MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université KASDI MERBAH-Ouargla

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Civil et Hydraulique

Valorisation des eaux usées épurées dans l'irrigation

Présenté par ;

BEN AISSA AHMED

Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Soutenu publiquement : Juin 2017

Devant le jury :

Président : Mr. ZERROUKI MOUSSA	**M.C.B - UKM Ouargla**
Encadreur : Mr. KATEB SAMIR	**M.C.A - UKM Ouargla**
Examinateur Mr. DERDOUS OUSSAMA	**M.A.B - UKM Ouargla**

Année Universitaire : 2016/2017

Remerciements

Je remercie Allah le bon dieu de m'avoir donné la capacité, le courage et la patience pour pouvoir faire ce modeste travail.

Merci à Mr. Kateb Samir de m'avoir encouragé et soutenu pour arriver à ce stade de connaissance.

Merci à tous le personnel de la STEP de SAID OTBA pour leur générosité et patience,

Merci à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour accomplir ce petit mémoire.

Dédicaces

À la mémoire de mon père

À ma mère

À ma femme

À ma fille Tessnim

À mes frères et sœurs

À tous ceux qui aiment savoir et veulent savoir faire

Liste des abbreviations

ONA	Office National de l'Assainissement
STEP	Station d'épuration des eaux usées
AFD	Agence Française de Développement
REUE	Réutilisation des Eaux Usées Épurées
USEPA	agence américaine pour la protection de l'environnement
FAO	Food and Agriculture Organisation
pH	Potentiel d'hydrogène
SAR	Sodium Adsorption Ratio
CE	Conductivité électrique
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
MES	matières en suspension
MMS	*matières minérales en suspension*
MVS	*matières volatiles en suspension*

Liste des tableaux

Tableau 1	*Normes de rejets pour l'irrigation (Normes Algériennes)*	*22*
Tableau 2	*Normes de réutilisation des eaux usées épurées (JORA, 2012).*	*22*
Tableau 3	*Données climatiques de Ouargla (1998-2012) (O.N.M, 2013)*	*28*
Tableau 4	*Rendement d'élimination*	*32*
Tableau 5	*Caractéristiques physicochimiques du sol de site*	*33*
Tableau 6	*Les caractéristiques des eaux irrigation*	*38*
Tableau 7	*Calendrier d'irrigation par l'eau mélangée*	*40*
Tableau 8	*Calendrier d'irrigation par l'eau de forage*	*41*
Tableau 9	*Longueurs des tiges, feuilles et fleurs des plantes irriguées par l'eau de forage*	*44*
Tableau 10	*Longueurs des tiges, feuilles et fleurs des plantes irriguées par l'eau de mélange*	*44*
Tableau 11	*Comparaison durant la croissance entre longueurs des tiges, feuilles et fleurs des plantes irriguées par l'eau de forage et celles irriguées par l'eau de mélange*	*45*

Liste des figures

Figure 1	*Situation géographique de Ouargla*	*27*
Figure 2	*Situation géographique de la STEP par rapport à la ville de Ouargla*	*30*
Figure 3	*Localisation du site d'étude*	*30*
Figure 4	*Bassin de dégazage et dégrilleur*	*31*
Figure 5	*Dessableur-déshuileur et répartiteur*	*31*
Figure 6	*Lagune d'aération et lits de séchage*	*31*
Figure 7	*le site de l'expérience*	*32*
Figure 8	*L'approfondissement de la parcelle*	*32*
Figure 9	*Parcelle prête à la semence*	*32*
Figure 10	*Dispositif expérimental*	*35*
Figure 11	*Echantillon de semence de la luzerne locale*	*35*
Figure 12	*Traçage la parcelle en lignes profondes de 2 cm pour semer*	*35*
Figure 13	*Irrigation manuelle*	*35*
Figure 14	*L'interface de programme CROPWAT 5.7*	*38*
Figure 15	*Plantes irriguées par l'eau de forage après un mois d'avoir semé*	*43*
Figure 16	*Plantes irriguées par l'eau de mélange après un mois d'avoir semé*	*43*
Figure 17	*Plantes irriguées par l'eau de forage après deux mois d'avoir semé*	*44*
Figure 18	*Plantes irriguées par l'eau de mélange après deux mois d'avoir semé*	*44*
Figure 19	*Mesure d'une plante irriguée par l'eau de forage*	*45*
Figure 20	*Mesure d'une plante irriguée par l'eau de mélange*	*45*
Figure 21	*Comparaison graphique de développement des racines*	*46*
Figure 22	*Comparaison graphique de développement des tiges*	*46*
Figure 23	*Comparaison graphique de développement des feuilles*	*46*

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE 8
CHAPITRE I : généralités sur la qualité des eaux usées.....10
I. Introduction 11
I.1 Pouvoir dissociant de l'eau 11
I.2 Définition d'une eau usée.....11
I.3 Origine des eaux usées.....11
I.3.1 Les eaux usées urbaines 11
I.3.2 Les eaux usées industrielles 12
I.3.3 Les eaux agricoles.....13
I.4 Caractéristiques des eaux usées.....13
I.5 Les paramètres physico-chimiques.....13
I.5.1 La température.....13
I.5.2 Le potentiel d'Hydrogène (pH) 13
I.5.3 La turbidité 14
I.5.4 Les matières en suspension (MES).....14
I.5.5 La conductivité électrique (CE).....14
I.5.6 La demande biochimique en oxygène (DBO5).....15
I.5.7 La demande chimique en oxygène (DCO).....15
I.5.8 La biodégradabilité 15
I.6 Pollution des eaux usées 16
I.6.1 Origines et sources de la pollution des eaux usées 16
I.6.2 Principaux polluants 17
I.7 Conclusion.....18
CHAPITRE II : les techniques de traitement (épuration).....19
II. Introduction 20
II.1 Pourquoi épurer les eaux usées 20
II.2 Les déversements des eaux usées dans le milieu naturel 20
II.3 Épuration des eaux usées.....21
II.3.1 Le prétraitement.....21
II.3.2 Le traitement primaire (traitement physico-chimique).....21
II.3.3 Traitement secondaire (épuration biologique) 22
II.3.4 Les traitements tertiaires 22
II.3.5 Le lagunage 22
II.3.6 La filtration sur sable 23
II.4 Analyse de la qualité des eaux usées après épuration 26
II.5 Problématique de la réutilisation des eaux usées épurées 27
II.6 Critères de qualité des eaux usées épurées pour l'irrigation 27
II.6.1 Normes d'utilisation à prendre en considération.....27
II.6.2 Salinité des eaux 29
II.6.3 Alcalinité 29
II.6.4 Sodisation.....29
II.7 Effets de la salinité 30
II.8 Les principales voies de réutilisation des eaux usées traitées.....30
II.9 Valorisation agricole et forestière 31
II.10 Conclusion 31
CHAPITRE III : protocole expérimentale.....32
III. Introduction et problématique 33
III.1 Méthodologie du travail.....33
III.2 Présentation de la région d'étude .....
III.3 Données climatiques de Ouargla.....
III.3.1 La température .....

III.3.2 L'humidité relative 34
III.3.3 L'évaporation 34
III.3.4 L'insolation 34
III.4 Présentation de la Station d'épuration (STEP) de Ouargla 35
III.4.1 La localisation géographique 35
III.4.2 Les différents ouvrages de la STEP 36
III.5 Choix du site de l'expérience 38
III.6 Préparation des parcelles 38
III.7 Caractéristiques du sol de site 39
III.8 Choix de la culture à étudier : La luzerne 39
III.8.1 Définition 39
III.8.2 Végétation et croissance 39
III.8.3 Exigences édaphiques 40
III.8.4 Exigences hydriques 40
III.8.5 Semence 41
III.8.6 Méthode de semis 41
III.9 Technique d'irrigation 42
III.9.1 Besoin en eau du périmètre 42
III.9.2 L'évapotranspiration 42
III.9.3 Les caractéristiques des eaux irrigation 44
III.9.4 Protection des parcelles 45
III.9.5 Le calendrier d'irrigation 45
III.10 Conclusion 47
CHAPITRE 4 : Résultats et discussion 48
IV. Résultats et discussions 49
IV.1 Résultats 49
IV.2 Représentations graphiques 52
IV.3 Discussion 53
IV.4 Recommandation 53
IV.5 Conclusion 53
CONCLUSION GENERALE 54
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 55

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est un facteur limitant du développement de l'agriculture. La rareté est appréhendée en termes de stress hydrique et d'irrégularité de la ressource, deux facteurs susceptibles de s'accentuer avec le changement climatique.

Donc, Devant la rareté de la ressource conventionnelle en eau, la mauvaise gestion des ressources en eau ainsi que la pollution causée par les rejets des eaux usées dans le milieu naturel, ces énormes quantités des eaux usées rejetées, de ce fait, et pour minimiser les dépenses financières pour créer des nouveaux ressources en eau et pour protéger le milieu naturel contre la pollution, l'Algérie ne peut plus se permettre de tourner le dos à la possibilité de réutiliser les énormes quantités des eaux usées rejetées dans la nature ou à la mer, ces eaux qui incite les agriculteurs à les utiliser surtout pour sa richesse en éléments fertilisants tel que l'azote, le phosphore et le potassium, nécessaires pour le développement des plantes et aussi pour la fertilisation du sol, permet d'économiser l'achat des engrais et d'augmenter la production agricole (MARA et CAIRNCROSS, 1989). Ce type de réutilisation se heurte cependant à la qualité microbiologique des eaux usées qui doit satisfaire un certain seuil admissible prescrit par les différentes normes de réutilisation.

C'est donc à l'enracinement d'une nouvelle culture de l'eau, qu'il faut s'attacher pour espérer l'émergence d'une mentalité et d'un comportement nouveaux (MRE, 2003). Un projet de réutilisation des eaux usées reste un projet d'utilisation d'eau, le fait que cette eau soit usée n'importe en effet que des compléments ou correctifs techniques (Valiron, 1983). Les pluies, les eaux des barrages et des forages ne suffiront plus pour la satisfaction des besoins, ce qui explique aujourd'hui, l'ambition de l'Algérie de traiter un milliard de mètres cube d'eaux usées pour l'irrigation de 100000 hectares. Pour le moment, l'Algérie, qui dispose d'un volume d'eau traité de 560 000 mètres cubes, consacre 65% de ses ressources hydriques au secteur de l'agriculture (MRE, 2012).

La présence de normes de rejet spécifiques à la réutilisation des eaux usées en agriculture (Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 et décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006) ainsi que la présence de textes réglementaires fixant la modalité de réutilisation des eaux usées et la liste des cultures et les conditions de leur irrigation par les eaux usées épurées (Décret exécutif nº 07-149 du 20 mai 2007 et l'arrête interministériel du 2 janvier 2012) constituent une promotion de projets de réutilisation des eaux usées épurées.

Les dirigeants, publics et privés, ont des décisions à prendre en matière de réutilisation des eaux usées en agriculture. Ils sont confrontés à la nécessité d'exploiter des quantités en augmentation, afin de répondre à des demandes toujours plus grandes. La gestion intégrée des eaux usées épurées en Algérie, désormais institutionnellement reconnue comme un modèle de partenariat

public- privée, est la meilleure approche pour une mise en valeur et une gestion efficace et durable des eaux usées épurées, face à des demandes en eau en augmentation.

L'objectif de la présente étude est axé essentiellement sur la valorisation des eaux usées épurées en irrigation des fourrages. L'étude porte sur la caractérisation des eaux usées épurées (en mélange avec l'eau de forage), et leurs effets sur le milieu récepteur (sol et plante). Ces effets sont mesurés dans le temps et l'espace. Cette approche quantitative est suivie de l'étude des relations (sol-plante) concernant l'utilisation des eaux usées épurées (mélangées) en irrigation des fourrages (luzerne).

Cette valorisation sera effectuée après une étude comparative entre plantes irriguées par l'eau usée épurée en mélange en 50% avec l'eau de forage et plantes irriguées par l'eau de forage, la valorisation sera basée sur l'aspect morphologique.

CHAPITRE I : généralités sur la qualité des eaux usées

Introduction

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, altérés par les activités anthropiques à la suite d'un usage domestique, industriel, artisanal, agricole ou autre. Elles sont considérées comme polluées et doivent être donc traitées avant toute réutilisation ou injection dans les milieux naturels récepteurs (SELGHI 2001). C'est pourquoi, dans un souci de respect de ces différents milieux naturels récepteurs, des traitements d'abattement ou d'élimination de ces polluants sont effectuées sur tous les effluents urbains ou industriels. Ces traitements peuvent être réalisés de manière collective dans une station d'épuration ou de manière individuelle également par des procédés intensifs ou extensifs (PAULSRUD et HARALDSEN 1993).

