

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU
Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques
Département des Sciences Agronomiques



Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master en sciences agronomiques

Spécialité : Eau et Environnement

Thème



Présenté par :

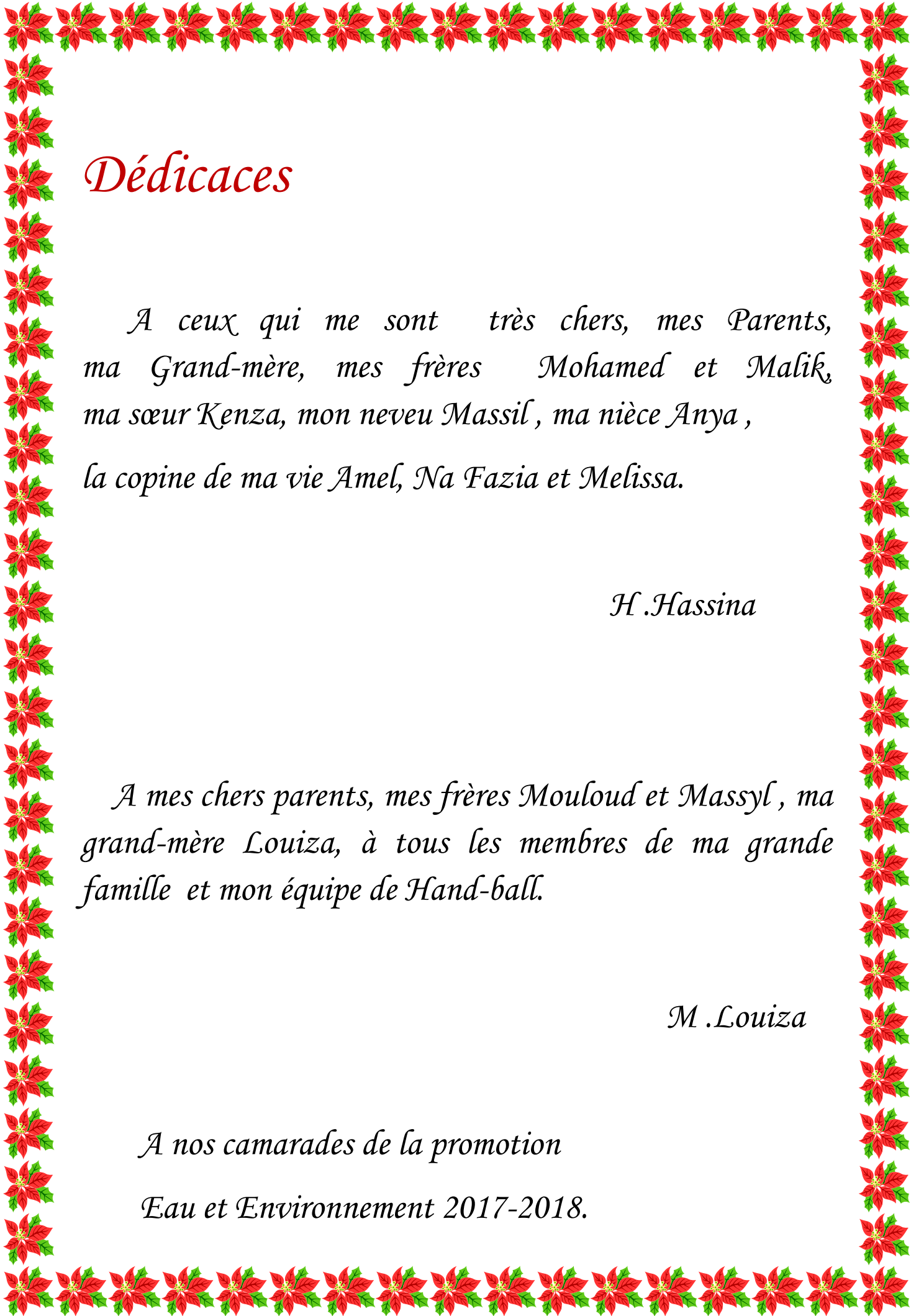
-HALIL Hassina

-MOULOUDJ Louiza

Soutenu devant le jury d'examen composé de :

Président :	Mr METAHRI M ^{ed} .S.	Maitre de conférences A	U.M.M.T.O
Promoteur :	Mr TAGUEMOUT M.	Maitre assistant B	U.M.M.T.O
Examineur :	Mr BERRADJ O.	Maitre de conférences B	U.M.M.T.O

Promotion : 2017-2018



Dédicaces

*A ceux qui me sont très chers, mes Parents,
ma Grand-mère, mes frères Mohamed et Malik,
ma sœur Kenza, mon neveu Massif, ma nièce Anya,
la copine de ma vie Amel, Na Fazia et Melissa.*

H. Hassina

*A mes chers parents, mes frères Mouloud et Massyl, ma
grand-mère Louiza, à tous les membres de ma grande
famille et mon équipe de Hand-ball.*

M. Louiza

A nos camarades de la promotion

Eau et Environnement 2017-2018.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Allah de nous avoir donné la santé et le courage de pouvoir finir ce modeste travail ;

Nous remercions notre promoteur Mr TAGUEMOU de nous avoir guidé et consacré son temps pour nous orienter ;

Nos vifs remerciements à Mr METAHRI d'avoir accepté de présider le jury de notre modeste projet de fin de cycle ;

On tient à remercier Mr BERRADJ, d'avoir accepté d'examiner notre travail ;

Un grand merci à l'ensemble du personnel de l'ONA, celui de la STEP Azeffoun, Mr AMALA chef de la STEP, Mr SAADI et Mme ADI analystes du laboratoire, pour leur accueil chaleureux durant toute la période de réalisation de notre travail ;

On remercie Mme BENABIDALLAH, chef du laboratoire d'hygiène qui nous a soutenues et orientées lors de notre présence au sein de son service ;

Un grand merci à l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation ;

Un merci infini à toute personne qui a contribué de près ou de loin pour que ce jour arrive.

Liste des abréviations

AEP : Approvisionnement en eaux potables

CE : Conductivité électrique

CF : Coliformes fécaux

DBO : Demande biochimique en oxygène

COT : Carbone organique total

DCO : Demande chimique en Oxygène

EH : Equivalent habitant

EUI : Eaux usées industrielles

JORA : Journal officiel e la république algérienne

MES : Matières en suspension

MVS : Matières volatiles en suspension

NOrg : Azote organique

NTK : Azote total kjeldahl

OD : Oxygène dissous

OIE : Office international des eaux

OMS : Organisation mondiale de la santé

ONA : office nation d'assainissement

pH : Potentiel Hydrogène

REUE : Réutilisation des eaux usées épurées

TA : Titre alcalimétrique

TAC : Titre alcalimétrique complet

UFC : Unité formant colonie

ZE : Zone d'étude

SEAAL : Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Alger

SEOR : Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Oran

SEACO : Société de l'Eau et de l'Assainissement de Constantine

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Les normes algériennes de rejet des eaux usées	10
Tableau 02 : Tableau comparatif entre un apport normal et un excès et/ou une carence en fertilisants dans une plante	20
Tableau 03 : Fiche technique de la STEP Azeffoun (partie extension)	28
Tableau 04 : Les concentrations des éléments en traces métalliques au niveau du rejet de la STEP Azeffoun	53
Tableau 05 : Résultats de dénombrement des coliformes fécaux	54
Tableau 06 : Résultats de recherche des œufs d'helminthes.....	55

Annexes

Tableau 07 : Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2003)	
Tableau 08 : Paramètres microbiologiques (JORA, 2012)	
Tableau 09 : Les normes algériennes de réutilisation des eaux usées traitées (JORA, 2012)	
Tableau 10 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées (JORA2012),	
Tableau 11 : Variation des températures mensuelles maximales, minimales et moyennes en (°C) de la région de TiziOuzou pour la période allant de 2007 à 2017 (ONM de Tizi Ouzou, 2017)	
Tableau 12 : Moyennes des précipitations mensuelles et total des précipitations annuelles de la région de TiziOuzou pour la période allant de 2007 à 2017. (ONM de T.O, 2017)	
Tableau 13 : Volumes à utiliser pour la détermination de la DBO5	
Tableau 14 : Résultats d'analyses physico-chimiques et biochimiques de l'effluent de la STEP d'Azeffoun.	

