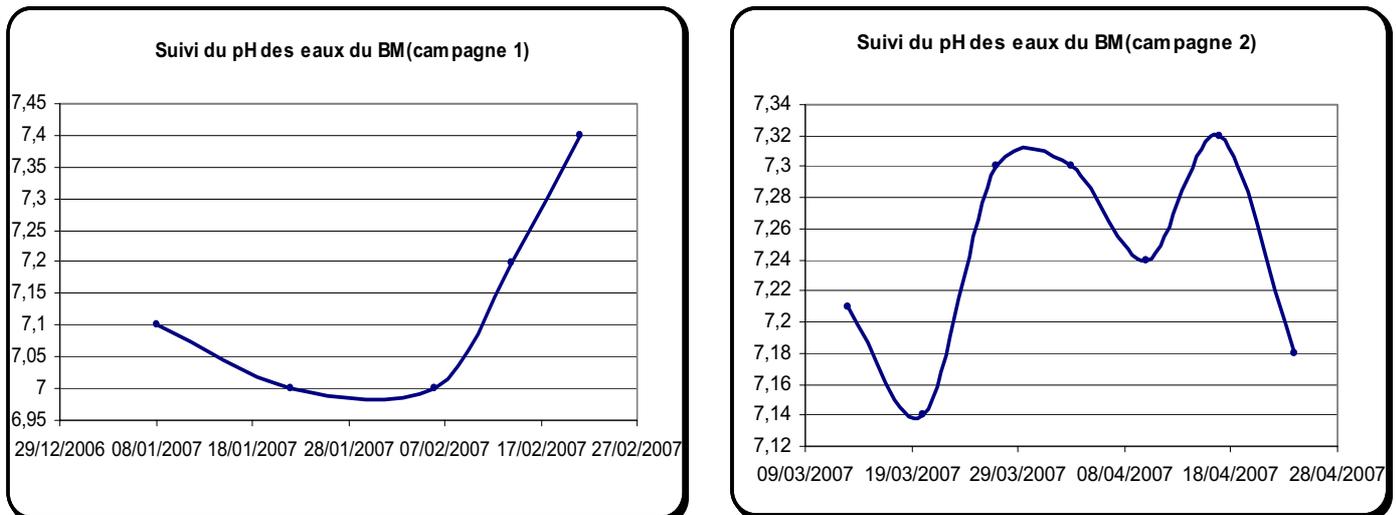


Figure 22: Suivi du pH des eaux d'irrigation

Le potentiel d'hydrogène qui permet de mesurer l'alcalimétrie du milieu est un paramètre important dans l'analyse physico-chimique. Sa variation influence l'évolution des paramètres sous cités.

La première campagne est caractérisée par des valeurs de pH de l'ordre de 7,2 avec un minimum de 7,00 et un maximum de 7,4. Le pH décroît faiblement au début de la campagne et atteint son minimum la deuxième semaine puis commence à croître pour atteindre la valeur maximale à la fin de la période culturale. C'est un pH à tendance neutre avec des valeurs fluctuant autour de 7.

Quand à la seconde campagne, elle est aussi caractérisée par un pH de l'ordre de 7,2 et variant de 7,14 à 7,32. La courbe montre deux pics de 7,3 la troisième et la quatrième semaine et de 7,32 la sixième semaine. C'est également un pH à tendance neutre avec des valeurs fluctuant autour de 7.

Le pH optimum pour les cultures dépend des sols et en générale se situe entre 6,2 et 7,5. Avec un pH initial du sol de l'ordre de 7 pour les deux campagnes, nous n'avons pas eu besoin de relever le pH du sol (cours d'Agriculture générale). Et pour ces raisons, le pH de l'eau de l'ordre de 7,2 est acceptable. Les variations du pH varie très peu pour les deux campagnes de 7 à 7,4 et donc confirme que les eaux usées traitées sont aptes à l'irrigation de la laitue (INERA, Janvier 1998).

Un pH très faible, entraîne une activité importante des éléments chimiques, donc une toxicité, alors qu'un pH très élevé entraîne la mobilisation des éléments chimiques, donc une carence. Le pH des eaux d'irrigation se trouve alors être un paramètre très important dans l'estimation de la qualité fertilisante des eaux.

## II.2 LES NITRATES ET AMMONIUMS (NO<sub>3</sub> ET NH<sub>4</sub>)

L'estimation de l'azote présent dans l'eau d'irrigation se fait à travers l'azote contenu dans les nitrates (N-NO<sub>3</sub>) et l'azote contenu dans l'ammonium (NH<sub>4</sub>-N).

A partir des données des deux campagnes de culture, nous allons ressortir l'influence de l'évolution de ces éléments sur la quantification de l'azote.

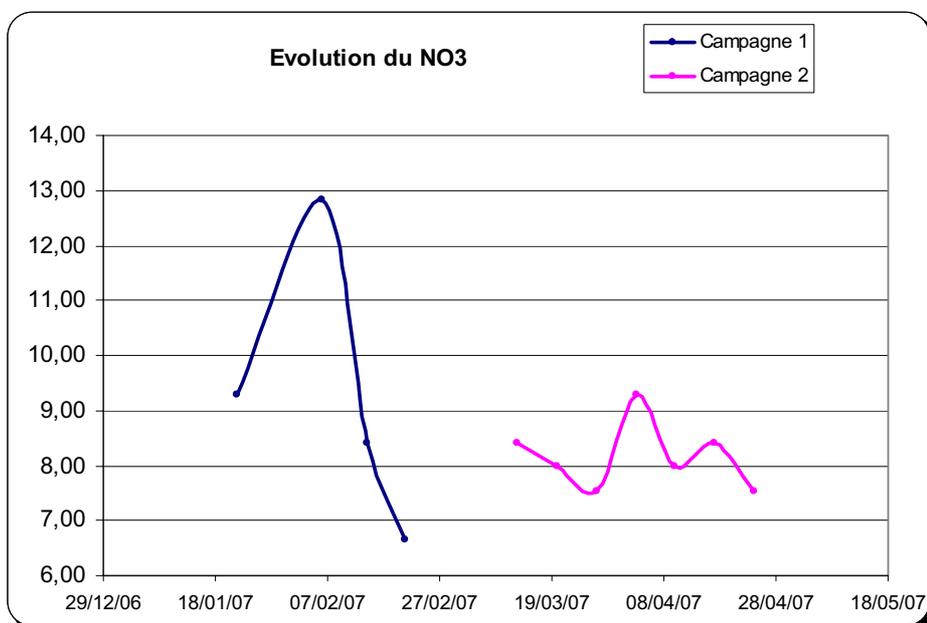


Figure 23: Suivi des nitrates dans les eaux d'irrigation

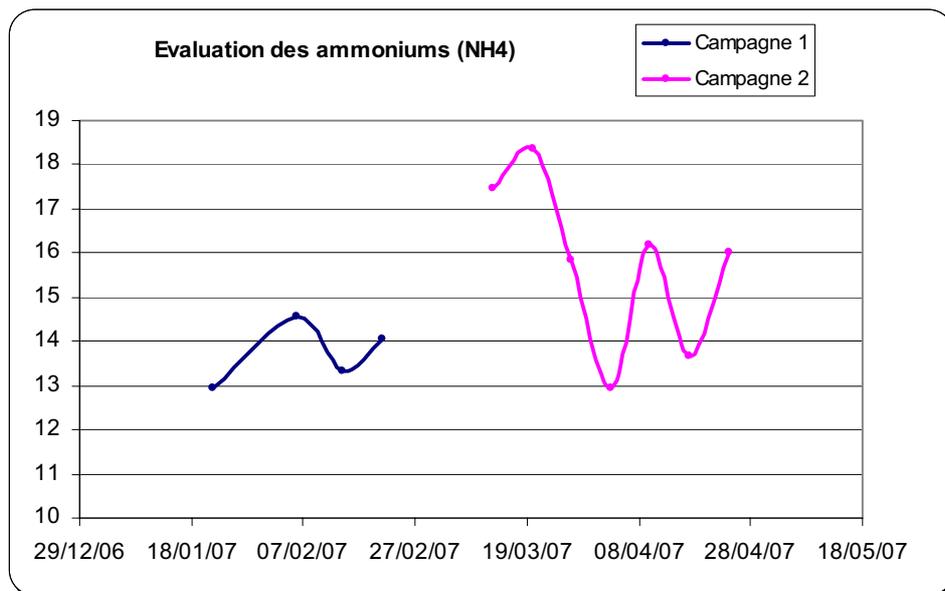


Figure 24: Suivi des ammoniums dans les eaux d'irrigation

Le suivi des nitrates a été réalisé au cours des deux campagnes avec l'application des mêmes méthodes.

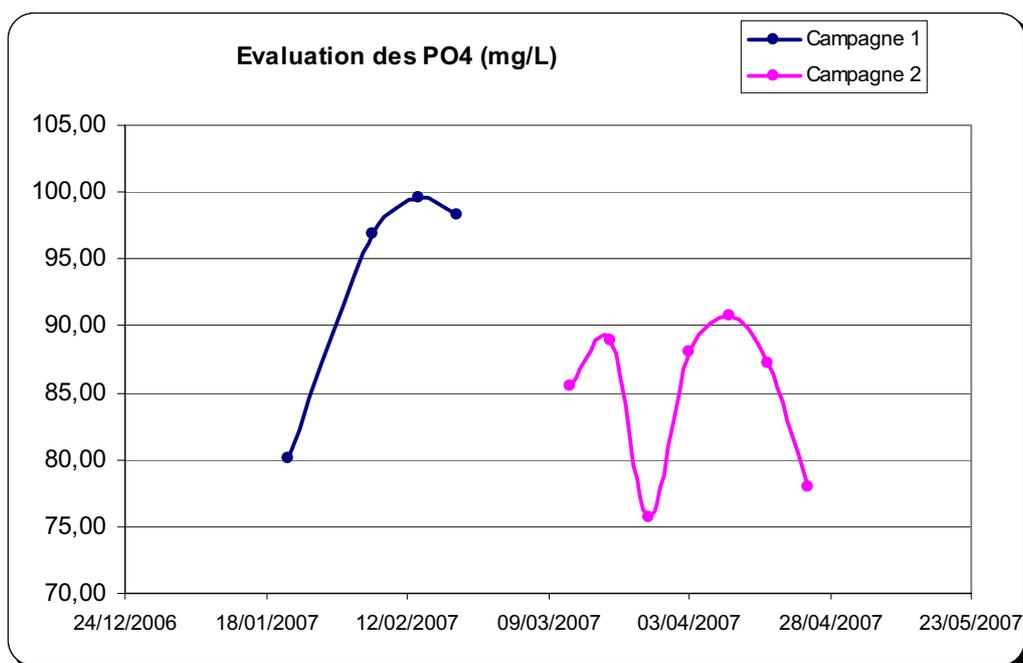
C'est avec ces valeurs moyennes évaluées en nitrate et ammonium que la détermination de la concentration en azote, sachant que les nitrates comportent 0,23% d'azote et les ammoniums 0,78%. La teneur en azote des eaux usées traitées sera alors la combinaison de l'azote contenu dans les nitrates et l'azote contenu dans les ammoniums.

On observe à partir des graphiques une évolution des concentrations d'une campagne à l'autre avec une moyenne en nitrate de 13,73 mg/L pour la campagne 1 à 15mg/L pour la campagne 2. Les concentrations en nitrate et ammonium des eaux usées se révèlent être moindre que celle de l'année 2006 (Lakte, 2006) où la concentration moyenne en nitrate était de 39,63mg/L et celle en ammonium de 25,68mg/L.

### II.3 LES ORTHO PHOSPHATES ET LE POTASSIUM (PO<sub>4</sub> ET K<sub>2</sub>O)

Les résultats des deux campagnes de culture sont résumés sur la figure suivante.

Le graphe présente les résultats des deux campagnes.



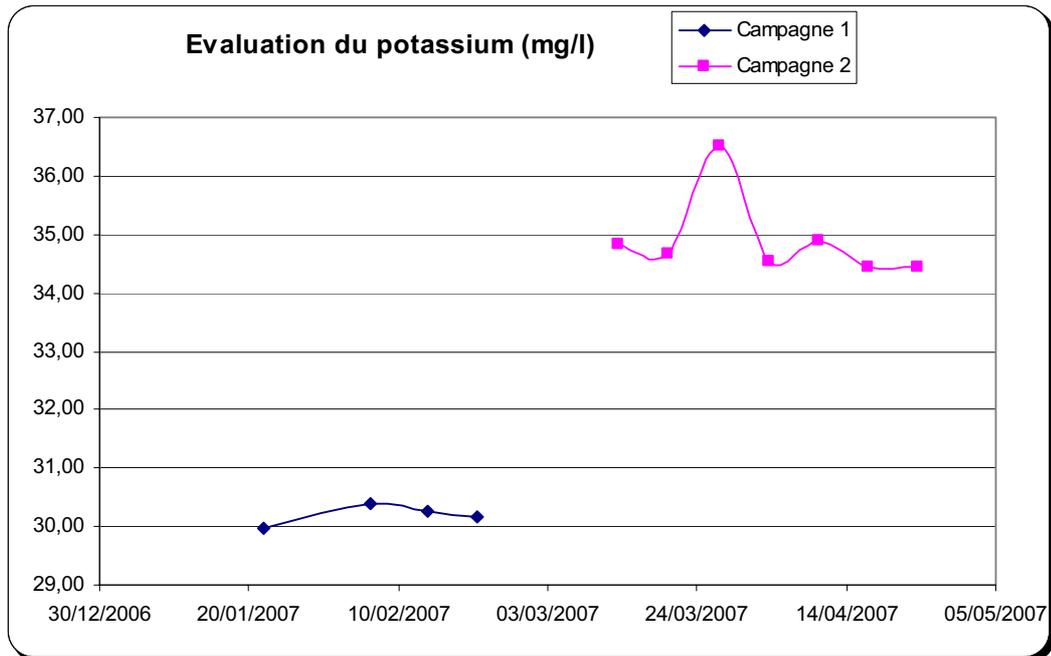
**Figure 25: Suivi des ortho phosphates (PO4)**

Les ortho phosphates sont variables dans le temps durant les deux campagnes.

La première est caractérisée par une augmentation de la concentration de 80,13 mg/L à 99,28 mg/L. On enregistre une moyenne de 93,74 mg/L. Tant dis que la seconde campagne connaît une baisse de sa concentration en ortho phosphate avec des valeurs comprise entre 75,70 mg/L et 90,75 mg/L puis une moyenne de 84,87 mg/L.

Les ortho phosphates sont constitué de 0,75% de phosphore (P2O5). L'évaluation du phosphore dans l'EUT devrait être réalisé en concomitance avec les analyses de sol.

On note une grande variation des concentrations des orthophosphates entre les deux années d'étude. Les valeurs des concentrations en PO4 des eaux usées traitée du 2iE évalué en 2006 par Lathe ont donné 18,30mg/L. de ces résultats, les eaux usées sont alors moins riches en orthophosphates pour les expériences de l'année 2007.



**Figure 26: Suivi du potassium (K)**

La concentration du potassium des eaux usées traitées varie très peu dans le temps.

Les variations de la concentration pour la première campagne, croient pendant les deux premières semaines pour atteindre le maximum de 30,28 mg/l. La moyenne enregistrée est de 30,2 à mg/L. La seconde campagne est caractérisée par une variation moyenne de 34,44 mg/l à 36,52mg/L soit une moyenne de 34,90mg/L. La concentration en potassium lors de la seconde campagne est plus élevée que les valeurs de la première campagne.

L'année 2007 a été marquée par une concentration moyenne en potassium de 30,20 mg/L (campagne 1) et de 34,90mg/L (campagne 2). Alors que celle de l'année 2006 montre que les eaux usées sont des concentrations faibles soit de 25,79mg/L (Lakte, 2006)

La connaissance des nitrates, ammoniums, ortho phosphates, et les potassiums permettent d'évaluer l'équivalent fertilisant des eaux usées traitées.

La synthèse de cette évaluation est donnée ci-dessous.