Pouvoir dissociant de l'eau

L'eau est un très bon solvant, il dissout un grand nombre de corps ioniques, comme les sels en donnant des ions, ainsi que certains substances chimiques toxiques ou non formées de molécules polaires. Cette dissolution résulte du caractère polaire des molécules d'eau qui, grâce aux charges positives et négatives qu'elles portent, sont attirées par les charges aux signes contraires des ions ou molécules polaires qui leurs sont proches. Elles forment un écran autour de ces ions ou molécules polaires, les séparant de leurs congénères et favorisant ainsi leur dispersion dans le liquide. Cette propriété fait de l'eau, le véhicule privilégie de substances vitales ou toxiques pour le corps humain et les végétaux.

Définition d'une eau usée

La pollution de l'eau s'étend comme une modification défavorable ou nocive des propriétés physico-chimiques ou biologiques, produite directement ou indirectement par les activités humaines, les rendant impropres à l'utilisation normale établit.

Les eaux usées sont toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement. Les eaux usées englobent également les eaux de pluie et leur charge polluante, elles engendrent au milieu récepteur toutes sortes de pollution et de nuisance (DUGNIOLLE 1980, GLANIC et BENNETON 1989)

Origine des eaux usées

Les eaux usées urbaines

Les eaux usées urbaines comprennent les eaux usées domestiques et les eaux de ruissellement :

Les eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères (eaux de toilette, de lessive, de cuisine) et les eaux vannes (urines et matières fécales), dans le système dit « tout-à-l'égout » (BAUMONT et al. 2004).

Les eaux de ruissellement

Ce sont toutes les eaux qui ruissellent dans les rues où sont accumulées polluants atmosphériques, poussières, détritus, suies de combustions et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Ces eaux de ruissèlement, collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la canalisation d'assainissement et acheminées vers une station d'épuration, sont souvent drainées directement dans les rivières entrainant ainsi une pollution intense du milieu aquatique.

Les eaux de ruissèlement comprennent les eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours.

Les eaux usées industrielles

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels, concernant les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales (EDLINE., 1979 in YOUCFI., 2011).

Les caractéristiques des eaux usées industrielles varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles sont chargées de différentes substances chimiques, organiques et métalliques selon leur origine industrielle, elles peuvent également contenir:

- Des graisses (industrie agroalimentaires, équarrissage)
- Des hydrocarbures (raffinerie)
- Des métaux (traitement de surface, métallurgie)
- Des acides, des bases et différents produits chimiques 'industrie chimiques divers, tannerie)
- De l'eau chaude (circuits de refroidissement des centrales thermiques)
- Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs)

Avant d'être rejeté dans les réseaux de collecte, les eaux usées industrielles doit faire l'objet d'un traitement. Elles ne sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épuration.

Les eaux agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeables car elles importent les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle de la pollution diffuse. Les eaux agricoles issues des terres cultivées chargées d'engrais nitratés et phosphatés, sous une forme ionique ou en quantités telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eaux ou des retenues.

Caractéristiques des eaux usées

Les normes de rejet des eaux usées fixent des indicateurs de qualité physico-chimique et biologique. Ce potentiel de pollution généralement exprimé en mg/l, est quantifié et apprécié par une série d'analyses, certains de ces paramètres sont des indicateurs de modification que cette eau sera susceptible d'apporter aux milieux naturels récepteurs. Pour les eaux usées domestiques, industrielles et les effluents naturels, on peut retenir les analyses suivantes :

Les paramètres physico-chimiques

Ils résultent de l'introduction dans un milieu des substances conduisant à son altération, se traduisant généralement par des modifications des caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur. La mesure de ces paramètres se fait au niveau de rejets, à l'entrée et à la sortie des usines de traitements et dans les milieux naturels.

La température

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28°C à 32°C, par contre, elle est fortement diminuée par des températures de 12°C à 15°C , et elle s'arrête pour des températures inférieure à 5°C (Bollags JM 1973, Rodier et al 2005)

Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Les organismes sont très sensibles aux variations du pH, et un développement correct de la faune et de la flore aquatique n'est possible que si sa valeur est comprise entre 6 et 9. L'influence de pH se fait également ressentir par le rôle qu'il exerce sur les autres éléments comme les ions des métaux dont il peut diminuer ou augmenter leur mobilité en solution biodisponible et donc leur toxicité. Le pH joue un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien. La nitrification optimale ne se fait qu'à des valeurs de pH comprises entre 7,5 et 9.

La turbidité

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

Les matières en suspension (MES)

Elles représentent la fraction constituée par l'ensemble des particules, organiques(MVS) ou minérales(MMS) non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel. Les MES s'expriment par la relation suivante :

$$MES = 30\% \ MMS + 70\% \ MVS$$

- ***Les matières volatiles en suspension(MVS)***

Elles représentent la fraction organiques des MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant 2 heures. La différence de poids entre les MES à 105°C et les MES à 525°C donne la «la perte au feu» et correspond à la teneur en MVS d'une eau.

- ***Les matières minérales en suspension(MMS)***

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son «extrait sec» constitué à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates,…etc.

L'absence des matières minérales en suspension dans l'eau augmente la turbidité, réduit la luminosité et par ce fait abaisse la productivité d'un cours d'eau, entrainant ainsi une chute en oxygène dissous et freinant les phénomènes photosynthétiques qui contribuent à la récréation de l'eau. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte proportion de matières organiques consommatrices d'oxygène (DUGUET et AL 2006)

La conductivité électrique (CE)

La conductivité est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau). La conductivité s'exprime en micro siemens par centimètre et elle l'inverse de la résistivité qui s'exprime en ohm par centimètre. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (REJSEK 2002). Sa mesure est utile car au-delà de la valeur limite de la salinité correspondant à une conductivité de 2500 µSm/cm, la prolifération des microorganismes peut être réduite d'où une baisse de rendement épuratoire.

La demande biochimique en oxygène (DBO5)

La DBO5 comme étant la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C, à l'obscurité et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablement ensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. Pour la mesurer, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours ; c'est la DBO5. Elle se résume à la réaction chimique suivante :

$$\text{Substrat} + \text{microorganisme} + O_2 \longrightarrow CO2 + H2O + \text{énergie} + \text{biomasse}$$

La demande chimique en oxygène (DCO)

La Demande Chimique en Oxygène(DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non contenue dans les eaux à l'aide de bichromate de potassium à 150°C. Elle est exprimée en mg O_2/l. la valeur du rapport DCO/DBO5 indique le coefficient de biodégradabilité d'un effluent, il permet aussi de définir son origine (SUCHKA J et FERREIRA E 1986). Généralement, la valeur de la DCO est :

- DCO = 1,5 à 2 fois DBO5 pour les eaux usées urbaines
- DCO = 1 à 10 fois DBO5 pour tout l'ensemble des eaux résiduaires
- DCO > 2,5 fois DBO5 pour les eaux usées industrielles

La relation empirique de la matière organique (MO) en fonction de la DBO5 et la DCO est donnée par l'équation suivante

$$MO = (2\ DBO5 + DCO)/3$$

La biodégradabilité

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux.

La biodégradabilité est exprimé par un coefficient K tel que K = DCO/DBO5 :

- Si K < 1,5 : cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande parties de matières fortement biodégradables
- Si 1,5 < K < 2,5 : cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables
- Si 2,5 < K < 3 : cela signifie que les matières oxydables sont peu biodégradables
- Si K > 3 : cela signifie que les matières oxydables sont non biodégradables

Un coefficient K très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteurs de la croissance bactérienne (des substances qui bloquent l'oxydation tels que : les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures… etc.)

La valeur du coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable, on applique un traitement biologique si non, on applique un traitement physico-chimique.

Pollution des eaux usées

La pollution est toute modification physique, chimique ou biologique de la qualité de l'eau qui est rejetée dans une eau naturelle, perturbe l'équilibre de cette eau, introduisant beaucoup de nuisances (mauvaise odeur, fermentations, risques sanitaires) qui a un effet nocif sur les êtres vivants se répercute, a court ou a long terme.

Origines et sources de la pollution des eaux usées

La pollution des eaux usées provient de quatre sources principales :

- Pollution des eaux usées domestiques.
- Pollution des eaux industrielles.
- Pollution des eaux agricoles.
- Pollution des eaux de ruissellement.

La pollution d'une source domestique

Ces eaux comprennent les eaux ménagères les eaux vannes et les eaux de lavage...

La pollution d'une source industrielle

Les eaux usées industrielles sont celles qui proviennent des diverses usines de fabrication ou de transformation, ces eaux peuvent contenir des substances organiques ou minérales corrosives.

Les usages industriels ont le choix entre trois possibilités :

- Soit déverser leurs effluents directement dans le réseau d'égouts si l'autorisation est donnée par la commune.
- Soit traiter entièrement leurs effluents avant de les rejeter directement dans le milieu naturel récepteur.
- Soit effectuer un prétraitement en usine avant le rejet dans le réseau d'égouts.

La pollution d'une source des eaux agricoles

En milieu rural, les pluies provoquent le lessivage des terres agricoles, entraînant engrais et pesticides vers les cours d'eau ou les nappes. Elles ont un caractère fertilisant très important.

La pollution d'une source des eaux de ruissellement

Ces eaux proviennent des eaux de pluie, des eaux de lavages des routes et des eaux de drainage. Elles peuvent contenir des sables, des limons, des argiles, des hydrocarbures, des huiles et des fertilisants agricoles.

Principaux polluants

La composition des eaux usées est fonction de nombreux paramètres :

- Propriété physico-chimique de l'eau potable distribuée
- Mode de vie des usagers
- Importance et type des rejets industriels.

D'une manière générale la pollution des eaux se manifeste sous les formes principales suivantes :

Pollution organique

La pollution organique constitue la partie la plus importante, et comprend essentiellement des composés biodégradables. Ces composés sont de diverses origines.

D'Origine urbaine

Les protides (les protéines) : qui représentent tous les organismes vivant qui sont de nature protéique telle que les animaux, les plantes, les bactéries et même les virus. Ces protéines subissent une décomposition chimique au contact de l'eau (hydrolyse) en donnant des acides animés.

Les lipides (corps gras) : ce sont des éléments rejetés généralement par les eaux domestiques telles que les graisses animales, et les huiles végétales. Leur décomposition en milieu aérobie se traduit par une libération du CO_2, et en anaérobiose, il y a formation de CO_2 et CH_4 ;

Les glucides : à l'état simple, il s'agit des sucres alimentaires, le glucose, et à l'état compète donnant les polysaccharides.

D'Origine industrielle

Ce sont les produits organiques toxiques tels que les phénols, les aldéhydes, des composés azotés, les pesticides, des hydrocarbures, et les détergents.

Pollution minérale

Il s'agit principalement d'effluents industriels contenant des substances minérales tels que :

Les sels, les nitrates, les chlorures, les phosphates, les ions métalliques, le plomb, le mercure, le chrome, le cuivre, le zinc et le chlore. Ces substances suscitent:

- Peuvent causer des problèmes sur l'organisme de l'individu
- Perturbent l'activité bactérienne en station d'épuration
- Affectent sérieusement les cultures.

Pollution microbiologique

Les eaux usées sont des milieux favorables au développement d'un très grand nombre d'organismes vivants, dont des germes pathogènes souvent fécaux.

Les germes pathogènes d'effluent hospitaliers, de lavage de linges et de matériels souilles, ainsi qu'au déversement de nombreuses industries agro-alimentaires (abattoirs, élevage agricoles,…..).

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de définir les eaux usées, leurs origines et leurs caractéristiques physico chimiques ainsi que les origines de leur pollution, tas d'information pouvant mettre une idée sur la technique de traitement qui doit suivre l'accumulation de ces eaux usées dans une station d'épuration.

CHAPITRE II : les techniques de traitement (épuration)

Introduction

Pourquoi épurer les eaux usées

Après avoir été utilisées pour la lessive, la toilette, la chasse d'eau, le ménage, la cuisine, …, les eaux sont évacuées par les réseaux d'assainissement. Ces eaux que nous rejetons sont appelées « eaux usées ».

Les eaux évacuées entraînent avec elles des déchets solides et liquides : poudre à laver, savons, crèmes, résidus chimiques et organiques issus de nos produits ménagers, de nos repas, des produits pour la toilette...

