

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA TERRE ET
DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biologie

Spécialité/Option : qualité des produit et sécurité alimentaire

**Thème : caractérisation des eaux usées épurés de la vile de Guelma et leur
aptitude à l'irrigation**

Présenté par :

-tebessi alima

-bahloul meriem

Juin 2014

Table de matière :

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées

Introduction	3
I .1. Modes de pollution de l'eau	3
I .1.1. La pollution organique	3
I .1.2. Les matières fertilisantes.....	3
I .1.3. Les polluants métalliques et polluants chimiques persistants	4
I .1.4. Les sels minéraux	4
I .1.5. La pollution microbiologique	4
I .2. Les eaux usées	4
I .2.1. Caractérisation des eaux usées	5
I .2.2. Composition moyenne d'un effluent urbain	5
I .2.3. Origine des eaux entrant en station d'épuration	5
I .2.3.1. Les eaux usées domestiques	5
I .2.3.2. Les eaux usées industrielles	5
I .2.3.3. Les eaux usées agricoles	7
I .2.3.4. Les eaux pluviales	7
I .2.3.5. Les matières de vidange	7
I .2.4. Impacts des eaux usées	7
I .2.4.1. Sur le milieu nature.....	7
I .2.4.1.1. L'océan	7
I .2.4.1.2. Eaux superficielles	8
I .2.4.1.3. Eaux souterraines	8
I .2.4.2. Sur la santé de l'Homme	8

Chapitre II : Réutilisation des eaux usées épurées

Introduction	10
I I .1. Réutilisation des eaux usées épurées dans le monde	10
I I .2. Réutilisation des eaux usées épurées dans quelques pays méditerranéens	11
II.3. Etat des lieux de la REUE en Algérie.....	12
I I .3.1. Evolution des volumes des eaux épurées à l'échelle nationale	13
I I .3.2. Les Facteurs influençant la REUE en Algérie	15

I I .4. Les différentes réutilisations des eaux usées épurées	15
I I .4.1. Utilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles	16
I I .4.2. Avantage des réutilisations des eaux usées épurées	16
I I .4.3. Avis des consommateurs	16
I I .4.4. Valeur nutritive de l'eau usée traitée	17
I I .4.6. Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation	18
I I .4.7. Méthode d'irrigation avec les eaux usées épurées	19
a/ Irrigation à la raie	19
b/ L'irrigation par aspersion	20
c/ L'irrigation localisée	20
d/ L'irrigation souterraine	21
I I .5. Qualité des eaux usées épurées dans d'irrigation	21
I I .5.1. La teneur en sel dans l'eau d'irrigation	22
I I .5.2. Risque du sodium pour l'eau d'irrigation	23
I I .5.3. Le rapport d'adsorption du sodium (SAR)	23

Chapitre III : Présentation de la station d'épuration de la ville de Guelma

III.1 Situation géographique de la STEP Guelma	25
III.1.1 Localisation	25
III.1.2 Emplacement et accès	25
III.2. Nature du réseau	26
III.3. Charges Hydrauliques et Polluantes.....	26
III.4 Point de rejet (l'eau épurée)	27
III.5 Les différents procédés de traitement.....	27
III.5.1 Prétraitements et élimination des sous-produits	28
III.5.1.1 Le dégrillage	28
III.5.1.2 Le dessablage et le déshuilage dégraissage	28
III.5.2 Traitement primaire	29
III.5.3 Traitement secondaire	30
III.5.3.1. Un traitement biologique	30
III.5.3.2. Une décantation secondaire	31
III.5.6 Le traitement tertiaire	31
III.5.7 Traitement des boues.....	33

Chapitre IV : Matériels et méthodes

IV.1. Méthodes et Points de prélèvements	35
IV .1.1. Méthode de prélèvements	35
IV .1.2. Point de prélèvement.....	35
IV .2. Analyses et modes opératoires	36
IV .2.1. Mesure in situ	36
IV .2.1.1 La température	36
IV .2.1.2 Potentiel hydrogène (pH)	36
IV .2.1.3 La conductivité électrique (CE)	37
IV .2.2. Mesure au laboratoire	38
IV .2.2.1. La demande biochimique en oxygène DBO	38
IV .2.2.2. Les matières en suspension MES	40
IV .2.2.3. La demande chimique en oxygène DCO	42
IV .2.2.4. Titre Alcalimétrique simple et complet (TA et TAC)	44
IV .2.2.5 Dosage du Magnésium (Mg^{+2})	45
IV .2.2.6. Dosage de calcium.....	45
IV .2.2.7. Dosage des chlorures (Méthode de Mohr)	45
IV .2.2.8. Dosage de sulfate (SO_4^-) méthode photométrique	46
IV .2.2.9. Dosage de l'ammonium (NH_4)	46
IV .2.2.10. Dosage de nitrite (NO_2^-)	47
IV .2.2.11. Dosage de nitrate (NO_3^-)	47
IV .2.2.12. Dosage de phosphate (PO_4^-)	47

Chapitre V : Résultats et discussion

V.1. Paramètres physiques	48
V.1.1. Le potentiel Hydrogène (pH)	48
V.1.2. La température	48
V.1.3. La conductivité électrique CE	49
V.2. Les paramètres chimiques	50
V.2.1. Les matières en suspension MES	50
V.2.2. La demande chimique en oxygène (DCO)	51
V.2.3. La demande biologique en oxygène de cinq jours(DBO_5)	51
V.2.4. L'azote ammoniacal (NH_4)	52
V.2.5. L'azote de nitrite (NO_2^-)	53

V.2.6. L'azote de nitrate (NO ₃)	54
V.2.7. L'Orthophosphate (OPO ₄)	55
V.2.8. Réutilisation des eaux usées épurées dans l'irrigation	56
V.2.8.1. Résultats et discussion.....	57
V.2.8.2. Classification de Wilcox	58
Conclusion Générale	59
Résumé	
Abstract	
ملخص	

Liste des abréviations :

Ag_2SO_4 : Sulfate d'argent.

C ° : Degré Celsius.

Ca^+ : Calcium.

CE : Conductivité Electrique.

Cl^- : Chlorure.

DBO_5 : Demande Biochimique en Oxygène après 5 jours à l'abri de la lumière.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

EDTA: Acide Ethylène Diamine Tétraacétique.

EUE : Eaux usées épurées.

FAO: Food and agriculture organization. (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture).

Fe: Fer.

Fig. : Figure.

g/l : Gramme par litre.

H_2SO_4 : Acide sulfurique.

K: potassium.

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$: Dichromate de potassium.

MES : La matière en suspension.

Mg^{+2} : Magnesium.

N: Azote.

Na^+ : Sodium.

NH_3 : Ammoniac.

NH_4^+ : L'azote ammoniacal.

NH_4OH : Ammoniaque.

NO_2^- : L'azote de nitrates.

NO_3^- : L'azote des nitrites.

O₂ : Oxygène.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ONA : Office Nationale de l'Assainissement.

OPO₄: Orthophosphate.

P: Phosphor.

pH: Potentiel d'hydrogène.

PO₄⁻: phosphate.

REUE : Réutilisation des eaux usées.

RN 21: Route National N □ 21.

SAR: Rapport d'adsorption du sodium. (Sodium Adsorption Ratio).

SO₄⁻: Sulfate.

STEP: Station d'épuration.

T □ : Température.

T₀: Temps initiale.

T₅: Temps après 5 jours.

Tab : Tableau.

TA : Titre Alcalimétrique.

TAC: Titre Alcalimétrique complet.

TDS : Taux des sels dissous.

TH : Dureté totale.

μs : Micro-siemens.

Liste des figures :

Figure 01 : Volume annuel des eaux usées recyclées par habitant .	10
Figure 02 : Comparatif des quantités d'eaux usées Générées, Epurées et Réutilisées.....	11
Figure 03 : Comparatif des taux des Eaux usées épurées et réutilisées	12
Figure 04 : Destinations des eaux usées épurées en Tunisie.....	12
Figure 05: Nombre de stations d'épuration en Algérie.	13
Figure 06 : Evolution des taux des EUE en Algérie .	15
Figure 07: Rejets des EUE (HM ³ /an) par milieu récepteur.....	15
Figure 08 : Irrigation à la raie automatisée (transirrigation)	19
Figure 09 : Irrigation par aspersion	20
Figure 10 : Irrigation Localisée	21
Figure 11 : Photo aérienne de la STEP Guelma.....	25
Figure 12 : Bassins de dessablage	29
Figure 13 : Décanteur primaire	29
Figure 14 : Bassin de traitement biologique.....	30
Figure 15 : Bassin de clarification	31
Figure 16 : Bassin de désinfection	33
Figure 17 : Lits de séchages ..	34
Figure 18: Points de prélèvement d'eau.....	35
Figure 19 : pH mètre, conductimètre.....	37
Figure 20 : L'installation pour mesurer la DBO5	39
Figure 21: Dessicateur.....	41
Figure 22 : Filtre à pompe	42
Figure 23 : Evolution temporelle du pH mesurée à l'entrée et à la sortie de la station.	48
Figure 24 : Evolution temporelle de la température mesurée dans la station.....	49
Figure 25 : Evolution temporelle de la conductivité électrique dans la station.	49
Figure 26 : Evolution temporelle des MES mesurée à l'entrée et à la sortie de la station.	50
Figure 27 : Evolution temporelle de la DCO mesurée à l'entrée et à la sortie de la station. ...	51
Figure 28 : Evolution temporelle de la DBO5 mesurée à l'entrée et à la sortie de la station. .	52
Figure 29 : Evolution temporelle de l'ammonium mesurée dans la station.....	53
Figure 30 : Evolution temporelle de nitrite mesurée à l'entrée et à la sortie de la station	54
Figure 31 : Evolution temporelle de nitrate mesurée à l'entrée et à la sortie de la station	55

Figure 32 : Evolution temporelle d'Orthophosphate mesurée dans la station.	56
Figure 33 : Classification des eaux d'irrigation d'après la méthode Wilcox.....	58

Liste des tableaux :

Tableau 01 : Composition moyenne d'un effluent domestique .	6
Tableau 02: grille d'évaluation des facteurs de réussite de la REUE en Algérie.....	15
Tableau 03 : Barème de qualité pour l'eau d'irrigation.	19
Tableau 04 : Degré de salinité pour une eau d'irrigation.....	22
Tableau 05 : Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation.....	24
Tableau 06 : Charges polluantes	26
Tableau 07 : Charges hydrauliques	27
Tableau 08 : Station: SP1	27
Tableau 09 : Station: SP2.....	27
Tableau 10 : Valeur de SAR et de Conductivité des EUE	57

Introduction :

L'eau a toujours été synonyme de vie et de croissance. Cet 'or bleu' est tout d'abord essentiel à la survie de l'être humain, dont le corps en est lui-même constitué à plus de 60%. L'eau est également indispensable à l'agriculture et à l'élevage, principales sources de nourriture pour toute société.

Dans le monde entier et plus particulièrement dans les pays en voie de développement la consommation urbaine de l'eau ne cesse d'augmenter ces dernières années et cela pour des raisons liées entre autres à l'explosion démographique.

Cette situation entraîne un volume important de rejets des eaux usées qui constituent un réservoir de germes pathogènes. De ce point de vue, elles sont un danger réel pour l'environnement ambiant et aquatique et la santé des populations. **(Karaali et al., 2008).**

Ces eaux ne devraient pas être directement rejetées dans le milieu naturel, car elles peuvent engendrer de graves problèmes environnementaux et de santé publique, et pour protéger notre environnement la république algérienne a exigé le traitement des eaux usées et récemment, elle a lancé un décret exécutif a pour objet d'approuver le cahier des charges-type pour la gestion par concession du service public d'assainissement et le règlement de service y afférent.

Le traitement ou l'épuration des eaux usées a donc pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent. Par conséquent elles devraient être dirigées vers des stations d'épuration dont le rôle est de concentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous la forme d'un petit volume de résidu, les boues, et de rejeter une eau épurée répondant à des normes bien précises, et cela grâce à des procédés physico-chimiques ou biologiques. **(Debbabi, 2013).**

L'utilisation de l'eau usée traitée, au-delà de leur effet positif, peut également avoir des impacts défavorables sur la santé publique et l'environnement, en fonction principalement des caractéristiques de l'eau épurée, du degré d'épuration, de la méthode et de l'endroit d'utilisation.

Le but recherché par ce travail est d'étudier la qualité des eaux usées de la station d'épuration avant et après traitement et par conséquent leur aptitude à l'irrigation.

Pour cela nous avons mené notre travail comme suit :

Un premier chapitre comportant des généralités sur les eaux usées.

Un second concernant la réutilisation des eaux usées épurées.

Un troisième présentant la station d'épuration et ses différents procédés.

Un quatrième chapitre montrant les différents matériels et méthodes utilisés pour réaliser ce travail.

Un cinquième consacré à la discussion des résultats obtenus.

Et enfin une conclusion générale.

Introduction :

Dans la nature, l'eau est un milieu vivant qui renferme bien d'autres éléments que les deux molécules d'hydrogène pour une molécule d'oxygène. L'eau se charge des éléments présents dans les milieux qu'elle traverse : sels minéraux pris au contact des roches, matières organiques, micro-organismes de l'écosystème. Mais l'eau peut subir une modification directe ou indirecte de ses caractéristiques, c'est la pollution de l'eau.

La protection de la qualité des eaux est maîtrisée par peu de pays dans le monde. Beaucoup d'entre eux n'ont pas de normes leur permettant de contenir la pollution dans des limites raisonnables, tandis que d'autres n'ont pas les moyens d'exiger l'application des normes de qualité de l'eau.

De plus en plus, les organismes internationaux de développement insistent auprès des pays en développement pour qu'ils veillent mieux à protéger et à améliorer la qualité de l'eau. Le monde développé doit pour sa part augmenter son budget et multiplier ses interventions pour nettoyer les voies d'eau dégradées, sans quoi le développement économique cessera de progresser et la qualité de la vie s'en ressentira. [1].

I.1. Modes de pollution de l'eau :

Les formes de la pollution de l'eau sont multiples, parmi lesquelles on cite :

I.1.1. La pollution organique :

Certain rejets contiennent des matières organiques, ces polluants sont biodégradables : ils peuvent être transformés en eau et en CO₂ Par des micro-organismes (bactéries, algues). Mais cette biodégradation consomme de l'oxygène, qui ne sera donc plus disponible pour la faune aquatique (poissons, crustacés, etc.). C'est pourquoi l'on mesure souvent la pollution organique par la demande biologique en oxygène (DBO₅), autrement dit la quantité d'oxygène qui sera consommée par des micro-organismes pour sa biodégradation. [2].

I.1.2. Les matières fertilisantes :

La présence d'azote et de phosphore en quantité excessive dans les cours d'eau entraîne la prolifération d'algues qui diminuent la luminosité et surtout consomment l'oxygène dissous dans l'eau. Cette pollution est produite par les eaux usées urbaines, certains effluents

industriels, et le ruissellement des eaux chargées d'engrais apportés en excès aux cultures. [2].

I.1.3. Les polluants métalliques et polluants chimiques persistants :

Certains polluants chimiques (des pesticides par exemple) sont particulièrement persistants : ils résistent à la dégradation chimique et biologique. Avec les métaux lourds (plomb, mercure, cadmium, cuivre, zinc, nickel, chrome...), ils forment une famille de polluants très dangereux : absorbés par des plantes ou des petits animaux, ils s'accumulent et se concentrent tout au long de la chaîne alimentaire, au sommet de laquelle se trouve l'homme. [1].

I.1.4. Les sels minéraux :

Présents naturellement dans l'eau en faible quantité, les sels minéraux (chlorure ou sulfates de calcium, de magnésium, de sodium ou de potassium) peuvent voir leur concentration s'élever à la suite de rejets industriels. Cela peut nuire à la biologie aquatique. [2].