### III. LA QUALITE FERTILISANTE DES EAUX D'IRRIGATION

Tableau 16: Evaluation des éléments fertilisants des eaux d'irrigation (campagne 2)

	Equivalent fertilisant eau BM (campagne2)			
	NH4	NO3	PO4	K
Concentration moyenne (mg/L)	13,70	9,30	93,85	30,20
Apport quotidien (mg)	411,00	278,90	2815,57	906,00
Apport sur le cycle de la Culture (kg/ha)	14,09	9,56	96,53	31,06
Equivalent fertilisants en (kg/ha)	10,99	2,20	72,40	74,86

Le tableau ci-dessus permet de conclure qu'au cours de la première campagne, l'eau du bassin de maturation (BM) contient en moyenne 10,99 kg/ha d'ammonium, de 2,30 kg/ha de nitrate, de 72,40 kg/ha de phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) et 74,86 kg/ha de potassium (K<sub>2</sub>O).

En concomitance avec la teneur initiale en éléments fertilisants du sol, on estime la quantité d'éléments fertilisants disponible pour la campagne.

Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 17: Synthèse de l'équivalent fertilisant de l'eau (campagne 2)

	Synthèse		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Eléments fertilisants des eaux (kg/ha)	13,19	72,4	74,9
Eléments fertilisants du sol (g/parcelle)	87,05	4,80	
Eléments fertilisants disponible par parcelle	100,24	77,20	74,9

Le tableau synthétique nous permet par comparaison avec les normes de l'INERA d'apprécier l'efficacité de la qualité fertilisante.

**Tableau 18: Recommandations de l'INERA**

<b>Recommandations de l'INERA en éléments fertilisants pour la culture de laitue</b>			
	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
Recommandations de l'INERA (kg/ha)	160	150à 300	150 à 300

En faisant la comparaison de la qualité fertilisante déterminée avec les valeurs de la recommandation de l'INERA, on constate que les éléments fertilisants sont insuffisants pour avoir une efficacité nutritive élevée. Ce que confirme LAKTE (2006) qui conclut que les éléments nutritifs des eaux d'irrigation sont insuffisants pour avoir un rendement optimum.

Dans le compte de la seconde campagne, les mêmes études ont été réalisées afin de ressortir l'influence sur le rendement des cultures.

Nous avons résumés les résultats au tableau ci-dessous.

**Tableau 19: Evaluation des éléments fertilisants (campagne3)**

	<b>Equivalent fertilisant eau BM</b>			
	<b>NH<sub>4</sub></b>	<b>NO<sub>3</sub></b>	<b>PO<sub>4</sub></b>	<b>K</b>
Concentration moyenne (mg/L)	15,79	8,16	84,87	35,11
Apport quotidien (mg)	599,97	310,02	3225,13	1334,03
Apport sur le cycle de la Culture (kg/ha)	20,6	10,6	110,6	45,7
Equivalent fertilisants en (kg/ha)	16,0	2,44	82,9	110,2

La concentration des nitrates lors de la seconde campagne a augmenté de même que celle des ammoniums, des ortho phosphates et des potassiums. On note une concentration de 16,0 kg/ha d'ammonium, de 2,44 kg/ha de nitrate, de 82,9 kg/ha d'ortho phosphates et de 110,2 kg/ha de potassium. La synthèse de ces éléments donne l'équivalent fertilisant des eaux du bassin de maturation.

**Tableau 20: Synthèse des éléments fertilisant de l'eau (campagne3)**

	Synthèse		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Eléments fertilisants des eaux (kg/ha)	18,49	82,9	110,2
Eléments fertilisants du sol (g/parcelle)	87,05	4,80	
Eléments fertilisants disponible par parcelle	105,54	87,73	110,23

Par comparaison des valeurs du tableau ci-dessus à celles de l'INERA, nous constatons également que la quantité en éléments fertilisants des eaux d'irrigation n'est pas suffisante pour obtenir un rendement optimum de la culture de laitue mais cette eau permet de résoudre en grande partie le problème de fertilisation des cultures.

**Tableau 21: Synthèse des éléments fertilisants des eaux d'irrigation**

Teneur en éléments fertilisants des eaux usées (kg/ha)					
Campagne1			Campagne2		
N	PO4	K	N	PO4	K
12,84	93,74	30,20	18,49	82,93	110,23

#### IV. LA DETERMINATION DES RENDEMENTS DES LAITUES

Le rendement des laitues durant ces deux campagnes a été déterminé de la même manière en utilisant la même méthode préalablement décrite. Les résultats obtenus pour la détermination des rendements sont ceux de la biomasse et du rendement proprement dit.

## IV.1 LES RESULTATS DE LA BIOMASSE

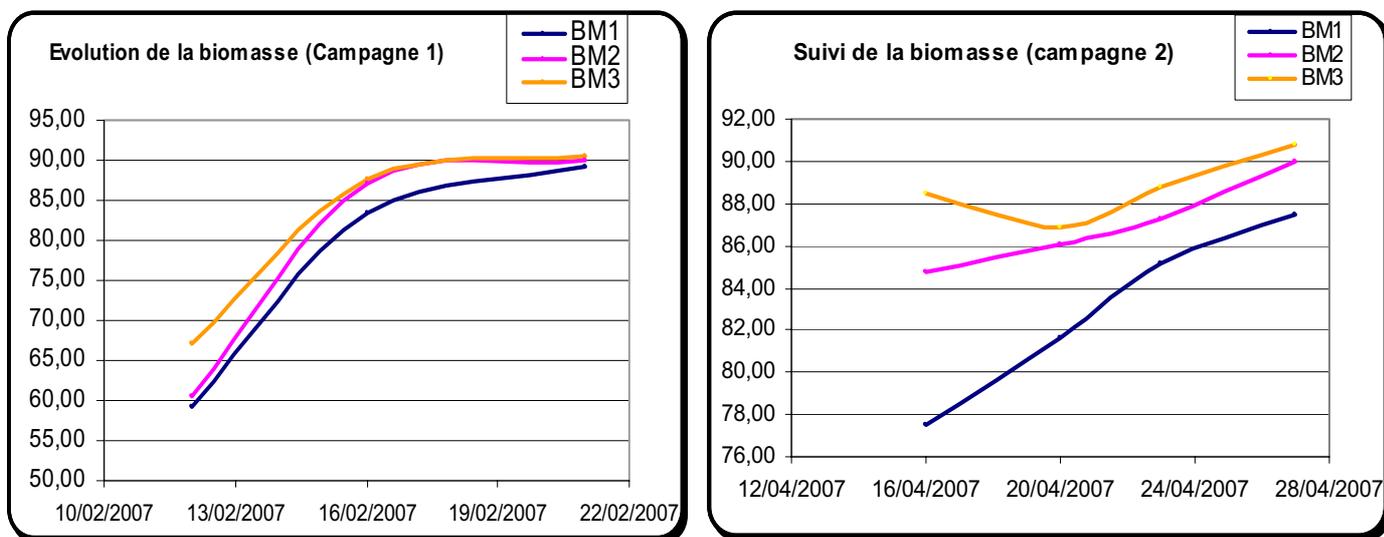


Figure 27 : Biomasse des laitues (campagne 1 et 2)

La figure précédente montre que la biomasse des laitues lors de ces deux campagnes est très variable. La biomasse déterminée lors de la première campagne varie de 59,22 à 89,19 pour la parcelle BM1, de 60,55 à 89,96 pour la parcelle BM2 et de 67,08 à 90,58 pour la parcelle BM3. Tandis que pour la seconde campagne, elle varie de 77,53 à 87,48 pour la parcelle BM1, de 84,78 à 90,00 pour la parcelle BM2 et de 88,44 à 90,81 pour la parcelle BM3.

Nous constatons que les valeurs de biomasse de la seconde campagne sont plus élevées que celles de la première campagne. Pour les deux cas, les parcelles BM3 ont la biomasse la plus élevée, suivie de celle de BM2 et enfin la plus faible biomasse est celle des parcelles BM1.

La valeur élevée de biomasse des parcelles peut est certes liée à la teneur en eau du sol. Les valeurs de la teneur en eau du sol déterminée dans le cadre de l'évaluation de la charge bactérienne du sol, montre que les parcelles BM3 ont leur valeur de la teneur en eau du sol plus élevé.

Un aperçu des parcelles de laitues ainsi des pieds de laitue sont configurés sur les photos suivantes.



Parcelles de laitue campagne 1

Figure 28: Aperçu des cultures de laitues (campagne1)



Parcelle BM3 à mi croissance campagne 1



Laitue campagne 2 à mi croissance

Figure 29: Aperçu de cultures (Campagne 2)



Laitue campagne 3 à la récolte

#### IV.2 LES RESULTATS DU RENDEMENT

La croissance des pieds de laitues a été hétérogène sur les parcelles. Cela est dû à plusieurs raisons dont : La pépinière trop vieille (pour la première campagne), des dates de repiquage différentes, la perte de pieds de laitue détruits par un binage mal fait et une période de culture non optimale pour la mise en place de laitue. Compte tenu de cette hétérogénéité, le choix des lignes à récolter diffère suivant les parcelles.

Les rendements des différentes parcelles, déterminés de la même manière sont résumés sur les figures suivantes :

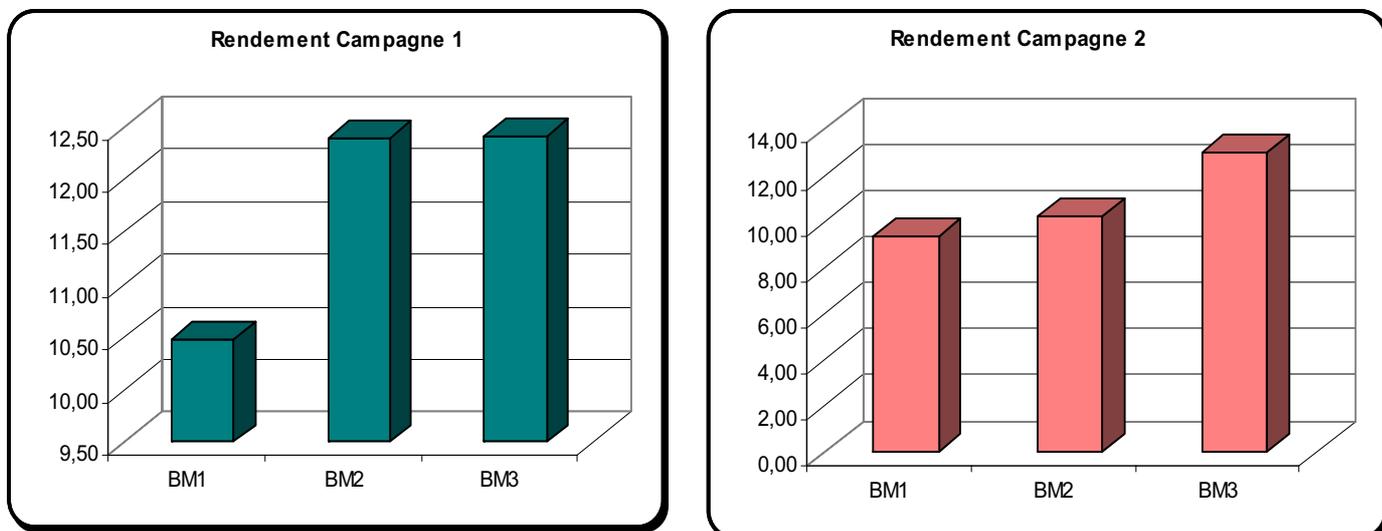


Figure 30: Rendement des cultures (campagne 1 et 2).

Pour chaque campagne, les rendements de la parcelle BM3 sont les meilleurs variant de 12,41 t/ha pour la première campagne et 13,06 t/ha pour la seconde campagne. La valeur des rendements les plus faibles est celles des parcelles BM1.

Il existe un lien étroit entre la biomasse et le rendement du fait que la variation de la biomasse est la même que celle du rendement. Une fois la récolte des laitues faites, on procède immédiatement aux pesées pour la détermination des rendements. Donc la teneur en eau des laitues est partie intégrante du poids total. Pour ces mêmes raisons, la biomasse influence le rendement.

Les valeurs récapitulatives des rendements des cultures sur les deux campagnes figurent sur le tableau suivant :

Tableau 22: Tableau comparatif des résultats de rendement des deux campagnes

Parcelles	Campagne 2 Rendement (tonne/ha)	Campagne3 Rendement (tonne/ha)
BM1	10,48	9,34
BM2	12,39	10,24

BM3	12,41	13,06
-----	-------	-------

Ce tableau nous permet de comparer les rendements obtenus lors de ces deux campagnes de culture.

Outre la comparaison des rendements, il existe une corrélation entre la teneur en eau des plantes et leur rendement. Le tableau ci-dessous nous donne un récapitulatif des résultats de rendement et teneur biomasse.

De même, on a le diagramme comparatif des rendements des cultures des deux campagnes.

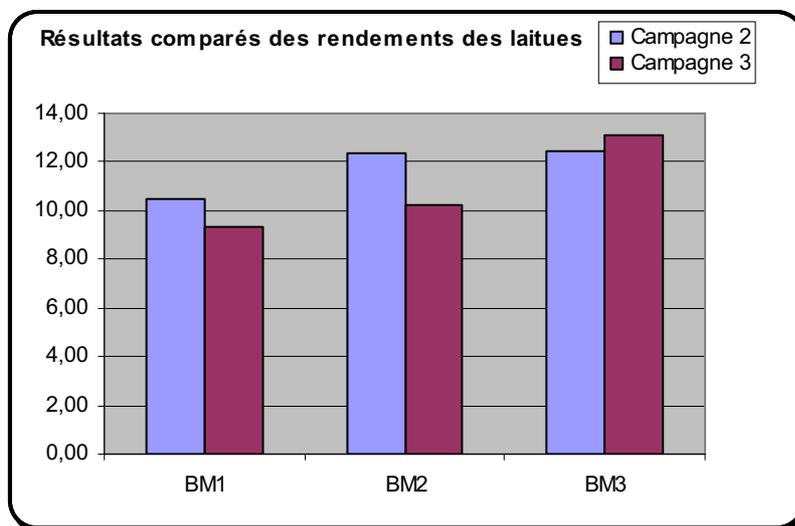


Figure 31: Diagramme comparatif des rendements

## CHAPITRE 4 : CARACTERISTIQUES MICROBIOLOGIQUES

### I. MICROBIOLOGIE DES EAUX D'IRRIGATION

#### I.1 BACTERIOLOGIE DES EAUX D'IRRIGATION

Les paramètres identifiés que sont les Coliformes fécaux, les Escherichia Coli et les Entérocoques.

##### ➤ Entérocoque

En ce qui concerne les Entérocoques, aucune trace d'Entérocoque n'a été détectée. Nous pouvons alors conclure que l'eau usée n'est pas contaminée par les entérocoques aussi bien pour la première campagne que sur la seconde campagne.

##### ➤ Les Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux ont été très variés pour chacune des campagnes de culture.

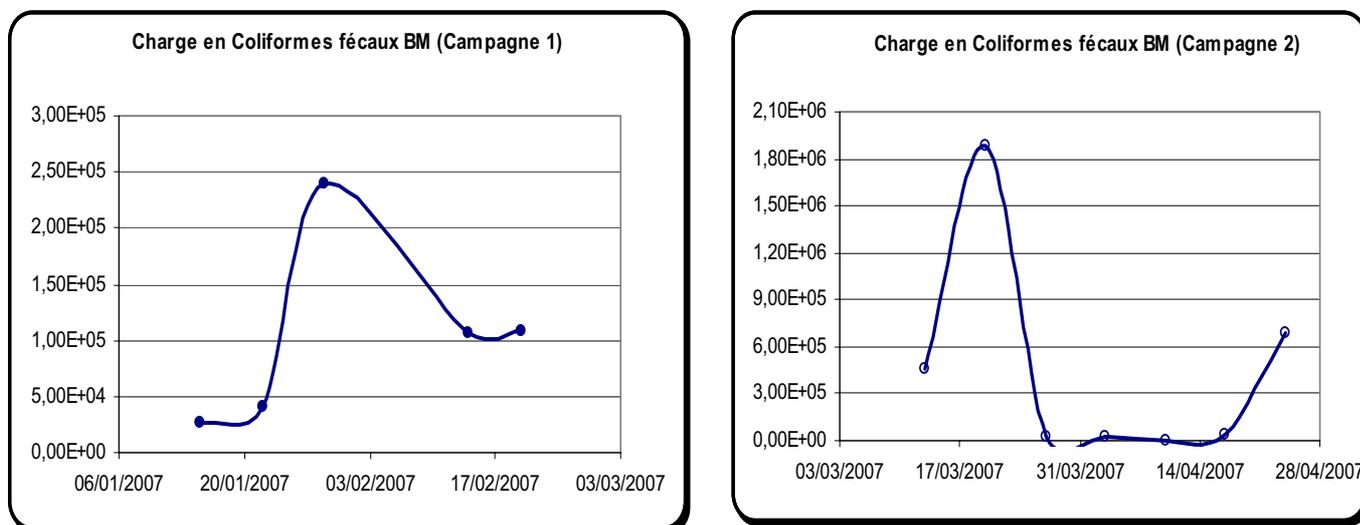


Figure 32: Charge en coliformes fécaux des eaux d'irrigation

La concentration en coliformes fécaux des eaux d'irrigation diffère d'une campagne à une autre. Lors de la campagne 1, la charge connaît une croissance à mi-période de la culture où elle atteint son pic de  $2,40 \cdot 10^5$  CF/100ml pour décroître au moment des récoltes.

