

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 SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE



Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Microbiologie-Ecologie

Spécialité/Option : Microbiologie de l'environnement: Santé, Eau et Environnement

Thème :

**Evaluation de la qualité des eaux usées (Wilaya de Guelma)
après traitement par les différents procédés (Station d'épuration,
Nanoparticules et les lentilles d'eaux).**

Présenté par :

- BOUCHELEGHEM Amira
- BOUREGAA Marwa

Devant le jury composé de :

Président (e):Mme. ZIDI. S	M.A.A	Université de Guelma
Examinatrice: Mme. KHELLEF. M	M.C.B	Université de Guelma
Encadreur : Mme. GRARA. N	M.C.A	Université de Guelma
Invité : Mme. BOUCHELEGHEM. S	M.C.B	Université d'El tarf

Juin 2015

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 SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE



Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Microbiologie-Ecologie

Spécialité/Option : Microbiologie de l'environnement: Santé, Eau et Environnement

Thème :

**Evaluation de la qualité des eaux usées (Wilaya de Guelma)
après traitement par les différents procédés (Station d'épuration,
Nanoparticules et les lentilles d'eaux).**

Présenté par :

- BOUCHELEGHEM Amira
- BOUREGAA Marwa

Devant le jury composé de :

Président (e):Mme. ZIDI. S	M.A.A	Université de Guelma
Examinatrice: Mme. KHELLEF. M	M.C.B	Université de Guelma
Encadreur : Mme. GRARA. N	M.C.A	Université de Guelma
Invité : Mme. BOUCHELEGHEM. S	M.C.B	Université d'El tarf

Juin 2015

Liste des photos

N° de figure	Le titre	N° de page
01	Les nanoparticules à tester l'argent (Ag) et l'oxyde de fer (Fe ₂ O ₃).	11
02	Des colonies de <i>Lemna gibba</i> dans lac Tonga.	12

Dédicace

Je dédie ce modeste travail, avant tout à qui m'encourage à continuer mon chemin et qu'il était toujours patient avec moi, a qui m'aide moralement et sacrifier sa vie pour ma satisfaction.

A mes parents

A celles qui me donnent la vie, qui m'entourent toujours de tendresse et d'amour

J'espère que Dieu vos garde et bénisse mes chers parents.

A mes Frères et mes sœurs

A mes amis :

Soumia, Samira, Loubna, Soumia, Nouara, Ibtissém, Zahra et Hadjer.

Et à toute ma famille spécialement à ma grande mère.

A tout ceux qui j'aime et je récent verseaux l'amour propre, de respect et de l'estimation profonde et mes collègues de la promotion 2015 surtout le groupe de S.E.E.

Et particulièrement à ma copine «Marwa ».

BOUCHELEGHEM Amia.

Dédicaces

Je souhaite dédier ce modeste travail synonyme de concrétisation de tous mes efforts fournis ces dernières années :

Surtout à ma chère mère Habiba, qui a toujours été présente à mes côtés et qui m'a tout donné et appris et pour l'âme de mon cher décédé père Noureddine.

A mon cher frère Mohamed

A ma cher sœur Meriem

A chaque membre de ma famille qu'ils trouvent ici l'expression de mes remerciements.

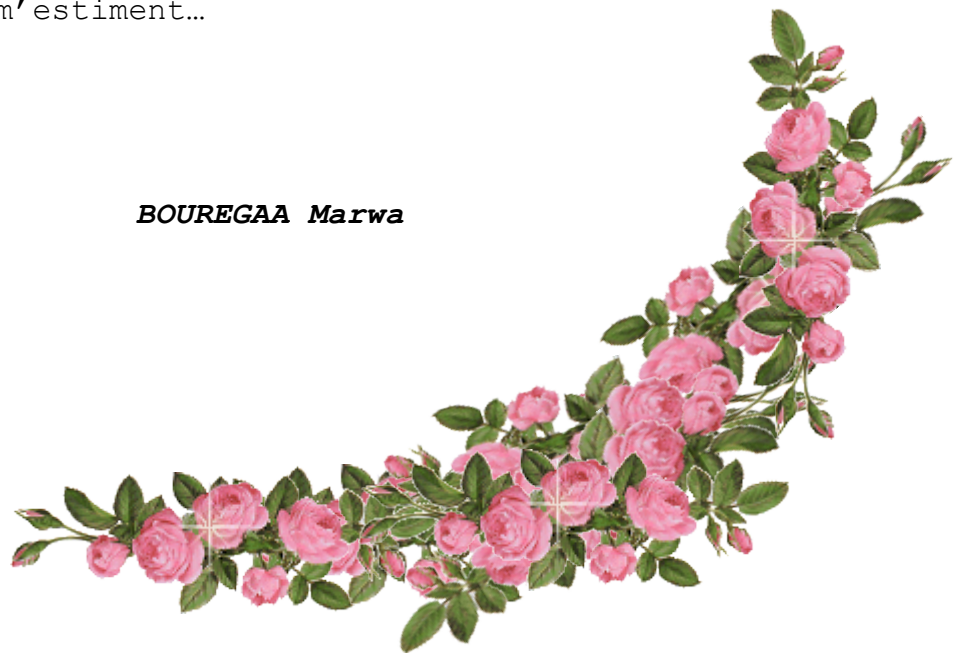
A mes fidèles amies Nadia, Fayrouse , Widade.

A mon amie et mon binôme Amira

A tous mes camarades de promotion.

Aux gens qui m'aiment et m'estiment...

BOUREGAA Marwa



Résumé

Dans cette étude nous nous sommes intéressées à la caractérisation physicochimique et bactériologique des eaux usées de la station d'épuration de la ville de Guelma avant après traitement par la STEP, l'Ag, le Fe₂O₃ et les Lentilles d'eaux. La caractérisation physicochimique des eaux usées brutes a montré qu'elles constituent des mélanges complexes très chargées en matières organiques avec des valeurs moyennes de MES : 244mg/l, en DBO₅ : 186,33 mg d'O₂/l et en DCO : 295,2 mg d'O₂/l, le rapport (DCO /DBO₅=1,58) souligne bien le caractère biodégradable des eaux usées de l'entrée de la STEP de Guelma. Cependant, la caractérisation bactériologique des eaux usées a montré une richesse des eaux, en bactérie indicatrice de contamination fécale et en germes pathogènes avec des valeurs moyennes 3,9.10⁵FMAT/ml, 173.10³CT/100 ml, 1,6.10³CF/100 ml, 3,5.10³SF/100 ml, nombre indéterminé des spores de *Clostridium sulfito-réducteurs* et présence des Staphylocoques (*S. epidermidis*). Le rapport (CF/SF= 0,46) souligne que l'origine de contamination de ces eaux usées est d'origine animale. Les traitements des eaux usées ont permis un abatement des indicateurs physico-chimiques de la pollution de l'ordre de : 95,77%MES, 92,36%DBO₅, 81,96%DCO respectivement de l'eau brute traitée par la STEP, de l'ordre de : 92,21%MES, 97,48%DBO₅, 90,35%DCO de l'eau traitée par les lentilles d'eaux, de l'ordre de : 96,31%MES, 92,49%DBO₅, 79,53%DCO respectivement de l'eau brute traitée par le Fe₂O₃ et de l'ordre de : 96,86%MES, 96,60%DBO₅, 90,35%DCO de l'eau traitée par l'Ag. Concernant les indicateurs bactériologiques de la pollution, les traitements utilisés dans notre étude ont permis une réduction de l'ordre de 100% de CT, 100% des CF et 100% des CSR dans l'eau brute traitée par Ag, de l'ordre de 99,99% de CT, 99,94% des CF, 99,71% des SF et 100% des CSR dans l'eau brute traitée par Fe₂O₃, de l'ordre de 99,70% de CT, 96,88% des CF, 95,14% des SF et 100% des CSR dans l'eau brute traitée par la STEP et de l'ordre de 99,98% de CT, 99,59% des CF, 99,71% des SF et 100% des CSR dans l'eau brute traitée par les lentilles d'eaux. Concernant la recherche des germes pathogènes dans l'eau brute traitée par les différentes procédées, nous constatons une absence des Salmonelles, des Shigelles, de *Vibron cholérique* et de *Pseudomonas* avec présence (*Staphylococcus epidermidis*) après traitement des eaux usées par les lentilles d'eaux et par la STEP avec une absence totale de tous ces germes après traitement catalytique par l'oxyde de fer et l'argent.

Mots clés : Traitement biologique, traitements catalytique, les lentilles d'eaux, STEP, Fe₂O₃, Ag, indicateurs physico-chimiques, indicateurs bactériologiques.

Abstract

In this study we are interested in the physico-chemical and bacteriological characterization of wastewaters in the purification station of Guelma before and after treatment using STEP, Ag, Fe₂O₃ and water lenses. The physico-chemical characterization of wastewater proves to be constituted of complex mixtures loaded with organic substance with average COD values (Mean = 295,2 mgO₂/l), BOD₅ (Mean = 186,33 mgO₂/l) and MES (Mean = 244mgO₂/l), the ratio(COD/BOD₅ =1,58) underscores the biodegradable nature of the waters of the STEP of the Guelma.

However, the bacteriological characterization of wastewater denotes a big richness of water, faecal indicator bacteria and pathogenic germs with average values 3,9.10⁵ MTAF/ml, 173.10³ CT/100 ml, 1,6.10³ CF/100ml, 3,5.10³ SF/100ml and indefinite number of ASR and staph germs. The ratio (CF :SF=0,46) states that the main reason of contamination is highly animal.

Wastewater treatment allows deterioration of physico-chemical indicators of pollution as follows 95,77% MES, 92,36%BOD₅,81,96%COD respectively of brute water treated by the STEP as follows 92,21% MES, 97,48%BOD₅, 90,35%COD of water treated by water lenses, as follows 96,31% MES, 92,49%BOD₅,79,35%COD respectively of brute water treated by Fe₂O₃ and following the order 96,86% MES, 96,60%BOD₅,90,35%COD of treated water by Ag.

Concerning the bacteriological pollution indicators, the treatments used in our study sets a reduction in the order from 100% of CT,100% of CF and 100% of CSR in the brute water treated by Fe₂O₃, in the order of 99,70% of CT ,96,88% of CF, 95,14% of SF and 100% of CSR in the brute water treated by water lenses. The research for pathogenic germs in brute water treated by different proceedings, we state an absence of salmonella, of shigella, of vibrio cholerae and pseudomonas with a staphylococcus epidermidis, presence after treatment of wastewater by water lenses and the STEP with a total absence of all germs after catalytic treatment by iron oxide and silver.

Key words: Biological treatment ,catalytic treatment water lenses, STEP, Ag, Fe₂O₃ , Physico-chemical indicators, bacteriological indicators.

ملخص

في هذه الدراسة وضعنا اهتمامنا على الخصائص الفيزيو-كيميائية والبكتريولوجية لنوعية المياه الصرفة الصحي في محطة تنقية (قالمة) قبل و بعد العلاج باستخدام محطة تنقية المياه، الفضة، اكسيد الحديد والعدسات المياه .

أظهرت نتائج التحاليل الفيزيو-كيميائية لمياه الصرف التي تتكون من خليط معقد محمل بالمواد العضوية أن القيم المتوسطة لكل من $DCO=295,2$ ملغ/لتر، $DBO_5=186,33$ ملغ/لتر، $MES=244$ ملغ/لتر ونسبة $DCO/DBO_5=1,58$ تؤكد على الطبيعة اقلية للتلوث من مياه STEP في قالمة.

ومع ذلك، فإن التحليل البكتريولوجي لمياه الصرف الصحي يدل على انها غنية بالجراثيم، والبكتيريا البرازية مؤشر المسببة مع المتوسط $FMAT=3,9.10^5$ مل، $CT=173.10^3$ مل/100، $CF=1,6.10^3$ مل/100، $SF=3,5.10^3$ مل و عدد غير معروف من جراثيم من كلوستريديوم سلفيت الحد من وجود المكورات العنقودية، ونسبة ($CF / SF = 0.46$) يشير إلى أن مصدر التلوث من مياه الصرف الصحي هو من أصل حيواني.

وقد سمح للعلاجات المياه العادمة انخفاض في المؤشرات الفيزيو-كيميائية حيث نسبة: $MES=95.77\%$ ، $DBO_5=92$ و $DCO=81.96\%$ من قبل محطات معالجة مياه الصرف الصحي و $MES=92.21\%$ ، $DBO_5=97.48\%$ ، $DCO=90.35\%$ بواسطة العدسات المياه، $MES=96.31\%$ ، $DBO_5=92.49\%$ ، $DCO=79.53\%$ في ما يخص معالجته بواسطة اكسيد الحديد و $MES=96.86\%$ ، $DBO_5=96.60\%$ ، $DCO=90.35\%$ من المياه المعالجة بواسطة الفضة .

في ما يخص مؤشرات التلوث البكتريولوجي فقد نتج انخفاض بنسبة 100% كل من (SF, CT, CF, ASR) للمياه المعالجة بالفضة، بالنسبة لأكسيد الحديد $CT=99,99\%$ ، $CF=99,94\%$ ، $SF=99,71\%$ و $ASR=100\%$ و حوالي 99.70% من CT ، 96.88% من CF ، 95.14% من SF و 100% من ASR في المياه الخام التي تتم معالجتها بواسطة محطة تنقية المياه و حوالي 99.98% من CT ، 99.59% من CF و $99,71\%$ من SF و 100% من ASR في المياه الخام التي تتم معالجتها بواسطة عدسات المياه، لبحث عن مسببات الأمراض في المياه الخام يعامل من قبل معالجات مختلفة، نجد غياب السالمونيلا والشيجلا من لزمة الكوليرا والزائفة مع وجود (المكورات العنقودية البشرية) بعد العلاج من مياه الصرف الصحي بواسطة العدسات و محطة تنقية المياه مع غياب كامل لجميع هذه الكائنات بعد العلاج الكتاليتيك مع أكسيد الحديد والفضة.

الكلمات الرئيسية: المعالجة الكتاليتيك، المعالجة البيولوجية، عدسات المياه، اكسيد الحديد، الفضة، محطة تنقية المياه، المؤشرات الفيزيو-كيميائية، المؤشرات البيولوجية.

Liste des figures

N° de figure	Le titre	N° de page
01	La localisation géographique de la wilaya de Guelma.	04
02	Situation géographique bassin-versant de la Seybouse (Algérie).	05
03	Image satellitaire représentant la localisation de la station d'épuration de Guelma.	06
04	Configuration de la STEP de Guelma	13
05	Recherche et dénombrement des microorganismes revivifiables à 37°C dans l'eau.	21
06	Recherche et dénombrement des coliformes totaux, fécaux (<i>E.coli</i>) dans l'eau.	25
07	Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux dans l'eau.	27
08	Recherche et dénombrement des spores des bactéries anaérobies sulfito-réducteurs.	29
09	Recherche des <i>Salmonelles</i> .	31
10	Recherche des Staphylocoques, <i>Shigella</i> et <i>Pseudomonas</i> .	35
11	Recherche et identification de <i>Vibrio</i> dans les eaux.	37
12	Evolution de la température de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.	42
13	Evolution du PH de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.	42
14	Evolution de la CE de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.	42
15	Evolution d'O ₂ de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.	42
16	Evolution du Rh de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.	42

17	Evaluation de la turbidité de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.	42
18	Evaluation de la DCO de l'eau traité par les différents procédés étudiés.	44
19	Evaluation de la DBO ₅ de l'eau traité par les différents procédés étudiés.	44
20	Evaluation des MES de l'eau brute traité par les différents procédés étudiés.	44
21	Evaluation des flores mésophile aérobie total dans l'eau brute traitée par les différents procédés étudiés.	49
22	Evaluation des coliformes totaux dans l'eau brute traitée par les différents procédés étudiés.	49
23	Evaluation des coliformes fécaux dans l'eau brute traitée par les différents procédés étudiés.	49
24	Evaluation des streptocoques fécaux dans l'eau brute traitée par les différents procédés étudiés.	49

Liste des tableaux

N° de figure	Le titre	N° de page
01	Température moyenne de 10 ans (2004 – 2014)	09
02	Précipitations moyennes mensuelles de 10 ans (2004 – 2014)	09
03	L'humidité relative moyenne mensuelle 10 ans (2004 – 2014)	09
04	Nature et période de prélèvement.	15
05	Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées de la ville de Guelma.	40
06	Résultat d'analyse bactériologique de l'eau brute (Entrée de STEP).	46
07	Résultat de recherche des germes pathogènes de l'eau brute (Entrée de STEP).	46

Liste des photos

N° de figure	Le titre	N° de page
01	Les nanoparticules à tester l'argent (Ag) et l'oxyde de fer (Fe ₂ O ₃).	11
02	Des colonies de <i>Lemna gibba</i> dans lac Tonga.	12

Table de matière

Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des photos	
Liste des abréviations	
Introduction générale	01
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude	
1. Situation géographique.....	04
2. Le bassin versant de la Seybouse	05
2.1. Dangers menaçant le cours de la Seybouse.....	06
3. Présentation et localisation du site de prélèvement (la STEP de Guelma).....	06
3. 1. Origine et nature des eaux à traiter.....	07
3. 2. Les différents procédés de traitement.....	07
4. Climatologie.....	08
4. 1. Température.....	08
4. 3. Précipitation.....	09
4. 3. L'humidité relative de l'air.....	09
Chapitre II : Matériel et méthodes	
1. Matériel.....	11
1.1. Matériel chimique	11
1.2. Matériel végétal.....	11
1.2.1. Classification de la plante.....	12
1.2.2. Description de <i>Lemna gibba</i>	12
2. Méthode de prélèvement et de transports des échantillons	13
2.1. Site de prélèvement	13
2.2. Mode de prélèvement	13
2.3. Transport et conservation des échantillons	15
2.4. Méthodes d'analyses	16
2.4.1. Méthodes d'analyses physico-chimiques.....	16

2.4.1.1. Mesures <i>in situ</i>	16
2.4.1.2. Méthodes spectrométriques	17
A. Turbidité	17
2.4.1.3. Méthodes volumétriques	17
a. Détermination des matières en suspension (MES)	17
b. La demande chimique en oxygène (DCO).....	18
c. La demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	18
2.4.2. Analyses bactériologiques	19
2.4.2.1. Recherche et dénombrement des germes revivifiables à 37°C.....	20
2.4.2.2. Recherche et dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale.....	22
2.4.2.3. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes fécaux.....	22
2.4.2.4. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux.....	25
2.4.2.5. Recherche et dénombrement des spores des anaérobies sulfito-réducteurs.....	28
2.4.2.6. Recherche des germes pathogènes.....	29
A. Recherche des Salmonelles.....	30
B. Recherches des Sighelles.....	31
C. Recherche des Staphylocoques.....	32
D. Recherche des Pseudomonas.....	33
E. Recherche de <i>Vibrio</i>	35

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Résultats.....	38
1.1. Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau usée brute (Entrée STEP).....	38
1.2. Résultats des analyses physico-chimiques d'eau brute traitée par les différents procédés (STEP, Ag, Fe ₂ O ₃ , LE).....	41
2. Résultats des analyses bactériologiques.....	45
2.1. Résultats des analyses bactériologiques de l'eau usée brute Entrée STEP.....	45
2-2 Résultats des analyses bactériologiques de l'eau brute après traitement par les différents procédées.....	47
3. Discussion.....	50
Conclusion et perspective.....	59
Références bibliographiques.....	61

Annexe

Introduction Générale

Au cours des dernières décennies, la pollution de l'environnement compte parmi les problèmes les plus importants qui préoccupent tous les pays ou l'industrie connaît un développement plus ou moins élevé et qui présente un fléau qui menace la vie sur terre c'est l'une des plus importantes manifestations de la dégradation de l'environnement. L'explosion de la croissance démographique au cours du dernier siècle corrélée aux progrès de la civilisation technologique et de la production industrielle a entraîné inexorablement un accroissement massif du rejet de déchets (Ramade, 2007;Souiki, 2008).

Devant cette charge polluante élevée de ces industries et des rejets, le traitement de ces effluents et la réduction de la pollution à la source sont devenus une nécessité absolue. Cependant, actuellement, il n'existe pas des méthodes universelles convenables pour le traitement des effluents colorés, probablement à cause de la complexité et la variété des structures chimiques des composés qu'ils contiennent (Peralta et *al.*, 1998).

Cependant l'Algérie a connu ces dernières décennies une forte croissance démographique, une urbanisation massive et un développement des activités industrielles qui ont généré une production importante d'eaux usées, surtout dans les centres urbains. Le volume des eaux usées évacuées à travers les réseaux d'assainissement est estimé à près de 660 millions de m³ par an, dont à peine 18% subissent un processus d'épuration partiel. Les eaux usées qui constituent une ressource potentielle non négligeable, sont totalement perdues chaque année et il n'y a pratiquement aucune stratégie pour les récupérer (Bouziani, 2000). Les capacités d'épuration des eaux usées restent très faibles. Le nombre de populations agglomérées raccordées à une station d'épuration n'est que de 8%. On note un déficit important en matière de réalisation d'infrastructures d'épuration (Bentir, 1996).

La région de Guelma, comme la plupart des villes algériennes endure des conséquences de la pollution hydrique. Elle est devenue après l'indépendance un pôle industriel ce qui a causé un exode rural important. De nouvelles constructions ont été créées en un temps très court et au mépris des règles élémentaires d'hygiène pour la population. Cet état de fait est à l'origine de l'apparition des maladies à transmission hydrique (mélange des eaux de consommation avec les eaux urbaines), dégradation de la qualité des eaux des nappes due aux rejets des eaux usées (aucune évacuation), dégradation de la qualité des eaux des Oueds (Djabri, 2001).

De nos jours, les eaux domestiques usées doivent être épurées avant d'être renvoyées vers les rivières ou la mer, où elles réintègrent le cycle de l'eau. A ce stade, ces eaux doivent répondre

à des normes de qualité fixées par les autorités responsables de la gestion des ressources en eau (Vandermeersch, 2006). L'épuration de l'eau usée et son utilisation en irrigation est une option attrayante, en particulier dans les zones arides et semi-arides, car elle représente une source d'eau d'engrais additionnels renouvelables et fiables. La gestion des eaux usées épurées en Algérie, accordant une place importante à l'approvisionnement de l'agriculture en eau d'irrigation (Hannachi et *al.*, 2014).

Pour cela, la wilaya de Guelma a mis en service une station d'épuration (STEP) au cours de l'année 2008 qui a pour objectif l'épuration de 43 388 m³/j d'eaux usées, d'où un appoint non négligeable pour permettre l'irrigation des terres agricoles à partir du bassin versant de l'Oued Seybouse et de la plaine de Bouchegouf (ONA, 2011). Les eaux usées urbaines sont épurées directement dans la station d'épuration avec une série de traitement primaires permettant d'éliminer les déchets, les sables, les graisses et les matières en suspension, puis un traitement biologique pour écarter le reste de la pollution (Payment, 1998).

Parmi les procédés développés pour la dégradation des polluants organiques des eaux usées et les effluents industriels, le procédé d'oxydation avancée (AOP), dans lequel un semi-conducteur absorbe la lumière et convertit l'énergie photonique en énergie chimique par un système redox (Dorion et *al.*, 1995).

Aujourd'hui les nanoparticules offrent la possibilité d'élimination efficace des polluants et des germes par ce processus, les nano poudres et les nano membranes sont utilisés pour la détection et l'élimination des substances chimique (par exemple : Cadmium, cuivre, plomb, mercure....etc), biologique, des nutriments, des algues (par exemple: les toxines de cyanobactéries), virus, des bactéries, des parasites et des antibiotiques....etc (Dhermendra et *al.*, 2008).

Les technologies extensives sont fondées sur le principe de la reconstitution d'écosystèmes artificiels des zones humides dont les macrophytes sont l'élément de base, d'où l'attention particulière qu'on doit accorder à l'évaluation de la tolérance et l'accumulation des polluants courants comme les métaux lourds par les macrophytes. Il s'agit d'un facteur déterminant pour le choix des espèces des macrophytes à utiliser dans les stations d'épuration, et cela en fonction de la nature des eaux usées, du type et de la quantité des métaux lourds (Ater et *al.*,2006).

Les systèmes à lentilles d'eau constituent un bon modèle expérimental vu leur croissance rapide et la facilité de culture et de récolte. En effet, elles ont été très utilisées pour

l'évaluation de la toxicité des polluants. Ces systèmes sont exploités pour le traitement des eaux usées dans différentes régions du monde comme l'Asie, Israël et les Etats-Unis. Au Maroc, ce type de système a été essayé aussi bien à l'échelle expérimentale que pilote. Dans la région méditerranéenne, en général, et particulièrement au Maroc, les espèces de lentilles d'eau les plus communes sont: *Lemna minor* et *Lemna gibba* (Ater et al.,2006).

L'objectif de ce travail vise à étudier :

- La qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la STEP (Guelma) qui se verse dans l'Oued de Seybouse dont l'objectif de l'analyse physico-chimique est la détermination des paramètres de caractérisation des eaux qui constitue un bon moyen pour donner l'image de la qualité de ces eaux destinées à l'irrigation et le but de l'analyses bactériologiques est de rechercher les microorganismes qui sont susceptible d'être pathogènes (Salmonelles, Vibriion cholériques, Staphylocoques) et ceux qui sont indicateurs de contamination fécales (Coliformes et Streptocoques fécaux).
- Etudier les traitements des eaux de la STEP par la station d'épuration. Ensuite des essais de traitement au laboratoire des eaux brutes de la STEP par les nanoparticules d'oxyde de fer et d'argent (Fe_2O_3 , Ag) et enfin le traitement biologique en utilisant des macrophytes (les lentilles d'eaux *Lemna gibba*) à travers l'évaluation des paramètres physico-chimique et bactériologique des eaux brutes traitement par la STEP, les Nps et les lentilles d'eaux.

Les nanoparticules présentent spontanément sous forme d'une dispersion stable lorsqu'elles sont dans l'eau. Cette stabilité ne nécessite l'ajout d'aucun composant additionnel de type tensioactif ou polymère qui pourrait également interagir avec la cible biologique. En outre, elles sont de plus en plus largement utilisées dans de nombreux domaines (Ophélie, 2008).

Dans le présent travail, sera tout d'abord présentée une introduction générale, une présentation de la région d'étude pour donner un aperçu général comprenant une description du cadre physique avec les données climatiques. Après avoir présenté les objectifs et la démarche retenue pour l'étude, Matériel et Méthodes utilisées seront décrits. Les résultats obtenus seront ensuite détaillés et discutés et pour finir, une conclusion générale sera présentée.

1. Situation géographique :

La wilaya de Guelma se situe au Nord-Est de l'Algérie à 290 m d'altitude. Elle s'étend de 39° au 40° de latitude de Nord et du 5° au 6° de longitude Est. Elle occupe une position géographique stratégique, point de vue géographique, un point de rencontre, voire un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba et Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum El Bouaghi et Tébessa). Elle occupe une position médiane entre le Nord du pays, les Hauts plateaux et le Sud. La wilaya de Guelma s'étend sur une superficie de 3.686,84Km². La wilaya de Guelma est limitrophe aux Wilayas: Annaba, au Nord, El Taref, au Nord-est, Souk Ahras, à l'Est, Oum El-Bouaghi, au Sud Constantine, à l'Ouest, Skikda, au Nord-ouest (Zouar, 2013).

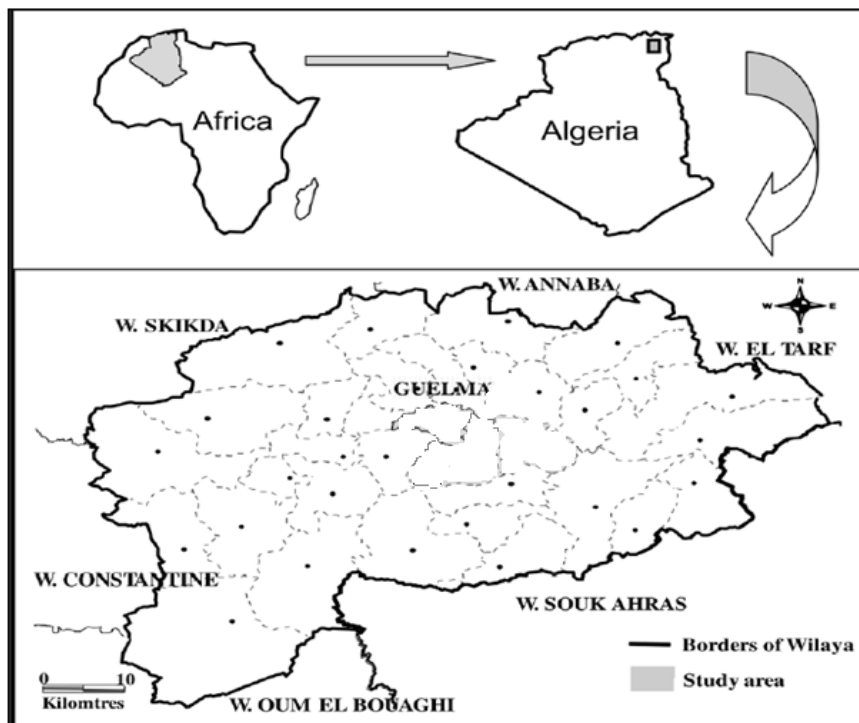


Figure 01: La localisation géographique de la wilaya de Guelma (Rouaiguia et *al.*, 2015).

La région d'étude fait partie du bassin versant de l'Oued Seybouse. Elle englobe 34 communes totalisant une population de 482 430 habitants (au dernier recensement de 2008). La densité moyenne de cette population est de 118 habitants/km², dont 26% sont concentrés au niveau du centre de la wilaya et plus de 55% vivent dans les zones rurales et éparses (ONS, 2011).

➤ **Principaux Oueds de la région** (Nouar, 2007) :

- Oued Seybouse: traverse la plaine de Guelma - Bouchegouf sur plus de 45km du Sud au Nord, son apport total est estimé à 408 millions m³/an.
- Oued Bouhamdane: prend sa source à l'Ouest, il est d'un apport de 96 millions m³/an.
- Oued Mellah: provenant du Sud-Est, il est d'un apport total de 151 millions m³/an.
- Oued Charef: prend sa source au sud, il est d'un apport total de 107 millions m³/an.

Le réseau hydrographique du bassin de Guelma possède un régime hydrologique de type pluvial fortement dominé par les précipitations sur l'ensemble de l'année.

2. Le bassin versant de la Seybouse

Le bassin de l'oued Seybouse est l'un des plus grands bassins hydrographiques en Algérie. Il est situé dans la région Nord est de l'Algérie et s'étend sur une superficie de 6471 km² avec une longueur de 240 km. Il couvre 68 communes dans sept wilayas : Guelma, Annaba, Souk Ahras, El Tarf, Oum El Bouaghi, Constantine et Skikda. Il prenant naissance à 20 Km de la ville de Guelma par la Jonction de l'Oued Cherf et Bouhemdane. Ces eaux représentent une source fondamentale de vie dans la région. Les eaux de la Seybouse sont utilisées à des fins domestiques, industrielles et agricoles (Khelifa et *al.*, 2011).

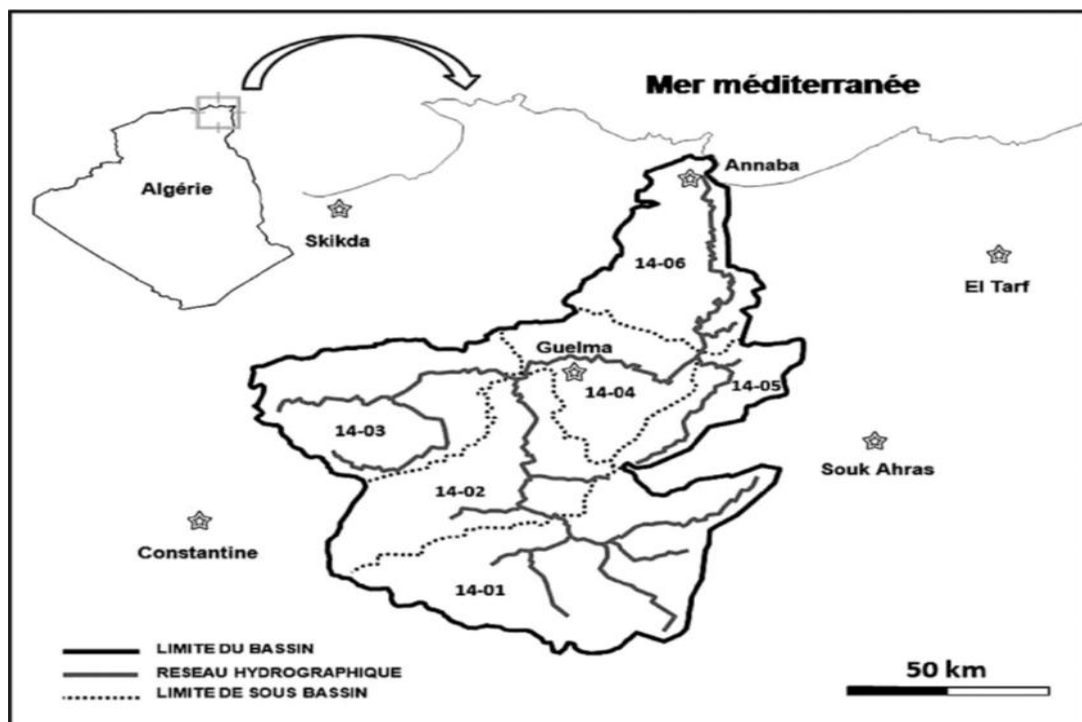


Figure 02. Situation géographique bassin-versant de la Seybouse (Algérie) (Khelifa et *al.*, 2011).

2.1. Dangers menaçant le cours de la Seybouse

Le bassin de la Seybouse est confronté à la pollution urbaine, industrielle et agricole. Cette pollution émane des différentes villes, usines et zones agricoles situés sur ses deux rives, 4,5 millions de m³ sont rejetés annuellement dans la rivière, sur les quels 3 millions de m³ sont des huiles usagées. Le traitement de la Seybouse est un bel exemple de gestion intégrée, puisque il inclurait des volets de protection de ressources superficielles et souterraines, de rationalisation d'usage domestiques, agricoles et industrielles, mais aussi de lutter contre la pollution et de protection de l'environnement (Debieche et *al.*, 2002).

3. Présentation et localisation du site de prélèvement (la STEP de Guelma)

La station d'épuration de Guelma a été créée en 2008 et occupe un terrain agricole de 8ha. Elle se situe à 1 km environ au Nord de la ville sur le flanc droit de la vallée développée par l'Oued Seybouse et sur la route nationale N° 21 menant à Annaba à la sortie de l'agglomération (ONA, 2011). Les responsables de la station se fixent comme objectif l'épuration de 43 388 m³/j d'eaux usées de la ville de Guelma qui sont collectées par deux stations de relevage, l'une se trouvant au niveau de la cité Ghehdour : point de rejet de Oued Lemaïz avec un débit de 1575 m³ /h, et la seconde au niveau du point de rejet de Oued Skhoun (son débit est de 1125 m³/h) (Dadci, 2008).

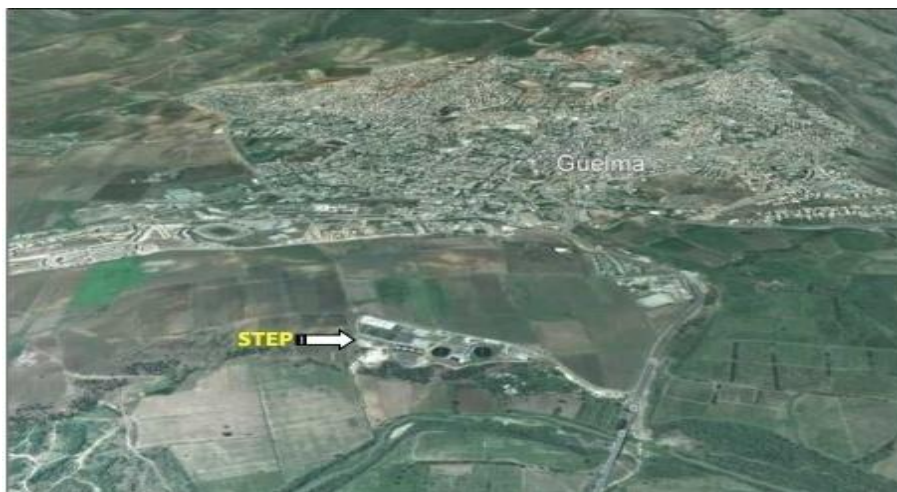


Figure 03: Image satellitaire représentant la localisation de la station d'épuration de Guelma.

(Google Earth, 2013).

3.1. Origine et nature des eaux à traiter

La station d'épuration est alimentée par des effluents d'origine domestique.

➤ **Nature du réseau :**

Les eaux usées domestiques de la ville de Guelma sont collectées par un ensemble de réseaux d'assainissement. Les effluents bruts arrivent à la station d'épuration à partir de : - 2 stations de relevage SP1, SP2 par des conduites qui refoulent directement dans le regard d'arrivée (prétraitement).

➤ **Point de rejet (l'eau épurée) :**

Le rejet est exercé dans l'Oued Seybouse situé en contre bas de la station d'épuration à 331m de distance, les effluents sont acheminés jusqu'à l'Oued par canalisation des rejets (Karaali et *al.*, 2008). L'utilisation d'eaux usées en agriculture peut aider les communautés à produire davantage de cultures alimentaires et à tirer parti de ressources précieuses en eau et en nutriments. Cette utilisation doit cependant s'effectuer sans risque afin que ses bénéfices pour la santé publique et l'environnement soient les plus importants possibles. Cette utilisation est motivée principalement par la rareté grandissante des ressources en eau et les tensions de plus en plus fortes sur ces ressources, la dégradation des sources d'eau douce résultant de l'élimination incorrecte des eaux usées, et la croissance démographique et l'augmentation résultante de la demande en nourriture et en fibres (OMS, 2012).

3.2. 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, plastique,...). 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 (STEP de Guelma, 2008).

À 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 primaire permet 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 de Guelma, 2008).

Les effluents bruts arrivent à la station d'épuration par deux conduites pressions, refoulant directement dans le regard d'arrivée au prétraitement. Ces effluents passent par un dégrilleur automatique de maille 20 mm pour être débarrassés de toute matière grossière. Une grille manuelle permet de by passer le dégrilleur automatique en cas de besoin. Les refus de dégrillage sont repris par un convoyeur à vis pour être stockés dans une benne. Les effluents dégrillés sont alors traités sur deux dessableurs-dégraisseurs rectangulaires. Ces ouvrages permettent aux sables de décanter et aux graisses de flotter grâce à l'injection d'air par l'intermédiaire de turbine immergée (3 par ouvrage). Les sables sont repris par un supprimeur (1 par ouvrage) et envoyés sur un classificateur avant stockage. Les graisses sont stockées dans 1 fosse à graisse. Après le dessablage déshuilage les effluents sont envoyés vers les décanteurs primaires. Le traitement biologique comprend deux bassins d'aération, qui va permettre de traiter la pollution carbonée de l'effluent et deux clarificateurs dans lequel les boues vont décanter. Deux postes de recirculation assurent le maintien de la concentration en biomasse dans les bassins d'aération. Les effluents traités sont envoyés au rejet après avoir subi une étape de désinfection au chlore. Les boues en excès sont envoyées en filière de traitement des boues (ONA, 2011).

4. Climatologie

L'étude des données climatologiques est une opération indispensable dans toutes les approches, car elle facilite la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles. En revanche, pour étudier les mécanismes de la pollution des eaux, il est important d'étudier les données climatiques afin de pouvoir déterminer le bilan hydrologique, à savoir les précipitations, l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration. L'interprétation des données météorologiques de Guelma sur une période de dix ans, et l'établissement de son diagramme solaire s'avèrent utiles pour mieux caractériser son climat. Notre région (Guelma) est classée dans l'étage bioclimatique à végétation semi-aride à hiver frais. On peut distinguer deux périodes, la première froide et humide qui s'étale sur 8 mois, du mois d'octobre jusqu'au mois de mai. La seconde chaude et sèche qui s'étale sur 4 mois, du mois de juin jusqu'au mois de septembre (Bedouh, 2014).

4.1 Température

La température est l'un des facteurs les plus importants du climat. L'étude des températures moyennes mensuelles et annuelles est primordiale, car c'est elle qui nous permet d'évaluer l'interaction avec les autres facteurs météorologiques (insolation, humidité, évaporation, précipitation...) (Lahlah, 2010 ; Emsalem, 1986).

Tableau 01 : Température moyenne de 10 ans (2004 – 2014)

	Jan	fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
T (°C)	08	09	10	12	15	20	25	30	25	20	15	14

La température moyenne mensuelle la plus élevée a été observée pendant le mois de aout, avec T= 30°C. Par contre la température moyenne mensuelle la plus basse a été observée avec un minimum enregistré pendant le mois de janvier, T=08 °C.

4.2 Précipitations

La pluie est un facteur climatique essentiel conditionnant l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau. L'étude nécessite notamment une analyse minutieuse use des données pluviométriques. Cette analyse aboutit à l'évaluation et à la quantification de différentes franges d'eau de surface, souterraines et atmosphériques (Bedouh, 2014).

Tableau 02: Précipitations moyennes mensuelles de 10 ans (2004 – 2014)

	Jan	fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
P(mm)	77.71	78.35	78.55	54.94	49.93	20.87	4.68	8.11	40.63	45.54	58.01	78.84

Ce tableau montre que la saison hivernale est la plus pluvieuse avec une moyenne de 82.90 mm/mois. Tandis que l'été est sec avec une faible recharge de 1.0 mm/mois. Avec une précipitation moyenne annuelle qui est égale à 596,17 mm.

4.3 L'humidité relative de l'air

L'humidité de l'air joue un rôle important dans l'évaporation ; plus l'air est humide moins il apte à absorbé de l'humidité supplémentaire. L'humidité élevée atténuée la sécheresse conditionne favorablement le développement des plantes (Beltrando, 1995).

Tableau 03:L'humidité relative moyenne mensuelle 10 ans (2004 – 2014)

	Jan	fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
H%	77.85	75.43	75.13	73.01	68.85	60.22	56.03	57.90	67.11	69.90	73.05	77.02

Le tableau représente la variation de l'humidité relative de l'air mensuelle durant (2004-2014). Les valeurs montrent que l'humidité de l'air ne diminue pas au-dessous de 50%. Elle atteint son maximum le mois de Janvier avec (77.85 %) alors que le minimum est observé le mois de Juillet (56.03%).

II. Matériel et méthodes

Les analyses bactériologiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de microbiologie de l'université 8 Mai 1945 de Guelma. Alors que les analyses physico-chimiques ont été effectuées au niveau de la station d'épuration (STEP) de la wilaya de Guelma.

1. Matériel

L'ensemble des milieux, réactifs et appareillages sera cité au fur et à mesure de leurs utilisations.

1.1. Matériel chimique

Les matériaux chimiques utilisés dans cette étude pour le traitement des eaux usées domestiques de la ville de Guelma sont des nanoparticules l'oxyde de fer (Fe_2O_3) et l'argent en (Ag), ces molécules sont fournies par le laboratoire de Chimie de l'Université de Guelma.

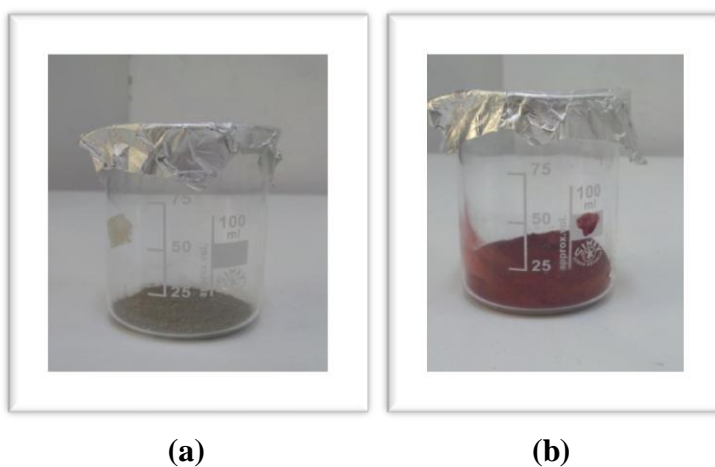


Photo 01 : Les nanoparticules à tester (a) l'argent (Ag) et (b) l'oxyde de fer (Fe_2O_3) (prise par BOUCHELEGHEM et BOUREGAA, 2015).

1.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est une plante aquatique *lemna gibba*, à été effectué notre échantillonnage a été effectué au lac Tonga (la wilaya d'El tarf). Le site a été choisi pour l'abondance de l'exploration d'espèce dans le lac.

1.2.1. Classification de la plante

Règne : Plantae

Famille : Lemnaceae

Genre : *Lemna*

Espèce : *Lemna gibba* (ISO, 2001)



Photo 02 : Des colonies de *Lemna gibba* dans lac Tonga
(Prise par BOUCHELEGHEM et BOUREGAA, 2015).

1.2.2. Description de *Lemna gibba*

Les lemnacées sont des macrophytes monocotylédones d'organisation simple, flottant généralement librement à la surface de l'eau.

Elles ont l'aspect de très petites lames vertes, ou frondes thalloïdes, munies ou non sur le dessous d'une ou plusieurs racines filiformes non ramifiées.

Elles présentent la particularité de pouvoir flotter sur l'eau grâce à la présence de lacunes aérifères. *Lemna gibba* se reconnaît à sa face inférieure plus ou moins fortement renflée. Chaque lame ne porte qu'une seule racine. Les fleurs vertes, minuscules, unisexuées, se forment sur le bord des lames foliacées (ISO, 2001).

Cette lentille d'eau est voisine de l'espèce commune *Limna minor* dont elle diffère par la taille (jusqu'à 8 mm) et la forme beaucoup plus ronde. La face ventrale présente, en outre, un aspect bosselé et spongieux, la face dorsale étant d'un vert plus foncé et brillant. Se rencontre rarement

dans la nature (Centre et Ouest de l'Europe) d'autant qu'elle passe parfois inaperçue mélangée à l'espèce commune, et encore plus rarement en aquarium.

Se plaît dans les eaux calmes eutrophisées, et forme des cordons en période de reproduction (ISO, 2001).

2. Méthode de prélèvement et de transport des échantillons

2.1. Site de prélèvement

Nos prélèvements ont été effectués au niveau de la station d'épuration des eaux usées de la région du Guelma qui sont déversés au niveau d'Oued Seybouse après un traitement préalable (Figure 04).

Les points de prélèvements comportent deux échantillons réalisés :

- ✓ Entrée principale STEP (eaux brutes).
- ✓ Sortie final (eaux épurées).