I.1.5. La pollution microbiologique :

L'eau peut contenir des micro-organismes pathogènes (des virus, des bactéries, des parasites). Ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau (baignade, élevage de coquillage). La grande majorité de ces micro-organismes nocifs, susceptibles d'engendrer des infections humaines redoutables, diffusent dans l'environnement hydrique par l'intermédiaire de souillures fécales humaines ou animales. Les pollutions microbiologiques se rencontrent surtout dans les aquifères à perméabilité de fissure (craie, massifs calcaires), dans lesquels la fonction épuratrice du sous-sol ne peut s'exercer et dans lesquels la matière organique est dégradée partiellement. [3].

I.2. Les eaux usées :

Les eaux usées sont toutes les eaux de l'activité domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissements. Les eaux usées englobent également les eaux de pluies et leur charge polluante, elles engendrent au milieu récepteur toute sorte de pollution et de nuisance. (Dugniolle, 1980).

I.2.1. Caractérisation des eaux usées :

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (*industrielle, domestique, etc.*). Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les micro-organismes, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives. [4].

I.2.2. Composition moyenne d'un effluent urbain :

A partir des observations précédentes et d'études réalisées sur un grand nombre de stations d'épuration, on peut déterminer la composition moyenne d'un effluent urbain dans le tableau 01. (Rejsek, 2002).

I.2.3. Origine des eaux entrant en station d'épuration :

Suivant l'origine des substances polluantes on distingue quatre catégories d'eaux usées :

I.2.3.1. Les eaux usées domestiques :

Les eaux usées domestiques sont constituées par les eaux ménagères et les eaux vannes. Les eaux vannes représentent environ le tiers des eaux usées domestiques. Issues des toilettes, elles sont constituées par les matières fécales et les urines et contiennent notamment des matières minérales, de la cellulose, des glucides...etc. Elles sont riches en germes microbiens.

Les eaux ménagères quant à elles, regroupent l'ensemble des autres rejets : eaux de cuisine, de bain, eaux de lessive. Elles contiennent des matières en suspension, des matières dissoutes organiques ou minérales, des graisses et des savons et divers détergents.

Les eaux usées domestiques gardent une composition relativement stable et prévisible, il n'en est pas de même pour les eaux usées industrielles. (Radoux, 1995).

I.2.3.2. Les eaux usées industrielles :

Les caractéristiques des eaux usées industrielles varient en fonction de l'industrie qui les produits. Elles peuvent contenir du phosphate et des métaux lourds. De manière générale, les industriels possèdent leur propre système de traitement des eaux usées. Ce qui est plus rare pour les eaux artisanales. (Karaali *et al.*, 2008).

Tableau 01 : Composition moyenne d'un effluent domestique. (Rejsek, 2002).

Paramètres	Concentration moyennes	Echelle de variation
pH	7,8	7,5 à 8,5
DBO ₅	300mgO ₂ .L ⁻¹	150à500mgO.L ⁻¹
DCO	700mgO ₂ .L ⁻¹	300 à 1000 mgO ₂ .L ⁻¹
MES	250mg.L ⁻¹	100 à 400 mg.L ⁻¹
NK	80mg.L ⁻¹	30 à 100mg.L ⁻¹
N-NH ₄	60mg.L ⁻¹	20 à 80 mg.L ⁻¹
N-NO ₂	Valeur voisine de 0	–
N ₆ NO ₃	Valeur voisine de 0	–
Phosphor total	35mg.L ⁻¹	10 à 45mg.L ⁻¹
Coliformes totaux	–	10 ⁶ à 10 ¹⁰ pour 100ml
Entérocoques	–	10 ⁵ à 10 ⁶ pour 100ml

I.2.3.3. Les eaux usées agricoles :

Elles renferment d'une part les effluents zootechniques (purin, lisier) et d'autre part, les eaux de ruissellement qui peuvent véhiculer des résidus de pesticides et de fertilisants.

(Radoux, 1995).

I.2.3.4. Les eaux pluviales :

Les eaux pluviales et de ruissellement sont pris en compte dans le cas où le système de collecte des eaux usées est unitaire, ceci lors du traitement en station d'épuration. Les eaux de pluie sont susceptibles d'entraîner les polluants atmosphériques et de contaminer par infiltration et ruissellement les eaux superficielles et souterraines. Les principaux polluants en cause sont le SO₂, l'azote et ses dérivés et les poussières. **(Radoux, 1995).**

I.2.3.5. Les matières de vidange :

Elles correspondent aux matières extraites de l'entretien des systèmes épuratoires individuels. Elles constituent un concentré de pollution domestique, leur évacuation et collecte font partie intégrante de l'assainissement. **[5].**

I.2.4. Impacts des eaux usées :

Les eaux usées ont des impacts sur les milieux aquatiques mais également sur la santé de l'homme.

I.2.4.1. Sur le milieu naturel:

Si Le réseau de collecte des eaux usées ne couvre pas l'ensemble de la population. Ce manque d'infrastructure a un impact non négligeable sur la qualité des milieux naturels. **[6].**

I.2.4.1.1. L'océan :

Lorsque les eaux usées sont rejetées dans la mer après un traitement insuffisant ou sans épuration, elles polluent les eaux de baignades. Ces sites sont contaminés par des bactéries, des virus et des parasites issus des eaux usées domestiques rejetées en mer sans traitement. Ces eaux peuvent transmettre à l'homme des maladies, en cas d'ingestion ou de contact. **[6].**

I.2.4.1.2. Eaux superficielles :

Il arrive que ces déchets soient déversés directement dans le milieu naturel. La présence excessive de phosphates, en particulier, favorise le phénomène d'eutrophisation, c'est-à-dire la prolifération d'algues qui diminue la quantité d'oxygène contenue dans l'eau et peut provoquer à terme la mort des poissons et des autres organismes aquatiques qui y vivent.

Les métaux lourds comme le mercure, le chrome et l'arsenic peuvent avoir des effets sur les espèces aquatiques les plus fragiles. Sous certaines conditions physico-chimiques, certains métaux lourds tel que mercure peuvent s'accumuler le long de la chaîne trophique et avoir un impact sur l'homme. Entre 1953 et 1960 à Minamata au Japon, 111 personnes sont mortes ou ont été gravement intoxiquées à la suite de l'absorption de poissons, mollusques et crustacés renfermant des taux élevés de mercure organique.

Actuellement, il n'existe pas de filière de valorisation pour les boues issues de l'assainissement, ainsi que les matières de vidanges de fosse septique. [6].

I.2.4.1.3. Eaux souterraines :

La qualité de l'eau des nappes phréatiques peut être dégradée par les eaux usées, si l'étanchéité de la station d'épuration ou de la lagune est défectueuse ou lorsque le système d'assainissement non collectif présente des dysfonctionnements. [6].

I.2.4.2. Sur la santé de l'Homme:

L'eau est un ressource naturelle indispensable à la vie, est aussi devenue, de manière directe ou indirecte, la première cause de mortalité et de maladie au monde. L'inégalité dans la répartition des ressources en eau associée à la dégradation de la qualité de l'eau engendrent de grands problèmes de santé. Ainsi, dans les pays en développement, 80 % des maladies sont dues à l'eau, un Africain sur deux souffre d'une maladie hydrique.

Par exemple la fièvre typhoïde est une maladie causée par les bactéries *Salmonella typhi*. La transmission peut se faire par:

- le contact direct avec une personne infectée.
- la consommation d'aliments contaminés par de l'eau souillée par des matières fécales.

- la consommation d'aliments contaminés, lors de leur préparation, par une personne malade (ou porteuse saine).

Bien que les nouveaux antibiotiques permettent des traitements plus courts, la résistance du virus aux antibiotiques progresse. Le contact prolongé avec les eaux usées, lors de baignades peut entraîner des infections au niveau de la peau, de la gorge, du nez et des oreilles. [6].

Introduction :

L'Algérie est confrontée à la rareté de l'eau due à l'insuffisance et à l'irrégularité des précipitations dans le temps et dans l'espace. Le climat chaud et sec qui sévit sur une grande partie du territoire réduit également les disponibilités de la ressource en eau. Cette dernière en Algérie est en moyenne de 500 M³/habitant/an. Cette valeur est très inférieure au seuil de rareté admis au niveau international qui est de 1000 M³/habitant/an.

Pour remédier à cette rareté de l'eau, la recherche de toute ressource alternative dont la réutilisation des eaux usées épurées s'avère une solution.

II.1. Réutilisation des eaux usées épurées dans le monde :

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

Le volume journalier actuel des eaux réutilisées dépasse le chiffre impressionnant de 1 millions de m³ par jour dans plusieurs pays, comme par exemple aux États Unis et en Chine. **(Lazarova et Brissaud, 2007).**

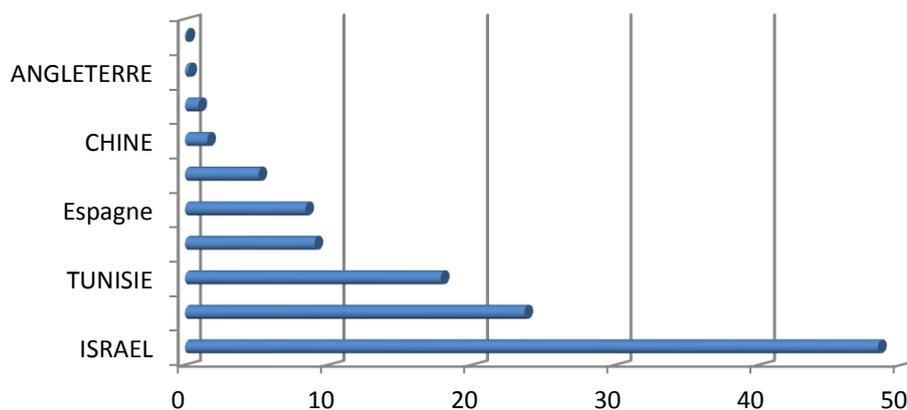


Figure 01 : Volume annuel des eaux usées recyclées par habitant.

(Lazarova et Brissaud, 2007).

II.2. Réutilisation des eaux usées épurées dans quelques pays méditerranéens :

La réutilisation des eaux usées devient un moyen important dans la lutte contre la pollution des milieux récepteurs, pour les régions arides et les régions au déficit temporaire en eau ces eaux deviennent une ressource alternative importante.

Le bassin méditerranéen est une région où la pénurie en eau est particulièrement ressentie. C'est aussi l'une des régions où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée. (ONA, 2014).

La figure 02 illustre les volumes d'eaux usées traitées et réutilisées dans cinq pays méditerranéens : Egypte, Liban, Maroc, Syrie et Tunisie.

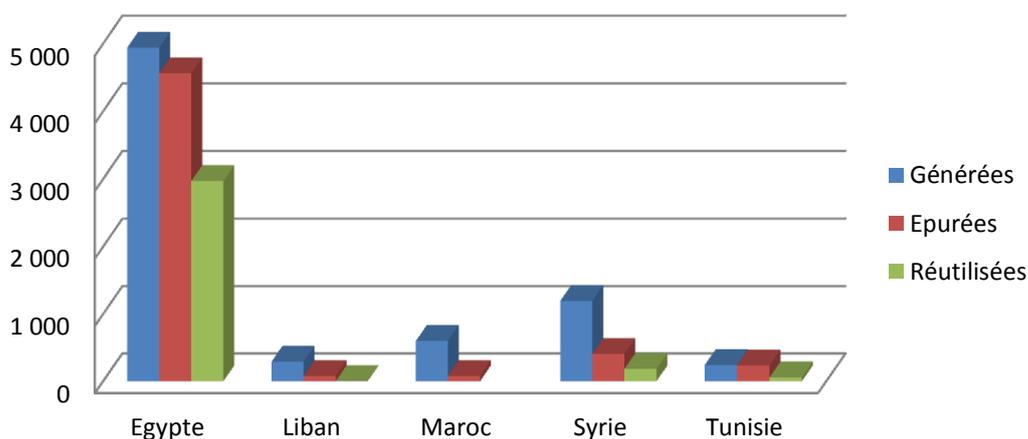


Figure 02 : Comparatif des quantités d'eaux usées Générées, Epurées et Réutilisées (ONA, 2014).

Seules l'Egypte et la Tunisie ont un réseau d'assainissement tel, qu'il permet le traitement respectif de 92% et 98% de toutes les eaux usées générées dans leurs STEP. Avec 13%, le Maroc occupe la dernière place, suivi par le Liban et la Syrie avec 26% et 34% (Voir Figure03).

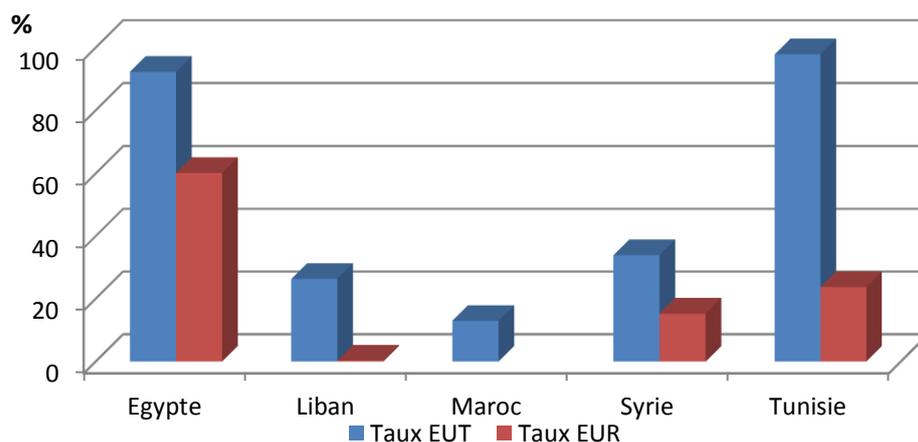


Figure 03 : Comparatif des taux des Eaux usées épurées et réutilisées (ONA, 2014).

Les quantités d'eaux usées réutilisées dans divers secteurs sont relativement faibles et n'excèdent pas 10 à 23% des eaux usées produites au niveau des cinq pays sont citées, une grande proportion des eaux usées générées sont rejetées dans le milieu naturel.

La figure 04 illustre les types de réutilisation des eaux usées en Tunisie :

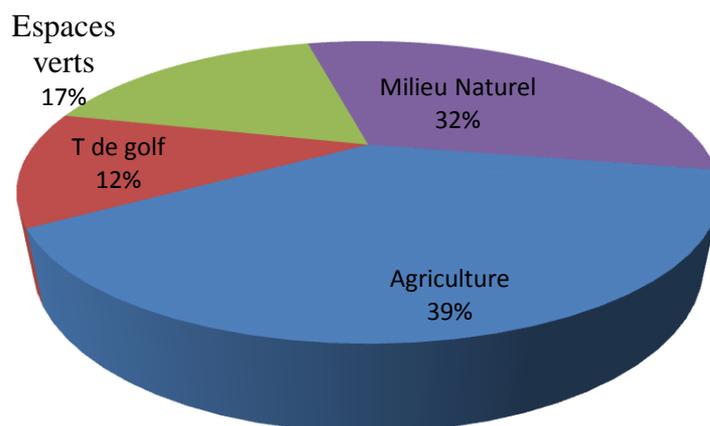


Figure 04 : Destinations des eaux usées épurées en Tunisie. (ONA, 2014).

II.3. Etat des lieux de la REUE en Algérie:

Malgré les différents domaines d'utilisation des eaux usées épurées, des quantités importantes sont rejetées dans la nature sans utilisation aucune. Le volume d'eaux usées

rejetées à l'échelle nationale est estimé actuellement à près de 750 millions de m³ et dépassera 1,5 milliards de m³ à l'horizon 20

Les efforts entrepris en Algérie en matière d'assainissement se sont d'abord concentrés sur le raccordement de la population urbaine sur un réseau de collecte des eaux usées, actuellement ils portent sur une politique de réalisation de stations d'épuration.