La charge varie alors de  $2,75 \cdot 10^4$  CF /100ml à  $2,40 \cdot 10^5$  CF /100ml. Quant à la campagne 2, elle est caractérisée par une charge variant entre  $2,00 \cdot 10^4$  CF /100ml à  $1,89 \cdot 10^6$  CF /100ml.

Elle croit pendant la deuxième semaine où elle atteint son pique de  $1,89 \cdot 10^6$  CF /100ml pour décroître pendant la croissance des laitues et augmenter une fois encore à la récolte. La charge en coliformes fécaux des eaux pour les deux campagnes, montre que les eaux usées ont une charge qui dépasse 100 CF/100ml (les normes de l'OMS). Ces résultats ont été également confirmés par les études de Thiaw (2006).

### ➤ Escherichia Coli

**Tableau 23: Charge en Escherichia Coli des eaux d'irrigation**

Campagne 2		Campagne 3	
Escherichia Coli (ufc/100ml)		Escherichia Coli (ufc/1100ml)	
Dates	BM	Dates	BM
15/01/2007	3000	13/03/2007	0
22/01/2007	1000	20/03/2007	20000
29/01/2007	1000	27/03/2007	0
14/02/2007	0	03/04/2007	0
20/02/2007	1000	10/04/2007	0

Au cours de la première campagne, on constate la présence d'Escherichia Coli dans les eaux du bassin de maturation. Le chiffre de 3000 ufc/100ml dénombré le 15 janvier dépassent trois fois les normes de l'OMS pour un usage en agriculture. Ainsi, sur la base de ces normes, ces eaux n'étaient pas indiquées pour arroser de la laitue, qui est un légume consommé cru.

## I.2 PARASITOLOGIE DES EAUX D'IRRIGATION

Pendant toutes nos analyses, nous n'avons trouvé aucune trace de parasites dans les eaux usées du 2iE. Les eaux usées traitées utilisées pour l'irrigation de nos cultures ne comportent pas de parasites (kystes de protozoaires et œufs d'helminthes).

## II. MICROBIOLOGIE DU SOL

### II.1 BACTERIOLOGIE

Les paramètres caractéristiques de notre étude ont été les coliformes fécaux, les *Escherichia coli* et les entérocoques.

#### ➤ Entérocoque

En ce qui concerne la charge en Entérocoque, le sol n'est pas contaminé en Entérocoque et ceci pour les deux campagnes réalisées. Donc la source de contamination ne peut alors provenir que des eaux d'irrigation.

#### ➤ Les coliformes fécaux

Le dénombrement des coliformes fécaux montre que le sol est contaminé en coliformes fécaux.

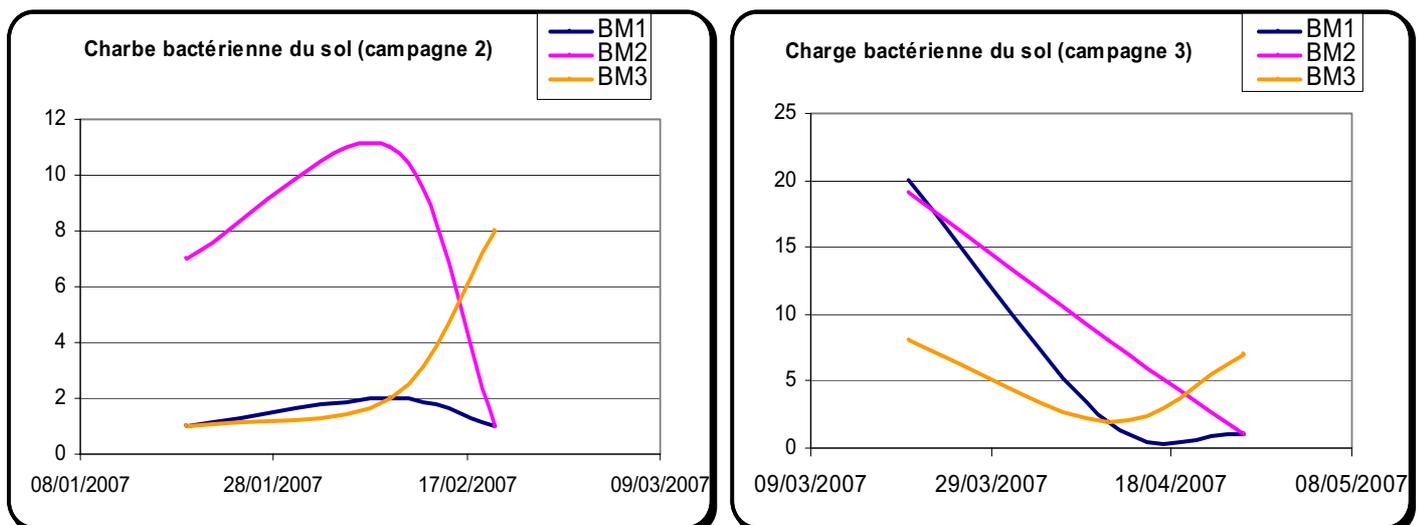


Figure 33: Bactériologie des sols (coliformes fécaux)

La charge en coliformes fécaux des sols est très variée pour les deux campagnes.

La charge de la parcelle BM1 est restée en moyenne constante pour la première campagne et décroissante, pouvant s'annuler pour la seconde campagne ; quant à la charge de la de la parcelle BM2, elle croit entre les deux première mesures pour décroître à la récoltes ; tandis

que la parcelle BM3 est caractérisée par une charge croissante lors de la première campagne alors pour la seconde, elle décroît avant de remonter à la récolte.

En somme, les parcelles de la première campagne ont une charge qui décroît sauf la parcelle BM3 alors que lors de la seconde campagne, toutes les charges ont des valeurs qui décroissent.

### ➤ Escherichia Coli

**Tableau 24 : Identification des Escherichia coli du sol**

Campagne 1			Campagne 2		
Charge Escherichia Coli (colonie lue)			Charge Escherichia Coli (colonie lue)		
Avant le repiquage	Pendant la croissance	A la récolte	Avant le repiquage	Pendant la croissance	A la récolte
0	0	0	9	0	0
0	0	0	5	0	0
0	0	0	4	1	0

Les Escherichia Coli sont inexistantes dans le sol durant toute la période de culture. Tandis que pour la deuxième campagne, on les rencontre juste avant le repiquage, mais pendant la phase de culture jusqu'à la récolte, ils sont presque inexistantes. Le sol est alors moins contaminé en Escherichia Coli sur l'ensemble des deux campagnes. Seulement on constate une contamination des parcelles avant le repiquage des laitues de la deuxième campagne qui pourrait avoir une répercussion sur la qualité des cultures. Donc le milieu n'a pas été favorable au développement des Escherichia Coli.

## II.2 PARASITOLOGIE DES SOLS

En parasitologie, toutes les analyses ont révélé que les sols de la campagne 1 ne contiennent aucune trace de parasites (kystes et œufs d'helminthes), tandis que les sols de la campagne 2 révèlent une présence des kystes et des parasites.

Tableau 25: Parasitologie du sol (campagne 2)

Parasitologie du sol (campagne2)		
Parcelles	Etmameaba Coli	Œufs d'ascaris
Avant repiquage		
BM1	oui	oui
BM2	non	non
BM3	non	non
Pendant la croissance		
BM1	oui	oui
BM2	non	non
BM3	non	non
A la récolte		
BM1	oui	oui
BM2	non	non
BM3	non	non

La parcelle BM1 montre la présence des kystes et d'œufs. Avant le repiquage, pendant la croissance et à la récolte, on trouve les kystes d'Etmameaba et d'œufs d'ascaris.

La seconde campagne fait apparaître une contamination en parasite (Kyste de protozoaire et œufs d'ascaris) dans le sol.

Outre la comparaison de la charge du sol, il existe une corrélation étroite entre la charge microbienne et la teneur en eau du sol.

Tableau 26: Tableau comparatif de la charge microbienne et la teneur en eau du sol

Parcelles	Charge du sol (UFC/100g)	Teneur en eau (%)
BM1	20	15,09
	19	13,47
	8	14,83
BM2	2	11,00
	8	8,24
	2	11,65
BM3	1	6,43
	1	6,91
	7	9,42

Les valeurs de ce tableau nous permettent de ressortir l'influence de la teneur en eau du sol sur la détermination de la charge microbienne.

### III. MICROBIOLOGIE DES LAITUES

La microbiologie des laitues consiste à l'analyse des coliformes fécaux, des Escherichia Coli, des Entérocoques, des kystes de protozoaire et œufs d'helminthes.

#### ➤ Les Entérocoques

Sur l'ensemble des deux campagnes, il n'y a aucune contamination des cultures en Entérocoques. Car il n'y a aucune trace d'Entérocoques aussi bien pour la campagne 1 que pour la campagne 2.

#### ➤ Les coliformes fécaux

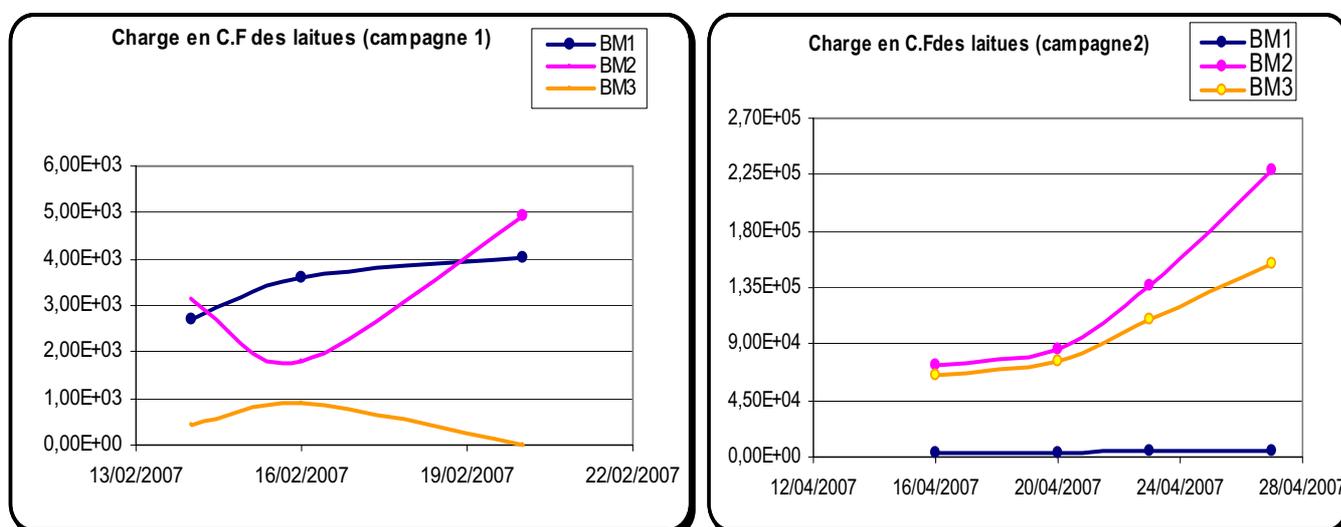


Figure 34: Charge en coliformes fécaux des laitues

La charge en coliformes fécaux est très variable suivant les parcelles et les campagnes.

Pour la première campagne, la parcelle BM1 a une charge légèrement croissante. Pendant ce même temps, la charge de la parcelle BM2 décroît pendant les deux premières mesures pour croître à la récolte, atteignant sa plus grande valeur de  $4,95 \cdot 10^3$  UFC/g. Au cours de la seconde campagne, la charge en coliformes fécaux de toutes les parcelles a une tendance croissante de  $2,70 \cdot 10^3$  UFC/g à  $4,95 \cdot 10^3$  UFC/g pour BM1 ; de  $7,34 \cdot 10^4$  UFC/g à  $2,30 \cdot 10^5$  UFC/g pour BM2 ; de  $6,53 \cdot 10^4$  UFC/g à  $1,53 \cdot 10^5$  UFC/g pour BM3. On note une forte concentration en coliformes fécaux des laitues, dépassant les normes de l'OMS.

➤ **Les Escherichia Coli :**

**Tableau 27: Charge bactérienne (Escherichia Coli).**

Dates	E.C (campagne2)		
	BM1	BM2	BM3
14/02/2007	0	0	0
16/02/2007	0	0	0
20/02/2007	0	0	4,50E+02

La concentration en Escherichia Coli est très faible voir nulle pour la culture de la première campagne, seulement, on note des traces d'Escherichia Coli le 20/02/07 sur la parcelle BM3. Alors que pour la seconde campagne, note une absence totale des Escherichia Coli. On peut conclure que sur l'ensemble des cultures, il n'y a pas de contamination en Escherichia Coli.

### III.1 PARASITOLOGIE DES LAITUES

Toutes les analyses de parasitologie lors de la première campagne ont révélé que les laitues ne sont pas contaminées. La charge en œufs d'helminthes et en kystes de protozoaire est nulle.

Au cours de la seconde campagne, les analyses révèlent de contamination pour les sols et les laitues de la parcelle BM1. Les parcelles BM2 et BM3 ne comportent aucune trace de parasites ni dans le sol, ni dans les laitues.

**Tableau 28: Parasitologie des laitues (campagne 2).**

Parasitologie des laitues (campagne2)		
Parcelles	Kystes Etmameaba Coli	Œufs d'ascaris
BM1	107	40
BM2	0	0
BM3	0	0

Les mesures faites pour l'ensemble du culot de 100g de laitue dans un litre d'eau, ont permis de constater seulement au niveau de la parcelle BM1, la présence de 107 kystes d'Etmameaba et de 40 œufs d'ascaris.

Il n'y a donc pas de parasites dans les laitues arrosées par l'eau usée traitée du 2iE pour la première campagne. Tandis que pour la seconde campagne, trouve des KOP sur la parcelle BM3.

## CHAPITRE 5 : INTERPRETATION ET DISCUSSION

### I. SUR LE RENDEMENT DES CULTURES

Les rendements observés sur chacune des parcelles nous amènent à tenir compte l'état initial du sol dans sa spécificité totale. Rappelons que dans notre étude, nous avons considéré l'état moyen du sol sur toutes les parcelles, outre l'état initial du sol, il vient à noter que toutes les parcelles ont été soumises à un même traitement et à l'irrigation avec une même eau variant suivant les campagnes. En considérant les paramètres cités ci-dessus, l'influence sur le rendement ne proviendrait alors que de :

- ✚ La teneur initiale du sol en considérant toutes les variations les moindres possibles
- ✚ La teneur en élément fertilisant des eaux d'irrigation
- ✚ La nature du sol spécifique pour chaque parcelle.
- ✚ La forte demande climatique n'ayant pas été satisfaite entièrement.

La différence des rendements observée au niveau des parcelles lors de la seconde campagne, connaît également les mêmes raisons. Mais en plus de ces raisons sous citées, on note le problème du mauvais désherbage au cours duquel certaines plantes ont été arrachées et ceci après 3 semaines du repiquage. Ce qui rendait impossible la reprise du repiquage pour avoir des parcelles pleinement repiquées. La parcelle ayant été sauvegardée est celle du BM3 d'où le fort rendement observé.