Ces déchets sont principalement des matières organiques mais il y a aussi des matières minérales, de synthèse ou naturelles.

La principale pollution issue de nos eaux usées est organique. Les rivières, les cours d'eau ou les dépressions aquatiques peuvent l'absorber et la dégrader dans une certaine mesure : c'est l'autoépuration. Mais la quantité de matière organique que nous produisons est bien trop importante et dépasse généralement la capacité d'autoépuration du cours d'eau.

C'est pourquoi, nous devons traiter et épurer l'eau avant de la rejeter dans le milieu naturel.

Les eaux usées sont traitées dans les stations d'épuration. Une grande partie de la matière organique y est dégradée et seule une petite partie arrive dans les eaux de surface (dépressions ou rivières). Mais l'équilibre des dépressions aquatiques ou rivières est fragile, Le réseau d'assainissement a pour rôle d'évacuer les eaux usées vers les stations d'épuration, rapidement et en évitant qu'elles ne stagnent. Il permet aussi de préserver la qualité des eaux souterraines et superficielles en évitant les déversements directs des eaux usées dans le milieu naturel.

Ce sont les articles 30, 43, 44, 45, 46, 47, 48,49 et 52 de la loi N° 05-12 du 04 aout 2005 du JORA, qui définissent un cadre commun pour la politique de l'eau, et notamment en vue d'atteindre le « bon état » des eaux de surface et souterraine, et cela par prendre des mesures de prévention et de protection contre la pollution.

Les déversements des eaux usées dans le milieu naturel

Le rejet direct des eaux usées domestiques dans le milieu naturel perturbe l'équilibre aquatique en transformant les rivières en égouts à ciel ouvert. Cette pollution peut aller jusqu'à la disparition de toute vie aquatique (CHELLE et al., 2005).

En collectant les eaux usées et en les éloignant des habitations, les réseaux d'égouts assurent la protection sanitaire des individus et participent à l'amélioration de la qualité du cadre de vie. Cependant, ils concentrent en quelques points les eaux résiduaires dont le rejet peut présenter une menace sérieuse pour la qualité du milieu naturel qui les reçoit. Il est donc indispensable d'assurer

une épuration préalable qui aura pour objectif de rendre compatible ce rejet avec le maintien d'une certaine qualité du milieu récepteur concerné. Les procédés d'épuration qui devront être mis en œuvre seront définis en prenant en compte :

- les caractéristiques des effluents,
- les capacités d'acceptation des milieux naturels concernés,
- les moyens techniques disponibles.

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

L'épuration des eaux usées est une alternative susceptible de résoudre les différents problèmes de pollution des milieux aquatiques récepteurs.

Il s'agit essentiellement de réaliser l'élimination des composées organiques biodégradables. Certains procédés permettent la Co-élimination de l'azote et même du phosphore (SELGHI 2001), une grande majorité de ces polluants est transféré de la phase liquide vers une phase concentrée boueuse.

Épuration des eaux usées

Avant qu'elles ne soient rejetées dans le milieu naturel et ne le dégradent, les eaux usées doivent impérativement obéir à des normes établies pour protéger les milieux récepteurs contre la pollution. Pour cela, elles sont acheminées vers une station d'épuration où elles subissent plusieurs phases de traitement.

Le prétraitement

Les dispositifs de prétraitement physique sont présents dans toutes les stations d'épuration, quels que soient les procédés mis en œuvre en aval. Ils ont pour but d'éliminer les éléments solides ou en particulier les plus grossiers, susceptibles de gêner les traitements ultérieurs ou d'endommager les équipements qui sont (Le dégrillage, Le dessablage, Déshuilage et dégraissage) **(LADJEL., 2006)**

Le traitement primaire (traitement physico-chimique)

Des traitements de coagulation et de floculation permettent, grâce à l'addition de réactifs chimiques, de séparer les fines particules en suspension et une partie de la fraction colloïdale. Après la coagulation et la floculation, la séparation de la phase aqueuse de la phase solide est réalisée par un traitement physique, décantation ou flottation.

Ces procédés permettent d'obtenir des abattements de 50 à plus de 90 % des matières en suspension.

Traitement secondaire (épuration biologique)

Les techniques d'épuration biologique utilisent l'activité des bactéries dans l'eau, qui dégradent la matière organique. Ces techniques peuvent être anaérobies, c'est-à-dire se déroulant en absence d'oxygène, ou aérobies c'est-à-dire nécessitant un apport en oxygène. Parmi les traitements biologiques, on distingue les procédés biologiques extensifs (le lagunage, l'épandage, etc.) et les procédés biologiques intensifs (lits bactériens, disques biologiques etc.) (BENZAOUI et ELBOUS., 2009).

Les traitements tertiaires

En général, les techniques d'épuration, même les plus sévères performantes, laissent passer dans l'eau épurée des matières organiques difficilement biodégradables et échappent à la décantation. En outre même après un traitement secondaire l'eau véhicule presque toujours des micro-organismes et des micropolluants. La principale méthode utilisée est la désinfection par le chlore, qui doit être appliquée avec des doses très fortes et des temps de contact longs. Mais il convient de signaler suite a cette opération que des toxiques pour la vie aquatique peuvent être formés, il faut donc procéder à une opération de décoloration avant le rejet **(LADJEL F., 2006).**

Le lagunage

On distingue principalement deux types de lagunage :

- Le lagunage naturel ;
- Le lagunage aéré.

➢ Le lagunage naturel est un procédé de traitement des eaux usées fondé sur un écosystème constitué principalement d'algues et des bactéries aérobies et anaérobies. Le rayonnement solaire est utilisé comme source énergétique pour la production de l'oxygène par photosynthèse par les algues microscopiques.

Ce type de lagunage se caractérise essentiellement par un temps de séjour très élevé des effluents, plusieurs dizaines de jours et par des mécanismes de fonctionnement biologique fortement liés à la température et aux saisons.

➢ Le lagunage aéré, nécessite un support supplémentaire de l'oxygène nécessaire à l'assimilation des matières organiques par les bactéries est fourni par brassage de surface grâce à des aérateurs mécaniques.

La filtration sur sable

Généralités

La filtration est une méthode qui consiste à séparer les particules solides du milieu liquide à l'aide d'une matière poreuse. Il existe divers systèmes de filtration qui permettent l'épuration des eaux.

Les filtres peuvent être faits de sable, de tourbe(charbon formé de végétaux imparfaitement décomposés), de charbon activé, ou d'autres matériaux utilisés, soit séparément, soit en combinaison pour filtrer l'eau et retenir les particules conduisant à la croissance de micro-organismes qui décomposent les polluants.

La filtration sur sable est l'une des méthodes de traitement de l'eau les plus anciennes, utilisée pour la production d'eau potable et l'affinage des effluents épurés. Si elle est correctement appliquée, elle permet de produire une eau de grande qualité. Un filtre à sable est constitué par des couches de sable de qualité et de granulométrie adéquates (**DUPAIN *et al*, 2004).**

Principe de filtration

La rétention des particules se déroule à la surface des grains, grâce à des forces physiques. La plus au moins degré de facilité de fixation dépend étroitement des conditions d'exploitation du filtre et du type de matériaux utilisé. L'espace inter granulaire définit la capacité de rétention du filtre. Au fur et à mesure du passage de l'eau, cet espace se réduit, le filtre colmate et les pertes de charges augmentent fortement. Il faut alors déclencher le rétro lavage, la biomasse qui se développe sur le matériau filtrant, peut efficacement réduire le taux d'ammonium de l'eau par la nitrification. La filtration permet une élimination correcte des bactéries, de la couleur et de la turbidité et indirectement les odeurs (CARDOT, 2002).

Constitution d'un filtre

Tout filtre est composé de trois parties :

- Le fond : doit être solide pour supporter le poids de l'eau, du sable et du gravier. Il doit permettre la collecte et l'évacuation de l'eau filtrée ;

- Le gravier support : a pour rôle de retenir le sable et d'améliorer la distribution de l'eau de lavage dans le filtre ;

- Le matériau filtrant : les matériaux utilisés sont des granules libres non adhérents les uns aux autres, insolubles, inattaquables par le liquide filtré ni par les particules solides retenues CARDOT, 2002).

La nature du milieu poreux

Le sable quartzeux a été le premier des matériaux utilisés pour la filtration et c'est encore le matériau de base pour la plupart des filtres actuels. Certains filtres utilisent une combinaison de plusieurs matériaux (filtres multicouches), le sable peut alors être associé à de l'anthracite, du grenat, des schistes plus au moins poreux. Enfin la filtration peut s'effectuer sur du charbon actif granulé, suffisamment résistant (DEGREMONT, 1997).

Paramètres de sélection d'un milieu filtrant

Les principales caractéristiques d'un milieu filtrant sont : le diamètre effectif, le coefficient d'uniformité, la densité relative, la masse unitaire sèche et la porosité. Il existe d'autres caractéristiques beaucoup plus difficiles à mesurer, comme la forme des grains et la surface spécifique (CARDOT, 2002).

Le diamètre effectif et le coefficient d'uniformité

Le diamètre effectif et le coefficient d'uniformité, sont deux caractéristiques importantes d'un matériau filtrant

- **Le diamètre effectif**

Le diamètre effectif correspond à la taille des mailles du tamis qui laissent passer 10%de la masse de l'échantillon**.**

- **Le coefficient d'uniformité**

Il s'agit du rapport entre deux diamètres apparents définis de telle sorte que la taille de 60% et respectivement10% des particules soit inférieure. Soient d_{60} et d_{10} étant les valeurs lues en abscisse pour les points de la courbe granulométrique correspondant aux ordonnées de 60% et 10%. (DESJARDINS, 1997)

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Ce coefficient constitue un indice d'uniformité de la courbe granulométrique ou d'irrégularité de la distribution de la taille des particules. L'uniformité d'une courbe est alors généralement déterminée par rapport à la référence suivante :

$Cu < 2 \longrightarrow$ la granulométrie est dite uniforme.

$Cu > 2 \longrightarrow$ la granulométrie est dite varié.

Mécanisme de filtration

Suivant les caractéristiques des particules à retenir et du matériau filtrant mis en œuvre, peuvent intervenir l'un ou plusieurs des trois mécanismes principaux suivants: capture, fixation et détachement. (DEGREMONT, 1989).

Mécanismes de capture

La capture est caractérisée par l'interception de la particule par frottement grâce à son inertie et sa décantation (CARDOT, 2002). Les mécanismes de capture sont essentiellement de deux natures :

- **Tamisage mécanique**

Il s'agit de la rétention des particules plus grosses que la maille du filtre ou que celle des éléments déjà déposés, formant eux-mêmes le matériau filtrant. Ce phénomène intervient d'autant plus que la maille du matériau filtrant est plus fine (DEGREMONT, 1989).

- **Dépôt sur le matériau filtrant**

La particule en suspension suit dans le liquide une ligne de courant. Sa taille, comparée à celle des pores, pourrait lui permettre de traverser le matériau filtrant sans être arrêtée.

Différents phénomènes entraînent cependant un changement de trajectoire et le contact avec le matériau. Ces différents mécanismes de capture interviennent principalement dans la filtration en profondeur. (DEGREMONT, 1989)

Mécanisme de fixation

La fixation des particules à la surface du matériau filtrant est favorisée par une faible vitesse d'écoulement. Elle est due à des forces d'origine physique (coincement, cohésion…), et à des forces d'adsorption, principalement les forces de Van der Waals (CARDOT, 2002).

Mécanisme de détachement

Sous l'action des mécanismes précédents, il se produit une diminution de l'espace entre les parois du matériau recouvertes de particules déjà déposées. Les dépôts déjà retenus peuvent se détacher partiellement et être entraînés plus en avant dans le matériau filtrant ou même dans le filtrat (DEGREMONT 1989). Le détachement se fait sous l'influence de la vitesse de l'eau lors du lavage (CARDOT, 2002).

Lavage des filtres

Le lavage du filtre est une opération très importante. Il est réalisé en inversant le sens d'écoulement de l'eau. On le soumet à un courant d'eau, circulant de bas en haut, destiné à détacher les impuretés et à les entrainer ensuite dans une goulotte d'évacuation (DEGREMONT, 1997).

Le sable est mis en expansion et les impuretés, moins dense que les grains de sable, sont décollés par phénomènes de frottement inter-granulaire. La vitesse de l'eau du lavage à contre courant, est limitée du fait des pertes possibles de matériau. On injecte donc de l'air pour augmenter les turbulences afin de décoller efficacement les particules de floc fixées sur les grains (CARDOT, 2002).