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Situation géographique de la zone d'étude	26
Figure 02 : vue aérienne de la STEP Azeffoun (Google Earth, 2017)	28
Figure03 : Diagramme du fonctionnement de la STEP d'Azeffoun	29
Figure 04 : Arrivée des eaux et déversoir d'orage.....	30
Figure 05 : Poste de relevage.....	30
Figure 06 : Dégrilleur automatique.....	31
Figure 07 : Dessableur-déshuileur	32
Figure 08 : Classificateur à sables	32
Figure 09 : Bassin d'aération et aérateur de surface	33
Figure 10 : Dégazeur.....	33
Figure 11 : Clarificateur.....	34
Figure 12 : Poste de recirculation	34
Figure 13 : Poste toutes eaux (vue de l'extérieur et de l'intérieur)	35
Figure 14 : Poste de désinfection.....	35
Figure 15 : Canal de sortie des eaux épurées.....	36
Figure 16 : Epaisseur	36
Figure 17 : Lits de séchage	37
Figure 18 : DBO mètre	39
Figure 19 : Prélèvement d'échantillon au niveau du canal de sortie	40
Figure 20 : Filtration sous vide	41
Figure 21 : Centrifugeuse avec tubes coniques.....	41
Figure 22 : variations quotidiennes de la température de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun	43
Figure 23 : variations quotidiennes du pH de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun	44

Figure 24 : variations quotidiennes de la conductivité de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun	45
Figure 25 : variation hebdomadaire de la turbidité de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun	46
Figure 26 : Concentration hebdomadaire de MES (mg/L) de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun	47
Figure 27 : Concentration en DCO (mg/L) de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun	48
Figure 28 : Concentration en DBO5 (mg/L) de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun	49
Figure 29 : Teneurs en NH_4^+ (mg/L) de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun	50
Figure 30 : Teneurs en NO_2^- (mg/L) de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun	51
Figure 31 : Teneurs en NO_3^- (mg/L) de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun	52
Figure 32 : Teneurs en PO_4^{3-} (mg/L) de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun	53
Figure 33 : Colonies de coliformes fécaux après 24h d'incubation.....	54
Figure 34 : <i>Tenia</i> sp (G x 40)	55

Annexes

Figure 35 : Classification des helminthes d'intérêt médical (Bui, 2007)	
Figure 36 : Diagramme Ombro-thermique de la wilaya de Tizi-Ouzou pour la période (2007-2017)	
Figure 37 : Situation de la wilaya de TiziOuzou sur le climatogramme d'Emberger	

Sommaire

Introduction générale	1
Problématique	2

Partie bibliographique

Chapitre I : Caractérisation et traitement des eaux usées

I- Caractérisation des eaux usées

1. Notions d'assainissement.....	3
1.1 Assainissement non collectif	3
1.2 Assainissement collectif	3
2. Définition d'une eau usée	3
3. Origines des eaux usées	4
4. La pollution des eaux	4
4.1 Définition	4
4.2 Différents types de pollutions	4
a) Pollution organique	4
b) Pollution physique.....	4
c) Pollution chimique	5
d) Pollution biologique (microbienne)	5
5. Les paramètres de pollution	5
5.1 Paramètres physiques.....	5
a) La température.....	5
b) La couleur	5
c) L'odeur	5
d) La turbidité	6
e) Les matières en suspension (MES)	6
5.2 Paramètres chimiques.....	6
a) Le potentiel hydrogène (pH)	6
b) La conductivité électrique (CE)	7
c) L'alcalinité de l'eau.....	7

d) L'Oxygène dissous.....	7
e) La demande chimique en Oxygène (DCO)	7
f) La demande biologique en Oxygène (DBO)	7
g) Rapport DCO/DBO ₅ comme indice de biodégradabilité.....	8
h) Le carbone organique total (COT)	8
5.3 Les éléments nutritifs ou substances eutrophisantes	8
a) L'azote.....	8
b) Le phosphore.....	9
5.4 Paramètres de toxicité.....	10
5.5 Paramètres biologiques	10
6. Normes algériennes de rejet.....	10

II- Traitement des eaux usées

1. Notion d'épuration	11
2. Les étapes de traitement.....	11
2.1 Le prétraitement.....	12
a) Le dégrillage	12
b) Le relevage	12
c) Le dessablage.....	12
d) Le dégraissage déshuilage	12
2.2 Le traitement primaire.....	12
2.3 Le traitement secondaire.....	13
2.3.1 Le traitement secondaire anaérobie.....	14
2.3.2 Le traitement secondaire aérobie.....	14
a) Les cultures fixées	14
b) Les cultures libres.....	15
2.4 Le traitement tertiaire	16
2.4.1 L'élimination de l'azote.....	16
2.4.2 L'élimination du phosphore.....	16
2.4.3 La désinfection.....	16
a) Le chlore.....	17

b) L'ozone	17
c) Les ultraviolets	17
2.4.4 Le lagunage naturel "tertiaire"	17

Chapitre II : la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture

1. Enjeux de la réutilisation des eaux usées épurées (REUE)	18
2. Les avantages de la REUE	18
2.1 Avantages agronomiques	18
2.2 Avantages environnementaux	18
2.3 Avantages sociaux	19
2.4 Avantages économiques	19
3. Les inconvénients de la REUE	19
4. Qualité des eaux usées épurées pour l'irrigation	20
4.1 La qualité physique et chimique	20
4.1.1 Les MES	20
4.1.2 Excès en nutriments	20
4.1.3 La salinité et le pH	20
4.1.4 Les éléments traces métalliques	21
4.2 La qualité microbiologique	21
5. Perception des agriculteurs	21
5.1 Choix de la méthode d'irrigation	21
5.1.1 Irrigation de surface	22
5.1.2 Irrigation localisée	22
5.1.3 Irrigation par aspersion	22
6- Risques liés à la réutilisation des eaux usées épurées	22
6.1 Risques sanitaires	23
6.2 Risques environnementaux	23
6.2.1 Effets sur les eaux	23
a) Effets sur les eaux de surface (Eutrophisation)	23
b) Effets sur les eaux souterraines	24
6.2.2 Effets sur le sol	24

6.2.3 Effets sur les cultures	24
7. La REUE dans le domaine agricole en Algerie	25

Partie expérimentale

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude

1. Présentation de la commune d'azeffoun	26
1.1 Situation administrative	26
1.2 Situation géographique	26
1.3 Aspect climatique	27
2. Présentation de l'Office national de l'assainissement	27
3. Présentation de la station d'épuration d'azeffoun.....	27
3.1 Situation géographique	27
3.2 Caractéristiques générales de la STEP Azeffoun	28
3.3 Fonctionnement de la STEP	29
3.3.1 Arrivée des eaux à la STEP.....	29
3.3.2 Le poste de relevage	30
3.3.3 Le prétraitement	31
a) Le dégrillage	31
b) Dessablage-déshuilage.....	31
3.3.4 Le traitement secondaire (biologique).....	32
a) Bassin d'aération.....	32
b) Le dégazeur.....	33
c) La clarificateur	33
d) Poste de recirculation	34
3.3.5 poste toutes eaux	35
3.3.6 La désinfection	35
3.3.7 Epaississement des boues.....	36
3.3.8 Lits de séchage	37

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Caractérisation physico-chimique des eaux brutes et traitées.....	38
1.1 L'échantillonnage	38
1.2 Mesure des paramètres physiques	38
1.3 Mesure des paramètres chimiques et biochimiques.....	38
1.3.1 La demande chimique en oxygène DCO.....	38
1.3.2 La demande biochimique en Oxygène DBO.....	39
1.3.3 L'azote et les phosphates.....	39
1.3.4 Caractéristiques microbiologiques des eaux de rejet	39
a) Les prélèvements	39
b) Dénombrement des coliformes thermo tolérants	40
c) Recherche des œufs d'helminthe (Nématodes)	41

Chapitre III : Résultats et discussions

1. Les paramètres physico-chimiques.....	42
1.1 La température	42
1.2 Le Ph.....	43
1.3 La conductivité	44
1.4 La turbidité.....	45
1.5 Les MES	46
1.6 DCO.....	47
1.7 DBO.....	48
1.8 L'azote	49
1.8.1 NH_4^+	49
1.8.2 NO_2^-	50
1.8.3 NO_3^-	51
1.9 PO_4^{3-}	52
1.10 Métaux lourds	53
2. Les paramètres microbiologiques	54
2.1 Dénombrement des coliformes fécaux	54
2.2 Recherche d'œufs d'helminthes (Nématodes).....	55

Chapitre IV : Estimation des taux de participation de la STEP Azeffoun

1. Estimation des taux de participation de la STEP Azeffoun en eau.....	56
2. Estimation des taux de participations de la STEP Azeffoun en nutriments	56
2.1 Estimation de taux de participation en azote minéral	56
2.2 Estimation de taux de participation en phosphore minéral	57
3. Estimation du taux de participation de la STEP en eau en période d'irrigation	57
Conclusion.	58

Introduction générale

L'insuffisance de la ressource hydrique est un fait largement avéré en Algérie. Le pays tombe sous le niveau de pénurie de 350 m³ d'eau renouvelable par personne et par an. Presque toutes les ressources accessibles d'eaux douces dans le pays sont déjà mobilisées; par conséquent, le recours aux ressources non conventionnelles qui représentent un réservoir important, fiable et bien localisé qui peut constituer sans doute des solutions attrayantes et incontournables pour les pays souffrant de déficit hydrique (FAO, 2003).