Vu l'importance des investissements pour la concrétisation de ce programme, des priorités ont été établies pour les agglomérations supérieures à 20 000 habitants jusqu'à l'horizon 2030.

Dans le cadre de cette politique générale arrêtée par l'Algérie en matière de protection des ressources en eaux plusieurs stations d'épuration ont été réalisées. En 2009, le nombre de STEP à travers le territoire national a atteint 102 STEP en exploitation. (Voir Figure 05), soit un total de 176 stations actuellement, a cela s'ajoute: 23 stations en cours d'étude dont 18 à boue activée et 5 stations type lagunage. (ONA, 2014)

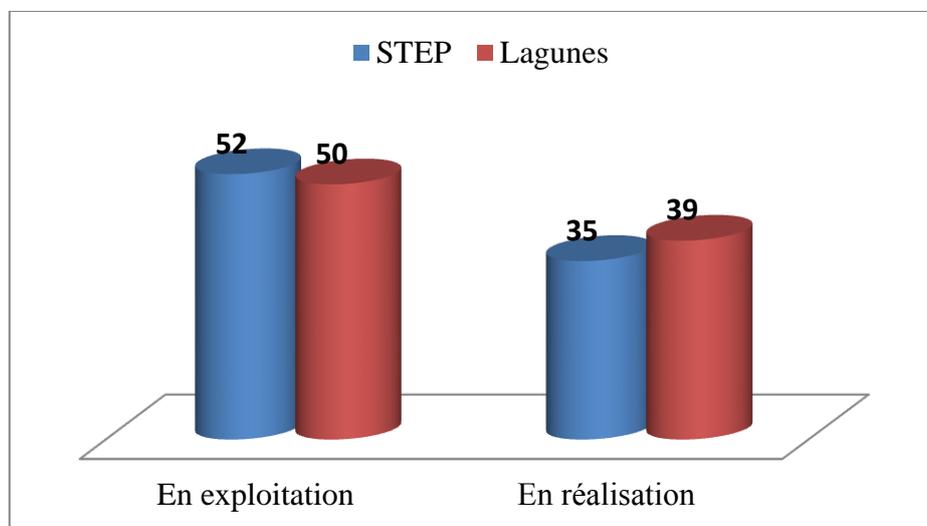


Figure 05: Nombre de stations d'épuration en Algérie. (ONA, 2014).

II.3.1. Evolution des volumes des eaux épurées à l'échelle nationale :

Le tiers des eaux usées produites annuellement en Algérie sont potentiellement réutilisables en irrigation, car proches de périmètres irrigués. (Hartani, 1998).

Les volumes des eaux usées collectées en 2004 sont de l'ordre de 504 HM³, soit 69% du volume total produit pour l'ensemble du pays (731 HM³/An). (ONA, 2014).

Comme présenté dans la figure (06), selon l'étude de TECSULT (Etude de REUE à des fins agricoles ou autres en Algérie), les volumes des eaux usées épurées subiront une

augmentation annuelle de plus de 23 HM³ alors que celle des eaux usées collectées sera d'environ 35 HM³/An.

Le taux d'épuration actuel passera de 40 % (2004) à 57% (2030). (Voir Figure 06).

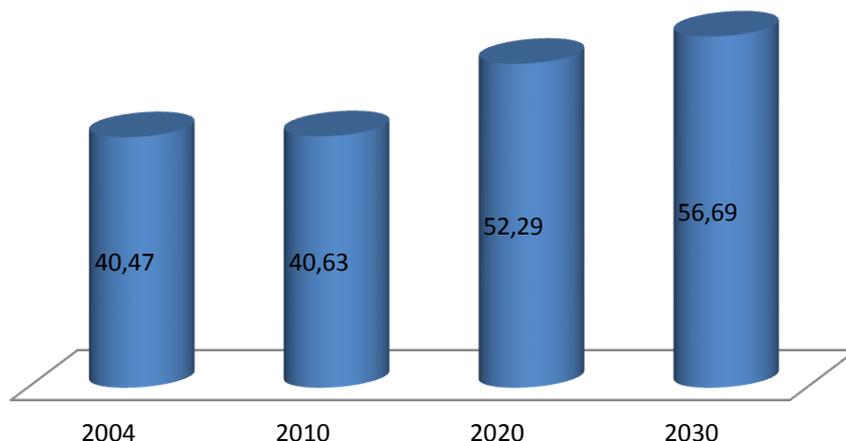


Figure 06 : Evolution des taux des EUE en Algérie (HM³/an). (ONA, 2014).

Les rejets à l'amont des barrages contribuent indirectement au remplissage des retenues et à la recharge des nappes, les EUE rejetées dans les chotts et la mer représentaient 77 % du volume total des EUE en 2004, cette ressource est considérée comme perdue et sa valorisation devra être priorisée (Voir Figure 07).

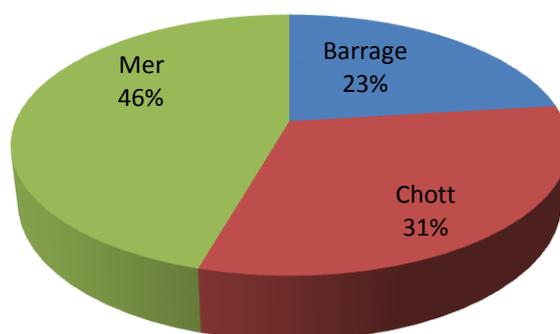


Figure 07: Rejets des EUE (HM³/an) par milieu récepteur. (ONA, 2014).

L'évolution des surfaces irrigables par les EUE à l'échelle nationale en supposant la faisabilité d'un stockage interannuel uniquement pour les STEP sises à l'amont de la mer et des chotts est illustrée par la Figure 07.

II.3.2. Les Facteurs influençant la REUE en Algérie :

Les facteurs de réussite déclinés lors de l'état des lieux de la REUE en irrigation dans quelques pays du monde sont les éléments d'évaluation de la situation en Algérie en matière de REUE, Le tableau (02) est une grille d'évaluation de ces facteurs de réussite en Algérie. (ONA, 2014).

Tableau 02: grille d'évaluation des facteurs de réussite de la REUE en Algérie. (ONA, 2014).

Les facteurs de réussite	Niveau de maîtrise
La volonté Politique.	
Cadre réglementaire.	
Cadre Institutionnel.	
Infrastructures d'assainissement.	
Niveau de développement des traitements de désinfection.	
Existence de laboratoires externes de contrôle.	
Acceptation sociale	
Formation, sensibilisation sur la REUE	

-  Facteur non maîtrisé.
-  Facteur moyennement maîtrisé.
-  Facteur Bien maîtrisé.

II.4. Les différentes réutilisations des eaux usées épurées :

On peut distinguer cinq catégories de réutilisation :

- réutilisation pour l'irrigation : cultures fourragères ou maraîchères, céréales, prairies, etc. ; (Voit Annexe 02).
- réutilisation industrielle : circuit de refroidissement, construction, papeteries, industries textiles, etc. ;
- réutilisation en zone urbaine : lutte contre l'incendie, lavage de voirie, recyclage des eaux usées d'un immeuble, arrosage de parcs, golfs, cimetières, etc. ;

- la production d'eau potable ;
- la recharge de nappe phréatique. (Attab, 2011).

II.4.1. Utilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles :

La réutilisation agricole des eaux épurées comme moyen d'économiser la ressource a donc été une des premières voies de développement des projets de réutilisation des eaux usées épurées.

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

(Attab, 2011).

II.4.2. Avantage des réutilisations des eaux usées épurées :

Pour les agriculteurs, l'incitation principale est le bénéfice attendu de l'utilisation des eaux usées en irrigation, ainsi qu'elle est une source fiable même en années de sécheresses.

(Metahri, 2012).

Les avantages peuvent brièvement récapitulés comme suit :

- économie d'eau claire ;
- économie de fertilisant ;
- accroissement de rendement ;
- protection de l'environnement ;
- création d'emplois.

II.4.3. Avis des consommateurs :

La perception du public des produits agricoles cultivés à l'eau usée traitée est en général négative, se basant la plupart du temps sur des thèmes liés à l'hygiène et à la santé, le manque

de confiance dans le contrôle public de la qualité ainsi qu'à une répulsion naturelle envers ces aliments ayant été potentiellement en contact avec des excréments humains, la conséquence est que les agriculteurs n'arrivent pas à vendre leur récolte, même si elle répond bien aux critères de qualité importants requis, rendant ceux-ci réticents à utiliser des eaux usées pour l'irrigation de leurs cultures.

Les convictions religieuses peuvent jouer un rôle important dans l'acceptation de la réutilisation des eaux usées traitées. Par exemple, dans la religion islamique, le Grand Conseil des Erudits Islamiques d'Arabie Saoudite a, en 1978, agréé la réutilisation des eaux usées traitées, après traitement approprié, pour toutes les fins. Toutefois, il a été quand même mentionné qu'il est préférable de ne pas boire d'eau provenant d'eaux usées traitées.

(ONA, 2014).

II.4.4. Valeur nutritive de l'eau usée traitée :

Les solides en suspension et les éléments colloïdaux et dissous présents dans l'eau usée contiennent des macro- et des micronutriments qui sont essentiels à la nutrition des plantes. Cependant, la teneur nutritive de l'eau usée peut excéder les besoins de la plante et constitue ainsi une source potentielle de pollution des eaux de nappe. Elle peut également poser des problèmes liés à un développement végétatif excessif, en retardant la maturité ou en réduisant la qualité des cultures irriguées. Il est donc nécessaire de considérer les nutriments présents dans l'effluent traité en tant qu'élément du programme global de fertilisation des cultures irriguées. À cet égard, l'analyse d'eau usée est requise au moins une fois au début de la saison culturale.

Les nutriments se trouvant en grandes quantités dans l'eau usée, et qui sont importants en agriculture et en gestion des paysages sont l'azote, le phosphore et parfois le potassium, le zinc, le bore et le soufre. D'autres macro- et micronutriments peuvent également être présents. En outre, la présence de matière organique dans l'eau usée peut, par son effet à long terme sur la fertilité du sol, contribuer également à la stabilité structurale du sol.

Pour certaines cultures, aucun engrais additionnel n'est nécessaire. Par contre, lorsque les engrais sont nécessaires, les eaux usées pourraient être la réponse pour obtenir un rendement élevé de bonne qualité. **(FAO, 2003).**

- ❖ **La teneur en azote** de l'eau usée urbaine après traitement secondaire varie de 20 à 60 mg/l. L'azote dans l'eau usée traitée peut dépasser les besoins des cultures. La connaissance de la concentration en N dans l'eau usée et la gestion appropriée de la

charge en NPK sont essentielles pour surmonter les problèmes associés à une éventuelle concentration élevée en N.

- ❖ **Le phosphore** dans l'eau usée après traitement secondaire varie de 6 à 15 mg/l (15-35 mg/l P₂O₅) à moins qu'un traitement tertiaire l'élimine. L'évaluation de P dans l'eau usée traitée devrait être réalisée en concomitance avec les analyses de sol pour les conseils de fumure.
- ❖ **Le potassium** contenu dans l'eau usée n'occasionne pas d'effet nuisible sur les plantes ou l'environnement. C'est un macronutriment essentiel qui affecte favorablement la fertilité du sol, le rendement des cultures et leur qualité. La concentration en K dans l'eau usée traitée secondaire varie de 10 à 30 mg/l (12-36 mg/l K₂O). Cette quantité doit être prise en compte pour préparer le programme de fertilisation en fonction des besoins des cultures.
- ❖ **Autres nutriments.** La plupart des eaux usées contiennent habituellement des concentrations adéquates en soufre, zinc, cuivre et autres micronutriments. Une attention particulière doit être portée au bore. L'eau usée traitée contient assez de bore pour corriger toutes les déficiences en cet élément. Cependant, lorsque cet élément se trouve en excès, il peut provoquer des problèmes phytotoxicité. (F.A.O, 2003).

II.4.6. Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation :

L'agriculture représente le plus gros consommateur des ressources en eau. Ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent, et leur contact éventuel avec des sources de pollution ont des caractéristiques très diversifiées.

De plus, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies, les agriculteurs, notamment dans les régions continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées. C'est ainsi que des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ont été établies.

Une eau est conforme à l'irrigation est une eau dont les caractéristiques respectent les valeurs limites imposées par des textes de lois et inscrites dans des tableaux de normes.

L'exemple du, tableau 03 donne les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (Bouaroudj, 2012).

Les normes varient selon les pays, mais dans la majorité des pays on fait référence, à Quelques exceptions près, aux cinq critères de qualité sont cités.

Tableau 03 : Barème de qualité pour l'eau d'irrigation (**Bouaroudj, 2012**).

Types de problèmes	Sévérité du problème		
	Aucune	légère	Elevée
Salinité	< 0.75	0.75-3.0	> 3
-Conductivité (mS/cm)	< 700	700-2000	>2000
-Matières dissoutes totales			
SAR (Sodium absorption Ratio)	< 3	3-9 >	> 9
Alcalinité ou dureté	80-120		>200
pH (risque de colmatage)	< 7	7-8	> 8
Fe mg/l (risque de colmatage)	< 0.2	0.2-1.5	> 1.5
Mn mg/l (risque de colmatage)	< 0.1	0.1-1.5	> 1.5

Les normes ont pour objectif de :

- protéger le public et les ouvriers agricoles ;
- protéger les consommateurs des produits agricoles ;
- protéger les ressources en eau superficielle et souterraine et les sols ;
- protéger le matériel d'irrigation ;
- maintenir des rendements acceptables. particulier dans les zones arides et semi-arides. (El-Asslouj *et al*, 2007).

II.4.7. Méthode d'irrigation avec les eaux usées épurées :

Les risques majeurs pouvant être engendrés par l'irrigation à partir des eaux usées épurées sont le risque de colmatage des systèmes d'irrigation ainsi que le risque sanitaire. Ces risques sont plus ou moins.

a/ Irrigation à la raie :

Technique pouvant être automatisée d'où la limitation du contact physique entre l'irrigant et les eaux. Le feuillage des plantes basses n'est pas mouillé, ce qui élimine les souillures et un certain nombre de maladies. (Fig. 08). (FAO, 2003).



Figure 08 : Irrigation à la raie automatisée. [07].

b/ L'irrigation par aspersion :

Dans le cas d'eau chargée, des problèmes peuvent se poser par suite de l'abrasion très rapide des buses d'aspersion. Les asperseurs sont peu sensibles au colmatage, néanmoins, un minimum de précautions doit être pris avec les buses de petit diamètre.

L'irrigation par aspersion entraîne le mouillage des feuilles et des fruits, donc, dans le cas d'utilisation d'eaux usées urbaines, risques de contamination par des microorganismes pathogènes elle entraîne aussi la production d'aérosols. ceux-ci, dispersés par le vent peuvent propager les germes pathogènes vers les voies de circulation et les habitants. (Fig. 09). (FAO, 2003).



Figure 09 : Irrigation par aspersion.[08].

c/ L'irrigation localisée :

Elle permet de limiter les risques sanitaires liés à l'irrigation à partir d'eaux usées, l'eau s'infiltré dans le sol aussitôt sortie du distributeur. L'eau ne rentre pas en contact avec les parties aériennes des plantes. Les risques de contamination ne concernent que la partie racinaire, la distribution n'est pas influencée par le vent.

Le colmatage le plus sérieux se produit avec l'irrigation goutte à goutte, qui est considérée comme le système idéal en ce qui concerne la protection sanitaire et la contamination des plantes, mais pourrait être difficilement utilisable si l'eau usée contient de fortes concentrations de MES. (FAO, 2003).