Les cultures ont été réalisées sans apport supplémentaire d'engrais afin de ressortir la qualité des eaux usées aussi bien fertilisante que sanitaire.

Par comparaison des deux campagnes, la seconde campagne, malgré tous les problèmes d'entretien aurait pu être la plus rentable avec une variation de ces rendements de 9,34 t/ha à 13,06t/ha alors que ceux des parcelles de la première campagne varient entre 10,48 t/ha et 12,41t/ha.

Il faut aussi noter une corrélation entre le rendement et les eaux d'irrigation. Les données du tableau 20 nous permettent de constater que sur l'ensemble des éléments fertilisants, les eaux d'irrigation au cours de la première campagne sont riches en orthophosphates alors que la seconde campagne révèle des concentrations plus élevées en azote et en potassium des eaux d'irrigation. Le rendement est alors influencé par la teneur en éléments fertilisants des eaux d'irrigation. La parcelle BM3 de la campagne 2 qui a le moins été touchée par le mauvais désherbage, a donné un rendement de 13,06 t/ha donc supérieur à ceux des parcelles de la campagne 1.

Néanmoins, l'ensemble des rendements observés reste inférieurs aux rendements optimums compris entre 150 et 250 kg/100m<sup>2</sup> soit 15 à 25 tonne/ha (INERA, 1998). Pour cela, il est donc nécessaire d'apporter un supplément d'engrais.

La campagne 1 des laitues a bénéficié d'un traitement adéquat pour avoir un rendement optimum mais la durée de la pépinière a été la cause de faibles rendements.

Les différences observées sur les éléments fertilisants lors de ces deux campagnes, peuvent donc avoir plusieurs origines :

- ✚ La condition climatique : Les variations observées sur la demande climatique sont l'une des raisons des variations des éléments fertilisants. La première campagne (période chaude) est moins riche en éléments fertilisants alors que la période de chaleur réduite de la seconde campagne dispose beaucoup plus d'éléments fertilisants.
- ✚ Les pluies survenues lors de la seconde campagne peuvent modifier la qualité des eaux usées traitées, et celle des sols.

L'eau du bassin de maturation est donc un moyen efficace pour minimiser le coût de l'entretien des cultures en limitant les frais d'utilisation des engrais. Outre la qualité nutritive des eaux usées, elles peuvent aussi permettre d'éviter la pollution du sol et de la nappe par les engrais chimiques en limitant tout simplement leur utilisation.

La fertilisation seule ne suffit donc pas pour optimiser le rendement d'une culture mais il faut associer à la fertilisation, un bon traitement et un bon entretien permanent. Le rendement d'une culture dépend alors de plusieurs paramètres dont :

- ✚ La qualité initiale du sol,
- ✚ Un apport en nutriment par l'eau d'irrigation,
- ✚ Le traitement physique du sol, le traitement phytosanitaire et de l'entretien.
- ✚ De plus il faudrait veiller à avoir une pépinière de durée acceptable, soit de 3 à 4 semaines environ quand les plants ont 5 à 6 vrais feuilles (INERA, 1998).
- ✚ La demande climatique : La période chaude observée lors de la campagne 2 a fait observer l'assèchement du sol rendant ainsi difficile la pénétration des nutriments.

Pour optimiser les rendements, il faut choisir une bonne période pour les campagnes ou mettre un procédé permettant de compenser les demandes climatiques. Les eaux usées du 2iE peuvent permettre d'atteindre un rendement de l'ordre de 15tonne/ha si tous les paramètres sous cités sont bien contrôlés.

## II. SUR LA QUALITE SANITAIRE

Les résultats de la microbiologie sont importants dans l'interprétation de la qualité sanitaire des laitues. Cette dernière tiendra compte de la qualité du sol, de la qualité des eaux et enfin de la qualité des laitues à proprement dit.

La seule contamination la plus significative est celle des coliformes fécaux. La contamination du sol s'est avérée décroissante sur les parcelles BM1 et BM2 de la campagne2 seule la parcelle BM3 montre une croissance de la contamination du sol.

La charge en coliformes fécaux du sol est de l'ordre d'une dizaine ufc/100g de sol alors que celle des laitues dépasse 1000 ufc / g. Les mêmes observations ont été faites au niveau des parcelles de la campagne 3. Ici la différence est que la charge constatée lors de la seconde campagne est plus élevée que celle de la première. Avec ces deux données, la source de contamination des laitues est l'eau d'irrigation. La différence de charge observée entre les deux campagnes, trouve son explication de la qualité de l'eau. Mais cela n'explique pas la charge élevée des laitues au cours de la campagne 2. Car l'eau du BM est chargée de manière semblable.

Les eaux d'irrigation sont très peu contaminées en E. Coli alors que le sol ne révèle aucune contamination en E. Coli. Nous pouvons alors conclure que la pollution du sol et la contamination des laitues ne provient pas du sol mais plutôt des eaux d'irrigation.

La décroissance de la charge du sol se justifie par le degré d'humidité du sol. Rappelons que pour réalisation des analyses microbiologiques, la détermination de la teneur en eau du sol s'y accompagne. Cette dernière a permis de constater que l'évolution de la charge du sol s'accompagne de celle de la teneur en eau du sol. Donc l'humidité favorise la présence des agents pathogènes.

Les données du tableau 25 prouvent bien que la charge élevée du sol correspond à la plus grande valeur de sa teneur en eau. De cette interprétation, on conclut que la charge aussi bien du sol que des cultures, provient des eaux d'irrigation.

La charge élevée en coliformes fécaux des laitues, se justifie par un phénomène d'accumulation de contamination du à l'apport des eaux usées traitées par l'irrigation. Le mode d'irrigation utilisée est une irrigation par aspersion à l'aide des arrosoirs manuels. Ce qui crée un contact permanent des feuilles des plants avec les eaux usées. On assiste alors à un dépôt de coliformes fécaux jours après jours. Les feuilles des plantes fournissent aux micro-organismes un environnement viable favorisant leur multiplication. D'où la charge de plus de 1000 ufc/g de laitue dépassant les normes de l'OMS et rendant ainsi les cultures impropre à la consommation (surtout pour les consommations crues).

La différence de charge constatée entre les deux campagnes peut s'expliquer par la durée de la période de culture de chacune d'elles. Soit 30 jours pour la campagne 1 et 39 jours pour la campagne 2. Plus la durée est longue, plus l'accumulation devient consistante.

La contamination en parasite des laitues observée sur la parcelle BM1 provient de celle du sol car les eaux ne contiennent pas de parasites. Les kystes d'*Etmameaba* sont significatifs mais non pathogènes. Le sol est donc l'une des sources de pollution des cultures.

De part nos objectifs de l'étude à savoir améliorer le système de traitement des eaux usées du 2iE en étudiant l'impact du traitement par filtration sur le rendement et la qualité sanitaire, nous avons décidé d'effectuer des études sur le filtre pilote. Les résultats de cette étude nous ont permis de remarquer que la filtration peut bien réduire la pollution microbiologique des eaux usées traitées avec l'abattement de l'ordre de  $10^5$ . Néanmoins, la charge reste toujours supérieure aux normes de l'OMS ( $<1000CF/100ml$  ;  $<1$  œufs d'helminthe). Il faut noter que les analyses faites sur l'élimination des matières en suspension (GAYE, 2007) montre qu'il y a une amélioration de l'élimination des MES d'environ 40% par rapport à l'eau du bassin de maturation.

Certes le système de filtration ne donne pas de résultats satisfaisants pour l'abattement microbiologique, mais il prouve une amélioration dans l'élimination des MES.

Le filtre pourrait donner un bon abattement lorsqu'il serait totalement stable, c'est-à-dire lorsque le bio film se serait formé.

## **RECOMMANDATIONS**

### ➤ **Volet sanitaire des eaux et des laitues**

Les eaux usées traitées permettraient de couvrir des besoins en eau des cultures. Une opération de REUT s'accompagne de deux conséquences majeures :

- Les conséquences économiques : le bénéfice dû à la richesse en éléments fertilisants des eaux diminuant ainsi les dépenses d'entretien mais avec de meilleurs rendements avec un apport moindre en fertilisants.
- Les conséquences sanitaires : Qui se révèlent sur la qualité des eaux d'irrigation qui conditionnent celle des cultures les rendant ainsi impropres à l'irrigation et à la consommation. La charge des eaux d'irrigation et des cultures dépasse 1000 CF /100ml pour les eaux et parfois 1000 ufc /g pour les cultures les normes fixées par l'OMS

Ce deuxième point est mis en exergue par le suivi microbiologique du sol, des eaux d'irrigation, et des laitues. Des deux campagnes, il ressort que la contamination des laitues a été croissante le long de la période culturale. La charge est alors due à une accumulation de bactéries sur les feuilles des plants favorisée par le mode d'irrigation adopté qu'est l'aspersion. La contamination parasitaire des laitues par le sol, peut provenir soit d'un apport humain par le travail des agriculteurs (manque d'utilisation des bottes) ou soit d'un apport animal par les animaux qui se promènent et atteignent le périmètre.

Il serait donc convenable d'opter pour un autre type d'irrigation limitant la contamination surtout pour les cultures de consommation crue. L'irrigation goutte à goutte est un système ponctuel ou localisé qui a plusieurs avantages :

- Efficacité élevée d'application : permettant de lutter contre la pénurie d'eau
- Cette irrigation est sûre et peut être plus prometteuses avec l'eau usée en particulier si le traitement est suffisant pour empêcher l'obstruction des orifices.
- Elle est appropriée pour faire face aux problèmes de salinité de l'eau d'irrigation et d'alcalinité du sol.
- Le contact de l'eau usée avec les agriculteurs est réduit permettant ainsi d'éviter la contamination due au contact avec l'eau.
- Aucun aérosol ne se forme et, en conséquence, aucune pollution de l'atmosphère et de la zone proche des champs ne se produit.
- Les feuilles des légumes ne sont pas en contact avec l'eau d'irrigation ce qui réduirait la contamination des cultures.

➤ **Volet fonctionnement du filtre.**

Au terme de cette étude, il est à remarquer que l'objectif premier de l'étude qui était l'amélioration du système de traitement par comparaison de l'eau du bassin de maturation avec l'eau filtrée, n'a pu être atteint. Les raisons viennent essentiellement de l'instabilité du fonctionnement du filtre (composition granulométrique insatisfaisante) à travers un mauvais dimensionnement du matériau filtrant (utilisation d'un sable  $\varnothing < 5 \mu\text{m}$  et d'un granite concassé  $\varnothing 5/8$  à la place d'un gravier de  $\varnothing 8/10$ ). L'utilité du filtre dans l'abattement de l'eau usée a été prouvée par une étude bactériologique de l'eau à l'entrée et la sortie du filtre prototype. Néanmoins, la qualité de l'eau ne respecte pas les normes de l'OMS. Dans la recherche des procédés permettant de rendre l'eau usée potable à l'agriculture, nous constatons :

- Qu'il serait possible d'associer plusieurs filtres pour améliorer l'abattement. Toute fois, on peut assister à la diminution de la valeur fertilisante des eaux usées : Ce qui reste à vérifier.
- On peut utiliser un traitement chimique pour lutter contre la qualité de l'eau sans autant modifier la teneur en élément fertilisant des eaux usées.

➤ **Volet rendement des cultures.**

L'utilisation des eaux usées devenu nécessaire pour les pays qui connaissent les problèmes de ressource en eaux, dispose d'avantage positif sur l'économie en intrants agricoles provenant du pouvoir fertilisant des eaux usées. Au cours de nos deux campagnes, et sur l'ensemble du cycle cultural, nous avons enregistré 13,19 kg/ha d'azote, de 72,4 kg/ha de phosphore et de 74,4 kg/ha de potassium pour la première campagne et 18,49 kg/ha d'azote, de 82,9 kg/ha de phosphore et de 110,2 kg/ha de potassium pour la seconde campagne. Ce qui nous permet d'avoir une couverture en élément fertilisant en raison de 8,24% pour l'azote, de 48,3% pour le phosphore et 49,9% pour le potassium au cours notre première campagne. Puis de 11,6% pour l'azote, de 55,6% pour le phosphore et de 73,5% pour le potassium au cours de la seconde campagne. Les résultats comparés des rendements de ces deux campagnes ont permis de constater que l'utilisation des eaux usées en agricultures réduirait l'utilisation d'engrais ou même la supprimerait avec un bon entretien des parcelles. Nous pouvons alors éviter les investissements élevés dus à l'exportation et à l'exploitation des engrais chimiques qui participe à la pollution des nappes par le lessivage.

Il est à noter que l'optimisation de la valorisation des eaux usées traitées doit s'accompagner d'une maîtrise de l'irrigation et d'une bonne caractérisation de l'état initial du sol.

## **CONCLUSION**

L'étude sur la Réutilisation des Eaux Usées Traitées (REUT) en agriculture constitue une préoccupation certaine pour la recherche scientifique. Notre étude, qui entre en droite ligne dans cette vision de réutilisation efficace des eaux usées a permis de ressortir de multiples résultats exposés dans ce document. Ces résultats sont assez utiles tant à l'expérimentation qu'à l'exploitation. Il ressort, à juste titre, que la REUT est une réponse à deux types de situations critiques : l'apport d'éléments fertilisants et la qualité sanitaire des eaux et des cultures. Sa motivation principale en agriculture n'est donc pas seulement le manque d'eau mais plutôt la qualité sanitaire de celle-ci. La recherche de l'amélioration de la qualité sanitaire des laitues suscite deux notions : améliorer la qualité de l'eau servant en irrigation ou procéder à un traitement préalable avant consommation afin d'empêcher toute contamination (Thiaw, 2006).

La mise en œuvre des résultats de cette étude et de toutes les recommandations proposées, permettra d'améliorer la REUT. Néanmoins, il faudrait trouver des méthodes de correction de la qualité des eaux usées permettant à partir des conditions générales de passer de la phase d'expérimentation à la phase d'exploitation à savoir :

- Comment procéder au suivi de la qualité de l'eau pour une utilisation par les agriculteurs
- L'utilisation des méthodes facilement accessibles aux pratiquants de l'agriculture périurbaine.

Malgré toutes les difficultés rencontrées au cours de nos études, nous avons pu obtenir des résultats satisfaisants et dont l'exploitation contribuera à améliorer la REUT. Nous souhaiterions que d'autres études soient réalisées afin de confirmer les recommandations proposées. Enfin, une opération de la REUT en agriculture est une possibilité d'offre d'emploi et de lutte contre la pauvreté.

## GLOSSAIRE

**Bio film** : Mince couche formé par des microorganismes et permettant de retenir d'autres microorganismes.

**Effluent** : Eau usée partiellement ou complètement traitée sortant d'une installation de traitement, d'un réservoir, ou d'un bassin.

**Evapotranspiration (ET)** : La perte combinée d'eau, d'une zone et pendant une période donnée, par évaporation de la surface du sol et par la transpiration des plantes. ET0 est la référence représentant l'évapotranspiration d'une surface couverte d'un gazon de la taille uniforme, de 8 à 15 centimètres, poussant activement, complètement, complètement ombragé et ne souffrant pas d'un manque d'eau. Ebac est l'évaporation du bac d'évaporation standard.

**Fertilisation** : C'est l'apport de nutriments aux cultures. Lorsqu'ils son apporté par application combinée des fertilisants et de l'eau via le réseau d'irrigation.

**Infiltration** :

- (1) La pénétration verticale de l'eau dans le sol
- (2) L'écoulement ou le mouvement dans les pores d'un sol ou de tout autre Milieu poreux
- (3) C'est encore la quantité d'eau souterraine qui fuit par les joints d'une canalisation, murs poreux ou fissures
- (4) l'entré d'eau de la terre dans une galerie

**La charge bactérienne** : C'est la quantité de bactéries contenu dans une unité choisie d'échantillon. Charge bactérienne du sol est donnée en ufc /100g de sol alors celle des cultures est donnée en ufc/g de culture. Quand à la charge bactérienne des eaux, elle est donnée par bactérie pour 100ml d'eau.