L'eau usée traitée récoltée à l'aval des systèmes d'assainissement urbain représente une eau renouvelable non conventionnelle, qui pourrait être une source attrayante et bon marché à employer en agriculture et au voisinage des centres urbains. Cependant, en raison de la nature variable de la composition de cette eau (sa charge en constituants minéraux, organiques et biologiques); sa réutilisation devrait être gérée soigneusement, surveillée et contrôlée par des spécialistes, afin de vérifier les risques et menaces potentiels sur les usagers, le sol, l'eau et les cultures irriguées avec elle, ainsi que sur l'environnement sur son ensemble.

Problématique :

La population algérienne a augmenté considérablement, elle approche les 40 millions d'habitants actuellement, et le besoin en nourriture et en eau ne cesse de croître. Traditionnellement, cette situation a été solutionnée en augmentant simplement l'approvisionnement en eau. Aujourd'hui, cette solution s'approche de ses limites naturelles. Dans un certain nombre des régions du pays, la consommation réelle de l'eau s'approche rapidement des limites des ressources disponibles. Par ailleurs, les terres agricoles deviennent rares. Pour la plupart des régions, l'eau est ainsi devenue le facteur principal limitant leur développement qui constitue un défi économique, social et politique important. Par conséquent, l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles et la gestion globale de l'eau de façon efficace et efficiente, sont devenues des problèmes urgents en Algérie. L'épuration de l'eau usée et son utilisation en irrigation est une option importante, en particulier dans les zones arides et semi arides du pays, car elle représente une source d'eau riche en éléments nutritifs tels que l'azote et le phosphore qui servent d'engrais additionnels renouvelables et fiables.

La récupération et la réutilisation de l'eau usée s'est avérée être une option réaliste pour couvrir le déficit et les besoins croissants en eau en Algérie, mais aussi pour se conformer au

Introduction générale

règlement relatif aux rejets des eaux usées, en vue de la protection de l'environnement et de la santé publique. En outre, du point de vue environnemental, la récupération et la réutilisation de l'eau usée urbaine traitée pour l'irrigation constituent probablement l'approche d'élimination la plus sûre et la plus réaliste.

Les données de recherche disponibles et le savoir-faire accumulés pendant ces dernières années, ont été utilisés dans la préparation de ce travail.

De ce fait l'objectif de notre étude est la caractérisation de l'effluent de la STEP d'Azeffoun en vue d'une réutilisation agricole.

Ce travail comporte deux parties :

➤ **La partie bibliographique**

Elle est scindée essentiellement en deux chapitres :

1- Le premier englobe la caractérisation et le traitement des eaux usées.

2- Le deuxième porte sur la problématique du thème, il s'agit d'une synthèse de connaissances sur les expériences de la réutilisation agricole des eaux usées épurées, des techniques d'irrigation ainsi que les risques qui lui sont associés.

➤ **La partie expérimentale**

Il comporte quatre chapitres :

1- Le premier porte sur la présentation générale de la ville d'Azeffoun, de la STEP et du procédé d'épuration adopté.

2- Le deuxième porte sur le matériel et les méthodes utilisés.

3- Le troisième traite l'évaluation des paramètres physico-chimiques, bactériologiques et parasitologiques de l'effluent de la STEP d'Azeffoun et son aptitude à l'irrigation.

4- Le dernier vise l'objectif principal qui est la caractérisation et la quantification en équivalent habitant (EH) par hectare de l'azote et du phosphore de l'effluent urbain d'Azeffoun en vue de sa valorisation agricole.

Enfin nous terminons par une conclusion générale qui rassemble les principaux résultats obtenus et une perspective des travaux futurs.

Partie bibliographique**Chapitre I: Caractérisation et traitement des eaux usées**

L'Algérie compte près de 1, 2 milliards de m³ de volume annuel d'eaux usées rejetées. Ces eaux usées pour l'essentiel sont déversées par les populations sur les terrains vagues ou tout simplement dans les milieux aquatiques (lacs, rivières, mers, etc...) utilisés comme exutoires naturels. Mises en contact direct avec le milieu récepteur, les eaux usées brutes engendrent des effets néfastes notamment : une nuisance liée à la stagnation de ces eaux (aspect esthétique) et au dégagement d'odeurs nauséabondes ; une perturbation de l'équilibre écologique du milieu naturel, surtout par la pollution des eaux de surface et des nappes phréatiques et un risque sanitaire par contamination microbiologique ou parasitaire.

I-caractérisation des eaux usées**1- Notions d'assainissement**

L'assainissement a pour objet de permettre l'évacuation des eaux usées via les exutoires naturels, pluviaux et de ruissellement, par moyens techniques individuels ou collectifs, de telle manière que la salubrité, la santé publique et l'environnement ne soient menacés (Eric et al, 2009).

1-1-Assainissement non collectif

C'est un système d'assainissement effectuant la collecte, le prétraitement, l'épuration, l'infiltration ou le rejet des eaux usées domestiques des immeubles non raccordés au réseau public d'assainissement il est aussi appelé réseau d'assainissement autonome ou individuel. Exemple : les fosses septiques (Eric et al, 2009).

1-2- Assainissement collectif

Est synonyme de réseau public d'assainissement qui peut prendre deux formes selon les modalités de collecte des eaux usées domestiques qui peuvent être unitaires ou séparatives (Eric et al, 2009).

2-Définition d'une eau usée

Une eau usée, appelée encore eau résiduaire ou effluent, est une eau qui a subi une détérioration après usage .La pollution des eaux dans son sens le plus large est définie comme « Tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou physico-chimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines » (ANONYME 1, 2004)

3- Origines des eaux usées

La pollution de l'eau a pour origines principales, l'activité humaine, les industries, l'agriculture et les décharges de déchets domestiques et industriels. La pollution de l'eau se manifeste principalement dans les eaux, par:

- Une diminution de la teneur en oxygène dissous
- La présence de produits toxiques
- Une prolifération d'algues.
- Une modification physique du milieu.
- La présence de bactéries ou virus dangereux (Melquiot et al, 2003).

4-La pollution des eaux

4-1-Définition

La pollution de l'eau est une altération de sa qualité et de sa nature qui rend son utilisation dangereuse et/ou perturbe l'écosystème aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et/ou les eaux souterraines (Melquiot et al, 2003).

4-2-Différents types de pollutions

a) pollution organique

Elle est engendrée par le développement des eaux usées domestiques ou résiduaire provenant des industries textiles, laitières, papeteries, industries de bois et d'abattoirs (Metahri, 2016).

b) Pollution physique

Les principaux agents de la pollution physique sont : la température, les matières en suspension (MES), la radioactivité...etc.

▪ L'élévation de la température de l'eau de surface diminue la solubilité des gaz dans l'eau, en particulier l'oxygène, il en résulte une diminution du pouvoir auto-épurateur de la rivière (Metahri 2002).

▪ Les particules en suspension de nature organique ou minérale sont introduites dans l'eau de surface par les eaux de ruissellement, elles proviennent essentiellement d'effluents industriels et urbains (Yahi, 2011).

▪La radioactivité met en jeu les rayonnements α , β et γ de puissances diverses. Certaines roches et minerais contiennent des éléments instables et radioactifs, comme l'Uranium, le Radium et le Thorium, leurs accumulations dans l'organisme provoquent des *toxicités* (Rodier, 1984).

c) Pollution chimique

La pollution chimique de l'eau est due essentiellement au déversement des polluants organiques, des sels et de métaux lourds par les unités industrielles. Ainsi que l'enrichissement des sols pour intensifier l'agriculture, par diverses catégories d'engrais et de pesticides, est à l'origine de la pollution chimique des sources et des nappes souterraines (Bouziani, 2000).

d) Pollution biologique (microbienne)

C'est une pollution d'origine humaine et animale ; elle provient des rejets urbains. Elle est dangereuse surtout si cette eau est porteuse de micro-organismes pathogènes (E-coli, Streptocoques fécaux...etc.) qui peuvent être à l'origine des maladies infectieuses (Rodier, 1984).

5-Les paramètres de pollution

Les paramètres de pollution concernent les trois catégories principales : physique, chimique, et biologique.

Nous allons donner des définitions succinctes à tous ces paramètres.