Classification des filtres

Il y a deux types de filtration sur sable : la filtration lente et la filtration rapide

La filtration lente

Les premiers systèmes sont apparus à Londres au 19ème siècle. La filtration lente sur le sable est un processus biologique parce qu'elle emploie des bactéries pour traiter l'eau. Les bactéries forment une couche appelée bio-film sur la partie supérieure du sable et nettoient l'eau pendant leur traversée, en digérant les contaminants dans l'eau. Cependant, ces systèmes exigent de grandes surfaces de terre pour fonctionner du à la faible vitesse entre 1 à 2m/h (**USEPA, 2007**).

La filtration rapide

Les systèmes de filtration rapide sur sable sont beaucoup plus répandus. Ils ont été développés durant le 20ème siècle. La filtration rapide sur sable est un processus physique qui enlève les solides en suspension dans l'eau avec une vitesse de 4 à 25 m/h. Ils ont des débits assez élevés et exigent peu d'espace pour fonctionner. Ces filtres sont généralement nettoyés 2 fois par jour (USEPA, 2007). Il en existe deux catégories :

- **Les filtres ouverts :** appelés aussi filtres rapides gravitaires sont généralement en béton et à l'air libre. La hauteur du matériau filtrant est comprise entre 0.8 et 1 m pour les monocouches et entre 1.2 et 1.5m pour les bicouches avec une égalité d'épaisseur des matériaux (CARDOT, 2002).
- **Les filtres sous pression :** fonctionnent selon les mêmes principes que les filtres à sable rapides sauf que leurs couches de sable et de gravier, ainsi que leur réseau de drainage sont situés dans des cylindres horizontaux ou verticaux lesquels sont conçus pour supporter des pressions de l'ordre de 1000kPa (DESJARDINS, 1997). La hauteur du sable est de 1m (CARDOT, 2002).

Analyse de la qualité des eaux usées après épuration

De telles études sont souvent réalisées en préalable à une opération de réutilisation des eaux usées épurées, afin d'apporter les assurances sanitaires nécessaires. Les contaminants les plus étudiés sont les microorganismes (LAZAROVA et al, 2003).

Problématique de la réutilisation des eaux usées épurées

Les motifs qui ont conduit et qui conduisent à envisager la réutilisation des eaux usées épurées sont de deux ordres : en termes de ressource en eau, la valorisation de ces eaux répond à un objectif quantitatif et ce sont surtout les zones arides et semi arides du globe qui sont concernées. En parallèle, dans le domaine de la préservation environnementale, et donc des objectifs qualitatifs, de nombreuses réflexions ont conduit et conduisent à des opérations de réutilisation. L'objectif quantitatif est prépondérant dans la genèse des projets de REUT. Pour répondre à des pénuries chroniques ou occasionnelles, et après prise en compte des coûts d'investissement et d'exploitation, la réutilisation des eaux usées épurées s'impose de plus en plus comme une solution économiquement pertinente. (AFD., 2011).

Critères de qualité des eaux usées épurées pour l'irrigation

Normes d'utilisation à prendre en considération

La consommation en eau s'accroit de manière soutenue depuis cette dernière décennie. Cela entraine aussi un développement de la pollution des eaux qui à son tour si elle n'est pas maitrisée peut polluer l'environnement et altérer les eaux souterraines. Les eaux polluées rejetées, avoisinent les 900 millions de mètre cube soit environ 20% des eaux superficielles emmagasinées dans les barrages. L'Algérie souffre d'un manque d'eau chronique et toutes les solutions sont envisagées pour en limiter les conséquences. C'est ainsi qu'une politique de mobilisation et d'utilisation des eaux conventionnelles (souterraines et de surface) ainsi que des eaux non conventionnelles (dessalement de l'eau de mer, eaux saumâtres, eaux usées) a été mise en place récemment. Dans le cadre de la gestion des eaux usées épurées, un arsenal juridique pour protéger utilisateurs et gestionnaires a été mis en place Pour une meilleure protection de l'environnement aquatique, l'eau traitée doit satisfaire certaines normes de rejet; qui sont données dans le tableau 1 par rapport aux respects des normes d'utilisation des eaux épurées et aux risques de contamination par ces eaux épurées.

paramètres	unité	valeurs seuil
Température	°C	< 30
Ph	-	6,5 à 8,5
Oxygène dissous	mgO_2 /l	> 5
MES	mg/l	< 30
DBO5	mg/l	< 40
DCO	mg/l	< 90
Azote total	mg/l	< 50
Phosphore (PO4)	mg/l	< 02

Huile et graisse	mg/l	< 20
Coliformes fécaux	nombre de CF/100 mL	< 1000 CF/100 mL

Tableau 1 : Normes de rejets pour l'irrigation (Normes Algériennes)

Les paramètres physiques et chimiques des eaux usées épurées à utiliser pour l'irrigation, doivent, d'après les autorités Algériennes, se conformer aux normes suivantes :

PARAMETRES		UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
physiques	pH	-	$6.5 \leq pH \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR = o - 3 CE 3 - 6 6 - 12 12 - 20 20 - 40	ds/m	0.2 0.3 0.5 1.3 3
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE(CI)	meq/l	10
	AZOTE (NO3-N)	mg/l	30
	Bicarbonate(HCO3)	meq/l	8.5
Éléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	meq/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	meq/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb Lithium Manganèse Mercure Molybdène Nickel Sélénium Vanadium Zinc	mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l	10.0 2.5 10.0 0.01 0.05 2.0 0.02 1.0 10.0

Tableau 2 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées (JORA, 2012).

Les caractéristiques de qualité chimique et physique sont identiques pour n'importe quelle eau d'irrigation. À cet égard, les directives générales peuvent être employées pour évaluer l'eau usée traitée, utilisée à des fins d'irrigation, en termes de constituants chimiques tels que les sels dissous,

le contenu en sodium et les ions toxiques. La procédure demeure la même qu'avec les autres types d'eaux.

Salinité des eaux

Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles. Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca2+), de magnésium (Mg2+), de sodium (Na+), les chlorures (Cl-), les sulfates (SO42-) et les bicarbonates (HCO3-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

On considère deux catégories de conséquences d'une salinité excessive de l'eau d'irrigation :

- Les dommages vis-à-vis des sols et donc, indirectement, vis-à-vis des rendements culturaux,
- Les dommages causés aux cultures (FABY., 1997)

La tolérance à la salinité de la luzerne est comprise entre 1280 µs/cm et 1920 µs/cm, d'après le FAO, 1985

Alcalinité

L'augmentation de l'alcalinité du sol, qui peut se produire avec l'eau usée traitée à cause de la concentration élevée en Na+, réduit la perméabilité du sol, particulièrement en surface, même si le lessivage a lieu. Ce phénomène est lié à la dispersion et au gonflement des argiles lorsque la concentration en Na échangeable augmente. Toutefois, pour une certaine valeur du Rapport d'Adsorption du Sodium (SAR : Sodium Adsorption Ratio), la vitesse d'infiltration augmente ou diminue avec le niveau de salinité (ISABELLE., 2004).

Sodisation

L'accumulation de sodium (sodisation) sur le complexe adsorbant des sols peut dégrader les propriétés physiques des sols. Leur capacité de drainage, donc leur perméabilité, conditionne la productivité des terres irriguées. Un excès de sodium par rapport aux alcalino-terreux (calcium, magnésium, ...) dans le complexe absorbant provoque une défloculation des argiles, une déstructuration du sol qui se traduit par une réduction de la perméabilité et de la porosité des couches superficielles du sol (ISABELLE., 2004).

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

Effets de la salinité

La salinité est donc l'état des concentrations de sels minéraux dissous dans le sol, si la valeur de cette salinité est trope basse ou nul (cas de l'eau pure). Les plantes seront sous alimentées en sels minéraux, si au contraire elle est trop élevée, les plantes dépériront. De ce point de vue, la salinité au-dessous d'une dose létale variable en fonction des espaces, végétales et des conditions milieu (nature du sol, climat) est nécessaire pour les plantes. ce qui pose problème pour les sols et pour les plantes ce sont donc les concentrations relativement excessives.si l'eau d'irrigation appliquée contient des quantités significatives d'ions sodium(Na^{+}) par rapport aux quantités présentes d'ions magnésium (Mg^{++}) et d'ions calcium (Ca^{++}) et en particulier si l'ion bicarbonate ($HCO3^{-}$) est aussi présente , les ions Na+ peuvent alors saturer la majeur partie des sites d'échanges colloïdaux ,ce qui est à l'origine de la formation des sols sodiques.

Au champ ; les sols salés peuvent se reconnaitre, à l'état sec par l'apparition de croutes blanches salés. Les plantes qui s'y développent laissent apparaitre des tranches de teinte bleuâtre (qui tire sur le bleu) à verdâtre et dont la croissance est remarquablement réduite. Cependant, une salinité modérée et uniforme, des sols peut s'avérer difficile à détecter de visu. Dans ces conditions les plantes ne répondent plus à la fertilisation. En effet vu que la plupart des nitrates inorganiques et les potassiums sont des sels solubles, leur application augmente souvent la salinité.

La salinité qu'elle soit due à l'eau d'irrigation ou au sol affecte la croissance des plantes par les effets osmotiques ou par la toxicité de certains ions. En effet entre deux irrigations successives alors que l'humidité du sol diminue la concentration des sels dans le sol augmente de 2 à 5 fois de sa valeur initiale. Ceci provoque une augmentation de la pression osmotique de la solution du sol dont la valeur ne peut être dépassée par la succion des racines de la plupart des plantes.

Les principales voies de réutilisation des eaux usées traitées

Dans les pays en développement, où la pauvreté et l'insécurité alimentaire sont quasi permanente, les populations n'hésitaient pas à recourir aux eaux usées brutes pour pratiquer des cultures irriguées dont les produits sont, pour certains, consommés crus (IDDER., 2007).

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées est non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'eau de bonne qualité en accélérant le cycle d'épuration naturelle de l'eau, mais également d'assurer l'équilibre de ce cycle et la protection du milieu environnant.

Valorisation agricole et forestière

Au-delà des considérations hydrauliques, agricoles ou financières propres à tout périmètre irrigué, la particularité forte d'une valorisation avec des EUT est la dimension sociale et sociologique d'acceptabilité par les usagers ainsi que les particularités agronomiques associées à la qualité des EUT. La mise en valeur sylvicole est un cas particulier de ce mode de valorisation car elle est moins exigeante en terme qualitatif, et présente des conditions d'acceptabilité très favorables (AFD., 2011)

Conclusion

On peut dire qu'à partir d'une eau usée et grâce aux procédés de traitements, il est possible d'obtenir toute une gamme d'eau de qualités différentes. À chacune de ces qualités, peut correspondre un usage particulier. Il est clair que les traitements qui existent peuvent réduire les concentrations des polluants sur toutes leurs formes, à des niveaux qui sont actuellement considérés non dangereux.

CHAPITRE III : protocole expérimentale

Matériels et méthodes

Introduction et problémat

L'eau usée traitée récoltée à l'aval d [illegible] nissement urbains représente une eau renouvelable non conventionnelle, qui pourrait être une source attrayante et bon marché à employer en agriculture, au voisinage des centres urbains (Vasel, 2007). Toute fois, en raison de la nature variable de la composition de cette eau (sa charge en constituants minéraux, organiques et biologiques). Sa réutilisation devrait être gérée soigneusement, surveillée et contrôlée par des spécialistes, afin de vérifier les risques et menaces potentiels sur les usagers, le sol et les cultures irriguées, ainsi que dans l'environnement en son ensemble (Blumenthal, 1989).

Méthodologie du travail

- Mettre en place d'une station d'irrigation dont les cultures seront adaptées aux une des deux eaux suivantes :
  - Eaux de forage
  - Mélange d'eaux usées et eaux de forage (50%)
- Préparation du terrain et implantation des cultures
- Irrigation des plantes pendant la durée de l'essai
- Analyse et interprétation des résultats de recherche
- Rédaction de la synthèse finale du travail de recherche

Présentation de la région d'étude

La cuvette de Ouargla qui représente le chef lieu de la Wilaya correspond à une grande dépression d'une superficie de 99 000 ha environ. Elle est située dans le lit quaternaire de la basse vallée fossile de oued M'ya qui descend du plateau du Tademait au sud et se termine a Sebkhat Sefioune 40 km au nord de Ouargla (HOUBI, 2010).