**Lagunage** : C'est une adaptation de l'étang ou bassin de stabilisation à différent niveau (anaérobie ou aérobie).

**Latence** : c'est la durée nécessaire pour qu'un pathogène devienne infectieux. Elle est différente selon les micro-organismes.

**Les micro- organismes** : Ce sont des organismes de petite taille pouvant être pathogènes. Ils comprennent les coliformes fécaux, les Escherichia Coli et les Entérocoques et autres.

**Réutilisation des eaux usées** : L'utilisation complémentaire d'une eau déjà utilisée une fois.

**Teneur en eau du sol** : La quantité d'eau du sol, perdue lors de séchage à poids constant à 105°C, exprimée en gramme de sol sec ou cm<sup>3</sup> d'eau par cm<sup>3</sup> de sol. Sur le terrain, la teneur en eau est souvent exprimée en pourcentage du poids sec. Ceci peut mener à une ambiguïté lorsqu'on ne précise pas si la base de calcul employée est le poids ou le volume.

**Ufc** : Unité formant colonies (assimilable au nombre de bactéries par litre).

**Valorisation des eaux usées** : Processus de traitement des eaux usées pour une utilisation bénéficiaire, son transport, et son utilisation réelle.

## BIBLIOGRAPHIE

- **Angelakis:** Necessity of establishing EU- Guidelines for wastewater reclamation and reuse. Union of Municipal Enterprises for Water Supply and sewerage, 41200 Larissa, Greece. 32 pages.
- **Asano (1998):** Wastewater reclamation and reuse. Water quality management library, 1998, 1475 pages.
- **Baumont et al :** Réutilisation des eaux usées épurées : Risque sanitaire et faisabilité ; [www.ors.idf.org/etudes/pdf/REURapport.pdf](http://www.ors.idf.org/etudes/pdf/REURapport.pdf)
- **Biswas (1997):** Role of wastewater reuse in planning and management. In A.K. Biswas and A. Arar (Eds) Treatment and reuse of sewage effluent for irrigation. Butterworth Scientific Guildford, U.K.
- **Brouwer C. et Heibloem M., (1986): CROP WATER NEEDS:** Irrigation water management: irrigation water needs. Training manual N°3. Rome, Bulletin FAO: 1-11.
- **Cauchi (1996): Ossier:** La réutilisation des eaux usées après épuration. Techniques, sciences et Méthodes, 1996, 2 : 81-118.
- **Cisse (1997):** Impact sanitaires de l'utilisation d'eaux polluées en agriculture urbaine : cas du maraîchage à Ouagadougou. Thèse de doctorat es sciences et techniques, n°1639 EPFL, Lausanne ; 267 p.
- **Compaore L.M., (1999).** COURS SUR LES DONNEES DE BASES DE L'IRRIGATION. 2<sup>e</sup> édition. Ouagadougou, EIER, 35-39; 94-105 pp.
- **Denyigba K (2004) :** Cours de microbiologie des eaux, Formation initiale EIER, Ouagadougou. 136p.
- **Devaux (1998):** Intérêts et limites de la mise en place d'un suivi sanitaire dans le cadre de la réutilisation agricole des eaux usées traitées de l'agglomération clermontoise. Thèse « Sciences de la Vie et de la Santé », univ. Joseph Fourier, Grenoble, 1999, 257 pages.

- **Faby (1997)**: Utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau, 1997, 76 pages.
  - **FAO/RNEA (1992)**: Treatment of wastewater used for irrigation. Tech. Bul. No. 2., P. 33
  - **FAO (2003)** : Irrigation avec les eaux usées traitées, manuel d'utilisation, Bureau Régional de la FAO, Proche-Orient, 73 pp.
  - **Froese K.L. et Laliberté (1997)**: Health effects associated with wastewater treatment, disposal, and reuse. *Water environment research*, 1998, 70(4): 962-968.
  - **Joseph WETHE (2005)** : Profil du recyclage des eaux usées dans l'agriculture urbaine à Ouagadougou ; 101p.
  - **Joseph WETHE (2006)** : Cours d'assainissement : Collecte et traitement des eaux usées. EIER ET SER 2006,
  - **Ibrahima (1994, EIER)** : Cours d'agriculture général Ouagadougou ; EIER, 31- 78 pp.
- Khouri, N., Kalbermatten, J.M. et Bartone, C.R., 1994** : *Reuse of wastewater in agriculture: a guide for planners*, Washington ( DC, É.-U. ), Banque mondiale, Programme PNUD-Banque mondiale pour l'eau et l'assainissement. Water and Sanitation Report 6.
- **Koné (2002)** : Epuration des eaux usées par lagunage à microphytes et à macrophytes (*Pistia stratiotes*) en Afrique de l'Ouest et du centre : Etats des lieux, performances épuratoires et critères de dimensionnement. Thèse n°2653.EPFL ; 170 p.
  - **Lakte (2006)** : Etude du pouvoir fertilisant des eaux usées traitées en cultures maraîchères, Groupe des Ecoles EIER ETSHER, Ouagadougou.
  - **Liao et Bartholomen (1974)** : Organic sources of N decay over several years
  - **Mariam Sou (2006)** : Données inédites, première campagne de mesures dans le cadre de sa thèse EIER/EPFL sur le recyclage des eaux usées traitées en agriculture urbaine : cas de la ville de Ouagadougou. Contact : mariam\_sou@yahoo.fr.

- **Mara et al (1991)** : Guide pour l'utilisation sans risques des eaux résiduares et des excréta en agriculture et en aquaculture. Mesures pour la protection de la santé publique. OMS, Genève.
- **Gaye M. et Niang S., 2002.** Epuration des eaux usées et l'agriculture urbaine, Dakar, SENEGAL, 354p.
- **Niang (1996)** : Utilisation des eaux usées domestiques en maraîchage périurbain à Dakar, (Sénégal), Sécheresse n°3, vol7, 212-223.
- **OMS et Nation Unis (1989)** : Directives, recommandations et réglementation sur la réutilisation d'eaux usées traitées en agriculture.
- **Page et Talibudeen (1977)** : Determination of nitrate in soil pastes by ion selective electrodes.
- **SDNAL** : Schéma Directeur National d'Assainissement Liquide, Maroc 1998, Ministère de l'Intérieur, Direction Générale des collectivités Locales- Direction de l'eau et de l'assainissement.
- **Skiredi (2007)** : ([http/ www. Fertigation-s.com](http://www.Fertigation-s.com)).
- **Scott et al (2004)** : UTILISATION DES EAUX USEES DANS L'AGRICULTURE IRRIGUEE, <http://www.irc.nl/content/view/full/9502>.
- **Sou M., 2005-2007.** Données inédites, campagnes de mesures dans le cadre de sa thèse EIER/EPFL sur le recyclage des eaux usées traitées en agriculture urbaine : cas de la ville de Ouagadougou. Contact : mariamsou@yahoo.fr.
- **Thiaw (2006)** : La qualité sanitaire des produits maraîchers de la ville de Ouagadougou : Incidence de la source d'eau d'irrigation sur la santé humaine
- **Wima (2003)** : La valorisation des sous-produits de la station de lagunage à macrophytes flottants (*Pistia stratiotes*) de l'EIER. Réutilisation des eaux usées épurées en irrigation sur les cultures maraîchères : cas de l'aubergine ; 29p.

- **Yacouba et al (2003)** : Impacts de la réutilisation des eaux épurées par lagunage à macrophytes flottants sur la culture des aubergines de la page 86-105.

## **SITES INTERNET**

[Http//www.reutilisation d'eau usée traité en agriculture](http://www.reutilisation.d'eau.usée.traité.en.agriculture)

[http//www.fao.org](http://www.fao.org)

<http://wcentre.tours.inra.fr/sfpar/seminairebouesmaroc.doc>

<http://anne.decosterfree.fr>

[www.pasteur.fr/recherche/banques](http://www.pasteur.fr/recherche/banques)

[www.bdsp.tm.fr/base/data/151517htm](http://www.bdsp.tm.fr/base/data/151517htm)

[www.ors.idf.org/etudes/pdf/REURapport.pdf](http://www.ors.idf.org/etudes/pdf/REURapport.pdf)

## **ANNEXES**

Annexes 1 : Planning des travaux

Annexes 2 : Fiche de suivi de l'évaporation

Annexe 3 : Abaque de détermination de Kc et Kb

Annexes 4 : Fiches d'analyse des paramètres de l'étude

Annexes 5 : Fiches des données de l'étude (campagne 2)

Annexes 6 : Fiches des données de l'étude (campagne 3)

Annexes 7 : Photos des produits du traitement phytosanitaire

Annexes 8 : Photos du principe des analyses

Annexes 9 : Courbe granulométrique du gravier du filtre pilote

## ANNEXE 1 : PLANNING D'EXECUTION DES TRAVAUX

Désignation	Planning de l'exécution des travaux																								
	Janvier (15 à 31)					Février (01 à 28)					Mars (01 à 31)					Avril (01 à 31)					Mai (01 à 31)				
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19						
	15-21	22-28	29-04	05-11	12-18	19-25	26-04	05-11	12-18	19-25	26-01	02-08	09-15	16-22	23-29	30-06	07-13	14-20	20-27						
Rencontre Avec les encadreurs	■																								
Recherche bibliographique	■	■	■	■	■	■																			
Mise en culture et suivi (campagne 1)	■	■	■	■	■	■																			
Présentation des résultats (campagne 1)						■																			
Mise en culture et suivi (campagne 1)											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Présentation des résultats (campagne 1)																									
Rédaction du rapport											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Présentation aux encadreurs											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Correction du rapport																									
Dépôt du rapport																				■					

Désignation	Planning d'exécution des travaux (campagne 1)						
	Janvier			Février			
	S1 15-21	S2 22-28	S3 29-04	S4 05-11	S5 12-18	S6 19-25	S7 25-28
Préparation parcelles		■					
Repiquage		■					
Mesure Ebac			■	■	■	■	
Suivi croissance			■	■	■	■	■
Suivi pH, N P K des eaux		■	■	■	■	■	
Microbiologie du sol			■	■	■	■	
Microbiologie des eaux		■	■		■	■	
Microbiologie des laitues					■	■	■
Récolte						■	
Biomasse						■	■
Traitement phytosanitaire			■			■	
Pilotage de l'irrigation	■	■	■	■	■	■	■

Désignation	Planning d'exécution des travaux (campagne 2)													
	Mars							Avril						
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
	12-18	19-25	26-01	02-08	09-15	16-22	23-30							
Préparation parcelles			█											
Repiquage			█											
Mesure Ebac				█	█	█	█							
Suivi croissance				█	█	█	█							
Suivi pH, N P K des eaux		█	█	█	█	█	█						█	
Microbiologie du sol			█		█							█		
Microbiologie des eaux	█	█	█	█	█	█	█							
Microbiologie des laitues						█	█					█	█	
Récolte												█	█	
Biomasse												█	█	█
Traitement phytosanitaire	█													
Pilotage de l'irrigation	█	█	█	█	█	█	█							

## ANNEXE 2 : SUIVI DE L'EVAPORATION.

Jour	Niveau début de lecture (cm)	Niveau lecture (cm)	Ebac(mm/j)
<b>Janvier</b>			
23/01/2007	5,0	6,0	10,0
24/01/2007	5,0	5,7	7,0
25/01/2007	5,0	5,5	5,0
26/01/2007	5,0	6,0	10,0
27/01/2007	5,0	5,7	7,0
28/01/2007	5,0	5,7	7,0
29/01/2007	5,0	6,0	10,0
30/01/2007	5,0	5,6	6,0
31/01/2007	5,0	5,8	8,0
<b>Février</b>			
01/02/2007	5,0	5,8	8,0
02/02/2007	5,0	5,6	6,0
03/02/2007	5,0	5,8	8,0
04/02/2007	5,0	5,7	7,0
05/02/2007	5,0	6,0	10,0
06/02/2007	5,0	5,6	6,0
07/02/2007	5,0	5,7	7,0
08/02/2007	5,0	5,9	9,0
09/02/2007	5,0	6,1	11,0
10/02/2007	5,0	6,0	10,0
11/02/2007	5,0	6,1	11,0
12/02/2007	5,0	6,0	10,0
13/02/2007	5,0	6,0	10,0
14/02/2007	5,0	5,7	7,0
15/02/2007	5,0	5,8	8,0
16/02/2007	5,0	5,8	8,0
17/02/2007	5,0	5,9	9,0
18/02/2007	5,0	5,7	7,0
19/02/2007	5,0	5,6	6,0
20/02/2007	5,0	5,7	7,0
21/02/2007	5,0	5,7	7,0
22/02/2007	5,0	5,8	8,0
23/02/2007	5,0	5,8	8,0

24/02/2007	5,0	5,8	8,0
25/02/2007	5,0	5,7	7,0
26/02/2007	5,0	5,8	8,0
27/02/2007	5,0	5,8	8,0
28/02/2007	5,0	5,9	9,0
<b>Mars</b>			
01/03/2007	5,0	6,1	11,0
02/03/2007	5,0	6,0	10,0
03/03/2007	5,0	6,0	10,0
04/03/2007	5,0	5,9	9,0
05/03/2007	5,0	5,9	9,0
06/03/2007	5,0	5,9	9,0
07/03/2007	5,0	5,8	8,0
08/03/2007	5,0	5,9	9,0
09/03/2007	5,0	5,7	7,0
10/03/2007	5,0	5,8	8,0
11/03/2007	5,0	5,8	8,0
12/03/2007	5,0	6,0	10,0
13/03/2007	5,0	6,0	10,0
14/03/2007	5,0	5,8	8,0
15/03/2007	5,0	6,0	10,0
16/03/2007	5,0	5,9	9,0
17/03/2007	5,0	6,0	10,0
18/03/2007	5,0	6,0	10,0
19/03/2007	5,0	5,8	8,0
20/03/2007	5,0	5,7	7,0
21/03/2007	5,0	5,7	7,0
22/03/2007	5,0	5,8	8,0
23/03/2007	5,0	5,9	9,0
24/03/2007	5,0	5,7	7,0
25/03/2007	5,0	5,6	6,0
26/03/2007	5,0	5,6	6,0
27/03/2007	5,0	5,7	7,0
28/03/2007	5,0	5,6	6,0
29/03/2007	5,0	5,6	6,0
30/03/2007	5,0	5,5	5,0
31/03/2007	5,0	5,6	6,0
<b>Avril</b>			
01/04/2007	5,0	5,6	6,0

02/04/2007	5,0	5,5	5,0
03/04/2007	5,0	5,5	5,0
04/04/2007	5,0	<b>Pluie de 13,5mm</b>	
05/04/2007	5,0	5,4	4,0
06/04/2007	5,0	5,5	5,0
07/04/2007	5,0	5,6	6,0
08/04/2007	5,0	5,7	7,0
09/04/2007	5,0	5,6	6,0
10/04/2007	5,0	5,7	7,0
11/04/2007	5,0	5,7	7,0
12/04/2007	5,0	5,7	7,0
13/04/2007	5,0	5,8	8,0
14/04/2007	5,0	5,6	6,0
15/04/2007	5,0	5,8	8,0
16/04/2007	5,0	5,8	8,0
17/04/2007	5,0	<b>Pluie de 33,5mm</b>	
18/04/2007	5,0	5,6	6,0
19/04/2007	5,0	5,6	6,0
20/04/2007	5,0	5,5	5,0
21/04/2007	5,0	5,7	7,0
22/04/2007	5,0	5,6	6,0
23/04/2007	5,0	5,6	6,0
24/04/2007	5,0	5,6	6,0
25/04/2007	5,0	5,7	7,0
26/04/2007	5,0	5,8	8,0
27/04/2007	5,0	5,8	8,0

## ANNEXE 3 : ABAQUE DE DETERMINATION DE KC ET KB

Tableau 22

COEFFICIENT CULTURAL, kc DE CULTURES DE PLEIN CHAMP ET DE CULTURES MARAICHERES POUR LES DIFFERENTES PHASES DE LA CROISSANCE VEGETALE ET CONDITIONS CLIMATIQUES DOMINANTES