Figure 10 : Irrigation Localisée. [09].

d/ L'irrigation souterraine :

Prometteuse pour l'utilisation des eaux usées en irrigation, prévient les risques sanitaires, les eaux usées doivent être filtrées ou décantées afin d'éviter le colmatage des tuyaux enterrés. (FAO, 2003).

II.5. Qualité des eaux usées épurées dans d'irrigation :

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation présente un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation. [10].

On peut La déterminer par une analyse chimique au laboratoire. Les facteurs les plus importants pour déterminer la qualité requise de l'eau dans l'agriculture sont les suivants:

- **Salinité** : contenu total en sels solubles.
- **Sodium** : proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres.
- **Alcalinité et dureté** : concentration d'anions carbonate et bicarbonate en relation avec la concentration en calcium et en magnésium
- **Concentration en éléments qui peuvent être toxiques.**
- **pH.**

II.5.1. La teneur en sel dans l'eau d'irrigation :

L'excès de teneur en sel est l'un des soucis principaux avec l'eau utilisée pour l'irrigation. Une concentration élevée en sel dans l'eau ou dans les sols affectera négativement le rendement des récoltes, provoquera une dégradation des sols et une pollution des eaux souterraines.

L'utilisation d'une eau salée pour l'irrigation dépendra de plusieurs facteurs:

- La tolérance en sel de la récolte.
- Les caractéristiques du sol sous l'irrigation.
- Les conditions climatiques.
- Les procédures de gestion des sols et de l'eau.

En général, l'eau réutilisée pour l'irrigation doit avoir un degré faible ou moyen de salinité. (La conductivité électrique de 0.6 à 1.7 dS/m). (Voir tableau ci-dessous).

Tableau 04 : Degré de salinité pour une eau d'irrigation. [11].

Degré de salinité	TDS (ppm or mg/L)	dS/m or mmhos/cm
Nul	<500	<0.75
Légers	500-1000	0.75-1.5
Modéré	1000-2000	1.5-3.00
Sévère	>2000	>3.0

Une eau avec un taux modéré de salinité peut être utilisée si une filtration modérée est effectuée.

Une eau contenant un haut degré de salinité ($EC_i > 1.5$) et une grande quantité de sodium ($SAR > 6$) ne devrait pas être utilisée pour l'irrigation. Néanmoins, dans certains endroits en manque d'eau, l'eau très saline peut être utilisée en tant que supplément pour d'autres sources. Un bon contrôle et une bonne gestion deviennent alors essentiels.

Si l'eau avec un très haut degré de salinité est utilisée (circonstance extrême de manque d'eau) le sol doit être perméable, le drainage doit être suffisant, l'eau doit être en excès pour fournir une meilleure lixiviation et les récoltes doivent être bien choisies (relativement résistante à la salinité). [11].

II.5. 2. Risque du sodium pour l'eau d'irrigation :

Une grande quantité d'ions sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Ceci est dû au fait que le sodium présent dans le sol en forme échangeable remplace les calcium et les magnésium adsorbés sur les argiles de sol et cause la dispersion des particules dans le sol (c.-à-d. si le calcium et le magnésium sont les cations prédominants adsorbés sur le complexe d'échange du sol, le sol tend à être facilement cultivé et a une structure perméable et granulaire).

Cette dispersion a comme conséquence l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air, affectant ainsi sa structure.

Ce problème est également relié avec plusieurs facteurs tels que le taux de salinité (voir ci-dessous) et le type de sol. Par exemple les sols sableux ne subiront pas de dommage si facilement en comparaison aux plus lourds quand ils sont irrigués avec de l'eau à haut SAR. [12].

II.5.3. Le rapport d'adsorption du sodium (SAR) :

L'index utilisé est le rapport d'adsorption du sodium (SAR) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium. [12].

Le SAR est défini par l'équation suivante :

$$SAR = \frac{cNa}{\sqrt{\frac{(cCa + cMg)}{2}}}$$

C: concentration en ion en mol/m³.

Na: Sodium.

Ca: Calcium.

Mg: Magnesium.

Si les unités sont en meq/L, la somme de C_{Ca} + de C_{Mg} doit être divisée par deux avant de prendre la racine carrée.

Tableau 05 : Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation. [12].

SAR		Notes
Nul	< 3.0	Pas de restriction sur l'utilisation d'eau
Léger à modéré	3.0 - 9.0	Entre 3 et 6, une attention particulière doit être portée sur les récoltes sensibles. Entre 6 et 8 du gypse doit être utilisé. Récoltes non sensibles. Des échantillons de sol doivent être prélevés et examinés tout les 1 ou 2 jours pour déterminer s'il y a une augmentation des teneurs en Sodium.
Elevé	> 9.0	Domage sévère.

La valeur du SAR (SAR ajusté) peut être calculée pour l'eau contenant de forte teneur en carbonate et bicarbonate. Par exemple, quand l'eau d'irrigation contient de la chaux libre (sol calcaire). De forte teneur en carbonate et bicarbonate dans l'eau peut causer la précipitation du calcium et du magnésium et augmenter la concentration relative en sodium (augmentant l'indice SAR). [12].

Notre travail a été réalisé au niveau du laboratoire de la Station d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma, où on a effectué notre stage pendant une période de trente jours allant du 16/02/2014 au 17/03/2014.

Le présent chapitre comporte la situation géographique de la STEP de Guelma, ainsi que les différents procédés d'épuration depuis l'entrée jusqu'à ce que cette eau soit rejetée dans la nature.

III.1 Situation géographique de la STEP Guelma :

III.1.1 Localisation :

La STEP de Guelma est située sur la route nationale 21 (RN21), pont Héliopolis près d'oued Seybouse. Elle est fonctionnelle depuis le 18 Février 2008 à raison de traiter d'environ : 32000 m³/jour au temps sec et 43000 m³/jour au temps pluie.



Figure 11 : Photo aérienne de la STEP Guelma. (Google Earth, 2011).

III.1.2 Emplacement et accès :

La station est implantée sur un terrain agricole de 08 Hectares à (01) kilomètre environ au nord de la ville de Guelma, sur le flanc droit de la vallée développée par oued SEYBOUSE, et sans habitations existantes à la proximité.

Elle est alimentée par 02 conduites de refoulement, l'une en diamètre 700 en provenance du premier poste de refoulement SP1 (OUED MAIZ) avec un débit de 1575m³ /h, l'autre en

diamètre 500 en provenance du second poste de refoulement SP2 (OUED SKHOUNE) son débit est de 1125m³/h. (STEP Guelma, 2008).

III.2. Nature du réseau :

Les eaux usées domestiques de la ville de Guelma sont collectées gravitairement sur 02 bassins versant par un ensemble de réseaux d'assainissement existant. Les 02 tronçons gravitaires rejoignent chacun le point bas (ou il y'a les 02 poste de refoulement).

Le réseau d'assainissement est du type unitaire (c'est-à-dire; englobe tout en même temps; les égouts, les rejets individuels...etc.).(Allel et al, 2013).

III.3. Charges Hydrauliques et Polluantes

Les différents nombres de charges à retenir sont mentionnés sur les tableaux 06 et 07.

Tableau 06. Charges polluantes. (STEP Guelma, 2008).

Paramètres	Charge première Phase	
	Perspective 2014	
	KG/J	MG/L
DBO	10 800	338
DCO	16 000	500
MES	14 000	438

Tableau 07. Charges hydrauliques. (STEP de Guelma, 2008).

	Volume Journalier Eaux Usées (m ³ /j)	Volume maxi journalier temps pluie (m ³ /j)	Débit moyen temps sec (m ³ /j)	Débit moyen temps pluie (m ³ /j)	Débit de pointe temps sec (m ³ /j)	Débit de pointe temps pluie (m ³ /j)
Charge Première Phase Perspective 2014	32 000	43 388	1333	1807	2091	4182

-Notons qu'il existe une différence entre le débit maximum relevé par les 02 postes de refoulement (2700m³/h) et la capacité maximale de la station d'épuration par temps de pluie (4182m³/h).

La capacité des postes de refoulement cité dans les tableaux suivants (Tab.08 et 09).

Tableau. 08. Station: SP1 (STEP Guelma, 2008).

Débit Global	1125	m ³ /h
HMT Global	27	m ³ /h

Tableau 9. Station: SP2 (STEP Guelma, 2008).

Débit Global	1575	m ³ /h
HMT Global	59	M

III.4 Point de rejet (l'eau épurée) :

Le rejet est réalisé dans l'Oued SEYBOUSE situé en contre bas de la station d'épuration à 331 m de distance, les effluents sont acheminés jusqu'à l'Oued par une canalisation de rejet.

III.5 Les différents procédés de traitement :

L'objectif principal du traitement est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement.

Les eaux usées contiennent des matières minérales et organiques en suspension et en solution, ainsi qu'un certain nombre de déchets divers (végétaux, plastiques, ...).

L'épuration consiste à éliminer ces différents éléments de l'eau qui les contient, afin d'obtenir une eau traitée conforme aux normes de rejet. [13].

A la sortie des égouts, les eaux usées urbaines de la ville de Guelma sont épurées directement dans la station d'épuration, une série de traitement primaires permettent d'éliminer rapidement les déchets les plus grossiers mais aussi les sables, les graisses, et des matières en suspension. Ensuite un traitement biologique permet d'éliminer le reste de la pollution. (STEP Guelma, 2008).

III.5.1 Prétraitements et élimination des sous-produits :

Le prétraitement a pour objectif de séparer les matières les plus grossières et les éléments susceptibles de gêner les étapes ultérieures du traitement.

Il comprend quatre principaux modes de traitement des eaux usées : le dégrillage, pour retenir les déchets volumineux, le dessablage, pour obtenir une meilleure décantation et éviter l'abrasion des équipements, le dégraissage et le déshuilage, pour éviter l'encrassement de la station par des corps gras. [14].

III.5.1.1 Le dégrillage:

Consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille dont les barreaux plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus gros tel que chiffons étoupes, fragments de bois, etc....susceptibles de provoquer, lors de la séparation de l'évacuation et du traitement des boues, ou dans le fonctionnement des pompes dans les tuyauteries et les vannes, des difficultés d'exploitations.(Azouzzi, 2010).

Après nettoyage des grilles par des moyens mécaniques, manuels ou automatiques, les déchets sont évacués avec les ordures ménagères. Le tamisage, qui utilise des grilles de plus faible espacement, peut parfois compléter cette phase du prétraitement.

III.5.1.2 Le dessablage et le déshuilage dégraissage :

Consistent à faire passer l'eau dans des bassins où la réduction de vitesse d'écoulement fait déposer les sables et flotter les graisses. L'injection des microbulles d'air permet

d'accélérer la flottation des graisses. Les sables sont récupérés par pompage alors que les graisses sont raclées en surface. (Karaali et al., 2008).



Figure 12 : Bassins de dessablage, déshuilage et dégraissage.

(STEP Guelma, 2008).

III.5.2 Traitement primaire :

Son objectif est d'éliminer les particules dont la densité est supérieure à celle de l'eau par graviter. La vitesse de décantation est en fonction de la vitesse de chute des particules, qui elle-même est en fonction de divers autres paramètres parmi lesquels : grosseur et densité des particules. (Karaali et all, 2008).

La décantation classique est possible lorsque les eaux prétraitées séjournent en eaux calmes dans le bassin de décantation primaire (Fig. 13). Les matières en suspension, organiques ou non, se déposent dans le fond du bassin simplement par gravité. Elles y sont raclées et évacuées formant ainsi les boues primaires.



Figure 13: Décanteur primaire. (STEP Guelma, 2008).

III.5.3 Traitement secondaire :

La dégradation est assurée par voie biologique aérobie à l'aide d'une biomasse épuratrice, elle est constituée des micro-organismes de petite taille, inférieure au millimètre.

Ce principe naturel de floculation permet de séparer l'eau traitée de la biomasse par simple décantation et de recycler une partie de la masse active vers le réacteur biologique pour maintenir une activité biologique optimale.

Dans le cas des eaux usées urbaines, on favorise le développement de bactéries aérobies, c'est-à-dire, qui utilisent l'oxygène pour se développer. (Karaali et al., 2008).

Il comporte deux étapes principales :

III.5.3.1. Un traitement biologique :

Le traitement biologique se déroule au niveau de bassin d'aération et comporte :

➤ **Élimination de Carbone:**

Pour l'élimination du carbone dans les effluents la voie aérobie est utilisée car l'oxygène est associé aux réactions de dégradation et elles s'instaurent spontanément dans les eaux suffisamment aérées. Le carbone organique se retrouve sous forme de CO_2 et de biomasse.

Après la dégradation des matières organiques la cellule passe par différentes phases de croissance et décroissance. Mais la croissance bactérienne nécessite la présence d'autres éléments nutritifs en particulier l'azote et le phosphore contenus dans les effluents et dont l'élimination est également nécessaire. [14].



Figure14 : Bassin de traitement biologique. (STEP Guelma, 2008).

III.5.3.2. Une décantation secondaire :

Une décantation permet de recueillir sous forme de boues les matières agglomérées par les bactéries. (Les boues, plus denses que l'eau, tombent au fond du bassin où elles sont raclées).

Un clarificateur permet de séparer par décantation l'eau épurée et les boues obtenues lors des traitements de dépollution (boue secondaire). L'eau clarifiée se situant à la surface du décanteur est ensuite dirigée vers un filtre. [14].



Figure 15. Bassin de clarification. (STEP Guelma, 2008).

III.5.6 Le traitement tertiaire :

On fait appel aux traitements tertiaires lorsqu'il est nécessaire d'assurer une protection complémentaire du milieu récepteur (rejet à proximité d'une prise d'eau potable) ou en raison d'une réutilisation de l'eau en industrie ou en agriculture.

Les traitements tertiaires qui s'ajoutent aux traitements primaires et secondaires sont très nombreux et dépendent de l'usage qu'on fera de l'eau traitée. (Debbabi, 2013).

-Élimination de l'azote :

Les eaux résiduaires contiennent différents composés azotés : protéines, urée et produits de décomposition ainsi que de l'azote sous forme minérale. Son élimination biologique se réalise en deux étapes qui sont chronologiquement la nitrification et la dénitrification.

Parallèlement une partie de l'azote est utilisée pour la synthèse bactérienne par assimilation.

La nitrification consiste en l'oxydation de l'azote organique sous forme d'un ammoniac (NH_4^+) en nitrite (NO_2^-) puis en nitrate (NO_3^-) par l'intermédiaire de micro - organismes autotrophes :



Ces bactéries autotrophes utilisent le carbone minéral pour constituer leurs cellules, elles peuvent effectuer une synthèse. Mais leur taux de croissance est moins rapide que celui des bactéries dégradant la pollution carbonée. **(Karaali et al., 2008).**

Pour la dénitrification les bactéries ont besoin d'un environnement très pauvre en oxygène. L'arrêt des aérateurs ne permet pas à lui seul d'atteindre cet objectif, c'est en fait la surconsommation d'oxygène par les bactéries présentes dans le milieu qui engendre un environnement presque totalement anoxie.

Il s'agit donc d'une dénitrification combinée, qui utilise simplement comme substrat exogène l'eau d'égout elle-même. La cinétique est lente et la dénitrification n'est pas complète. Ce système profite de la recirculation des boues activées pour maintenir une teneur en substrat suffisante. **(Karaali et al., 2008).**

-Élimination de phosphore:

Le principe de la déphosphatation biologique consiste en une suraccumulation de phosphore dans la biomasse. Si des teneurs de 2 à 3 % en phosphore dans les boues sont obtenues sous des conditions normales et correspondent aux besoins des bactéries, le mécanisme de suraccumulation nécessite de placer la biomasse alternativement en phase anaérobie et aérobie.

En phase anaérobie des bactéries acétogènes anaérobies facultatives utilisent le carbone organique pour produire de l'acétate. Celui-ci est réutilisé par d'autres bactéries aérobies qui ne peuvent utiliser qu'une gamme de substrats plutôt limitées. Elles stockent celui-ci et l'énergie utilisée pour ce stockage provient de l'hydrolyse du polyphosphate ce qui explique la phase de relargage de phosphate dans le milieu.