[1 : Prétraitement, 2 : Décanteur primaire, 3 : Bassin d'oxygénation, 4 : Clarificateur, 5: Épaisseur, 6: Bassin de désinfection, 7 : Lit de séchage, 8 : Boue secondaire].

Figure 04: Configuration de la STEP de Guelma (ONA, 2011).

2.2. Mode de prélèvement

En fonction de la nature des eaux analysées et de celle des microorganismes recherchés, les normes fixent des conditions à respecter. L'échantillon destiné à l'analyse est le plus souvent prélevé de façon à représenter le plus possible le milieu d'où il provient, la concentration étant supposée être la même dans le milieu d'origine et dans l'échantillon (Rodier, 1996).

Concernant les analyses bactériologiques et pour faciliter les prélèvements et éviter tout type de contamination, il est souhaitable d'utiliser des flacons en verre pyrex munis d'un large col et d'un bouchon à vis métallique d'une contenance égale à 250 ml (Rodier, 1996), et la même chose pour les différents échantillons d'eau à analyser (concernant les eaux traitées par les nanoparticules ou par les lentilles d'eaux).

Le prélèvement bactériologique de l'eau doit s'effectuer dans des conditions d'asepsie rigoureuse. La verrerie destinée aux prélèvements d'eau doit être munie d'un nettoyage avec un détergent puis rinçage avec l'eau propre (eau douce), et enfin stérilisé à la chaleur sèche (four Pasteur) à une température comprise entre 170 et 175 °C, pendant au moins 1h (Rodier, 2009).

Les flacons d'échantillonnage d'analyse bactériologique ne doivent être ouverts qu'au moment du prélèvement de l'échantillon. Une fois l'échantillon est prélevé, les flacons doivent être fermés hermétiquement jusqu'au moment de l'analyse (Rodier, 2009).

Rincés au moment de l'emploi avec l'eau à examiner et pour éviter les risques de contamination, les flacons sont ouverts sous l'eau, goulot dirigé à contre courant d'eau, ensuite sont fermés hermétiquement sous l'eau sans laisser des bulles d'air. Le flacon ne doit pas être rempli entièrement. En effet, laisser un petit volume d'air à la surface pour faciliter l'agitation de l'eau avant son analyse (Rodier, 1996).

Pour faciliter le travail et l'exploitation des résultats tout en évitant les erreurs, il est essentiel que les échantillons soient clairement étiquetés immédiatement avant les prélèvements et que les étiquettes soient lisibles et non détachables. Dans ces derniers, on doit noter avec précision : la date, l'heure, les conditions météorologiques, un numéro et toutes circonstances anormales (Rodier, 1996; Lightfoot., 2002). La nature et la période de prélèvement est présentée dans le tableau (04).

Tableau 04: Nature et période de prélèvement.

Station	Conditions météorologiques	Nature de prélèvement	Période de prélèvement		Heures	Type des analyses effectuées
S1 : Entré S2 : Sortis	Au mois de Mars : partiellement nuageux Au mois d'Avril : Beau temps, ensoleillé.	Les eaux usées domestiques de la ville de Guelma	P1	08/03/2015	09 :10	Mesures <i>in situ</i> Analyses physico-chimiques
			P2	30/03/2015	09 : 10	Analyses bactériologiques Traitement par nanoparticules
			P3	19/04/2015	09: 10	Traitement par les lentilles d'eaux L'eau après traitement de STEP

2.3 Transport et conservation des échantillons

Pour les analyses qui seront faites au laboratoire, il faut que les échantillons d'eau soient acheminés dans les meilleurs délais, surtout les demandes des analyses bactériologiques. Si la durée du transport dépasse 1 heure, et si la température extérieure est supérieure à 10 °C, les prélèvements seront transportés dans des glacières dont la température doit être comprise entre 1 à 4 °C (Rodier, 2009).

Les échantillons soigneusement étiquetés sont placés dans une glacière contenant des poches de glace et transportés ensuite au laboratoire.

2.4. Méthodes d'analyses

Nous nous sommes intéressés à la détermination de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux usées de la ville de Guelma avant et après traitement par la STEP.

Pour chaque prélèvement (avant traitement par la STEP), on a effectué des essais de traitement par :

- ✓ Les nanoparticules d'argent (Ag) et d'oxyde de fer (Fe_2O_3), nous avons retenu la concentration (2,5 mM) des nanoparticules (d'Ag et Fe_2O_3) et un milieu témoin pour chaque prélèvement (Benedetti et Ferrari, 2009).

Chaque flacon de 250 ml contenant la concentration de nanoparticule (2,5mM) est conservée pendant 24 heures puis soumet à une analyse physicochimique et bactériologique (Benedetti et Ferrari, 2009).

- ✓ Les macrophytes (*Lemna gibba*) :

Les plantes sont lavées plusieurs fois à l'eau distillée avant d'être séparées en 100 lentilles et mis en culture dans un bécher en verre contenant notre échantillon d'eau brute avec un volume de 100 ml. On a laissé sur palliase à l'air libre sous la lumière pendant une semaine pour exécuter l'épuration (Ater et al., 2006).

Après la période de traitement par les macrophytes, l'eau traitée soumet à une analyse physico-chimique et bactériologique (Radic et al., 2009).

2.4.1. Méthodes d'analyses physico-chimiques

2.4.1.1. Mesures *in situ*

Les mesures *in situ* sont des analyses réalisées sur place en plongeant directement le multi paramètre dans l'eau. La température, pH, conductivité électrique, O_2 dissous, salinité ont été mesurés à l'aide d'un multi paramètre de type WTW Multi (1970i).

Ces paramètres sont très variables aux conditions du milieu et ils permettent une première estimation de la qualité générale de l'eau.

En effet, ces paramètres sont très sensibles aux conditions du milieu et sont susceptibles de changer dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés sur site (Rodier, 2009).

2.4.1.2 .Méthodes spectrométriques

A. Turbidité

❖ Principe

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence des particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, microorganismes). l'instrument utilisé pour faire les mesures de la turbidité est le néphélométrie (Rodier, 1996).

2.4.1.3. Méthodes volumétriques

a. Détermination des matières en suspension (MES)

❖ Principe

L'eau est filtrée et le poids des matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle (Rodier, 1996).

❖ Mode opératoire

- Mettre les membranes filtrantes dans une étuve à 105 °C pendant 20 minutes.
- Laisser refroidir dans le dessiccateur.
- Ensuite les peser soit (p1).
- Placer les membranes dans la rampe à filtration et faire passer 200 ml d'eau à analyser à travers.
- Rendre les membranes à l'étuve (105°C) afin de les sécher pendant 20 mn.
- Laisser les refroidir au dessiccateur puis les peser une 2^{ème} fois (p2).

❖ Lecture

Le résultat est exprimé par la formule suivante :

$$MES (mg/l) = (p_1 - p_2) \times 5 \times 1000$$

- **p1** : poids des membranes avant filtration.
- **p2** : poids des membranes après filtration.

b. La demande chimique en oxygène (DCO)

❖ **Principe**

La détermination de la demande chimique en oxygène comprend deux étapes : la première sert à l'oxydation chimique des matières organiques contenues dans l'eau par un excès de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$), et la deuxième au dosage de l'excès de dichromate de potassium par le sel de Mohr après refroidissement (Rejsek, 2002).

❖ **Mode opératoire**

Dans les tubes de DCO, on met

- 10 ml d'eau à analyser.
- 5 ml de ($K_2Cr_2O_7$).
- 3 à 4 granules régulateurs d'ébullition puis homogénéisé.
- 15 ml d' $AgSO_4$.
- Agiter soigneusement le tube.
- La demande chimique en oxygène DCO est exprimée en mg/l est donnée par la formule suivante.

$$DCO = - 8COO C_{fe} (V_t - V_e) / E$$

C_{fe} : C'est la concentration exprimée en mol/l de la solution de sel de Mohr déterminée par étalonnage.

E : Volume d'essai pris en ml.

V_t : Volume de sel de Mohr nécessaire pour le virage de couleur de l'échantillon témoin.

V_e : Volume du sel de Mohr nécessaire pour le virage de couleur de l'échantillon.

c. La demande biochimique en oxygène (DBO₅)

❖ **Principe**

Le principe de mesure de la demande biochimique en oxygène consiste à déterminer la quantité d'oxygène consommée au bout de cinq jours d'incubation, dans des conditions d'essai à 20°C et l'obscurité. Pour déterminer la DBO₅ deux mesures de l'oxygène dissout doivent être effectuées (Rejsek, 2002).

A l'instant $t=0$, au moment d'incubation

A l'instant $t=5$ jours, après l'incubation

❖ **Mode opératoire**

Mettre la veille de prélèvement, dans un récipient de 100 ml l'eau du robinet dans laquelle on plonge pendant 24 h un aérateur puis la saturation en O_2 , laisser reposer 12 h.

❖ **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 hermétiquement d'une façon à ne pas laisser l'air pénétrer.

- Répéter l'opération pour les autres flacons.

❖ **Mesure de temps**

- Doser l' O_2 dissous dans le flacon d'échantillon dilué (T° en mg/l).

- Placer les flacons restant au thermostat DBO_5 à $20^\circ C$ et à l'obscurité pendant 5 jours.

2.4.2. Analyses bactériologiques

Dans la plupart des examens usuels, l'analyse bactériologique n'est pas seulement qualitative mais aussi quantitative. Elle fait appel à des diverses techniques de dénombrement basées pour la plupart sur l'obtention de culture à partir des cellules présentes dans le milieu. On oppose souvent analyse quantitative qui détermine un nombre du germe par « ml » ou par « g » de produit et analyse qualitative : test de présence et d'absence de microorganisme (Guiraud, 1998 ; Rodier, 2009).

L'analyse pourra s'effectuer directement à partir de l'eau ou de ses dilutions. Dans le cas d'une eau peu chargée en microorganismes, on pratique une filtration ou une numération en milieu liquide à partir de l'eau brute ; dans le cas d'une eau chargée, on réalise des dilutions (eaux de rivière, eaux usées,...etc.) pour pouvoir dénombrer les microorganismes présents (Rejsek, 2002).

Le choix des méthodes d'examen bactériologique des eaux dépendra de la nature de l'échantillon mais aussi de la sensibilité et de la précision souhaitées (Rodier, 2009).

La population microbienne qui se trouve dans l'eau peut avoir plusieurs origines ; soit elle est purement aquatique, terrestre (vient du sol, des végétaux au voisinage du

cours d'eau ...etc.), ou bien d'origine humaine ou animale (contamination fécale) (Rodier, 2009).

2.4.2.1. Recherche et dénombrement des germes revivifiables à 37 °C (germes totaux)

Microorganismes revivifiables nommés également mésophiles aérobies, Il s'agit de l'ensemble des micro-organismes capables de se multiplier en aérobiose à des températures optimales de croissance (après 24h à 37°C). Ce dénombrement est souvent considéré comme accessoire par rapport aux autres dénombrements réalisés dans le contrôle bactériologique des eaux (Rodier, 2009).

❖ Mode opératoire

A partir de l'eau à analyser et des dilutions décimales 10^{-1} et 10^{-2} , porter aseptiquement 2 fois 1 ml dans deux boîtes de Pétrie vides, numérotées et préparées à cet usage. Compléter ensuite chacune des boîtes avec environ 20 ml de gélose TGEA fondue puis refroidie à $45\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$. Le temps qui s'écoule entre le moment où l'on a distribué l'inoculum dans la boîte et celui où le milieu est coulé ne doit pas excéder 15 minutes. Faire ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de « 8 » sur une surface horizontale pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose, sans faire de bulles et sans mouiller les bords de la boîte. Laisser solidifier les boîtes sur la paille (Figure 11) (Lebres, 2002 ; Rodier, 2009).

Les boîtes seront incubées couvercles en bas à $37\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$ pendant $24 \pm 1\text{ °C}$ heures. Examiner les boîtes dès que possible après la période d'incubation, sinon les conserver à 4 °C pendant 48 heures au maximum. Les germes revivifiables se présentent dans les deux cas sous forme de colonies lenticulaires poussant en masse, ne dénombrer que les boîtes contenant entre 30 et 300 colonies (Rodier, 1996).

❖ Interprétation

Calculer la valeur du nombre N de microorganismes revivifiables à $37\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ en tenant que la moyenne pondérée, à l'aide de l'équation suivante (Rodier, 1996; Lebres, 2002).

$$N = \frac{\sum c}{1.1 \times d}$$

Où :

$\sum c$: est la somme des colonies dénombrées sur deux boîtes de dilutions successives retenues.

d : est le taux de dilution correspondant à la première dilution.

Arrondir les résultats calculés à deux chiffres significatifs après la virgule. Le résultat final de microorganismes revivifiables dénombrés à 37 °C par ml d'eau est noté par un nombre compris entre 1,0 et 9,9 multiplié par 10^x où x est la puissance appropriée de 10. Exprimer les résultats en UFC/ml (Rodier, 2009).

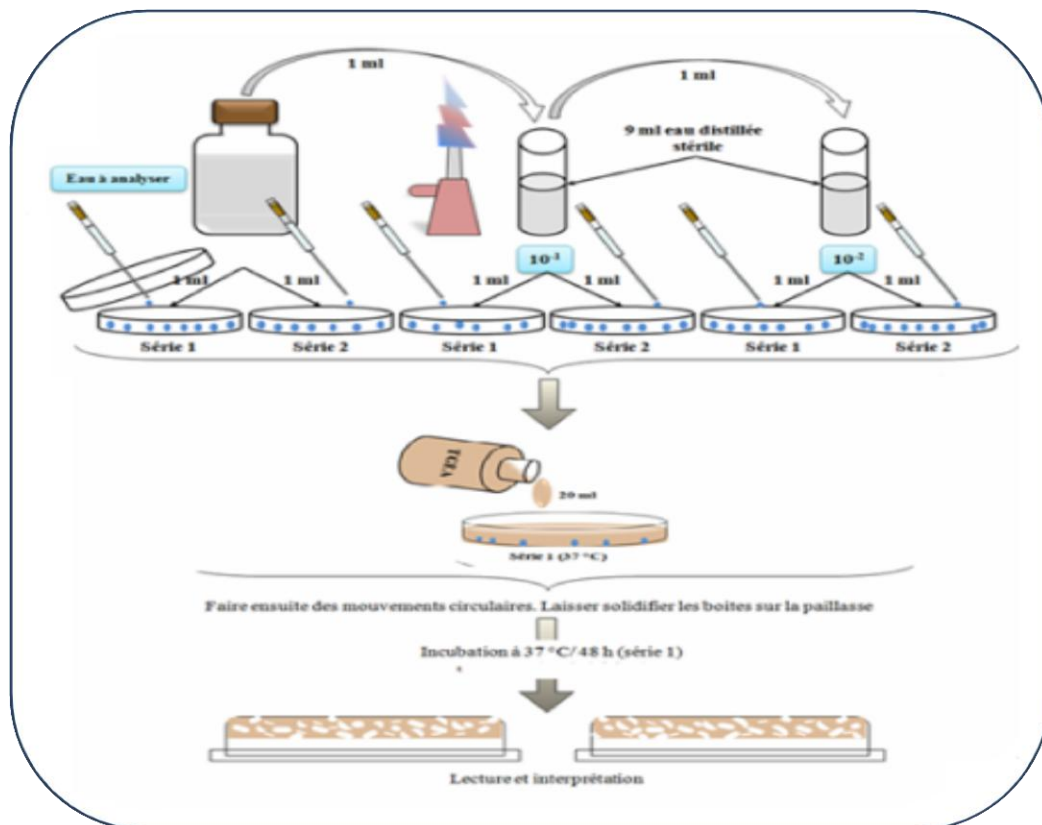


Figure 05: Recherche et dénombrement des microorganismes revivifiables à 37°C dans l'eau (Rodier, 2009).

2.4.2.2. Recherche et dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale

Les indicateurs de contamination fécale permettent d'apprécier, avec plus ou moins de sûreté ou de précocité, le risque d'une contamination par des matières fécales pouvant véhiculer des microorganismes pathogènes. On peut distinguer deux groupes de bactéries indicatrices de contamination fécale : les indicateurs spécifiques et les indicateurs non spécifiques (Rodier, 2009).

Les indicateurs spécifiques sont des espèces que l'on rencontre exclusivement dans les matières fécales : les streptocoques fécaux et les coliformes fécaux ou thermotolérants présents en concentration importante dans les selles des mammifères. Les indicateurs non spécifiques qui sont essentiellement les coliformes totaux et les *Clostridium* sulfito-réducteurs, peuvent se retrouver dans les matières fécales mais également vivre et se multiplier dans les milieux naturels (Rejsek, 2002).

2.4.2.3. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes fécaux

Les coliformes sont des bacilles à Gram négatifs, aérobies ou anaérobies facultatif, non sporulés, ne possédant pas d'oxydase, capables de se multiplier en présence de sels biliaires et capables de fermenter le lactose avec production d'acides et de gaz en 24 à 48 heures à une température comprise entre 36 et 37 °C (Camille, 2003).

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermotolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44 °C et de produire du gaz dans les 24 h à 44,5 °C (Roux, 2003).

La recherche et le dénombrement des coliformes et l'identification d'*E coli* ont été effectués par la méthode de nombre le plus probable (NPP) appelée aussi la colimétrie (Figure 12) (Délarras, 2007).

❖ Mode opératoire

🚦 Test présumptif

Après avoir bien homogénéisé l'échantillon afin d'obtenir une répartition homogène des microorganismes, nous avons réalisé cinq dilutions décimales successives (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5}) avec trois répétitions par dilution. Les dilutions sont toujours effectuées dans des conditions aseptiques.

- Nous prenons les tubes de BCPL (bouillon lactose au pourpre de bromocrésol, simple concentration) munis d'une cloche de Durham.
- Prélever 1ml d'eau à analyser à l'aide d'une pipette Pasteur stérile et la porte dans le premier tube de la série contenant 10 ml de BCPL, pour obtenir la dilution 10^{-1} .
- Nous prélevons 1ml de la dilution 1/10 précédente et l'ajouter à un tube contenant 10ml de BCPL, pour obtenir la dilution 10^{-2} .
- Transférer 1ml de la dilution 10^{-2} dans un tube contenant 10ml de BCPL, pour obtenir la dilution 10^{-3} .
- Refera la technique pour 2 autres tubes de BCPL afin d'obtenir 5 tubes de BCPL, et refaire pour 2 autres séries.

Lecture

Après incubation seront considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois:

- ✓ Un dégagement de gaz (supérieur au 1/10ème de la hauteur de la cloche).
- ✓ Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu).

On retient le nombre caractéristique constitué par les trois chiffres écrit dans l'ordre des dilutions croissantes en commençant par le nombre correspondant à la plus grande dilution pour laquelle tous les tubes sont positifs.

Ce nombre caractéristique obtenu correspond d'après la table de Mac Grady au nombre de bactéries présentes (NPP) dans le prélèvement correspondant à la plus faible dilution prise en compte. Le calcul de concentration cellulaire dans la suspension initiale se fait en tenant compte les dilutions effectuées (Rodier, 2009).

b- Test confirmatif (Test de Mac Kenzie)

Le test confirmatif est basé sur la recherche de coliformes thermotolérants parmi lesquels on redoute surtout la présence *d'Escherichia coli*.

Repiquer chaque tube de BCPL trouvé positif avec une anse bouclée ou une pipette Pasteur dans le (ou les) milieu (x) de confirmation. Comme milieu de confirmation, on a utilisé dans le premier prélèvement : le milieu eau peptonée exempte d'indole et pour le deuxième prélèvement : le milieu Schubert muni d'une cloche de Durham.

Chasser l'air éventuellement présent dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum. L'incubation se fait cette fois-ci à 44 °C pendant 24 h.

- **Lecture**

Seront considérés comme positifs, les tubes présentant :

- ✓ Un anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par *Escherichia coli* après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs.

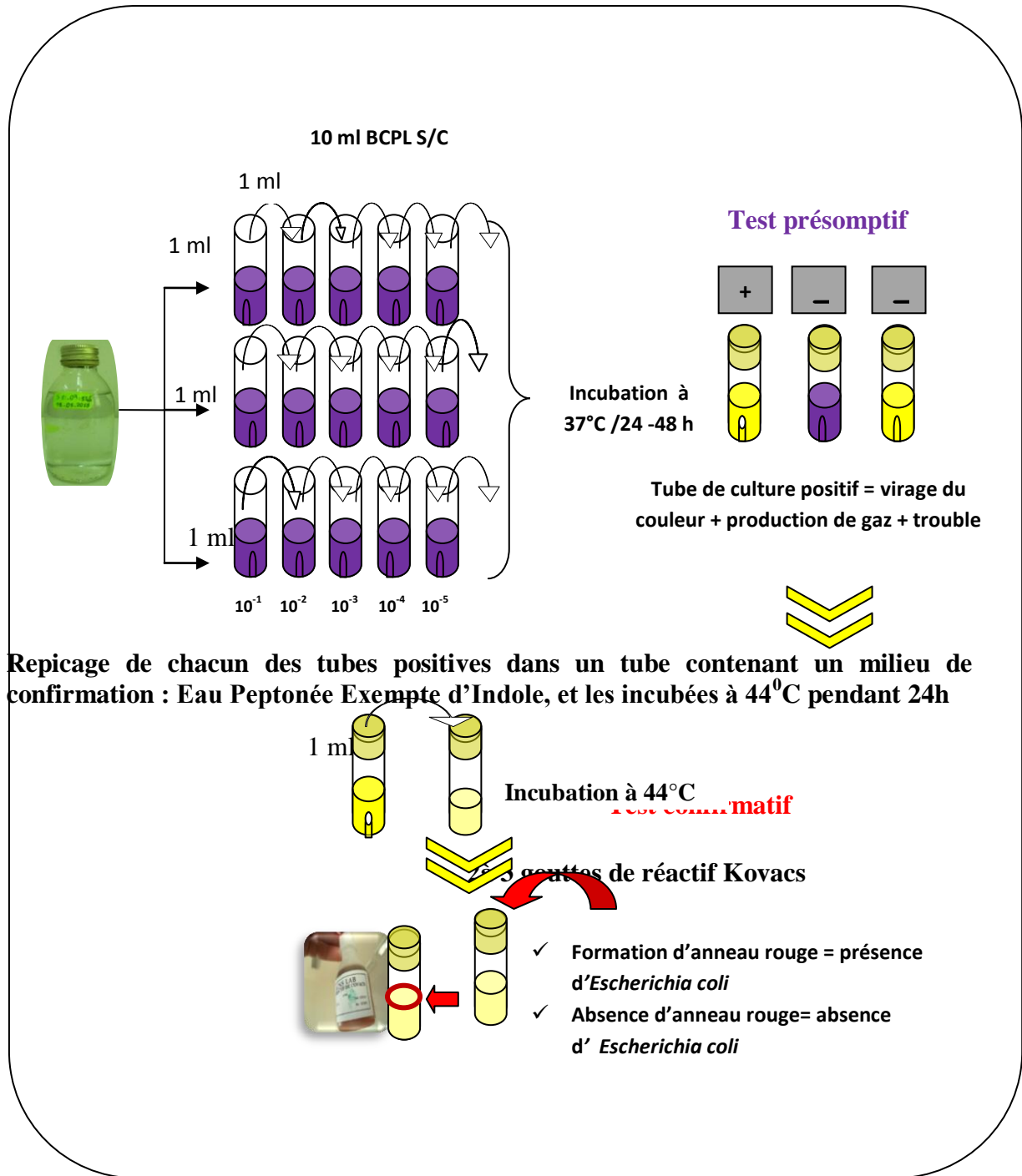


Figure 06: Recherche et dénombrement des coliformes totaux, fécaux (*E. coli*) dans l'eau.

2.4.2.4. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux :

Cette méthode consiste à la recherche des streptocoques fécaux ou streptocoques du groupe D ; se présentent sous forme de cocci à Gram (+), formant quand ils sont cultivés en milieu liquide des diplocoques et/ou des chainettes, de catalase (-), immobile,

anaérobie facultative, non sporulant et possédant de l'antigène de groupe D. Ils produisent de l'acide lactique par fermentation du glucose et sont anaérobies-aérotélorants (Engelkirk, 2008).

Test présumptif

• **Mode opératoire**

La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux dans les eaux, en milieu liquide par la technique du NPP, se fait en deux étapes consécutives (Figure 13) (Rejsek, 2002).

- A partir de l'eau à analyser, après homogénéisation ; porter aseptiquement 1ml dans un tube contenant 10 ml de milieu Rothe S/C pour obtenir la dilution 10^{-1} .
- Prélèvement 1ml de tube précédent 10^{-1} et mettre dans le second tube Rothe pour avoir la dilution 10^{-2} .
- Refaire la technique pour 2 autres tubes de Rothe afin d'obtenir 5 tubes, et refaire pour les deux autres séries.

• **Lecture**

Après incubation, considérer comme positifs les tubes pour lesquels on observe un trouble dû à une croissance microbienne. Ces tubes doivent absolument faire l'objet d'un repiquage sur milieu Eva Litsky dans le but de confirmation des streptocoques du groupe D.

Test confirmatif

Les tubes de Rothe trouvés positifs feront l'objet d'un repiquage à l'aide d'une pipette pasteur ou une ose bouclée dans tube contenant le milieu Eva Litsky. Bien mélanger le milieu et l'inoculum. L'incubation se fait à 37°C ; pendant 24 heures.

• **Lecture**

Sur le milieu de Eva Litsky, la présence de streptocoque du groupe D se caractérise par l'apparition d'un trouble dû au développement bactérien, avec ou sans dépôt violet. La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table du NPP de Mac Grady.

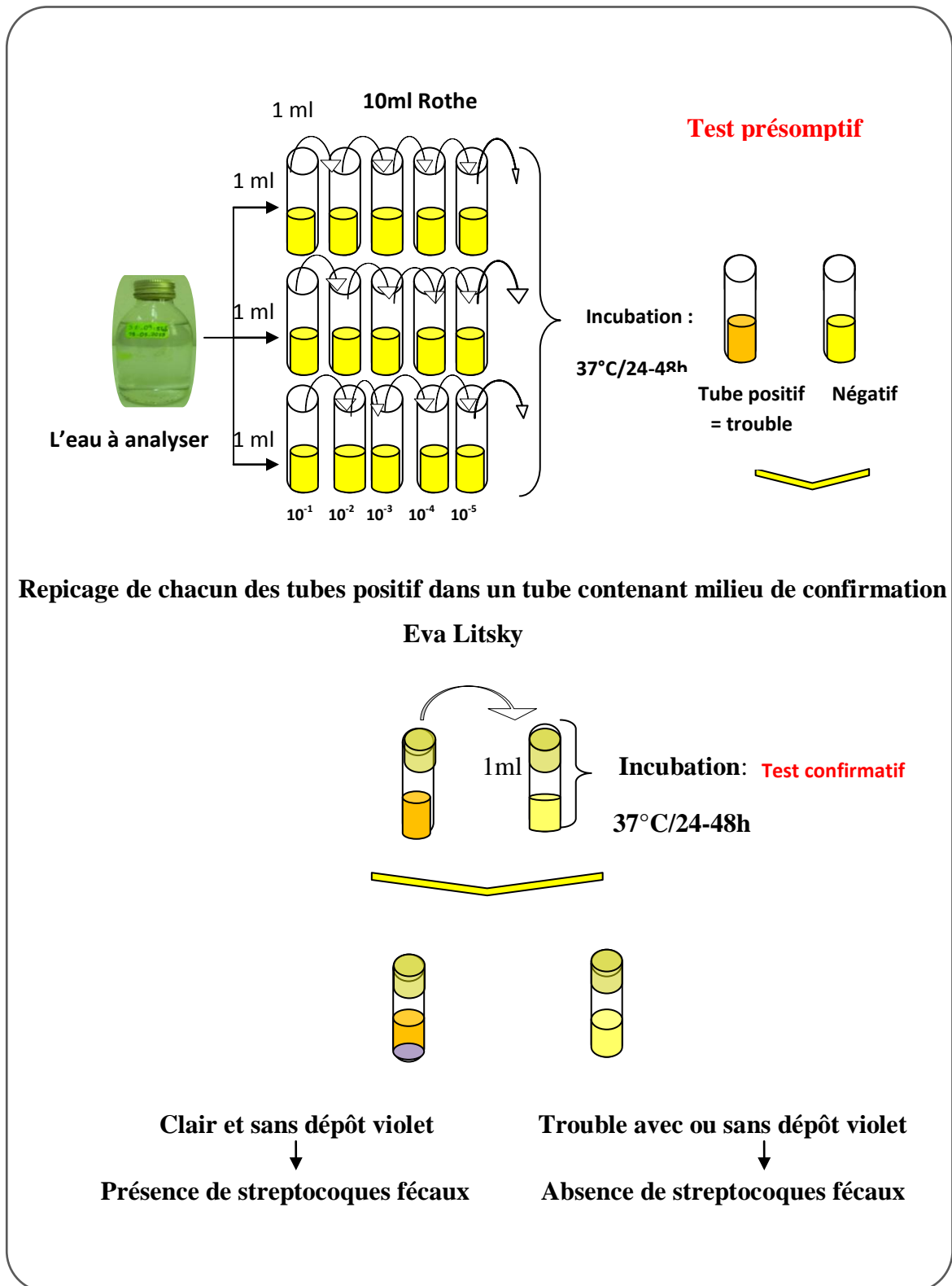


Figure 07: Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux dans l'eau.

2.4.2.5. Recherche et dénombrement des spores des anaérobies sulfite-réducteurs (ASR)

Les bactéries anaérobies sulfite-réducteurs se présentent sous forme de bacilles Gram positif, ils sont anaérobies strictes, capables de sporuler et résistent longtemps dans l'environnement ; se développent à une température de 36 ± 2 °C en 24 à 48 heures sur une gélose viande foie en donnant des colonies typiques réduisant le sulfite de sodium (Na_2SO_3) qui se trouve dans le milieu, en sulfure qui en présence de Fe^{+2} donne FeS (sulfure de fer) de couleur noire) (Lebres, 2002).

Mode opératoire

La recherche et le dénombrement des spores des ASR dans l'eau se fait par la méthode d'incorporation en gélose en tubes profonds (Figure14) (Rodier. 2009).

- Après l'avoir homogénéiser soigneusement, prendre environ 25 ml d'eau à analyser dans un tube stérile, qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 80 °C pendant 8 à 10 minutes, dans le but de détruire toutes les formes végétatives des ASR éventuellement présentes.
- Après chauffage, refroidir immédiatement le tube en question, sous l'eau de robinet.
- Répartir ensuite le contenu de ce tube, dans 4 tubes différents et stériles, à raison de 5 ml par tube.
- Ajouter dans chacun d'eux environ 20 ml de gélose viande foie, fondue puis refroidie à 45 ± 1 °C, additionnée de 1 ml de la solution de sulfite de sodium et 4 gouttes de la solution d'alun de fer.
- Mélanger doucement le milieu et l'inoculum en évitant les bulles d'air.
- Laisser solidifier sur pailleuse pendant 30 minutes environ, puis incubé à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

Lecture et interprétation

Considérer comme résultant d'une spore de bactérie anaérobie sulfite-réductrice toute colonie noire entourée d'un halo noir. Il est indispensable de procéder à une lecture après 24 heures : en présence de nombreuses colonies, une diffusion des halos peut conduire à une coloration noire uniforme du tube et tout dénombrement devient impossible après 48 heures. Par contre, s'il y a une faible quantité de colonies à la première lecture, et si les colonies sont petites, il peut y avoir un développement de nouvelles colonies dans les 24 heures suivantes Dénombrer toute colonie noire de 0,5 mm

de diamètre, ayant poussé en masse et rapporter le nombre total des colonies dans les quatre tubes à 20 ml d'eau à analyser.

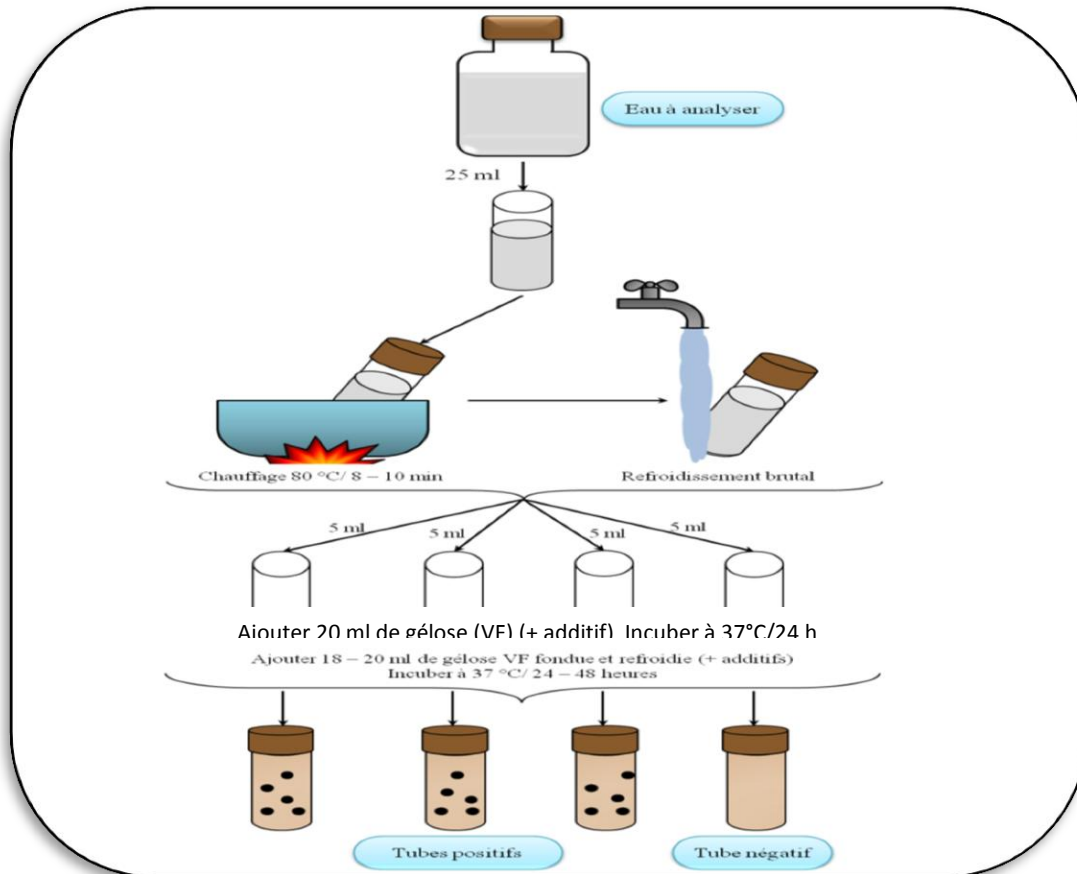


Figure 08: Recherche et dénombrement des spores des bactéries anaérobies sulfite-réducteurs.

2.4.2.6. Recherche des germes pathogènes

Il existe une grande variété de bactéries pathogènes ou potentiellement pathogènes (opportunistes) pour l'homme dans tous les types d'eaux. Celles-ci vivent ou survivent dans l'environnement, soit provenant des rejets humains, éliminées par des sujets malades ou des porteurs sains, soit étant autochtones et pouvant s'adapter à l'homme : *Campylobacter jejuni*, *Legionella pneumophila*, leptospires, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella*, *Shigella*, staphylocoques pathogènes, *Vibrio*, *Yersinia enterocolitica* (Rodier, 2009).

Le travail d'ensemencement des microorganismes se pratique sur une paillasse conforme à la réglementation autour de la flamme d'un bec Bunsen. L'ensemencement

par stries sur boîtes de Pétrie est pratiqué le plus souvent dans un but d'isolement. L'inoculum est prélevé directement à partir de l'eau à analyser est déposé sur un point périphérique de la gélose puis disséminé par stries sur toute la surface (méthode des quadrants). Un isolement est effectué à l'aide d'une anse de platine ou une pipette Pasteur à usage unique stérile (Denis et *al.*, 2007).

A. Recherche des Salmonelles

Les salmonelles sont des bacilles Gram négatifs (BGN), anaérobies facultatives, mobiles pour la plupart avec des flagelles péritriches, ne fermentant pas le lactose, mais fermentant le glucose avec production de gaz et de H₂S (Labres et *al.*, 2008).

Mode opératoire

- Premier enrichissement

Introduire 1 ml de l'échantillon d'eau dans 10 ml de Sélénite Cystéine (SFB), puis incubé à 37°C pendant 18 à 24 heures (Figure 15).

- Deuxième enrichissement et isolement

- un deuxième enrichissement sur milieu SFB en tubes à raison de 1 ml.
- un isolement sur les géloses Hektoen, SS et Mac Conkey.
- **Lecture des boîtes et identification**
- D'une part, le tube de Sélénite fera l'objet d'un isolement.
- D'autre part, les boîtes des géloses Hektoen SS et Mac Conkey subira une lecture.

Identification morphologique et biochimique

- Etat frais et coloration de Gram (bacilles Gram négatifs).
- Ensemencement d'un tube de TSI qui sera incubé à 37°C pendant 24 h, qui va être identifié soit par :
 - * la galerie biochimique classique (ONPG, Oxydase, LDC, ODC, ADH, Urée, TDA, VP, RM...).
 - * la galerie biochimique, API 20 E.

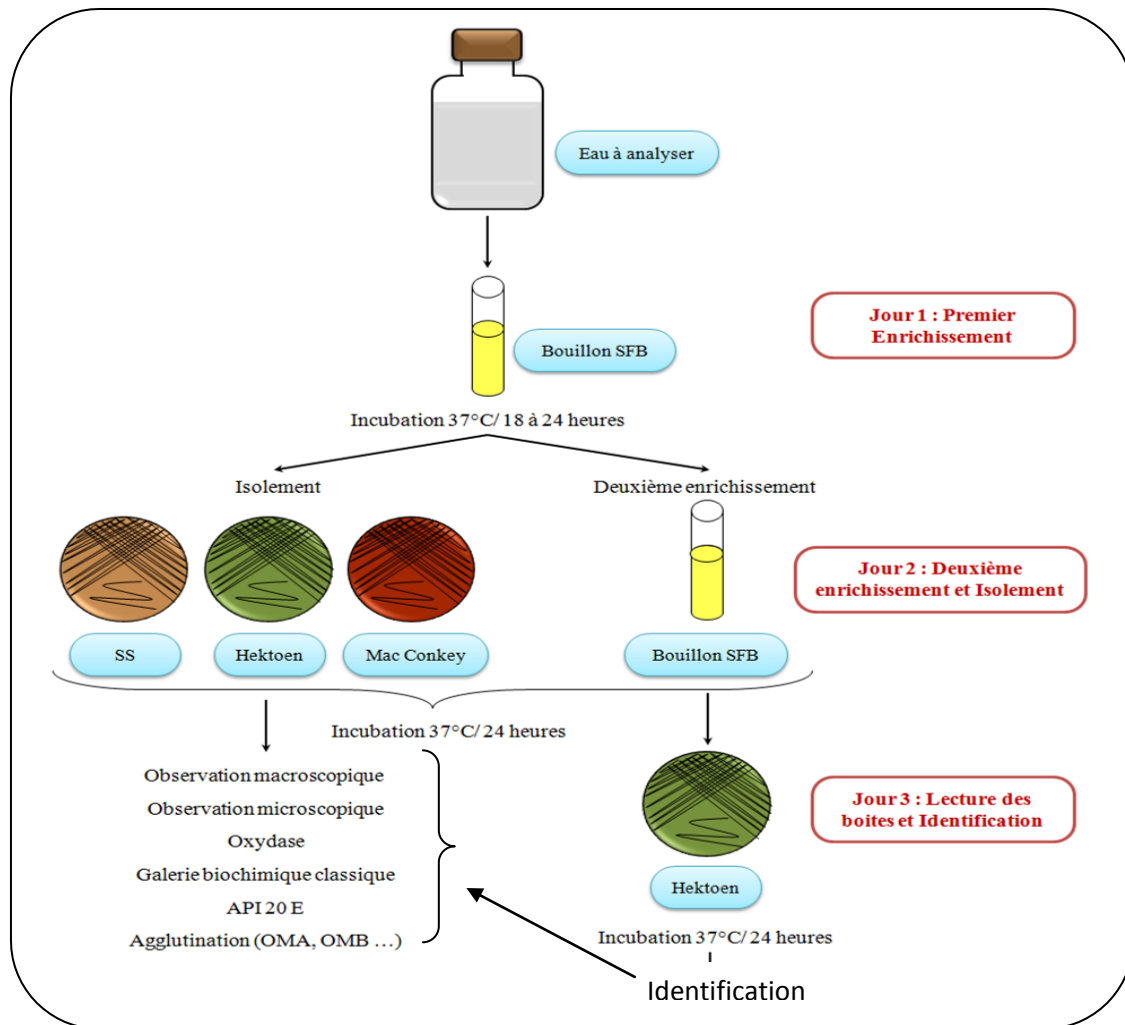


Figure 09: Recherche des *Salmonelles*.

B. Recherche des Shigelles

Les Shigelles sont des *Enterobacteriaceae*, rencontrées exclusivement chez l'homme, elles ne font partie d'aucune flore commensale chez l'homme, elles sont toutes pathogènes et spécifiques du tube digestif, éliminées par les selles et dispersées dans les sols et les eaux où elles ne survivent que peu de temps. Classiquement elles sont divisées en 4 espèces sur la base des caractères biochimiques et antigéniques : *S. dysenteriae* subdivisée en 16 sérotypes, *S. flexneri* en 6 sérotypes, *S. boydii* en 20 sérotypes, et *S. sonnei* (un seul sérotype) (Lebres, 2002).

Culture

Il n'existe pratiquement pas un milieu d'enrichissement adapté à *Shigella*. Pour chercher du *Shigella*, à partir de l'échantillon mère on prélève 0,1 ml et on l'étale sur la surface des géloses Hektoen, SS et Mac Conkey par la méthode des quatre quadrants. L'incubation se fait à 35 – 37 °C pendant 18 - 24 heures (Figure 16).

Identification

Pour identifier les shigelles par :

- Etat frais ;
- Coloration de Gram (bacilles Gram négatifs) ;
- Ensemencement d'un tube de TSI qui sera incubé à 37 °C, 24 h (Lactose, Saccharose, Glucose, Gaz et H₂S),
- Ensemencement : * Soit d'une galerie biochimique classique (ONPG, Oxydase, LDC, ODC, ADH, Urée, TDA, VP, RM ...),
* Ou d'une galerie biochimique API 20 E.

C. Recherche des Staphylocoques

Le nom commun « *Staphylococcus* » qui dérive du grec « staphylé », grappe de raisin, et « kokkos », grain), a été proposé par Ogston en 1883 pour désigner des coques regroupés en amas irréguliers sous forme de grappes de raisin responsables d'infections suppurées chez l'homme. Les espèces de genre *Staphylococcus* peuvent être classées en fonction de leur capacité à coaguler le plasma de lapin. Ce sont des cocci à Gram positif, ils sont immobiles, non sporulés, et aérobies ou anaérobies facultatifs. (Parmi les espèces retrouvées chez l'homme, trois occupent une place privilégiée : *S. aureus*, *S. epidermidis* et *S. saprophyticus* (Federighi, 2005)

Culture

Pour les produits polymicrobiens, on a recours à des milieux sélectifs tels que le milieu de Chapman qui est un milieu gélosé hypersalé (7,5 % de NaCl) et contient du mannitol. L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 à 48 heures (Figure16) (Denis et al, 2007).

Identification

Les colonies sont alors entourées d'un halo jaune puisqu'elles fermentent le mannitol tout comme parfois *S. saprophyticus*, *S. epidermidis* et *S. cohnii*.

Les souches de *Staphylococcus aureus* sont de taille importante et élaborent leurs propre pigment; elles apparaissent en jaune, surmontant une zone jaune par la suite de la fermentation du mannitol. L'identification des staphylocoques nécessite la mise en œuvre de réactions spéciales au genre (Rodier, 1996):

- Etat frais et coloration de Gram
- Test à la catalase
- Oxydase
- Mannitol
- Recherche de la coagulase libre

D. Recherche de *Pseudomonas*

Le genre *Pseudomonas* est fait de bacilles Gram négatif, droits et fins, aux extrémités arrondies, mobiles (à ciliature polaire), aérobies stricts, oxydase positive et se caractérise par la pigmentation bleu-vert de ses colonies. *P. aeruginosa* (ou bacille pyocyanique) est mésophile tandis que la majorité des espèces sont psychrotrophes. La bactérie est très répandue dans l'eau et les milieux humides. Elle peut aussi coloniser l'homme (Nauciel et *al.*, 2005).

Culture

P. aeruginosa cultive facilement sur milieux ordinaires en développant une odeur de seringia (fleur de la famille des *Philadelphacées* encore appelée «jasmin des poètes»). La température optimale de croissance est de 30 °C. A partir de prélèvement polymicrobiens, il est nécessaire d'avoir recours à un milieu sélectif contenant du Cétrimide. L'incubation se fait à 37 °C pendant 48 heures (Figure 16) (Denis et *al.*, 2007).

Identification

Considérer comme colonie caractéristique toute colonie présentant une fluorescence. Du fait de la sélectivité du milieu Cétrimide, on peut suspecter les colonies présentes d'être *Pseudomonas*. Dans tous les cas, il faudra réaliser une identification de l'espèce:

- Coloration de Gram.
- Examen directe entre lame et lamelle (état frais), il permet d'observer la mobilité des germes
- Oxydase
- Recherche de la pyocyanine : pigment bleu caractéristique de *Pseudomonas aeruginosa* responsable de la teinte bleue intense des milieux de culture : sa production est favorisée sur milieu de King A.
- Recherche de la pyoverdine : présente une teinte vert fluorescent (*P. fluorescens*) est souvent masquée par la pyocyanine, sa production est maximale sur milieu de King B.
- API 20 NE.