Culture	Humidité	HRmin > 70%		HRmin < 20%		
		Vent m/s	0 - 5	5 - 8	0 - 5	5 - 8
	<u>Phase</u>					
Toutes les cultures de plein champ	initiale	1	exploiter la fig. 8 par interpolation			
"	développement	2				
Artichauts (culture pérenne-sarclée)	mi-saison	3	0,95	0,95	1,0	1,05
	à la récolte	4	0,9	0,9	0,95	0,10
Orge		3	1,05	1,1	1,15	1,2
		4	0,25	0,25	0,2	0,2
Haricots (verts)		3	0,95	0,95	1,0	1,05
		4	0,85	0,85	0,9	0,9
Haricots (secs) Légumineuses		3	1,05	1,1	1,15	1,2
		4	0,3	0,3	0,25	0,25
Betteraves (de table)		3	1,0	1,0	1,05	1,1
		4	0,9	0,9	0,95	1,0
Carottes		3	1,0	1,05	1,1	1,15
		4	0,7	0,75	0,8	0,85
Graines de ricin		3	1,05	1,1	1,15	1,2
		4	0,5	0,5	0,5	0,5
Céleri		3	1,0	1,05	1,1	1,15
		4	0,9	0,95	1,0	1,05
Maïs (doux)		3	1,05	1,1	1,15	1,2
		4	0,95	1,0	1,05	1,1
Maïs (grains)		3	1,05	1,1	1,15	1,2
		4	0,55	0,55	0,6	0,6
Coton		3	1,05	1,15	1,2	1,25
		4	0,65	0,65	0,65	0,7
Crucifères (choux, choux-fleurs, broccolis, choux de Bruxelles)		3	0,95	1,0	1,05	1,1
		4	0,80	0,85	0,9	0,95
Concombre culture potagère culture mécanisée		3	0,9	0,9	0,95	1,0
		4	0,7	0,7	0,75	0,8
		4	0,85	0,85	0,95	1,0
Aubergines		3	0,95	1,0	1,05	1,1
		4	0,8	0,85	0,85	0,9
Lin	mi-saison	3	1,0	1,05	1,1	1,15
	à la récolte	4	0,25	0,25	0,2	0,2
Céréales		3	1,05	1,1	1,15	1,2
		4	0,3	0,3	0,25	0,25
Lentilles		3	1,05	1,1	1,15	1,2
		4	0,3	0,3	0,25	0,25
Laitues		3	0,95	0,95	1,0	1,05
		4	0,9	0,9	0,9	1,0

Tableau 19

COEFFICIENT D'EVAPORATION EN BAC (Kp) POUR UN BAC DE LA CLASSE A COMPTE TENU DU TYPE DE COUVERT DU SOL, DES NIVEAUX D'HUMIDITE RELATIVE MOYENNE ET DE VENT SUR 24 HEURES

Bac classe A	Cas A - Bac environné d'une culture verte courte			Cas B 1/- Bac environné d'une jachère sèche				
	faible < 40	moyenne 40-70	forte > 70	faible < 40	moyenne 40-70	forte > 70		
HR moyenne %								
Vent km/jour	Distance de la culture verte du côté exposé au vent m				Distance de la jachère sèche du côté exposé au vent m			
Léger < 175	0	0,55	0,65	0,75	0	0,7	0,8	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,6	0,7	0,8
	100	0,7	0,8	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1 000	0,75	0,85	0,85	1 000	0,5	0,6	0,7
Modéré 175-425	0	0,5	0,6	0,65	0	0,65	0,75	0,8
	10	0,6	0,7	0,75	10	0,55	0,65*	0,7
	100	0,65	0,75	0,8	100	0,5	0,6	0,65
	1 000	0,7	0,8	0,8	1 000	0,45	0,55	0,6
Fort 425-700	0	0,45	0,5	0,60	0	0,6	0,65	0,7
	10	0,55	0,6	0,65	10	0,5	0,55	0,65
	100	0,6	0,65	0,7	100	0,45	0,5	0,6
	1 000	0,65	0,7	0,75	1 000	0,4	0,45	0,55
Très fort > 700	0	0,4	0,45	0,5	0	0,5	0,6	0,65
	10	0,45	0,55	0,6	10	0,45	0,5	0,55
	100	0,5	0,6	0,65	100	0,4	0,45	0,5
	1 000	0,55	0,6	0,65	1 000	0,35	0,4	0,45

1/ Dans le cas de vastes étendues de sols en jachère nue et en l'absence de toute mise en valeur agricole, réduire les valeurs K en bac de 20 pour cent par temps chaud et venteux, et de 5 à 10 pour cent quand le vent, la température et l'humidité sont modérés.

## ANNEXE 4 : FICHE DE SUIVI DES ANALYSES

Fiche de suivi du bac			
Date de lecture	Niveau début de lecture (cm)	Niveau lecture (cm)	Ebac (mm/j)
<b>Mois 1</b>			
<b>Moi 2</b>			

Fiche de suivi d'analyse chimique des eaux d'irrigation				
Echantillon	NO3 (mg/l)	NH4 (ml)	PO4 (mg/l)	K (mg/l)
<b>Date 1</b>				
BM				
EF				
<b>Date 2</b>				
BM				
EF				
<b>Date3</b>				
BM				
EF				

Fiche d'analyse chimique du sol				
Date	NO3(mg/l)	NH4 (ml)	PO4(mg/l)	K(mg/l)

Fiche de suivi bactérien et parasitaire des eaux d'irrigation dans 0,1ml							
Echantillon	Nombre d'essai par échantillon	Coliformes fécaux		Escherichia Coli		Entérocoque	
		Lecture	Moyenne	Lecture	Moyenne	Lecture	Moyenne
<b>Date 1</b>							
BM	E1						
EF	E2						
<b>Date 1</b>							
BM	E1						
EF	E2						
<b>Date 1</b>							
BM	E1						
EF	E2						

Fiche de suivi bactérien et parasitaire des laitues dans 0,1ml de solution							
Echantillon	Nombre d'essai par échantillon	Coliformes fécaux		Escherichia Coli		Entérocoque	
		Lecture	Moyenne	Lecture	Moyenne	Lecture	Moyenne
<b>Avant le repiquage</b>							
BM1	E1						
	E2						
BM2	E1						
	E2						
BM3	E1						
	E2						
	E2						
<b>Pendant la croissance</b>							
BM1	E1						
	E2						
BM2	E1						
	E2						
BM3	E1						
	E2						
	E2						
<b>A la récolte</b>							
BM1	E1						
	E2						
BM2	E1						
	E2						
BM3	E1						
	E2						

Fiche de suivi bactérien et parasitaire du sol des parcelle dans 0,1ml de solution							
Echantillon	Nombre d'essai par échantillon	Coliformes fécaux		Entérocoque		Lecture	Moyenne
		Lecture	Moyenne	Lecture	Moyenne		
<b>Avant le repiquage</b>							
BM1	E1						
	E2						
BM2	E1						
	E2						
BM3	E1						
	E2						
	E2						
<b>Pendant la croissance</b>							
BM1	E1						
	E2						
BM2	E1						
	E2						
BM3	E1						
	E2						
	E2						
<b>A la récolte</b>							
BM1	E1						
	E2						
BM2	E1						
	E2						
BM3	E1						
	E2						
	E2						

<b>Détermination de la superficie exploitée par parcelle</b>			
<b>Parcelle et Ligne</b>	<b>Longueur de la ligne (m)</b>	<b>Largeur d'influence (cm)</b>	<b>Superficie (m2)</b>
L1			
L2			
L3			
L4			
L5			
L6			
L7			

<b>Fiche de collecte pour rendement</b>				
<b>Parcelles</b>	<b>Poids (kg)</b>	<b>Superficie (m2)</b>	<b>Rendement (kg/m2)</b>	<b>Rendement (tonne/ha)</b>
BM1				
BM2				
BM3				

<b>Détermination de la biomasse</b>							
<b>Parcelle</b>	<b>Echantillon</b>	<b>Poids tare (g)</b>	<b>poids total humide (g)</b>	<b>poids humide (g)</b>	<b>Poids total sec(g)</b>	<b>Poids sec(g)</b>	<b>Teneur en eau (%)</b>
<b>BM1</b>	1						
	2						
	3						
<b>BM2</b>	1						
	2						
	3						
<b>BM3</b>	1						
	2						
	3						

## ANNEXE 5 : FICHES DES DONNEES (CAMPAGNE 2)

Fiche de suivi d'analyse chimique des eaux d'irrigation				
Echantillon	NO3(mg/l)	NH4 (ml)	PO4(mg/l)	K(mg/l)
22/01/2007	2,1	7,2	18,1	30,0
06/01/2007	2,9	8,1	21,9	30,4
14/01/2007	1,9	7,4	22,5	30,3
21/04/2007	1,5	7,8	22,2	30,2

pH du sol			
Dates	BM1	BM2	BM3
15/01/2007	7	7,1	7,1
22/01/2007	7,2	7,2	7
14/01/2007	7,1	6,9	7,2
20/01/2007	7,3	7,2	7,1

	Equivalent fertilisant eau BM (campagne2)			
	NH4	NO3	PO4	K
Concentration moyenne (mg/L)	13,70	9,30	93,85	30,20
Apport quotidien (mg)	411,00	278,90	2815,57	906,00
Apport sur le cycle de la culture (kg/ha)	14,09	9,56	96,53	31,06
Equivalent fertilisants en (kg/ha)	<b>10,99</b>	<b>2,20</b>	<b>72,40</b>	<b>74,86</b>

<b>Synthèse</b>			
	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
Eléments fertilisants des eaux (kg/ha)	<b>13,19</b>	<b>72,4</b>	<b>74,9</b>
Eléments fertilisants du sol (g/parcelle)	<b>87,05</b>	<b>4,80</b>	
Eléments fertilisants disponible par parcelle	<b>100,24</b>	<b>77,20</b>	<b>74,9</b>

<b>Microbiologie des eaux d'irrigation dans 100ml</b>							
<b>Echantillon</b>	<b>Nombre d'essai par échantillon</b>	<b>Coliformes fécaux</b>		<b>Escherichia coli</b>		<b>Entérocoque</b>	
		<b>Lecture</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Lecture</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Lecture</b>	<b>Moyenne</b>
<b>15/01/2007</b>							
BM	E1	2,50E+04		2	3	0	0
	E2	3,00E+04	2,75E+04	3		0	
<b>22/01/2007</b>							
BM	E1	5,10E+04		0	1	0	0
	E2	3,10E+04	4,10E+04	1		0	
<b>29/01/2007</b>							
BM	E1	2,88E+05		0	1	0	0
	E2	1,92E+05	2,40E+05	2		0	
<b>14/02/2007</b>							
BM	E1	1,14E+05		0	0	0	0
	E2	1,00E+05	1,07E+05	0		0	
<b>20/02/2007</b>							
BM	E1	8,60E+04	1,08E+05	2	1	0	0
	E2	1,30E+05		0		0	

<b>Microbiologie du sol (dilution 10<sup>-1</sup>) dans 0,1ml de solution</b>							
Echantillon	Nombre d'essai par échantillon	Coliformes fécaux		Escherichia coli		Entérocoque	
		Lecture	Moyenne	Lecture	Moyenne	Lecture	Moyenne
<b>Avant le repiquage 19/01/07</b>							
BM1	E1	17	12	0	0	0	0
	E2	6		0		0	
BM2	E1	55	64	0	0	0	0
	E2	72		0		0	
BM3	E1	11	12	0	0	0	0
	E2	12		0		0	
<b>Pendant la croissance 09/02/2007</b>							
BM1	E1	22	17	0	0	0	0
	E2	11		0		0	
BM2	E1	100	95	0	0	0	0
	E2	89		0		0	
BM3	E1	16	13	0	0	0	0
	E2	9		0		0	
<b>A la récolte 20/02/07</b>							
BM1	E1	10	11	0	0	0	0
	E2	11		0		0	
BM2	E1	13	10	0	0	0	0
	E2	6		0		0	
BM3	E1	100	71	0	0	0	0
	E2	42		0		0	

<b>Avant le repiquage</b>				
<b>Echantillon</b>	<b>Colonie lue</b>	<b>Teneur en eau</b>	<b>Dilution</b>	<b>(UFC/100g)</b>
<b>BM 1</b>	12	12,07	0,1	1
<b>BM 2</b>	64	11,34	0,1	7
<b>BM 3</b>	12	11,59	0,1	1

<b>Pendant la croissance</b>				
<b>Echantillon</b>	<b>Colonie lue</b>	<b>Teneur en eau</b>	<b>Dilution</b>	<b>Charge Bactérienne (UFC/100g)</b>
<b>BM 1</b>	17	10,99	0,1	2
<b>BM 2</b>	95	11,46	0,1	11
<b>BM 3</b>	13	11,56	0,1	2

<b>A la récolte</b>				
<b>Echantillon</b>	<b>Colonie lue</b>	<b>Teneur en eau</b>	<b>Dilution</b>	<b>Charge Bactérienne (UFC/100g)</b>
<b>BM 1</b>	11	11,30	0,1	1
<b>BM 2</b>	10	11,80	0,1	1
<b>BM 3</b>	71	11,65	0,1	8

<b>Campagne 2</b>		
<b>Charge Escherichia coli (colonie lue)</b>		
<b>Avant le repiquage</b>	<b>Pendant la croissance</b>	<b>A la récolte</b>
0	0	0
0	0	0
0	0	0

<b>Détermination de la teneur en eau du sol (campagne 2)</b>						
<b>Parcelle</b>	<b>Poids tare (g)</b>	<b>poids total humide (g)</b>	<b>poids humide (g)</b>	<b>Poids total sec(g)</b>	<b>Poids sec(g)</b>	<b>Teneur en eau (%)</b>
<b>Avant le repiquage 20/01/2007</b>						
<b>BM1</b>	35,56	78,32	42,76	73,16	37,60	12,07
<b>BM2</b>	34,81	84,21	49,40	78,61	43,80	11,34
<b>BM3</b>	35,97	82,74	46,77	77,32	41,35	11,59
<b>Pendant la croissance 09/02/2007</b>						
<b>BM1</b>	35,54	90,41	54,87	84,38	48,84	10,99
<b>BM2</b>	34,88	90,72	55,84	84,32	49,44	11,46
<b>BM3</b>	35,97	85,29	49,32	79,59	43,62	11,56
<b>A la récolte 20/02/07</b>						
<b>BM1</b>	35,58	88,32	52,74	82,36	46,78	11,30
<b>BM2</b>	34,87	94,21	59,34	87,21	52,34	11,80
<b>BM3</b>	35,91	92,74	56,83	86,12	50,21	11,65

Charge bactérien et parasitaire de la laitue en UFC/g (campagne 2)							
Echantillon	Nombre d'essai par échantillon	Coliformes fécaux		Escherichia coli		Entérocoque	
		Lecture	Moyenne	Lecture	Moyenne	Lecture	Moyenne
<b>14/02/2004</b>							
BM1	E1	4,50E+03	2,70E+03	0	0	0	0
	E2	9,00E+02		0		0	
BM2	E1	3,60E+03	3,15E+03	0	0	0	0
	E2	2,70E+03		0		0	
BM3	E1	9,00E+02	4,50E+02	0	0	0	0
	E2	0,00E+00		0		0	
<b>16/02/2007</b>							
BM1	E1	1,80E+03	3,60E+03	0	0	0	0
	E2	5,40E+03		0		0	
BM2	E1	9,00E+02	1,80E+03	0	0	0	0
	E2	2,70E+03		0		0	
BM3	E1	9,00E+02	9,00E+02	0	0	0	0
	E2	9,00E+02		0		0	
<b>20/02/2004</b>							
BM1	E1	3,60E+03	4,05E+03	0	0	0	0
	E2	4,50E+03		0		0	
BM2	E1	8,10E+03	4,95E+03	0	0	0	0
	E2	1,80E+03		0		0	
BM3	E1	0,00E+00	0,00E+00	900	450	0	0
	E2	0,00E+00		0		0	

BM1	Longueur de la ligne (m)	Largeur d'influence (cm)	Superficie (m2)
L1	3	23	0,69
L3	3	19	0,57
L4	3	20	0,6
L5	3	21	0,63
L6	3	22	0,66
<b>SBM1</b>			<b>3,15</b>