La succession de phases anaérobies - aérobies, on peut obtenir une accumulation progressive du phosphore dans ces micro - organismes jusqu'à des valeurs pouvant atteindre 10 % de leur poids sec. **(Karaali et al., 2008).**

L'élimination du phosphore peut être réalisée par un traitement chimique par l'utilisation des réactifs chimiques qui précipitent le phosphore, par exemple, la chaux (CaO), les sels d'aluminium et de fer.

-Élimination des germes pathogènes (chloration):

-Débit à traiter : 2,180m³/h.

-Dose de chlore : 05mg/l.

-Choix de l'oxydant : NaClO.

-Concentration en chlore actif : 138g/l.

-Degré chromométrique solution utilisée : 12%.

La chloration se fait dans un bassin à l'aide d'hypochlorite de calcium équipée de chicane pour permettre un temps de contact suffisant. (Fig.16).

III.5.7 Traitement des boues:

Le traitement des boues est défini comme l'ensemble des opérations visant à modifier les caractéristiques des boues en excès à fin de rendre leur destination finale fiable et sans nuisance. (Karaali et al., 2008).

On distingue trois grands types de traitement :

1-des traitements de stabilisation, de type biologique, chimique ou thermique. Dont l'objectif est de réduire la fermentescibilité des boues pour atténuer ou supprimer les mauvaises odeurs.



Figure 16. Bassin de désinfection. (STEP Guelma, 2008).

2- des traitements de réduction de la teneur en eau des boues, visant à diminuer la quantité de boues à stocker et à épandre, ou améliorer leurs caractéristiques physiques par:

- L'épaississement vise à augmenter la siccité (teneur en matière sèche) des boues sans pour autant modifier le caractère liquide de la boue. qui peut se faire simplement par voie gravitaire dans un concentrateur ou par des moyens mécaniques (égouttage, flottation ou centrifugation).
- La déshydratation, qui correspond en fait à une augmentation forte de siccité, modifie l'état physique des boues, celles-ci passant de l'état liquide à l'état pâteux ou solide.
- Le séchage élimine en grande partie ou en totalité l'eau par évaporation, soit par voie naturelle (lits de séchage), soit par voie thermique. (Fig.17).



Figure 17. Lits de séchages. (STEP Guelma, 2008).

La partie pratique de ce travail a été réalisée au niveau du laboratoire de la STEP Guelma, pour cela nous montrons dans ce chapitre les différentes méthodes ainsi que les différents matériels utilisés.

IV.1. Méthodes et Points de prélèvements :

IV.1.1. Méthode de prélèvements :

Pendant le prélèvement, la température de l'eau, la conductivité électrique, le pH et l'oxygène dissous ont été mesurés in situ.

Les échantillons d'eau ont été prélevés à l'aide des bouteilles en plastique préalablement

rincées avec l'eau de la station. Ils ont été ensuite conservés à une température de 4 c°, puis ont été analysés dans les 24 heures.

Les méthodes d'analyses sont celles préconisées par les normes Rodier(2009).

IV.1.2. Point de prélèvement :

Pour le suivi des paramètres physico-chimiques des eaux usées épurées de la station d'épuration deux prélèvements ont été effectués pendant les mois de février et mars. Ces prélèvements comportent deux échantillons réalisés à l'entrée et à la sortie de la STEP.

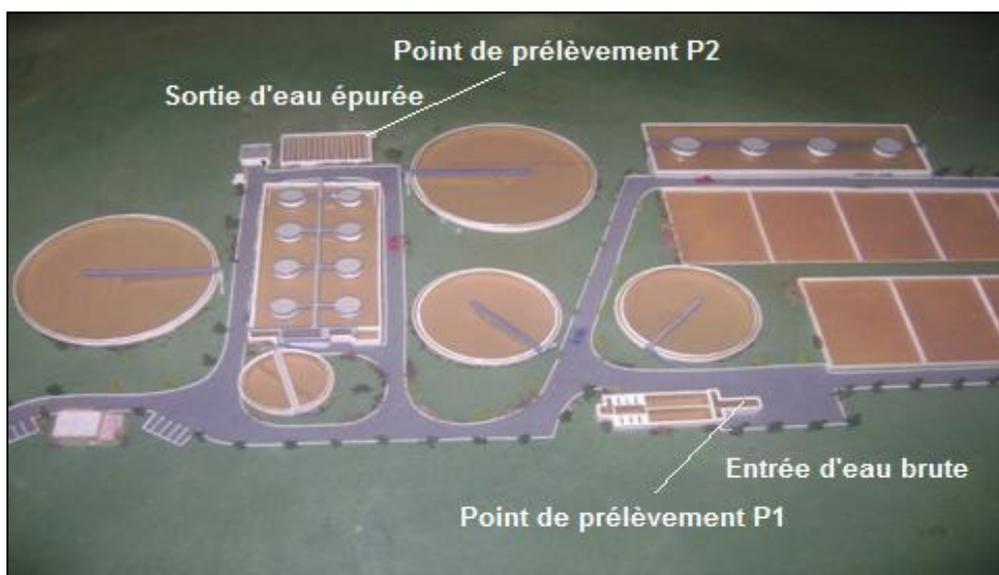


Figure.18. Points de prélèvement d'eau. (STEP Guelma, 2008).

IV.2. Analyses et modes opératoires :

Les analyses doivent être faites le plus tôt possible après le prélèvement pour permettre d'avoir des résultats représentatifs. Elles regroupent la mesure des paramètres in situ ainsi que des paramètres au laboratoire.

IV.2.1. Mesure in situ :

Un certain nombre de paramètre physicochimique de l'eau ne peuvent être mesurés que sur terrain car les valeurs peuvent évoluer très rapidement dans les échantillons prélevés. Ce sont principalement : la température de l'eau, pH et la conductivité.

IV.2.1.1 La température :

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, en effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout du gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges. (Rodier, 2009).

La température influence aussi directement la réaction de dissolution de l'oxygène dans l'eau c'est à dire plus l'eau est froide plus la dissolution est importante. (Allel *et al.*, 2013).

* Principe

Les mesures de la température de l'eau sur le lieu de prélèvement de l'échantillon sont une partie intégrante du traitement des eaux.

* Appareillage

La température est mesurée au même temps avec le pH par le pH mètre.

IV.2.1.2 Potentiel hydrogène (pH) :

Le pH est un facteur physique qui participe au même titre que la conductivité, l'alcalinité, la température à la répartition des organismes dans les écosystèmes aquatiques. Ainsi pour une reproduction piscicole acceptable, le pH doit être compris entre 6,5 et 8,5. (Allel *et al.*, 2013).

*** Appareillage:**

- pH mètre à électrode.

***Mode opératoire :**

- Rincer l'électrode d'abord avec de l'eau distillée, immerger l'électrode dans l'échantillon et faire la lecture après la stabilisation de pH au pH mètre.

IV.2.1.3 La conductivité électrique (CE) :

Tout eau est plus ou moins conductrice du courant électrique, elle est due a la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique, elle dépend de la nature de ces ions et de leur concentration.

La conductivité électrique d'une eau augmente avec la température, car la mobilité des ions augmentent avec elle. **(Rodier, 2009).**

***Principe :**

La mesure est basée sur le principe d'utilisation d'un appareil spécifique qu'on nome ; conductimètre à électrodes.

***Appareillage :**

- Conductimètre à électrodes.

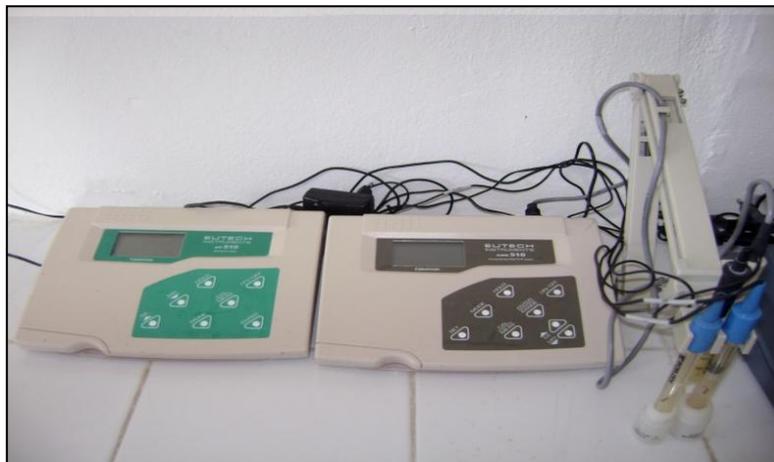


Figure.19. pH mètre, conductimètre. **(STEP Guelma, 2008).**

***Mode opératoire :**

- Rincer plusieurs fois l'électrode de l'appareil d'abord avec de l'eau distillée.
- plonger l'électrode dans le récipient qui contient l'eau à examiner en prenant soin que l'électrode soit complètement immergée.

IV.2.2. Mesure au laboratoire :**IV.2.2.1. La demande biochimique en oxygène DBO :**

Elle exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder par voie biologique, (Par les bactéries normalement présentes dans les eaux) les matières organiques de l'eau. L'oxydation complète des matières organiques nécessite de 21 à 28 jours, mais la mesure de la DBO est limitée à 5 jours (DBO_5), car au-delà, débute le processus aérobie de nitrification (Oxydation des matières azotées).

La DBO_5 est également exprimée en mg/l d'oxygène, il s'agit donc d'une consommation partielle de dioxygène par voie biologique.

Ce paramètre consiste un bon indicateur de la teneur en matière organique biodégradable d'une eau au cours des procédés d'autoépuration. (**Rejsek, 2002**).

*** Principe d'analyse**

La DBO est mesurée au bout de 5 jours à 20°C (T° favorable à l'activité des microorganismes consommateurs d'oxygène) et à l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse parasite).

Deux échantillons sont nécessaires ; le 1^{er} sert à la mesure de la concentration initiale en O_2 , et le second à la mesure de la concentration résiduaire en O_2 au bout de 5 jours. La DBO_5 est la différence entre les 02 concentrations.

Les mesures seront effectuées sur un même volume et le second échantillon sera conservé 5 jours à l'obscurité et à 20°C.

En effet une eau abandonnée à elle-même dans un flacon fermé consommera rapidement le dioxygène dissous. (**Karaali et al., 2008**).

- L'eau pure ne consomme effectivement pas d'oxygène.

*** Matériel :**

- Oxymètre
- Agitateur magnétique.

- Aérateur.
- Flacon.
- Eau ultra pure pour la dilution. (Fig.21).

*** Protocole opératoire :**

A. Préparation de l'eau de dilution :

- Mettre la vielle de prélèvement, dans un récipient de 10l de l'eau du robinet dans la quelle on plonge pendant 24h un aérateur pour la saturation en O₂ laisser reposer 12h.
- Le facteur de dilution pour une eau usée et de 50 à 100 (DBO moyen = 300mg/l) pour un effluent domestique. (Rejsek, 2002).

B. Préparation des flacons de mesure :

- Verser dans le flacon un peu d'eau de dilution puis la quantité prévue d'échantillon puis remplir le reste du flacon avec de l'eau de dilution.
- Fermer le flacon sans y laisser d'air pénétrer.
- Faire ainsi 2 flacons identiques.



Figure.20 : L'installation pour mesurer la DBO₅. (STEP Guelma, 2008).

C. Mesure de temps:

- Doser l'O₂ dissous dans 1 flacon d'échantillon dilué (T° en mg/l).

d. Incubation :

- Placer les 02 flacons restant à l'étuve 20°C et à l'obscurité pendant 5jours.

E. Mesure au temps 5jours :

- Doser l'O₂ dans le flacon d'échantillon dilué pestant (T₅ en mg/l). (Rejsek, 2002).

***Résultat :**

La lecture se fait comme suit :

$$DBO = F (T_0 - T_5).$$

IV.2.2.2. Les matières en suspension MES :

Les matières en suspension associées aux substances dissoutes sont à l'origine de la turbidité des eaux usées. La détermination des M.E.S. est essentielle pour évaluer la répartition entre la pollution dissoute et la pollution sédimentable dont le devenir est pris en compte dans un système d'épuration.

Ces matières sont en relation avec la turbidité, leur mesure donne une première indication sur la teneur en matière colloïdale d'origine minérale ou organique.

(Karaali *et al*, 2008).

La mesure des MES permet d'apprécier la charge solide en suspension d'une eau naturelle ou résiduaire. **(Rejsek, 2002).**

***Principe d'analyse :**

On évalue le poids sec du résidu, obtenu par filtration de l'échantillon d'eau après passage à l'étuve à 105°C. (Fig.22 et 23).

***Matériels :**

-dispositif de filtration (trompe à eau, fiole et entonnoir de filtration).

-disque filtrant en fibre.

-Etuve à 105°C.

-balance de précision. **(Rejsek, 2002).**

-dessiccateur.

***Protocole opératoire :**

** préparation des filtres :*

-On lave les filtres à l'eau distillée, et après on les sèche à l'étuve (pendant une heure à 105°C), ensuite on les place en attente dans le dessiccateur. **(Karaali et al., 2008).**

*** La méthode :**

-On prend le filtre et on le pèse et on marque le poids comme M_0 mg.

-Ensuite on place le disque dans l'appareil de filtration et on met en route le système d'aspiration.

-On verse progressivement le volume d'eau (1000ml) à analyser sur le disque filtrant.

-On met le disque dans l'étuve pendant 1h à 105°C.

-On laisse le filtre refroidir au dessiccateur.

-Après on pèse le filtre et on marque le poids comme M_1 . **(Rejsek, 2002).**

***Résultat :**

-La lecture se fait comme suit:

$MES = M_1 - M_0 / 1000$ (mg/l). **(Rodier, 2009).**



Figure. 21: Dessiccateur. **(STEP Guelma, 2008).**



Figure. 22 : Filtre à pompe. (STEP Guelma, 2008).

IV.2.2.3. La demande chimique en oxygène DCO :

La demande chimique en oxygène qui correspond à la quantité d'oxygène (en milligramme) qui a été consommée par voie chimique pour oxyder l'ensemble des matières oxydables présentes dans l'eau. La DCO est particulièrement indiquée pour mesurer la pollution d'un effluent industriel. (Rodier ,2009).

*Principe :

Cette détermination comprend deux étapes:

**Etape 01: oxydation chimique des matières réductrices contenues dans l'eau, par excès de dichromate de potassium.*

Cette oxydation se réalise en milieu sulfurique (H₂SO₄), en présence de sulfate d'argent (Ag₂SO₄) à ébullition à reflux pendant 2h dans un ballon ou dans un tube muni d'un réfrigérant.

Les conditions d'oxydation à chaud et en milieu sulfurique permettent également d'oxyder de nombreux constituants organiques .et elle permet aussi l'oxydation de constituants minéraux réduits comme les sulfures, les sulfites, chlorures et...etc.

Dans le cas de chlorures :



**Etape02: dosage de l'excès de dichromate de potassium par le sel de mohr après refroidissement.*

La fin du dosage est détecté par la ferroïne indicateur redox .sa forme oxydée est de couleur bleu-vert en présence de l'oxydant et la première goutte de sel de mohr en excès entraîne un changement de coloration de la ferroïne qui devient rouge brique (forme réduite). **(Rodier, 2009).**

Selon la réaction suivante:



*** Domaine d'application :**

Cette norme est applicable pour toutes les eaux dont la DCO est supérieure à 30mg/l et la valeur maximale de la DCO pouvant être déterminée dans les conditions de la norme et sans dilution est de 700mg/l. **(Rejsek, 2002).**

***Matériel**

A. Etalonnage de la solution de sel de mohr a environ 0.12mol/l.

La solution de sel de mohr s'oxyde facilement d'où la nécessité de la titrer quotidiennement.