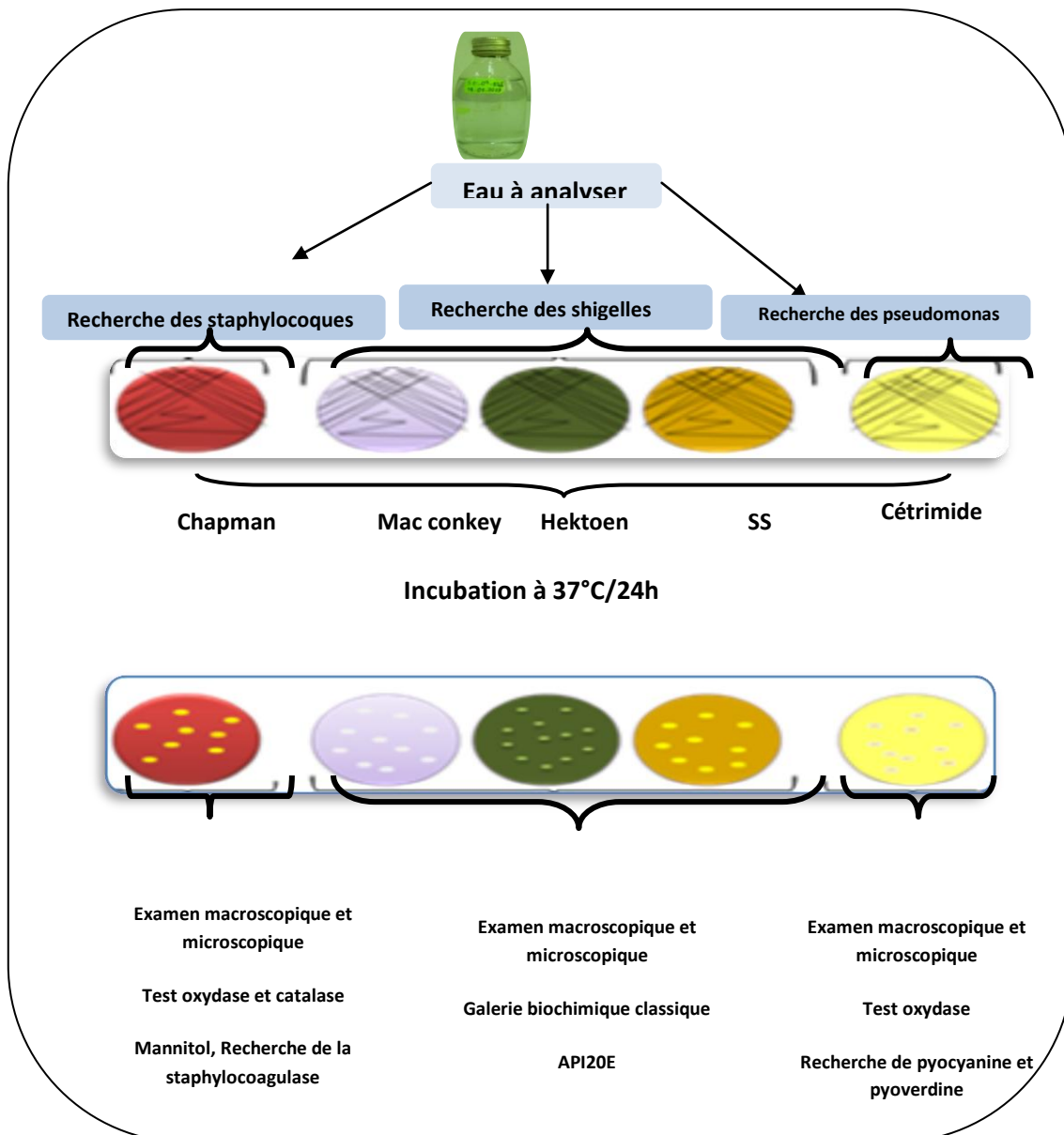


Figure 10: Recherche des Staphylocoques, *Shigella* et *Pseudomonas*.

E. Recherche de *Vibrio*

Le genre *Vibrio* fait partie de la famille des *Vibrionaceae*. Les espèces de *Vibrio* qui sont le plus souvent à l'origine de phénomènes pathologiques chez l'homme sont: *V. cholerae*, *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus*. Leur température de croissance va de 18 à 40 °C et la zone de pH permettant leur culture va de 6 à 9 (Cohen et Karib, 2007).

Les *Vibrio* sont des bacilles à Gram négatif, droits ou incurvés, assez court, d'un diamètre compris entre 0,5 et 0,8 µm et une longueur comprise entre 1,4 et 2,6 µm, très mobiles grâce à une ciliature polaire, le plus souvent monotriche. Ils sont aéroanaérobies

facultatifs et possédant une oxydase et fermentant le glucose sans production de gaz ni d'H₂S (Harvey et al, 2007).

Mode opératoire

- **Premier enrichissement**

Le premier enrichissement s'effectue sur le milieu eau peptonée alcaline (EPA) réparti à raison 7 ml en tubes. On ajoute aseptiquement 1ml d'eau à analyser, ce dernier sera par la suite incubé à 37 °C pendant 18 à 24 heures (Figure 17) (Lebres, 2002).

- **Deuxième enrichissement et isolement**

Le premier enrichissement fera l'objet:

- D'une part, d'un deuxième enrichissement sur milieu EPA en tubes à raison de 1 ml ;
- D'autre part, d'un isolement sur gélose GNAB. L'incubation se fait donc à 37 °C pendant 24 heures.

- **Lecture des boîtes et identification**

- D'une part, le tube d'EPA fera l'objet d'un isolement sur GNAB.
- D'autre part, les boîtes de gélose GNAB subiront une lecture en tenant compte du fait que les Vibrions se présentent le plus souvent sous forme de grosses colonies lisses et transparentes caractéristiques.

Identification morphologique et biochimique

Sur GNAB, les colonies sont rondes, plates, bord réguliers, surface lisse brillantes, translucides sous forme de goutte de rosée.

Une identification morphologique et biochimique basée essentiellement sur :

- Etat frais et coloration de Gram ;
- Oxydase (+) ;
- Ensemencement d'une galerie API 20 NE.

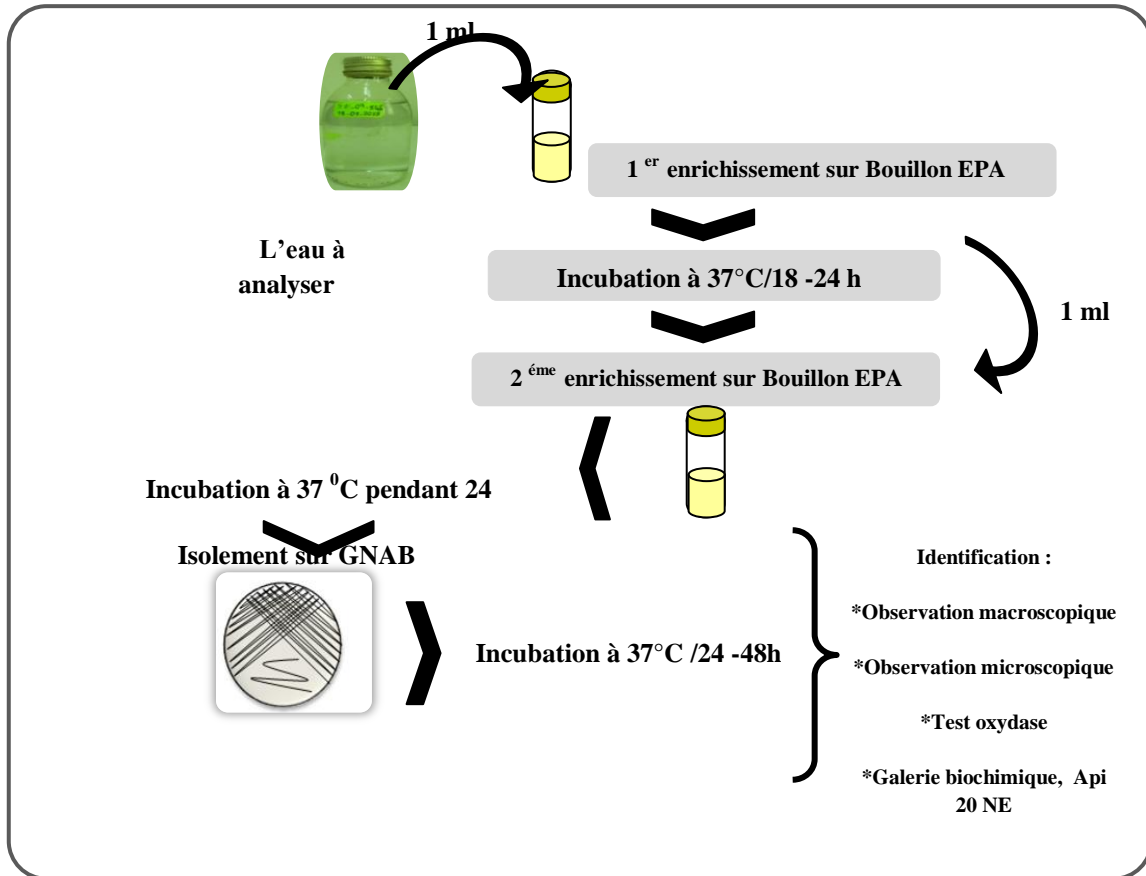


Figure 11: Recherche et identification de *Vibrio* dans l'eau.

1. Résultats

1.1 Résultat des analyses physico-chimiques de l'eau usée brute (Entrée de la STEP)

Les résultats des différents paramètres physico-chimiques d'eau usée brute en amont de la STEP (Guelma) sont enregistrés dans le tableau (05).

La température nécessite une mesure momentanée qui dépend de l'heure de prélèvement et du lieu, les résultats de la température montrent une valeur comprise entre (12,9° - 18, 9° C) avec une moyenne égale à 15,76°C pendant la période d'étude. Ces valeurs sont inférieures à la norme 30°C, considérée comme valeur limite de rejets des eaux usées (OMS, 1989).

Le pH est un caractère fondamental, c'est un indice d'acidité d'une substance dans l'eau. Nos résultats indiquent un pH varie de (7,48-7,91) avec une valeur moyenne de (7,62), respectant la norme des eaux usées délimitées [6 - 9] (OMS, 1989).

Concernant le potentiel redox, les valeurs enregistrées oscillent entre (147 - 243 mV) avec une valeur moyenne de 203 (mV). Les valeurs enregistrées demeurent positives ce qui indique un pouvoir oxydant important.

Pour l'ensemble des prélèvements l'oxygène dissous présente des valeurs passables oscille entre 3,6mg/l et 4,48 mg/l avec une valeur moyenne 4mg/l, donc ces valeurs sont inférieures à (5mg/l) qui est la norme citée par le Journal Officiel de la République Algérienne (J.O.R.A, 2006) et l'OMS (1989).

Pour la minéralisation des eaux, la valeur de la conductivité électrique enregistrée se situe entre 1010µS/cm et 1460 µS/cm avec 1260µS/cm comme valeur moyenne, ces résultats restent toujours inférieur à la norme algérienne (J.O.R.A, 2006).

Les valeurs de turbidité varient de (131 NTU à 184 NTU) avec une valeur moyenne de l'ordre de (172,33NTU). Ces résultats dépassent la valeur admissible par la Norme du Journal Officiel de la République Algérienne limitée à (50 NTU) (J.O.R.A, 2006), ces résultats indiquent que l'eau brute est excessivement polluée.

En ce qui concerne la teneur enregistrée de la matière en suspension (MES) qui oscillent entre 120mg/l et 400mg/l et de 244mg/l comme valeur moyenne, ces résultats dépassent très loin la valeur admissible par la norme de rejet de l'OMS (30 mg/l) et à celle du Journal Officiel Algérien limitée à 35 mg/l (JORA, 2006).

Les principaux paramètres de qualité habituellement étudié pour évaluer de façon indirecte la charge organique globale contenue dans une eau usée sont la demande biochimique en oxygène (DBO_5) représentant la qualité de matière organique biodégradable, et la demande chimique en oxygène (DCO) qui rend compte de la qualité des principaux éléments carbonés biodégradables ou non, susceptibles d'être oxydés chimiquement dans le milieu récepteur.

Ainsi pour l'eau brute pendant notre période d'étude, les valeurs de la DBO_5 sont comprises entre 179 mgO_2/l et 201 mgO_2/l avec une valeur moyenne de 186,33 mgO_2/l .

Les valeurs de la DBO_5 enregistrées sont supérieures aux normes algériennes de rejet (35 $mg O_2/l$), et celles du Journal Officiel de la Communauté Européenne (30 $mg O_2/l$) ainsi qu'aux normes extrêmes, limitées aux eaux d'irrigations et l'OMS (1989) (<30 $mg O_2/l$) (OMS.1989).

Les valeurs enregistrées de la DCO sont de 199,92 à 323,68 mgO_2/l avec une valeur moyenne de 295,2 mgO_2/l , par ailleurs ces résultats dépassent la norme algérienne de rejet (120 mgO_2/l), celle du Journal Officiel de la Communauté Européenne (125 mgO_2/l), dépassent largement les normes de l'OMS (<90 mgO_2/l), et celles des eaux destinées à l'irrigation (<40 mgO_2/l).

Tableau 05: Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées de la ville de Guelma.

Paramètres Date de prélèvement	T°C	pH	CE (µs/cm)	O₂ (mg/l)	MES (mg/l)	DCO (mgO₂/l)	DBO₅ (mgO₂/l)	Rapport DCO/ DBO₅	Rh (mv)	Turbidité (NTU)
08/03/2015	12,9	7,48	1310	3,6	120	199,92	179	1,12	220	131
30/03/2015	15,5	7,48	1010	4,48	212	323,68	179	1,81	147	184
18/04/2015	18,9	7,91	1460	3,9	400	362	201	1,80	243	202
Moyenne	15,76	7,62	1260	3,99	244	295,2	186,33	1,58	203,33	172 ,33

1.2 Résultats des analyses physico-chimiques d'eau brute traitée par les différents procédés (STEP, Ag, Fe₂O₃, LE)

Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures (12 à 17).

Après traitement d'eau brute par les différents procédés utilisés, on note que la température est respectivement de l'ordre de 16,76°C, 15,9°C, 13,06°C, et 12,26°C après traitement par STEP, les lentilles d'eau, Ag et le Fe₂O₃, ces valeurs restent inférieures à la norme Algérienne (<30), considérée comme valeur limite de rejets des eaux directes dans le milieu récepteur (OMS, 1989) et aussi une valeur limite indicative pour les eaux usées destinées à l'irrigation des cultures (JORA, 2006).

Après traitement d'eau brute par les différents procédés utilisés, on note que le pH est respectivement de l'ordre de 7,56 ; 7,79 ; 7,85 et 7,79 après traitement par STEP, les lentilles d'eau, Ag et le Fe₂O₃, ces valeurs restent inférieures aux normes Algériennes (6,5 - 8,5) et celle de l'OMS (OMS, 1989).

En ce qui concerne le potentiel redox, les valeurs enregistrées sont respectivement de l'ordre de 354 (mV) et 283,33 (mV), 269,5 (mV), et 231,33 (mV), après traitement par l'argent, l'oxyde de fer, la STEP et les lentilles d'eaux, les valeurs positives ce qui indique un pouvoir oxydant important.

Concernant la conductivité électrique les résultats enregistrés sont respectivement de l'ordre de : 1410,33 µS/cm, 1375 µS/cm, 1369 µS/cm, et 1150 µS/cm, après traitement d'eau brute par l'Ag, les lentilles d'eaux, le Fe₂O₃, et par STEP. Les valeurs observées sont situées dans la plage des valeurs admissibles recommandées par la FAO qui sont inférieures à 3000 µS/cm, et même ils sont inférieurs à la norme algérienne pour les eaux d'irrigation qui exige une conductivité électrique inférieure à 2000 µS/cm (JORA, 2006).

Concernant l'oxygène dissous les résultats enregistrés sont respectivement de l'ordre de 8,02 mg/l, 7,34 mg/l, 7,25 mg/l, et 6,07 mg/l après traitement par l'Ag, les lentilles d'eaux, la STEP, et l'oxyde de fer.

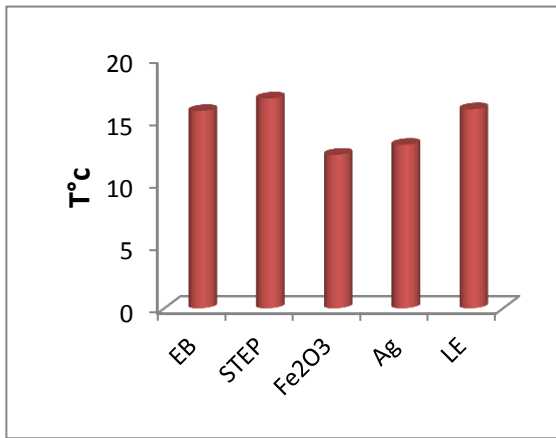


Figure 12: Evolution de la température de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.

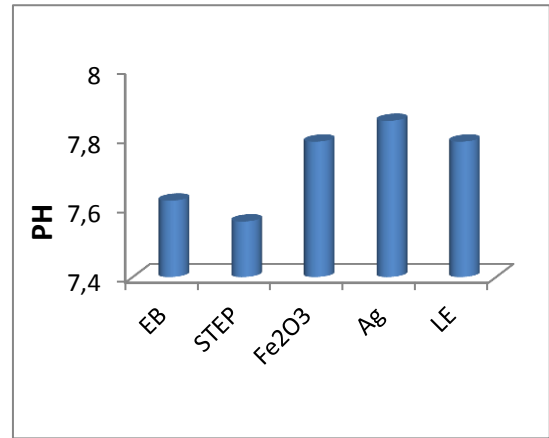


Figure 13: Evolution du PH de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.

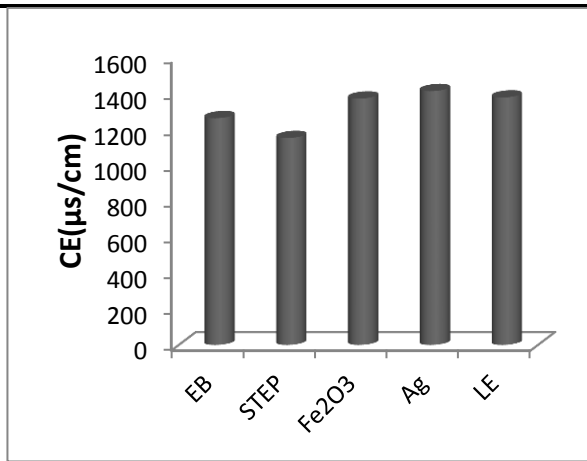


Figure 14: Evolution de la CE de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.

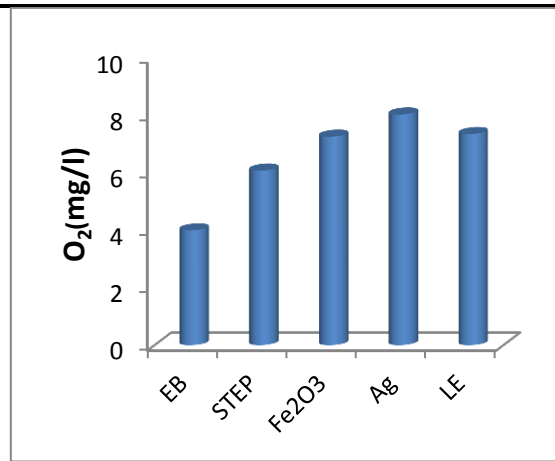


Figure 15: Evolution d'O₂ de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.

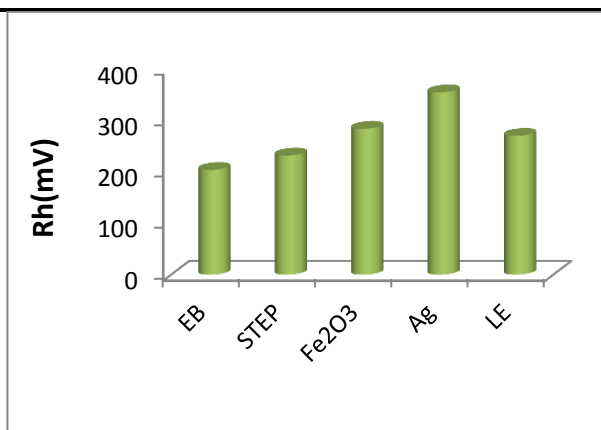


Figure 16 : Evolution du Rh de l'eau traitée par différents procédés étudiés.

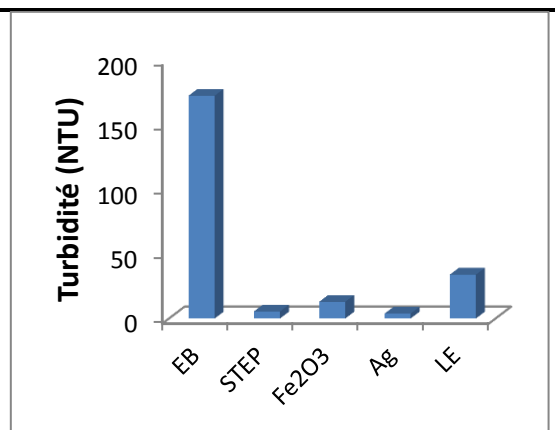


Figure 17: Evaluation de la turbidité de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.

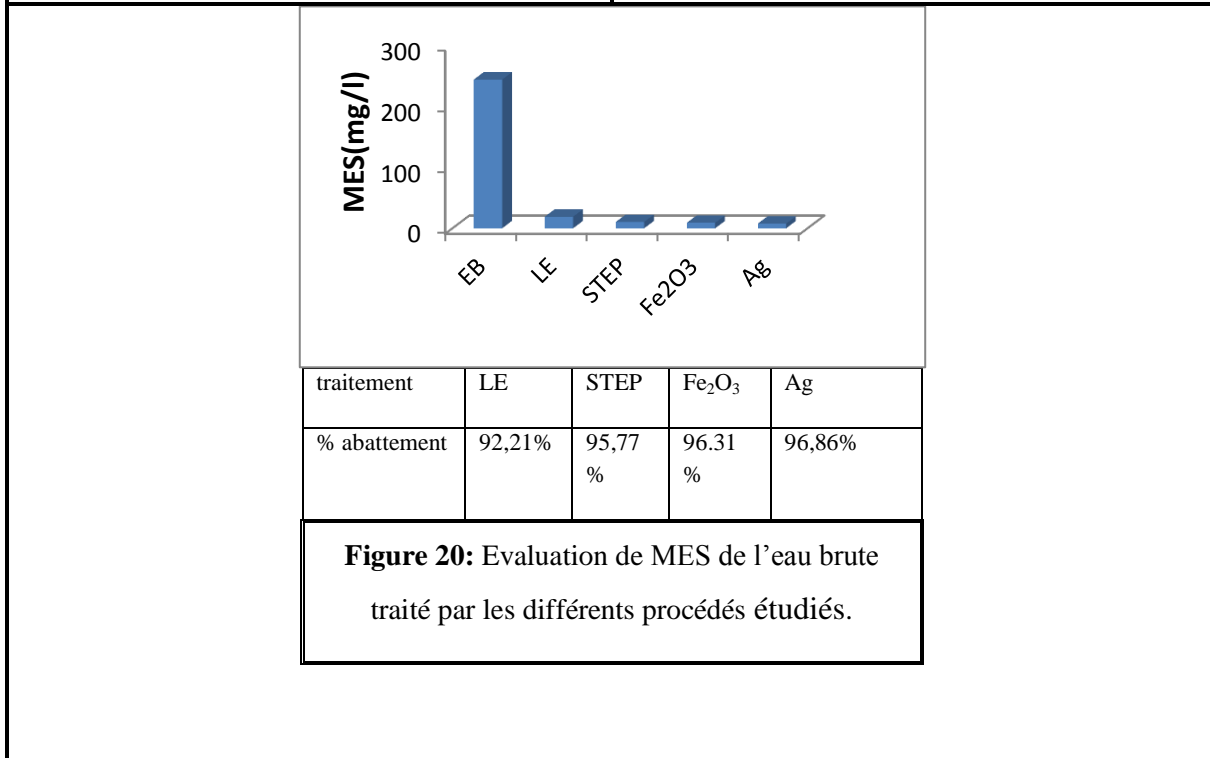
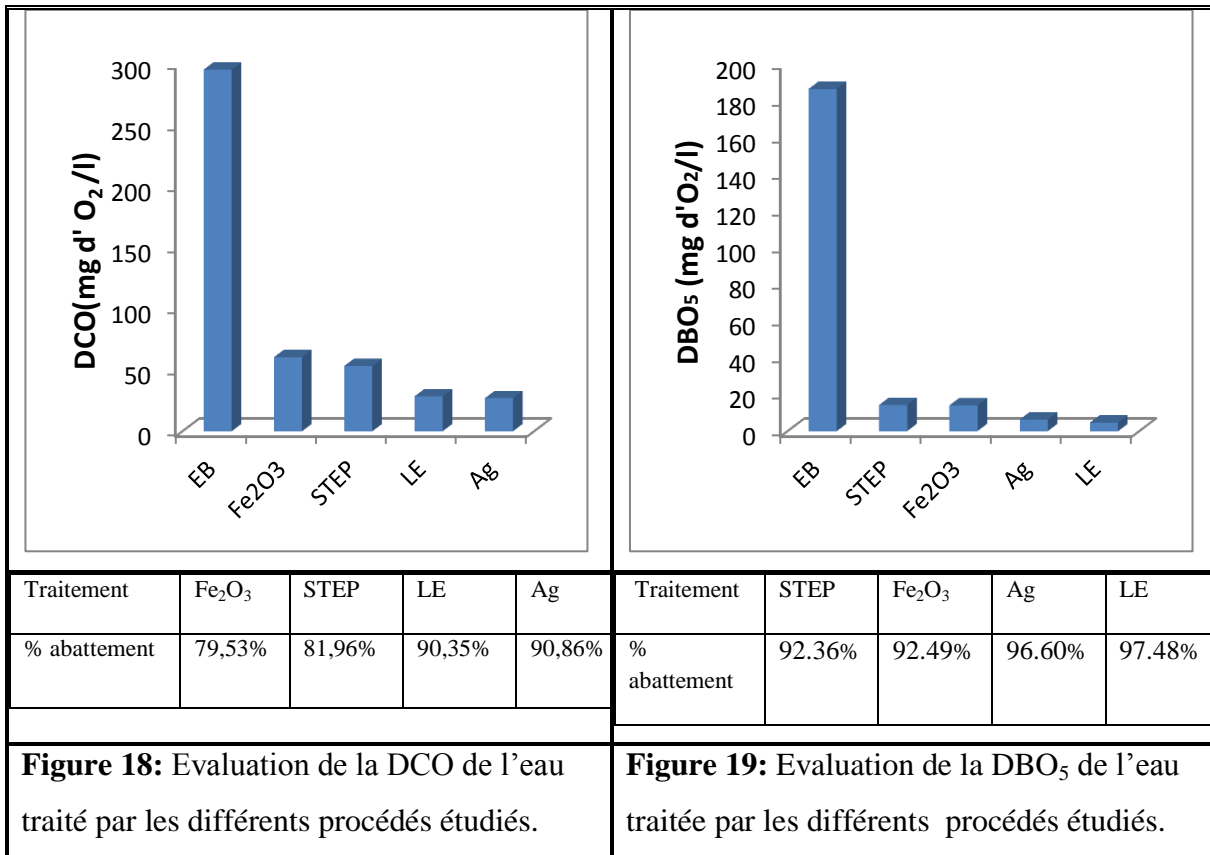
Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures (18, 19 et 20).

Après traitement de l'eau brute par les différentes procédés utilisés, nous constatons une diminution des indicateurs physicochimiques de pollution mesurés (MES, DCO et la DBO₅).

Nous constatons une diminution de MES de l'eau brute traité par les LE, la STEP, Fe₂O₃ et l'Ag, elle est respectivement de l'ordre de 19mg/ml, 10,33mg/l, 9mg/l et 7,66mg/l et ce toujours par rapport à l'eau brute avant traitement (244mg/l). Ces résultats restent toujours inférieure aux normes des rejets d'OMS (30 mg/l) et à celle du Journal Officiel de la République Algérienne limitée à 35 mg/l. Selon les normes algériennes (JORA, 2006), ces eaux peuvent être utilisées en irrigation et ne présentent pas de risque de colmatage du sol.

Pour la DBO₅, nous constatons une diminution respectivement de l'ordre 14,23 mg O₂/l, 14 mgO₂/l, 6,33 mg O₂/l, 4,69 mg O₂/l de l'eau brute traitées par la STEP, l'oxyde de fer, l'argent, les lentilles d'eaux par rapport à l'eau brute (186,6 mg d'O₂/l). Ces résultats restent inférieure aux normes de l'OMS (30mg/l) (OMS, 1989).

En ce qui concerne la DCO, nous constatons une diminution respectivement de l'ordre 60,42 mg O₂/l, 53,25 mg O₂/l, 28,5 mg O₂/l, et 26,98 mg O₂/l de l'eau brute traitées par l'oxyde de fer, la STEP, les lentilles d'eaux, et l'argent par rapport à l'eau brute (295,2 mg O₂/l). Ces valeurs restent inférieure à la norme algérienne de rejet (120 mgO₂/l), celle du Journal Officiel de la Communauté Européenne (125 mgO₂/l) ainsi qu'aux normes de l'OMS (<90 mgO₂/l).



2. Résultats des analyses bactériologiques

2.1 Résultats des analyses bactériologiques de l'eau usée brute Entrée STEP

Les résultats des différentes analyses bactériologiques de l'eau brute sont représentés dans les tableaux (06 et 07). Les résultats de dénombrement de la flore mésophile aérobie totale (FMAT) montre un nombre compris entre (5.10^4 et $6,1.10^5$ UFC/ml) avec une valeur moyenne de $3,9.10^5$ UFC/ml.

Le dénombrement des coliformes totaux fluctue entre (160.10^3 CT/100ml et 180.10^3 CT/100ml) avec une moyenne de 173.10^3 CT/100ml.

Le nombre des coliformes fécaux oscille entre $0,7.10^3$ CF/100ml et $2,5 .10^3$ CF/100ml, avec une moyenne de $1,63.10^3$ CT/100ml. Nous constatons que la valeur maximale est enregistrée au mois d'avril et la valeur minimale au mois de mars. Ces résultats dépassent largement les normes de la directive OMS (< 1000 g/100 ml) pour les eaux destinées à l'irrigation.

Concernant les résultats de la recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux, les concentrations déterminées varient entre $2 .10^3$ germes/100ml et 5.10^3 germes/100ml avec une valeur moyenne de $3,5.10^3$ germes/100ml.

Les résultats de recherche et de dénombrement de *Clostridium* sulfite-réducteur dans l'eau brute indiquent la présence des ASR avec un nombre indéterminable.

Les résultats concernant la recherche des germes pathogènes dans l'eau brute montrent une absence des Salmonelles et des Shigelles, et de *Vibrio cholérique* et l'absence de Pseudomonas avec présence (*Staphylococcus epidermidis*).

Tableau 06 : Résultat d'analyse bactériologique de l'eau brute (Entrée de STEP).

Date de prélèvement	Flore mésophile aérobie total (UFC/ml)	Coliformes (germe / 100ml)		Streptocoques Fécaux (germe / 100ml)	Clostridium sulfite réducteur (germe /20ml)	CF /SF
		Totaux	Fécaux			
08/03/2015	$5 \cdot 10^4$	$180 \cdot 10^3$	$0,7 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	Indénombrable	0,35
30/03/2015	$5,2 \cdot 10^3$	$160 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^3$	Indénombrable	0,49
18/04/2015	$6,1 \cdot 10^5$	$180 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	Indénombrable	0,5
Moyenne	$3,9 \cdot 10^5$	$173 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^3$	Indénombrable	0,46

Tableau 07 : Résultat de recherche des germes pathogènes de l'eau brute (Entrée de STEP).

Date de prélèvement	Germes pathogènes				
	Staphylocoque	Salmonelle	Vibrion cholérique	Shigelles	Pseudomonas
08/03/2015	Présence	Absence	Absence	Absence	Absence
30/03/2015	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
18/04/2015	Présence	Absence	Absence	Absence	Absence

1.4 Résultats des analyses bactériologiques de l'eau brute après traitement par les différents procédés

Les résultats de différentes analyses bactériologiques de l'eau traitée par les différents procédés sont enregistrés dans les figures (21-24).

Les résultats de dénombrement de la flore mésophile aérobie totale sont illustrés dans la figure (21), nous constatons une diminution de la FMAT dans les eaux traitées par les différents procédés, les valeurs enregistrées sont respectivement de l'ordre de $6,27.10^3$ UFC/ml, $3,3.10^2$ UFC/ml, 14 UFC/ml, et 00 UFC/ml dans l'eau traitées par la STEP, les lentilles d'eaux, Fe_2O_3 , l'Ag par rapport à l'eau brute ($3,9.10^5$ UFC/ml).

La figure (22-23) représente l'évolution de coliformes totaux et fécaux dans l'eau traitée par les différents procédés, nous constatons une diminution des CT et CF dans les eaux traitées par les différents procédés de traitement utilisés.

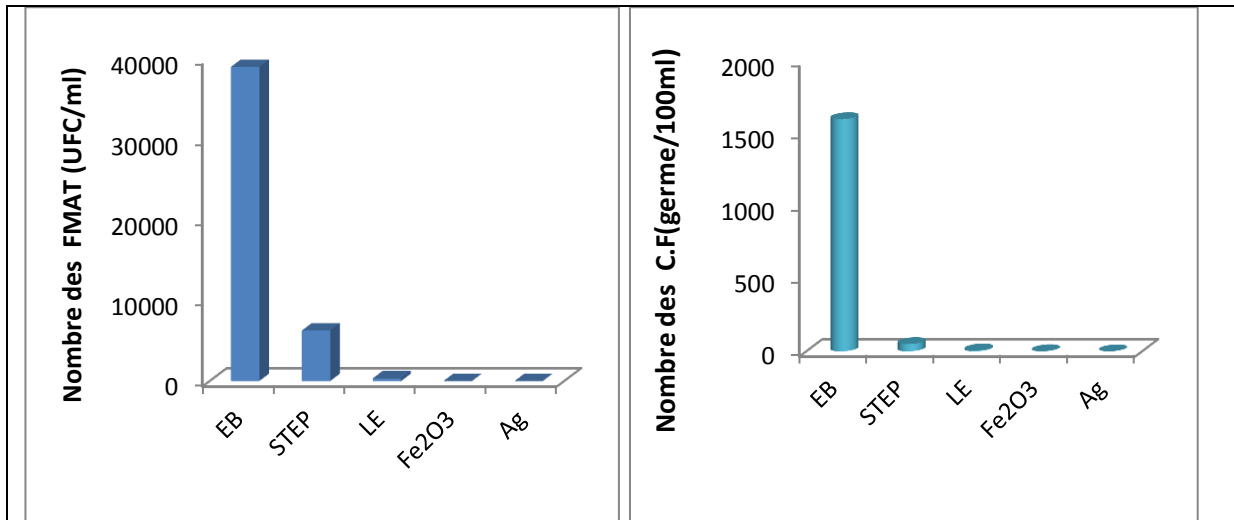
Les valeurs enregistrées pour les CT sont respectivement de l'ordre de $5,2.10^2$ CT/100ml, 18,5 CT/100ml, 1,8CT/100ml dans l'eau traitée par la STEP, les lentilles d'eaux et le Fe_2O_3 , et une absence totale de ces germes après traitement par l'Ag. La valeur maximale est enregistré dans l'eau brute traité par la STEP, et la valeur minimale est enregistrée dans l'eau brute traitée par l'Ag, par rapport à l'eau brute (173.10^3 CT/100ml).

Les valeurs enregistrés pour les CF sont respectivement de l'ordre de $0,5.10^2$ CF/100ml, 6,5 CF/100ml, 0,9 CF/100ml et 00 CF/100ml dans l'eau traitée par la STEP, LE, le Fe_2O_3 et l'Ag par rapport à l'eau brute ($1,6.10^3$ CF/100ml).

La figure (24) représente l'évolution des streptocoques fécaux dans l'eau brute traitée par les différents procédés étudiés, les résultats enregistrés des SF sont respectivement de l'ordre de $1,7.10^2$ SF/100ml, 10SF/100ml, 10SF/100ml, et 00SF/100ml, dans les eaux traitées par la STEP, LE, le Fe_2O_3 et l'Ag par rapport à l'eau brute ($3,5.10^3$ SF/100ml). La valeur maximale est enregistrée dans l'eau brute traitée par la STEP et la valeur minimale est enregistrée dans l'eau brute traitée par l'Ag.

Concernant la recherche et le dénombrement des *Clostridium* sulfito-réducteurs dans les eaux brutes traitées par les différents procédés, nous constatons une diminution avec un nombre indénombrable dans l'eau traitée par la STEP et une absence dans les eaux traitées par les LE, Fe_2O_3 et l'Ag.

Les résultats obtenus concernant la recherche des germes pathogènes dans l'eau brute traitée par les différents procédés montrent une absence des Salmonelles et des Shigelles, et de *Vibrion cholérique*, absence de Pseudomonas avec présence de (*staphylococcus epidermidis*) après traitement par les lentilles d'eaux et par la STEP avec une absence totale de tous ces germes pathogènes après traitement catalytique par l'oxyde de fer et l'argent. Les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux (11-13-15-17) en annexe.

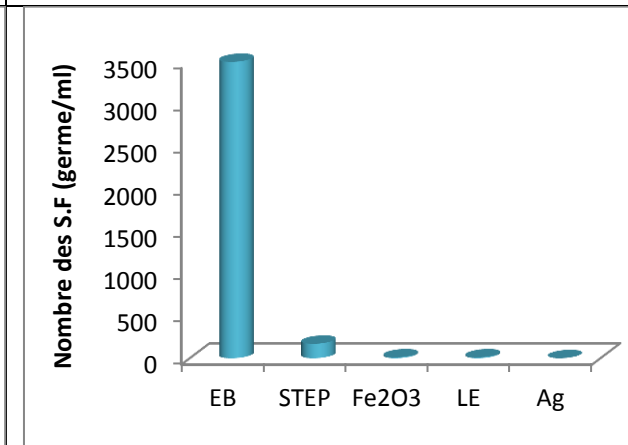
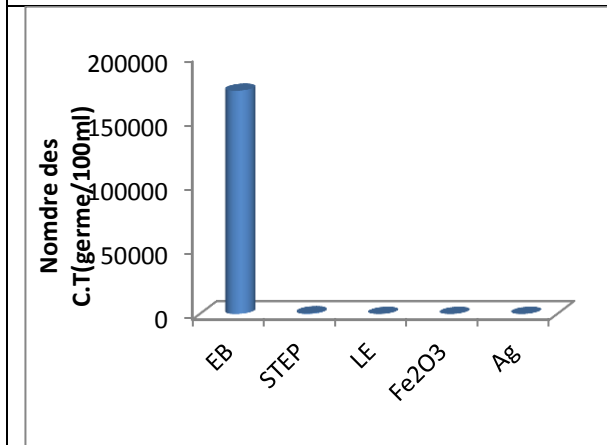


Traitement	STEP	LE	Fe ₂ O ₃	Ag
% abattement	98,39%	99,92%	99,99%	100%

Traitement	STEP	Fe ₂ O ₃	LE	Ag
% abattement	96,88%	99,94%	99,59%	100%

Figure 21 : Evaluation des flores mésophile aérobie total dans l'eau brute traité par les différents procédés étudiés.

Figure 22 : Evaluation des coliformes fécaux dans l'eau brute traité par les différents procédés étudiés.



Traitement	STEP	LE	Fe ₂ O ₃	Ag
% abattement	99,70%	99,98%	99,99%	100%

Traitement	STEP	Fe ₂ O ₃	Ag	LE
% abattement	95,14%	99,71%	100%	99,7%

Figure 23: Evaluation des coliformes totaux dans l'eau brute traitée par les différents procédés étudiés.

Figure 24: Evaluation des streptocoques fécaux dans l'eau brute traitée par les différents procédés étudiés.

2. Discussion

Dans la plupart des cas, les systèmes de traitement des eaux usées mis en place dans les pays en développement ont été conçus en se basant sur ceux qui existent dans les pays développés. Le manque d'espace ainsi que les prix souvent élevés des terrains dans les zones urbanisées des pays développés ont favorisé le choix de systèmes d'épuration très condensés, composés d'équipements sophistiqués demandant une technicité de haut niveau de la part de leurs gestionnaires, ainsi que d'importants moyens financiers pour faire face aux frais d'exploitation et à la maintenance du matériel (cas notamment des systèmes classiques de traitement par boues activées) (Idder et *al.*, 2012).

L'autre problème est que les traitements classiques de type physique, physicochimique et biologique sont d'une efficacité relativement faible vis-à-vis de l'élimination de la pollution microbienne. Ces procédés ne permettent pas d'atteindre le niveau de qualité recommandé pour l'irrigation illimitée de toutes les cultures ou pour l'élevage piscicole (WHO, 2006).

Les traitements complémentaires de désinfection comme l'ozonation, la chloration ou les rayonnements ultraviolets peuvent être efficaces en ce qui concerne la réduction des coliformes fécaux, mais leur efficacité vis-à-vis de l'élimination des parasites reste très variable d'un procédé à l'autre. La chloration, par exemple, même soigneusement effectuée, n'a ainsi pratiquement aucun effet sur les œufs d'helminthes. Elle présente, en outre comme on sait, le désavantage de conduire à la formation de sous-produits indésirables et extrêmement toxiques dont certains peuvent être cancérigènes : produits organochlorés (Idder et *al.*, 2012) .

Il existe des procédés d'épuration relativement simples à mettre en œuvre et ne nécessitant que peu de moyens humains et financiers pour leur exploitation et qui sont capables de fournir des eaux épurées qu'on peut réutiliser sans risques sanitaires majeurs et sans avoir nécessairement recours aux techniques complémentaires de désinfection. Parmi ces procédés on retrouve le lagunage qui est par excellence l'une des techniques d'épuration des eaux usées les plus adaptées aux contextes des pays en développement. Cette technique présente également l'avantage de fournir, dans le cas de l'utilisation de macrophytes, un rendement économique amélioré grâce à l'utilisation de la biomasse végétale produite pour l'élevage piscicole. Le lagunage peut par conséquent constituer une alternative crédible pour le traitement des eaux usées dans les zones urbaines des pays en développement lorsque les conditions naturelles le permettent (Idder et *al.*, 2012).

Les nanoparticules manufacturées sont porteuses d'espoirs et d'attentes et notamment dans le domaine environnemental. Elles sont utilisées sous forme des membranes de filtration nano-poreuses, des catalyseurs ou de nano-adsorbants pour le traitement de pollutions, contrôle de la pollution de l'eau et de la qualité de l'air, la dépollution des eaux souterraines ou encore le traitement de l'eau potable (Auffan, 2007), c'est une nouvelle technologie qui met des nouveaux catalyseurs supportés pour la dépollution des eaux usées (Alahiane et *al.*, 2012). Dans cette étude, nous nous sommes fixés pour but d'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes de la station d'épuration (Willaya de Guelma) avant et après traitement par la STEP, par les nanoparticules (Ag et Fe₂O₃) et par les lentilles d'eau (*Lemna gibba*).

La température joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz et conditionne les équilibres de dissociation, Elle agit sur la conductivité électrique (El Maroufy, 1992).

Généralement, les valeurs moyennes et extrêmes de la température des eaux usées au cours des périodes d'étude varient entre 12,26°C et 16,76°C avant et après traitement par la STEP et 15,9°C après épuration par les lentilles d'eaux, et la valeur varie entre 12,26°C et 13,06°C après traitement par les nanoparticules métalliques et Les valeurs de la température sont inférieure à la norme 30°C, considérée comme valeur limite des rejets directs dans le milieu récepteur. Nos résultats concordent avec les travaux d'El-Guamri et *al.*,(2007) et Oulkheir (2002) et de Seidl (2002).

Le potentiel d'Hydrogène est un indicateur de la pollution, il varie suite à la nature des effluents basiques (Cuisson, lavage...) ou acide (les acide acétique et les dérivés chlorés...). La gamme du pH biologique se situe entre 6,5 et 8,5. En dehors de cette gamme, le pH a des effets néfastes sur la vie aquatique et bloque les processus d'autoépuration, une baisse de pH peut augmenter la toxicité (Rodier, 1996). Pendant notre période d'étude, les analyses effectuées montrent que le pH de l'ensemble des échantillons des eaux usées brutes avant et après traitement par la STEP, par les deux molécules nanométriques et par les lentilles d'eaux varie entre 7,56 et 7,85. Les valeurs de pH mesurés sont proches de celles proposées par les normes Algériennes de qualité des eaux usées destinées à l'irrigation, se trouve dans l'intervalle admis (6,5-8,5) considéré comme valeur limite des rejets des effluents liquide déversés dans le milieu naturel (JORA, 2006).

Le potentiel redox est une grandeur de mesure permettant de quantifier la présence d'oxydant dans un fluide dans certaines conditions. Lorsqu'il est positif il traduit une activité

électronique faible, donc une capacité à prendre des électrons (pouvoir oxydant), inversement quand les valeurs du potentiel redox sont négatives (ils absorbent des électrons), il entend une capacité importante à prendre les électrons (Sadek et *al.*, 2012). Durant notre étude, toutes les valeurs du potentiel redox sont positives, avant et après traitement par les différents procédés de traitement utilisés ce qui indique un pouvoir oxydant important (Bedouh, 2014).

La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension finement divisées: argile, limons, grains de silice, matières organiques,...etc. L'appréciation de l'abondance de ces matières mesure son degré de turbidité, Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace (Sadek et *al.*, 2012). La valeur moyenne enregistrée de la turbidité des eaux usées de la ville de Guelma au cours des périodes d'étude est (172,33NTU), cette valeur est supérieure à la norme (50 NTU), considérées comme valeurs limites de rejets directs dans le milieu récepteur (J.O.R.A, 2006).

Concernent les résultats après traitement par les différents procédés, on note que les résultats obtenus varient entre 3,7 et 34,2NTU. Ces résultats sont inférieurs à la norme (50 NTU), considérées comme valeurs limites de rejets directs dans le milieu récepteur (J.O.R.A, 2006).

L'oxygène dissous (O_2) est très important par le fait qu'il conditionne l'état de plusieurs sels minéraux, la dégradation de la matière organique et la vie des animaux aquatiques. Il joue un rôle primordial dans le maintien de la vie aquatique dans l'autoépuration. Sa présence dans les eaux naturelles est déterminée principalement par la respiration des organismes, par l'activité photosynthétique de la flore, par l'oxydation et la dégradation des polluants et enfin par les échanges air-eau, L'oxygène dissous est un paramètre important à prendre en considération, car il renseigne sur l'état de l'eau et d'autre part il favorise la croissance des micro-organismes qui dégradent la matière organique. En général, les valeurs faibles de l'oxygénées dissous favorisent le développement des germes pathogènes (Belghiti et *al.*, 2013).