<b>BM3</b>	<b>Longueur de la ligne (m)</b>	<b>Largeur d'influence (cm)</b>	<b>Superficie (m2)</b>
L2	3	19	0,57
L3	3	17	0,51
L4	3	20	0,6
L6	3	20	0,6
L7	3	18	0,54
<b>SBM3</b>			<b>2,82</b>

<b>BM2</b>	<b>Longueur de la ligne (m)</b>	<b>Largeur d'influence (cm)</b>	<b>Superficie (m2)</b>
L1	3	19	0,57
L2	3	20	0,6
L4	3	18	0,54
L5	3	21	0,63
<b>SBM2</b>			<b>2,34</b>

<b>Rendement campagne 2</b>				
<b>Parcelles</b>	<b>Poids (kg)</b>	<b>Superficie (m2)</b>	<b>Rendement (kg/m2)</b>	<b>Rendement (tonne/ha)</b>
<b>BM1</b>	3,3	3,15	1,048	10,48
<b>BM2</b>	2,9	2,34	1,239	12,39
<b>BM3</b>	3,5	2,82	1,241	12,41

Détermination de la biomasse								
Parcelle	Echant	Poids tare (g)	poids total humide (g)	poids humide (g)	Poids total sec(g)	Poids sec(g)	Teneur en eau (%)	Teneur en eau moy (%)
<b>12/02/2007</b>								
<b>BM1</b>	1	69,38	93,28	23,90	81,36	11,98	49,87	59,22
	2	46,71	74,75	28,04	61,30	14,59	47,97	
	3	75,49	93,38	17,89	79,10	3,61	79,82	
<b>BM2</b>	1	76,56	103,76	27,20	85,21	8,65	68,20	60,55
	2	70,07	92,74	22,67	83,32	13,25	41,55	
	3	70,57	128,15	57,58	86,75	16,18	71,90	
<b>BM3</b>	1	63,41	108,82	45,41	81,36	17,95	60,47	67,08
	2	66,40	109,01	42,61	76,27	9,87	76,84	
	3	59,41	132,33	72,92	85,71	26,30	63,93	
<b>16/02/2007</b>								
<b>BM1</b>	1	69,35	92,48	23,13	73,26	3,91	83,10	83,39
	2	46,71	80,75	34,04	52,98	6,27	81,58	
	3	75,52	100,68	25,16	79,17	3,65	85,49	
<b>BM2</b>	1	76,57	109,44	32,87	80,59	4,02	87,77	87,23
	2	70,01	93,70	23,69	73,71	3,70	84,38	
	3	70,55	134,25	63,70	77,21	6,66	89,54	
<b>BM3</b>	1	63,52	105,82	42,30	69,68	6,16	85,44	87,62
	2	66,39	101,81	35,42	70,49	4,10	88,42	
	3	59,40	127,73	68,33	66,91	7,51	89,01	
<b>21/02/2007</b>								
<b>BM1</b>	1	69,38	95,28	25,90	72,36	2,98	88,49	89,19
	2	46,70	84,75	38,05	50,38	3,68	90,33	
	3	75,54	103,38	27,84	78,67	3,13	88,76	
<b>BM2</b>	1	76,56	113,76	37,20	80,39	3,83	89,70	89,96
	2	70,03	98,74	28,71	73,11	3,08	89,27	
	3	70,57	138,15	67,58	76,71	6,14	90,91	
<b>BM3</b>	1	63,50	108,82	45,32	68,18	4,68	89,67	90,58
	2	66,40	105,01	38,61	69,99	3,59	90,70	
	3	59,41	132,33	72,92	65,71	6,30	91,36	

Détermination des besoins en eau (campagne 2)						
Date de lecture	Niveau début de lecture (cm)	Niveau lecture (cm)	Ebac(mm/j)	ET0 (mm/j)	Esol (l/j)	IA
23/01/2007	5,0	6,0	10,0	7,5	45,0	0,67
24/01/2007	5,0	5,7	7,0	5,25	31,5	0,95
25/01/2007	5,0	5,5	5,0	3,75	22,5	1,33
26/01/2007	5,0	6,0	10,0	7,5	45,0	0,67
27/01/2007	5,0	5,7	7,0	5,25	31,5	0,95
28/01/2007	5,0	5,7	7,0	5,25	31,5	0,95
29/01/2007	5,0	6,0	10,0	7,5	45,0	0,67
30/01/2007	5,0	5,6	6,0	4,5	27,0	1,11
31/01/2007	5,0	5,8	8,0	6	36,0	0,83
01/02/2007	5,0	5,8	8,0	6	36,0	0,83
02/02/2007	5,0	5,6	6,0	4,5	27,0	1,11
03/02/2007	5,0	5,8	8,0	6	36,0	0,83
04/02/2007	5,0	5,7	7,0	5,25	31,5	0,95
05/02/2007	5,0	6,0	10,0	7,5	45,0	0,67
06/02/2007	5,0	5,6	6,0	4,5	27,0	1,11
07/02/2007	5,0	5,7	7,0	5,25	31,5	0,95
08/02/2007	5,0	5,9	9,0	6,75	40,5	0,74
09/02/2007	5,0	6,1	11,0	8,25	49,5	0,61
10/02/2007	5,0	6,0	10,0	7,5	45,0	0,67
11/02/2007	5,0	6,1	11,0	8,25	49,5	0,61
12/02/2007	5,0	6,0	10,0	7,5	45,0	0,67
13/02/2007	5,0	6,0	10,0	7,5	45,0	0,67
14/02/2007	5,0	5,7	7,0	5,25	31,5	0,95
15/02/2007	5,0	5,8	8,0	6	36,0	0,83
16/02/2007	5,0	5,8	8,0	6	36,0	0,83
17/02/2007	5,0	5,9	9,0	6,75	40,5	0,74
18/02/2007	5,0	5,7	7,0	5,25	31,5	0,95
19/02/2007	5,0	5,6	6,0	4,5	27,0	1,11
20/02/2007	5,0	5,7	7,0	5,25	31,5	0,95
21/02/2007	5,0	5,7	7,0	5,25	31,5	0,95
22/02/2007	5,0	5,8	8,0	6	36,0	0,83
23/02/2007	5,0	5,8	8,0	6	36,0	0,83
24/02/2007	5,0	5,8	8,0	6	36,0	0,83
25/02/2007	5,0	5,7	7,0	5,25	31,5	0,95
26/02/2007	5,0	5,8	8,0	6	36,0	0,83

## ANNEXE 6 : SUIVI DES PARAMETRES DE L'ETUDE (CAMPAGNE 3)

Données d'analyse chimique des eaux d'irrigation				
Echantillon	NO3 (mg/l)	NH4 (ml)	PO4 (mg/l)	K (mg/l)
13/04/2007	1,9	9,7	19,3	34,84
20/04/2007	1,8	10,2	20,1	34,66
27/04/2007	1,7	8,8	17,1	36,52
03/04/2007	2,1	7,2	19,9	34,53
10/04/2007	1,8	9	20,5	36,35
17/04/2007	1,9	7,6	19,7	34,44
24/04/2007	1,7	8,9	17,6	34,44

	Equivalent fertilisant eau BM			
	NH4	NO3	PO4	K
Concentration moyenne (mg/L)	15,79	8,16	84,87	35,11
Apport quotidien (mg)	599,97	310,02	3225,13	1334,03
Apport sur le cycle de la culture (kg/ha)	20,6	10,6	110,6	45,7
Equivalent fertilisants en (kg/ha)	<b>16,0</b>	<b>2,44</b>	<b>82,9</b>	<b>110,2</b>

	<b>Synthèse</b>		
	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
Eléments fertilisants des eaux (kg/ha)	<b>18,49</b>	<b>82,9</b>	<b>110,2</b>
Eléments fertilisants du sol (g/parcelle)	<b>87,05</b>	<b>4,80</b>	
Eléments fertilisants disponible par parcelle	<b>105,54</b>	<b>87,73</b>	<b>110,23</b>

Microbiologie des eaux d'irrigation dans 100ml							
Echantillon	Nombre d'essai / échantillon	Coliformes fécaux		Escherichia coli		Entérocoque	
		Lecture	Moyenne	Lecture	Moyenne	Lecture	Moyenne
<b>13/03/2007</b>							
BM	E1 (10-1)	8,00E+05	4,55E+05	0	0	0	0
	E2 (10-1)	1,10E+05		0		0	
<b>20/03/2007</b>							
BM	E1 (10-1)	1,65E+06	1,89E+06	2	2	0	0
	E2 (10-1)	2,13E+06		1		0	
<b>27/03/2007</b>							
BM	E1 (10-1)	0,00E+00	3,00E+04	0	0	0	0
	E2 (10-1)	6,00E+04		0		0	
<b>03/04/2007</b>							
BM	E1 (10-1)	2,00E+04	2,00E+04	0	0	0	0
	E2 (10-1)	2,00E+04		0		0	
<b>10/04/2007</b>							
BM	E1 D	0,00E+00	0,00E+00	0	0	0	0
	E2 D	0,00E+00		0		0	
<b>17/04/2007</b>							
BM	E1 (10-1)			0	0	0	0
	E2 (10-1)			0		0	
<b>24/04/2007</b>							
BM	E1 (10-1)	6,90E+05	6,85E+05	0	0	0	0
	E2 (10-1)	6,80E+05		0		0	

Charge bactérienne Avant le repiquage				
Echantillon	Colonie lue	Teneur en eau	Dilution	Charge
				(UFC/100g)
BM 1	132	15,09	0,1	20
BM 2	142	13,47	0,1	19
BM 3	52	14,83	0,1	8

<b>charge bactérienne Pendant la croissance</b>				
<b>Echantillon</b>	<b>Colonie lue</b>	<b>Teneur en eau</b>	<b>Dilution</b>	<b>Charge (UFC/100g)</b>
<b>BM 1</b>	17	11,00	0,1	2
<b>BM 2</b>	95	8,24	0,1	8
<b>BM 3</b>	13	11,65	0,1	2

<b>Charge bactérienne A la récolte</b>				
<b>Echantillon</b>	<b>Colonie lue</b>	<b>Teneur en eau</b>	<b>Dilution</b>	<b>Charge (UFC/100g)</b>
<b>BM 1</b>	11	6,43	0,1	1
<b>BM 2</b>	10	6,91	0,1	1
<b>BM 3</b>	71	9,42	0,1	7

<b>Microbiologie du sol des parcelles dans 0,1 ml de solution</b>							
<b>Parcelle</b>	<b>Nombre d'essai par échantillon</b>	<b>Coliformes fécaux</b>		<b>Escherichia coli</b>		<b>Entérocoque</b>	
		<b>Lecture</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Lecture</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Lecture</b>	<b>Moyenne</b>
<b>Avant le repiquage 20/03/2007 (dilution 10-1)</b>							
BM1	E1	139	132	2	9	0	0
	E2	125		15		0	
BM2	E1	83	142	5	5	0	0
	E2	201		5		0	
BM3	E1	30	52	0	4	0	0
	E2	73		8		0	
<b>Pendant la croissance 11/04/2007 (dilution 10-1)</b>							
BM1	E1	132	133	0	0	0	0
	E2	133		0		0	
BM2	E1	16	23	0	0	0	0
	E2	29		0		0	
BM3	E1	10	11	0	1	0	0
	E2	11		1		0	
<b>A la récolte 26/04/2007 (dilution 10-1)</b>							
BM1	E1	30	31,5	0	0	0	0
	E2	33		0		0	
BM2	E1	48	63	0	0	0	0
	E2	78		0		0	
BM3	E1	1	1	0	0	0	0
	E2	1		0		0	

Détermination de la teneur en eau du sol						
Parcelle	Poids tare (g)	poids total humide (g)	poids humide (g)	Poids total sec(g)	Poids sec(g)	Teneur en eau (%)
<b>20/03/2007</b>						
<b>BM1</b>	35,58	88,32	52,74	80,36	44,78	15,09
<b>BM2</b>	34,84	94,21	59,37	86,21	51,37	13,47
<b>BM3</b>	35,96	92,74	56,78	84,32	48,36	14,83
<b>11/04/2007</b>						
<b>BM1</b>	35,58	90,41	54,83	84,38	48,80	11,00
<b>BM2</b>	34,88	93,12	58,24	88,32	53,44	8,24
<b>BM3</b>	35,96	84,21	48,25	78,59	42,63	11,65
<b>26/04/2007</b>						
<b>BM1</b>	36,60	100,49	63,89	96,38	59,78	6,43
<b>BM2</b>	35,61	105,76	70,15	100,91	65,30	6,91
<b>BM3</b>	35,40	101,23	65,83	95,03	59,63	9,42

Parasitologie du sol (campagne3)		
Parcelles	Emtamaela Coli	Œufs d'ascaris
Avant repiquage		
BM1	oui	oui
BM2	non	non
BM3	non	non
Pendant la croissance		
BM1	oui	oui
BM2	non	non
BM3	non	non
A la récolte		
BM1	oui	oui
BM2	non	non
BM3	non	non

<b>Microbiologie des laitues en UFC/g (campagne3)</b>							
<b>Parcelle</b>	<b>Nombre d'essai par échantillon</b>	<b>Coliformes fécaux</b>		<b>Escherichia coli</b>		<b>Entérocoque</b>	
		<b>Lecture</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Lecture</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Lecture</b>	<b>Moyenne</b>
<b>16/04/2007</b>							
BM1	E1 (10-1)	4,50E+03	2,70E+03	0	0	0	0
	E2 (10-1)	9,00E+02		0		0	
BM2	E1 (10-1)	7,83E+04	7,34E+04	0	0	0	0
	E2 (10-1)	6,84E+04		0		0	
BM3	E1 (10-1)	4,86E+04	6,53E+04	0	0	0	0
	E2 (10-1)	8,19E+04		0		0	
<b>20/04/2007</b>							
BM1	E1 (10-1)	5,40E+03	3,60E+03	0	0	0	0
	E2 (10-1)	1,80E+03		0		0	
BM2	E1 (10-1)	8,37E+04	8,64E+04	0	0	0	0
	E2 (10-1)	8,91E+04		0		0	
BM3	E1 (10-1)	5,22E+04	7,65E+04	0	0	0	0
	E2 (10-1)	1,01E+05		0		0	
<b>23/04/2007</b>							
BM1	E1 (10-1)	4,50E+03	4,05E+03	0	0	0	0
	E2 (10-1)	3,60E+03		0		0	
BM2	E1 (10-1)	7,11E+04	1,36E+05	0	0	0	0
	E2 (10-1)	2,01E+05		0		0	
BM3	E1 (10-1)	1,27E+05	1,09E+05	0	0	0	0
	E2 (10-1)	9,18E+04		0		0	
<b>27/04/2007</b>							
BM1	E1 (10-1)	7,20E+03	4,95E+03	0	0	0	0
	E2 (10-1)	2,70E+03		0		0	
BM2	E1 (10-1)	1,72E+05	2,30E+05	0	0	0	0
	E2 (10-1)	2,87E+05		0		0	
BM3	E1 (10-1)	1,66E+05	1,53E+05	0	0	0	0
	E2 (10-1)	1,41E+05		0		0	

Parasitologie des laitues (campagne3)		
Parcelles	Kystes Emtamaela Coli	Œufs d'ascaris
BM1	107	40
BM2	0	0
BM3	0	0

Détermination de la superficie de rendement BM1			
Lignes	longueur (m)	Largeur (cm)	Superficie (m2)
L2	2	21	0,42
L3	1,5	21	0,32
L4	2,3	20	0,46
L6	1,4	20	0,28
<b>BM1</b>			<b>1,48</b>

Détermination de la superficie de rendement BM2			
Lignes	longueur (m)	Largeur (cm)	Superficie
L1	2,1	23	0,48
L2	2,2	21	0,46
L4	2,1	24	0,50
L5	2,7	23	0,62
<b>BM2</b>			<b>2,07</b>

Détermination de la superficie de rendement BM3			
Lignes	longueur (m)	Largeur (cm)	Superficie
L1	2,2	23	0,51
L2	2,2	24	0,53
L3	2,3	23	0,53
L6	2,4	22	0,53
L7	1,4	23	0,32
<b>SBM3</b>			<b>2,41</b>