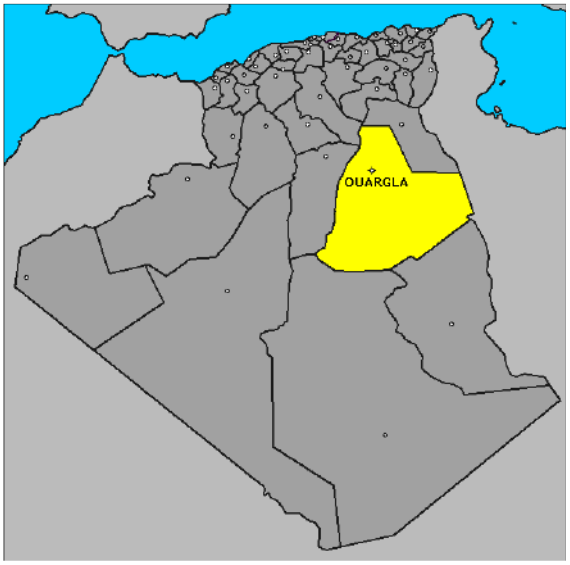

Figure 1: Situation géographique de Ouargla

Données climatiques de Ouargla

On présente dans le tableau suivant, les données climatiques de la région de Ouargla dans la période de 1998 – 2012.

	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmoy (°C)	P (mm)	Insolation (heures par mois)	Vent (m/s)	Evap (mm)	H (%)
Janvier	18 ,7	4,8	11,7	8 ,07	251,3	2,8	101,06	59,7
Février	20,7	6,5	13,5	0,9	239 ,8	3,4	135 ,3	51,6
Mars	25,5	10,1	18,5	4,2	264,07	3 ,6	212,5	42,8
Avril	29,9	15,1	22,9	1,4	281,06	4,4	276,8	35,7
Mai	34 ,6	19,8	27,4	1,06	281,5	4,7	341,5	32,5
Juin	39,1	25,07	32,8	0,45	280,08	4,5	415,5	27,3
Juillet	43 ,6	27,9	35,4	0,64	333,08	4,1	484,06	25,3
Août	42,6	27,2	34,3	1,5	325,57	3,9	455,5	28,07
Septembre	37,8	23,6	30,8	3,3	258,93	3,8	314,9	37,1
Octobre	31,7	17,6	25,3	7,07	256,36	3,4	239,05	46,01
Novembre	24,2	10,2	16,9	5,6	245,5	2,7	137,2	56,4
Décembre	19,2	5,5	12,2	1,4	205,6	2,6	100,8	60,2
Année (cumul*/moyenne)	30,6	16,1	23,5	35,59	268,45	3,6	3214,17	41,07

Tableau 3 : Données climatiques de Ouargla (1998-2012) (O.N.M, 2013)

La température

La température moyenne mensuelle enregistrée au mois le plus chaud (juillet), m_{max}= 35,4°C, et du mois le plus froid, m_{min}= 11,7°C.

L'humidité relative

Le taux d'humidité relative varie d'une saison à l'autre, mais il reste toujours faible, ou il atteint son maximum au mois de décembre avec un taux de 60,2%, et une valeur minimal au mois de juillet avec un taux de 25,3% et une moyenne annuelle de 41,07%.

L'évaporation

La région connait une évaporation très intense renforcée par les vents chauds, elle est de l'ordre de 3214,17mm/an, avec une valeur maximale de 484,08 mm au mois de juillet et une minimale de 100,8 mm au mois de décembre.

L'insolation

La durée moyenne de l'insolation est de 268,45 heures/mois, avec un maximum de 333,08 heures en juillet et un minimum de 239,8 heures en février. La wilaya de Ouargla est caractérisée par un climat saharien, avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées, une forte évaporation, et par une faiblesse de la vie biologique de l'écosystème.

Présentation de la Station d'épuration (STEP) de Ouargla

L'aménagement du réseau de drainage agricole et la réalisation des stations d'épuration (STEP de Said Otba, Sidi khouiled et N'goussa) ont contribué à rabattre la nappe de la vallée.

La ville de Ouargla dispose d'une station d'épuration par lagunage aéré depuis 2009 qui sert à réduire la pollution des eaux usées pour une éventuelle réutilisation en irrigation.

Cette station d'épuration des eaux usées a été conçue pour atteindre les objectifs suivants :

- Supprimer les nuisances en zones urbanisées.
- Protéger le milieu récepteur et la nappe phréatique.
- Rendre possible la réutilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation.

L'importance de la station d'épuration est liée non seulement à la protection de l'environnement, mais également permet de destiner les eaux usées épurées comme une nouvelle ressource d'eau qui puisse couvrir les besoins agricoles et minimiser le gaspillage des eaux souterraines dans les zones arides.

Pour cela plusieurs questions se posent :

- Est-ce que ce procédé d'épuration est efficace dans cette région notamment au niveau des charges polluantes où il nécessite un traitement complémentaire ?
- Le procédé de lagunage naturel est-t-il convenable avec les conditions climatiques de la région de Ouargla ?
- La qualité des eaux épurées au niveau de la station, est-elle conforme aux normes de rejet et apte pour une utilisation agricole ? Si oui :
  - Quelle est la classification de ces eaux épurées dans le domaine de l'irrigation ?
  - Quelles sont les cultures irriguées avec ces eaux?

La localisation géographique

La station d'épuration de la ville d'Ouargla appelée STEP de SAÏD OTBA, conçu à traiter l'ensemble des eaux usées à partir d'une station d'épuration de type lagunage aéré, a été mise en

service en 2009. Elle a été conçue pour une capacité de 400000 EH et s'étend sur une superficie de 80 ha.

Ce site permet de répondre aux besoins fonciers et aux objectifs d'assainissement (proximité du drain et de zones potentielles de développement agricole).

Le site d'implantation est limité :

- Au nord, par le drain existant
- Au sud, par un terrain vague se prolongeant jusqu'aux constructions traditionnelles
- Au sud-est, par des palmeraies
- A l'ouest, par le drain existant

La station a été réalisée par la société allemande Dwydag pour le compte de l'ONA. Elle se situe dans la région de Saïd Otba au nord de la RN 49 **(figure 3)**.

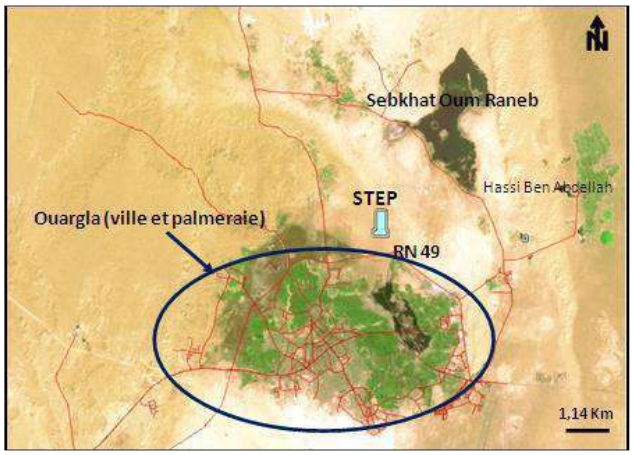

Figure 2: Situation géographique de la STEP par rapport à la ville de Ouargla

Figure 3 : Localisation du site d'étude

Les différents ouvrages de la STEP

Elle est basée sur un procédé biologique de type lagunage aéré et comporte les ouvrages suivants (ONA, 2009) :

- Un bassin de dégazage;
- Deux dégrilleurs automatiques;

- Un dessableur;
- Un ouvrage de répartition;
- Des bassins de lagunage aéré divisés en 3 étages (4 bassins dans le 1er étage dont 2 sont fonctionnels (A3 et A4), 2 bassins dans le 2ème étage dont un bassin est fonctionnel(B2), 2 bassins dans le 3ème étage dont un est fonctionnel (sortie de la step);
- Des lits de séchage des boues.

***Figure** 4 : Bassin de dégazage et dégrilleur*

***Figure** 5 : Dessableur-déshuileur et répartiteur*

***Figure** 6 : Lagune d'aération et lits de séchage*

Le débit journalier des eaux usées traitées à la station est estimé à 36528 m^3/j

Les rendements d'élimination sont résumés dans le tableau suivant :

paramètres chimiques	MES (kg/j)	DBO5 (kg/j)	DCO (kg/j)
Quantités	1863	950	3417
Rendement (%)	58,70	74	69,23

Tableau 4 : Rendement d'élimination (ONA 2017)

Choix du site de l'expérience

On a choisi comme site de l'expérience une surface nue à l'entrée de la station représenté dans la figure ci-contre :

Figure 7 : Le site de l'expérience

Préparation des parcelles

On a creusé le sol jusqu'au 60 cm de profondeur, enlevé les cailloux et les pierres grossières, aménagé le terrain et tracé les parcelles..

Figure 8 : L'approfondissement de la parcelle

Figure 9:Parcelle prête à la semence

Caractéristiques du sol de site

Les caractéristiques physico chimiques du sol nu sont récapitulées dans le tableau suivant :

Profondeur cm	Caractéristiques		
	Graviers %	Gros sable %	Sable fin %
10	7	43	38
20	16	36	32
30	20	30	46
40	20	50	24
50	18	35	40

Tableau 5 : caractéristiques physicochimiques du sol de site

Choix de la culture à étudier : La luzerne

Définition

Plante fourragère de la famille des Fabacées, son non latin est Medicago Sativa L. la luzerne est le fourrage le plus important en Algérie, il s'agit d'une culture très bien adaptée au climat Saharien et très productive. Elle constituée le fourrage le plus utilisé dans l'alimentation du bétail. Elle peut produire dans des bonnes conditions, jusqu'à 100 tonnes de vert par hectare (BAAMEUR, 1998).

La luzerne, planté enrichissante du sol, dont le taux de matières sèches est ainsi rapidement porté à (18 à 20%) en calcium, en carotène, et en vitamines, elle offre une valeur alimentaire moyenne de 0.8 à 0.9 UFL au kilo/MS, supérieure à celle des fourrages fanés ou ensilés (RENAUD, 2002).

Végétation et croissance

La température maximale autorisant la croissance est de l'ordre de 37°C, où la luzerne accuse un net fléchissement de production pendant les mois d'été en Afrique du Nord.

La température minimale au dessous de laquelle la plante suspend son activité définit une autre limite le zéro de végétation est de l'ordre de 8 à9 °C (CHAABENA, 2001).

Les températures élevées dans le sol pourraient réduire fortement ou empêcher la fixation de l'azote atmosphérique par les nodosités avec comme conséquence une limitation de la productivité de la qualité, de la pérennité (MAURIES, 2003).

Les températures extrêmes diminuent la croissance de la plante par leurs actions la photosynthèse et les translations.

L'effet combiné de la lumière et la température permet d'expliquer les variations journalières et la fixation par leur influence sur la quantité des glucides arrivant aux nodosités (JUERY, 1987)

Exigences édaphiques

Naturellement les meilleurs résultats sont obtenus dans des sols profond sains et calcaire qui lui permettent de développer son enracinement bonne réserve hydrique et pas trop acides pour un bon fonctionnement de la symbiose avec le Rhizobium meliloti (bactérie fixatrice de l'azote de l'air).

MOREL, 1988, dit que la population microbienne est sensible aux variations de pH chaque espèce présentant son activité maximale entre des limites de pH déterminées.

Le pH proche ou supérieur de la neutralité (Ph≥6.8) (ITCF, 1998) est le meilleur pour la luzerne. Selon TOUTAIN, 1977 et CHAABENA, 2001, la luzerne s'intègre très bien dans la majorité des rotations, c'est une très bonne tête d'assolement pour les céréales. Elle est dotée d'un système racinaire assez développé pouvant descendre à plus de 2m de profondeur (maximum entre 40 et 120 cm) lui confèrent une bonne résistance a la sécheresse (ITCF, 1998). MARBLE, 1993 signale que la luzerne dans les zones arides se développe, persiste et croît sur les sols sableux à une profondeur supérieure à 2 m.

A cause de la symbiose entre la luzerne et les bactéries Rhizobium Meliloti, la luzerne n'exige pas l'amendement de l'azote. L'apport d'engrais azoté peut entrainer une réduction des nodosités, donc une moindre fixation d'azote atmosphérique (SICA France MAIS, 1990).

La luzerne exige les amendements phosphoriques d'une façon assez importante, la meilleure façon d'apporter l'acide phosphorique et de l'appliquer en localisation entre 2,5 et 05 cm en dessous de la semence lors de semis (SICA France MAIS, 1990).