La déficience en oxygène dissous ne signifie pas que l'oxygène n'est pas disponible pour l'activité biologique, mais plutôt que tous l'oxygène qui se diffuse de l'air à l'eau a été consommé jusqu'aux niveaux non détectables par la méthode analytique. De plus, la diffuse d'oxygène dans l'eau augmente le potentiel redox, De plus les bactéries réductrices de sulfate (SRB) convertissent le sulfate en sulfure d'hydrogène. Ces bactéries se croissent en absence d'oxygène et demandent le potentiel redox négatif. L'augmentation du potentiel redox inhibe ces bactéries (Anonyme, 2009).

Les résultats obtenus montrent que l'oxygène dissous (O_2) des eaux usées brutes avant et après traitement varie entre 3,99mg/l et 8,02mg/l, les valeurs après traitement dépassent légèrement la norme de l'OMS (1989) et celle du Journal Officiel de la République Algérienne (JORA, 2006).

La conductivité électrique d'une eau est définie comme étant la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 , elle s'exprime en $\mu\text{S/cm}$. La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution (Bremont et Vuichard, 1973).

Les analyses effectuées montrent que les valeurs de la conductivité électrique de l'ensemble des échantillons des eaux brutes avant et après traitement par les différents procédés utilisés varient de $1260\mu\text{S/cm}$ à $1410,33\mu\text{S/cm}$ notamment inférieure à $3000\mu\text{S/cm}$ qui est la norme européenne des rejets et inférieure à $2000\mu\text{S/cm}$ qui est la norme Algérienne (JORA, 2006).

Les matières en suspension sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures (Faby, 1997).

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux usées. La quantité de la matière en suspension dans les eaux brutes est de l'ordre de 244mg/l, cette dernière dépasse la norme Algérienne qui fixe la teneur de MES à 35mg/l (JORA, 2006) et celle de l'OMS (1989). Ces résultats sont liés souvent à la charge importante en matières organique et minérale engendrées par les diverses activités de la population urbaine (Souiki, 2008), Nos résultats concordent ceux de (Sadek et *al.*, 2012).

Après traitement des eaux usées brutes par les différents procédés, les résultats obtenus varie de 19 mg après épuration par les lentilles d'eaux à 7,66 mg après traitement par l'Ag, ces valeurs restent inférieures à la norme de l'OMS (OMS, 1989) et celle du Journal Officiel de la République Algérienne (J.O.R.A ,2006).

La demande Biochimique en Oxygène exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de microorganismes, dans des conditions données (5 jours à 20°C , à l'abri de la lumière et de l'air) on parle alors de la DBO_5 (Belghiti et *al.*, 2013). L'effet principal d'un rejet de matières

organiques biodégradables dans le milieu naturel correspond à la consommation d'oxygène qui en résulte. La détermination de la DBO₅ a donc pour but d'évaluer cette nuisance et d'en estimer les effets (Franck, 2002).

La valeur moyenne enregistrée de la DBO₅ des eaux usées brutes est 186,33mg/l d'O₂, ces valeurs de la DBO₅ dépassent largement la norme Algérienne qui fixe la teneur de la DBO₅ à 35mg/l (JORA, 2006) et celle de l'OMS (1989).

La demande chimique en oxygène (DCO) est un indicateur de la teneur en matière organique et en sels minéraux oxydable. La valeur moyenne enregistrée de la DCO des eaux brutes est 295,2mg O₂/l cette valeur de la DCO est supérieure aux normes de l'OMS (1989) et celle du Journal Officiel de la République Algérienne (JORA, 2006).

Les pourcentages d'abattelements de l'ordre de 79,53% ,92,49% et 96,31% respectivement pour la DCO, la DBO₅ et les MES sont observés après traitement des eaux brutes par (Fe₂O₃), de l'ordre de 90,86% ,96,60% et 96,86% respectivement pour la DCO, la DBO₅ et les MES après traitement de l'eau brute par l'argent , de l'ordre de 90,35% , 97,48% et 92,21% respectivement pour la DCO, la DBO₅ et les MES après traitement par les lentilles d'eau et de l'ordre de 81,96% ,92,36% et 95,77% respectivement pour la DCO, la DBO₅ et les MES, après traitement par la STEP en enregistrant par rapport à l'eau brute avant traitement.

Les abattelements observés avec les nanomatériaux sont expliqués par l'effet du catalyseur (Ag ou le Fe₂O₃) seul qui a été à l'origine d'une diminution de la teneur de la matière organique. Cette diminution, pourrait être expliquée par l'adsorption de la matière organique sur la surface du catalyseur (Gebrati *et al.*, 2010) .

Ce résultat est en parfait accord avec une étude réalisée par Méndez-Arriagaet *al* (2008) sur la dégradation de NSAID (No Steroidal Anti-inflammatory Drugs) par traitement catalytique. Ce phénomène d'adsorption d'après Chen *et al* (1995) présentait au cours du processus un effet sur la cinétique de dégradation catalytique. Le processus d'adsorption sur la surface des nanoparticules est dû à la formation d'une surface complexe par des bondes covalentes avec les ions (Hohl et Stumm, 1992) ou à la formation des liaisons hydrogènes avec les molécules polaires (Bowers et Huang, 1985). D'autre part, l'effet des nanoparticules sera efficace uniquement lors de l'irradiation par la lumière UV (Bennabbou *et al.*, 2007).

Nos résultats concertants le rendement d'épuration observée avec les lentilles d'eaux sont parfaitement d'accord avec les travaux réalisés par Ben Chehem *et al* (2014) qui ont travaillé sur

Inventaire des études scientifiques relatives à la réutilisation des eaux usées dans le domaine piscicole, et ceux de Souiki (2008).

D'autres travaux concordent nos résultats ceux de Idder et *al.*, (2012) qui ont étudié les capacités épuratoires de la lentille d'eau sous climat sahélien, les résultats épuratoires obtenus grâce à l'utilisation de la lentille d'eau montrent un abattement significatif de la charge polluante pouvant atteindre plus de 70 % pour l'azote ammoniacal et plus de 80 % pour le phosphore et près de 70% pour la DBO.

Nos résultats concernant le rendement d'épuration observée avec la STEP sont parfaitement d'accord avec les travaux réalisés par Bedouh (2014) qui a étudié l'évaluation de la Toxicité des eaux usées Traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon « *Allium cepa* ».

Le rapport DCO/DBO₅ évalue la biodégradabilité d'une eau usée, c'est-à-dire la faculté de transformation de la matière organique en matière minérale, admissible par le milieu naturel. Les résultats de ce rapport constituent une indication de l'importance des matières polluantes peu ou pas biodégradable (Belghyti et *al.*, 2009).

Le rapport DCO/DBO₅ des eaux usées brutes varie de (1,12 à 1,81). Ces rapports sont inférieurs à 3 (conforme avec celui des eaux usées urbaines à dominance domestique présentant un rapport DCO/DBO₅ inférieur à 3 (Belhadj, 2006).

Les résultats montrent que les eaux usées brutes sont caractérisées par des concentrations de la flore mésophile aérobie totale (FMAT) comprises entre 5.10^4 et $6,1.10^5$ FMAT/ml avec une concentration moyenne est de $3,9.10^5$ FMAT/ml, ce nombre important de la (FMAT) peut indiquer la présence des germes pathogène (El-Amiri et *al.*, 2010).

Le pourcentage maximal d'abattement de la (FMAT) est de l'ordre de 100%, 99,99%, 98,39% et de 99,92% respectivement dans les eaux usées brutes après traitement par Ag, Fe₂O₃, après épuration par la STEP et par les lentilles d'eau.

Le dénombrement des bactéries indicatrices de la contamination fécale est réalisé selon la méthode du Nombre le Plus Probable (NPP), Les coliformes totaux sont utilisés comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau, ils peuvent indirectement associer à une pollution d'origine fécale (Rodier, 2009) L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est *Escherichia coli*, dans une moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella*. La bactérie *E. coli* représente toutefois 80% à 90 % des coliformes thermotolérants détectés. (Prescott et *al.*, 2003). les valeurs enregistrées varient

de 160.10^3 à 180.10^3 CT/100 ml avec une valeur moyenne de 173.10^3 CT/100ml dans les eaux brutes avant traitements.

Après traitement par les Nps, les rendements d'épurations sont respectivement de l'ordre 99,99% et 100% des eaux brutes après traitement par le Fe_2O_3 et Ag et de l'ordre de 99,70% et 99,98% des eaux brutes après traitement par la STEP et par les macrophytes.

La présence de coliformes totaux dans les eaux traitées ou leur dépassement par rapport aux normes réglementaires n'implique pas nécessairement un risque pour la santé publique, en effet, la plupart des espèces de ce groupes se trouvent naturellement dans le sol ou la végétation (Edberg *et al.*, 2000).

La présence de coliformes fécaux témoigne d'une habituellement d'une contamination d'origine fécale ou provenant d'eaux enrichies en matières organiques (Barthe *et al.*, 1998). Les valeurs enregistrés reste supérieur à la norme de l'OMS (1000 germes /100ml) (OMS, 1989).

Les streptocoques fécaux sont susceptibles de contaminer les approvisionnements, ils sont typique des déjections animales. Ils peuvent parfois être présents chez l'homme ou dans les végétaux (Bitton, 1999). Les résultats de la recherche et du dénombrement des Streptocoques fécaux dans les eaux brutes avant traitements montrent que les concentrations déterminées varient entre 2.10^3 germes/100ml et 5.10^3 germes/100ml avec une moyenne $3,5.10^3$ germes/100ml. Nous constatons que les pourcentages d'abattelements sont respectivement de l'ordre de 99,71% ,100% , 95,14% et 99,71% des eaux usées brutes après traitement par le Fe_2O_3 ,Ag, la STEP et par les lentilles d'eaux.

D'autres travaux concordent nos résultats ceux de Idder *et al.*, (2012) qui ont étudié les rendements d'élimination des indicateurs bactériologiques de pollution, il atteint 1 unité logarithmique dans les bassins à macrophytes, ce qui montre l'influence positive de la lentille d'eau sur l'abattement de la pollution microbienne, le pourcentage d'abattement des Streptocoques fécaux et des coliformes fécaux est(99,95%).

L'origine de la contamination fécale est déterminée par le rapport quantitatif R: CF/SF. Selon les critères définis par Borrego et Romero (1982), la contamination est d'origine animale si le rapport R est inférieur à (0,7), elle est d'origine humaine si R est supérieur à 4. L'origine de la contamination est mixte à prédominance animale si R est compris entre 0,7 et 1. Cette origine est incertaine si R est compris entre 1 et 2 et l'origine est dite mixte à prédominance humaine si R se situe entre 2 et 4. L'origine de la contamination des eaux brutes est mixte à prédominance humaine (R inférieur à 4).

Les Anaérobies sulfite réducteurs, permettent de mettre en évidence un groupe de bactéries anaérobies, caractérisées par la résistance de leurs spores et par un équipement enzymatique réduisant plus au moins activement les sulfites en sulfures (Attab, 2011).

Les *Clostridium* sulfite-réducteurs sont souvent considérés comme des témoins de pollution fécale. La forme spore, beaucoup plus résistante que les formes végétatives des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux, permettrait ainsi de détecter une pollution fécale ancienne ou intermittente. Sans débattre de l'intérêt réel d'une telle indication concernant la date de la pollution, il faut cependant considérer que si les *Clostridium* sulfite-réducteurs peuvent certes être des germes fécaux, ce sont également des germes telluriques et que, de ce fait, aucune spécificité d'origine fécale ne peut être attribuée à leur mise en évidence.

Les résultats de recherche et dénombrement des *Clostridium* sulfite réducteurs dans les eaux brutes avant traitements et après traitement par la STEP montrent que les concentrations déterminées sont indénombrables.

La présence de *Clostridium* sulfite réducteur témoigne d'une contamination tellurique (Rejesk, 2002), leur action protéolytique est mise en évidence par l'odeur putride qui se dégage des rejets, Nos résultats sont en accord avec ceux de Souiki (2008). Le rendement d'élimination des *Clostridium* sulfite réducteurs dans les eaux usées brutes après traitement par les Nps sont de l'ordre de 100% pour celle traitées par le Fe_2O_3 , Ag, et les lentilles d'eau.

La recherche des germes pathogènes a révélé l'absence de Salmonelles, Shigelles et de Vibron cholérique dans les eaux usées brutes avant et après traitements, ces résultats correspondent aux normes de l'OMS qui exigent une absence absolue de ces germes dans les eaux destinées à l'irrigation des cultures maraichères (OMS, 2001). Ces résultats sont en accord avec ceux de Cheghib et Fecih (2014) qui ont mis en évidence l'absence de Salmonelles et de Vibron cholérique dans les eaux usées brutes avant et après traitement par les Nps.

La présence des Staphylocoques (*S. epidermidis*) dans les eaux brutes démontrant ainsi leur résistance au chlore et aux produits de désinfection, ces germes ont la capacité à survivre longtemps dans les sols et à la surface des plantes (CEAEQ, 2012) Ce résultat ne correspond pas aux normes de l'OMS qui exigent une absence absolue de ces germes dans les eaux destinées à l'irrigation des cultures maraichères (OMS, 1989), nous constatons une absence de ces germes après traitement par l'Ag, une diminution des UFC dans les eaux brutes traitées par le Fe_2O_3 , la STEP et après épuration par les macrophytes par rapport à l'eau brute.

La recherche des *Pseudomonas* a révélé l'absence totale de ces germes dans les eaux usées brutes avant et après traitements. Ce résultat correspond aux normes de l'OMS qui exigent une absence absolue de ces germes dans les eaux destinées à l'irrigation des cultures maraichères (OMS, 1989).

Nos résultats concernant les pourcentages d'abattelements observés après traitements des eaux brutes par les nanomatériaux sont expliqués par l'activité antibactérienne des Nps, nos résultats sont en accord avec les résultats de Stoimenov (2000) qui a mis en évidence l'activité bactéricide des oxydes nanométrique sur des formes végétative (de *E.coli*, *Bacillus megaterium*) et sporulées (*Bacillus subtilis*). Un effet sur les membranes bactériennes ainsi qu'un effet de rupture sur les spores a pu être mis en évidence.

D'autres travaux concordent nos résultats ceux de Zhang et al (2003) qui ont montré des propriétés antibactérienne des nanocomposites composé de titane recouvert de nanoparticule d'argent, l'effet bactéricide a été mesuré dans l'eau sur *Micrococcus lylae*. Nos résultats vont aussi dans le même sens que ceux de Jain et Pradeep (2005), qui ont produit une mousse de polyuréthane saturé de nanoparticule d'Ag par imbibition dans une solution de nanoparticule d'Ag pendant une nuit, l'effet antibactérien est mis en évidence par le contact de deux solutions (10^3 UFC/ml - 10^5 UFC/ml) avec la mousse de polyuréthane recouverte d'argent pendant 10 min ensuite la mousse est retirée du tube, pressé et l'eau extraite (eau traité) est mise en culture, aucune bactérie (*E. coli*) n'est détecté dans l'eau traitée.

D'autre part, l'activité antibactérienne de certaines nanoparticules sera efficace uniquement lors de l'irradiation par la lumière UV et que la lumière visible n'est pas assez puissante et/ou n'émette pas dans les bonnes longueurs d'ondes pour avoir un effet bactéricide (Chen et Mao, 2007).

Nos résultats concertants les rendements d'élimination des bactéries par les lentilles d'eaux sont en accord avec les travaux de Ben Chehmet al., (2014) qui ont mis en évidence la faisabilité du traitement des eaux usées dans un système d'agriculture urbaine. Le système de lagunage dans la région atteint un très bon niveau d'abattement microbien.

Conclusion Générale et Perspective

Les rejets des eaux usées sont plus en plus sujet à des pollutions de natures diverses notamment les métaux lourds et la matière organique. La politique environnementale du monde, le développement durable implique pour l'homme une maîtrise de ses rejets domestiques et urbains. L'épuration des eaux usées par les différents procédés consiste à produire une eau usée épurée qui peut être réutilisée en secteur agricole ou rejetée dans la nature sans effet nocif sur les sols, les plants et l'être humain donc sur l'environnement.

Notre travail consiste à étudier la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la STEP (Guelma) qui se verse dans l'Oued de Seybouse avant et après traitement par la STEP, les lentilles d'eaux et le traitement Catalytique par l'oxyde de fer (Fe_2O_3) et l'argent(Ag).

Les résultats obtenus permettent d'affirmer que les eaux usées épurées de la station de Guelma peuvent être valorisées, leurs caractéristiques physico-chimiques leur acquièrent un potentiel d'utilisation. Les résultats d'analyses obtenus au cours de cette période d'expérimentation présentent des valeurs qui sont en grande partie conformes aux normes internationales d'une eau d'irrigation. En effet, ces eaux peuvent véhiculer des polluants qui peuvent être à l'origine des problèmes de santé publique. Cependant, il faut rester vigilant quant à l'utilisation des eaux usées traitées par la station de Guelma en agriculture.

Le traitement catalytique par les nanoparticules, le traitement de la STEP et le traitement biologique par les Lentilles d'eaux ont permis une réduction des indicateurs physicochimique et bactériologique de pollution des eaux usées de la STEP.

Les pourcentages d'abattelements des indicateurs physicochimique de pollution sont de l'ordre de 96,86%MES, 96,60%DBO₅, 90,86%de la DCO des eaux usées traitée par l'argent, de l'ordre de : 96,31%, 92,49%, 79,53% respectivement pour les MES, DBO₅ et la DCO de l'eau brute traitée par le Fe_2O_3 , de l'ordre de 92,21% des MES, 97,48% DBO₅, 90,35% de la DCO des eaux traitées par les lentilles d'eaux et de l'ordre de 95,77%MES, 92,36%DBO₅, et 81,96%DCO des eaux usées traitées par la STEP. Les pourcentages d'abattelements enregistrés aux indicateurs bactériologiques de pollution sont de l'ordre de 100% des eaux usées traitées par l'Ag, de l'ordre de : 99,99%, 99,99%, 99,94% et 99,71% respectivement pour la FMAT, CT, CF et SF des eaux usées traitées par le Fe_2O_3 . Le traitement par les lentilles d'eaux permet un abattement de l'ordre de : 99,92% de la FMAT, 99,98% des CT, 99,59%

des CF, 99,71% des SF, et de l'ordre de : 98,39%, 99,79%, 96,88% et 95,14% respectivement pour la FMAT, CT, CF et SF des eaux usées traitées par la STEP.

Concernant la recherche des germes pathogènes dans l'eau brute traitée par les différentes procédées, nous constatons une absence des Salmonelles, des Shigelles, de *Vibron cholérique* et de *Pseudomonas* avec présence (*Staphylococcus epidermidis*) après traitement des eaux usées par les lentilles d'eaux et par la STEP avec une absence totale de tous ces germes après traitement catalytique par l'oxyde de fer et l'argent.

En perspective, il sera intéressant :

- ✓ d'évaluer la pollution organique par détermination des rapports : MES/DBO₅, Matières oxydables, DBO₅/DCO.
- ✓ Dosages des orthophosphates, des nitrates, des nitritesetc
- ✓ Tester l'effet de la lumière (UV) sur l'effet des catalyseurs étudiés.
- ✓ Tester la toxicité des nanoparticules sur la faune et la flore aquatique.
- ✓ Dosage des métaux lourds et des pesticides dans les eaux.

Références bibliographiques

A

- ✚ Alahiane S., Qourzal S., El Ouardi M., Belmouden M., Assabbane M., Ait-Ichou. Adsorption et photodégradation du colorant indigo carmine en milieu aqueux en présence de $TiO_2/UV/O_2$ (Adsorption and photocatalytic degradation of indigo carmine dye in aqueous solutions using $TiO_2/UV/O_2$). Université Ibn Zohr ,Maroc. pp239-250.
- ✚ Anonyme., 2009. Biodigestion des graisses et des huiles et optimisation du traitement. La solution naturelle, Support Technique-Graisse page 1 de 7.
- ✚ Ater M., Aït Ali N et Kasmi H, (2006) « Tolérance et accumulation du cuivre et du chrome chez deux espèces de lentilles d'eau : Lemna minor L. et Lemna gibba L. » Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 19, n° 1, p. 57-67.
- ✚ 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 à sable local. Mémoire de Magister, Université d'Ouargla, 91p.
- ✚ Auffan M., (2007). Nanoparticules d'oxydes métalliques relations entre la réactivité de surface et des Réponses biologiques. Thèse de Doctorat, Université de Marseille, 163p.

B

- ✚ Barth C., Perron J., Perron J., 1998. Guide d'interprétation des paramètres microbiologiques d'intérêt dans le domaine de l'eau potable. Document de Travail (version préliminaire). Canada, Ministère de l'Environnement du Québec. p155.
- ✚ Bechaa B. & Khanfri A., 2013. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de rejets industriels. Cas de la conserverie Amor Benamor (CAB). Mémoire de Master, Université de Guelma, 57p.
- ✚ Bedouh Y., 2014. Evaluation de la Toxicité des eaux usées Traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon « Allium cepa ». Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, 128p.
- ✚ Belghiti M. L., Chahlaoui A., Bengoumi D., El Moustaine R., 2013. Etude de la Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-Quaternaire dans la région de Meknès. Maroc, Université Moulay Ismail. pp 34-37.

- ✚ Belghyti D., El Guamri Y., Ztit G., Ouahidi L., Jotit B., Harchrassa A., Amghar H., Bouchouata O., El Kharrim K. & Bounouira H., 2009. Caractérisation des eaux d'abattoir en vue de la mise en œuvre d'un traitement Adéquat : cas de Kénitra au Maroc. *Afrique science*, 5, pp 199-216.
- ✚ Belhadj M.Z., 2006. Etude de la pollution du Barrage de Zit-Emba. Mémoire de Magistère, Université de Batna, 89p.
- ✚ Ben Chehem M., Bouazza H., Labbaz L., 2014. Inventaire des études scientifiques relatives à la réutilisation des eaux usées dans le domaine piscicole. Projet de Fin d'Etudes, UNIVERSITE KASDI MERBAH- OUARGLA-, 18p
- ✚ Benabbou A., Derriche Z., Felix C. & Guillard P. L., 2007. Photocatalytic Inactivation of *Escherichia coli*. Effect of concentration of TiO₂ and microorganism, nature, and intensity of UV radiation. *Applied catalysis B: Environmental*, 76, pp 257–263.
- ✚ Benedetti M., Ferrari R. (2009). Stabilité de nanoparticules d'oxydes métalliques et
- ✚ Bentir M., 1996. L'épuration des eaux résiduaires industrielles en Algérie: État actuel et perspectives. *Edil Inf Eau* 12, 4-5.
- ✚ Bitton G., 1999. Waste water Microbiology. John Wiley & sons, USA, 578p.
- ✚ Borrego A.F. & Romero P., 1982. Study of the Microbiological pollution of a Malaga littoral area II. Relationship between fecal coliforms and fecal streptococci. *Vie Journee étud pollutions*, France, 23, pp 561-569.
- ✚ Bouziani M., 2000. L'eau, de la penurie aux maladies. Edition Ibn-Khaldoun, Algérie, 223 p.
- ✚ Bowers A.R. & Huang C.P., 1985. Adsorption characteristics polyacetit amino acids onto hydrous Y-Al₂O₃. *Colloid Interface Sci*, 105, pp 197–215.
- ✚ Bremont et vuichard.(1973)., Les paramètres de la qualité de l'eau. Ed. La documentation française. Paris.173 p.

C

- ✚ Camille D., (2003). Surveillance sanitaire et microbiologique des eau. Réglementation, prélèvements, analyses. Lavoisier : Tec et Doc. France. 156 p.
- ✚ Canler, 1999 : Aide au diagnostic des stations d'épuration par l'observation microscopique des boues activées. Ed. Cemagref, 155p.

- ✚ Ceaq A., 2012. Recherché et dénombrement de *Staphylococcus aureus* : Méthode par filtration sur membrane MA 700-STA 1.0. Centre D'expertise En Analyse Environnementale Du Québec, Ministère du Développement durable, de L'environnement et des Parcs du Québec, Rév. 4, Canada. p19.
- ✚ Chen H.Y., Zahra O., Bouchy M., Thomas F. & Bottero J.Y., 1995. Adsorption properties of TiO₂ related to the photocatalytic degradation of organic contaminants in water. *Photochemistry Photobiol*, 85, pp 281–288.
- ✚ Chen X. & Mao S.S., 2007. Titanium dioxide nonmaterial's: Synthesis, properties, modifications, and applications. *Chemical Reviews*, 107, pp 2891–2959.
- ✚ Cohen N., Karib H., 2007. *Vibrio* spp. dans les produits de la pêche : Risques et prévention. Les technologies de laboratoire. pp3-7.

D

- ✚ Dadci K, 2008. Abdelmalek Sellal à Guelma. Press El Watan. Le 18/03/2008. Algérie.
- ✚ Debieche T.H., Mania J et Mudry J. (2002). Evaluation du risque des ressources en eau à la pollution au niveau de la basse plaine de la Seybouse (NE, Algérien). *Third International Conference on Water Resources and Environment Research (ICWRER): Water Quantity and Quality Aspects in Modelling and Management of Ecosystems*, (Poster), Dresden – Allemagne.
- ✚ Debieche T.H., Mania J., Mudry J., 2002. Evaluation du risque des ressources en eau à la pollution au niveau de la basse plaine de la Seybouse (NE, Algérien). Third International Conference on Water Resources and Environment Research (ICWRER): Water Quantity and Quality Aspects in Modelling and Management of Ecosystems, (Poster), Dresden -Allemagne.
- ✚ Dellarras C., 2007. Microbiologie pratique pour le laboratoire d'analyses ou de contrôle sanitaire. Lavoisier : Tec & Doc. Paris. p 463.
- ✚ Denis F., Ploy M.C., Martin C., Bingen E., Quentin R., 2007. Bactériologie médicale : Techniques usuelles. Elsevier Masson. p594
- ✚ Dhermendra K., Tiwari J., Behari Z. & Prasenjit S., 2008. Application of Nanoparticles in Waste Water Treatment. *World Applied Sciences Journal*, 3, pp 1818-4952.
- ✚ Djabri L, Hani A., Mania J., Murdy J, 2001. Impact des eaux urbaines sur la qualité des eaux de l'oued Seybouse.

- ✚ Dorion C., Zahraa O. & Bouchy A., 1995. Reacteur photocatalytique à lit fixe pour le traitement des eaux usées. *Récents progrès en génie des procédés*, 19, pp 105-110.

E

- ✚ Edberg S.C., Rice E.W., Karlin R.J. & Allen M.J., 2000. *Escherichia coli*: The best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, 88, pp 106-116.
- ✚ effets toxicologiques. These de doctorat, Université Paris Diderot Ecole Doctorale des Sciences de la Terre. p :266.
- ✚ El Amiri B., Sibaoueih M., Hadarbach D., Cohen N. & Chriyaa A., 2010. Impact de l'utilisation des eaux usées sur le bovin dans la commune des Mzamza, province de Settat. *Les Technologies de laboratoire*, 17, pp 14-19.
- ✚ El Guamri Y., Belghiti D., 2006. Etude de la qualité physico-chimique des eaux usées brutes de commune urbaine de Saknia, rejetées dans le lac Fouarat (Kénitra, Maroc). *Journal Africain de Sciences de l'Environnement*.
- ✚ El Maroufy M., 1992. Traitement des eaux usées dans les bassins de stabilisation d'ouarzazate et leur réutilisation en agriculture : Aspect parasitologique. Thèse de Doctorat. Maroc, Université de Meknès. p133.
- ✚ Emsalem R. (1986). Climatologie Générale. Edition. *I.P.E.N.A.G.* Tome 1. 198p.
- ✚ Emsalem R. (1986). Climatologie Générale. Edition. *I.P.E.N.A.G.* Tome 1. 198p.
- ✚ Engelkirk P.G., 2008. Laboratory Diagnosis of Infectious Diseases: Essentials of Diagnostic Microbiology. 1st edition. Lippincott Williams & Wilkins. p754.

F

- ✚ Faby J.A., Brissaud F. (1997)., L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau, 76 pages.
- ✚ Federighi M., 2005. Bactériologie alimentaire- Compendium d'hygiène des aliments. 2^{ème} édition: Economica. Paris. p292.
- ✚ Franck R., 2002 : Analyse de l'eau (Aspects réglementaires et techniques). Ed, Collection Biologie technique, 360 p.

G

- ✚ Gaujous D. (1995)., La pollution des milieux aquatiques ; aide-mémoire. Ed. Techniques et documentations. Lavoisier.Paris, 220p.
- ✚ Gebrati L., Loukili I.L., Mountassir Y. & Nejmeddine A., 2010. Détoxification of textile industry effluents by photocatalytic treatment.*Environmental Technology*, 6, pp 625 -632.
- ✚ Guelma, Ministère des Ressources en Eaux, Ofice National de l'Asainissement, Algérie, 64.
- ✚ Guiraud J. P., (1998). Microbiologie alimentaire. Dunod. Paris. France. 651 p.

H

- ✚ Hannachi A., Gharzouli R.et Djellouli tabet Y., 2014. Gestion et valorisation des eaux usees en Algerie. Larhys Journal, ISN 112-3680, n°19.
- ✚ Harvey R.A., Champe P.C., Fisher B.D., (2007). Microbiology. 2^{ème} edition. Lippincott Williams & Wilkins. p432.
- ✚ Hohl H. & Stumm W., 1992. Interaction of Pb²⁺ with hydrous Y-Al₂O₃. *Colloid Interface Sci*, 55, pp 281–288.

I

- ✚ Idder T,Seidl M., Laouali S, Idder A., Ourahmoun H. Hamdi A.et Bettahar N. 2012. L'epuration Des Eaux Usees Au Service De L'aquaculture Un Modele Integre De Gestion Des Eaux Au Sahel. Revue des BioRessources, Vol 2 N 2.
- ✚ ISO (Organisation Internationale de Normalisation), Water Quality, 2001. Determination of the toxic effect of water constituents and waste water to duckweed (Lemna minor). Duckweed growth inhibition test, ISO TC 147/SC 5 N, ISO/CD 20079.

J

- ✚ JORA., 2006. Valeurs limites des paramètres des rejets difflluents liquides industriels. Journal Officiel de la République Algérienne, 27p.

- ✚ 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 61-65p.
- ✚ Khelifa R., Youcefi A., Kahlerras A., Alfarhan A., Khaled A.S et Samraoui B, 2011. L'odonatofaune (*Insecta : Odonata*) du bassin de la Seybouse en Algérie : intérêt pour la biodiversité du Maghreb, *Rev. Écol. (Terre Vie)*, vol. 66.
- ✚ Khelifa R., Youcefi A., Kahlerras A., Alfarhan A., Khaled A.S., Al-Rasheid et Samraoui B., 2011. L'odonatofaune (*Insecta : Odonata*) du bassin de la Seybouse en Algérie : intérêt pour la biodiversité du Maghreb, *Rev. Écol. (Terre Vie)*, vol. 66.

L

- ✚ Lahlah N. (2010). Traits d'histoire de vie et régime alimentaire de l'Hirondelle de fenêtre (*Delichon urbica meridionalis*) dans le Nord-est Algérien. Thèse Doctorat. Université BADJI Mokhtar. Annaba
- ✚ Lahlah N. (2010). Traits d'histoire de vie et régime alimentaire de l'Hirondelle de fenêtre (*Delichon urbica meridionalis*) dans le Nord-est Algérien. Thèse Doctorat. Université BADJI Mokhtar. Annaba.
- ✚ Lebres E., 2002. Cours national d'hygiène et de microbiologie des aliments « Microbiologie des eaux, des boissons et des produits de la mer ». Institut Pasteur d'Algérie. p34.
- ✚ Lightfoot N.F., (2002). Analyses microbiologiques des aliments et de l'eau. Directive pour l'assurance qualité. France. p387.

M

- ✚ Méndez-Arriaga S., Espulugas R. & Giménez J., 2008. Photocatalytic degradation of nonsteroidal anti-inflammatory drugs with TiO₂ and simulated solar irradiation. *Water Res*, 42, pp 585–594.

N

- ✚ Nauciel C., Vildé J.L., 2005. Bactériologie médicale. Masson. 2^{ème} édition. p 257.
- ✚ Nouar T, 2007. Impacts de la pollution sur les eaux superficielles et souterraines de la région de Guelma. Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, Algérie, 178 p.

O

- ✚ OMS., 1989. L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquiculture recommandation à visés sanitaire. Rapport technique, n°778, Genève, 79p.
- ✚ ONA, 201. Descriptif de fonctionnement et d'exploitation de la station d'épuration de
- ✚ ONA, 2011. Descriptif de fonctionnement et d'exploitation de la station d'épuration de Guelma, Ministère des Ressources en Eaux, Office National de l'Assainissement, Algerie, 64p.
- ✚ ONS (Office National des Statistiques), 2011. Recensement général de la population et de l'habitat. Armature urbaine. Collections Statistiques n° 163/2011, Algérie, 213 p.
- ✚ Ophélie Z., 2008. Etude des interactions physico-chimiques et biologiques entre des nanoparticules manufacturées et des bactéries de l'environnement. Thèse Doctorat, Université de Paris, 321p.
- ✚ Oulkheir S, 2002. Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées de la ville Kenitra. Mémoire de DESS. Fac Kenitra, Agro-ressource et chimique fine. pp 97.

P

- ✚ Payment P., Hartemann, P, 1998. Les contaminants de l'eau et leurs effets sur la santé.
- ✚ Peralta Zamora P., Kunz A., Moraes S.G., Pelegri R., Moleiro P.C., Reyes J. & Duran N., 1998. Evaluation of TiO₂ and supported ZnO on the photo assisted remediation of black liquor cellulose and textile mill effluents, Chemosphere, 38, pp 835–852.
- ✚ Perera. P, Baudot, 1991 : état procédés extensifs d'épuration des eaux usées .relative au traitement des eaux urbaines résiduaires. Mise en oeuvre de la directive du conseil N 91 /271 du 21mai 1991.
- ✚ Pradeep R.A., Boucher D., Sime-Ngando T., Debros D., Romdgoux J.c., 2005. Phage bacteriolysis, protistandac-Terivory potential and bacterial production in a Fresh Water reservoir. Coupling With Temperature Microb Ecol, 50. PP 64 – 72.
- ✚ Prescott L.M., Harley J.P., Klein D.A., 2003. Microbiologie. 2^{ème} édition. De Boeck. Paris. p1163.

R

- ✚ Ramade F. (2007). Introduction à l'écotoxicologie. Tec & Doc, Paris, pp. 17.
- ✚ Rejsek F., 2002. Analyse de l'eau: Aspect réglementaire et technique. Ed CRDP d'Aquitaine, France, 385p.
- ✚ Rejsek F., 2002. Analyse de l'eau: Aspect réglementaire et technique, Ed CRDP d'Aquitaine, France. pp 385.
- ✚ Rodier J, 2009. L'analyse de l'eau. Eau naturelles, eau résiduaires, eau de mer. 9^{ème}éd, Dunod. pp 97-370.
- ✚ Rodier J., 1996. L'analyse de l'eau, eau naturelles, eau résiduaires, eau de mer. 8^{ème}éd, Dunod, pp1383.
- ✚ Rouaiguia M., Lahlah N., Bensaci E. et Houhamdi M. (2015). Feeding behaviour and the role of insects in the diet of northern house-martin (*Delichon urbica meridionalis*) nestlings in northeastern Algeria. African Entomology Vol. 23, No. 2.
- ✚ Roux, (2003). TP de microbiologie : Analyses de l'eau. IUP SIAL, Université Paris. p12.

S

- ✚ Sadek S., Elkharrim K., Khadmaoui A., Guissouss M., Benelharkati F., Elmarkhi M. & Belghyt D., 2012. Caractérisation Physico-chimique des eaux usées de l'hôpital provincial de Sidi Kacem (Maroc). *Science Lib Editions Mersenne*, 4, pp 2111-4706.
- ✚ Souiki L., 2008. Caractérisation biochimiques et microbiologiques des eaux usées de la ville de Biskra et purification par le procédé biologique phragmifiltre. Mémoire de Doctorat, Université d'Annaba, 105p.
- ✚ STEP de Guelma, 2008 « NOTICE D'EXPLOITATION ».
- ✚ Stoimenov K., Marchin G.L. & Klabunde P. K., 2000. Metaloxide nanoparticles as bactericidal agents. *Langmuir*, 18, pp 6679-6686.
- ✚ Symposium frontiere de la gestion de l'eau urbaine, 18-20 juin 2001, Marseille, France.

V

- ✚ Vandermeersch S, 2006. Etude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogènes. Travail de Fin d'Etudes, Université Libre de Bruxelles, 81p.

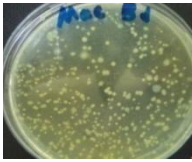
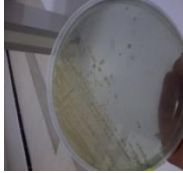




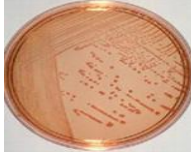





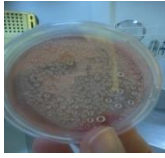
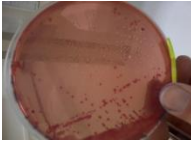
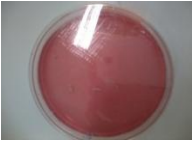


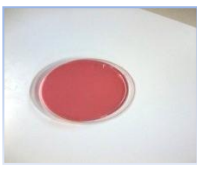


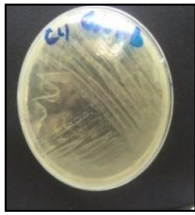




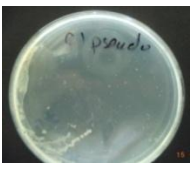
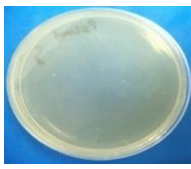



W

- ✚ WHO, who guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume I: Policy and Regulatory Aspects, ed. WHO, Paris (France), 2006, 100 p.

Z

- ✚ Zhang L., Yu J.C., Yip H. & Li Q., 2003. Ambient light reduction strategy to synthesize silver nanoparticles and silver-coated TiO₂ with enhanced photocatalytic and bacterial activity. *Langmuir*, 19, pp 10372-10380.
- ✚ Zouar Mohamed 2013. Invest in Algeria, 19.

Tableau 01: Résultats des analyses bactériologiques de l'eau usée avant et après traitement par les différents procédés de traitement utilisés (prise par BOUREGAA et BOUCHELEGHEM, 2015).

Milieu	Avent	Aprés	Ag	Fe ₂ O ₃	LE
Mac Conky					
Hektoen					
SS					
Chapman					
GNAB					
Cétrimide					



A

B

Photo 1 : Traitement d'eau usée par les lentilles d'eau avert (A) et après(B) (prise par BOUREGGA, 2015)



Photo 2 : Prélèvement à l'aide d'un agent au STEP (Sortie de STEP) (prise par BOUCHELEGHEM,2015)

Tableau 02 : Les différents procédés de traitement au niveau de la station d'épuration
(STEP de Guelma, 2008)



Bassins de dessablage, déshuilage et dégraissage



Décanteur primaire



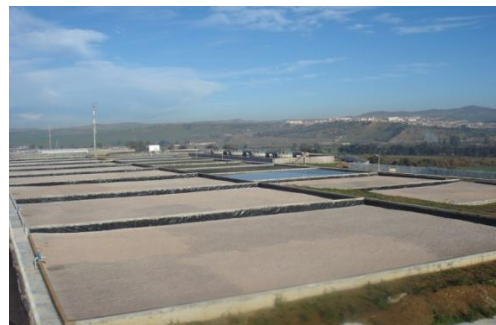
Bassin de traitement biologique



Bassin de clarification



Bassin de désinfection



Lits de séchages

Tableau 03 : Normes physico-chimiques de rejets de l'OMS (1989).

Paramètres	Normes
T°	30 °C
pH	6.5-8.5
O ₂	5mg/l
DBO ₅	30mg/l
DCO	90mg/l
MES	30mg/l

Tableau 04: Normes de rejet des eaux résiduaires traitées d'après le Journal Officiel de la République Algérienne (Avril 2006)

Paramètres Unités	Valeurs Maximales
Température	30°C
PH	6,5 à 8,5
DCO	120 Mg/l
Matière en Suspension	35 Mg/l
DBO₅	35 Mg/l

Tableau 05: Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées traités par la STEP

Paramètres Date de prélèvement	T°C	pH	CE (μS/cm)	O₂ (mg/l)	MES (mg/l)	DCO (mgO₂/l)	DBO₅ (mgO₂/l)	Rapport DCO/ DBO₅	Rh (mv)	Turbidité (NTU)
08/03/2015	12,8	7,87	1310	5,1	02	46	16	2,88	300	4,77
30/03/2015	15,8	7,28	1070	6,64	12	66,64	15	4,44	154	5,17
18/04/2014	20,8	7,93	1250	6,46	17	47	11,7	4,02	240	6,43
Moyenne	16,76	7,56	1150	6,07	10,33	53,25	14,23	3,78	203,33	5,46

Tableau 06: Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées traité par l'Fe₂O₃

Paramètres Date de prélèvement	T°C	pH	CE (μs/cm)	O₂ (mg/l)	MES (mg/l)	DCO (mgO₂/l)	DBO₅ (mgO₂/l)	Rapport DCO/ DBO₅	Rh (mv)	Turbidité (NTU)
08/03/2015	10,1	7,90	1421	6,81	04	43,07	14	3,07	303	11,09
30/03/2015	11,7	7,6	1140	7,6	09	70,21	18	3,90	205	13,1
18/04/2014	15	7,89	1546	7,35	14	68	10	6,8	343	14,6
Moyenne	12,26	7,79	1369	7,25	09	60,42	14	4,59	283,33	12,93

Tableau 07: Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées traité par l'Ag

Paramètres Date de prélèvement	T°C	pH	CE (µs/cm)	O₂ (mg/l)	MES (mg/l)	DCO (mgO₂/l)	DBO₅ (mgO₂/l)	Rapport DCO/ DBO₅	Rh (mv)	Turbidité (NTU)
08/03/2015	12,9	7,88	1500	7,77	02	18,31	6	3,05	310	2,52
30/03/2015	10,9	7,72	1180	8,38	08	30,64	6	5,10	4020	3,38
18/04/2014	15,5	7,95	1551	7,92	13	32	7	4,57	332	4,71
Moyenne	13,06	7,85	1419,33	8,02	7,66	26,98	6,33	4,24	354	3,70

Tableau 08: Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées traité par (les lentilles d'eaux)

Paramètres Date de prélèvement	T°C	pH	CE (µs/cm)	O₂ (mg/l)	MES (mg/l)	DCO (mgO₂/l)	DBO₅ (mgO₂/l)	Rapport DCO/ DBO₅	Rh (mv)	Turbidité (NTU)
08/03/2015	15,9	7,79	1375	7,34	19	28,5	4,69	6,08	269,5	34,2
30/03/2015	11,9	7,75	1150	7,58	28	28	4,47	6,26	216	33,6
18/04/2014	19,9	8	1600	7,1	10	29	4,92	5,9	323	34,8
Moyenne	15,9	7,79	1375	7,34	19	28,5	4,69	6,08	269,5	34,2

Tableau 09 : Résultat d'analyse bactériologique de l'eau usée traité par la STEP

Date de prélèvement	Flore mésophile aérobie total (UFC/ml)	Coliformes (germe / 100ml)		Streptocoques Fécaux (germe / 100ml)	Clostridium sulfite réducteur (germe /20ml)
		Totaux	Fécaux		
08/03/2015	8.10^3	30.10^3	$0,6.10^3$	$1,2.10^3$	94
30/03/2015	$9,3.10^3$	25.10^3	$0,4.10^3$	2.10^3	Indénombrable
18/04/2015	$1,5.10^4$	35.10^3	$0,5.10^3$	$2,5.10^3$	Indénombrable
Moyenne	$6,27 .10^3$	$5,2.10^2$	$0 ,5.10^2$	$1,7.10^2$	Indénombrable

Tableau 10 : Résultat de recherche des germes pathogènes d'eau usée traité par la STEP

Date de prélèvement	Germes pathogènes				
	Staphylocoque	Salmonelle	Vibrion cholérique	Shigelles	Pseudomonas
08/03/2015	Présence	Absence	Absence	Absence	Absence
30/03/2015	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
18/04/2015	Présence	Absence	Absence	Absence	Absence

Tableau 11 : Résultat d'analyse bactériologique de l'eau usée traité par l'oxyde de fer

Date de prélèvement	Flore mésophile aérobie total (UFC/ml)	Coliformes (germe / 100ml)		Streptocoques Fécaux (germe / 100ml)	Clostridium sulfite réducteur (germe /20ml)
		Totaux	Fécaux		
08/03/2015	12	2	0,8	8,5	0
30/03/2015	10	1,4	0,9	9,5	0
18/04/2015	15	2	1,1	12	0
Moyenne	14	1,8	0,9	10	0

Tableau 12 : Résultat de recherche des germes pathogènes de l'eau usée traité par l'oxyde de fer

	Germes pathogènes				
Date de prélèvement					
	Staphylocoque	Salmonelle	Vibrien cholérique	Shigelles	Pseudomonas
08/03/2015	Présence	Absence	Absence	Absence	Absence
30/03/2015	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
18/04/2015	Présence	Absence	Absence	Absence	Absence

Tableau 13 : Résultat d'analyse bactériologique de l'eau usée traité par l'Argent

Date de prélèvement	Flore mésophile aérobie total (UFC/ml)	Coliformes (germe / 100ml)		Streptocoques Fécaux (germe / 100ml)	Clostridium sulfito réducteur (germe /20ml)
		Totaux	Fécaux		
08/03/2015	0	0	0	0	0
30/03/2015	0	0	0	0	0
18/04/2015	0	0	0	0	0
Moyenne	0	0	0	0	0

Tableau 14 : Résultat de recherche des germes pathogènes de l'eau usée traité par l'Argent

	Germes pathogènes				
Date de prélèvement					
	Staphylocoque	Salmonelle	Vibrion cholérique	Shigelles	Pseudomonas
08/03/2015	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
30/03/2015	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
18/04/2015	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence

Tableau 15 : Résultat d'analyse bactériologique de l'eau usée traité par les lentilles d'eaux

Date de prélèvement	Flore mésophile aérobie total (UFC/ml)	Coliformes (germe / 100ml)		Streptocoques Fécaux (germe / 100ml)	Clostridium sulfite réducteur (germe /20ml)
		Totaux	Fécaux		
08/03/2015	3.10 ²	3,4.10	1,3.10	10	0
30/03/2015	4,5.10 ²	2.10	0,4.10	10	0
18/04/2015	2.10 ²	1,7.10 ²	0,9.10	10	0
Moyenne	3,3.10 ²	18,5	6,5	10	0

Tableau 16 : Résultat de recherche des germes pathogènes de l'eau usée traité par les lentilles d'eaux

	Germes pathogènes				
Date de prélèvement					
	Staphylocoque	Salmonelle	Vibrion cholérique	Shigelles	Pseudomonas
08/03/2015	Présence	Absence	Absence	Absence	Absence
30/03/2015	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
18/04/2015	Présence	Absence	Absence	Absence	Absence

Remerciement

Remerciant tout d'abord le bon dieu le tout compatissant, le tout miséricordieux de nous avoir donné la force pour réaliser ce travail.