- prélever 5ml de solution de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ à 0.040mol/l et diluer à 100ml avec H_2SO_4 à 4mol/l.
- titrer avec la solution de sel de mohr en présence de 2à3 gouttes de ferroïne.
- déterminer la concentration molaire du sel de mohr à partir des équations des réactions.

B. Préparation de l'essai :

- Avant le prélèvement de la prise d'essai .l'échantillon doit être soigneusement homogénéisé par agitation du flacon.

- Dans un tube à fond plat de DCO introduire:

- 10ml d'eau à analyser.
- 5ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

Si la valeur de la DCO est supposée excéder 700mg/l, procéder à une dilution de manière à obtenir une valeur comprise entre 350 et 700mg/l.

-Ajouter quelques granules régulateurs d'ébullition et homogénéiser.

-Ajouter lentement et avec précaution 15ml d'acide sulfurique-sulfate d'argent en agitant soigneusement le tube et en le refroidissant sous un courant d'eau froid ou dans un bain de glace de façon à éviter toute perte de substance organique volatiles. **(Rejsek, 2002).**

IV.2.2.4. Titre Alcalimétrique simple et complet (TA et TAC) :

***Principe :**

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'une eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

***Réactif :**

-Acide chlorhydrique ou sulfurique N/50.

-Solution de phénolphtaléine dans l'alcool à 0.5

-Solution de méthylorange à 0.5

-Eau permutésexempte d'anhydrique carbonique libre (par ébullition de 15 min).

***Mode opératoire :**

***TA :**

-100ml d'eau à analyser.

-02 à 03 gouttes de phénolphtaléine.

-Si une coloration rose apparaît titrer avec l' H_2SO_4 (N/50) jusqu'à la disparition de couleur.

- Si la couleur n'apparaît pas TA=0. (pH< 8.3).

***TAC :**

-100ml d'eau à analyser.

-02 à 03 gouttes de méthylorange.

-Titrer par l' H_2SO_4 (N/50) jusqu'au virage rouge orange.

IV.2.2.5 Dosage du Magnésium (Mg^{+2}) :***Réactif :**

- Solution d'EDTA (N/50).
- NH_4OH à pH =10.
- Noir ériochrome T.

*** Mode opératoire :**

Introduire 50ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer au col large. Ajouter 02 ml d' NH_4OH à pH =10 et une pûsée de Noir ériochrome T.
Titrer par EDTA (N/50) jusqu'au virage de la couleur bleu (V_2).

IV.2.2.6. Dosage de calcium:

Le calcium (Ca^{++}) est un élément que l'on retrouve abondamment dans le sol et la roche. Le calcium et le magnésium, principaux éléments qui contribuent à la dureté d'une eau. (Anonyme, 2008).

***Mode opératoire :**

- Dans un flacon, introduire 10 ml d'échantillon et 40 ml d'eau distillée.
- Ajouter 2 ml NaOH, 0.02gd'indicateur coloré (Murexide $C_8H_8N_6O_6$).
- Titrer par l'EDTA jusqu'à disparition de la coloration rose foncée et apparition de la couleur violète.
- Effectuer la lecture à la longueur d'onde de 422,7 nm.

IV.2.2.7. Dosage des chlorures (Méthode de Mohr) :***Principe :**

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent. (Rejsek, 2002).

***Réactif :**

- acide nitrique pur.
- carbonate de calcium pur.
- solution de nitrate d'argent 0.1 N.
- chromate de potassium (K_2CrO_4).

***Mode opératoire :**

Introduire 100 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml. Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur, puis une pincée de carbonate de chaux et 3 gouttes de solution de chromate de potassium, verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre.

IV.2.2.8. Dosage de sulfate (SO_4^-) méthode photométrique :

Le sulfate est un des éléments majeurs des composés dissouts, il peut être attaqué par une bactérie qui le réduit en sulfure d'hydrogène (H_2S). [15].

*** Mode opératoire :**

- Dans un tube, introduire successivement :
- Eau à analyser 10 ml et 40 ml d'eau distillée
- 1 ml d'acide chlorhydrique
- 5 ml de solution de chlorure de baryum
- Préparer dans les mêmes conditions un tube témoin en remplaçant l'eau à analyser par de l'eau déionisée.
- Agiter énergiquement et laisser reposer 15 minutes.
- Agiter de nouveau et faire la lecture au spectromètre à la longueur d'onde de 650 nm.
- Tenir compte de la valeur lue pour le témoin.
- Se reporter à la courbe d'étalonnage.

IV.2.2.9. Dosage de l'ammonium (NH_4) :*** Mode opératoire**

- Dans un tube, introduire 5 ml de l'eau à analyser
- Ajouter 0.60 ml de réactif NH_4 -1 et une micro-cuillère de réactif NH_4 -2, puis agiter vigoureusement jusqu'à dissolution totale du réactif et laisser reposer 5 minutes.

-Introduire 4 gouttes de réactif $\text{NH}_4\text{-3}$, mélanger et laisser reposer 5 minutes (virage de couleur vers le vert).

-Introduire l'échantillon dans la cuve et mesurer dans le spectrophotomètre (415 nm).

IV.2.2.10. Dosage de nitrite (NO_2^-) :

*** Mode opératoire :**

-Dans un tube ; introduire 5 ml de l'eau à analyser, 4 gouttes d'acide sulfurique pour acidifier le milieu.

-Ajouter une micro-cuillère de réactif NO_2^-1 et laisser reposer 10 minutes (virage de couleur vers le violet).

IV.2.2.11. Dosage de nitrate (NO_3^-) :

*** Mode opératoire :**

-Dans un tube sec, ajouter une micro-cuillère de réactif (NO_3^-1) ,5 ml de réactif NO_3^-2 (agiter vigoureusement pendant 1 minute jusqu'à dissolution totale des réactifs).

-Ajouter 1,5 ml d'eau à analyser (mélange devient brulant).

Laisser reposer la solution réactionnelle brûlante pendant 10 minutes et ne pas refroidir avec de l'eau froide.

-Introduire l'échantillon dans la cuve et mesurer dans le spectrophotomètre (415 nm).

IV.2.2.12. Dosage de phosphate (PO_4^-) :

*** Mode opératoire :**

-Dans un tube, ajouter 5 ml d'eau à analyser, 5 gouttes de réactif PO_4^-1 et micro-cuillère de réactif PO_4^-2 .

-Laisser reposer 5 minutes puis introduire l'échantillon dans la cuve et mesurer dans le spectrophotomètre (450 nm).

Dans ce chapitre nous discutons les résultats des paramètres physico-chimiques des eaux usées de la station et nous essayons de voir l'aptitude de ses eaux à l'irrigation.

V.1. Paramètres physiques :

V.1.1. Le potentiel Hydrogène (pH) :

Le pH de l'eau appropriée dépend de la nature des micro-organismes, un pH allant de 6 à 9 est un pH souhaitable pour le maintien de la vie aquatique et en particulier le maintien de la vie des micro-organismes peuplant le bassin d'aération car pour un $\text{pH} < 6$ on a une acidification du milieu qui peut provoquer la défloculation de bassin d'aération et leurs mauvaise déontrabilité. (Karaali *et al.*, 2008).

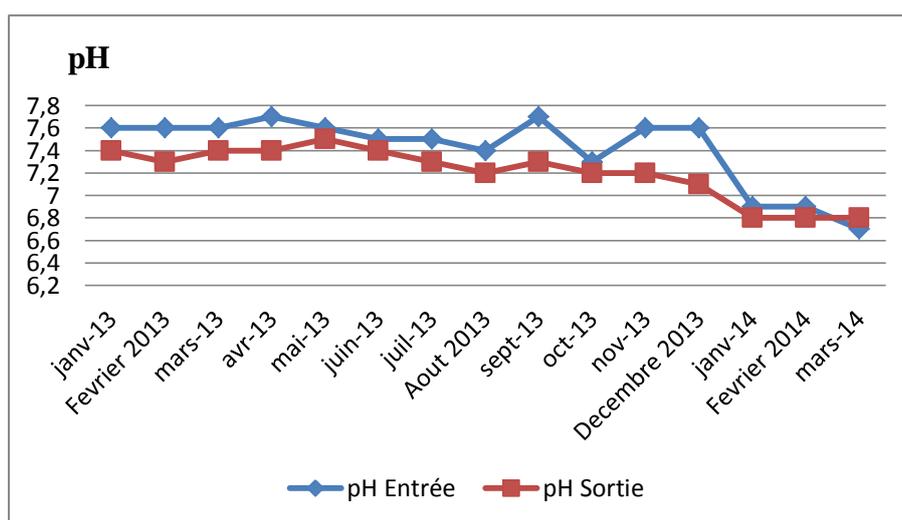


Figure 23: Evolution temporelle du pH mesurée à l'entrée et à la sortie de la station.

*Discussion :

Les valeurs de pH enregistrées pendant la période d'études s'échelonnent entre 6, 7 et 7,7 à l'entrée et entre 6,8 et 7,5 à la sortie (Fig.23). Ces valeurs sont conformes aux normes algérienne ($6,5 < \text{pH} < 9$) qui assurent une bonne croissance des bactéries épuratrices donc une bonne décontabilité ce qui signifie bon traitement des eaux usées.

V.1.2. La température :

En effet la température est un facteur écologique très important qui a une grande influence sur la propriété physico-chimique des eaux.

Un réchauffement ou bien un refroidissement peut perturber fortement le phénomène d'épuration de ces eaux usées, mais ce changement peut aussi être un facteur de croissance de la productivité microbienne. (Karaali *et al.*, 2008).

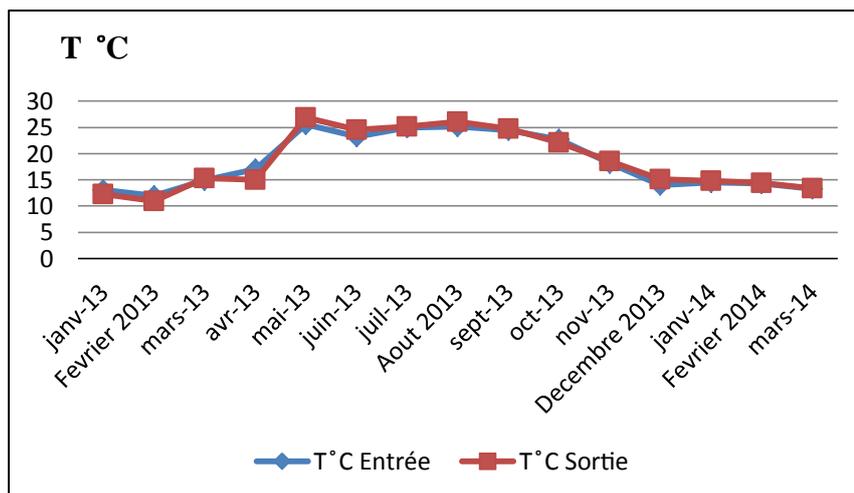


Figure 24 : Evolution temporelle de la température mesurée à l'entrée et à la sortie de la station.

***Discussion :**

D'après le graphe (Fig.24), on remarque que les valeurs de températures sont pratiquement similaires à l'entrée et à la sortie de la station montrant une fluctuation en rapport avec les saisons. Durant les quatre premiers mois de l'année 2013, la température de l'eau varie de 13.1°C à 17°C entre les mois de Janvier et Avril 2013, puis elle augmente jusqu'à atteindre la valeur maximale au mois de Mai 2013 (25.6 °C). Après on note une baisse progressive jusqu'au mois de janvier 2014 où on remarque une certaine stabilité pendant la période hivernale.

V.1.3 La conductivité électrique CE :

C'est la capacité de l'eau à conduire le courant. Elle renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau, c'est-à-dire qu'elle traduit la présence d'ions dans l'eau brute.

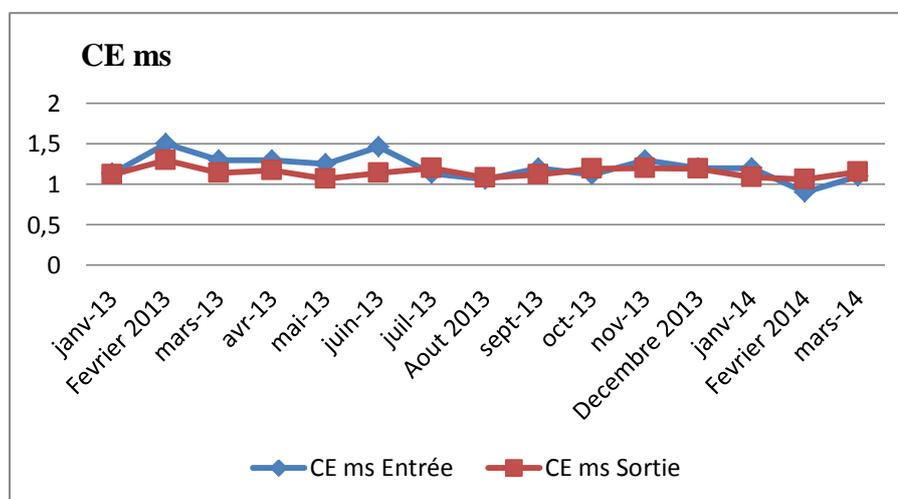


Figure 25 : Evolution temporelle de la conductivité électrique mesurée à l'entrée et à la sortie de la station.

*Discussion

Les valeurs de la conductivité électrique enregistrées (Fig.25) montrent une certaine similarité entre l'entrée et la sortie de la STEP.

Durant les premiers mois on remarque une légère variation relative au débit journalier entrant à la station. Ces valeurs sont probablement liées à l'érosion mécanique et l'apport des rejets industriels.

Les valeurs de conductivité enregistrées sont bien inférieures à la norme algérienne qui est égale à 2 ms/cm.

V.2. Les paramètres chimiques :

V.2.1. Les matières en suspension MES:

Elle permet d'évaluer la charge solide en suspension d'une eau résiduaire.

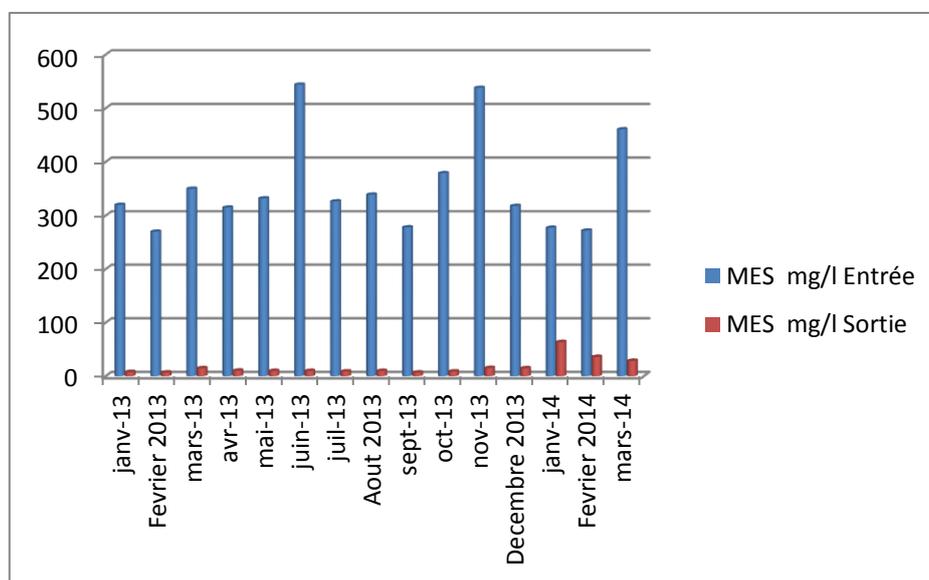


Figure 26 : Evolution temporelle des MES mesurée à l'entrée et à la sortie de la station.