5-1-Paramètres physiques

a) La température

La température est un critère important d'une eau. Elle joue un rôle dans la solubilité des sels et des gaz (Mekhalif, 2009).

b) La couleur

La coloration d'une eau est due le plus souvent à la présence des matières organiques dissoutes ou colloïdales. Une eau d'égout d'origine domestique est d'une couleur grisâtre, la couleur noire indique une décomposition partielle ; les autres teintes indiquent un apport d'eau résiduaire industrielle (Bouziani, 2000).

c) L'odeur

L'odeur est généralement l'indice de fermentation microbienne et signe de pollution (Rodier et al, 2009).

d) La turbidité

Une eau turbide est une eau d'une transparence réduite. Cette caractéristique vient de la teneur de l'eau en particules en suspension, associées au transport de l'eau. Au cours de ce parcours, l'eau se charge de quantités énormes de particules qui troublent l'eau. La turbidité des effluents résiduaux et des eaux polluées est en général très élevée (**Rodier et al 2009**).

e) Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension désignent l'ensemble des matières solides insolubles présentes dans une eau (sables, argiles, matières organiques, débris en tout genre). Des teneurs élevées en MES peuvent provoquer la détérioration des ouvrages d'assainissement (obstruction des réseaux par la décantation, abrasion, ...etc.). En cas de rejet au milieu naturel, elles peuvent troubler l'eau, diminuant ainsi le rayonnement lumineux indispensable pour une bonne croissance des végétaux au fond des cours d'eau (c'est la turbidité), diminuer l'Oxygène dissous et ainsi limiter le développement de la vie aquatique (**Rodier et al, 2009 ; Seter, 2014**)

$$MES = 30\% \text{ MM} + 70\% \text{ MVS}$$

- Les matières volatiles en suspension (MVS) : Elles représentent la fraction organique des MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant 2 heures. La différence de poids entre les MES à 105°C et les MES à 525°C donne < la perte au feu > et correspond à la teneur en MVS en (mg/l) d'une eau (**Metahri, 2012**).
- Les matières minérales (MM) : Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son < extrait sec > constitué à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures et les phosphates (**Metahri, 2012**).

5-2- Paramètres chimiques**a) Le potentiel Hydrogène**

Le pH mesure l'acidité ou l'alcalinité d'une solution, il mesure la conductivité en ions H⁺ de l'eau, il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14 ; 7 étant le pH de neutralité. Le pH doit être mesuré à l'aide d'un pH mètre ou d'un colorimètre et sa valeur doit être comprise entre 6.5 et 8.5 (cas des eaux usées) (**Tamrabet, 2011; Lakhdari, 2011**).

b) La conductivité électrique (CE)

La (CE) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs par contre les composés organiques sont de mauvais conducteurs (Villers et al, 2005 ; IBGE, 2005).

Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau). La conductivité s'exprime en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$), la mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (Rejsek, 2002).

c) L'alcalinité de l'eau

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des carbonates (CO_3) et des hydroxydes (OH) et des Hydrogénocarbonates (HCO_3). Sa détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), et le titre alcalimétrique complet (TAC) (Boubchir et Nessah, 2004).

d) L'Oxygène dissous

Il caractérise le degré de pollution d'un cours d'eau. Sa concentration dans l'eau varie en fonction de la température. La détermination de ce paramètre dans l'eau se fait à l'aide d'un Oxymètre. L'eau usée domestique peut contenir de 2 à 8 mg/l d'oxygène dissous (Alpha Seddiki, 2005).

e) La demande chimique en Oxygène (DCO)

La demande chimique en Oxygène (DCO), est exprimée en milligrammes d'oxygène consommés par litre (mg d' O_2/l), correspond à la quantité d'Oxygène nécessaire pour la dégradation par voie chimique et dans des conditions définies de la matière organique ou inorganique contenue dans l'eau. Elle représente donc la teneur totale de l'eau en matières oxydables.

Ainsi, par la mesure de la DCO, on pourra évaluer la charge polluante d'une eau usée en matières organiques avant et après un traitement physique, chimique ou biologique afin de contrôler le fonctionnement d'une STEP et l'activité des micro-organismes (Grosclaude, 1999).

f) La demande biologique en Oxygène (DBO)

Elle représente la pollution organique et carbonée biodégradable. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène consommée pour la destruction des matières organiques biodégradables présentes dans l'eau. Pour la mesurer, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours d'incubation, c'est la : DBO_5 . Ce paramètre est utilisé pour établir un classement qualitatif des

eaux et déterminer indirectement la quantité de matières biodégradables essentiellement organiques contenues dans l'eau (**Grosclaude, 1999**).

Pour être complète, l'oxydation biologique nécessite un temps de 20 à 28 jours, on mesure dans ce cas la DBO ultime ou DBO_{21} ou DBO_{28} ; cette période étant longue, on a choisi par convention une mesure après 5 jours d'incubation appelée DBO_5 .

g) Rapport DCO/ DBO_5 comme indice de biodégradabilité

Le rapport entre la DBO et la DCO peut donner une idée de la biodégradabilité de l'effluent.

Si toutes les matières organiques de l'échantillon étaient biodégradables on devrait avoir : $DBO_{ultime} = DCO$ (cas des molécules facilement dégradables comme le glucose).

D'autres molécules organiques présentes dans les eaux résiduaires ne sont cependant pas biodégradables ou le sont très lentement, dans ce cas on observe : $DCO > DBO_{ultime}$.

Pour être plus exact et rester sur les paramètres mesurés, on utilise le rapport DCO/DBO_5 pour se faire une idée réaliste de la biodégradabilité de l'effluent.

Les règles suivantes sont généralement retenues :

- ✓ $DCO/DBO_5 < 3$ effluent facilement biodégradable
- ✓ $3 < DCO/DBO_5 < 5$ effluent moyennement biodégradable
- ✓ $DCO/DBO_5 > 5$ effluent difficilement biodégradable, voire non biodégradable
(**Rodier et al, 2009**).

h) Le carbone organique total (COT)

La mesure du carbone organique total permet de donner une indication directe de la charge organique totale d'une eau. Les composés sont d'une part : les protéines, les lipides, les glucides et les substances humiques, et d'autre part, les substances organiques carboniques élaborées ou utilisées par l'industrie chimique, pharmaceutique ou pétrolière (**Boeglin et Roubaty, 2007**)

5-3- Les éléments nutritifs ou substances eutrophisantes

Ces substances eutrophisantes des milieux aquatiques sont principalement l'azote et le phosphore présents dans l'eau usée. La connaissance de leur quantité est nécessaire pour contrôler les rejets d'une part, et pour assurer le traitement par voie biologique d'autre part.

a) L'azote

Pour évaluer l'azote dans les eaux résiduaires et pour suivre son évolution dans les réseaux et lors de l'épuration, il est indispensable de doser l'azote sous ses formes organiques et ammoniacales :

- Azote total Kjeldahl (NTK) : Constitue l'azote organique (N_{Org}) qui provient de la décomposition des déchets organiques ; et l'azote ammoniacal ou ammonium (NH₄⁺) qui étant présent dans le milieu aquatique baisse la concentration en oxygène et provoque une toxicité pour les poissons.
- Ammoniac (NH₃) : C'est un gaz dont la formule chimique est proche de celle du (NH₄⁺) ; malodorant et irritant à forte concentration, émis lors de la dégradation biologique des matières azotées. Il présente des risques pour les écosystèmes. Il se dépose sur les surfaces et son évolution chimique dans les sols peut conduire à un excès de matière azotée et à des phénomènes d'eutrophisation des milieux naturels (Melquiot et al, 2003) .

- Nitrites (NO₂⁻) et Nitrates (NO₃⁻) :

Les nitrates (NO₃⁻) et les nitrites (NO₂⁻) sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium (NH₄⁺), présent dans l'eau et le sol, qui est oxydé en nitrites par les bactéries du genre *Nitrosomonas*, puis en nitrates par les bactéries du genre *Nitrobacter* (Santé Canada, 1992).

Azote global = Azote Kjeldahl + Nitrites +Nitrates

Azote Kjeldhal = Azote organique+ Azote ammoniacal

b) Le Phosphore

On peut trouver le phosphore(P) dans l'environnement en général sous forme de phosphates qui sont des substances importantes pour le corps humain car ils sont un composant participant à la distribution de l'énergie.

L'excès de phosphore dans les eaux de surface accélère la croissance des algues et des lentilles d'eau. Ces organismes utilisent de grandes quantités d'oxygène et empêchent la lumière de pénétrer dans l'eau. L'eau devient donc plutôt invivable pour les autres organismes, et cela favorise l'eutrophisation (www.lennteh.fr)

Comme pour l'azote il est indispensable de mesurer les phosphates présents dans l'eau ; on distingue couramment :

- **Les orthophosphates (H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻, PO₄³⁻)** : Ce sont les formes chimiques les plus fréquentes du phosphate dans l'environnement, tous dérivés de l'acide phosphorique. Ils sont utilisés dans certains engrais, produits lessiviels, additifs alimentaires et corrosions. Présents en excès dans l'eau, ils sont source d'eutrophisation.

- **Les polyphosphates ou phosphates condensés** : ce sont des molécules plus complexes de phosphates minéraux.
- **Les phosphores organiques** : correspondent à des molécules de phosphates associées à des molécules à bases carbonées, comme dans la matière organique vivante ou morte.

5-4- paramètres de toxicité (Les micro éléments)

Les éléments nocifs les plus importants sont les métaux lourds. Leur principale origine est industrielle. Le cuivre, le zinc, le cadmium, le chrome, le plomb, le mercure et le nickel sont les polluants les plus fréquemment rencontrés. On les trouve en éléments traces dans la nature et leurs concentrations sont généralement inférieures au mg/l.