Nous remercions d'une façon toute particulière notre encadreur M^{me}. GRARA Nedjoud d'avoir accepté de m'encadrer sur le thème, de m'avoir conseillé judicieusement, orienté, encouragé et de m'apporter une attention tout au long de ce travail.

Nous remercierons également les membres de jury tout d'abord M^{me} ZIDI et M^{me} KHELLEF qui nous ont fait l'honneur de juger notre travail.

Nous tenons tout particulièrement à remercier vive M^{me} BOUCHELAGHEM Sabrina qui nous a accompagnés dans ce parcours de formation.

Nous voulons exprimer nos remerciements et notre gratitude à toutes les personnes de la direction de santé de la wilaya de Guelma en particulier Mr. DJIRADI ABD AL RAHMANE.

Nous remercions chaleureusement le directeur de l'O.N.A. Guelma : Mr. BOUDJEHEM et Mr. BOUDJEHEM Professeur de chimie université de Guelma,

Un remerciement particulier à nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Ainsi, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches amis, qui nous ont apporté leur support moral et intellectuel tout au long de notre démarche.

A la fin une pensée particulière est adressée à l'ensemble des enseignants du BIOLOGIE, qui nous ont procuré une formation honorable.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail, avant tout à qui m'encourage à continuer mon chemin et qu'il était toujours patient avec moi, à qui m'aide moralement et sacrifier sa vie pour ma satisfaction.

À mes parents

À celles qui me donnent la vie, qui m'entourent toujours de tendresse et d'amour

J'espère que Dieu vos garde et bénisse mes chers parents.

À mes Frères et mes sœurs

À mes amis :

Soumia, Samira, Loubna, Soumia, Nouara, Ibtissém, Zahra et Hadjer.

Et à toute ma famille spécialement à ma grande mère.

À tout ceux qui j'aime et je récent verseaux l'amour propre, de respect et de l'estimation profonde et mes collègues de la promotion 2015 surtout le groupe de S.E.E.

Et particulièrement à ma copine «Marwa ».

BOUCHELEGHEM Amia.

Dédicaces

Je souhaite dédier ce modeste travail synonyme de concrétisation de tous mes efforts fournis ces dernières années :

Surtout à ma chère mère Habiba, qui a toujours été présente à mes côtés et qui m'a tout donné et appris et pour l'âme de mon cher décédé père Nouredine.

A mon cher frère Mohamed

A ma cher sœur Meriem

A chaque membre de ma famille qu'ils trouvent ici l'expression de mes remerciements.

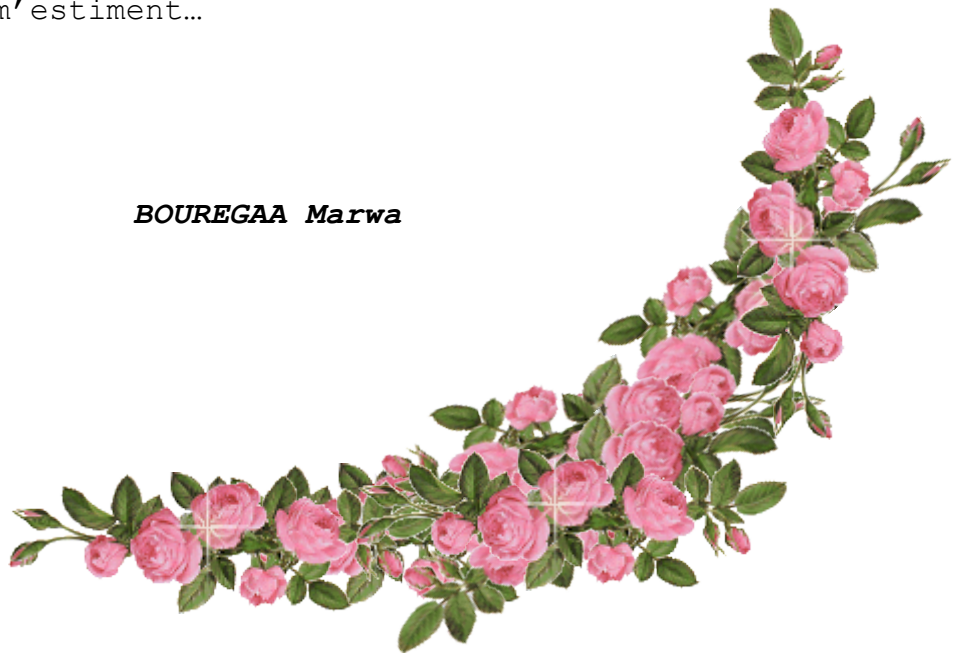
A mes fidèles amies Nadia, Fayrouse , Widade.

A mon amie et mon binôme Amira

A tous mes camarades de promotion.

Aux gens qui m'aiment et m'estiment...

BOUREGAA Marwa



Résumé

Dans cette étude nous nous sommes intéressées à la caractérisation physicochimique et bactériologique des eaux usées de la station d'épuration de la ville de Guelma avant après traitement par la STEP, l'Ag, le Fe₂O₃ et les Lentilles d'eaux. La caractérisation physicochimique des eaux usées brutes a montré qu'elles constituent des mélanges complexes très chargées en matières organiques avec des valeurs moyennes de MES : 244mg/l, en DBO₅ : 186,33 mg d'O₂/l et en DCO : 295,2 mg d'O₂/l, le rapport (DCO /DBO₅=1,58) souligne bien le caractère biodégradable des eaux usées de l'entrée de la STEP de Guelma. Cependant, la caractérisation bactériologique des eaux usées a montré une richesse des eaux, en bactérie indicatrice de contamination fécale et en germes pathogènes avec des valeurs moyennes 3,9.10⁵FMAT/ml, 173.10³CT/100 ml, 1,6.10³CF/100 ml, 3,5.10³SF/100 ml, nombre indéterminé des spores de *Clostridium sulfito-réducteurs* et présence des Staphylocoques (*S. epidermidis*). Le rapport (CF/SF= 0,46) souligne que l'origine de contamination de ces eaux usées est d'origine animale. Les traitements des eaux usées ont permis un abattement des indicateurs physico-chimiques de la pollution de l'ordre de : 95,77%MES, 92,36%DBO₅, 81,96%DCO respectivement de l'eau brute traitée par la STEP, de l'ordre de : 92,21%MES, 97,48%DBO₅, 90,35%DCO de l'eau traitée par les lentilles d'eaux, de l'ordre de : 96,31%MES, 92,49%DBO₅, 79,53%DCO respectivement de l'eau brute traitée par le Fe₂O₃ et de l'ordre de : 96,86%MES, 96,60%DBO₅, 90,35%DCO de l'eau traitée par l'Ag. Concernant les indicateurs bactériologiques de la pollution, les traitements utilisés dans notre étude ont permis une réduction de l'ordre de 100% de CT, 100% des CF et 100% des CSR dans l'eau brute traitée par Ag, de l'ordre de 99,99% de CT, 99,94% des CF, 99,71% des SF et 100% des CSR dans l'eau brute traitée par Fe₂O₃, de l'ordre de 99,70% de CT, 96,88% des CF, 95,14% des SF et 100% des CSR dans l'eau brute traitée par la STEP et de l'ordre de 99,98% de CT, 99,59% des CF, 99,71% des SF et 100% des CSR dans l'eau brute traitée par les lentilles d'eaux. Concernant la recherche des germes pathogènes dans l'eau brute traitée par les différentes procédées, nous constatons une absence des Salmonelles, des Shigelles, de *Vibron cholérique* et de *Pseudomonas* avec présence (*Staphylococcus epidermidis*) après traitement des eaux usées par les lentilles d'eaux et par la STEP avec une absence totale de tous ces germes après traitement catalytique par l'oxyde de fer et l'argent.

Mots clés : Traitement biologique, traitements catalytique, les lentilles d'eaux, STEP, Fe₂O₃, Ag, indicateurs physico-chimiques, indicateurs bactériologiques.

Abstract

In this study we are interested in the physico-chemical and bacteriological characterization of wastewaters in the purification station of Guelma before and after treatment using STEP, Ag, Fe₂O₃ and water lenses. The physico-chemical characterization of wastewater proves to be constituted of complex mixtures loaded with organic substance with average COD values (Mean = 295,2 mgO₂/l), BOD₅ (Mean= 186,33 mgO₂/l) and MES (Mean = 244mgO₂/l), the ratio(COD/BOD₅ =1,58) underscores the biodegradable nature of the waters of the STEP of the Guelma.

However, the bacteriological characterization of wastewater denotes a big richness of water, faecal indicator bacteria and pathogenic germs with average values 3,9.10⁵ MTAF/ml, 173.10³ CT/100 ml, 1,6.10³ CF/100ml, 3,5.10³ SF/100ml and indefinite number of ASR and staph germs. The ratio (CF :SF=0,46) states that the main reason of contamination is highly animal.

Wastewater treatment allows deterioration of physico-chemical indicator of pollution as follows 95,77% MES, 92,36%BOD₅,81,96%COD respectively of brute water treated by the STEP as follows 92,21% MES, 97,48%BOD₅, 90,35%COD of water treated by water lenses, as follows 96,31% MES, 92,49%BOD₅,79,35%COD respectively of brute water treated by Fe₂O₃ and following the order 96,86% MES, 96,60%BOD₅,90,35%COD of treated water by Ag.

Concerning the bacteriological pollution indicators, the treatments used in our study sets a reduction in the order from 100% of CT,100% of CF and 100% of CSR in the brute water treated by Fe₂O₃, in the order of 99,70% of CT ,96,88% of CF, 95,14% of SF and 100% of CSR in the brute water treated by water lenses. The research for pathogenic germs in brute water treated by different proceedings, we state an absence of salmonella, of shigella, of vibrio cholerae and pseudomonas with a staphylococcus epidermidis, presence after treatment of wastewater by water lenses and the STEP with a total absence of all germs after catalytic treatment by iron oxide and silver.

Key words: Biological treatment ,catalytic treatment water lenses, STEP, Ag, Fe₂O₃ , Physico-chemical indicators, bacteriological indicators.

ملخص

في هذه الدراسة وضعنا اهتمامنا على الخصائص الفيزيو-كيميائية والبكتريولوجية لنوعية المياه الصرفة الصحي في محطة تنقية (قالمة) قبل و بعد العلاج باستخدام محطة تنقية المياه، الفضة، اكسيد الحديد والعدسات المياه .

أظهرت نتائج التحاليل الفيزيو-كيميائية لمياه الصرف التي تتكون من خليط معقد محمل بالمواد العضوية أن القيم المتوسطة لكل من $DCO=295,2$ ملغ/لتر، $DBO_5=186,33$ ملغ/لتر، $MES=244$ ملغ/لتر ونسبة $DCO/DBO_5=1,58$ تؤكد على الطبيعة اقلية للتلوث من مياه STEP في قالمة.

ومع ذلك، فإن التحليل البكتريولوجي لمياه الصرف الصحي يدل على انها غنية بالجراثيم ، والبكتيريا البرازية مؤشر المسببة مع المتوسط $FMAT=3,9.10^5$ مل، $CT=173.10^3$ مل، $CF=1,6.10^3$ مل، $SF=3,5.10^3$ مل و عدد غير معروف من جراثيم من كلوستريديوم سلفيت الحد من وجود المكورات العنقودية، ونسبة $(CF / SF = 0.46)$ يشير إلى أن مصدر التلوث من مياه الصرف الصحي هو من أصل حيواني.

وقد سمح للعلاجات المياه العادمة انخفاض في المؤشرات الفيزيو-كيميائية حيث نسبة: $MES=95.77\%$ ، $DBO_5=92$ و $DCO=81.96\%$ من قبل محطات معالجة مياه الصرف الصحي و $MES=92.21\%$ ، $DBO_5=97.48\%$ ، $DCO=90.35\%$ بواسطة العدسات المياه ، $MES=96.31\%$ ، $DBO_5=92.49\%$ ، $DCO=79.53\%$ في ما يخص معالجته بواسطة اكسيد الحديد و $MES=96.86\%$ ، $DBO_5=96.60\%$ ، $DCO=90.35\%$ من المياه المعالجة بواسطة الفضة .

في ما يخص مؤشرات التلوث البكتريولوجي فقد نتج انخفاض بنسبة 100% كل من (SF,CT,CF,ASR) للمياه المعالجة بالفضة، بالنسبة لأكسيد الحديد $CT=99,99\%$ ، $CF=99,94\%$ ، $SF=99,71\%$ و $ASR=100\%$ ، و حوالي 99.70% من CT ، 96.88% من CF ، 95.14% من SF و 100% من ASR في المياه الخام التي تتم معالجتها بواسطة محطة تنقية المياه و حوالي 99.98% من CT ، 99.59% من CF و $99,71\%$ من SF و 100% من ASR في المياه الخام التي تتم معالجتها بواسطة عدسات المياه، لبحث عن مسببات الأمراض في المياه الخام يعامل من قبل معالجات مختلفة، نجد غياب السالمونيلا والشيجلا من لزمة الكوليرا والزائفة مع وجود (المكورات العنقودية البشرية) بعد العلاج من مياه الصرف الصحي بواسطة العدسات و محطة تنقية المياه مع غياب كامل لجميع هذه الكائنات بعد العلاج الكتاليتيك مع أكسيد الحديد والفضة.

الكلمات الرئيسية: المعالجة الكتاليتيك، المعالجة البيولوجية، عدسات المياه، اكسيد الحديد، الفضة، محطة تنقية المياه، المؤشرات الفيزيو-كيميائية، المؤشرات البيولوجية.

Liste des figures

N° de figure	Le titre	N° de page
01	La localisation géographique de la wilaya de Guelma.	04
02	Situation géographique bassin-versant de la Seybouse (Algérie).	05
03	Image satellitaire représentant la localisation de la station d'épuration de Guelma.	06
04	Configuration de la STEP de Guelma	13
05	Recherche et dénombrement des microorganismes revivifiables à 37°C dans l'eau.	21
06	Recherche et dénombrement des coliformes totaux, fécaux (<i>E.coli</i>) dans l'eau.	25
07	Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux dans l'eau.	27
08	Recherche et dénombrement des spores des bactéries anaérobies sulfito-réducteurs.	29
09	Recherche des <i>Salmonelles</i> .	31
10	Recherche des Staphylocoques, <i>Shigella</i> et <i>Pseudomonas</i> .	35
11	Recherche et identification de <i>Vibrio</i> dans les eaux.	37
12	Evolution de la température de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.	42
13	Evolution du PH de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.	42
14	Evolution de la CE de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.	42
15	Evolution d'O ₂ de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.	42
16	Evolution du Rh de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.	42

17	Evaluation de la turbidité de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.	42
18	Evaluation de la DCO de l'eau traité par les différents procédés étudiés.	44
19	Evaluation de la DBO ₅ de l'eau traité par les différents procédés étudiés.	44
20	Evaluation des MES de l'eau brute traité par les différents procédés étudiés.	44
21	Evaluation des flores mésophile aérobie total dans l'eau brute traitée par les différents procédés étudiés.	49
22	Evaluation des coliformes totaux dans l'eau brute traitée par les différents procédés étudiés.	49
23	Evaluation des coliformes fécaux dans l'eau brute traitée par les différents procédés étudiés.	49
24	Evaluation des streptocoques fécaux dans l'eau brute traitée par les différents procédés étudiés.	49

Liste des tableaux

N° de figure	Le titre	N° de page
01	Température moyenne de 10 ans (2004 – 2014)	09
02	Précipitations moyennes mensuelles de 10 ans (2004 – 2014)	09
03	L'humidité relative moyenne mensuelle 10 ans (2004 – 2014)	09
04	Nature et période de prélèvement.	15
05	Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées de la ville de Guelma.	40
06	Résultat d'analyse bactériologique de l'eau brute (Entrée de STEP).	46
07	Résultat de recherche des germes pathogènes de l'eau brute (Entrée de STEP).	46

Liste des photos

N° de figure	Le titre	N° de page
01	Les nanoparticules à tester l'argent (Ag) et l'oxyde de fer (Fe ₂ O ₃).	11
02	Des colonies de <i>Lemna gibba</i> dans lac Tonga.	12

Liste des abréviations

- : Caractère négatif

+ : Caractère positif

± : plus ou moins

/ : Par

[] : Concentration

% : Pourcent

° : Degré

°C : Degré Celsius

µm : Micromètre

µs/cm: micro simens par centimètre.

Ag SO₄: Sulfate d' Argent

Ag: Argent

ASR: Anaérobies sulfito-réducteurs

BCPL: Bouillon lactose au pourpre de bromocrésol

BGN : Bacille Gram négative

CE : Conductivité électrique

CF: Coliforme fécaux

CT: Coliformes totaux

DBO₅ : Demande biochimique en oxygène

DCO : Demande chimique en oxygène

E : Est

E. coli :*Escherichia coli*

EB : Eau brute

EPA : Eau Peptonée Alcaline

FAO :

FeS : Sulfate de fer

FMAT : Flore mésophile aérobie totale

g : gramme

GNAB : Gélose Nutritive Alcaline de Billé

H : Humidité

h: heure

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

J.O.R.A : Journal Officiel de la République Algérienne

K₂CrO₇: Dichromate de potassium

Km: kilomètre

Km²: kilomètre carré

LE : lentilles d'eaux

M³ : Mètre cube

Max: maximum

mg/l : Milligramme par litre

Min: minimum

ml : Millilitre

mM : milli-molaire

mn : Minute

Moy: moyenne

mV : milliVolt

N : Nord

NaCl :Chlorure de Sodium

NaOH :Hydroxyle de sodium

NPP : Nombre le plus probable

Nps: Nanoparticules

NTU:Nephelometric Turbidity Unit

O₂: Dioxygène

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONA : Organisation Nationale d'Assainissement

P : prélèvement

PH : Potentiel d'Hydrogène

RM: Rouge de Méthyle

S/C: Simple concentration

S: Station

SF : Streptocoque fécaux

SFB : Bouillon Sélénite Cystéine

SS : *Salmonella-Shigella*

STEP : Station d'épuration. des eau usées

t : temps

T° : température

TDA: Tryptophane Décarboxylase

TGEA : Tryptone – Glucose – Extrait de levure – Agar

TiO₂ : Dioxyde de titane

TSI : Triple SugarIron

UFC: Unité formant colonie

UV : Ultra Violet

VF : Viande Foi

Table de matière

Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des photos	
Liste des abréviations	
Introduction générale	01
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude	
1. Situation géographique.....	04
2. Le bassin versant de la Seybouse	05
2.1. Dangers menaçant le cours de la Seybouse.....	06
3. Présentation et localisation du site de prélèvement (la STEP de Guelma).....	06
3. 1. Origine et nature des eaux à traiter.....	07
3. 2. Les différents procédés de traitement.....	07
4. Climatologie.....	08
4. 1. Température.....	08
4. 3. Précipitation.....	09
4. 3. L'humidité relative de l'air.....	09
Chapitre II : Matériel et méthodes	
1. Matériel.....	11
1.1. Matériel chimique	11
1.2. Matériel végétal.....	11
1.2.1. Classification de la plante.....	12
1.2.2. Description de <i>Lemna gibba</i>	12
2. Méthode de prélèvement et de transports des échantillons	13
2.1. Site de prélèvement	13
2.2. Mode de prélèvement	13
2.3. Transport et conservation des échantillons	15
2.4. Méthodes d'analyses	16
2.4.1. Méthodes d'analyses physico-chimiques.....	16

2.4.1.1. Mesures <i>in situ</i>	16
2.4.1.2. Méthodes spectrométriques	17
A. Turbidité	17
2.4.1.3. Méthodes volumétriques	17
a. Détermination des matières en suspension (MES)	17
b. La demande chimique en oxygène (DCO).....	18
c. La demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	18
2.4.2. Analyses bactériologiques	19
2.4.2.1. Recherche et dénombrement des germes revivifiables à 37°C.....	20
2.4.2.2. Recherche et dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale.....	22
2.4.2.3. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes fécaux.....	22
2.4.2.4. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux.....	25
2.4.2.5. Recherche et dénombrement des spores des anaérobies sulfito-réducteurs.....	28
2.4.2.6. Recherche des germes pathogènes.....	29
A. Recherche des Salmonelles.....	30
B. Recherches des Sighelles.....	31
C. Recherche des Staphylocoques.....	32
D. Recherche des Pseudomonas.....	33
E. Recherche de <i>Vibrio</i>	35

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Résultats.....	38
1.1. Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau usée brute (Entrée STEP).....	38
1.2. Résultats des analyses physico-chimiques d'eau brute traitée par les différents procédés (STEP, Ag, Fe ₂ O ₃ , LE).....	41
2. Résultats des analyses bactériologiques.....	45
2.1. Résultats des analyses bactériologiques de l'eau usée brute Entrée STEP.....	45
2-2 Résultats des analyses bactériologiques de l'eau brute après traitement par les différents procédées.....	47
3. Discussion.....	50
Conclusion et perspective.....	59
Références bibliographiques.....	61

Annexe

Introduction
générale

Introduction Générale

Au cours des dernières décennies, la pollution de l'environnement compte parmi les problèmes les plus importants qui préoccupent tous les pays ou l'industrie connaît un développement plus ou moins élevé et qui présente un fléau qui menace la vie sur terre c'est l'une des plus importantes manifestations de la dégradation de l'environnement. L'explosion de la croissance démographique au cours du dernier siècle corrélée aux progrès de la civilisation technologique et de la production industrielle a entraîné inexorablement un accroissement massif du rejet de déchets (Ramade, 2007;Souiki, 2008).

Devant cette charge polluante élevée de ces industries et des rejets, le traitement de ces effluents et la réduction de la pollution à la source sont devenus une nécessité absolue. Cependant, actuellement, il n'existe pas des méthodes universelles convenables pour le traitement des effluents colorés, probablement à cause de la complexité et la variété des structures chimiques des composés qu'ils contiennent (Peralta et *al.*, 1998).

Cependant l'Algérie a connu ces dernières décennies une forte croissance démographique, une urbanisation massive et un développement des activités industrielles qui ont généré une production importante d'eaux usées, surtout dans les centres urbains. Le volume des eaux usées évacuées à travers les réseaux d'assainissement est estimé à près de 660 millions de m³ par an, dont à peine 18% subissent un processus d'épuration partiel. Les eaux usées qui constituent une ressource potentielle non négligeable, sont totalement perdues chaque année et il n'y a pratiquement aucune stratégie pour les récupérer (Bouziani, 2000). Les capacités d'épuration des eaux usées restent très faibles. Le nombre de populations agglomérées raccordées à une station d'épuration n'est que de 8%. On note un déficit important en matière de réalisation d'infrastructures d'épuration (Bentir, 1996).

La région de Guelma, comme la plupart des villes algériennes endure des conséquences de la pollution hydrique. Elle est devenue après l'indépendance un pôle industriel ce qui a causé un exode rural important. De nouvelles constructions ont été créées en un temps très court et au mépris des règles élémentaires d'hygiène pour la population. Cet état de fait est à l'origine de l'apparition des maladies à transmission hydrique (mélange des eaux de consommation avec les eaux urbaines), dégradation de la qualité des eaux des nappes due aux rejets des eaux usées (aucune évacuation), dégradation de la qualité des eaux des Oueds (Djabri, 2001).

De nos jours, les eaux domestiques usées doivent être épurées avant d'être renvoyées vers les rivières ou la mer, où elles réintègrent le cycle de l'eau. A ce stade, ces eaux doivent répondre

à des normes de qualité fixées par les autorités responsables de la gestion des ressources en eau (Vandermeersch, 2006). L'épuration de l'eau usée et son utilisation en irrigation est une option attrayante, en particulier dans les zones arides et semi-arides, car elle représente une source d'eau d'engrais additionnels renouvelables et fiables. La gestion des eaux usées épurées en Algérie, accordant une place importante à l'approvisionnement de l'agriculture en eau d'irrigation (Hannachi et *al.*, 2014).

Pour cela, la wilaya de Guelma a mis en service une station d'épuration (STEP) au cours de l'année 2008 qui a pour objectif l'épuration de 43 388 m³/j d'eaux usées, d'où un appoint non négligeable pour permettre l'irrigation des terres agricoles à partir du bassin versant de l'Oued Seybouse et de la plaine de Bouchegouf (ONA, 2011). Les eaux usées urbaines sont épurées directement dans la station d'épuration avec une série de traitement primaires permettant d'éliminer les déchets, les sables, les graisses et les matières en suspension, puis un traitement biologique pour écarter le reste de la pollution (Payment, 1998).

Parmi les procédés développés pour la dégradation des polluants organiques des eaux usées et les effluents industriels, le procédé d'oxydation avancée (AOP), dans lequel un semi-conducteur absorbe la lumière et convertit l'énergie photonique en énergie chimique par un système redox (Dorion et *al.*, 1995).

Aujourd'hui les nanoparticules offrent la possibilité d'élimination efficace des polluants et des germes par ce processus, les nano poudres et les nano membranes sont utilisés pour la détection et l'élimination des substances chimique (par exemple : Cadmium, cuivre, plomb, mercure...etc), biologique, des nutriments, des algues (par exemple: les toxines de cyanobactéries), virus, des bactéries, des parasites et des antibiotiques...etc (Dhermendra et *al.*, 2008).

Les technologies extensives sont fondées sur le principe de la reconstitution d'écosystèmes artificiels des zones humides dont les macrophytes sont l'élément de base, d'où l'attention particulière qu'on doit accorder à l'évaluation de la tolérance et l'accumulation des polluants courants comme les métaux lourds par les macrophytes. Il s'agit d'un facteur déterminant pour le choix des espèces des macrophytes à utiliser dans les stations d'épuration, et cela en fonction de la nature des eaux usées, du type et de la quantité des métaux lourds (Ater et *al.*, 2006).

Les systèmes à lentilles d'eau constituent un bon modèle expérimental vu leur croissance rapide et la facilité de culture et de récolte. En effet, elles ont été très utilisées pour

l'évaluation de la toxicité des polluants. Ces systèmes sont exploités pour le traitement des eaux usées dans différentes régions du monde comme l'Asie, Israël et les Etats-Unis. Au Maroc, ce type de système a été essayé aussi bien à l'échelle expérimentale que pilote. Dans la région méditerranéenne, en général, et particulièrement au Maroc, les espèces de lentilles d'eau les plus communes sont: *Lemna minor* et *Lemna gibba* (Ater et al.,2006).

L'objectif de ce travail vise à étudier :

- La qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la STEP (Guelma) qui se verse dans l'Oued de Seybouse dont l'objectif de l'analyse physico-chimique est la détermination des paramètres de caractérisation des eaux qui constitue un bon moyen pour donner l'image de la qualité de ces eaux destinées à l'irrigation et le but de l'analyses bactériologiques est de rechercher les microorganismes qui sont susceptible d'être pathogènes (Salmonelles, Vibriion cholériques, Staphylocoques) et ceux qui sont indicateurs de contamination fécales (Coliformes et Streptocoques fécaux).
- Etudier les traitements des eaux de la STEP par la station d'épuration. Ensuite des essais de traitement au laboratoire des eaux brutes de la STEP par les nanoparticules d'oxyde de fer et d'argent (Fe_2O_3 , Ag) et enfin le traitement biologique en utilisant des macrophytes (les lentilles d'eaux *Lemna gibba*) à travers l'évaluation des paramètres physico-chimique et bactériologique des eaux brutes traitement par la STEP, les Nps et les lentilles d'eaux.

Les nanoparticules présentent spontanément sous forme d'une dispersion stable lorsqu'elles sont dans l'eau. Cette stabilité ne nécessite l'ajout d'aucun composant additionnel de type tensioactif ou polymère qui pourrait également interagir avec la cible biologique. En outre, elles sont de plus en plus largement utilisées dans de nombreux domaines (Ophélie, 2008).

Dans le présent travail, sera tout d'abord présentée une introduction générale, une présentation de la région d'étude pour donner un aperçu général comprenant une description du cadre physique avec les données climatiques. Après avoir présenté les objectifs et la démarche retenue pour l'étude, Matériel et Méthodes utilisées seront décrits. Les résultats obtenus seront ensuite détaillés et discutés et pour finir, une conclusion générale sera présentée.

Chapitre I

Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique :

La wilaya de Guelma se situe au Nord-Est de l'Algérie à 290 m d'altitude. Elle s'étend de 39° au 40° de latitude de Nord et du 5° au 6° de longitude Est. Elle occupe une position géographique stratégique, point de vue géographique, un point de rencontre, voire un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba et Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum El Bouaghi et Tébessa). Elle occupe une position médiane entre le Nord du pays, les Hauts plateaux et le Sud. La wilaya de Guelma s'étend sur une superficie de 3.686,84Km². La wilaya de Guelma est limitrophe aux Wilayas: Annaba, au Nord, El Taref, au Nord-est, Souk Ahras, à l'Est, Oum El-Bouaghi, au Sud Constantine, à l'Ouest, Skikda, au Nord-ouest (Zouar, 2013).

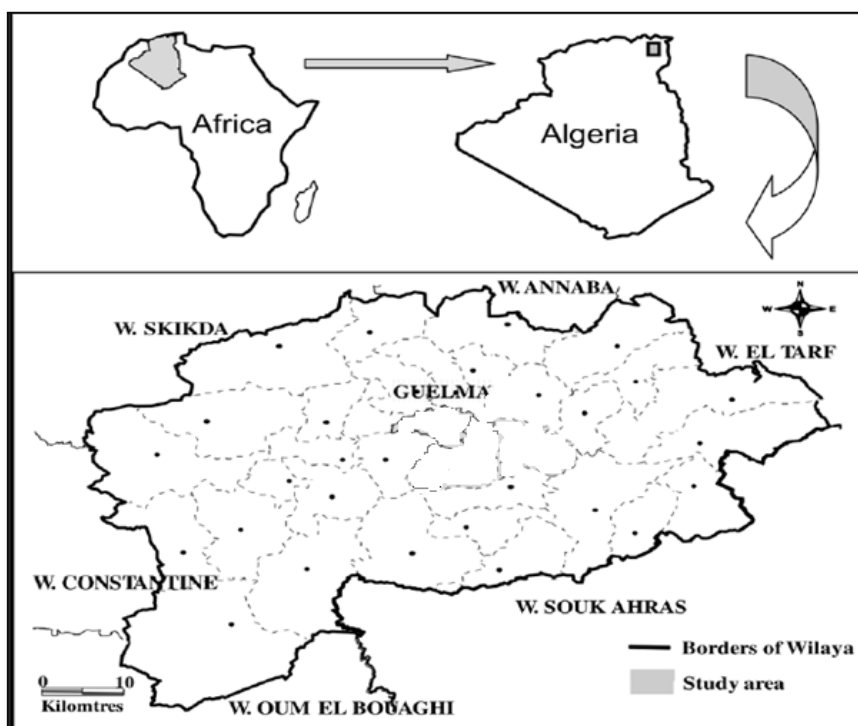


Figure 01: La localisation géographique de la wilaya de Guelma (Rouaiguia et *al.*, 2015).

La région d'étude fait partie du bassin versant de l'Oued Seybouse. Elle englobe 34 communes totalisant une population de 482 430 habitants (au dernier recensement de 2008). La densité moyenne de cette population est de 118 habitants/km², dont 26% sont concentrés au niveau du centre de la wilaya et plus de 55% vivent dans les zones rurales et éparses (ONS, 2011).

➤ **Principaux Oueds de la région** (Nouar, 2007) :

- Oued Seybouse: traverse la plaine de Guelma - Bouchegouf sur plus de 45km du Sud au Nord, son apport total est estimé à 408 millions m³/an.
- Oued Bouhamdane: prend sa source à l'Ouest, il est d'un apport de 96 millions m³/an.
- Oued Mellah: provenant du Sud-Est, il est d'un apport total de 151 millions m³/an.
- Oued Charef: prend sa source au sud, il est d'un apport total de 107 millions m³/an.

Le réseau hydrographique du bassin de Guelma possède un régime hydrologique de type pluvial fortement dominé par les précipitations sur l'ensemble de l'année.

2. Le bassin versant de la Seybouse

Le bassin de l'oued Seybouse est l'un des plus grands bassins hydrographiques en Algérie. Il est situé dans la région Nord est de l'Algérie et s'étend sur une superficie de 6471 km² avec une longueur de 240 km. Il couvre 68 communes dans sept wilayas : Guelma, Annaba, Souk Ahras, El Tarf, Oum El Bouaghi, Constantine et Skikda. Il prenant naissance à 20 Km de la ville de Guelma par la Jonction de l'Oued Cherf et Bouhemdane. Ces eaux représentent une source fondamentale de vie dans la région. Les eaux de la Seybouse sont utilisées à des fins domestiques, industrielles et agricoles (Khelifa et *al.*, 2011).

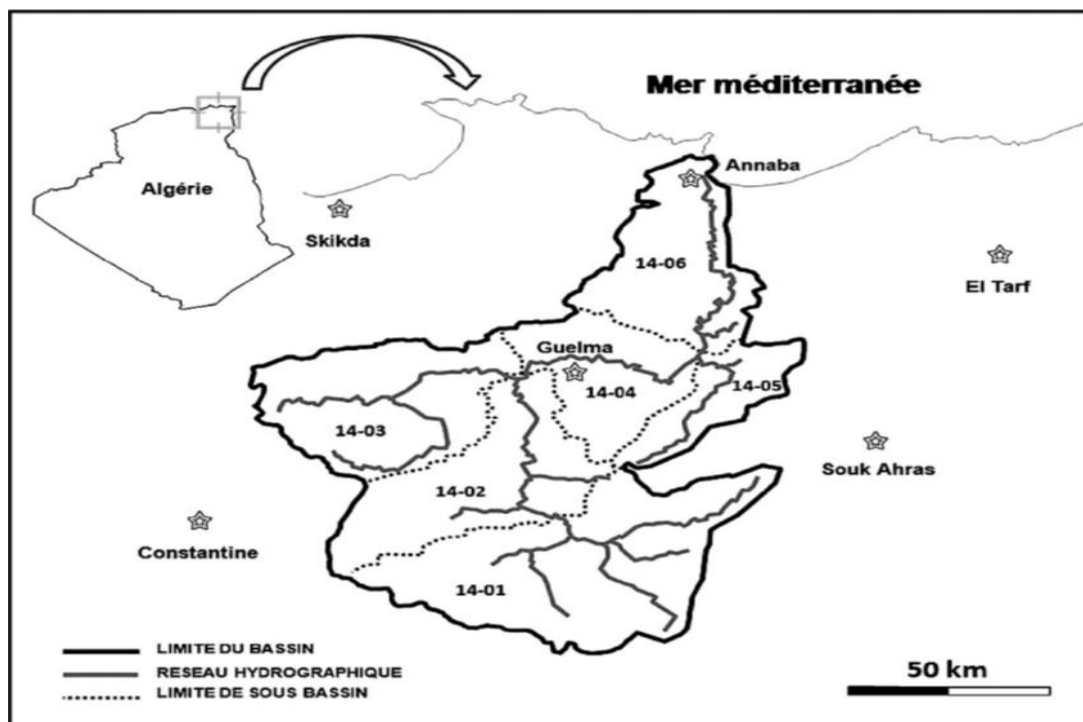


Figure 02. Situation géographique bassin-versant de la Seybouse (Algérie) (Khelifa et *al.*, 2011).

2.1. Dangers menaçant le cours de la Seybouse

Le bassin de la Seybouse est confronté à la pollution urbaine, industrielle et agricole. Cette pollution émane des différentes villes, usines et zones agricoles situés sur ses deux rives, 4,5 millions de m³ sont rejetés annuellement dans la rivière, sur lesquels 3 millions de m³ sont des huiles usagées. Le traitement de la Seybouse est un bel exemple de gestion intégrée, puisque il inclurait des volets de protection de ressources superficielles et souterraines, de rationalisation d'usage domestiques, agricoles et industrielles, mais aussi de lutter contre la pollution et de protection de l'environnement (Debieche et *al.*, 2002).

3. Présentation et localisation du site de prélèvement (la STEP de Guelma)

La station d'épuration de Guelma a été créée en 2008 et occupe un terrain agricole de 8ha. Elle se situe à 1 km environ au Nord de la ville sur le flanc droit de la vallée développée par l'Oued Seybouse et sur la route nationale N° 21 menant à Annaba à la sortie de l'agglomération (ONA, 2011). Les responsables de la station se fixent comme objectif l'épuration de 43 388 m³/j d'eaux usées de la ville de Guelma qui sont collectées par deux stations de relevage, l'une se trouvant au niveau de la cité Ghehdour : point de rejet de Oued Lemaïz avec un débit de 1575 m³ /h, et la seconde au niveau du point de rejet de Oued Skhoun (son débit est de 1125 m³/h) (Dadci, 2008).



Figure 03: Image satellitaire représentant la localisation de la station d'épuration de Guelma.

(Google Earth, 2013).

3.1. Origine et nature des eaux à traiter

La station d'épuration est alimentée par des effluents d'origine domestique.

➤ **Nature du réseau :**

Les eaux usées domestiques de la ville de Guelma sont collectées par un ensemble de réseaux d'assainissement. Les effluents bruts arrivent à la station d'épuration à partir de : - 2 stations de relevage SP1, SP2 par des conduites qui refoulent directement dans le regard d'arrivée (prétraitement).

➤ **Point de rejet (l'eau épurée) :**

Le rejet est exercé dans l'Oued Seybouse situé en contre bas de la station d'épuration à 331m de distance, les effluents sont acheminés jusqu'à l'Oued par canalisation des rejets (Karaali et *al.*, 2008). L'utilisation d'eaux usées en agriculture peut aider les communautés à produire davantage de cultures alimentaires et à tirer parti de ressources précieuses en eau et en nutriments. Cette utilisation doit cependant s'effectuer sans risque afin que ses bénéfices pour la santé publique et l'environnement soient les plus importants possibles. Cette utilisation est motivée principalement par la rareté grandissante des ressources en eau et les tensions de plus en plus fortes sur ces ressources, la dégradation des sources d'eau douce résultant de l'élimination incorrecte des eaux usées, et la croissance démographique et l'augmentation résultante de la demande en nourriture et en fibres (OMS, 2012).

3.2. 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, plastique,..). 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 (STEP de Guelma, 2008).

À 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 primaire permet 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 de Guelma, 2008).

Les effluents bruts arrivent à la station d'épuration par deux conduites pressions, refoulant directement dans le regard d'arrivée au prétraitement. Ces effluents passent par un dégrilleur automatique de maille 20 mm pour être débarrassés de toute matière grossière. Une grille manuelle permet de by passer le dégrilleur automatique en cas de besoin. Les refus de dégrillage sont repris par un convoyeur à vis pour être stockés dans une benne. Les effluents dégrillés sont alors traités sur deux dessableurs-dégraisseurs rectangulaires. Ces ouvrages permettent aux sables de décanter et aux graisses de flotter grâce à l'injection d'air par l'intermédiaire de turbine immergée (3 par ouvrage). Les sables sont repris par un supprimeur (1 par ouvrage) et envoyés sur un classificateur avant stockage. Les graisses sont stockées dans 1 fosse à graisse. Après le dessablage déshuilage les effluents sont envoyés vers les décanteurs primaires. Le traitement biologique comprend deux bassins d'aération, qui va permettre de traiter la pollution carbonée de l'effluent et deux clarificateurs dans lequel les boues vont décanter. Deux postes de recirculation assurent le maintien de la concentration en biomasse dans les bassins d'aération. Les effluents traités sont envoyés au rejet après avoir subi une étape de désinfection au chlore. Les boues en excès sont envoyées en filière de traitement des boues (ONA, 2011).

4. Climatologie

L'étude des données climatologiques est une opération indispensable dans toutes les approches, car elle facilite la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles. En revanche, pour étudier les mécanismes de la pollution des eaux, il est important d'étudier les données climatiques afin de pouvoir déterminer le bilan hydrologique, à savoir les précipitations, l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration. L'interprétation des données météorologiques de Guelma sur une période de dix ans, et l'établissement de son diagramme solaire s'avèrent utiles pour mieux caractériser son climat. Notre région (Guelma) est classée dans l'étage bioclimatique à végétation semi-aride à hiver frais. On peut distinguer deux périodes, la première froide et humide qui s'étale sur 8 mois, du mois d'octobre jusqu'au mois de mai. La seconde chaude et sèche qui s'étale sur 4 mois, du mois de juin jusqu'au mois de septembre (Bedouh, 2014).

4.1 Température

La température est l'un des facteurs les plus importants du climat. L'étude des températures moyennes mensuelles et annuelles est primordiale, car c'est elle qui nous permet d'évaluer l'interaction avec les autres facteurs météorologiques (insolation, humidité, évaporation, précipitation...) (Lahlah, 2010 ; Emsalem, 1986).

Tableau 01 : Température moyenne de 10 ans (2004 – 2014)

	Jan	fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
T (°C)	08	09	10	12	15	20	25	30	25	20	15	14

La température moyenne mensuelle la plus élevée a été observée pendant le mois de aout, avec T= 30°C. Par contre la température moyenne mensuelle la plus basse a été observée avec un minimum enregistré pendant le mois de janvier, T=08 °C.

4.2 Précipitations

La pluie est un facteur climatique essentiel conditionnant l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau. L'étude nécessite notamment une analyse minutieuse use des données pluviométriques. Cette analyse aboutit à l'évaluation et à la quantification de différentes franges d'eau de surface, souterraines et atmosphériques (Bedouh, 2014).

Tableau 02: Précipitations moyennes mensuelles de 10 ans (2004 – 2014)

	Jan	fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
P(mm)	77.71	78.35	78.55	54.94	49.93	20.87	4.68	8.11	40.63	45.54	58.01	78.84

Ce tableau montre que la saison hivernale est la plus pluvieuse avec une moyenne de 82.90 mm/mois. Tandis que l'été est sec avec une faible recharge de 1.0 mm/mois. Avec une précipitation moyenne annuelle qui est égale à 596,17 mm.

4.3 L'humidité relative de l'air

L'humidité de l'air joue un rôle important dans l'évaporation ; plus l'air est humide moins il apte à absorbé de l'humidité supplémentaire. L'humidité élevée atténuée la sécheresse conditionne favorablement le développement des plantes (Beltrando, 1995).

Tableau 03:L'humidité relative moyenne mensuelle 10 ans (2004 – 2014)

	Jan	fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
H%	77.85	75.43	75.13	73.01	68.85	60.22	56.03	57.90	67.11	69.90	73.05	77.02

Le tableau représente la variation de l'humidité relative de l'air mensuelle durant (2004-2014). Les valeurs montrent que l'humidité de l'air ne diminue pas au-dessous de 50%. Elle atteint son maximum le mois de Janvier avec (77.85 %) alors que le minimum est observé le mois de Juillet (56.03%).

Chapitre II

Matériel

et

Méthodes

II. Matériel et méthodes

Les analyses bactériologiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de microbiologie de l'université 8 Mai 1945 de Guelma. Alors que les analyses physico-chimiques ont été effectuées au niveau de la station d'épuration (STEP) de la wilaya de Guelma.

1. Matériel

L'ensemble des milieux, réactifs et appareillages sera cité au fur et à mesure de leurs utilisations.

1.1. Matériel chimique

Les matériaux chimiques utilisés dans cette étude pour le traitement des eaux usées domestiques de la ville de Guelma sont des nanoparticules l'oxyde de fer (Fe_2O_3) et l'argent en (Ag), ces molécules sont fournies par le laboratoire de Chimie de l'Université de Guelma.

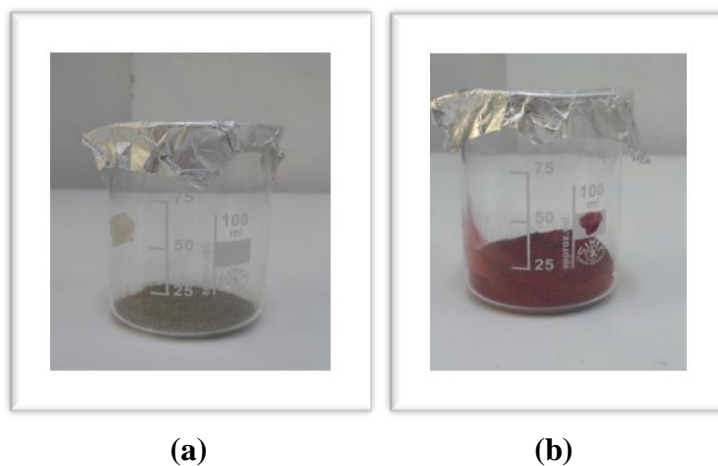


Photo 01 : Les nanoparticules à tester (a) l'argent (Ag) et (b) l'oxyde de fer (Fe_2O_3) (prise par BOUCHELEGHEM et BOUREGAA, 2015).

1.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est une plante aquatique *lemna gibba*, à été effectué notre échantillonnage a été effectué au lac Tonga (la wilaya d'El tarf). Le site a été choisi pour l'abondance de l'exploration d'espèce dans le lac.

1.2.1. Classification de la plante

Règne : Plantae

Famille : Lemnaceae

Genre : *Lemna*

Espèce : *Lemna gibba* (ISO, 2001)



Photo 02 : Des colonies de *Lemna gibba* dans lac Tonga
(Prise par BOUCHELEGHEM et BOUREGAA, 2015).

1.2.2. Description de *Lemna gibba*

Les lemnacées sont des macrophytes monocotylédones d'organisation simple, flottant généralement librement à la surface de l'eau.

Elles ont l'aspect de très petites lames vertes, ou frondes thalloïdes, munies ou non sur le dessous d'une ou plusieurs racines filiformes non ramifiées.

Elles présentent la particularité de pouvoir flotter sur l'eau grâce à la présence de lacunes aérifères. *Lemna gibba* se reconnaît à sa face inférieure plus ou moins fortement renflée. Chaque lame ne porte qu'une seule racine. Les fleurs vertes, minuscules, unisexuées, se forment sur le bord des lames foliacées (ISO, 2001).