*Discussion:

Selon le graphe (Fig.26) on observe que les valeurs des MES diminuent toujours de l'entrée à la sortie de la station. Avant l'épuration ces concentrations présentent une certaine irrégularité, on note un maximum de 544 mg/l pendant le prélèvement du Juin 2013 et un minimum de 270 mg/l du prélèvement du Février 2013. Ces changements sont dus à la variation de la charge des effluents d'une part et l'intensité des précipitations d'autre part.

A la sortie ces concentrations montrent une baisse remarquable suite à leurs éliminations principalement au niveau du bassin d'aération.

V.2.2. La demande chimique en oxygène (DCO) :

La DCO est un test permettant d'estimer la teneur en matière organique d'une eau, et est une mesure du carbone total à l'exception de certains composés.

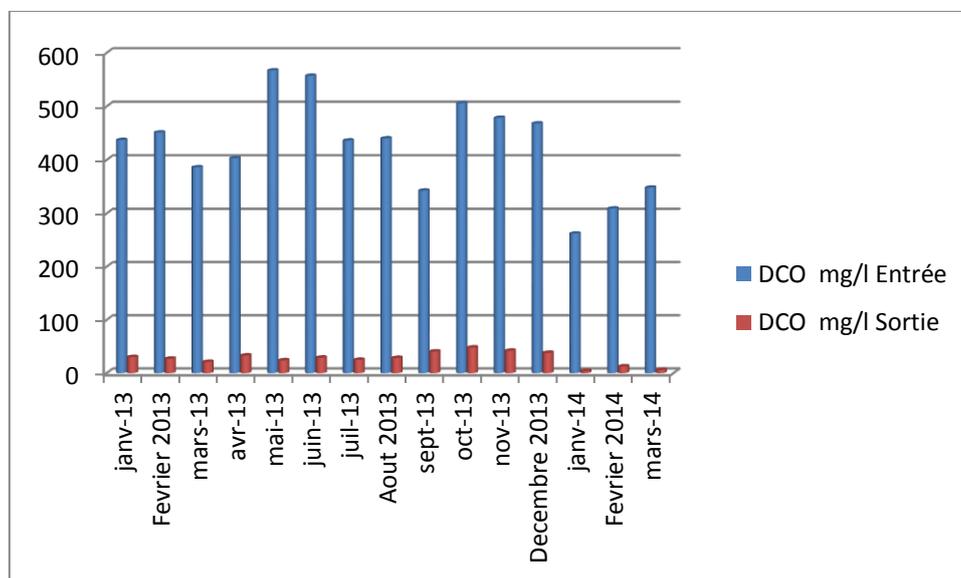


Figure 27 : Evolution temporelle de la DCO mesurée à l'entrée et à la sortie de la station.

*Discussions :

Les valeurs de la DCO sont beaucoup plus importantes à l'entrée qu'à la sortie de la STEP. Elles varient de 557mg/l à 262mg/l à l'entrée (Fig.27). Cela est probablement dû à une surcharge des effluents par la matière organique et minérale.

A la sortie de la STEP ces dernières sont atténuées jusqu'à atteindre une valeur de 48mg/l. cette nette baisse des teneurs est due à une dégradation de la matière organique par les microorganismes.

V.2.3. La demande biologique en oxygène de cinq jours(DBO₅) :

L'effet principal d'un rejet de matière organique biodégradable dans le milieu naturel est la consommation progressive de l'O₂ qui en résulte. (Rejsek, 2002).

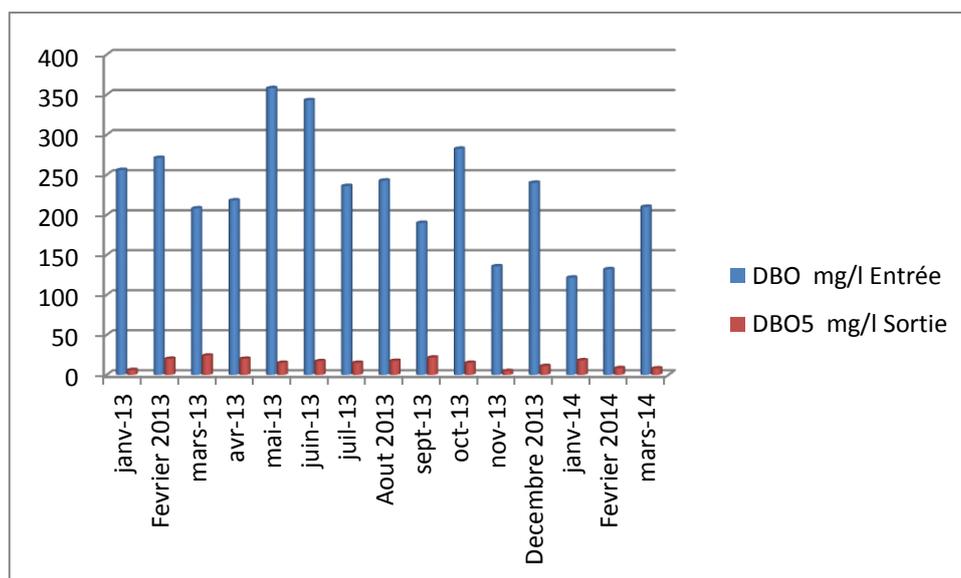


Figure 28: Evolution temporelle de la DBO5 mesurée à l'entrée et à la sortie de la station.

***Discussion:**

Selon le graphe ci-dessus on remarque que les teneurs enregistrées à l'entrée de la station sont considérables, oscillant entre 121.5mg/l (Janv 2014) et 358mg/l (Mai 2013) montrant une charge polluante importante. Cette variation saisonnière est probablement due à un effet de dilution par les eaux de précipitation pendant l'hiver.

Après épuration les teneurs diminuent d'une façon remarquable pour atteindre un maximum de 24mg/l ceci est due à la dégradation de la matière organique de l'eau par les micro-organismes qui consomment de l'oxygène pour pouvoir effectuer ce processus de biodégradabilité. Ces valeurs sont donc conformes à la norme algérienne ce qui témoigne d'un bon fonctionnement de cette station.

V.2.4. L'azote ammoniacal (NH₄) :

Les sites pollués par la matière organique sont aussi pollués par l'ammonium dont les teneurs augmentent avec l'augmentation de la température et avec la diminution de l'oxygène dissous. (Karaali *et al.*, 2008).

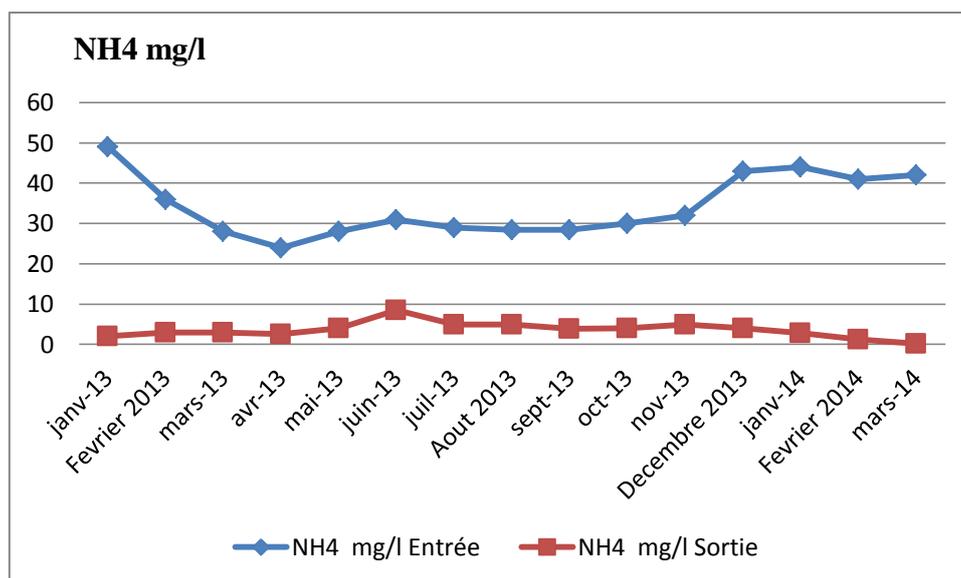


Figure 29 : Evolution temporelle de l'ammonium mesurée à l'entrée et à la sortie de la station.

***Discussion :**

Les résultats obtenus d'azote ammoniacal montrent une baisse considérable de l'entrée à la sortie de la station. (Fig.29).

A l'entrée de la station les valeurs de NH_4 varient de 25 à 50 mg/l, puis diminuer à moins de 5 mg/l à la sortie de la station et cela est due à l'élimination de cet élément dans le bassin d'aération.

V.2.5. L'azote de nitrite (NO_2) :

L'ion nitrite est la principale forme d'azote inorganique, trouvée dans les eaux.

Il s'oxyde facilement en ion nitrate et se retrouve ainsi rarement en concentration importante dans les eaux.

Les nitrites instables ne se maintiennent que lorsque le milieu, n'est pas suffisamment oxydé, leur présence indique un état critique de pollution organique.

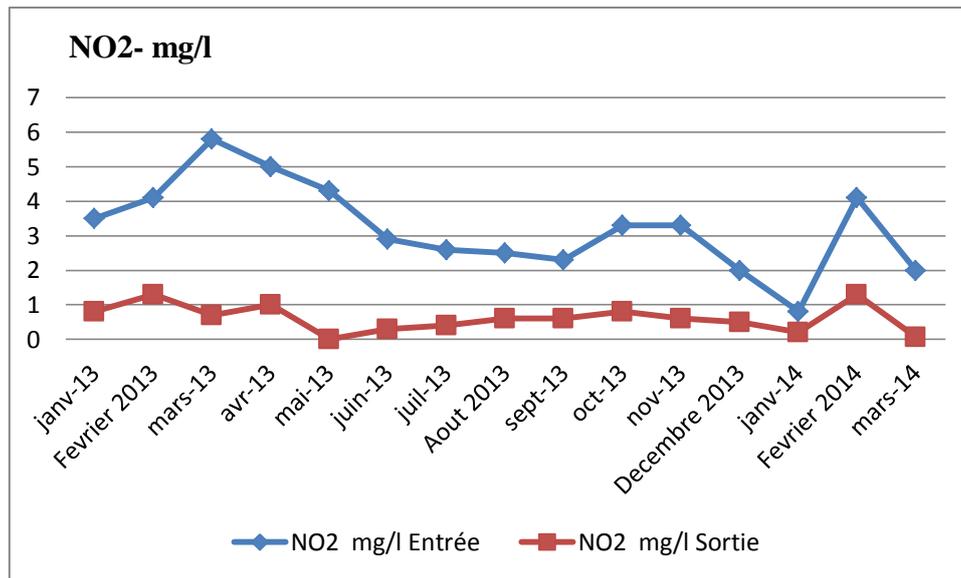


Figure 30: Evolution temporelle de nitrite mesurée à l'entrée et à la sortie de la station.

*Discussion

L'analyse de l'ion nitrite dans les eaux usées de la station montre une évolution plus ou moins régulière avant et après épuration.

A l'entrée de la station, les concentrations en nitrite varient entre 0,8 et 5,8 mg/l. Ces dernières diminuent après épuration, variant de 0 à 1,3 mg/l (Fig.30), ce qui est dû probablement aux deux processus :

- Oxydation incomplète de l'azote ammoniacal, (nitrification incomplète)
- Réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante.

V.2.6. L'azote de nitrate (NO₃) :

Les nitrates sont en effet l'élément chimique majeur qui conditionne la vie des micro-organismes dans l'eau. Les bactéries ont toujours besoin d'une source azotée pour la synthétiser et structurer leurs protéines. (Karaali *et al.*, 2008).

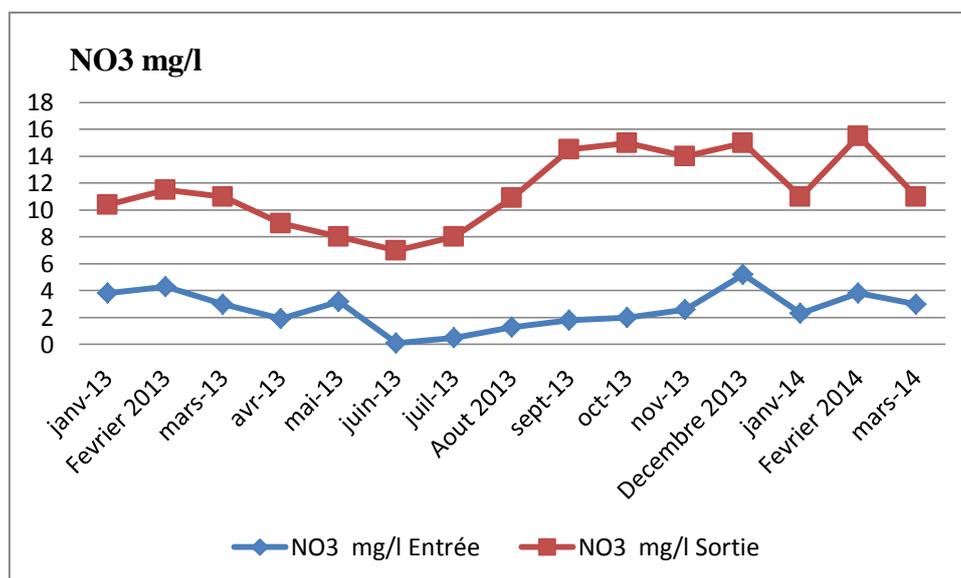


Figure 31: Evolution temporelle de nitrate mesurée à l'entrée et à la sortie de la station.

***Discussion**

L'étude de ce paramètre montre une certaine irrégularité due probablement à l'action des microorganismes.

D'après le graphe montrant l'évolution de ce paramètre, à l'entrée de la station on remarque que les concentrations oscillent entre 1.63 mg/l et 5.8 mg/l durant la période pluvieuse. Ces valeurs ont connu une augmentation remarquable durant les mois d'Avril et Mai (8.75mg/l).

A la sortie de la station et contrairement à l'entrée, les concentrations atteignent leur maximum durant la période pluvieuse (23 mg/l), ce qui est dû au phénomène de Nitrification sous l'action des microorganismes.

V.2.7. L'Orthophosphate (OPO₄):

L'accroissement des flux de phosphore dans les eaux de surface résulte de l'intensification de la pression démographique et des activités agricoles dans les bassins versants. La pression démographique est à l'origine des sources ponctuelles alors que l'activité agricole crée les sources diffuses.

La présence des phosphates dans les eaux usées entraîne un développement massif d'algues qui caractérise le phénomène d'eutrophisation. (**Karaali et al., 2008**).

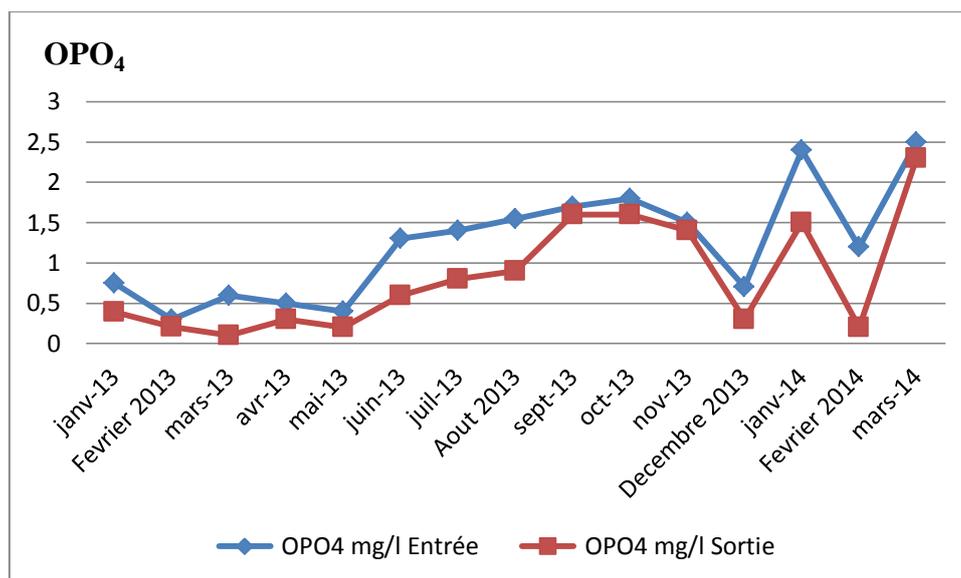


Figure 32 : Evolution temporelle d'Orthophosphate mesurée à l'entrée et à la sortie de la station.