5-5-Paramètres biologiques

Les eaux résiduaires urbaines transportent de nombreux micro-organismes dont certains sont pathogènes qui sont par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Ils ont des effets divers sur la santé (**Vandermeersch,2006**).

Les micro-organismes contenus dans les eaux peuvent donc altérer la qualité des milieux récepteurs, les rendant inaptes à certaines activités (baignade et irrigation par exemple) (**Angerville ,2009**).

6- Normes Algériennes de rejet

Conformément aux recommandations de l’OMS, les normes de rejets des eaux usées en Algérie sont résumées dans le tableau 3.

Tableau 01: Les normes algériennes de rejet des eaux usées

Paramètres	Unité	Normes
Température	°C	30
pH	-	6.5-8.5
Oxygène (O ₂)	mg/l	0.5
DBO ₅	mg/l	30
DCO	mg/l	90
MES	mg/l	30
Azote total	mg/l	50
Phosphores	mg/l	2
Huiles et graisses	mg/l	20
Détergents	mg/l	1
Hydrocarbures	mg/l	10
Chrome	mg/l	0.1
Zinc	mg/l	2

Collectées par les réseaux d'assainissement, les eaux usées contiennent de nombreux éléments polluants, provenant de la population, des activités commerciales, industrielles, agricoles et phénomènes naturels.

Les eaux usées se caractérisent par des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, qui permettent de déterminer leur éventuelle origine et de connaître l'importance de leur charge polluante.

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

II-Traitement des eaux usées

La prise de conscience des problèmes de santé publique et la compréhension des causes d'épidémies, telles que le choléra et la typhoïde, ont entraîné la construction d'infrastructures et le développement de procédés, de plus en plus sophistiqués, permettant de mettre un terme à ces problèmes (**LE HYARIC, 2009**).

1- Notion d'épuration :

L'épuration des eaux usées consiste à décanter les éléments polluants particuliers et à extraire les éléments dissous qui sont transformés en matières sédimentables suite à un traitement approprié. Ainsi, à la sortie de la station il en résulte d'une part une eau épurée destinée à la réutilisation dans différents domaines ou rejetée dans le milieu naturel, et d'autre part, il reste des sous-produits désignés sous le terme des boues résiduelles (**Amir, 2005**).

2- Les étapes du traitement

Les technologies utilisées se développent et se perfectionnent constamment par la recherche de technologies ou de procédés nouveaux et par la mise en place de nombreux automatismes pouvant diminuer efficacement la dégradation environnementale de ressources précieuses en eau et détruire les agents pathogènes potentiels (**Prescott *et al* 2007**).

Les quatre étapes principales du traitement sont détaillées comme suit :

2- 1- Le pré-traitement

Le pré-traitement a pour objectif l'extraction des matières les plus grossières (brindilles, feuilles, tissus, ...) et des éléments susceptibles de gêner les étapes ultérieures du traitement. Il comprend :

a) Le dégrillage

Le dégrillage consiste à retenir les objets trop volumineux et encombrants qui pourraient dégrader les pompes ou obstruer les canalisations. Les dégrilleurs sont habituellement implantés en tête de la station (**Ouanouki, 2014**).

b) Le relevage

La conception du poste de relevage d'une station de traitement des eaux usées est en grande partie similaire à la conception du poste de relèvement placé dans le réseau d'assainissement. généralement le poste de relevage est équipé de pompes centrifuges (**Djeddou, 2014**) .

c) Le dessablage

Il a pour but d'extraire des eaux brutes les sables, les graisses et particules minérales plus ou moins fines en suspension, de manière à éviter l'abrasion des pompes et conduites en aval (**Bassompierre, 2007**).

Les sables récupérés sont essorés et lavés avant d'être envoyés en décharge ou réutilisés, selon la qualité du lavage.

d) Le dégraissage-déshuilage

Effectuée dans le même bassin que l'étape de dessablage, la récupération des graisses et huiles se fait en surface. Les composés collectés seront alors incinérés (cas du traitement d'un effluent urbain) ou recyclés pour la fabrication de savons ou détergents (cas de certains effluents industriels) en fonction de leur qualité (**Bassompierre, 2007**).

2-2- Le traitement primaire

Le traitement s'effectue par voie physico-chimique, a pour but d'extraire le maximum de matières en suspension et de matières organiques facilement décantables.

Trois voies de traitement sont possibles :

- La décantation (processus physique) : le principe de séparation solide-liquide est la pesanteur, les matières en suspension ou colloïdales tendent à se séparer du liquide par sédimentation ;

- La flottation (processus physique) : par opposition à la décantation, la flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique réelle ou apparente (flottation assistée) est inférieure à celle du liquide qui les contient ;

- La décantation associée à l'utilisation d'un coagulant-floculant (voie physico-chimique): le principe est de favoriser l'agrégation des molécules en suspension grâce aux techniques de coagulation et de floculation de façon à augmenter la sédimentation grâce à l'obtention de floes plus gros. Cette étape est généralement suivie d'une filtration qui est un procédé physique qui consiste à faire passer l'eau à travers un milieu poreux afin de retenir les solides en suspension **(Desjardins, 1997)**.

Durant la phase de traitement primaire, une quantité importante de la pollution totale est éliminée (abattement des matières en suspension pouvant atteindre 90 % et de la demande biochimique en oxygène de l'ordre de 35 % **(Cardot, 1999)**). La DCO et la concentration en azote peuvent également être réduits durant cette phase de traitement. Les matières solides extraites représentent ce que l'on appelle les boues primaires **(Bassompierre, 2007)**.

2-3-Le traitement secondaire

Le traitement secondaire a pour objectif principal l'élimination des composés solubles d'origine organique. Parallèlement, la floculation de la biomasse permet de piéger les matières en suspension restant à l'issue du traitement primaire.

Le principe de ce traitement est de mettre en contact la matière organique contenue dans les eaux usées avec une population bactérienne. Celle-ci assimile alors la matière organique pour son propre développement. Ces dispositifs permettent d'intensifier et de localiser sur des surfaces réduites les phénomènes de transformation et de dégradation des matières organiques tels qu'ils se produisent en milieu naturel. Ils sont la reconstitution d'un écosystème simplifié et sélectionné faisant intervenir une microflore bactérienne et une microfaune de protozoaires et de métazoaires **(Bassompierre, 2007)**.

Plusieurs techniques peuvent être distinguées, le choix de l'une ou l'autre est fonction de l'emplacement disponible pour le procédé de traitement, de la charge de l'effluent et de la quantité de pollution à traiter. Les procédés biologiques de traitements, peuvent être classés en procédés aérobies et anaérobies **(Vilagines, 2003)**.

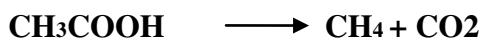
2-3-1- Le traitement secondaire anaérobie

Le traitement anoxique est typiquement employé pour traiter des eaux usées contenant de grandes quantités de matières organiques insolubles, telles que les fibres, la cellulose résultant des industries laitières et agroalimentaires. Le processus de dégradation anoxique proprement dit se déroule dans de grands réservoirs clos appelés digesteurs ou bioréacteurs (Madigan et Martinco, 2007).

Le principe de la digestion anaérobie est décrit comme la conversion de la matière organique en biomasse et en biogaz, composé essentiellement de méthane (CH₄) et de gaz carbonique (CO₂).

La digestion anaérobie d'un produit organique complexe comporte quatre étapes différentes, à savoir : l'hydrolyse, l'acidogénèse, l'acétogénèse et la méthanogénèse (EFFEBI, 2009).

Grâce à l'action des microorganismes anaérobies présents, les composés macromoléculaires des eaux usées sont d'abord digérés par des polysaccharases, des protéases et des lipases pour donner des composés solubles. Ces derniers sont alors fermentés pour fournir un mélange d'acides gras volatils, qui sont ensuite fermentés en acétate, CO₂ et H₂, ces produits sont alors utilisés comme substrats par les *Archaea* méthanogènes, capables de réaliser les réactions suivantes :



2-3-2- Les traitements secondaires aérobies

Les bactéries utilisées exigent un apport permanent d'oxygène. Deux grandes familles peuvent être distinguées : les procédés à cultures fixes (microorganismes fixés sur des supports), les procédés à culture libre (micro-organismes maintenus en suspension dans le mélange à épurer). Nous pouvons citer les plus courantes selon (Degremont, 2005).

a) Les cultures fixées

⇒ Le lit bactérien

Le principe de ce procédé consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes épurateurs.

L'aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre-courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries

aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produit par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gaz (**Aba-Aaki, 2012**).