La potasse est l'élément le plus important, même si les besoins sont peu importants.

L'action indispensable du calcium, magnésium, soufre et le bore sur la nutrition de la plante est innégligeable.

Exigences hydriques

Selon CHAABENA, 2001, la luzerne est très exigeante en eau pour élaborer un gramme de matière sèche, il faut 800 à 1000 grammes d'eau. Elle exige entre 12000 à 13000 m^3/ha pour une année de culture. Son enracinement pivotant, qui peut atteindre 02 m de profondeur, lui permettant de résister à la sécheresse.

Dispositif expérimental

Le dispositif pris est formé de 2 parcelles de 2m x 1m de superficie.

Chaque parcelle sera irriguée par une des eaux suivantes :

- Eau de forage
- Eau mélangée (50 % de l'eau de forage et 50% de l'eau usée épurée)

Figure10 : Dispositif expérimental

Semence

On a choisi les grains de la luzerne locale et semé le 11 /03/2017

Méthode de semis

Dose : 25 à30 kg /ha avec une profondeur de 2 cm.

Mode : de préférence en linges avec écartement de 10 cm.

Figure 11 : Échantillon de semence de la luzerne locale

Figure 12 : Traçage la parcelle en lignes

Figure 13 : Irrigation manuelle

Technique d'irrigation

Besoin en eau du périmètre

Les besoins en eau des cultures, peuvent être définis comme dose apportée à la plante dans des moments propices, afin de mettre celles-ci dans les meilleures conditions d'humidité requises, pour obtenir son rendement maximal.

La pièce de base pour la quantification des besoins en eau du périmètre est le calendrier des cultures, établi par des agronomes. Il présente les différentes cultures occupant le sol à chaque instant de l'année, on prend soin d'indiquer le taux de surface couvert par chaque culture sur la base des enquêtes menées par les brigades concernées. L'évaluation des besoins en eau du périmètre est basée sur la détermination des besoins de chaque culture retenue dans le calendrier agronomique.

Pour cela on définit :

L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est un phénomène complexe intégrant à la fois, l'évaporation de l'eau du sol (phénomène physique) et la transpiration de la couverture végétale (phénomène physiologique). Donc on le considérant comme la totalité de la consommation d'eau d'une plante en place, à savoir, l'eau de constitution, l'eau de végétation et les consommations annexes (évapotranspiration directe du sol, herbes.....)

On distingue :

L'évapotranspiration de référence (potentielle) :(ET0 ou ETP)

C'est l'évapotranspiration d'une culture bien fournie en eau où le sol est à sa capacité de rétention, autrement dit c'est la limite maximal de l'évapotranspiration.

On peut la définir comme étant le taux de l'évapotranspiration d'une surface du Gazon vert, ayant une hauteur uniforme de 8 à 15cm, poussant activement, ombrant complètement le sol et ne manquant pas d'eau.

L'évapotranspiration réelle :(ETR)

C'est la valeur réelle de l'évapotranspiration le plus souvent, elle est inférieure à l'évapotranspiration potentielle, puisque le sol n'est pas en permanence à sa capacité de rétention. En plus, elle est considérée variable pendant la période de végétation. Il est donné par l'expression :

$$ETR = KC \times ET0$$

Avec :

KC : le coefficient cultural dépend du type de la culture et de son stade de développement, et des conditions climatique qui y règnent.

Méthodes d'évaluation d'évapotranspiration de référence (ET0 ou ETP)

Il existe plusieurs formules empiriques parmi lesquelles :

- Formule de Blaney-Criddle
- Formule de Turc
- Formuled'Ivanov. (URSS)
- Formule de Penman
- Formule de Messahel.

Permis ces formule on explore la méthode suivante :

Méthode de Penman&Monteith

Pour évaluer les besoins en eau des plantes cultivées et déterminer les doses et les fréquences d'arrosages, on a utilisé un programme format Excel comme aide à la gestion de l'irrigation, ce programme a été mis au point par l'Institut Technique de Développement de L'Agronomie Saharienne (ITDAS), il permet le calcul des besoins en eau et des quantités d'eau d'irrigation nécessaires aux cultures. Il offre également la possibilité de développer un calendrier d'irrigation en fonction de diverses pratiques culturales.

Ce programme a été réalisé par (ITDAS) à l'aide du centre Arabe d'étude dans les zones aride et les terres sèches, Selon la méthode de Penman-Monteth modifiée et recommandée par la consultation des experts de la FAO.

La formule de penman-monteth

$$ET_0 = \frac{0{,}408\,\Delta\,(R_n - G) + \gamma\,\frac{900}{T+273}\,v\,(e_s - e)}{\Delta + \gamma\,(1 + 0{,}34\,v)}$$

ET_0 : évapotranspiration de référence (mm/jour),

Rn : rayonnement net (Méga joule/m^2/jour)

T : température moyenne quotidienne de l'air à 2m (°C),

G : flux de chaleur dans le sol (MJ /m^2/ jour)

Δ : pente de la courbe de la tension de vapeur saturante (kPa/°C),

γ : Constante psychrométrique (kPa/°C),

e : tension de vapeur mesurée (kPa),

es ; tension de vapeur saturante (kPa),

v : vitesse du vent à 2m (m/s).

L'interface du programme

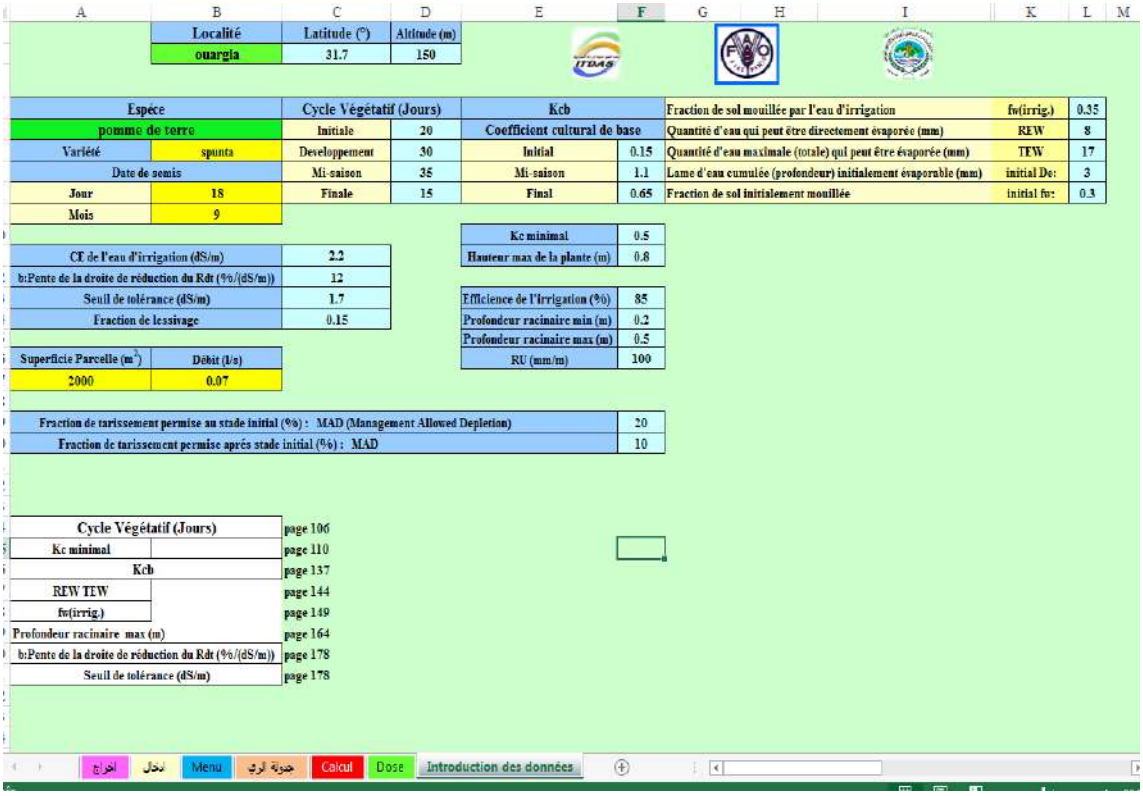

Figure 14 : L'interface de programme CROPWAT 5.7

Pour l'exploitation du logiciel, nous devons fournir les informations mensuelles de la station météorologique et la méthode adoptée, emploie les informations homogènes et faibles suivantes :

- Température : les températures moyennes sont données en Degré Celsius (°c).
- Humidité de l'air : l'humidité relative de l'air exprimée en pourcentage (%).
- Insolation journalière : donnée en heures d'insolation de (1 à 20 h).
- Vitesse de vent : la vitesse du vent peut être introduite en m/sec.

Nous avons irrigué toutes les parcelles manuellement par des méthodes d'irrigation mixte, irrigation par aspersion pour assurer la répartition la plus homogène possible jusqu'à ce que l'eau submerge le terrain et s'y infiltre, on peut maintenir une lame d'eau (submersion continue).

Les caractéristiques des eaux irrigation

Les caractéristiques des eaux d'irrigation résumée dans le tableau suivant :

Type d'eau	CE μS/cm	PH
Eau de forage	2910	7,99
Eau mélangée 50%	9530	8,11

Tableau 6 : Les caractéristiques des eaux irrigation

Protection des parcelles

Il faut protéger les parcelles des effets de vents forts, car ils peuvent provoquer des problèmes d'érosion.

Installer des rideaux type de plastique pour réduire la vitesse des vents et protéger les plantes contre les effets du froid ou le gel.

Le calendrier d'irrigation

Le calendrier d'irrigation résumée dans le tableau suivant pour l'eau mélangée 50%

Mois	Jour	Dose (mm)	D/ha (m^3)	D/Parcelle (m^3)	Mois	Jour	Dose (mm)	D/ha (m^3)	D/Parcelle (m^3)
2	15	0.0	0.0	0.00	3	30	0.0	0.0	0.00
2	16	3.0	29.6	0.01	3	31	8.5	85.3	0.02
2	17	0.0	0.0	0.00	4	1	0.0	0.0	0.00
2	18	0.0	0.0	0.00	4	2	9.8	98.4	0.02
2	19	3.3	33.1	0.01	4	3	0.0	0.0	0.00
2	20	0.0	0.0	0.00	4	4	10.3	102.8	0.02
2	21	2.8	28.2	0.01	4	5	0.0	0.0	0.00
2	22	0.0	0.0	0.00	4	6	10.7	107.3	0.02
2	23	3.1	31.0	0.01	4	7	0.0	0.0	0.00
2	24	0.0	0.0	0.00	4	8	10.3	103.3	0.02
2	25	3.3	33.1	0.01	4	9	0.0	0.0	0.00
2	26	0.0	0.0	0.00	4	10	9.7	96.8	0.02
2	27	3.6	35.8	0.01	4	11	0.0	0.0	0.00
2	28	0.0	0.0	0.00	4	12	9.2	92.1	0.02
3	1	4.4	43.7	0.01	4	13	0.0	0.0	0.00
3	2	2.6	26.4	0.01	4	14	9.2	91.9	0.02
3	3	2.7	27.0	0.01	4	15	0.0	0.0	0.00
3	4	2.8	27.7	0.01	4	16	0.0	0.0	0.00
3	5	2.8	28.3	0.01	4	17	13.9	139.3	0.03
3	6	0.0	0.0	0.00	4	18	0.0	0.0	0.00
3	7	5.6	55.9	0.01	4	19	10.0	100.5	0.02
3	8	3.3	32.6	0.01	4	20	0.0	0.0	0.00
3	9	3.4	34.2	0.01	4	21	10.8	107.9	0.02
3	10	3.6	35.7	0.01	4	22	0.0	0.0	0.00
3	11	3.7	37.3	0.01	4	23	10.9	108.7	0.02
3	12	0.0	0.0	0.00	4	24	0.0	0.0	0.00
3	13	7.5	75.0	0.02	4	25	10.7	107.3	0.02
3	14	0.0	0.0	0.00	4	26	0.0	0.0	0.00
3	15	7.6	76.5	0.02	4	27	10.8	107.7	0.02
3	16	0.0	0.0	0.00	4	28	0.0	0.0	0.00
3	17	7.8	77.8	0.02	4	29	11.4	113.6	0.02
3	18	0.0	0.0	0.00	4	30	0.0	0.0	0.00
3	19	7.9	79.4	0.02	5	1	12.0	119.7	0.02
3	20	0.0	0.0	0.00	5	2	0.0	0.0	0.00
3	21	8.1	81.0	0.02	5	3	12.0	119.9	0.02
3	22	0.0	0.0	0.00	5	4	0.0	0.0	0.00
3	23	8.2	81.6	0.02	5	5	11.8	118.1	0.02