Cette lentille d'eau est voisine de l'espèce commune *Limna minor* dont elle diffère par la taille (jusqu'à 8 mm) et la forme beaucoup plus ronde. La face ventrale présente, en outre, un aspect bosselé et spongieux, la face dorsale étant d'un vert plus foncé et brillant. Se rencontre rarement

dans la nature (Centre et Ouest de l'Europe) d'autant qu'elle passe parfois inaperçue mélangée à l'espèce commune, et encore plus rarement en aquarium.

Se plaît dans les eaux calmes eutrophisées, et forme des cordons en période de reproduction (ISO, 2001).

2. Méthode de prélèvement et de transport des échantillons

2.1. Site de prélèvement

Nos prélèvements ont été effectués au niveau de la station d'épuration des eaux usées de la région du Guelma qui sont déversés au niveau d'Oued Seybouse après un traitement préalable (Figure 04).

Les points de prélèvements comportent deux échantillons réalisés :

- ✓ Entrée principale STEP (eaux brutes).
- ✓ Sortie final (eaux épurées).



[1 : Prétraitement, 2 : Décanteur primaire, 3 : Bassin d'oxygénation, 4 : Clarificateur, 5: Épaisseur, 6: Bassin de désinfection, 7 : Lit de séchage, 8 : Boue secondaire].

Figure 04: Configuration de la STEP de Guelma (ONA, 2011).

2.2. Mode de prélèvement

En fonction de la nature des eaux analysées et de celle des microorganismes recherchés, les normes fixent des conditions à respecter. L'échantillon destiné à l'analyse est le plus souvent prélevé de façon à représenter le plus possible le milieu d'où il provient, la concentration étant supposée être la même dans le milieu d'origine et dans l'échantillon (Rodier, 1996).

Concernant les analyses bactériologiques et pour faciliter les prélèvements et éviter tout type de contamination, il est souhaitable d'utiliser des flacons en verre pyrex munis d'un large col et d'un bouchon à vis métallique d'une contenance égale à 250 ml (Rodier, 1996), et la même chose pour les différents échantillons d'eau à analyser (concernant les eaux traitées par les nanoparticules ou par les lentilles d'eaux).

Le prélèvement bactériologique de l'eau doit s'effectuer dans des conditions d'asepsie rigoureuse. La verrerie destinée aux prélèvements d'eau doit être munie d'un nettoyage avec un détergent puis rinçage avec l'eau propre (eau douce), et enfin stérilisé à la chaleur sèche (four Pasteur) à une température comprise entre 170 et 175 °C, pendant au moins 1h (Rodier, 2009).

Les flacons d'échantillonnage d'analyse bactériologique ne doivent être ouverts qu'au moment du prélèvement de l'échantillon. Une fois l'échantillon est prélevé, les flacons doivent être fermés hermétiquement jusqu'au moment de l'analyse (Rodier, 2009).

Rincés au moment de l'emploi avec l'eau à examiner et pour éviter les risques de contamination, les flacons sont ouverts sous l'eau, goulot dirigé à contre courant d'eau, ensuite sont fermés hermétiquement sous l'eau sans laisser des bulles d'air. Le flacon ne doit pas être rempli entièrement. En effet, laisser un petit volume d'air à la surface pour faciliter l'agitation de l'eau avant son analyse (Rodier, 1996).

Pour faciliter le travail et l'exploitation des résultats tout en évitant les erreurs, il est essentiel que les échantillons soient clairement étiquetés immédiatement avant les prélèvements et que les étiquettes soient lisibles et non détachables. Dans ces derniers, on doit noter avec précision : la date, l'heure, les conditions météorologiques, un numéro et toutes circonstances anormales (Rodier, 1996; Lightfoot., 2002). La nature et la période de prélèvement est présentée dans le tableau (04).

Tableau 04: Nature et période de prélèvement.

Station	Conditions météorologiques	Nature de prélèvement	Période de prélèvement		Heures	Type des analyses effectuées
S1 : Entré S2 : Sortis	Au mois de Mars : partiellement nuageux Au mois d'Avril : Beau temps, ensoleillé.	Les eaux usées domestiques de la ville de Guelma	P1	08/03/2015	09 :10	Mesures <i>in situ</i> Analyses physico-chimiques
			P2	30/03/2015	09 : 10	Analyses bactériologiques Traitement par nanoparticules
			P3	19/04/2015	09: 10	Traitement par les lentilles d'eaux L'eau après traitement de STEP

2.3 Transport et conservation des échantillons

Pour les analyses qui seront faites au laboratoire, il faut que les échantillons d'eau soient acheminés dans les meilleurs délais, surtout les demandes des analyses bactériologiques. Si la durée du transport dépasse 1 heure, et si la température extérieure est supérieure à 10 °C, les prélèvements seront transportés dans des glacières dont la température doit être comprise entre 1 à 4 °C (Rodier, 2009).

Les échantillons soigneusement étiquetés sont placés dans une glacière contenant des poches de glace et transportés ensuite au laboratoire.

2.4. Méthodes d'analyses

Nous nous sommes intéressés à la détermination de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux usées de la ville de Guelma avant et après traitement par la STEP.

Pour chaque prélèvement (avant traitement par la STEP), on a effectué des essais de traitement par :

- ✓ Les nanoparticules d'argent (Ag) et d'oxyde de fer (Fe_2O_3), nous avons retenu la concentration (2,5 mM) des nanoparticules (d'Ag et Fe_2O_3) et un milieu témoin pour chaque prélèvement (Benedetti et Ferrari, 2009).

Chaque flacon de 250 ml contenant la concentration de nanoparticule (2,5mM) est conservée pendant 24 heures puis soumet à une analyse physicochimique et bactériologique (Benedetti et Ferrari, 2009).

- ✓ Les macrophytes (*Lemna gibba*) :

Les plantes sont lavées plusieurs fois à l'eau distillée avant d'être séparées en 100 lentilles et mis en culture dans un bécher en verre contenant notre échantillon d'eau brute avec un volume de 100 ml. On a la laissé sur palliasse à l'air libre sous la lumière pendant une semaine pour exécuter l'épuration (Ater et al., 2006).

Après la période de traitement par les macrophytes, l'eau traitée soumet à une analyse physico-chimique et bactériologique (Radic et al., 2009).

2.4.1. Méthodes d'analyses physico-chimiques

2.4.1.1. Mesures *in situ*

Les mesures *in situ* sont des analyses réalisées sur place en plongeant directement le multi paramètre dans l'eau. La température, pH, conductivité électrique, O_2 dissous, salinité ont été mesurés à l'aide d'un multi paramètre de type WTW Multi (1970i).

Ces paramètres sont très variables aux conditions du milieu et ils permettent une première estimation de la qualité générale de l'eau.

En effet, ces paramètres sont très sensibles aux conditions du milieu et sont susceptibles de changer dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés sur site (Rodier, 2009).

2.4.1.2 Méthodes spectrométriques

A. Turbidité

❖ Principe

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence des particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, microorganismes). l'instrument utilisé pour faire les mesures de la turbidité est le néphélométrie (Rodier, 1996).

2.4.1.3. Méthodes volumétriques

a. Détermination des matières en suspension (MES)

❖ Principe

L'eau est filtrée et le poids des matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle (Rodier, 1996).

❖ Mode opératoire

- Mettre les membranes filtrantes dans une étuve à 105 °C pendant 20 minutes.
- Laisser refroidir dans le dessiccateur.
- Ensuite les peser soit (p1).
- Placer les membranes dans la rampe à filtration et faire passer 200 ml d'eau à analyser à travers.
- Rendre les membranes à l'étuve (105°C) afin de les sécher pendant 20 mn.
- Laisser les refroidir au dessiccateur puis les peser une 2^{ème} fois (p2).

❖ Lecture

Le résultat est exprimé par la formule suivante :

$$MES (mg/l) = (p_1 - p_2) \times 5 \times 1000$$

- **p1** : poids des membranes avant filtration.
- **p2** : poids des membranes après filtration.

b. La demande chimique en oxygène (DCO)

❖ **Principe**

La détermination de la demande chimique en oxygène comprend deux étapes : la première sert à l'oxydation chimique des matières organiques contenues dans l'eau par un excès de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$), et la deuxième au dosage de l'excès de dichromate de potassium par le sel de Mohr après refroidissement (Rejsek, 2002).

❖ **Mode opératoire**

Dans les tubes de DCO, on met

- 10 ml d'eau à analyser.
- 5 ml de ($K_2Cr_2O_7$).
- 3 à 4 granules régulateurs d'ébullition puis homogénéisé.
- 15 ml d' $AgSO_4$.
- Agiter soigneusement le tube.
- La demande chimique en oxygène DCO est exprimée en mg/l est donnée par la formule suivante.

$$DCO = - 8COO C_{fe} (V_t - V_e) / E$$

C_{fe} : C'est la concentration exprimée en mol/l de la solution de sel de Mohr déterminée par étalonnage.

E : Volume d'essai pris en ml.

V_t : Volume de sel de Mohr nécessaire pour le virage de couleur de l'échantillon témoin.

V_e : Volume du sel de Mohr nécessaire pour le virage de couleur de l'échantillon.

c. La demande biochimique en oxygène (DBO₅)

❖ **Principe**

Le principe de mesure de la demande biochimique en oxygène consiste à déterminer la quantité d'oxygène consommée au bout de cinq jours d'incubation, dans des conditions d'essai à 20°C et l'obscurité. Pour déterminer la DBO₅ deux mesures de l'oxygène dissout doivent être effectuées (Rejsek, 2002).

A l'instant $t=0$, au moment d'incubation

A l'instant $t=5$ jours, après l'incubation

❖ **Mode opératoire**

Mettre la veille de prélèvement, dans un récipient de 100 ml l'eau du robinet dans laquelle on plonge pendant 24 h un aérateur puis la saturation en O_2 , laisser reposer 12 h.

❖ **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 hermétiquement d'une façon à ne pas laisser l'air pénétrer.
- Répéter l'opération pour les autres flacons.

❖ **Mesure de temps**

- Doser l' O_2 dissous dans le flacon d'échantillon dilué (T° en mg/l).
- Placer les flacons restant au thermostat DBO_5 à $20^\circ C$ et à l'obscurité pendant 5 jours.

2.4.2. Analyses bactériologiques

Dans la plupart des examens usuels, l'analyse bactériologique n'est pas seulement qualitative mais aussi quantitative. Elle fait appel à des diverses techniques de dénombrement basées pour la plupart sur l'obtention de culture à partir des cellules présentes dans le milieu. On oppose souvent analyse quantitative qui détermine un nombre du germe par « ml » ou par « g » de produit et analyse qualitative : test de présence et d'absence de microorganisme (Guiraud, 1998 ; Rodier, 2009).

L'analyse pourra s'effectuer directement à partir de l'eau ou de ses dilutions. Dans le cas d'une eau peu chargée en microorganismes, on pratique une filtration ou une numération en milieu liquide à partir de l'eau brute ; dans le cas d'une eau chargée, on réalise des dilutions (eaux de rivière, eaux usées,...etc.) pour pouvoir dénombrer les microorganismes présents (Rejsek, 2002).

Le choix des méthodes d'examen bactériologique des eaux dépendra de la nature de l'échantillon mais aussi de la sensibilité et de la précision souhaitées (Rodier, 2009).

La population microbienne qui se trouve dans l'eau peut avoir plusieurs origines ; soit elle est purement aquatique, terrestre (vient du sol, des végétaux au voisinage du

cours d'eau ...etc.), ou bien d'origine humaine ou animale (contamination fécale) (Rodier, 2009).

2.4.2.1. Recherche et dénombrement des germes revivifiables à 37 °C (germes totaux)

Microorganismes revivifiables nommés également mésophiles aérobies, Il s'agit de l'ensemble des micro-organismes capables de se multiplier en aérobiose à des températures optimales de croissance (après 24h à 37°C). Ce dénombrement est souvent considéré comme accessoire par rapport aux autres dénombrements réalisés dans le contrôle bactériologique des eaux (Rodier, 2009).

❖ Mode opératoire

A partir de l'eau à analyser et des dilutions décimales 10^{-1} et 10^{-2} , porter aseptiquement 2 fois 1 ml dans deux boîtes de Pétrie vides, numérotées et préparées à cet usage. Compléter ensuite chacune des boîtes avec environ 20 ml de gélose TGEA fondue puis refroidie à $45\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$. Le temps qui s'écoule entre le moment où l'on a distribué l'inoculum dans la boîte et celui où le milieu est coulé ne doit pas excéder 15 minutes. Faire ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de « 8 » sur une surface horizontale pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose, sans faire de bulles et sans mouiller les bords de la boîte. Laisser solidifier les boîtes sur la paille (Figure 11) (Lebres, 2002 ; Rodier, 2009).

Les boîtes seront incubées couvercles en bas à $37\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$ pendant $24 \pm 1\text{ °C}$ heures. Examiner les boîtes dès que possible après la période d'incubation, sinon les conserver à 4 °C pendant 48 heures au maximum. Les germes revivifiables se présentent dans les deux cas sous forme de colonies lenticulaires poussant en masse, ne dénombrer que les boîtes contenant entre 30 et 300 colonies (Rodier, 1996).

❖ Interprétation

Calculer la valeur du nombre N de microorganismes revivifiables à $37\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ en tenant que la moyenne pondérée, à l'aide de l'équation suivante (Rodier, 1996; Lebres, 2002).

$$N = \frac{\sum c}{1.1 \times d}$$

Où :

$\sum c$: est la somme des colonies dénombrées sur deux boîtes de dilutions successives retenues.

d : est le taux de dilution correspondant à la première dilution.

Arrondir les résultats calculés à deux chiffres significatifs après la virgule. Le résultat final de microorganismes revivifiables dénombrés à 37 °C par ml d'eau est noté par un nombre compris entre 1,0 et 9,9 multiplié par 10^x où x est la puissance appropriée de 10. Exprimer les résultats en UFC/ml (Rodier, 2009).

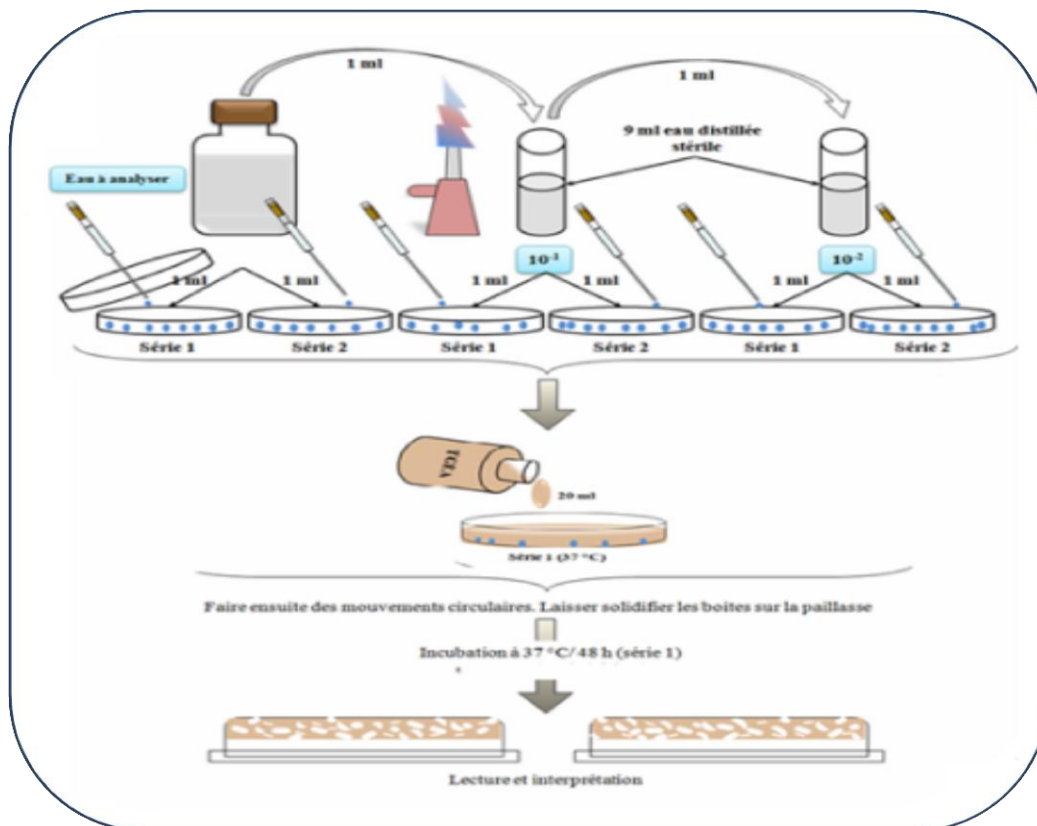


Figure 05: Recherche et dénombrement des microorganismes revivifiables à 37°C dans l'eau (Rodier, 2009).

2.4.2.2. Recherche et dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale

Les indicateurs de contamination fécale permettent d'apprécier, avec plus ou moins de sûreté ou de précocité, le risque d'une contamination par des matières fécales pouvant véhiculer des microorganismes pathogènes. On peut distinguer deux groupes de bactéries indicatrices de contamination fécale : les indicateurs spécifiques et les indicateurs non spécifiques (Rodier, 2009).

Les indicateurs spécifiques sont des espèces que l'on rencontre exclusivement dans les matières fécales : les streptocoques fécaux et les coliformes fécaux ou thermotolérants présents en concentration importante dans les selles des mammifères. Les indicateurs non spécifiques qui sont essentiellement les coliformes totaux et les *Clostridium* sulfito-réducteurs, peuvent se retrouver dans les matières fécales mais également vivre et se multiplier dans les milieux naturels (Rejsek, 2002).

2.4.2.3. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes fécaux

Les coliformes sont des bacilles à Gram négatifs, aérobies ou anaérobies facultatif, non sporulés, ne possédant pas d'oxydase, capables de se multiplier en présence de sels biliaires et capables de fermenter le lactose avec production d'acides et de gaz en 24 à 48 heures à une température comprise entre 36 et 37 °C (Camille, 2003).

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermotolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44 °C et de produire du gaz dans les 24 h à 44,5 °C (Roux, 2003).

La recherche et le dénombrement des coliformes et l'identification d'*E coli* ont été effectués par la méthode de nombre le plus probable (NPP) appelée aussi la colimétrie (Figure 12) (Délarras, 2007).

❖ Mode opératoire

🚦 Test présumptif

Après avoir bien homogénéisé l'échantillon afin d'obtenir une répartition homogène des microorganismes, nous avons réalisé cinq dilutions décimales successives (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5}) avec trois répétitions par dilution. Les dilutions sont toujours effectuées dans des conditions aseptiques.

- Nous prenons les tubes de BCPL (bouillon lactose au pourpre de bromocrésol, simple concentration) munis d'une cloche de Durham.
- Prélever 1ml d'eau à analyser à l'aide d'une pipette Pasteur stérile et la porte dans le premier tube de la série contenant 10 ml de BCPL, pour obtenir la dilution 10^{-1} .
- Nous prélevons 1ml de la dilution 1/10 précédente et l'ajouter à un tube contenant 10ml de BCPL, pour obtenir la dilution 10^{-2} .
- Transférer 1ml de la dilution 10^{-2} dans un tube contenant 10ml de BCPL, pour obtenir la dilution 10^{-3} .
- Refera la technique pour 2 autres tubes de BCPL afin d'obtenir 5 tubes de BCPL, et refaire pour 2 autres séries.

Lecture

Après incubation seront considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois:

- ✓ Un dégagement de gaz (supérieur au 1/10ème de la hauteur de la cloche).
- ✓ Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu).

On retient le nombre caractéristique constitué par les trois chiffres écrit dans l'ordre des dilutions croissantes en commençant par le nombre correspondant à la plus grande dilution pour laquelle tous les tubes sont positifs.

Ce nombre caractéristique obtenu correspond d'après la table de Mac Grady au nombre de bactéries présentes (NPP) dans le prélèvement correspondant à la plus faible dilution prise en compte. Le calcul de concentration cellulaire dans la suspension initiale se fait en tenant compte les dilutions effectuées (Rodier, 2009).

b- Test confirmatif (Test de Mac Kenzie)

Le test confirmatif est basé sur la recherche de coliformes thermotolérants parmi lesquels on redoute surtout la présence *d'Escherichia coli*.

Repiquer chaque tube de BCPL trouvé positif avec une anse bouclée ou une pipette Pasteur dans le (ou les) milieu (x) de confirmation. Comme milieu de confirmation, on a utilisé dans le premier prélèvement : le milieu eau peptonée exempte d'indole et pour le deuxième prélèvement : le milieu Schubert muni d'une cloche de Durham.

Chasser l'air éventuellement présent dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum. L'incubation se fait cette fois-ci à 44 °C pendant 24 h.

- **Lecture**

Seront considérés comme positifs, les tubes présentant :

- ✓ Un anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par *Escherichia coli* après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs.

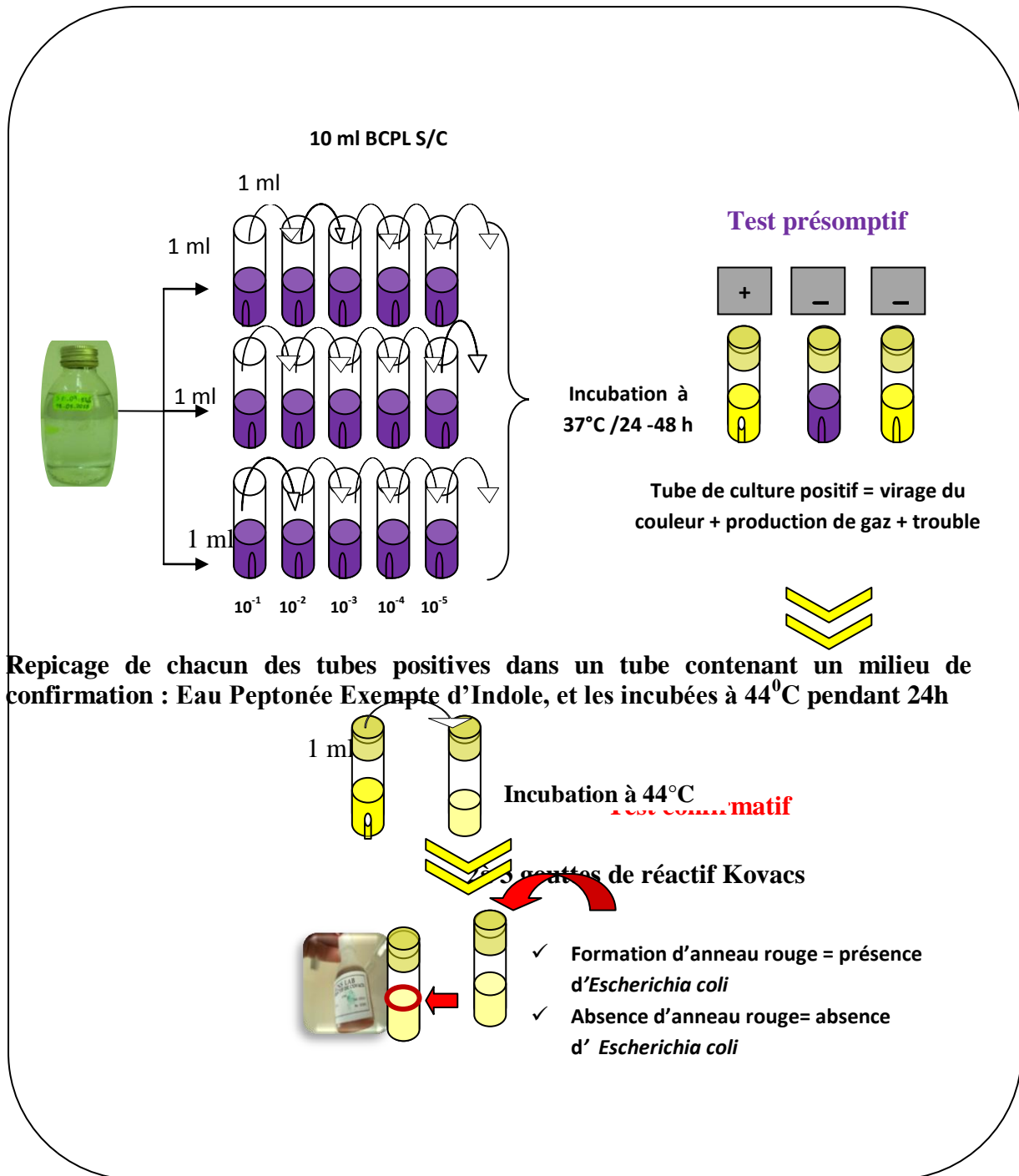


Figure 06: Recherche et dénombrement des coliformes totaux, fécaux (*E. coli*) dans l'eau.

2.4.2.4. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux :

Cette méthode consiste à la recherche des streptocoques fécaux ou streptocoques du groupe D ; se présentent sous forme de cocci à Gram (+), formant quand ils sont cultivés en milieu liquide des diplocoques et/ou des chainettes, de catalase (-), immobile,

anaérobie facultative, non sporulant et possédant de l'antigène de groupe D. Ils produisent de l'acide lactique par fermentation du glucose et sont anaérobies-aérotélorants (Engelkirk, 2008).

Test présomptif

• **Mode opératoire**

La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux dans les eaux, en milieu liquide par la technique du NPP, se fait en deux étapes consécutives (Figure 13) (Rejsek, 2002).

- A partir de l'eau à analyser, après homogénéisation ; porter aseptiquement 1ml dans un tube contenant 10 ml de milieu Rothe S/C pour obtenir la dilution 10^{-1} .
- Prélèvement 1ml de tube précédent 10^{-1} et mettre dans le second tube Rothe pour avoir la dilution 10^{-2} .
- Refaire la technique pour 2 autres tubes de Rothe afin d'obtenir 5 tubes, et refaire pour les deux autres séries.

• **Lecture**

Après incubation, considérer comme positifs les tubes pour lesquels on observe un trouble dû à une croissance microbienne. Ces tubes doivent absolument faire l'objet d'un repiquage sur milieu Eva Litsky dans le but de confirmation des streptocoques du groupe D.

Test confirmatif

Les tubes de Rothe trouvés positifs feront l'objet d'un repiquage à l'aide d'une pipette pasteur ou une ose bouclée dans tube contenant le milieu Eva Litsky. Bien mélanger le milieu et l'inoculum. L'incubation se fait à 37°C ; pendant 24 heures.

• **Lecture**

Sur le milieu de Eva Litsky, la présence de streptocoque du groupe D se caractérise par l'apparition d'un trouble dû au développement bactérien, avec ou sans dépôt violet. La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table du NPP de Mac Grady.

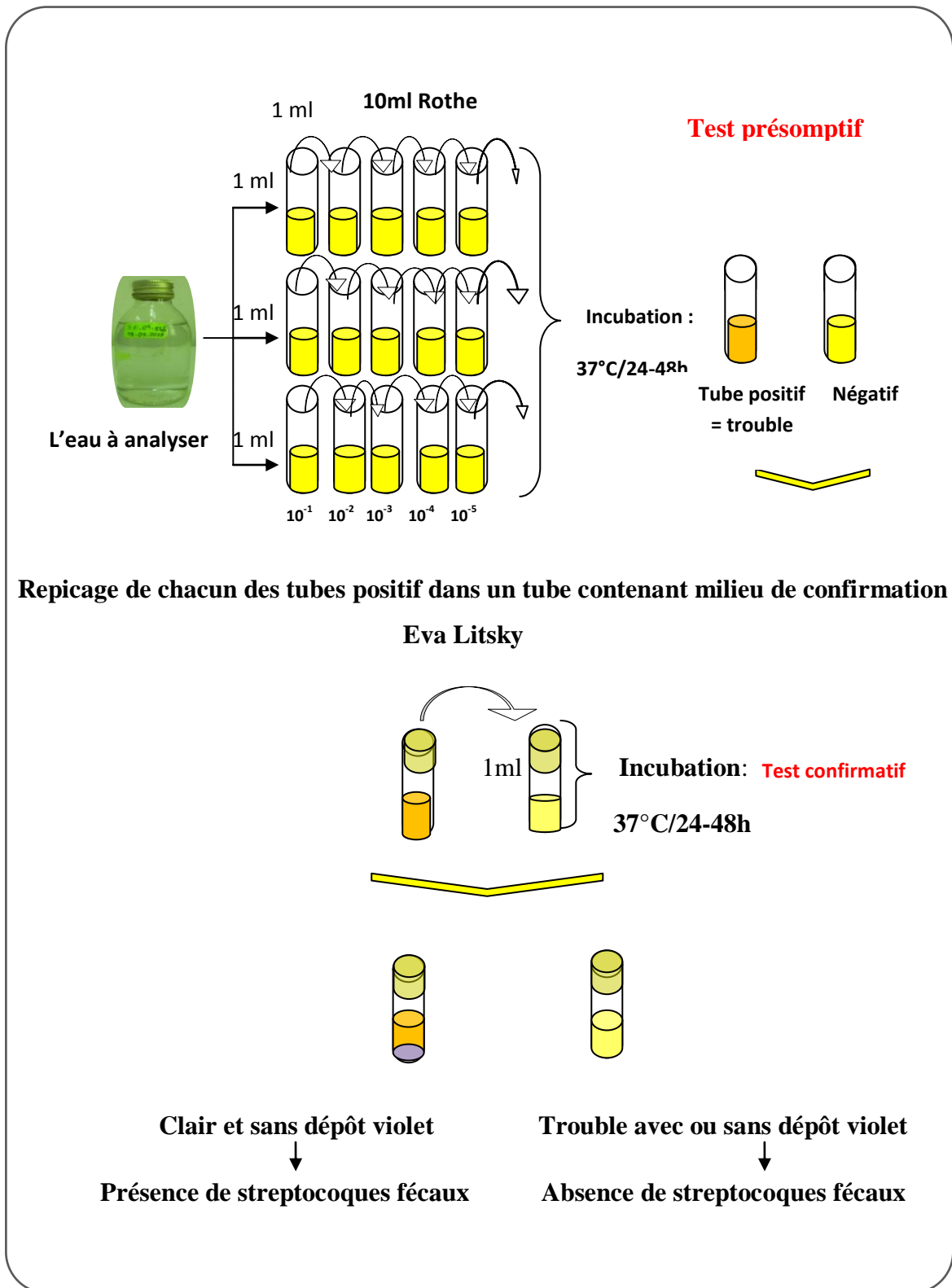


Figure 07: Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux dans l'eau.

2.4.2.5. Recherche et dénombrement des spores des anaérobies sulfite-réducteurs (ASR)

Les bactéries anaérobies sulfite-réducteurs se présentent sous forme de bacilles Gram positif, ils sont anaérobies strictes, capables de sporuler et résistent longtemps dans l'environnement ; se développent à une température de 36 ± 2 °C en 24 à 48 heures sur une gélose viande foie en donnant des colonies typiques réduisant le sulfite de sodium (Na_2SO_3) qui se trouve dans le milieu, en sulfure qui en présence de Fe^{+2} donne FeS (sulfure de fer) de couleur noire) (Lebres, 2002).

Mode opératoire

La recherche et le dénombrement des spores des ASR dans l'eau se fait par la méthode d'incorporation en gélose en tubes profonds (Figure14) (Rodier. 2009).

- Après l'avoir homogénéiser soigneusement, prendre environ 25 ml d'eau à analyser dans un tube stérile, qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 80 °C pendant 8 à 10 minutes, dans le but de détruire toutes les formes végétatives des ASR éventuellement présentes.
- Après chauffage, refroidir immédiatement le tube en question, sous l'eau de robinet.
- Répartir ensuite le contenu de ce tube, dans 4 tubes différents et stériles, à raison de 5 ml par tube.
- Ajouter dans chacun d'eux environ 20 ml de gélose viande foie, fondue puis refroidie à 45 ± 1 °C, additionnée de 1 ml de la solution de sulfite de sodium et 4 gouttes de la solution d'alun de fer.
- Mélanger doucement le milieu et l'inoculum en évitant les bulles d'air.
- Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes environ, puis incubé à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

Lecture et interprétation

Considérer comme résultant d'une spore de bactérie anaérobie sulfite-réductrice toute colonie noire entourée d'un halo noir. Il est indispensable de procéder à une lecture après 24 heures : en présence de nombreuses colonies, une diffusion des halos peut conduire à une coloration noire uniforme du tube et tout dénombrement devient impossible après 48 heures. Par contre, s'il y a une faible quantité de colonies à la première lecture, et si les colonies sont petites, il peut y avoir un développement de nouvelles colonies dans les 24 heures suivantes Dénombrer toute colonie noire de 0,5 mm

de diamètre, ayant poussé en masse et rapporter le nombre total des colonies dans les quatre tubes à 20 ml d'eau à analyser.

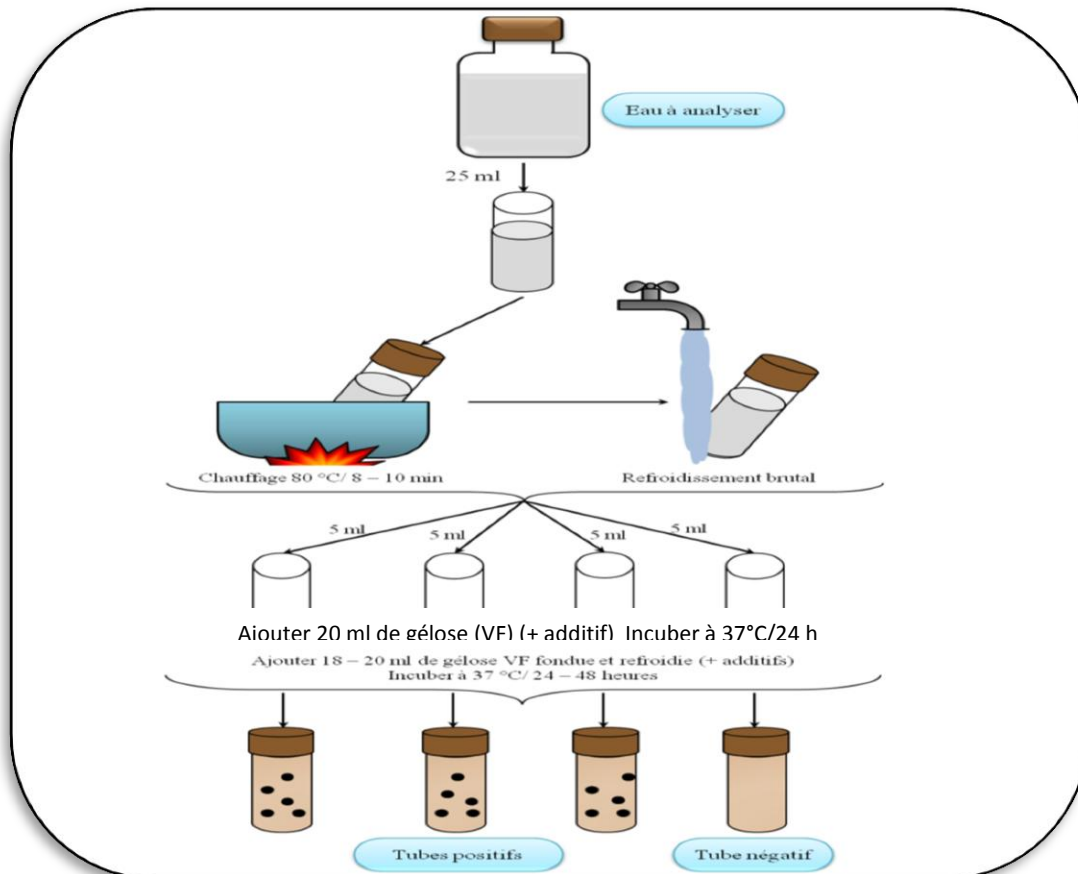


Figure 08: Recherche et dénombrement des spores des bactéries anaérobies sulfite-réducteurs.

2.4.2.6. Recherche des germes pathogènes

Il existe une grande variété de bactéries pathogènes ou potentiellement pathogènes (opportunistes) pour l'homme dans tous les types d'eaux. Celles-ci vivent ou survivent dans l'environnement, soit provenant des rejets humains, éliminées par des sujets malades ou des porteurs sains, soit étant autochtones et pouvant s'adapter à l'homme : *Campylobacter jejuni*, *Legionella pneumophila*, leptospires, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella*, *Shigella*, staphylocoques pathogènes, *Vibrio*, *Yersinia enterocolitica* (Rodier, 2009).

Le travail d'ensemencement des microorganismes se pratique sur une paillasse conforme à la réglementation autour de la flamme d'un bec Bunsen. L'ensemencement

par stries sur boîtes de Pétrie est pratiqué le plus souvent dans un but d'isolement. L'inoculum est prélevé directement à partir de l'eau à analyser est déposé sur un point périphérique de la gélose puis disséminé par stries sur toute la surface (méthode des quadrants). Un isolement est effectué à l'aide d'une anse de platine ou une pipette Pasteur à usage unique stérile (Denis et *al.*, 2007).

A. Recherche des Salmonelles

Les salmonelles sont des bacilles Gram négatifs (BGN), anaérobies facultatives, mobiles pour la plupart avec des flagelles péritriches, ne fermentant pas le lactose, mais fermentant le glucose avec production de gaz et de H₂S (Labres et *al.*, 2008).

Mode opératoire

- Premier enrichissement

Introduire 1 ml de l'échantillon d'eau dans 10 ml de Sélénite Cystéine (SFB), puis incubé à 37°C pendant 18 à 24 heures (Figure 15).

- Deuxième enrichissement et isolement

- un deuxième enrichissement sur milieu SFB en tubes à raison de 1 ml.
- un isolement sur les géloses Hektoen, SS et Mac Conkey.

- Lecture des boîtes et identification

- D'une part, le tube de Sélénite fera l'objet d'un isolement.
- D'autre part, les boîtes des géloses Hektoen SS et Mac Conkey subira une lecture.

Identification morphologique et biochimique

- Etat frais et coloration de Gram (bacilles Gram négatifs).
- Ensemencement d'un tube de TSI qui sera incubé à 37°C pendant 24 h, qui va être identifié soit par :

* la galerie biochimique classique (ONPG, Oxydase, LDC, ODC, ADH, Urée, TDA, VP, RM...).

* la galerie biochimique, API 20 E.

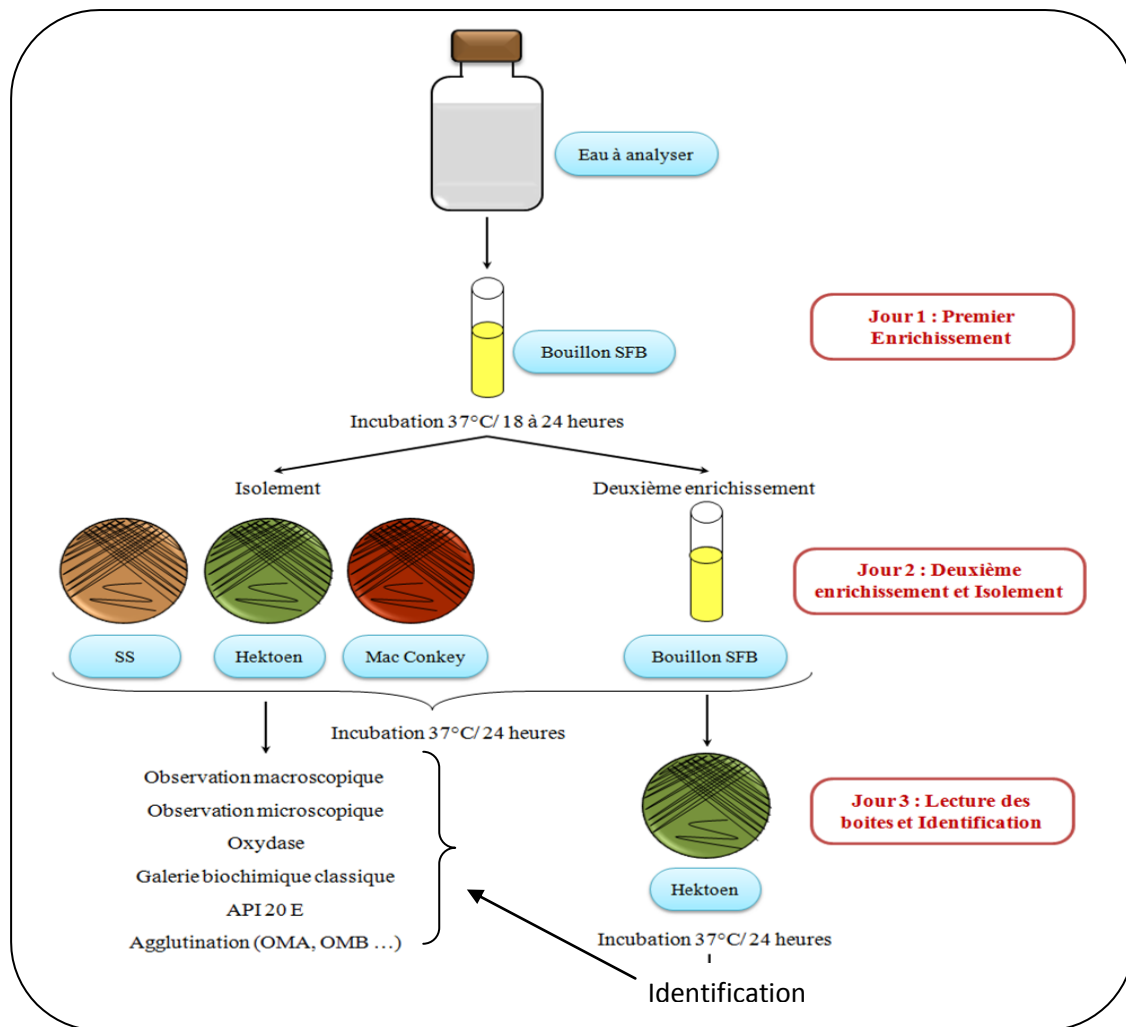


Figure 09: Recherche des *Salmonelles*.

B. Recherche des Shigelles

Les Shigelles sont des *Enterobacteriaceae*, rencontrées exclusivement chez l'homme, elles ne font partie d'aucune flore commensale chez l'homme, elles sont toutes pathogènes et spécifiques du tube digestif, éliminées par les selles et dispersées dans les sols et les eaux où elles ne survivent que peu de temps. Classiquement elles sont divisées en 4 espèces sur la base des caractères biochimiques et antigéniques : *S. dysenteriae* subdivisée en 16 sérotypes, *S. flexneri* en 6 sérotypes, *S. boydii* en 20 sérotypes, et *S. sonnei* (un seul sérotype) (Lebres, 2002).

Culture

Il n'existe pratiquement pas un milieu d'enrichissement adapté à *Shigella*. Pour chercher du *Shigella*, à partir de l'échantillon mère on prélève 0,1 ml et on l'étale sur la surface des géloses Hektoen, SS et Mac Conkey par la méthode des quatre quadrants. L'incubation se fait à 35 – 37 °C pendant 18 - 24 heures (Figure 16).

Identification

Pour identifier les shigelles par :

- Etat frais ;
- Coloration de Gram (bacilles Gram négatifs) ;
- Ensemencement d'un tube de TSI qui sera incubé à 37 °C, 24 h (Lactose, Saccharose, Glucose, Gaz et H₂S),
- Ensemencement : * Soit d'une galerie biochimique classique (ONPG, Oxydase, LDC, ODC, ADH, Urée, TDA, VP, RM ...),
* Ou d'une galerie biochimique API 20 E.

C. Recherche des Staphylocoques

Le nom commun « *Staphylococcus* » qui dérive du grec « staphylé », grappe de raisin, et « kokkos », grain), a été proposé par Ogston en 1883 pour désigner des coques regroupés en amas irréguliers sous forme de grappes de raisin responsables d'infections suppurées chez l'homme. Les espèces de genre *Staphylococcus* peuvent être classées en fonction de leur capacité à coaguler le plasma de lapin. Ce sont des cocci à Gram positif, ils sont immobiles, non sporulés, et aérobies ou anaérobies facultatifs. (Parmi les espèces retrouvées chez l'homme, trois occupent une place privilégiée : *S. aureus*, *S. epidermidis* et *S. saprophyticus* (Federighi, 2005)

Culture

Pour les produits polymicrobiens, on a recours à des milieux sélectifs tels que le milieu de Chapman qui est un milieu gélosé hypersalé (7,5 % de NaCl) et contient du mannitol. L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 à 48 heures (Figure16) (Denis et al, 2007).

Identification

Les colonies sont alors entourées d'un halo jaune puisqu'elles fermentent le mannitol tout comme parfois *S. saprophyticus*, *S. epidermidis* et *S. cohnii*.

Les souches de *Staphylococcus aureus* sont de taille importante et élaborent leurs propre pigment; elles apparaissent en jaune, surmontant une zone jaune par la suite de la fermentation du mannitol. L'identification des staphylocoques nécessite la mise en œuvre de réactions spéciales au genre (Rodier, 1996):

- Etat frais et coloration de Gram
- Test à la catalase
- Oxydase
- Mannitol
- Recherche de la coagulase libre

D. Recherche de *Pseudomonas*

Le genre *Pseudomonas* est fait de bacilles Gram négatif, droits et fins, aux extrémités arrondies, mobiles (à ciliature polaire), aérobies stricts, oxydase positive et se caractérise par la pigmentation bleu-vert de ses colonies. *P. aeruginosa* (ou bacille pyocyanique) est mésophile tandis que la majorité des espèces sont psychrotrophes. La bactérie est très répandue dans l'eau et les milieux humides. Elle peut aussi coloniser l'homme (Nauciel et *al.*, 2005).

Culture

P. aeruginosa cultive facilement sur milieux ordinaires en développant une odeur de seringia (fleur de la famille des *Philadelphacées* encore appelée « jasmin des poètes »). La température optimale de croissance est de 30 °C. A partir de prélèvement polymicrobiens, il est nécessaire d'avoir recours à un milieu sélectif contenant du Cétrimide. L'incubation se fait à 37 °C pendant 48 heures (Figure 16) (Denis et *al.*, 2007).

Identification

Considérer comme colonie caractéristique toute colonie présentant une fluorescence. Du fait de la sélectivité du milieu Cétrimide, on peut suspecter les colonies présentes d'être *Pseudomonas*. Dans tous les cas, il faudra réaliser une identification de l'espèce:

- Coloration de Gram.
- Examen directe entre lame et lamelle (état frais), il permet d'observer la mobilité des germes
- Oxydase
- Recherche de la pyocyanine : pigment bleu caractéristique de *Pseudomonas aeruginosa* responsable de la teinte bleue intense des milieux de culture : sa production est favorisée sur milieu de King A.
- Recherche de la pyoverdine : présente une teinte vert fluorescent (*P. fluorescens*) est souvent masquée par la pyocyanine, sa production est maximale sur milieu de King B.
- API 20 NE.