⇒ **Les disques biologiques**

Une autre technique faisant appel aux cultures fixées, elle est constituée par des disques biologiques tournant, les micro-organismes se développent et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques étant semi immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée (**Boutin et al, 2009**).

b) Les cultures libres

⇒ **Les boues activées**

Traitement en deux phases, contact de la biomasse et de l'eau usée dans un réacteur puis séparation des solides de la phase liquide épurée par décantation. Le processus d'épuration par boues activées est le plus répandu. Son développement est dû à ses excellentes performances de dépollution (rendement supérieur à 95 %) par rapport aux autres procédés existants. En contrepartie, suivant le type d'effluents à traiter, ce procédé peut être difficile à maîtriser notamment pour le traitement de l'azote et du phosphore ou en cas de variations importantes des flux à traiter (**Cardot, 1999**).

⇒ **Le lagunage**

L'utilisation d'étangs naturels ou artificiels comme milieux récepteurs de l'effluent brut ou traité remonte à des temps ancestraux. On trouve des lagunes naturelles et aérées. Dans les lagunes naturelles, l'eau à épurer est stockée dans un bassin de faible profondeur. Des bactéries aérobies se développent et utilisent la matière organique comme source de nourriture et aboutissent à la formation d'une boue activée dispersée. L'oxygène est fourni par l'activité photosynthétique des algues. Le fond de la lagune est anaérobie. Les lagunes aérées sont un dispositif très proche du procédé à boues activées où l'oxygène est apporté avec des aérateurs artificiels pour le maintien des conditions aérobies des bactéries épuratrices (**Boeglin, 1998**).

⇒ **Infiltration percolation sur sable**

C'est un traitement biologique par fixation des bactéries sur des grains de sable. Après une décantation anaérobie des eaux usées, celles-ci sont déversées et étalées sur des lits de sable, les eaux sont d'abord débarrassées des matières en suspension par filtration superficielle, puis leur matière organique est dégradée et leurs composés azotés sont oxydés sous forme de nitrates par les bactéries qui colonisent le sable (**Eddabra, 2011**).

2-4- Le traitement tertiaire

Des traitements plus poussés sont effectués lorsque la nature des milieux recevant l'eau dépolluée l'exige : les zones sujettes aux phénomènes d'eutrophisation, les lieux de baignade etc... (Hennia, 2004).

2-4-1- L'élimination de l'azote

Les stations d'épuration prévues pour éliminer les matières carbonées n'éliminent qu'environ 20% de l'azote présent dans les eaux usées.

Pour respecter les normes de rejet en zones sensibles, des traitements complémentaires doivent être mis en place.

L'azote organique se transforme dans les eaux usées en azote ammoniacal NH_4^+ . L'élimination de l'azote ammoniacal est, le plus souvent, obtenue grâce à des traitements biologiques, de "nitrification dénitrification". La nitrification consiste en une transformation, par des cultures bactériennes, de l'azote ammoniacal en nitrates (NO_3), une forme oxydée de l'azote.

Une seconde phase, la dénitrification, complète le processus. Les nitrates, sous l'action de bactéries "dénitrifiantes", sont transformés en azote gazeux. Ce gaz s'échappe alors dans l'atmosphère comme le CO_2 produit par l'élimination des matières carbonées.

Ces procédés sont aujourd'hui les plus compétitifs et les mieux adaptés, puisqu'ils peuvent, notamment, être combinés avec l'élimination de la pollution carbonée. Il suffit pour cela que les volumes des bassins et les dispositifs d'aération soient suffisants (Hennia, 2004).

2-4-2-L'élimination du phosphore

L'élimination du phosphore, ou "déphosphatation", peut être réalisée par des voies physico-chimiques ou biologiques. En ce qui concerne les traitements physico-chimiques, l'adjonction de réactifs, comme des sels de fer ou d'aluminium, permet d'obtenir une précipitation de phosphates insolubles et leur élimination par décantation. Ces techniques les plus utilisées actuellement, éliminent entre 80 % et 90 % du phosphore, mais engendrent une importante production de boues (Prescott *et al*, 2007).

2-4-3 La désinfection

Les traitements primaires et secondaires ne détruisent pas complètement les germes présents dans les rejets domestiques.

Un abaissement de la teneur des germes, parfois exigé pour les rejets dans des zones spécifiques (zones de baignade, zones de conchylicoles) (**Franck, 2002**) ou dans le cadre d'une réutilisation, il sera réalisé par des traitements de désinfection chimique par:

a) Le chlore : est un oxydant puissant qui réagit à la fois avec des molécules réduites et organiques, et avec les micro-organismes (**Baumont et al, 2005**). Les composés utilisés dans le traitement des eaux usées sont : le chlore gazeux (Cl_2), l'hypochlorite de sodium (NaClO) appelé communément "eau de Javel", l'hypochlorite de calcium ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$), le chlore de chaux ($\text{CaCl}_2, \text{OCl}_2$) et le chlorite de sodium (NaClO_2) (**Ouali, 2001**).

b) L'ozone (O_3) : est un oxydant puissant, il permet l'élimination des bactéries, des virus et des protozoaires. C'est le seul procédé vraiment efficace contre les virus (**Lazarova, 2003**).

c) Les ultraviolets (UV) : sont de plus en plus utilisés, depuis quelques années, pour désinfecter les eaux usées urbaines. Assurant un bon rendement de désinfection, les UV nécessitent un investissement important, mais présentent l'avantage de ne pas entraîner l'apparition de sous-produits.

2-4-4 Le lagunage naturel " tertiaire " : assure l'exposition des micro-organismes pathogènes au rayonnement solaire. Ce rayonnement provoque une destruction des germes d'autant plus efficace que le temps de séjour des eaux traitées dans la lagune est élevé (50 à 60 jours). Cependant, l'efficacité de ce traitement s'amointrit lorsque l'exposition aux rayons du soleil se réduit, pendant l'hiver ou lors de remise en suspension de sédiments à l'occasion de fortes précipitations. Des lagunes de finition peuvent par contre être installées en aval d'une station biologique classique.

Les eaux usées de différentes compositions et de diverses origines constituent un problème pour la nature lors du rejet sans subir de traitements au préalable. Afin de montrer l'intérêt de leur épuration, nous avons présenté dans ce chapitre ses caractéristiques et les différentes étapes utilisées pour leur épuration. L'intérêt consiste à la réutilisation rationnelle et optimale de ces eaux dans le domaine agricole (**Hennia, 2004**).

Chapitre II : La réutilisation des eaux usées épurées en agriculture

L'Algérie est confrontée à la rareté de l'eau due à l'insuffisance et à l'irrégularité des précipitations dans le temps et dans l'espace. Le pays subit de plein fouet cette situation de stress hydrique à travers ses différents secteurs économiques, celui de l'agriculture et de l'AEP en particulier où la dotation moyenne annuelle est en dessous des 350 m³ par personne et par an ; ce qui est inférieur à la valeur du seuil de rareté admise au niveau international qui est de 1700 m³/ha/an. Pour remédier à cette situation, la recherche de toute ressource alternative dont la ressource non conventionnelle qui s'avère une solution à envisager.

1-Enjeux de la réutilisation des eaux usées épurées (REUE)

La poussée démographique, conjuguée à l'urbanisation, au développement industriel et à l'agriculture sont autant de facteurs majeurs qui accentuent la pénurie d'eau. Il est par conséquent important de développer de nouvelles ressources en eau ainsi que de protéger celles existante, la REUE présente l'avantage de préserver les eaux conventionnelles pour les vocations les plus nobles à savoir l'AEP et l'abreuvement du cheptel en plus des avantages agronomiques, environnementaux, sociaux et des retombées économiques pour les agriculteurs (Metahri, 2015).

2-Les avantages de la réutilisation des eaux usées épurées**2-1-Avantages agronomiques**

L'azote, le phosphore, le potassium et les oligo-éléments comme le zinc, le bore et le soufre, indispensables à la vie des végétaux, se trouvent en quantités appréciables dans les eaux usées et constituent un paramètre de qualité important pour la valorisation des EUE en agriculture. D'une façon générale, une lame d'eau résiduaire de 100 mm peut apporter de 16 à 62 Kg d'azote, de 2 à 69 Kg de potassium, de 4 à 24 Kg de phosphore, de 18 à 208 Kg de calcium, de 9 à 100 Kg de magnésium et de 27 à 182 Kg de sodium.

Le contenu de ces eaux en fertilisants, notamment l'azote, le potassium et le phosphore, permet d'obtenir des rendements meilleurs avec moins d'apports en engrais chimiques (Faby et Brissaud, 1997).

2-2-Avantages environnementaux

La REUE permet une meilleure maîtrise de l'assainissement, et donc, de rejets moins polluants qui se traduit par une diminution de la dégradation de l'environnement notamment de l'eutrophisation des cours d'eaux (Toze, 2006). Elle permet également de mobiliser une ressource en

eau additionnelle, et ainsi que de diminuer la surexploitation des eaux conventionnelles (Abbou, 2012).