3	24	0.0	0.0	0.00	5	6	0.0	0.0	0.00
3	25	8.2	81.8	0.02	5	7	11.8	117.7	0.02
3	26	0.0	0.0	0.00	5	8	0.0	0.0	0.00
3	27	8.2	82.4	0.02	5	9	12.2	122.1	0.02
3	28	0.0	0.0	0.00	5	10	0.0	0.0	0.00
3	29	8.4	83.8	0.02					

Tableau 7 : Calendrier d'irrigation par l'eau mélangée

Le calendrier d'irrigation pour l'eau de forage résumée dans le tableau suivant

Mois	Jour	Dose mm)	D/ha m^3)	D/Parcelle (m^3)	Mois	Jour	Dose mm)	D/ha (m^3)	D/Parcelle (m^3)
2	15	2.9	29.2	0.01	3	30	0.0	0.0	0.00
2	16	0.0	0.0	0.00	3	31	11.5	115.4	0.02
2	17	2.9	29.4	0.01	4	1	0.0	0.0	0.00
2	18	0.0	0.0	0.00	4	2	13.3	133.0	0.03
2	19	3.6	36.4	0.01	4	3	0.0	0.0	0.00
2	20	0.0	0.0	0.00	4	4	13.9	138.9	0.03
2	21	4.4	44.2	0.01	4	5	0.0	0.0	0.00
2	22	2.7	26.7	0.01	4	6	14.5	144.9	0.03
2	23	2.8	28.3	0.01	4	7	0.0	0.0	0.00
2	24	3.0	29.8	0.01	4	8	14.0	139.9	0.03
2	25	3.1	31.3	0.01	4	9	0.0	0.0	0.00
2	26	3.2	31.9	0.01	4	10	13.1	131.4	0.03
2	27	3.4	33.6	0.01	4	11	0.0	0.0	0.00
2	28	3.5	35.3	0.01	4	12	12.5	124.9	0.02
3	1	4.1	41.1	0.01	4	13	0.0	0.0	0.00
3	2	4.1	40.9	0.01	4	14	12.5	124.7	0.02
3	3	4.1	40.8	0.01	4	15	0.0	0.0	0.00
3	4	4.1	40.6	0.01	4	16	12.4	124.4	0.02
3	5	4.0	40.5	0.01	4	17	0.0	0.0	0.00
3	6	4.0	40.3	0.01	4	18	13.1	131.4	0.03
3	7	4.2	42.3	0.01	4	19	0.0	0.0	0.00
3	8	4.4	44.3	0.01	4	20	14.1	141.2	0.03
3	9	4.6	46.3	0.01	4	21	0.0	0.0	0.00
3	10	4.8	48.4	0.01	4	22	14.8	148.4	0.03
3	11	5.1	50.6	0.01	4	23	0.0	0.0	0.00
3	12	5.1	51.0	0.01	4	24	14.7	146.6	0.03
3	13	5.1	51.4	0.01	4	25	0.0	0.0	0.00
3	14	5.2	51.8	0.01	4	26	14.5	144.6	0.03
3	15	5.2	52.2	0.01	4	27	0.0	0.0	0.00
3	16	5.3	52.6	0.01	4	28	15.0	150.1	0.03
3	17	5.3	53.1	0.01	4	29	0.0	0.0	0.00
3	18	5.4	53.7	0.01	4	30	15.8	158.2	0.03
3	19	5.4	54.2	0.01	5	1	0.0	0.0	0.00
3	20	5.5	54.7	0.01	5	2	16.4	163.8	0.03
3	21	5.5	55.2	0.01	5	3	0.0	0.0	0.00
3	22	5.5	55.3	0.01	5	4	16.1	161.4	0.03
3	23	5.5	55.4	0.01	5	5	0.0	0.0	0.00
3	24	0.0	0.0	0.00	5	6	15.9	158.9	0.03
3	25	11.1	110.6	0.02	5	7	0.0	0.0	0.00
3	26	0.0	0.0	0.00	5	8	16.3	162.6	0.03

3	27	11.1	111.3	0.02	5	9	0.0	0.0	0.00
3	28	0.0	0.0	0.00	5	10	16.8	168.5	0.03
3	29	11.3	113.4	0.02					

Tableau 8 : Calendrier d'irrigation par l'eau de forage

Conclusion

En ce qui concerne notre projet, le calcul des besoins en eau des cultures est effectué à l'aide du logiciel appelé ; CROPWAT version 5.7, qui permet au passage, de l'évaporation à l'évapotranspiration de référence, selon la méthode empirique la plus appropriée dePenman&Monteith (modifiée).

CHAPITRE 4 : Résultats et discussion

Résultats et discussions

Résultats

Dans un mois de la semence, on a eu les résultats suivants :

Les parcelles irriguées par l'eau de forage et celles irriguées par l'eau de mélange présentaient les résultats suivants :

Figure 15: Plantes irriguées par l'eau de forage après un mois d'avoir semé

Figure 16 : plantes irriguées par l'eau de mélange après un mois d'avoir semé

Et dans deux mois de la semence, on a eu les résultats suivants :

Figure 17 : Plantes irriguées par l'eau de forage après deux mois d'avoir semé

Figure 18: Plantes irriguées par l'eau de mélange après deux mois d'avoir semé

Développement

Les moyennes des longueurs des racines, tiges et feuilles des plantes irriguées par l'eau de forage, ainsi que celles des plantes irriguées par l'eau de mélange dans des périodes de 15 jours sont représentées dans les tableaux suivants :

jours	0	15	30	45	60
Longueur de la racine (cm)	0	2,28	4,56	7,09	9,62
Longueur de la tige (cm)	0	1,56	3,12	5,16	7,20
Longueur de la feuille (cm)	0	0,46	0,91	0,93	0,95

Tableau 9: longueurs des tiges, feuilles et fleurs des plantes irriguées par l'eau de forage

jours	0	15	30	45	60
Longueur de la racine (cm)	0	2,18	4,35	6,10	7,86
Longueur de la tige (cm)	0	1,32	2,63	3,17	3,71
Longueur de la feuille (cm)	0	0,33	0,66	0,74	0,83

Tableau 10: longueurs des tiges, feuilles et fleurs des plantes irriguées par l'eau de mélange

Figure 19: Mesure d'une plante irriguée par l'eau de forage

Mesures

En utilisant une règle graduée, on a pu mesurer les différentes parties des plantes. On a fait quelques mesures, et on a pris la moyenne

Figure 20: Mesure d'une plante irriguée par l'eau de mélange

Remarques

Au début, on constate une légère différence entre le développement des racines des plantes irriguées par l'eau de forage et celles irriguées par le mélange d'eau (épurée et de forage), mais la différence est significative entre les feuilles et surtout les tiges.

Après 60 jours, on constate que la différence est importante dans le développement des racines des plantes irriguées par l'eau de forage et le mélange d'eau (épurée et de forage), elle est très importante dans le développement des tiges hors que la différence est moins importante dans le développement des feuilles.

Les différences des longueurs des racines, tiges et feuilles des plantes irriguées par l'eau de forage et celles des plantes irriguées par l'eau de mélange sont récapitulées dans le tableau suivant :

	Dans 30 jours			Dans 60 jours		
	Plantes Irriguée par l'eau de forage	Plantes irriguée par l'eau de mélange	Différence	Plantes irriguée par l'eau de forage	Plantes Irriguée par l'eau de mélange	Différence
Racine (cm)	4,56	4,35	0,21	9,62	7,86	1,76
Tige (cm)	3,12	2,63	0,49	7,2	3,71	3,49
Feuille (cm)	0,91	0,66	0,25	0,95	0,83	0,12

Tableau 11: Comparaison durant la croissance entre longueurs des tiges, feuilles et fleurs des plantes irriguées par l'eau de forage et celles irriguées par l'eau de mélange

Représentations graphiques

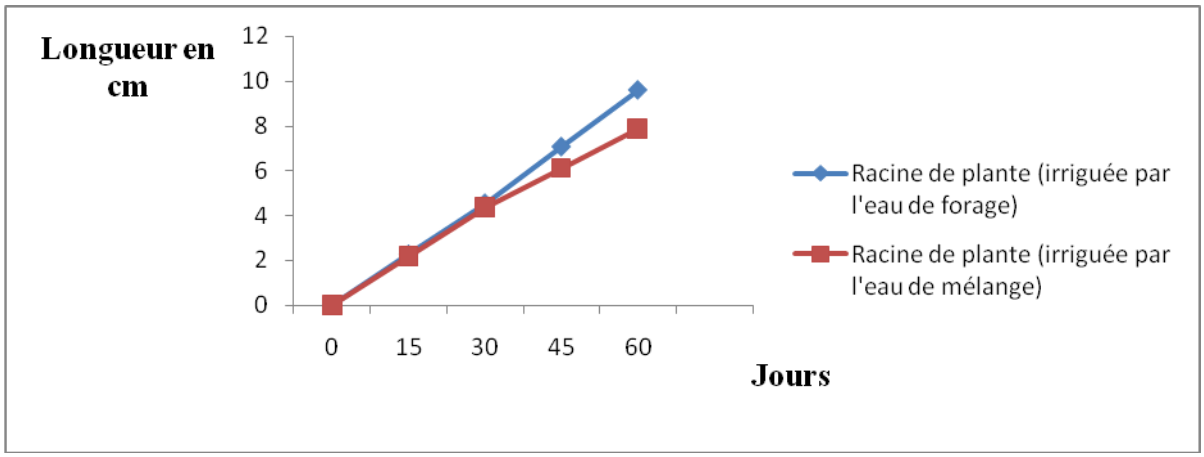

Figure 21 : Comparaison graphique de développement des racines

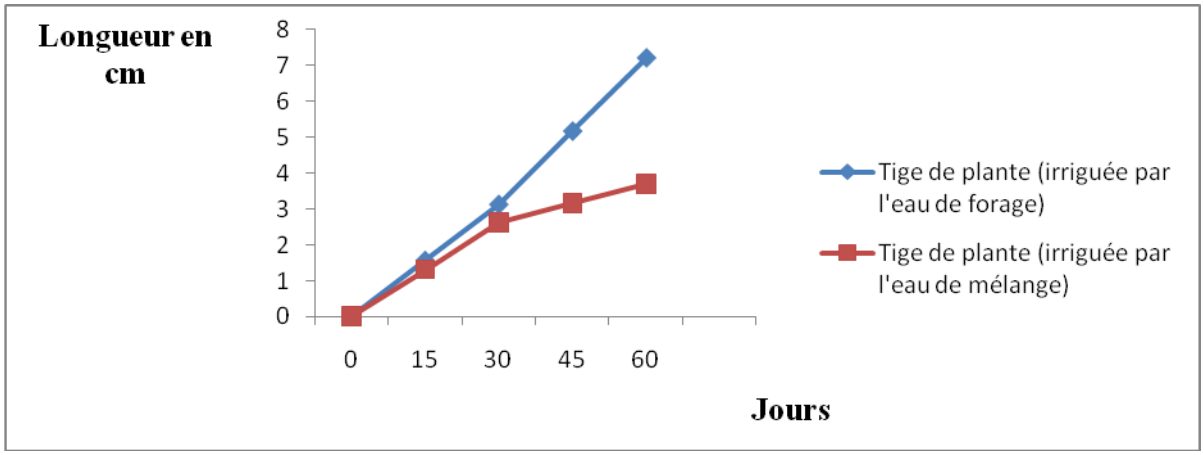

Figure 22 : Comparaison graphique de développement des tiges

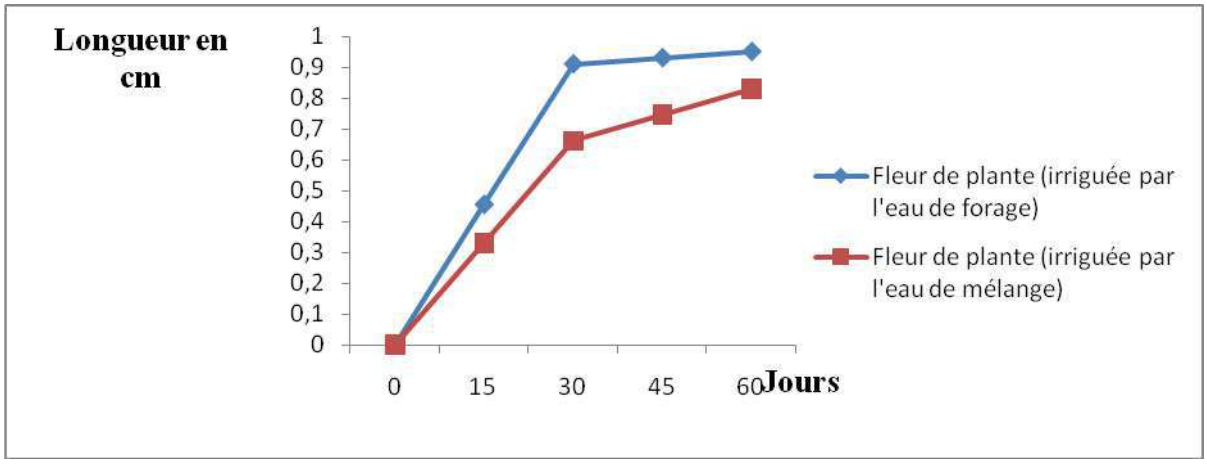

Figure 23 : Comparaison graphique de développement des feuilles

Discussion

Les eaux usées épurées de la station d'épuration de SAID OTBA, OUARGLA présente une teneur en sels très élevée, d'après les résultats d'analyse de la conductivité électrique au niveau de la station.