***Discussion :**

La teneur de l'eau brute (a l'entrée de la station) en OPO_4 varie de 0.3mg/l à 2.5 mg/l (Fig.32), cette concentration augmente progressivement d'un mois à l'autre selon la charge polluante des eaux dans la station.

A la sortie de la station les valeurs de l' OPO_4 ont connu une baisse par rapport à l'entrée. Presque pour la totalité des périodes, expliquant ainsi l'acheminement des eaux dans les différents procédés d'épuration. On remarque que pour les deux courbes les valeurs d' OPO_4 restent toujours au dessous des normes.

V.2.8. Réutilisation des eaux usées épurées dans l'irrigation :

L'agriculture irriguée rencontre de nos jours de nouveaux problèmes tels que le risque de salinité qui peut être apprécié par la conductivité électrique (CE) et celui de l'alcalinisation des sols. Cette dernière due aux échanges ioniques, concerne surtout le sodium, le calcium et le magnésium, entre l'eau et les argiles du sol; il est évalué par le coefficient d'absorption du sodium (SAR).

*** Méthodologie**

La méthode de Wilcoxon, qui est la plus fréquemment utilisées, sera développée pour apprécier la qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation en aval de la STEP de Guelma

Le choix de cette méthode est étroitement lié aux paramètres (sodium, calcium, magnésium, potassium et conductivité électrique). En effet, ces paramètres sont mesurés en laboratoire sur

les échantillons prélevés à la sortie de la station. De plus, la méthode de Wilcox a généralement donné des résultats satisfaisants. Pour cela une analyse physico-chimique a été effectuée pendant l'année 2014.

V.2.8.1. Résultats et discussion :

La salinité peut entraîner des effets nocifs conséquents en raison de la fixation du sodium et des chlorures par les colloïdes du sol. Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol. Sous cette action, les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes. Lorsque la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent le plus fréquemment les cations Ca^{+2} dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels, peut provoquer cette action. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé.

Le SAR est défini par l'équation suivante :

$$SAR = \frac{cNa}{\sqrt{\frac{(cCa + cMg)}{2}}}$$

C): concentration en ion en mol/m³

Na: Sodium

Ca: Calcium

Mg: Magnésium

Si les unités sont en meq/L, la somme de C_{Ca} + de C_{Mg} doit être divisée par deux avant de prendre la racine carrée

$$SAR = \frac{6.40}{\sqrt{\frac{(4.12 + 0.64)}{2}}}$$

$$SAR = 4.15$$

Le SAR qui est défini par la relation est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau. Les résultats sont reportés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Valeur de SAR et de Conductivité des EUE

Points d'eau	Nom	SAR (mg/L)	Conductivité (µs/cm)
1	E STEP	4.15	1356

V.2.8.2. Classification de Wilcox :

Les classes des eaux (C_1S_1, \dots, C_4S_4), correspondent, dans le diagramme de Richards au SAR (en ordonnées pour la lettre S) et à la conductivité (en abscisses pour la lettre C).

Ainsi la classe C_1S_1 (coin bas à gauche) est considérée comme excellente car elle correspond à des valeurs minimales du SAR et de la conductivité ; en revanche, la classe C_4S_4 (coin haut à droite) est mauvaise, car les valeurs du SAR et de la conductivité sont à leur maximum.

Les eaux usées épurées de la station apparaissent dans la classe (C_3S_1 Admissible).

En général, et d'après la figure 33, il s'agit d'une eau convenant à l'irrigation des cultures au sel, sur des sols bien drainés. Cependant, l'évolution de la salinité doit être contrôlée.

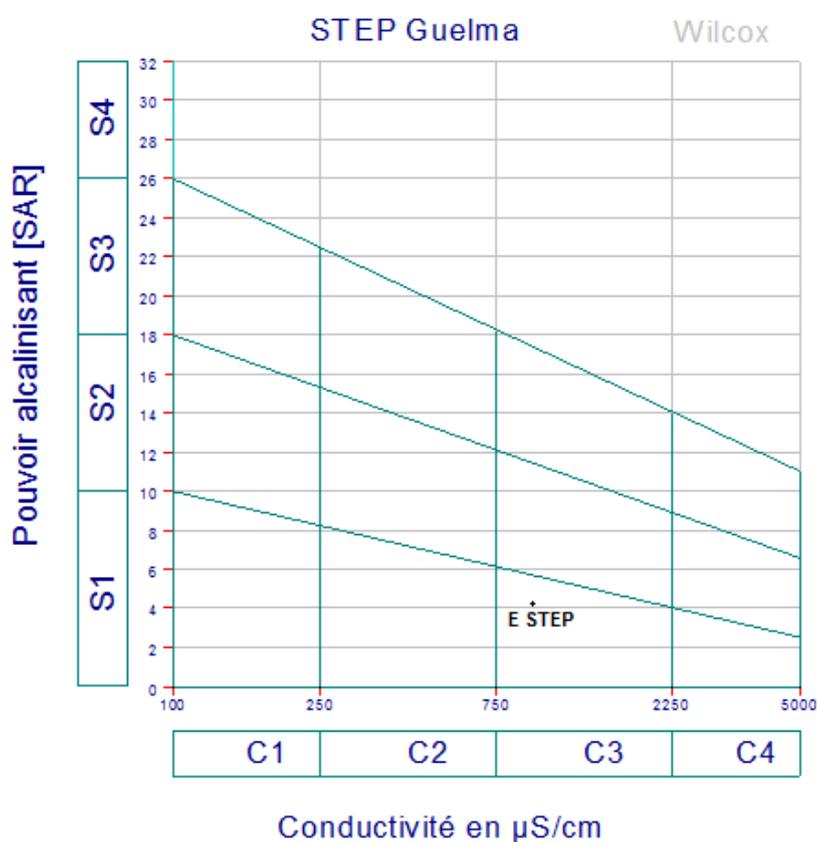


Figure 33 : Classification des eaux d'irrigation d'après la méthode Wilcox

En conclusion nous pouvons dire à travers cette approche, qui a concerné uniquement la réutilisation des eaux usées épurées de la station de la ville de Guelma de point de vue salinité, que ces eaux peuvent être utilisées sans aucun risque avec bien sur un contrôle de l'évolution de la salinité.

Conclusion Générale :

Le présent travail s'insère dans le cadre de la réalisation d'un mémoire de master. Il s'est donné pour objectif l'évaluation de la qualité physicochimique des eaux de rejets après épuration au niveau de STEP de la ville de Guelma, ainsi que l'aptitude de ses eaux à l'irrigation.

L'étude de la qualité physico-chimique des eaux usées des rejets a montré que l'eau arrive à la station avec une charge polluante très importante, et après passage par les différents procédés ces paramètres diminuent considérablement après chaque phase, montrant ainsi l'efficacité de tous les procédés de traitement dans la station. Reste à dire que la majorité des résultats est en dessous des normes algériennes des eaux de rejets.

L'analyse des eaux usées épurées a permis aussi de voir l'aptitude de ces eaux à l'irrigation.

Nous pouvons ainsi dire que cette eau, et de point de vue salinité, peut être utilisée sans aucun risque sur l'agriculture.

A cet effet nous pouvons dire que dans l'ensemble et après caractérisation de quelques paramètres physico-chimiques les eaux usées, de la station d'épuration de Guelma fonctionnant avec procédé de boue activée, ne présentent aucun danger sur l'environnement et peuvent être utilisées sans aucun risque à des fins agricoles et cela uniquement de point de salinité.

Annexe 1

Tableau 01 : Les normes des eaux de rejet après épuration.

Paramètre	Unité	Normes algériennes	Normes selon OMS
T	°C	<30	<30
pH	/	6.5-8.5	6.5-8.5
Conductivité	μS/cm	2800	/
Oxygène dissous	mg/l	8	/
DCO	mg/l	120	<90
DBO5	mg/l	35	<30
MES	mg/l	30	<20
TH	mg/l	100 à 500	/
Ca ⁺²	mg/l	75 à 200	/
Cl		200	/
SO ₄ ⁻		200 à 400	/
Phosphate	mg/l	50	/
Nitrate	mg/l	50	1
Nitrite	mg/l	0.1	1
Ammonium	//	0.1-30	<0.5
Coliformes totaux	germe/ml	20.000	/
Coliformes fécaux	germe/ml	12.000	≤ 10
Streptocoque D	germe/ml	2000	/
Salmonella	germe/ml	Absence	/
Staphylocoque aureus	germe/ml	Absence	/
Levures	/	Absence	/

Sites web :

[1] : Le problème de la pollution.

http://www.inforhealth.org/pr/prf/fm14/fm14chap4_1.shtml. (Consulté le 10/03/2014).

[2] : Les polluants de l'eau.

http://www.total.com/fr/responsabilite-societale-environnementale/dossier/eau-douce/mieux_comprendre-eau/polluant-eau-7701.htm. (Consultation le 20/03/2014).

[3] : La pollution des eaux souterraines en Picardie.

<http://www.upicardie.fr/beaucoup/dued/desborde/desbord.htm>. (Consulté le 22/03/2014).

[4] : Belokda, W. 2009. Contribution à une gestion des effluents liquides, hospitaliers. Univer : chouaib doukkali el Jadida. Master génie de l'environnement et santé.

[\[www.memoireonline.com/.../m_Contribution--une-gestion-des-effluents-liquides-hospitaliers_1.htm\]](http://www.memoireonline.com/.../m_Contribution--une-gestion-des-effluents-liquides-hospitaliers_1.htm). (Consulté le 13/03/2014).

[5] : Les types des eaux usées.

<http://www.environnement.pF/spip.php>? Rubrique 110. (Consulté le 25/03/2014).

[6]: Les eaux usées.

http://www.sololiya.Fr/tout_sur_l'eau/eau_et_quotidien/activites_humaines/les_menaces/2-Les_eaux_usées_#paralolo. (Consulté le 27/02/2014).

[07] : Irrigation à la raie.

<http://www2.ac-toulouse.fr/mesoe/sommaire/projet/present/projet2/gharbic3.htm>. (Consulté le 02/05/2014.)

[08] : Irrigation par aspersion.

http://reunion-mayotte.cirad.fr/innovation_expertise/produits/logiciels_et_modeles/osiri_run. (Consulté le 03/05/2014).

[09] : Irrigation localisée.

<http://www.groupe-premium.com/produits/materiel-irrigation-localisee-john-deere-water/>. (Consulté le 03/05/2014).

[10] : Qualité des eaux usées épurées dans d'irrigation.

<http://www.lenntech.fr/applications/irrigation/qualite/irrigation/qualite-eau-irrigation.htm>. (Consulté le 16/03/2014).

[11] : La teneur en sel dans l'eau d'irrigation

<http://www.lenntech.fr/applications/irrigation/salinite/irrigation/salinite-risque-irrigation.htm>.

(Consulté le 06/02/2014).

[12] : Risque du sodium pour l'eau d'irrigation

<http://www.lenntech.fr/applications/irrigation/sar/irrigation/sar-risque-pour-eau-irrigation.htm>. (Consulté le 26/03/2014).

[13] : Procédées d'épuration des eaux usées.

<http://www.environnement.ens.fr/IMG/Traitement.pdf>. (Consulté le 05/04/2014).

[14] : Etapes de l'épuration biologique de l'eau (Consulté le 24/04/2014).

www.futura-sciences.com/.../eau-traiter-eaux-usées-procède-boue-activée-4153/ :

<http://step.ouvaton.org/tech8b.htm>. (Consulté le 04/04/2014).

[15]: Water treatment solutions.

<http://www.lenntech.fr/sulfates.htm#ixzz2tn4SPNsu>. (Consulté le 10/03/2014).

Références bibliographiques :

- **Abda, H. et Bouchahed, I. 2009.** *Caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux usées de rejets d'Oued EL maiz et Traitement avec le Typha latifolia.* Mémoire d'ingénieur d'état. Université 08 Mai 1945. Guelma. 34-36 p.
- **Allel, M., Hamel, W. et Ben kirat, A. 2013.** *Suivi de l'efficacité des procédés de la station d'épuration de la ville de Guelma.* Mémoire de Master. Université 08 Mai 1945. Guelma. 34 – 36 p.
- **Anonyme, 2009.** *Bioprocédés.* Ed. Collège de Maisonneuve. 130 p.
- **Attab, S. 2011.** *Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration haoud berkaoui par l'utilisation d'un filtre a sable local.* Mémoire de Magister. Université kasdi Merbah. Ouargla. 26,27 pp.
- **Azouzzi, N. 2010.** *Traitement et réutilisation des eaux usées épurées dans la ville de Marrakech.* Mémoire Licence en Science et Technique Eau et Environnement. Marrakech. Département des sciences de la terre. 24,25 pp.
- **Bouaroudj, S. 2012.** *Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation.* Mémoire de Magister en Ecologie. Université Mentouri. Constantine. Algérie. 11 p.
- **Debbabi, A. 2013.** *Evaluation des performances épuratoires des STEP à boues activées ; cas de la wilaya de Souk-Ahras.* Mémoire de Master en hydrauliques urbaines. Université Mohamed Cherif Messaadia de Souk-Ahras. 31, 32 pp.
- **Dugniolle, H. 1980.** *L'assainissement des eaux résiduaires domestiques,* CSTC-revue n ° 3 – Septembre. 44-52 p.
- **El Asslouj, J., Kholtei, S ., El Amrani, N. et Hilali, A. 2007.** *Analyse de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la communauté des Mzamza, au voisinage des eaux usées.* Afrique SCIENCE, 03 (1) : 109-122p.
- **FAO, 2003.** *L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation.* Bureau Régional pour le Proche-Orient et Bureau sous-régional pour l'Afrique du Nord. 11,12 et 25 p.
- **Hartani, T. 1998.** *La réutilisation des eaux usées en irrigation. Situation actuelle et perspectives.* Séminaire sur les ressources en eau non conventionnelles. KLI Conseil Alger. 10 p.

- **Karaali, R., Khataf, M. et Reggam, R. 2008.** *Etudes comparatives de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées avant et après épuration : cas de la station d'épuration de la ville de Guelma (Nord-est Algérie).* Mémoire diplôme d'ingénieur. Université 08 Mai 45. Guelma. 25-32 et 61-65 p.
- **Lazarova, V. et Brissaud, F. 2007.** *Intérêt bénéfiques et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France, L'eau, l'industrie, les nuisances* N° 299, 11 p.
- **Metahri, M. 2012.** *Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP Este de la ville de Tizi-Ouzou.* Thèse de Doctorat. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 75 p.
- **ONA, 2013.** Centre de formation aux Métiers de l'assainissement. *Réutilisation agricole des eaux usées épurées.* Formation 2013-2014. Algérie. 22-30-36 p.
- **Radoux, M. 1995.** *Qualité et traitement des eaux. Fondation Universitaire Luxembourgeoise, Station expérimentale de Viville.* Bruxelles: FUL. 153 p.
- **Rejsek, F. 2002.** *Analyse des eaux : Aspect réglementaire et technique.* Sceran.Paris. (5) :169-206 p.
- **Rodier, J. 2009.** *L'analyse de l'eau.* 9^{ème} édition. Dunod. Paris. 5-6-83-407 p.