2-3-Avantages sociaux

L'utilisation des EUE permet d'enrayer les limites de la production des denrées alimentaires liées au manque d'eau, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire mondiale (Trad Rais et Xanthoulis, 2006), ainsi que la réduction des conflits associés au partage des utilisateurs, favorisant à la fois les développements industriels, agricoles, urbains et touristiques (Veolia, 2006).

2-4-Avantages économiques

La REUE est moins onéreuse que les autres techniques de se procurer de l'eau douce telle que le dessalement (Veolia, 2006).

3-Les inconvénients de la REUE

Certes la réutilisation possède plusieurs avantages, cependant, les inconvénients sont principalement liés à l'adaptation à la réglementation et au code d'usages ainsi que aux obstacles psychologiques et culturels rattachés à des eaux supposées impropres. Les principaux inconvénients liés à la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture peuvent être résumés en quelques points cités ci-dessous :

- Risque sanitaire lié à la présence de germes;
- En raison de la salinité élevée de l'eau usée, il peut en résulter certains effets négatifs sur le sol et sur les plantes;
- L'apport en quantité importante des doses d'azote et de phosphore peut nuire à la production agricole et contribue à la pollution des nappes lorsque les doses appliquées ne sont pas bien estimées;
- La réticence des usagers à utiliser l'eau usée, soit pour des raisons culturelles, soit parce que les cultures proposées sont de faibles rentabilités économiques.
- Les rejets urbains ont des débits continus et presque constants durant l'année, alors que l'utilisation agricole est saisonnière et la demande est différente selon les saisons et les périodes de productions. Ce qui nécessite une infrastructure considérable en matière de stockage de ces eaux durant la période hivernale.

Par ailleurs, nous tenons à signaler que toutes ces contraintes sont liées au non-respect du code de bonne conduite de la REUE. En effet, la REUE est limitée sévèrement quand l'environnement ou la santé publique est préjudiciable.

4-Qualité des eaux usées épurées pour l'irrigation

4-1- La qualité physique et chimique

4-1-1-Les MES

Les MES protègent les micro-organismes de beaucoup de traitements, comme le traitement au chlore et aux ultra-violets. Il existe donc une compétition entre l'élimination des micro-organismes et la préservation des MES en vue d'une utilisation agricole

Présentes en grande quantité, elles entraînent le bouchage de canalisations et des systèmes d'irrigation (**Faby et Brisaud ,1997**).

4-1-2-Excès en nutriments

Les éléments nutritifs (azote, phosphore, potassium) peuvent être en excès ou en manque par rapports aux besoins de la plante, cela provoque des effets négatifs, aussi bien au niveau des cultures que des sols. Un contrôle périodique de la quantité de nutriments présents dans l'effluent est nécessaire afin d'en tenir compte lors du calcul des besoins des cultures (**Faby et Brissaud, 1997**). Dans le tableau ci-dessous se résume une comparaison entre un excès et /ou une carence avec un apport adéquat de fertilisants sur les plantes.

Tableau 02 : Tableau comparatif entre un apport normal et un excès et/ou une carence en fertilisants dans une plante :

Elément fertilisant	Excès / carence	Apport normal
Azote	-Retard de maturation de fruit. -Baisse de rendement. -Lixiviation des nitrates dans la nappe phréatique.	Production élevée de fruits.
Phosphore	Rend la plante sensible au parasitisme (provocation de maladies).	Bon développement et croissance du végétal (racines, tige, feuilles).
potassium	Provocation de maladies fongiques.	Lutte contre la sécheresse. Production des protéines

4-1-3-La salinité et le pH

La salinité et le pH des eaux usées sont très variables selon l'origine des eaux, notamment lorsqu'il s'agit d'eaux usées industrielles. Des teneurs en sels élevées et/ou des pH extrêmes peuvent réduire, voire inhiber totalement la croissance des cultures. Le pH d'une eau d'irrigation devrait se

situer idéalement entre 6 et 8.5 et la conductivité électrique ne devrait pas dépasser 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ayers et Westcot, 1985).

4-1-4-Les éléments traces métalliques

Les métaux lourds (Cd, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, etc.) présents dans les eaux usées essentiellement d'origine industrielle, interviennent, pour certains, en qualité d'oligo-éléments dans la croissance des plantes. Cependant ils deviennent toxiques, aussi bien pour la croissance végétale que pour la faune et la flore du sol, lorsque leur teneur dépasse un certain seuil. (Voir annexe1).

4-2- La qualité microbiologique

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales, cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes (Voir annexe 1).

5- Perception des agriculteurs

Les agriculteurs peuvent montrer des réticences vis-à-vis de l'utilisation des eaux usées. Celle-ci pourrait être influencée par plusieurs facteurs : Les effets négatifs sur la qualité des sols, les risques de colmatage des tuyaux, le désherbage fréquent, et les risques sanitaires par les germes pathogènes contenus dans les eaux usées (Tiercelin et Vidal, 2006). Plusieurs mesures de lutte sanitaire existent pour limiter les risques liés à l'utilisation des eaux usées en agriculture. Parmi ces mesures : le traitement des eaux résiduaires, les mesures techniques (mise en place de zones tampon) et professionnelles (Utilisation de matériels et équipements adéquat), la restriction de son utilisation pour certaines cultures et le choix du système d'irrigation sont les plus efficaces.

5-1- Choix de la méthode d'irrigation

Le choix du système d'irrigation approprié dépend de la qualité de l'eau usée épurée, de la culture et de la capacité des agriculteurs à gérer les différentes méthodes et du risque potentiel sur l'environnement et sur la santé des agriculteurs et du public.

Les risques majeurs pouvant être engendrés par l'irrigation à partir des eaux usées épurées sont le colmatage des systèmes d'irrigation ainsi que le risque sanitaire. Ces risques sont plus ou moins différents selon la technique d'irrigation utilisée (Tiercelin et Vidal, 2006).

5-1-1- Irrigation de surface

L'irrigation de surface est un système par lequel l'eau est distribuée à la surface du sol par gravité, ce système comporte un danger de pollution du sol et des nappes phréatiques supérieur à celui des autres systèmes à cause des pertes par percolation. Il ne présente toutefois, pas de risque sanitaire majeur sur les fruits récoltés sur les parties aériennes du couvert végétal (FAO,2003).

5-1-2-Irrigation localisée

Irrigation localisée ou micro-irrigation est une méthode qui regroupe plusieurs systèmes de distribution de l'eau à la parcelle (goutte-à-goutte, micro-jet, etc.). Elle se caractérise par : La mise en place sur la parcelle d'un réseau dense de canalisation (rampes) couvrant totalement la surface à irriguer et, l'apport de l'eau au pied de la plante.

C'est la technique la mieux adaptée à l'apport d'eaux usées, dans la mesure où elle engendre le moins de risques sanitaires et la contamination des produits récoltés. En revanche, il pourrait être difficilement utilisable si l'eau usée épurée contient de fortes concentrations de matières en suspension, ce qui requièrent une filtration efficace et demandent un entretien constant à cause de leur sensibilité au colmatage (FAO, 2003).

5-1-3-Irrigation par aspersion

L'eau parvient aux cultures de façon semblable à celle apportée naturellement par la pluie grâce à l'utilisation de divers appareils de projection alimenté sous pression, choisis et disposés de façon à obtenir la répartition de l'eau la plus uniforme possible.

Si cette méthode engendre moins de risques de colmatage du réseau d'irrigation que dans le cas de l'irrigation localisée elle augmente, en revanche, le risque lié à la contamination des cultures par contact direct du fruit produit avec l'eau apportée. (FAO, 2003).

6-Risques liés à la réutilisation des eaux usées épurées

L'utilisation des eaux usées épurées en agriculture devient de plus en plus courante. Cette utilisation impose la prise en compte des risques liés à la présence de germes infectieux et autres polluants.

En irrigation, les dangers provoqués par les eaux usées épurées peuvent atteindre en premier lieu l'agriculteur, le sol, les plantes, le consommateur et l'environnement. Ces risques sont classés en deux groupes :

- Risques sanitaires
- Risques environnementaux.

6-1-Risques sanitaires

Le risque sanitaire lié à l'utilisation d'eaux épurées dépend à la fois des concentrations en contaminants dans ces eaux, c'est à dire du niveau de traitement supplémentaire appliqué, et du degré d'exposition des populations. Ce degré d'exposition dépend de l'usage qui sera fait de l'eau. Il peut y avoir une contamination par :

- Ingestion de micro-organismes éventuellement présents à la surface des plantes consommées
- L'inhalation de microgouttelettes d'eau contaminée est également possible dans le cas d'irrigation par aspersion (AFSA, 2008).

Ces micro-organismes pathogènes peuvent survivre quelques jours, semaines ou mois dans le sol ou sur des terres en culture. Les risques à la santé liés à ces agents sont principalement désinfections entériques. Certains agents microbiens peuvent causer des infections respiratoires, cutanées, oculaires ou encore plus sévèrement, occasionner une hépatite (Gauvin, 2006).