Au plus de la salinité de l'eau, la quantité des sels cumulée dans le sol après l'irrigation par les eaux usées épurées en mélange de 50% avec l'eau de forage était importante.

Recommandation

Les problèmes qu'entraîne l'utilisation d'une eau de médiocre qualité varient tant en nature qu'en gravité, les plus communes sont les suivantes : Salinité ; perméabilité ; toxicité.

- Pour le problème de la salinité il faut :

1) Choisir des cultures tolérantes à une salinité existante ou éventuelle.

2) Prévision et surveillance de la dynamique des sels et de l'évolution des sols sous l'effet de l'irrigation avec une telle eau.

3) Irriguer plus fréquemment pour améliorer l'approvisionnement en eau de la culture.

4) Appliquer régulièrement un supplément d'eau pour satisfaire le besoin de lessivage.

5) Changer de méthode d'irrigation, en adopter une qui permette de mieux lutter contre la salinité.

6) Modifier les pratiques culturales.

- Pour le problème de la toxicité il faut :

1) Arroser plus fréquemment.

2) Prévoir un supplément d'eau pour le lessivage.

3) En cas de toxicité par le sodium, utiliser des amendements tels que le gypse et le soufre.

Conclusion

D'après les résultats des mesures et les représentations graphiques, des plantes irriguées par l'eau de forage et celles irriguées par l'eau de mélange (Eau épurée-Eau de forage), on conclut qu'un mélange moitié eaux usées épurées de la STEP SAID OTBA, OUARGLA et eau de forage n'a pas l'aptitude d'être réutilisée comme eau d'irrigation de la luzerne à cause de la salinité qui présente ce mélange d'eau. Cette salinité qui dépasse la norme acceptée par la luzerne (2 ds/m)

CONCLUSION GENERALE

Les résultats des essais sur les conséquences de la réutilisation des eaux usées épurées issue de la station d'épuration d'Ouargla, et les eaux de forage sur le développement de la luzerne, après irrigation par une des eaux proposée (l'eau de forage, et l'eau mélangé forage et usée épurée 50%) ont une indication significative de la salinité des eaux étudiées et même du sol du site de l'expérience.

Les résultats cités auparavant indiquent :

- La croissance réduite des plantes irriguées par l'eau usée épurée mélangée avec l'eau de forage (50%)
- Le développement des plantes irriguées par l'eau de forage apparait normal aux conditions du site (climat, eau, sol)

Et puisque d'après le FAO, 1985, la tolérance à la salinité de la luzerne est comprise entre 1280 µs/cm et 1920 µs/cm, soit 1,3 et 1,9 ds/m, ce qui donne une confirmation sure aux résultats des expériences in situ.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AFD., 2011 : Agence Française de Développement. Réutilisation des eaux usées traitées – perspectives opérationnelles et recommandation pour l'action, 91 pages

BAUMONT et al. 2004 : Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Observatoire Régional de Santé d'Île-de-France, 176 p

BENZAOUI N., ELBOUS F., 2009- Epuration des eaux usées par le procédés des boues activées au de la commune de Touggourt. Mémoire Ing Chimie. Université d'Annaba. 37 p.

Blumenthal, 1989: Generalized model of the effect of different control measures in reducing health risks from reuse. Wat . sci. Tech. 21 :567-577

Bollags JM 1973, Rodier et al 2005 : L'analyse de l'eau : eaux naturelles , eaux residuaires , eau de la mer 8ème édition - Dunod- PARIS 2005

CARDOT C. (1999)-Les traitements de l'eau – Procédés physico-chimiques et biologiques. Ellipses, Paris : pp 247.

et biologiques. Ellipses, Paris : pp 247.

CHELLE F., DELLALE M., DEWACHTER M., MAPAKOU F., VERMEY L., 2005- L'épuration des eaux : pourquoi et comment épurer Office iinternational de l'eau, 15 pages.

DEGREMONT, 1989 : Mémento technique de l'eau. Edition Technique et Documentation Lavoisier

DEGREMONT. (1997)-Mémento technique de l'eau. Tome l, Paris, pp 223-229

DESJARDINS R. (1997)-Le traitement des eaux, Edition de l'école polytechnique de Montréal

DUGNIOLLE 1980, GLANIC et BENNETON 1989 : L'assainissement des eaux résiduaires domestiques CSTC Revue N°3 septembre pp 44 – 52

DUGUET et AL 2006 : Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine 1ère édition. ASTEE (ASSOCIATION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE POUR L'ENVIRONNEMENT)

DUPAIN R, LANCHON R et SAINT ARROMAN J. (2004)-L'analyse granulométrique. Edition Castella. pp34-37

granulométrique. Edition Castella. pp34-37

FABY., 1997 : L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau, 76 pages

HOUBI, 2010 : Étude de système actuel de drainage et d'évacuation des eaux excédentaires agricoles dans la cuvette de Ouargla et son incidence sur la palmeraie d'El Ksar. Mémoire d'ing écologie p63

IDDER., 2007 : Le problème des excédents hydriques á Ouargla; situation actuelle et perspectives d'amélioration, sécheresse, 18(3).p161-170.

ITCF, 1998 : Institut Technique des Céréales et Fourrages., 1988. Luzerne, étude agrice. Ed, ITCF France, 6p.

JORA 2005 : Journal Officiel de la République Algérienne (JORA). N° 60, 4 septembre 2005.

JORA, 2007 : Journal Officiel De La République Algérienne, 2007 :CONCESSION D.UTILISATION DES EAUX USEES EPUREES ; PREVENTION DES RISQUES LIES A L'USAGE DES EAUX USEES EPUREES

JORA, 2012 : Journal Officiel De La République Algérienne, 2012. ANNEXE, spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation. N° 41, 18-21.

LADJEL., 2006 : Exploitation d'une station d'épuration à boue activée niveau 02. Centre de formation au métier de l'assainissement. CFMA-Boumerdes. 80 p.

LAZAROVA et al., 2003 : L'intérêt de la réutilisation des eaux usées : analyse d'exemples mondiaux. Techniques, sciences et méthodes, N9 pages 64 – 85

MARA et CAIRNCROSS, 1989 : guidelines of the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture - Executive summary, World Health Organization, 20p

MARBLE, 1993 : Des fourragères pour le proche- orient : La luzerne, Étude FAO production végétale et protection des plantes 97/1, FAO, Rome, 237p.

MOREL, 1988 : Les sols cultivés, Ed INA France, Paris- Grignon, 362p.

MRE, 2003

MRE, 2012

MAURIES, 2003 : Luzerne culture, récolte, conservation, utilisation, Ed, France

Agricole, 239 p

O.N.A, 2017 : Office Nationale de l'Assainissement

O.N.M, 2013 : Bulletin d`informations climatiques. Ed. Office National Météorologique,

SELGHI 2001 : Différentes filières de traitement des eaux ed univ IZ RABAT p22, 2001

SICA France MAIS, 1990 : Luzerne : conduite et diagnostic ; les cahiers techniques de France Mais, Ed, SICA France Mais S.A, Toulouse, 28p.

PAULSRUD et HARALDSEN 1993 : Experiences with the Norvagian approval system for small waste water treatment plants Wat. Sc. Techn, vol 28 N°10 pp 25 – 32

TOUTAIN, 1977 : Elément d'agronomie saharienne de la recherche vers le développement, Imprimerie Jouve, Ed, INRA, Paris, 277p.

USEPA. (2007)-Water & Health Series: Filtration Facts. United StatesEnvironmental Protection Agency. http://www.epa.gov/safewater/faq/pdfs/fs_healthseries_filtration.pdf.

Valiron, 1983 : Valiron F, B,R,G,M 1983 Orléans la réutilisation des eaux usées (Climat tempérés 208 p)

Vasel, 2007 : Évolution de l'assainissement individuel : perspective et questions en suspens, journées ce bedeau, 15 p

RESUME

La région d'Ouargla a connu un grave problème d'excédent hydrique, causé d'une part par un milieu récepteur topographiquement plat et hydro géologiquement endoréique et d'autre part par les rejets des eaux résiduaires et le rejet des eaux de drainage agricole qui ont augmenté le niveau piézométrique de la nappe phréatique.

L'irrigation agricole a besoin de beaucoup d'eau surtout dans les régions sahariennes. Actuellement l'irrigation se fait depuis des forages c'est-à-dire consommation importante des eaux souterraines dont l'utilisation pourrait être réservée à d'autres besoins, spécialement ceux liés aux activités humaines.

C'est dans ce cadre que nous nous sommes intéressés à un cas précis et particulier, qui est le suivi du développement d'une plante irriguée par les eaux usées épurées et de valoriser ces eaux pour l'irrigation.

L'étude consiste, à travers un essai d'irrigation de parcelles semées par la luzerne, à faire une étude comparative entre parcelles, chacune irriguée par une eau spécifique.

Une analyse de résultats suit l'expérience concernant le développement des racines, les tiges et les feuilles, l'influence des caractéristiques du sol et de l'eau sur ce développement.

ملخص

تعاني منطقة ورقلة مشكلة خطيرة من الماء الزائد، الناجم من جهة عن بيئة مستقبلة مسطحة طبوغرافيا و مشبعة هيدرو جيولوجيا ومن جهة أخرى، عن طريق تصريف مياه الصرف الصحي والتخلص من مياه الصرف الزراعي الذين تسببا في زيادة مستوى المياه الجوفية.

يحتاج الري الزراعي الكثير من الماء خاصة في المناطق الصحراوية. حاليا الري ينجز من الآبار الجوفية وهذا يعني استهلاك كميات كبيرة من المياه الجوفية التي قد تكون محفوظة لتلبية الاحتياجات الأخرى، وخاصة تلك المتعلقة بالأنشطة و الإستخدامات البشرية.

وفي هذا السياق، ونحن مهتمون في قضية محددة ومعينة، وهي مراقبة تطور نبتة تسقى بماء الصرف الصحي المعالج، و من ثم تقييم هذه المياه للسقي الزراعي عموما.

هذه الدراسة تتلخص-من خلال التجربة- في سقي قطع صغيرة زرعت فيها بذور البرسيم وسقيت بمياه خاصة ثم القيام بدراسة مقارنة للنتائج.

بعد ذلك نتعرض لعرض النتائج و تحليلها من خلال ملاحظات لتطور الجذور، السيقان و الأوراق و تأثير خصائص الماء و التربة على هذا النمو

ABSTRACT

The Ouargla region has faced a serious problem of water surplus, caused on the one hand by a topographically flat receiving environment and hydro geologically saturated, and on the other hand by discharges of waste water and the discharge of agricultural drainage waters which have increased the piezometric level of the groundwater.

Agricultural irrigation needs a lot of water, especially in the Saharan regions. At present, irrigation takes place from water drilling, that is to say, significant consumption of groundwater, the use of which could be reserved for other needs, especially those linked to human activities

It is in this context that we are interested in a specific and particular case, which is the following of the development of a plant irrigated by the purified waste water and of evaluate these waters for irrigation.

The study consists, through an irrigation trial of plots sown by alfalfa, to make a comparative study between plots, each irrigated by a specific water.

An analysis of the results follows the experience with root development, stems and leaves, and the influence of soil and water characteristics on this development.