<b>rendement campagne 3</b>				
<b>Parcelles</b>	<b>Poids (kg)</b>	<b>Superficie (m2)</b>	<b>Rendement (kg/m2)</b>	<b>Rendement (tonne/ha)</b>
<b>BM1</b>	1,38	1,48	0,93	9,34
<b>BM2</b>	2,12	2,07	1,02	10,24
<b>BM3</b>	3,15	2,41	1,31	13,06

<b>Données du filtre pilote</b>			
<b>Semaine 1</b>			
<b>Echantillon</b>	<b>Dilution</b>	<b>CF</b>	<b>EC</b>
<b>23/04/2007</b>			
BM	(10- 1)	115	2
EF	D	>300	17
<b>24/04/2007</b>			
BM	(10- 2)	138	3
EF	(10- 1)	>300	11
<b>25/04/2007</b>			
BM	(10- 2)	>300	0
EF	(10- 1)	>300	0
<b>Semaine 2</b>			
<b>Echantillon</b>	<b>Dilution</b>	<b>CF</b>	<b>EC</b>
<b>26/04/2007</b>			
BM	(10- 2)	2	0
EF	(10- 1)	196	0
<b>27/04/2007</b>			
BM	(10- 2)	9	0
EF	(10- 1)	132	0
<b>30/04/2007</b>			
BM	(10- 1)	33	0
EF	(10- 1)	18	0
<b>01/05/2007</b>			
BM	(10- 1)	44	0
EF	(10- 1)	31	0
<b>02/05/2007</b>			
BM	(10- 1)	27	0
EF	(10- 1)	19	0

Détermination de la biomasse								
Parcelle	Echant	Poids	poids total	poids	Poids total	Poids	Teneur	Moyenne teneur (%)
		tare (g)	humide (g)	humide (g)	sec(g)	sec(g)	en eau (%)	
<b>16/04/2007</b>								
<b>BM1</b>	1	69,90	84,23	14,33	71,98	2,08	85,48	77,53
	2	67,30	79,51	12,21	71,75	4,45	63,55	
	3	66,70	91,44	24,74	70,77	4,07	83,55	
<b>BM2</b>	1	66,20	89,99	23,79	69,20	3,00	87,39	84,78
	2	72,40	89,33	16,93	74,98	2,58	84,76	
	3	69,30	87,11	17,81	72,47	3,17	82,20	
<b>BM3</b>	1	66,00	92,26	26,26	69,00	3,00	88,58	88,44
	2	71,00	86,16	15,16	72,76	1,76	88,39	
	3	69,70	95,55	25,85	72,71	3,01	88,36	
<b>20/04/2007</b>								
<b>BM1</b>	1	69,90	82,73	12,83	72,70	2,80	78,18	81,59
	2	67,30	82,11	14,81	70,30	3,00	79,74	
	3	66,70	89,54	22,84	69,70	3,00	86,87	
<b>BM2</b>	1	66,20	87,29	21,09	69,20	3,00	85,78	86,06
	2	72,40	93,43	21,03	75,40	3,00	85,73	
	3	69,30	85,81	16,51	71,50	2,20	86,67	
<b>BM3</b>	1	66,00	107,66	41,66	71,00	5,00	88,00	86,89
	2	71,00	89,56	18,56	73,76	2,76	85,13	
	3	69,70	94,65	24,95	72,81	3,11	87,54	
<b>23/04/2007</b>								
<b>BM1</b>	1	69,90	87,10	17,20	72,61	2,71	84,24	85,13
	2	67,30	80,56	13,26	69,23	1,93	85,44	
	3	66,70	87,25	20,55	69,64	2,94	85,69	
<b>BM2</b>	1	66,20	118,31	52,11	69,42	3,22	93,82	87,26
	2	72,40	161,57	89,17	82,76	10,36	88,38	
	3	69,30	106,60	37,30	76,92	7,62	79,57	
<b>BM3</b>	1	66,00	98,62	32,62	69,18	3,18	90,25	88,79
	2	71,00	82,78	11,78	72,61	1,61	86,33	
	3	69,70	192,63	122,93	82,27	12,57	89,77	
<b>27/04/2007</b>								
<b>BM1</b>	1	69,90	97,60	27,70	73,11	3,21	88,41	87,48
	2	67,30	90,90	23,60	70,53	3,23	86,31	

*THEME : Amélioration du système de traitement des eaux usées du 2iE : Impact sur la qualité sanitaire et le rendement d'une culture de laitue*

	3	66,70	87,40	20,70	69,24	2,54	87,73	
<b>BM2</b>	1	66,20	108,30	42,10	70,42	4,22	89,98	90,00
	2	72,40	161,60	89,20	80,96	8,56	90,40	
	3	69,30	120,60	51,30	74,62	5,32	89,63	
<b>BM3</b>	1	66,00	118,60	52,60	71,10	5,10	90,30	90,81
	2	71,00	102,30	31,30	73,68	2,68	91,44	
	3	69,70	190,60	120,90	80,97	11,27	90,68	

Fiche de suivi du bac								
Date de lecture	Niveau début de lecture (cm)	Niveau Lecture (cm)	Ebac (mm/j)	ET0 (mm/j)	Esol (L/j)	Apports (l/J)	IA	
21/03/2007	5	5,7	7	5,25	31,50	30	0,95	
22/03/2007	5	5,8	8	6,00	36,00	30	0,83	
23/03/2007	5	5,9	9	6,75	40,50	30	0,74	
24/03/2007	5	5,7	7	5,25	31,50	30	0,95	
25/03/2007	5	5,6	6	4,50	27,00	30	1,11	
26/03/2007	5	5,6	6	4,50	27,00	30	1,11	
27/03/2007	5	5,7	7	5,25	31,50	30	0,95	
28/03/2007	5	5,6	6	4,50	27,00	30	1,11	
29/03/2007	5	5,6	6	4,50	27,00	30	1,11	
30/03/2007	5	5,5	5	3,75	22,50	30	1,33	
31/03/2007	5	5,6	6	4,50	27,00	30	1,11	
01/04/2007	5	5,6	6	4,50	27,00	30	1,11	
02/04/2007	5	5,5	5	3,75	22,50	30	1,33	
03/04/2007	5	5,5	5	3,75	22,50	30	1,33	
04/04/2007	5	5,5	5	3,75	22,50	30	1,33	
05/04/2007	5	<b>5,8</b>	<b>8</b>	<b>6,00</b>	36,00	<b>118,13</b>	<b>3,28</b>	
06/04/2007	5	5,5	5	3,75	22,50	30	1,33	
07/04/2007	5	5,6	6	4,50	27,00	30	1,11	
08/04/2007	5	5,7	7	5,25	31,50	30	0,95	
09/04/2007	5	5,6	6	4,50	27,00	30	1,11	
10/04/2007	5	5,7	7	5,25	31,50	30	0,95	
11/04/2007	5	5,7	7	5,25	31,50	30	0,95	
12/04/2007	5	5,7	7	5,25	31,50	30	0,95	
13/04/2007	5	5,8	8	6,00	36,00	30	0,83	

**THEME** : Amélioration du système de traitement des eaux usées du 2iE : Impact sur la qualité sanitaire et le rendement d'une culture de laitue

14/04/2007	5	5,6	6	4,50	27,00	30	1,11
15/04/2007	5	5,8	8	6,00	36,00	30	0,83
16/04/2007	5	5,8	8	6,00	36,00	30	0,83
17/04/2007	5	<b>5,8</b>	<b>8</b>	<b>6,00</b>	36,00	<b>293,13</b>	8,14
18/04/2007	5	5,6	6	4,50	27,00	30	1,11
19/04/2007	5	5,6	6	4,50	27,00	30	1,11
20/04/2007	5	5,5	5	3,75	22,50	30	1,33
21/04/2007	5	5,7	7	5,25	31,50	30	0,95
22/04/2007	5	5,6	6	4,50	27,00	30	1,11
23/04/2007	5	5,6	6	4,50	27,00	30	1,11
24/04/2007	5	5,6	6	4,50	27,00	30	1,11
25/04/2007	5	5,7	7	5,25	31,50	30	0,95
26/04/2007	5	5,8	8	6,00	36,00	30	0,83
27/04/2007	5	5,8	8	6,00	36,00	30	0,83
28/04/2007	5	5,7	7	5,25	31,50	30	0,95
29/04/2007	5	5,6	6	4,50	27,00	30	1,11
30/04/2007	5	5,6	6	4,50	27,00	30	1,11

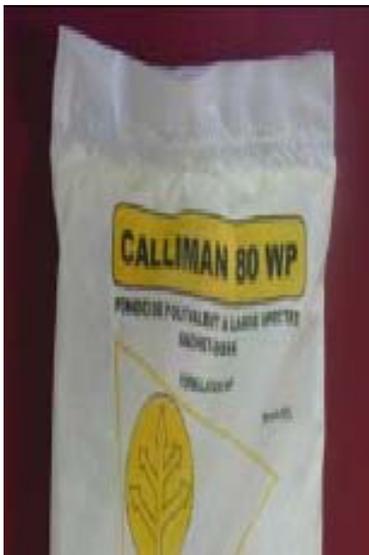
## **ANNEXE 7 : PHOTOS DES PRODUITS DU TRAITEMENT PHYTOSANITAIRE**



Cymethoate super



Cypercal 50 EC



Calliman 80 WP



Furadan 3G

## **ANNEXE 8 : PHOTOS DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL DES ANALYSES**



Parcelles laitues campagne3



Mise à l'étuve pour biomasse



Dispositif analyse des laitues



Préparation de l'échantillon bactériologie

## **ANNEXE 9 : PROTOCOLE DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES**

### **A- Analyse microbiologique du sol**

#### ➤ **Matériel.**

Le matériel utilisé est :

- Une tarière
- Une spatule
- Une glacière
- 6 bouteilles de prélèvement stériles
- 6 boîtes (avec couvercle) pour la mesure de la teneur en eau
- Alcool à 90°C
- Une boîte d'allumettes (flamber les ustensiles de prélèvement à l'alcool in situ)
- Papier essuie- tout

#### ➤ **Procédure.**

La tarière sert à prélever une carotte de sol à 10 cm de la profondeur. Avec une spatule stérilisée à l'alcool, on prélève une petite fraction dans une bouteille (pour les analyses) et dans une boîte (pour la teneur en eau). L'échantillon final correspond à un mélange de plusieurs prélèvements sur la même parcelle. La détermination de la teneur en eau du sol de chaque parcelle se fait au laboratoire de Génie civil du 2iE.

Pour passer d'une parcelle à une autre, la tarière et la spatule sont soigneusement nettoyées et rincés à l'alcool à 90°C. Une fois prélevées, les bouteilles d'échantillon de sol destinées au laboratoire sont conservées dans la glacière munie de cubes de congélation ou dans les réfrigérateurs.

### **B. Microbiologie des eaux d'irrigation**

#### ➤ **Matériel.**

Le matériel utilisé est :

- Une glacière
- 2 bouteilles stériles.
- Une boîte d'allumettes (flamber les ustensiles de prélèvement à l'alcool in situ)
- Papier essuie- tout.

➤ **Procédure**

A l'aide des bouteilles préparées, on procède au prélèvement de l'eau directement au périmètre d'expérimentation et à la sortie des robinets. Une fois prélevé, les échantillons sont gardés dans la glacière avant d'être transféré au laboratoire où ils seront conservés avant les analyses.

**- Ensemencement et incubation**

➤ **Matériel et réactifs**

- 4 milieux coulé en boîte de pétrie par échantillon
- Pipette automatique de 1ml
- Pipette automobile de 0,1ml
- Alcool à 90°C
- Comping gaz- ou Bec Hoffman
- Papier essuie- tout
- Etaleur stérile : 1 par échantillon (avec sa série de dilution)

➤ **Procédure**

Dans le cas des eaux usées traitées, les paramètres recherchés sont les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux.

Les coliformes fécaux ont été analysés dans les eaux et sur les légumes selon les procédures employées par Baba Moussa, (1995) et Cissé, (1997).

Il s'agit d'une numération bactérienne sur milieu sélectif, qui consiste à ensemercer par étalement un volume de X (ml) d'échantillon sur le milieu de culture, Chromocult Agar, préalablement coulé en boîte de pétri de (5 cm de diamètre). Les boîtesensemencées sont incubées à 44°C pendant 18 à 24 heures.

Le Milieu de culture Chromocult Agar à la particularité de permettre une identification générale des coliformes fécaux (colonies roses) et une identification spécifique d'E.Coli reconnaissable à la couleur violette des colonies.

Les streptocoques fécaux sont analysés par le même principe d'ensemencement décrit précédemment. L'ensemencement est effectué sur le milieu de culture de Barthley et Slanetz et les boîtesensemencées sont incubées à 37 °C pendant 37 à 48 heures.

## **- Parasitologie des eaux d'irrigation**

### ➤ **Matériel et réactifs**

- Le NaCl
- L'Ether
- Le SAF
- L'eau de javel diluée au tiers (1/3)
- Eprouvette de 100ml
- Une balance
- Agitateur mécanique
- Une spatule métallique
- 6 bouteilles de prélèvement stériles
- Alcool à 90°C
- Une boîte d'allumettes (flamber les ustensiles de prélèvement à l'alcool in situ)
- Du papier essuie- tout

### ➤ **Procédure**

La recherche des parasites s'est effectuée suivant la méthode « SAF adaptée » utilisée par Cissé, (1997) et par Mariam Sou (doctorante au 2iE). Elle concerne les eaux et les végétaux. Son principe est basé sur la concentration des éléments décantables dont les œufs et les kystes font partis.

Pour cela, on prépare pour chaque échantillon une solution de sol contenant 10g de sol et 90ml d'eau de javel. Agiter et homogénéisé pendant 25mn.

- Centrifuger ensuite pendant 10min, verser le surnageant et garder le culot.
- Mettre le SAF puis centrifuger pendant 10min, versé le surnageant et garde le culot.
- Mettre le NaCl et l'Ether puis centrifuger pendant 5min, verser le surnageant et garder le culot. Le culot ainsi obtenu sera analysé par lecture directe au microscope.

## **D- Microbiologie des laitues**

### ➤ **Matériel**

- Le NaCl à 9,5g/l
- 4 milieux coulé en boîte de pétrie par échantillon
- Pipette automatique de 1ml
- Pipette automobile de 0,1ml
- Alcool à 90°C
- Comping gaz- ou Bec Hoffman.
- Papier essuie- tout.

- Etaleur stérile : 1 par échantillon (avec sa série de dilution).
- 6 bouteilles stériles.
- Des tubes à essai pour la dilution des échantillons.

➤ **Procédure**

Pour l'analyse bactériologique, on prépare 20g de laitue dans 180ml de solution NaCl. Agiter jusqu'à obtenir une coloration verdâtre du mélange. La solution obtenue estensemencée sur des boîtes de pétri (5 cm de diamètre).

✚ Les coliformes fécaux sontensemencés sur des boîtes à Chromocult Agar et incubées à 44°C pendant 18 à 24 heures.

✚ Les entérocoques quant à eux sontensemencés sur des boîtes Barthley et Slanetz et les incubées à 37 °C pendant 37 à 48 heures.

La procédure d'ensemencement et de lecture est la même que celle des eaux usées traitées.

**- Parasitologie des laitues**

➤ **Matériel**

- Le NaCl
- L'Ether
- Le SAF
- L'eau de javel diluée au tiers (1/3)
- Eprouvette de 100ml
- Une balance
- Agitateur mécanique
- Une spatule métallique
- 6 bouteilles de prélèvement stériles
- Alcool à 90°C
- Une boîte d'allumettes (flamber les ustensiles de prélèvement à l'alcool in situ)
- Du papier essuie- tout

➤ **Procédure**

L'analyse parasitaire utilise 100 g de laitue dans un litre de solution de NaCl. Après agitation pendant 15minutes le liquide est soumis à une décantation pendant 24 heures. Pour la préparation du culot de l'observation des parasites, la méthode utilisée est celle décrite pour les eaux usées qui utilise le principe de « SAF adaptée » utilisée par Cissé, (1997). Elle concerne les eaux et les végétaux.