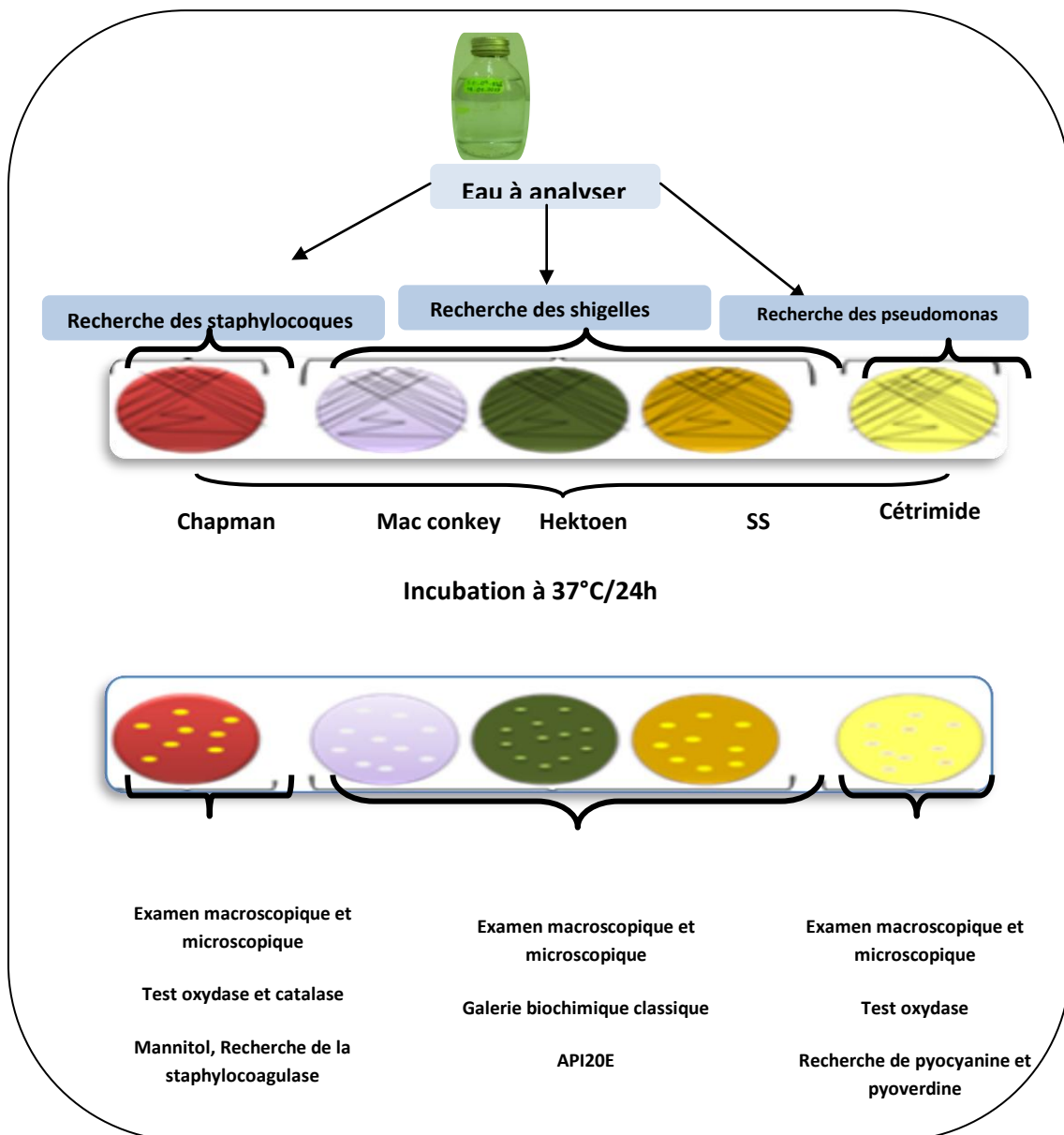


Figure 10: Recherche des Staphylocoques, *Shigella* et *Pseudomonas*.

E. Recherche de *Vibrio*

Le genre *Vibrio* fait partie de la famille des *Vibrionaceae*. Les espèces de *Vibrio* qui sont le plus souvent à l'origine de phénomènes pathologiques chez l'homme sont: *V. cholerae*, *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus*. Leur température de croissance va de 18 à 40 °C et la zone de pH permettant leur culture va de 6 à 9 (Cohen et Karib, 2007).

Les *Vibrio* sont des bacilles à Gram négatif, droits ou incurvés, assez court, d'un diamètre compris entre 0,5 et 0,8 µm et une longueur comprise entre 1,4 et 2,6 µm, très mobiles grâce à une ciliature polaire, le plus souvent monotriche. Ils sont aéroanaérobies

facultatifs et possédant une oxydase et fermentant le glucose sans production de gaz ni d'H₂S (Harvey et al, 2007).

Mode opératoire

- **Premier enrichissement**

Le premier enrichissement s'effectue sur le milieu eau peptonée alcaline (EPA) réparti à raison 7 ml en tubes. On ajoute aseptiquement 1ml d'eau à analyser, ce dernier sera par la suite incubé à 37 °C pendant 18 à 24 heures (Figure 17) (Lebres, 2002).

- **Deuxième enrichissement et isolement**

Le premier enrichissement fera l'objet:

- D'une part, d'un deuxième enrichissement sur milieu EPA en tubes à raison de 1 ml ;
- D'autre part, d'un isolement sur gélose GNAB. L'incubation se fait donc à 37 °C pendant 24 heures.

- **Lecture des boîtes et identification**

- D'une part, le tube d'EPA fera l'objet d'un isolement sur GNAB.
- D'autre part, les boîtes de gélose GNAB subiront une lecture en tenant compte du fait que les Vibrions se présentent le plus souvent sous forme de grosses colonies lisses et transparentes caractéristiques.

Identification morphologique et biochimique

Sur GNAB, les colonies sont rondes, plates, bord réguliers, surface lisse brillantes, translucides sous forme de goutte de rosée.

Une identification morphologique et biochimique basée essentiellement sur :

- Etat frais et coloration de Gram ;
- Oxydase (+) ;
- Ensemencement d'une galerie API 20 NE.

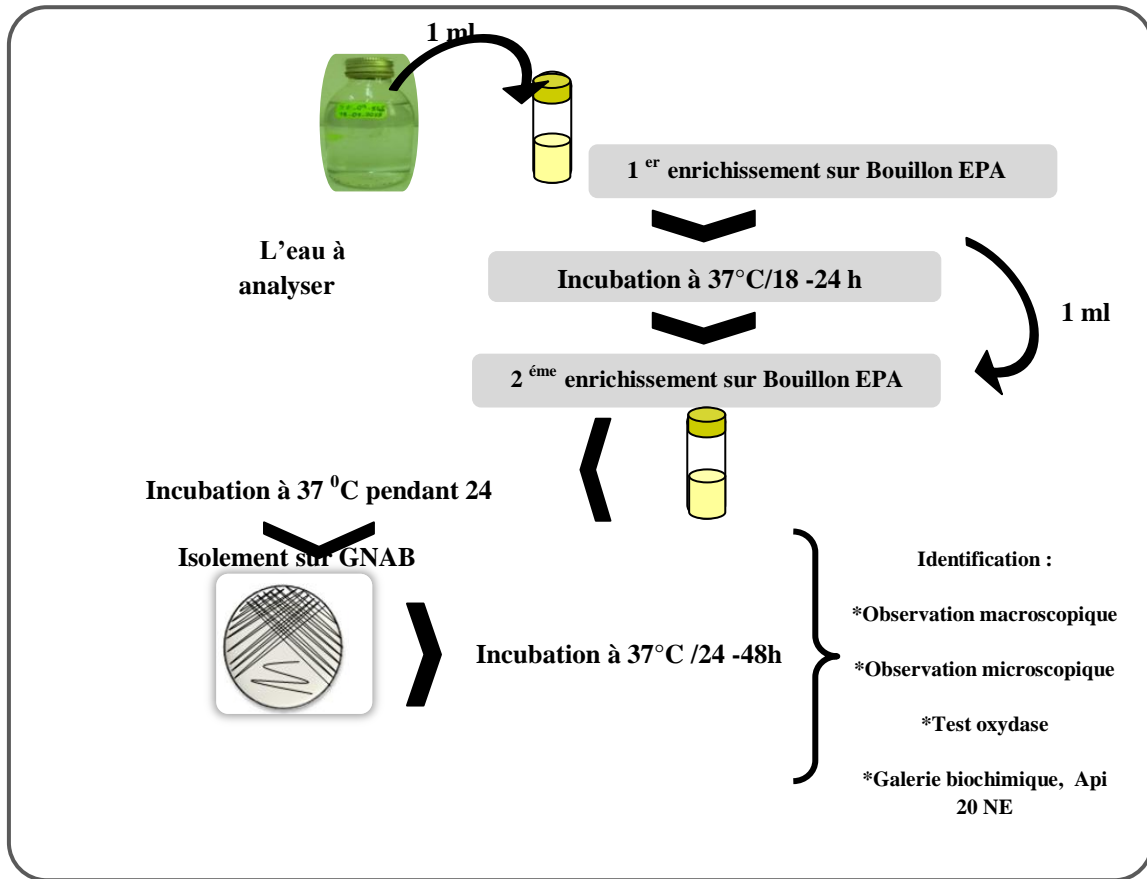


Figure 11: Recherche et identification de *Vibrio* dans l'eau.

Chapitre III

Résultats

et

Discussion

Conclusion

et

perspective

Conclusion Générale et Perspective

Les rejets des eaux usées sont plus en plus sujet à des pollutions de natures diverses notamment les métaux lourds et la matière organique. La politique environnementale du monde, le développement durable implique pour l'homme une maîtrise de ses rejets domestiques et urbains. L'épuration des eaux usées par les différents procédés consiste à produire une eau usée épurée qui peut être réutilisée en secteur agricole ou rejetée dans la nature sans effet nocif sur les sols, les plants et l'être humain donc sur l'environnement.

Notre travail consiste à étudier la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la STEP (Guelma) qui se verse dans l'Oued de Seybouse avant et après traitement par la STEP, les lentilles d'eaux et le traitement Catalytique par l'oxyde de fer (Fe_2O_3) et l'argent(Ag).

Les résultats obtenus permettent d'affirmer que les eaux usées épurées de la station de Guelma peuvent être valorisées, leurs caractéristiques physico-chimiques leur acquièrent un potentiel d'utilisation. Les résultats d'analyses obtenus au cours de cette période d'expérimentation présentent des valeurs qui sont en grande partie conformes aux normes internationales d'une eau d'irrigation. En effet, ces eaux peuvent véhiculer des polluants qui peuvent être à l'origine des problèmes de santé publique. Cependant, il faut rester vigilant quant à l'utilisation des eaux usées traitées par la station de Guelma en agriculture.

Le traitement catalytique par les nanoparticules, le traitement de la STEP et le traitement biologique par les Lentilles d'eaux ont permis une réduction des indicateurs physicochimique et bactériologique de pollution des eaux usées de la STEP.

Les pourcentages d'abattelements des indicateurs physicochimique de pollution sont de l'ordre de 96,86%MES, 96,60%DBO₅, 90,86%de la DCO des eaux usées traitée par l'argent, de l'ordre de : 96,31%, 92,49%, 79,53% respectivement pour les MES, DBO₅ et la DCO de l'eau brute traitée par le Fe_2O_3 , de l'ordre de 92,21% des MES, 97,48% DBO₅, 90,35% de la DCO des eaux traitées par les lentilles d'eaux et de l'ordre de 95,77%MES, 92,36%DBO₅, et 81,96%DCO des eaux usées traitées par la STEP. Les pourcentages d'abattelements enregistrés aux indicateurs bactériologiques de pollution sont de l'ordre de 100% des eaux usées traitées par l'Ag, de l'ordre de : 99,99%, 99,99%, 99,94% et 99,71% respectivement pour la FMAT, CT, CF et SF des eaux usées traitées par le Fe_2O_3 . Le traitement par les lentilles d'eaux permet un abattement de l'ordre de : 99,92% de la FMAT, 99,98% des CT, 99,59%

des CF, 99,71% des SF, et de l'ordre de : 98,39%, 99,79%, 96,88% et 95,14% respectivement pour la FMAT, CT, CF et SF des eaux usées traitées par la STEP.

Concernant la recherche des germes pathogènes dans l'eau brute traitée par les différentes procédées, nous constatons une absence des Salmonelles, des Shigelles, de *Vibrio cholérique* et de *Pseudomonas* avec présence (*Staphylococcus epidermidis*) après traitement des eaux usées par les lentilles d'eaux et par la STEP avec une absence totale de tous ces germes après traitement catalytique par l'oxyde de fer et l'argent.

En perspective, il sera intéressant :

- ✓ d'évaluer la pollution organique par détermination des rapports : MES/DBO₅, Matières oxydables, DBO₅/DCO.
- ✓ Dosages des orthophosphates, des nitrates, des nitritesetc
- ✓ Tester l'effet de la lumière (UV) sur l'effet des catalyseurs étudiés.
- ✓ Tester la toxicité des nanoparticules sur la faune et la flore aquatique.
- ✓ Dosage des métaux lourds et des pesticides dans les eaux.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

A

- ✚ Alahiane S., Qourzal S., El Ouardi M., Belmouden M., Assabbane M., Ait-Ichou. Adsorption et photodégradation du colorant indigo carmine en milieu aqueux en présence de TiO₂/UV/O₂ (Adsorption and photocatalytic degradation of indigo carmine dye in aqueous solutions using TiO₂/UV/O₂). Université Ibn Zohr ,Maroc. pp239-250.
- ✚ Anonyme., 2009. Biodigestion des graisses et des huiles et optimisation du traitement. La solution naturelle, Support Technique-Graisse page 1 de 7.
- ✚ Ater M., Aït Ali N et Kasmi H, (2006) « Tolérance et accumulation du cuivre et du chrome chez deux espèces de lentilles d'eau : Lemna minor L. et Lemna gibba L. » Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 19, n° 1, p. 57-67.
- ✚ 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 à sable local. Mémoire de Magister, Université d'Ouargla, 91p.
- ✚ Auffan M., (2007). Nanoparticules d'oxydes métalliques relations entre la réactivité de surface et des Réponses biologiques. Thèse de Doctorat, Université de Marseille, 163p.

B

- ✚ Barth C., Perron J., Perron J., 1998. Guide d'interprétation des paramètres microbiologiques d'intérêt dans le domaine de l'eau potable. Document de Travail (version préliminaire). Canada, Ministère de l'Environnement du Québec. p155.
- ✚ Bechaa B. & Khanfri A., 2013. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de rejets industriels. Cas de la conserverie Amor Benamor (CAB). Mémoire de Master, Université de Guelma, 57p.
- ✚ Bedouh Y., 2014. Evaluation de la Toxicité des eaux usées Traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon « Allium cepa ». Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, 128p.
- ✚ Belghiti M. L., Chahlaoui A., Bengoumi D., El Moustaine R., 2013. Etude de la Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-Quaternaire dans la région de Meknès. Maroc, Université Moulay Ismail. pp 34-37.

- ✚ Belghyti D., El Guamri Y., Ztit G., Ouahidi L., Jotit B., Harchrassa A., Amghar H., Bouchouata O., El Kharrim K. & Bounouira H., 2009. Caractérisation des eaux d'abattoir en vue de la mise en œuvre d'un traitement Adéquat : cas de Kénitra au Maroc. *Afrique science*, 5, pp 199-216.
- ✚ Belhadj M.Z., 2006. Etude de la pollution du Barrage de Zit-Emba. Mémoire de Magistère, Université de Batna, 89p.
- ✚ Ben Chehem M., Bouazza H., Labbaz L., 2014. Inventaire des études scientifiques relatives à la réutilisation des eaux usées dans le domaine piscicole. Projet de Fin d'Etudes, UNIVERSITE KASDI MERBAH- OUARGLA-, 18p
- ✚ Benabbou A., Derriche Z., Felix C. & Guillard P. L., 2007. Photocatalytic Inactivation of *Escherichia coli*. Effect of concentration of TiO₂ and microorganism, nature, and intensity of UV radiation. *Applied catalysis B: Environmental*, 76, pp 257–263.
- ✚ Benedetti M., Ferrari R. (2009). Stabilité de nanoparticules d'oxydes métalliques et
- ✚ Bentir M., 1996. L'épuration des eaux résiduaires industrielles en Algérie: État actuel et perspectives. *Edil Inf Eau* 12, 4-5.
- ✚ Bitton G., 1999. Waste water Microbiology. John Wiley & sons, USA, 578p.
- ✚ Borrego A.F. & Romero P., 1982. Study of the Microbiological pollution of a Malaga littoral area II. Relationship between fecal coliforms and fecal streptococci. *Vie Journée étud pollutions*, France, 23, pp 561-569.
- ✚ Bouziani M., 2000. L'eau, de la pénurie aux maladies. Edition Ibn-Khaldoun, Algérie, 223 p.
- ✚ Bowers A.R. & Huang C.P., 1985. Adsorption characteristics polyacetit amino acids onto hydrous Y-Al₂O₃. *Colloid Interface Sci*, 105, pp 197–215.
- ✚ Bremont et vuichard.(1973)., Les paramètres de la qualité de l'eau. Ed. La documentation française. Paris.173 p.

C

- ✚ Camille D., (2003). Surveillance sanitaire et microbiologique des eau. Réglementation, prélèvements, analyses. Lavoisier : Tec et Doc. France. 156 p.
- ✚ Canler, 1999 : Aide au diagnostic des stations d'épuration par l'observation microscopique des boues activées. Ed. Cemagref, 155p.

- ✚ Ceaq A., 2012. Recherché et dénombrement de *Staphylococcus aureus* : Méthode par filtration sur membrane MA 700-STA 1.0. Centre D'expertise En Analyse Environnementale Du Québec, Ministère du Développement durable, de L'environnement et des Parcs du Québec, Rév. 4, Canada. p19.
- ✚ Chen H.Y., Zahra O., Bouchy M., Thomas F. & Bottero J.Y., 1995. Adsorption properties of TiO₂ related to the photocatalytic degradation of organic contaminants in water. *Photochemistry Photobiol*, 85, pp 281–288.
- ✚ Chen X. & Mao S.S., 2007. Titanium dioxide nonmaterial's: Synthesis, properties, modifications, and applications. *Chemical Reviews*, 107, pp 2891–2959.
- ✚ Cohen N., Karib H., 2007. *Vibrio* spp. dans les produits de la pêche : Risques et prévention. Les technologies de laboratoire. pp3-7.

D

- ✚ Dadci K, 2008. Abdelmalek Sellal à Guelma. Press El Watan. Le 18/03/2008. Algérie.
- ✚ Debieche T.H., Mania J et Mudry J. (2002). Evaluation du risque des ressources en eau à la pollution au niveau de la basse plaine de la Seybouse (NE, Algérien). *Third International Conference on Water Resources and Environment Research (ICWRER): Water Quantity and Quality Aspects in Modelling and Management of Ecosystems*, (Poster), Dresden – Allemagne.
- ✚ Debieche T.H., Mania J., Mudry J., 2002. Evaluation du risque des ressources en eau à la pollution au niveau de la basse plaine de la Seybouse (NE, Algérien). *Third International Conference on Water Resources and Environment Research (ICWRER): Water Quantity and Quality Aspects in Modelling and Management of Ecosystems*, (Poster), Dresden -Allemagne.
- ✚ Dellarras C., 2007. Microbiologie pratique pour le laboratoire d'analyses ou de contrôle sanitaire. Lavoisier : Tec & Doc. Paris. p 463.
- ✚ Denis F., Ploy M.C., Martin C., Bingen E., Quentin R., 2007. Bactériologie médicale : Techniques usuelles. Elsevier Masson. p594
- ✚ Dhermendra K., Tiwari J., Behari Z. & Prasenjit S., 2008. Application of Nanoparticles in Waste Water Treatment. *World Applied Sciences Journal*, 3, pp 1818-4952.
- ✚ Djabri L, Hani A., Mania J., Murdy J, 2001. Impact des eaux urbaines sur la qualité des eaux de l'oued Seybouse.

- ✚ Dorion C., Zahraa O. & Bouchy A., 1995. Reacteur photocatalytique à lit fixe pour le traitement des eaux usées. *Récents progrès en génie des procédés*, 19, pp 105-110.

E

- ✚ Edberg S.C., Rice E.W., Karlin R.J. & Allen M.J., 2000. *Escherichia coli*: The best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, 88, pp 106-116.
- ✚ effets toxicologiques. These de doctorat, Université Paris Diderot Ecole Doctorale des Sciences de la Terre. p :266.
- ✚ El Amiri B., Sibaoueih M., Hadarbach D., Cohen N. & Chriyaa A., 2010. Impact de l'utilisation des eaux usées sur le bovin dans la commune des Mzamza, province de Settat. *Les Technologies de laboratoire*, 17, pp 14-19.
- ✚ El Guamri Y., Belghiti D., 2006. Etude de la qualité physico-chimique des eaux usées brutes de commune urbaine de Saknia, rejetées dans le lac Fouarat (Kénitra, Maroc). *Journal Africain de Sciences de l'Environnement*.
- ✚ El Maroufy M., 1992. Traitement des eaux usées dans les bassins de stabilisation d'ouarzazate et leur réutilisation en agriculture : Aspect parasitologique. Thèse de Doctorat. Maroc, Université de Meknès. p133.
- ✚ Emsalem R. (1986). Climatologie Générale. Edition. *I.P.E.N.A.G.* Tome 1. 198p.
- ✚ Emsalem R. (1986). Climatologie Générale. Edition. *I.P.E.N.A.G.* Tome 1. 198p.
- ✚ Engelkirk P.G., 2008. Laboratory Diagnosis of Infectious Diseases: Essentials of Diagnostic Microbiology. 1st edition. Lippincott Williams & Wilkins. p754.

F

- ✚ Faby J.A., Brissaud F. (1997)., L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau, 76 pages.
- ✚ Federighi M., 2005. Bactériologie alimentaire- Compendium d'hygiène des aliments. 2^{ème} édition: Economica. Paris. p292.
- ✚ Franck R., 2002 : Analyse de l'eau (Aspects réglementaires et techniques). Ed, Collection Biologie technique, 360 p.

G

- ✚ Gaujous D. (1995)., La pollution des milieux aquatiques ; aide-mémoire. Ed. Techniques et documentations. Lavoisier.Paris, 220p.
- ✚ Gebrati L., Loukili I.L., Mountassir Y. & Nejmeddine A., 2010. Détoxification of textile industry effluents by photocatalytic treatment.*Environmental Technology*, 6, pp 625 -632.
- ✚ Guelma, Ministère des Ressources en Eaux, Ofice National de l'Asainissement, Algérie, 64.
- ✚ Guiraud J. P., (1998). Microbiologie alimentaire. Dunod. Paris. France. 651 p.

H

- ✚ Hannachi A., Gharzouli R.et Djellouli tabet Y., 2014. Gestion et valorisation des eaux usees en Algerie. Larhys Journal, ISN 112-3680, n°19.
- ✚ Harvey R.A., Champe P.C., Fisher B.D., (2007). Microbiology. 2^{ème} edition. Lippincott Williams & Wilkins. p432.
- ✚ Hohl H. & Stumm W., 1992. Interaction of Pb²⁺ with hydrous Y-Al₂O₃. *Colloid Interface Sci*, 55, pp 281–288.

I

- ✚ Idder T,Seidl M., Laouali S, Idder A., Ourahmoun H. Hamdi A.et Bettahar N. 2012. L'épuration Des Eaux Usees Au Service De L'aquaculture Un Modele Integre De Gestion Des Eaux Au Sahel. Revue des BioRessources, Vol 2 N 2.
- ✚ ISO (Organisation Internationale de Normalisation), Water Quality, 2001. Determination of the toxic effect of water constituents and waste water to duckweed (Lemna minor). Duckweed growth inhibition test, ISO TC 147/SC 5 N, ISO/CD 20079.

J

- ✚ JORA., 2006. Valeurs limites des paramètres des rejets diffluent liquides industriels. Journal Officiel de la République Algérienne, 27p.

- ✚ 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 61-65p.
- ✚ Khelifa R., Youcefi A., Kahlerras A., Alfarhan A., Khaled A.S et Samraoui B, 2011. L'odonatofaune (*Insecta : Odonata*) du bassin de la Seybouse en Algérie : intérêt pour la biodiversité du Maghreb, *Rev. Écol. (Terre Vie)*, vol. 66.
- ✚ Khelifa R., Youcefi A., Kahlerras A., Alfarhan A., Khaled A.S., Al-Rasheid et Samraoui B., 2011. L'odonatofaune (*Insecta : Odonata*) du bassin de la Seybouse en Algérie : intérêt pour la biodiversité du Maghreb, *Rev. Écol. (Terre Vie)*, vol. 66.

L

- ✚ Lahlah N. (2010). Traits d'histoire de vie et régime alimentaire de l'Hirondelle de fenêtre (*Delichon urbica meridionalis*) dans le Nord-est Algérien. Thèse Doctorat. Université BADJI Mokhtar. Annaba
- ✚ Lahlah N. (2010). Traits d'histoire de vie et régime alimentaire de l'Hirondelle de fenêtre (*Delichon urbica meridionalis*) dans le Nord-est Algérien. Thèse Doctorat. Université BADJI Mokhtar. Annaba.
- ✚ Lebres E., 2002. Cours national d'hygiène et de microbiologie des aliments « Microbiologie des eaux, des boissons et des produits de la mer ». Institut Pasteur d'Algérie. p34.
- ✚ Lightfoot N.F., (2002). Analyses microbiologiques des aliments et de l'eau. Directive pour l'assurance qualité. France. p387.

M

- ✚ Méndez-Arriaga S., Espulugas R. & Giménez J., 2008. Photocatalytic degradation of nonsteroidal anti-inflammatory drugs with TiO₂ and simulated solar irradiation. *Water Res*, 42, pp 585–594.

N

- ✚ Nauciel C., Vildé J.L., 2005. Bactériologie médicale. Masson. 2^{ème} édition. p 257.
- ✚ Nouar T, 2007. Impacts de la pollution sur les eaux superficielles et souterraines de la région de Guelma. Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, Algérie, 178 p.

O

- ✚ OMS., 1989. L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquiculture recommandation à visés sanitaire. Rapport technique, n°778, Genève, 79p.
- ✚ ONA, 201. Descriptif de fonctionnement et d'exploitation de la station d'épuration de
- ✚ ONA, 2011. Descriptif de fonctionnement et d'exploitation de la station d'épuration de Guelma, Ministère des Ressources en Eaux, Office National de l'Assainissement, Algerie, 64p.
- ✚ ONS (Office National des Statistiques), 2011. Recensement général de la population et de l'habitat. Armature urbaine. Collections Statistiques n° 163/2011, Algérie, 213 p.
- ✚ Ophélie Z., 2008. Etude des interactions physico-chimiques et biologiques entre des nanoparticules manufacturées et des bactéries de l'environnement. Thèse Doctorat, Université de Paris, 321p.
- ✚ Oulkheir S, 2002. Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées de la ville Kenitra. Mémoire de DESS. Fac Kenitra, Agro-ressource et chimique fine. pp 97.

P

- ✚ Payment P., Hartemann, P, 1998. Les contaminants de l'eau et leurs effets sur la santé.
- ✚ Peralta Zamora P., Kunz A., Moraes S.G., Pelegri R., Moleiro P.C., Reyes J. & Duran N., 1998. Evaluation of TiO₂ and supported ZnO on the photo assisted remediation of black liquor cellulose and textile mill effluents, Chemosphere, 38, pp 835–852.
- ✚ Perera. P, Baudot, 1991 : état procédés extensifs d'épuration des eaux usées .relative au traitement des eaux urbaines résiduaires. Mise en oeuvre de la directive du conseil N 91 /271 du 21mai 1991.
- ✚ Pradeep R.A., Boucher D., Sime-Ngando T., Debros D., Romdgoux J.c., 2005. Phage bacteriolysis, protistandac-Terivory potential and bacterial production in a Fresh Water reservoir. Coupling With Temperature Microb Ecol, 50. PP 64 – 72.
- ✚ Prescott L.M., Harley J.P., Klein D.A., 2003. Microbiologie. 2^{ème} édition. De Boeck. Paris. p1163.

R

- ✚ Ramade F. (2007). Introduction à l'écotoxicologie. Tec & Doc, Paris, pp. 17.
- ✚ Rejsek F., 2002. Analyse de l'eau: Aspect réglementaire et technique. Ed CRDP d'Aquitaine, France, 385p.
- ✚ Rejsek F., 2002. Analyse de l'eau: Aspect réglementaire et technique, Ed CRDP d'Aquitaine, France. pp 385.
- ✚ Rodier J, 2009. L'analyse de l'eau. Eau naturelles, eau résiduaires, eau de mer. 9^{ème} éd, Dunod. pp 97-370.
- ✚ Rodier J., 1996. L'analyse de l'eau, eau naturelles, eau résiduaires, eau de mer. 8^{ème} éd, Dunod, pp1383.
- ✚ Rouaiguia M., Lahlah N., Bensaci E. et Houhamdi M. (2015). Feeding behaviour and the role of insects in the diet of northern house-martin (*Delichon urbica meridionalis*) nestlings in northeastern Algeria. African Entomology Vol. 23, No. 2.
- ✚ Roux, (2003). TP de microbiologie : Analyses de l'eau. IUP SIAL, Université Paris. p12.

S

- ✚ Sadek S., Elkharrim K., Khadmaoui A., Guissouss M., Benelharkati F., Elmarkhi M. & Belghyt D., 2012. Caractérisation Physico-chimique des eaux usées de l'hôpital provincial de Sidi Kacem (Maroc). *Science Lib Editions Mersenne*, 4, pp 2111-4706.
- ✚ Souiki L., 2008. Caractérisation biochimiques et microbiologiques des eaux usées de la ville de Biskra et purification par le procédé biologique phragmifiltre. Mémoire de Doctorat, Université d'Annaba, 105p.
- ✚ STEP de Guelma, 2008 « NOTICE D'EXPLOITATION ».
- ✚ Stoimenov K., Marchin G.L. & Klabunde P. K., 2000. Metaloxide nanoparticles as bactericidal agents. *Langmuir*, 18, pp 6679-6686.
- ✚ Symposium frontiere de la gestion de l'eau urbaine, 18-20 juin 2001, Marseille, France.

V

- ✚ Vandermeersch S, 2006. Etude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogènes. Travail de Fin d'Etudes, Université Libre de Bruxelles, 81p.

W







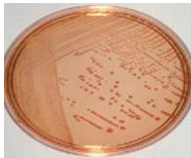
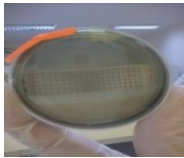

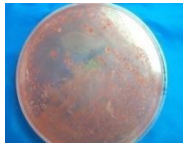



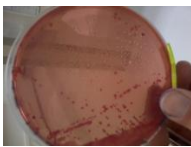
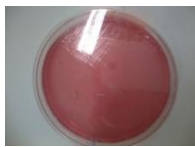


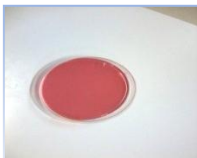


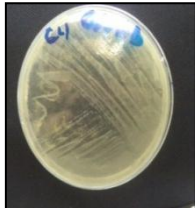




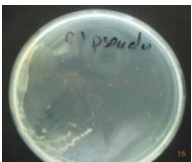
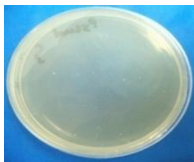

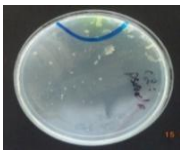

- + WHO, who guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume I: Policy and Regulatory Aspects, ed. WHO, Paris (France), 2006, 100 p.

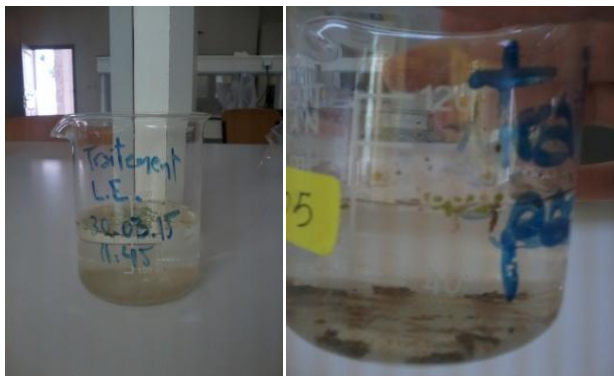
Z

- + Zhang L., Yu J.C., Yip H. & Li Q., 2003. Ambient light reduction strategy to synthesize silver nanoparticles and silver-coated TiO₂ with enhanced photocatalytic and bacterial activity. *Langmuir*, 19, pp 10372-10380.
- + Zouar Mohamed 2013. Invest in Algeria, 19.

Annexe

Tableau 01: Résultats des analyses bactériologiques de l'eau usée avant et après traitement par les différents procédés de traitement utilisés (prise par BOUREGAA et BOUCHELEGHEM, 2015).

Milieu	Avent	Aprés	Ag	Fe ₂ O ₃	LE
Mac Conky					
Hektoen					
SS					
Chapman					
GNAB					
Cétrimide					



A

B

Photo 1 : Traitement d'eau usée par les lentilles d'eau avant (A) et après(B) (prise par BOUREGGA, 2015)



Photo 2 : Prélèvement à l'aide d'un agent au STEP (Sortie de STEP) (prise par BOUCHELEGHEM,2015)

Tableau 02 : Les différents procédés de traitement au niveau de la station d'épuration
(STEP de Guelma, 2008)



Bassins de dessablage, déshuilage et dégraissage



Décanteur primaire



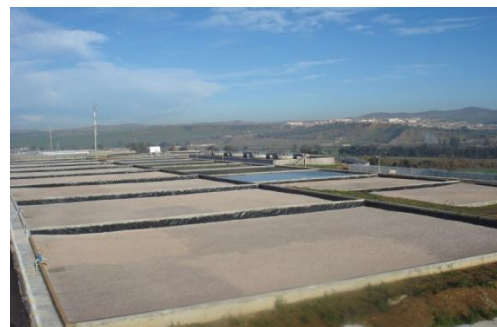
Bassin de traitement biologique



Bassin de clarification



Bassin de désinfection



Lits de séchages

Tableau 03 : Normes physico-chimiques de rejets de l'OMS (1989).

Paramètres	Normes
T°	30 °C
pH	6.5-8.5
O ₂	5mg/l
DB0 ₅	30mg/l
DCO	90mg/l
MES	30mg/l

Tableau 04: Normes de rejet des eaux résiduaires traitées d'après le Journal Officiel de la République Algérienne (Avril 2006)

Paramètres Unités	Valeurs Maximales
Température	30°C
PH	6,5 à 8,5
DCO	120 Mg/l
Matière en Suspension	35 Mg/l
DBO₅	35 Mg/l

Tableau 05: Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées traités par la STEP

Paramètres Date de prélèvement	T°C	pH	CE (μS/cm)	O₂ (mg/l)	MES (mg/l)	DCO (mgO₂/l)	DBO₅ (mgO₂/l)	Rapport DCO/ DBO₅	Rh (mv)	Turbidité (NTU)
08/03/2015	12,8	7,87	1310	5,1	02	46	16	2,88	300	4,77
30/03/2015	15,8	7,28	1070	6,64	12	66,64	15	4,44	154	5 ,17
18/04/2014	20,8	7,93	1250	6,46	17	47	11,7	4,02	240	6,43
Moyenne	16,76	7,56	1150	6,07	10,33	53,25	14,23	3,78	203,33	5,46

Tableau 06: Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées traité par l'Fe₂O₃

Paramètres Date de prélèvement	T°C	pH	CE (μs/cm)	O₂ (mg/l)	MES (mg/l)	DCO (mgO₂/l)	DBO₅ (mgO₂/l)	Rapport DCO/ DBO₅	Rh (mv)	Turbidité (NTU)
08/03/2015	10,1	7,90	1421	6,81	04	43,07	14	3,07	303	11,09
30/03/2015	11,7	7,6	1140	7,6	09	70,21	18	3,90	205	13,1
18/04/2014	15	7,89	1546	7,35	14	68	10	6,8	343	14 ,6
Moyenne	12,26	7,79	1369	7,25	09	60,42	14	4,59	283,33	12,93

Tableau 07: Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées traité par l'Ag

Paramètres Date de prélèvement	T°C	pH	CE (µs/cm)	O₂ (mg/l)	MES (mg/l)	DCO (mgO₂/l)	DBO₅ (mgO₂/l)	Rapport DCO/ DBO₅	Rh (mv)	Turbidité (NTU)
08/03/2015	12,9	7,88	1500	7,77	02	18,31	6	3,05	310	2,52
30/03/2015	10,9	7,72	1180	8,38	08	30,64	6	5,10	4020	3,38
18/04/2014	15,5	7,95	1551	7,92	13	32	7	4,57	332	4,71
Moyenne	13,06	7,85	1419,33	8,02	7,66	26,98	6,33	4,24	354	3,70

Tableau 08: Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées traité par (les lentilles d'eaux)

Paramètres Date de prélèvement	T°C	pH	CE (µs/cm)	O₂ (mg/l)	MES (mg/l)	DCO (mgO₂/l)	DBO₅ (mgO₂/l)	Rapport DCO/ DBO₅	Rh (mv)	Turbidité (NTU)
08/03/2015	15,9	7,79	1375	7,34	19	28,5	4,69	6,08	269,5	34,2
30/03/2015	11,9	7,75	1150	7,58	28	28	4,47	6,26	216	33,6
18/04/2014	19,9	8	1600	7,1	10	29	4,92	5,9	323	34,8
Moyenne	15,9	7,79	1375	7,34	19	28,5	4,69	6,08	269,5	34,2

Tableau 09 : Résultat d'analyse bactériologique de l'eau usée traité par la STEP

Date de prélèvement	Flore mésophile aérobie total (UFC/ml)	Coliformes (germe / 100ml)		Streptocoques Fécaux (germe / 100ml)	Clostridium sulfite réducteur (germe /20ml)
		Totaux	Fécaux		
08/03/2015	8.10^3	30.10^3	$0,6.10^3$	$1,2.10^3$	94
30/03/2015	$9,3.10^3$	25.10^3	$0,4.10^3$	2.10^3	Indénombrable
18/04/2015	$1,5.10^4$	35.10^3	$0,5.10^3$	$2,5.10^3$	Indénombrable
Moyenne	$6,27 .10^3$	$5,2.10^2$	$0 ,5.10^2$	$1,7.10^2$	Indénombrable

Tableau 10 : Résultat de recherche des germes pathogènes d'eau usée traité par la STEP

Date de prélèvement	Germes pathogènes				
	Staphylocoque	Salmonelle	Vibrion cholérique	Shigelles	Pseudomonas
08/03/2015	Présence	Absence	Absence	Absence	Absence
30/03/2015	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
18/04/2015	Présence	Absence	Absence	Absence	Absence

Tableau 11 : Résultat d'analyse bactériologique de l'eau usée traité par l'oxyde de fer

Date de prélèvement	Flore mésophile aérobie total (UFC/ml)	Coliformes (germe / 100ml)		Streptocoques Fécaux (germe / 100ml)	Clostridium sulfite réducteur (germe /20ml)
		Totaux	Fécaux		
08/03/2015	12	2	0,8	8,5	0
30/03/2015	10	1,4	0,9	9,5	0
18/04/2015	15	2	1,1	12	0
Moyenne	14	1,8	0,9	10	0

Tableau 12 : Résultat de recherche des germes pathogènes de l'eau usée traité par l'oxyde de fer

Date de prélèvement	Germes pathogènes				
	Staphylocoque	Salmonelle	Vibrion cholérique	Shigelles	Pseudomonas
08/03/2015	Présence	Absence	Absence	Absence	Absence
30/03/2015	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
18/04/2015	Présence	Absence	Absence	Absence	Absence

Tableau 13 : Résultat d'analyse bactériologique de l'eau usée traité par l'Argent

Date de prélèvement	Flore mésophile aérobie total (UFC/ml)	Coliformes (germe / 100ml)		Streptocoques Fécaux (germe / 100ml)	Clostridium sulfito réducteur (germe /20ml)
		Totaux	Fécaux		
08/03/2015	0	0	0	0	0
30/03/2015	0	0	0	0	0
18/04/2015	0	0	0	0	0
Moyenne	0	0	0	0	0

Tableau 14 : Résultat de recherche des germes pathogènes de l'eau usée traité par l'Argent

Date de prélèvement	Germes pathogènes				
	Staphylocoque	Salmonelle	Vibrion cholérique	Shigelles	Pseudomonas
08/03/2015	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
30/03/2015	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
18/04/2015	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence

Tableau 15 : Résultat d'analyse bactériologique de l'eau usée traité par les lentilles d'eaux

Date de prélèvement	Flore mésophile aérobie total (UFC/ml)	Coliformes (germe / 100ml)		Streptocoques Fécaux (germe / 100ml)	Clostridium sulfite réducteur (germe /20ml)
		Totaux	Fécaux		
08/03/2015	3.10 ²	3,4.10	1,3.10	10	0
30/03/2015	4,5.10 ²	2.10	0,4.10	10	0
18/04/2015	2.10 ²	1,7.10 ²	0,9.10	10	0
Moyenne	3,3.10 ²	18,5	6,5	10	0

Tableau 16 : Résultat de recherche des germes pathogènes de l'eau usée traité par les lentilles d'eaux

Date de prélèvement	Germes pathogènes				
	Staphylocoque	Salmonelle	Vibrion cholérique	Shigelles	Pseudomonas
08/03/2015	Présence	Absence	Absence	Absence	Absence
30/03/2015	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
18/04/2015	Présence	Absence	Absence	Absence	Absence

2. Discussion

Dans la plupart des cas, les systèmes de traitement des eaux usées mis en place dans les pays en développement ont été conçus en se basant sur ceux qui existent dans les pays développés. Le manque d'espace ainsi que les prix souvent élevés des terrains dans les zones urbanisées des pays développés ont favorisé le choix de systèmes d'épuration très condensés, composés d'équipements sophistiqués demandant une technicité de haut niveau de la part de leurs gestionnaires, ainsi que d'importants moyens financiers pour faire face aux frais d'exploitation et à la maintenance du matériel (cas notamment des systèmes classiques de traitement par boues activées) (Idder et *al.*, 2012).

L'autre problème est que les traitements classiques de type physique, physicochimique et biologique sont d'une efficacité relativement faible vis-à-vis de l'élimination de la pollution microbienne. Ces procédés ne permettent pas d'atteindre le niveau de qualité recommandé pour l'irrigation illimitée de toutes les cultures ou pour l'élevage piscicole (WHO, 2006).

Les traitements complémentaires de désinfection comme l'ozonation, la chloration ou les rayonnements ultraviolets peuvent être efficaces en ce qui concerne la réduction des coliformes fécaux, mais leur efficacité vis-à-vis de l'élimination des parasites reste très variable d'un procédé à l'autre. La chloration, par exemple, même soigneusement effectuée, n'a ainsi pratiquement aucun effet sur les œufs d'helminthes. Elle présente, en outre comme on sait, le désavantage de conduire à la formation de sous-produits indésirables et extrêmement toxiques dont certains peuvent être cancérigènes : produits organochlorés (Idder et *al.*, 2012) .

Il existe des procédés d'épuration relativement simples à mettre en œuvre et ne nécessitant que peu de moyens humains et financiers pour leur exploitation et qui sont capables de fournir des eaux épurées qu'on peut réutiliser sans risques sanitaires majeurs et sans avoir nécessairement recours aux techniques complémentaires de désinfection. Parmi ces procédés on retrouve le lagunage qui est par excellence l'une des techniques d'épuration des eaux usées les plus adaptées aux contextes des pays en développement. Cette technique présente également l'avantage de fournir, dans le cas de l'utilisation de macrophytes, un rendement économique amélioré grâce à l'utilisation de la biomasse végétale produite pour l'élevage piscicole. Le lagunage peut par conséquent constituer une alternative crédible pour le traitement des eaux usées dans les zones urbaines des pays en développement lorsque les conditions naturelles le permettent (Idder et *al.*, 2012).

Les nanoparticules manufacturées sont porteuses d'espoirs et d'attentes et notamment dans le domaine environnemental. Elles sont utilisées sous forme des membranes de filtration nano-poreuses, des catalyseurs ou de nano-adsorbants pour le traitement de pollutions, contrôle de la pollution de l'eau et de la qualité de l'air, la dépollution des eaux souterraines ou encore le traitement de l'eau potable (Auffan, 2007), c'est une nouvelle technologie qui met des nouveaux catalyseurs supportés pour la dépollution des eaux usées (Alahiane et *al.*, 2012). Dans cette étude, nous nous sommes fixés pour but d'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes de la station d'épuration (Willaya de Guelma) avant et après traitement par la STEP, par les nanoparticules (Ag et Fe₂O₃) et par les lentilles d'eau (*Lemna gibba*).

La température joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz et conditionne les équilibres de dissociation, Elle agit sur la conductivité électrique (El Maroufy, 1992).

Généralement, les valeurs moyennes et extrêmes de la température des eaux usées au cours des périodes d'étude varient entre 12,26°C et 16,76°C avant et après traitement par la STEP et 15,9°C après épuration par les lentilles d'eaux, et la valeur varie entre 12,26°C et 13,06°C après traitement par les nanoparticules métalliques et Les valeurs de la température sont inférieure à la norme 30°C, considérée comme valeur limite des rejets directs dans le milieu récepteur. Nos résultats concordent avec les travaux d'El-Guamri et *al.*,(2007) et Oulkheir (2002) et de Seidl (2002).

Le potentiel d'Hydrogène est un indicateur de la pollution, il varie suite à la nature des effluents basiques (Cuisson, lavage...) ou acide (les acide acétique et les dérivés chlorés...). La gamme du pH biologique se situe entre 6,5 et 8,5. En dehors de cette gamme, le pH a des effets néfastes sur la vie aquatique et bloque les processus d'autoépuration, une baisse de pH peut augmenter la toxicité (Rodier, 1996). Pendant notre période d'étude, les analyses effectuées montrent que le pH de l'ensemble des échantillons des eaux usées brutes avant et après traitement par la STEP, par les deux molécules nanométriques et par les lentilles d'eaux varie entre 7,56 et 7,85. Les valeurs de pH mesurés sont proches de celles proposées par les normes Algériennes de qualité des eaux usées destinées à l'irrigation, se trouve dans l'intervalle admis (6,5-8,5) considéré comme valeur limite des rejets des effluents liquide déversés dans le milieu naturel (JORA, 2006).

Le potentiel redox est une grandeur de mesure permettant de quantifier la présence d'oxydant dans un fluide dans certaines conditions. Lorsqu'il est positif il traduit une activité

électronique faible, donc une capacité à prendre des électrons (pouvoir oxydant), inversement quand les valeurs du potentiel redox sont négatives (ils absorbent des électrons), il entend une capacité importante à prendre les électrons (Sadek et *al.*, 2012). Durant notre étude, toutes les valeurs du potentiel redox sont positives, avant et après traitement par les différents procédés de traitement utilisés ce qui indique un pouvoir oxydant important (Bedouh, 2014).

La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension finement divisées: argile, limons, grains de silice, matières organiques,...etc. L'appréciation de l'abondance de ces matières mesure son degré de turbidité, Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace (Sadek et *al.*, 2012). La valeur moyenne enregistrée de la turbidité des eaux usées de la ville de Guelma au cours des périodes d'étude est (172,33NTU), cette valeur est supérieure à la norme (50 NTU), considérées comme valeurs limites de rejets directs dans le milieu récepteur (J.O.R.A, 2006).

Concernent les résultats après traitement par les différents procédés, on note que les résultats obtenus varient entre 3,7 et 34,2NTU. Ces résultats sont inférieurs à la norme (50 NTU), considérées comme valeurs limites de rejets directs dans le milieu récepteur (J.O.R.A, 2006).

L'oxygène dissous (O_2) est très important par le fait qu'il conditionne l'état de plusieurs sels minéraux, la dégradation de la matière organique et la vie des animaux aquatiques. Il joue un rôle primordial dans le maintien de la vie aquatique dans l'autoépuration. Sa présence dans les eaux naturelles est déterminée principalement par la respiration des organismes, par l'activité photosynthétique de la flore, par l'oxydation et la dégradation des polluants et enfin par les échanges air-eau, L'oxygène dissous est un paramètre important à prendre en considération, car il renseigne sur l'état de l'eau et d'autre part il favorise la croissance des micro-organismes qui dégradent la matière organique. En général, les valeurs faibles de l'oxygénées dissous favorisent le développement des germes pathogènes (Belghiti et *al.*, 2013).

La déficience en oxygène dissous ne signifie pas que l'oxygène n'est pas disponible pour l'activité biologique, mais plutôt que tous l'oxygène qui se diffuse de l'air à l'eau a été consommé jusqu'aux niveaux non détectables par la méthode analytique. De plus, la diffuse d'oxygène dans l'eau augmente le potentiel redox, De plus les bactéries réductrices de sulfate (SRB) convertissent le sulfate en sulfure d'hydrogène. Ces bactéries se croissent en absence d'oxygène et demandent le potentiel redox négatif. L'augmentation du potentiel redox inhibe ces bactéries (Anonyme, 2009).

Les résultats obtenus montrent que l'oxygène dissous (O_2) des eaux usées brutes avant et après traitement varie entre 3,99mg/l et 8,02mg/l, les valeurs après traitement dépassent légèrement la norme de l'OMS (1989) et celle du Journal Officiel de la République Algérienne (JORA, 2006).

La conductivité électrique d'une eau est définie comme étant la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 , elle s'exprime en $\mu\text{S/cm}$. La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution (Bremont et Vuichard, 1973).

Les analyses effectuées montrent que les valeurs de la conductivité électrique de l'ensemble des échantillons des eaux brutes avant et après traitement par les différents procédés utilisés varient de $1260\mu\text{S/cm}$ à $1410,33\mu\text{S/cm}$ notamment inférieure à $3000\mu\text{S/cm}$ qui est la norme européenne des rejets et inférieure à $2000\mu\text{S/cm}$ qui est la norme Algérienne (JORA, 2006).

Les matières en suspension sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures (Faby, 1997).

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux usées. La quantité de la matière en suspension dans les eaux brutes est de l'ordre de 244mg/l, cette dernière dépasse la norme Algérienne qui fixe la teneur de MES à 35mg/l (JORA, 2006) et celle de l'OMS (1989). Ces résultats sont liés souvent à la charge importante en matières organique et minérale engendrées par les diverses activités de la population urbaine (Souiki, 2008), Nos résultats concordent ceux de (Sadek et al., 2012).

Après traitement des eaux usées brutes par les différents procédés, les résultats obtenus varie de 19 mg après épuration par les lentilles d'eaux à 7,66 mg après traitement par l'Ag, ces valeurs restent inférieures à la norme de l'OMS (OMS, 1989) et celle du Journal Officiel de la République Algérienne (J.O.R.A ,2006).

La demande Biochimique en Oxygène exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de microorganismes, dans des conditions données (5 jours à 20°C , à l'abri de la lumière et de l'air) on parle alors de la DBO_5 (Belghiti et al., 2013). L'effet principal d'un rejet de matières

organiques biodégradables dans le milieu naturel correspond à la consommation d'oxygène qui en résulte. La détermination de la DBO₅ a donc pour but d'évaluer cette nuisance et d'estimer les effets (Franck, 2002).

La valeur moyenne enregistrée de la DBO₅ des eaux usées brutes est 186,33mg/l d'O₂, ces valeurs de la DBO₅ dépassent largement la norme Algérienne qui fixe la teneur de la DBO₅ à 35mg/l (JORA, 2006) et celle de l'OMS (1989).

La demande chimique en oxygène (DCO) est un indicateur de la teneur en matière organique et en sels minéraux oxydable. La valeur moyenne enregistrée de la DCO des eaux brutes est 295,2mg O₂/l cette valeur de la DCO est supérieure aux normes de l'OMS (1989) et celle du Journal Officiel de la République Algérienne (JORA, 2006).

Les pourcentages d'abattements de l'ordre de 79,53% ,92,49% et 96,31% respectivement pour la DCO, la DBO₅ et les MES sont observés après traitement des eaux brutes par (Fe₂O₃), de l'ordre de 90,86% ,96,60% et 96,86% respectivement pour la DCO, la DBO₅ et les MES après traitement de l'eau brute par l'argent , de l'ordre de 90,35% , 97,48% et 92,21% respectivement pour la DCO, la DBO₅ et les MES après traitement par les lentilles d'eau et de l'ordre de 81,96% ,92,36% et 95,77% respectivement pour la DCO, la DBO₅ et les MES, après traitement par la STEP en enregistrant par rapport à l'eau brute avant traitement.

Les abattements observés avec les nanomatériaux sont expliqués par l'effet du catalyseur (Ag ou le Fe₂O₃) seul qui a été à l'origine d'une diminution de la teneur de la matière organique. Cette diminution, pourrait être expliquée par l'adsorption de la matière organique sur la surface du catalyseur (Gebrati *et al.*, 2010) .

Ce résultat est en parfait accord avec une étude réalisée par Méndez-Arriagaet *al* (2008) sur la dégradation de NSAID (No Steroidal Anti-inflammatory Drugs) par traitement catalytique. Ce phénomène d'adsorption d'après Chen *et al* (1995) présentait au cours du processus un effet sur la cinétique de dégradation catalytique. Le processus d'adsorption sur la surface des nanoparticules est dû à la formation d'une surface complexe par des bondes covalentes avec les ions (Hohl et Stumm, 1992) ou à la formation des liaisons hydrogènes avec les molécules polaires (Bowers et Huang, 1985). D'autre part, l'effet des nanoparticules sera efficace uniquement lors de l'irradiation par la lumière UV (Bennabbou *et al.*, 2007).

Nos résultats concertants le rendement d'épuration observée avec les lentilles d'eaux sont parfaitement d'accord avec les travaux réalisés par Ben Chehem *et al* (2014) qui ont travaillé sur

Inventaire des études scientifiques relatives à la réutilisation des eaux usées dans le domaine piscicole, et ceux de Souiki (2008).

D'autres travaux concordent nos résultats ceux de Idder et *al.*, (2012) qui ont étudié les capacités épuratoires de la lentille d'eau sous climat sahélien, les résultats épuratoires obtenus grâce à l'utilisation de la lentille d'eau montrent un abattement significatif de la charge polluante pouvant atteindre plus de 70 % pour l'azote ammoniacal et plus de 80 % pour le phosphore et près de 70% pour la DBO.

Nos résultats concernant le rendement d'épuration observée avec la STEP sont parfaitement d'accord avec les travaux réalisés par Bedouh (2014) qui a étudié l'évaluation de la Toxicité des eaux usées Traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon « *Allium cepa* ».

Le rapport DCO/DBO₅ évalue la biodégradabilité d'une eau usée, c'est-à-dire la faculté de transformation de la matière organique en matière minérale, admissible par le milieu naturel. Les résultats de ce rapport constituent une indication de l'importance des matières polluantes peu ou pas biodégradable (Belghyti et *al.*, 2009).

Le rapport DCO/DBO₅ des eaux usées brutes varie de (1,12 à 1,81). Ces rapports sont inférieurs à 3 (conforme avec celui des eaux usées urbaines à dominance domestique présentant un rapport DCO/DBO₅ inférieur à 3 (Belhadj, 2006).

Les résultats montrent que les eaux usées brutes sont caractérisées par des concentrations de la flore mésophile aérobie totale (FMAT) comprises entre 5.10^4 et $6,1.10^5$ FMAT/ml avec une concentration moyenne est de $3,9.10^5$ FMAT/ml, ce nombre important de la (FMAT) peut indiquer la présence des germes pathogène (El-Amiri et *al.*, 2010).

Le pourcentage maximal d'abattement de la (FMAT) est de l'ordre de 100%, 99,99%, 98,39% et de 99,92% respectivement dans les eaux usées brutes après traitement par Ag, Fe₂O₃, après épuration par la STEP et par les lentilles d'eau.

Le dénombrement des bactéries indicatrices de la contamination fécale est réalisé selon la méthode du Nombre le Plus Probable (NPP), Les coliformes totaux sont utilisés comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau, ils peuvent indirectement associer à une pollution d'origine fécale (Rodier, 2009) L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est *Escherichia coli*, dans une moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella*. La bactérie *E. coli* représente toutefois 80% à 90 % des coliformes thermotolérants détectés. (Prescott et *al.*, 2003). les valeurs enregistrées varient

de 160.10^3 à 180.10^3 CT/100 ml avec une valeur moyenne de 173.10^3 CT/100ml dans les eaux brutes avant traitements.

Après traitement par les Nps, les rendements d'épurations sont respectivement de l'ordre 99,99% et 100% des eaux brutes après traitement par le Fe_2O_3 et Ag et de l'ordre de 99,70% et 99,98% des eaux brutes après traitement par la STEP et par les macrophytes.

La présence de coliformes totaux dans les eaux traitées ou leur dépassement par rapport aux normes réglementaires n'implique pas nécessairement un risque pour la santé publique, en effet, la plupart des espèces de ce groupes se trouvent naturellement dans le sol ou la végétation (Edberg *et al.*, 2000).

La présence de coliformes fécaux témoigne d'une habituellement d'une contamination d'origine fécale ou provenant d'eaux enrichies en matières organiques (Barthe *et al.*, 1998). Les valeurs enregistrés reste supérieur à la norme de l'OMS (1000 germes /100ml) (OMS, 1989).

Les streptocoques fécaux sont susceptibles de contaminer les approvisionnements, ils sont typique des déjections animales. Ils peuvent parfois être présents chez l'homme ou dans les végétaux (Bitton, 1999). Les résultats de la recherche et du dénombrement des Streptocoques fécaux dans les eaux brutes avant traitements montrent que les concentrations déterminées varient entre 2.10^3 germes/100ml et 5.10^3 germes/100ml avec une moyenne $3,5.10^3$ germes/100ml. Nous constatons que les pourcentages d'abattements sont respectivement de l'ordre de 99,71% ,100% , 95,14% et 99,71% des eaux usées brutes après traitement par le Fe_2O_3 ,Ag, la STEP et par les lentilles d'eaux.

D'autres travaux concordent nos résultats ceux de Idder *et al.*, (2012) qui ont étudié les rendements d'élimination des indicateurs bactériologiques de pollution, il atteint 1 unité logarithmique dans les bassins à macrophytes, ce qui montre l'influence positive de la lentille d'eau sur l'abattement de la pollution microbienne, le pourcentage d'abattement des Streptocoques fécaux et des coliformes fécaux est(99,95%).

L'origine de la contamination fécale est déterminée par le rapport quantitatif R: CF/SF. Selon les critères définis par Borrego et Romero (1982), la contamination est d'origine animale si le rapport R est inférieur à (0,7), elle est d'origine humaine si R est supérieur à 4. L'origine de la contamination est mixte à prédominance animale si R est compris entre 0,7 et 1. Cette origine est incertaine si R est compris entre 1 et 2 et l'origine est dite mixte à prédominance humaine si R se situe entre 2 et 4. L'origine de la contamination des eaux brutes est mixte à prédominance humaine (R inférieur à 4).

Les Anaérobies sulfite réducteurs, permettent de mettre en évidence un groupe de bactéries anaérobies, caractérisées par la résistance de leurs spores et par un équipement enzymatique réduisant plus au moins activement les sulfites en sulfures (Attab, 2011).

Les *Clostridium* sulfite-réducteurs sont souvent considérés comme des témoins de pollution fécale. La forme spore, beaucoup plus résistante que les formes végétatives des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux, permettrait ainsi de détecter une pollution fécale ancienne ou intermittente. Sans débattre de l'intérêt réel d'une telle indication concernant la date de la pollution, il faut cependant considérer que si les *Clostridium* sulfite-réducteurs peuvent certes être des germes fécaux, ce sont également des germes telluriques et que, de ce fait, aucune spécificité d'origine fécale ne peut être attribuée à leur mise en évidence.

Les résultats de recherche et dénombrement des *Clostridium* sulfite réducteurs dans les eaux brutes avant traitements et après traitement par la STEP montrent que les concentrations déterminées sont indénombrables.

La présence de *Clostridium* sulfite réducteur témoigne d'une contamination tellurique (Rejesk, 2002), leur action protéolytique est mise en évidence par l'odeur putride qui se dégage des rejets, Nos résultats sont en accord avec ceux de Souiki (2008). Le rendement d'élimination des *Clostridium* sulfite réducteurs dans les eaux usées brutes après traitement par les Nps sont de l'ordre de 100% pour celle traitées par le Fe_2O_3 , Ag, et les lentilles d'eau.

La recherche des germes pathogènes a révélé l'absence de Salmonelles, Shigelles et de Vibron cholérique dans les eaux usées brutes avant et après traitements, ces résultats correspondent aux normes de l'OMS qui exigent une absence absolue de ces germes dans les eaux destinées à l'irrigation des cultures maraichères (OMS, 2001). Ces résultats sont en accord avec ceux de Cheghib et Fecih (2014) qui ont mis en évidence l'absence de Salmonelles et de Vibron cholérique dans les eaux usées brutes avant et après traitement par les Nps.

La présence des Staphylocoques (*S. epidermidis*) dans les eaux brutes démontrant ainsi leur résistance au chlore et aux produits de désinfection, ces germes ont la capacité à survivre longtemps dans les sols et à la surface des plantes (CEAEQ, 2012) Ce résultat ne correspond pas aux normes de l'OMS qui exigent une absence absolue de ces germes dans les eaux destinées à l'irrigation des cultures maraichères (OMS, 1989), nous constatons une absence de ces germes après traitement par l'Ag, une diminution des UFC dans les eaux brutes traitées par le Fe_2O_3 , la STEP et après épuration par les macrophytes par rapport à l'eau brute.

La recherche des *Pseudomonas* a révélé l'absence totale de ces germes dans les eaux usées brutes avant et après traitements. Ce résultat correspond aux normes de l'OMS qui exigent une absence absolue de ces germes dans les eaux destinées à l'irrigation des cultures maraichères (OMS, 1989).

Nos résultats concernant les pourcentages d'abattements observés après traitements des eaux brutes par les nanomatériaux sont expliqués par l'activité antibactérienne des Nps, nos résultats sont en accord avec les résultats de Stoimenov (2000) qui a mis en évidence l'activité bactéricide des oxydes nanométrique sur des formes végétative (de *E.coli*, *Bacillus megaterium*) et sporulées (*Bacillus subtilis*). Un effet sur les membranes bactériennes ainsi qu'un effet de rupture sur les spores a pu être mis en évidence.

D'autres travaux concordent nos résultats ceux de Zhang et al (2003) qui ont montré des propriétés antibactérienne des nanocomposites composé de titane recouvert de nanoparticule d'argent, l'effet bactéricide a été mesuré dans l'eau sur *Micrococcus lylae*. Nos résultats vont aussi dans le même sens que ceux de Jain et Pradeep (2005), qui ont produit une mousse de polyuréthane saturé de nanoparticule d'Ag par imbibition dans une solution de nanoparticule d'Ag pendant une nuit, l'effet antibactérien est mis en évidence par le contact de deux solutions (10^3 UFC/ml - 10^5 UFC/ml) avec la mousse de polyuréthane recouverte d'argent pendant 10 min ensuite la mousse est retirée du tube, pressé et l'eau extraite (eau traité) est mise en culture, aucune bactérie (*E. coli*) n'est détecté dans l'eau traitée.

D'autre part, l'activité antibactérienne de certaines nanoparticules sera efficace uniquement lors de l'irradiation par la lumière UV et que la lumière visible n'est pas assez puissante et/ou n'émette pas dans les bonnes longueurs d'ondes pour avoir un effet bactéricide (Chen et Mao, 2007).

Nos résultats concertants les rendements d'élimination des bactéries par les lentilles d'eaux sont en accord avec les travaux de Ben Chehmet al., (2014) qui ont mis en évidence la faisabilité du traitement des eaux usées dans un système d'agriculture urbaine. Le système de lagunage dans la région atteint un très bon niveau d'abattement microbien.

1. Résultats

1.1 Résultat des analyses physico-chimiques de l'eau usée brute (Entrée de la STEP)

Les résultats des différents paramètres physico-chimiques d'eau usée brute en amont de la STEP (Guelma) sont enregistrés dans le tableau (05).

La température nécessite une mesure momentanée qui dépend de l'heure de prélèvement et du lieu, les résultats de la température montrent une valeur comprise entre (12,9° - 18, 9° C) avec une moyenne égale à 15,76°C pendant la période d'étude. Ces valeurs sont inférieures à la norme 30°C, considérée comme valeur limite de rejets des eaux usées (OMS, 1989).

Le pH est un caractère fondamental, c'est un indice d'acidité d'une substance dans l'eau. Nos résultats indiquent un pH varie de (7,48-7,91) avec une valeur moyenne de (7,62), respectant la norme des eaux usées délimitées [6 - 9] (OMS, 1989).

Concernant le potentiel redox, les valeurs enregistrées oscillent entre (147 - 243 mV) avec une valeur moyenne de 203 (mV). Les valeurs enregistrées demeurent positives ce qui indique un pouvoir oxydant important.

Pour l'ensemble des prélèvements l'oxygène dissous présente des valeurs passables oscille entre 3,6mg/l et 4,48 mg/l avec une valeur moyenne 4mg/l, donc ces valeurs sont inférieures à (5mg/l) qui est la norme citée par le Journal Officiel de la République Algérienne (J.O.R.A, 2006) et l'OMS (1989).

Pour la minéralisation des eaux, la valeur de la conductivité électrique enregistrée se situe entre 1010µS/cm et 1460 µS/cm avec 1260µS/cm comme valeur moyenne, ces résultats restent toujours inférieur à la norme algérienne (J.O.R.A, 2006).

Les valeurs de turbidité varient de (131 NTU à 184 NTU) avec une valeur moyenne de l'ordre de (172,33NTU). Ces résultats dépassent la valeur admissible par la Norme du Journal Officiel de la République Algérienne limitée à (50 NTU) (J.O.R.A, 2006), ces résultats indiquent que l'eau brute est excessivement polluée.

En ce qui concerne la teneur enregistrée de la matière en suspension (MES) qui oscillent entre 120mg/l et 400mg/l et de 244mg/l comme valeur moyenne, ces résultats dépassent très loin la valeur admissible par la norme de rejet de l'OMS (30 mg/l) et à celle du Journal Officiel Algérien limitée à 35 mg/l (JORA, 2006).

Les principaux paramètres de qualité habituellement étudié pour évaluer de façon indirecte la charge organique globale contenue dans une eau usée sont la demande biochimique en oxygène (DBO_5) représentant la qualité de matière organique biodégradable, et la demande chimique en oxygène (DCO) qui rend compte de la qualité des principaux éléments carbonés biodégradables ou non, susceptibles d'être oxydés chimiquement dans le milieu récepteur.

Ainsi pour l'eau brute pendant notre période d'étude, les valeurs de la DBO_5 sont comprises entre 179 mgO_2/l et 201 mgO_2/l avec une valeur moyenne de 186,33 mgO_2/l .

Les valeurs de la DBO_5 enregistrées sont supérieures aux normes algériennes de rejet (35 $mg O_2/l$), et celles du Journal Officiel de la Communauté Européenne (30 $mg O_2/l$) ainsi qu'aux normes extrêmes, limitées aux eaux d'irrigations et l'OMS (1989) (<30 $mg O_2/l$) (OMS.1989).

Les valeurs enregistrées de la DCO sont de 199,92 à 323,68 mgO_2/l avec une valeur moyenne de 295,2 mgO_2/l , par ailleurs ces résultats dépassent la norme algérienne de rejet (120 mgO_2/l), celle du Journal Officiel de la Communauté Européenne (125 mgO_2/l), dépassent largement les normes de l'OMS (<90 mgO_2/l), et celles des eaux destinées à l'irrigation (<40 mgO_2/l).

Tableau 05: Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées de la ville de Guelma.

Paramètres Date de prélèvement	T°C	pH	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	O ₂ (mg/ l)	MES (mg/l)	DCO (mgO ₂ /l)	DBO ₅ (mgO ₂ /l)	Rapport DCO/ DBO ₅	Rh (mv)	Turbidité (NTU)
08/03/2015	12,9	7,48	1310	3,6	120	199,92	179	1,12	220	131
30/03/2015	15,5	7,48	1010	4,48	212	323,68	179	1,81	147	184
18/04/2015	18,9	7,91	1460	3,9	400	362	201	1,80	243	202
Moyenne	15,76	7,62	1260	3,99	244	295,2	186,33	1,58	203,33	172 ,33

1.2 Résultats des analyses physico-chimiques d'eau brute traitée par les différents procédés (STEP, Ag, Fe₂O₃, LE)

Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures (12 à 17).

Après traitement d'eau brute par les différents procédés utilisés, on note que la température est respectivement de l'ordre de 16,76C°, 15,9C°, 13,06C°, et 12,26C° après traitement par STEP, les lentilles d'eau, Ag et le Fe₂O₃, ces valeurs restent inférieures à la norme Algérienne (<30), considérée comme valeur limite de rejets des eaux directes dans le milieu récepteur (OMS, 1989) et aussi une valeur limite indicative pour les eaux usées destinées à l'irrigation des cultures (JORA, 2006).

Après traitement d'eau brute par les différents procédés utilisés, on note que le pH est respectivement de l'ordre de 7,56 ; 7,79 ; 7,85 et 7,79 après traitement par STEP, les lentilles d'eau, Ag et le Fe₂O₃, ces valeurs restent inférieures aux normes Algériennes (6,5 - 8,5) et celle de l'OMS (OMS, 1989).

En ce qui concerne le potentiel redox, les valeurs enregistrées sont respectivement de l'ordre de 354 (mV) et 283,33 (mV), 269,5(mV), et 231,33 (mV), après traitement par l'argent, l'oxyde de fer, la STEP et les lentilles d'eaux, les valeurs positives ce qui indique un pouvoir oxydant important.

Concernant la conductivité électrique les résultats enregistrés sont respectivement de l'ordre de : 1410,33µs/cm, 1375µs/cm, 1369 µs/cm, et 1150µs/cm, après traitement d'eau brute par l'Ag, les lentilles d'eaux, le Fe₂O₃, et par STEP. Les valeurs observées sont situées dans la plage des valeurs admissibles recommandées par la FAO qui sont inférieures à 3000 µS/cm, et même ils sont inférieurs à la norme algérienne pour les eaux d'irrigation qui exige une conductivité électrique inférieure à 2000 µS/cm (JORA, 2006).

Concernant l'oxygène dissous les résultats enregistrés sont respectivement de l'ordre de 8,02mg/l, 7,34mg/l, 7,25mg/l, et 6,07mg/l après traitement par l'Ag, les lentilles d'eaux, la STEP, et l'oxyde de fer.

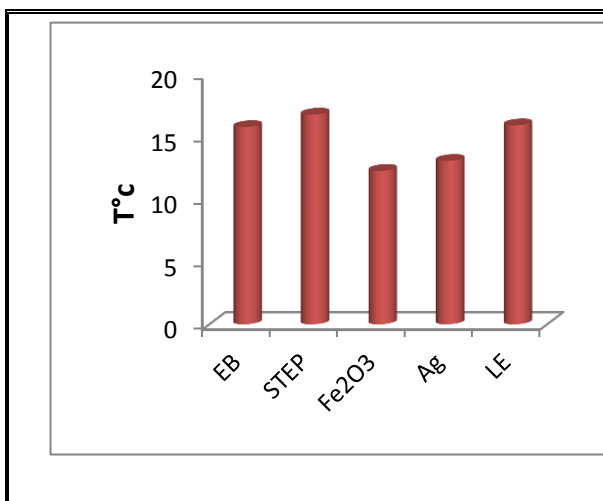


Figure 12: Evolution de la température de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.

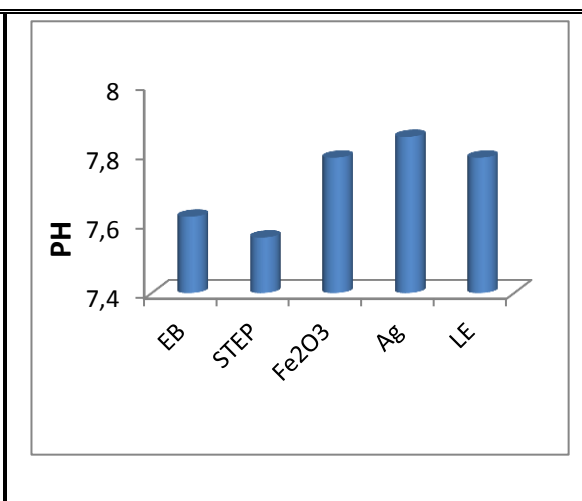


Figure 13: Evolution du PH de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.

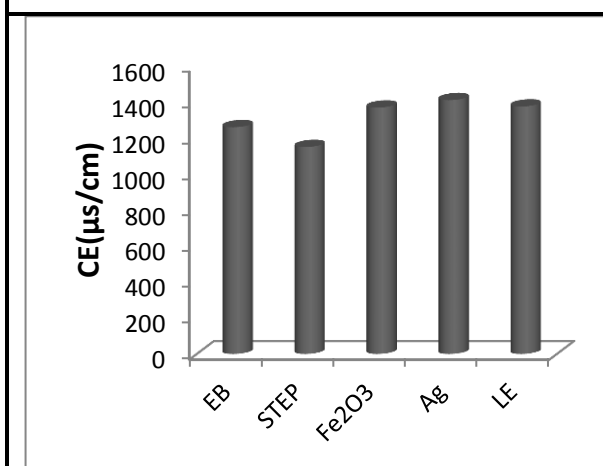


Figure 14: Evolution de la CE de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.

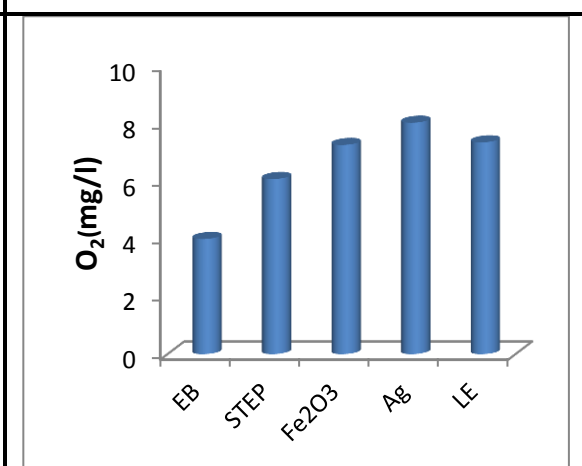


Figure 15: Evolution d'O₂ de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.

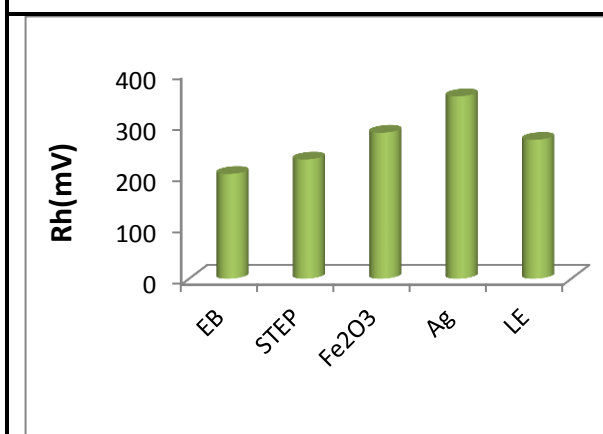


Figure 16 : Evolution du Rh de l'eau traitée par différents procédés étudiés.

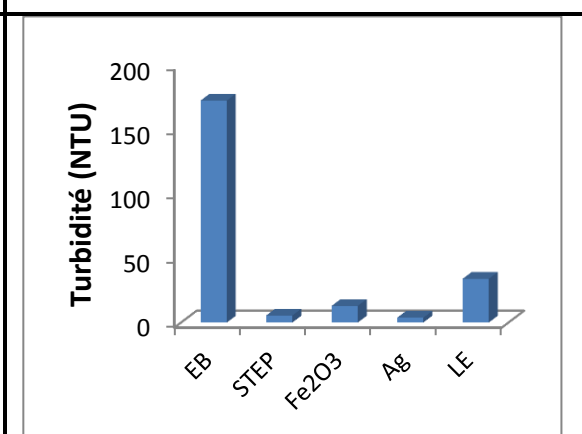


Figure 17: Evaluation de la turbidité de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.

Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures (18, 19 et 20).

Après traitement de l'eau brute par les différentes procédés utilisés, nous constatons une diminution des indicateurs physicochimiques de pollution mesurés (MES, DCO et la DBO₅).

Nous constatons une diminution de MES de l'eau brute traité par les LE, la STEP, Fe₂O₃ et l'Ag, elle est respectivement de l'ordre de 19mg/ml, 10,33mg/l, 9mg/l et 7,66mg/l et ce toujours par rapport à l'eau brute avant traitement (244mg/l). Ces résultats restent toujours inférieure aux normes des rejets d'OMS (30 mg/l) et à celle du Journal Officiel de la République Algérienne limitée à 35 mg/l. Selon les normes algériennes (JORA, 2006), ces eaux peuvent être utilisées en irrigation et ne présentent pas de risque de colmatage du sol.

Pour la DBO₅, nous constatons une diminution respectivement de l'ordre 14,23 mg O₂/l, 14 mgO₂/l, 6,33 mg O₂/l, 4,69 mg O₂/l de l'eau brute traitées par la STEP, l'oxyde de fer, l'argent, les lentilles d'eaux par rapport à l'eau brute (186,6 mg d'O₂/l). Ces résultats restent inférieure aux normes de l'OMS (30mg/l) (OMS, 1989).

En ce qui concerne la DCO, nous constatons une diminution respectivement de l'ordre 60,42 mg O₂/l, 53,25 mg O₂/l, 28,5 mg O₂/l, et 26,98 mg O₂/l de l'eau brute traitées par l'oxyde de fer, la STEP, les lentilles d'eaux, et l'argent par rapport à l'eau brute (295,2 mg O₂/l). Ces valeurs restent inférieure à la norme algérienne de rejet (120 mgO₂/l), celle du Journal Officiel de la Communauté Européenne (125 mgO₂/l) ainsi qu'aux normes de l'OMS (<90 mgO₂/l).

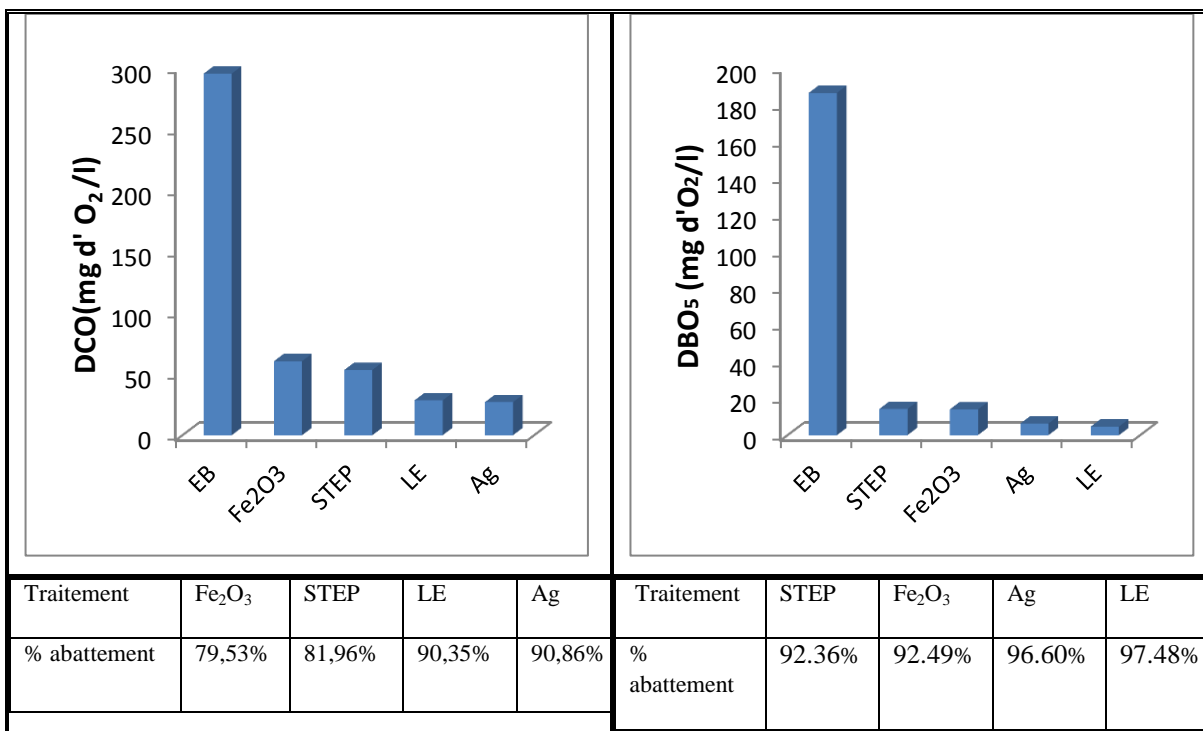


Figure 18: Evaluation de la DCO de l'eau traité par les différents procédés étudiés.

Figure 19: Evaluation de la DBO₅ de l'eau traitée par les différents procédés étudiés.

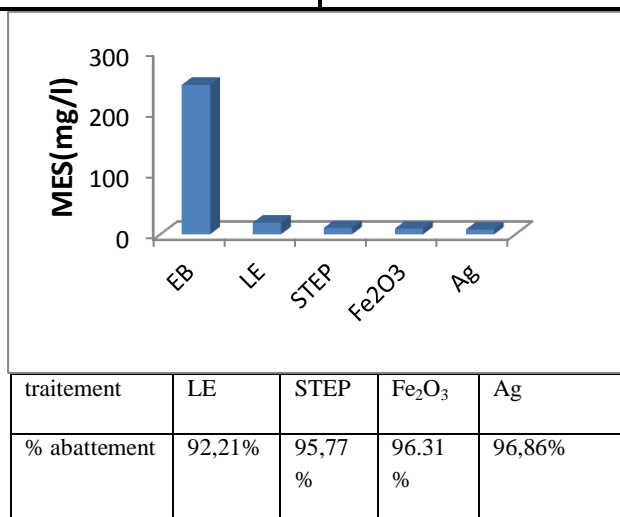


Figure 20: Evaluation de MES de l'eau brute traité par les différents procédés étudiés.

2. Résultats des analyses bactériologiques

2.1 Résultats des analyses bactériologiques de l'eau usée brute Entrée STEP

Les résultats des différentes analyses bactériologiques de l'eau brute sont représentés dans les tableaux (06 et 07). Les résultats de dénombrement de la flore mésophile aérobie totale (FMAT) montre un nombre compris entre (5.10^4 et $6,1.10^5$ UFC/ml) avec une valeur moyenne de $3,9.10^5$ UFC/ml.

Le dénombrement des coliformes totaux fluctue entre (160.10^3 CT/100ml et 180.10^3 CT/100ml) avec une moyenne de 173.10^3 CT/100ml.

Le nombre des coliformes fécaux oscille entre $0,7.10^3$ CF/100ml et $2,5 .10^3$ CF/100ml, avec une moyenne de $1,63.10^3$ CT/100ml. Nous constatons que la valeur maximale est enregistrée au mois d'avril et la valeur minimale au mois de mars. Ces résultats dépassent largement les normes de la directive OMS (< 1000 g/100 ml) pour les eaux destinées à l'irrigation.

Concernant les résultats de la recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux, les concentrations déterminées varient entre $2 .10^3$ germes/100ml et 5.10^3 germes/100ml avec une valeur moyenne de $3,5.10^3$ germes/100ml.

Les résultats de recherche et de dénombrement de *Clostridium* sulfite-réducteur dans l'eau brute indiquent la présence des ASR avec un nombre indéterminable.

Les résultats concernant la recherche des germes pathogènes dans l'eau brute montrent une absence des Salmonelles et des Shigelles, et de *Vibrio cholérique* et l'absence de Pseudomonas avec présence (*Staphylococcus epidermidis*).

Tableau 06 : Résultat d'analyse bactériologique de l'eau brute (Entrée de STEP).

Date de prélèvement	Flore mésophile aérobie total (UFC/ml)	Coliformes (germe / 100ml)		Streptocoques Fécaux (germe / 100ml)	Clostridium sulfito réducteur (germe /20ml)	CF /SF
		Totaux	Fécaux			
08/03/2015	$5 \cdot 10^4$	$180 \cdot 10^3$	$0,7 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	Indénombrable	0,35
30/03/2015	$5,2 \cdot 10^3$	$160 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^3$	Indénombrable	0,49
18/04/2015	$6,1 \cdot 10^5$	$180 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	Indénombrable	0,5
Moyenne	$3,9 \cdot 10^5$	$173 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^3$	Indénombrable	0,46

Tableau 07 : Résultat de recherche des germes pathogènes de l'eau brute (Entrée de STEP).

Date de prélèvement	Germes pathogènes				
	Staphylocoque	Salmonelle	Vibrion cholérique	Shigelles	Pseudomonas
08/03/2015	Présence	Absence	Absence	Absence	Absence
30/03/2015	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
18/04/2015	Présence	Absence	Absence	Absence	Absence

1.4 Résultats des analyses bactériologiques de l'eau brute après traitement par les différents procédés

Les résultats de différentes analyses bactériologiques de l'eau traitée par les différents procédés sont enregistrés dans les figures (21-24).

Les résultats de dénombrement de la flore mésophile aérobie totale sont illustrés dans la figure (21), nous constatons une diminution de la FMAT dans les eaux traitées par les différents procédés, les valeurs enregistrées sont respectivement de l'ordre de $6,27.10^3$ UFC/ml, $3,3.10^2$ UFC/ml, 14 UFC/ml, et 00 UFC/ml dans l'eau traitées par la STEP, les lentilles d'eaux, Fe_2O_3 , l'Ag par rapport à l'eau brute ($3,9.10^5$ UFC/ml).

La figure (22-23) représente l'évolution de coliformes totaux et fécaux dans l'eau traitée par les différents procédés, nous constatons une diminution des CT et CF dans les eaux traitées par les différents procédés de traitement utilisés.

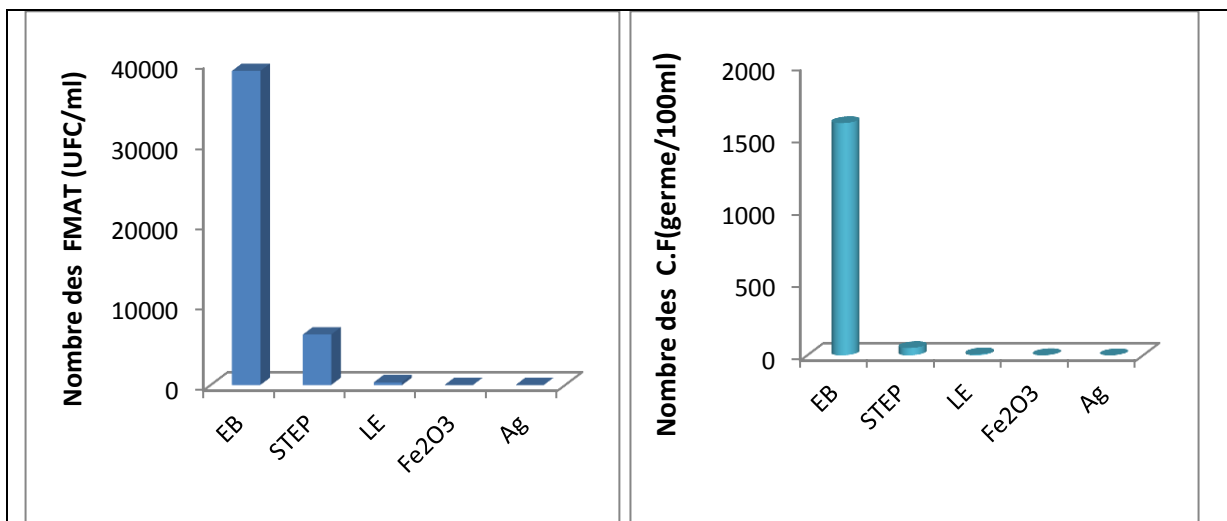
Les valeurs enregistrées pour les CT sont respectivement de l'ordre de $5,2.10^2$ CT/100ml, 18,5 CT/100ml, 1,8CT/100ml dans l'eau traitée par la STEP, les lentilles d'eaux et le Fe_2O_3 , et une absence totale de ces germes après traitement par l'Ag. La valeur maximale est enregistré dans l'eau brute traité par la STEP, et la valeur minimale est enregistrée dans l'eau brute traitée par l'Ag, par rapport à l'eau brute (173.10^3 CT/100ml).

Les valeurs enregistrés pour les CF sont respectivement de l'ordre de $0,5.10^2$ CF/100ml, 6,5 CF/100ml, 0,9 CF/100ml et 00 CF/100ml dans l'eau traitée par la STEP, LE, le Fe_2O_3 et l'Ag par rapport à l'eau brute ($1,6.10^3$ CF/100ml).

La figure (24) représente l'évolution des streptocoques fécaux dans l'eau brute traitée par les différents procédés étudiés, les résultats enregistrés des SF sont respectivement de l'ordre de $1,7.10^2$ SF/100ml, 10SF/100ml, 10SF/100ml, et 00SF/100ml, dans les eaux traitées par la STEP, LE, le Fe_2O_3 et l'Ag par rapport à l'eau brute ($3,5.10^3$ SF/100ml). La valeur maximale est enregistrée dans l'eau brute traitée par la STEP et la valeur minimale est enregistrée dans l'eau brute traitée par l'Ag.

Concernant la recherche et le dénombrement des *Clostridium* sulfito-réducteurs dans les eaux brutes traitées par les différents procédés, nous constatons une diminution avec un nombre indénombrable dans l'eau traitée par la STEP et une absence dans les eaux traitées par les LE, Fe_2O_3 et l'Ag.

Les résultats obtenus concernant la recherche des germes pathogènes dans l'eau brute traitée par les différents procédés montrent une absence des Salmonelles et des Shigelles, et de *Vibrion cholérique*, absence de Pseudomonas avec présence de (*staphylococcus epidermidis*) après traitement par les lentilles d'eaux et par la STEP avec une absence totale de tous ces germes pathogènes après traitement catalytique par l'oxyde de fer et l'argent. Les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux (11-13-15-17) en annexe.

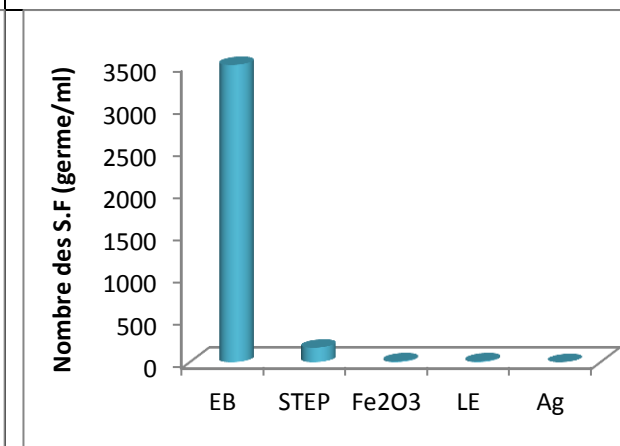
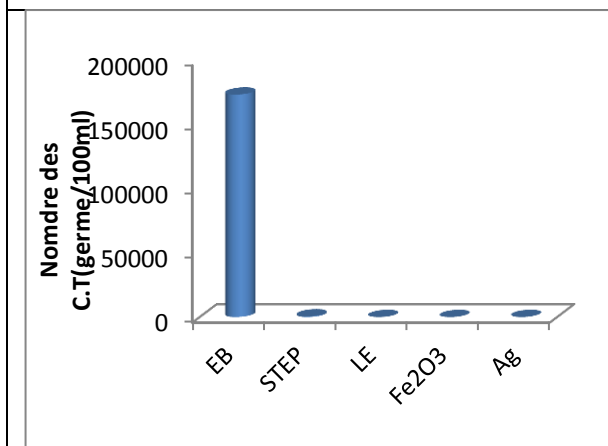


Traitement	STEP	LE	Fe ₂ O ₃	Ag
% abattement	98,39%	99,92%	99,99%	100%

Traitement	STEP	Fe ₂ O ₃	LE	Ag
% abattement	96,88%	99,94%	99,59%	100%

Figure 21 : Evaluation des flores mésophile aérobie total dans l'eau brute traité par les différents procédés étudiés.

Figure 22 : Evaluation des coliformes fécaux dans l'eau brute traité par les différents procédés étudiés.



Traitement	STEP	LE	Fe ₂ O ₃	Ag
% abattement	99,70%	99,98%	99,99%	100%

Traitement	STEP	Fe ₂ O ₃	Ag	LE
% abattement	95,14%	99,71%	100%	99,7%

Figure 23: Evaluation des coliformes totaux dans l'eau brute traitée par les différents procédés étudiés.

Figure 24: Evaluation des streptocoques fécaux dans l'eau brute traitée par les différents procédés étudiés.