Les travailleurs agricoles et la population environnante seraient alors les plus exposés. Cependant, de nombreuses études ont montré qu'avec un traitement approprié avant la réutilisation, le risque serait faible (ORS, 2004).

6-2-Risques environnementaux

L'utilisation d'eau usée pour l'irrigation peut avoir des effets négatifs sur l'environnement. Les principaux dangers pour l'environnement associés à l'eau usée sont :

- La propagation des microorganismes pathogènes.
- L'introduction des produits chimiques dans des écosystèmes sensibles (principalement le sol, l'eau et les plantes) (FAO, 2003).

6-2-1- Effets sur les eaux**a) Effets sur les eaux de surface (Eutrophisation)**

Elle est définie, au sens habituel comme l'enrichissement des eaux en nutriments presque essentiellement le phosphore et l'azote qui vont favoriser la croissance des végétaux pour finalement induire des proliférations algales, des algues flottantes à la surface des eaux et macrophytes ou des algues sur les rivages ou sur les fonds.

Les proliférations végétales ne sont pas dispersées par les courants ou consommées par les herbivores mais elles s'accumuleront puis se décomposent sous l'action bactérienne avec consommation d'oxygène néfaste pour la faune ; la poursuite de la dégradation bactérienne en anaérobie est productrice de molécules indésirables (CO_2 , SH_2 , NH_3 , CH_4), voire toxique sur l'environnement aquatique. L'eutrophisation se caractérise par des modifications chimiques et une

transformation régressive des peuplements, elle est le premier stade d'une évolution vers une destruction de la flore et de la faune c'est-à-dire vers un état pathologique des milieux aquatiques, ce dernier stade qualifié de dystrophique survient souvent brutalement après l'eutrophisation.

b) Effets sur les eaux souterraines

Cet apport en éléments fertilisants peut également contribuer à une augmentation du taux de nitrates dans la nappe phréatique en présence de puits d'alimentation en eau potable près des endroits d'irrigation, il pourrait y avoir risque de méthémoglobinémie chez le nourrisson allaité avec du lait reconstitué, si la concentration de l'eau potable utilisée dépasse 10 mg/l de nitrate (exprimé en azote) (Gauvin, 2006).

6-2-2-Effets sur le sol

Le sol est un mélange complexe de substances minérales et organiques, à des concentrations qui varient très largement selon les régions et les climats.

L'irrigation de longue durée avec des eaux usées induit des changements de ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. L'impact dépend non seulement de ses caractéristiques physiques et chimiques, mais aussi du type de culture, de climat, et de la qualité et le volume des eaux usées utilisées pour l'irrigation ainsi que la méthode d'irrigation.

Le problème le plus important et le plus courant que les eaux usées peuvent occasionner dans les sols est la salinisation. (OMS, 2012).

D'autres problèmes sont prévus au niveau du sol et qui sont :

- L'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol.
- L'accumulation d'éléments potentiellement toxiques.
- L'accumulation de nutriments (FAO, 2003).

- La microfaune du sol (protozoaires et nématodes) est également affectée par les effluents, sa population totale augmente et sa composition change vers des espèces prédatrices (Gaye et al, 2010).

6-2-3-Effets sur les cultures

Au-delà de l'effet global de certains constituants de l'eau usée sur les cultures irriguées comme la salinité, l'eau usée peut potentiellement créer une toxicité due à une concentration élevée de certains éléments et quelques métaux lourds. Les nécroses sur les feuilles identifient des symptômes de toxicité au bore chez les cultures sensibles au bore (FAO, 2003).

7-La REUE dans le domaine agricole en Algérie

La réutilisation des eaux usées épurées afin de subvenir aux besoins en eau croissants du secteur agricole a longtemps été entravée en raison de la vétusté des stations d'épuration du pays. Dans la nouvelle politique de l'eau, elle est devenue un axe prioritaire et des investissements ont été consentis dans la réhabilitation des anciennes stations et dans la construction de nouvelles.

Etant donnée la situation de *stress hydrique*, les pouvoirs publics ont vu dans cette opportunité un moyen de réduire ou du moins de préserver les ressources en eaux traditionnelles tout en accroissant la production agricole.

Les arrêtés interministériels publiés le 15 juillet 2012 ont fixé respectivement la liste des cultures autorisées (Voir annexe 3) et les spécifications normatives de qualité physico-chimique des eaux usées épurées (annexe 1). L'utilisation des eaux traitées peut bénéficier également aux municipalités (espaces verts, lavage des rues, lutte contre les incendies, etc.), aux industries (refroidissement) et au renouvellement des nappes (protection contre l'intrusion des biseaux salés en bord de mer) et permet de lutter contre la pollution des ressources en eau (oueds, barrages, nappes phréatiques, etc.).

L'objectif déclaré des autorités est de comptabiliser 239 stations d'épuration des eaux usées (STEP) en 2014 correspondant à une capacité de 1,2 milliards de m³ par an d'eaux épurées. Le recours croissant à cette ressource d'eau non conventionnelle constitue une incitation supplémentaire pour améliorer les capacités d'épuration des eaux usées et augmenter le taux de raccordement des particuliers au réseau d'assainissement. Les priorités pour les autorités portent sur la définition précise des usages de cette ressource, sur la capacité des STEP et du réseau de transport d'eau épurée à répondre aux besoins hydrauliques et sur l'acceptation par les usagers de réutiliser des eaux usées traitées (**Morgan et Alexis, 2013**)

Certains spécialistes de l'environnement considèrent qu'il est nécessaire de développer une stratégie à long terme d'optimisation de l'utilisation des ressources en eau, de protection de l'environnement et de développement durable, dont un des éléments est la réutilisation des eaux usées contribuant à la protection de la santé publique et à la conservation de l'environnement.

Partie Expérimentale

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

1-Présentation de la commune d'Azeffoun

1-1-Situation administrative

Azeffoun est une ville côtière située au Nord Est de la wilaya de Tizi-Ouzou. Elle est distante d'environ 65km du chef-lieu de la wilaya, de 82km de Bejaia et de 128km de Boumerdes. Elle se délimite au nord par la mer méditerranée, à l'Est par la commune d'Ait chafaâ, à l'ouest par la commune d'Iflissen, au sud par les communes d'Aghrib et Akerrou.

1-2-Situation géographique

Les coordonnées géographiques de la commune sont : 32° 53'46'' N et 4° 25'13''E. Elle présente une superficie de 126.66 km². Selon GPRH2008 (recensement général de la population et de l'habitat), la commune d'Azeffoun comporte 17435 habitants pour une densité de 138 habitant /km², dont 5856 habitants sont recensés au niveau de la ville, ce chiffre est évalué à 9000 habitants en 2017 par l'APC d'Azeffoun.(Figure 01).



Figure 01 : Situation géographique de la zone d'étude

1-3-Aspect climatique

L'exploitation des données de pluviométrie et de température de dix ans (2007 à 2017) enregistrées par l'ONM (l'Office National de la Météorologie), on a réalisé le diagramme d'Emberger et le diagramme aérothermique de Bagnauls et Gaussen qui montrent que la région occupe l'étage bioclimatique subhumide avec une période sèche d'environ six mois et demi. (Voir annexe 4)

2-Présentation de l'Office National de l'Assainissement

Établissement de service public par excellence, l'Office National de l'Assainissement (ONA) se trouve au cœur de la politique prônée par le Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement, sa principale raison d'être est d'apporter une amélioration du cadre de vie du citoyen..

Son champ d'intervention actuel couvre, à travers ses unités opérationnelles, la gestion des systèmes d'assainissement communaux, à forte densité de population, implantés sur le territoire de quarante-quatre (44) wilayas.

L'Office assure l'exploitation de cent vingt (120) stations d'épuration ainsi que quatre cent seize (416) stations de relevage assurant le relevage des eaux usées véhiculées par un linéaire de réseau de près de 52.048 Km.

Cet office est structuré en 12 zones qui couvrent l'ensemble du territoire national.

Chaque zone est structurée en unités couvrant le territoire d'une wilaya.

L'unité de Tizi-Ouzou fait partie de la zone de Tizi-Ouzou qui en compte deux autres unités, Bouira et Bejaia. Cette unité gère :

- Un réseau d'assainissement de 4266 km linéaire réparti sur l'ensemble des 67 communes de la wilaya.
- 07 stations de relevage.
- 08 stations d'épuration (Tizi-Ozou, Azeffoun, Tigzirt, Draa El Mizan, Boghni, Tadmait, Draa Ben Khedda et Boukhalfa).

3-Présentation de la station d'épuration d'Azeffoun**3-1-Situation géographique**

La STEP d'Azeffoun est située à la limite nord de la commune d'Azeffoun sur le front de mer (figure 02).

Elle s'étend sur une superficie de 15376 m², sa capacité est de 1500 EH, conçue pour protéger le milieu récepteur (la mer méditerranéenne).

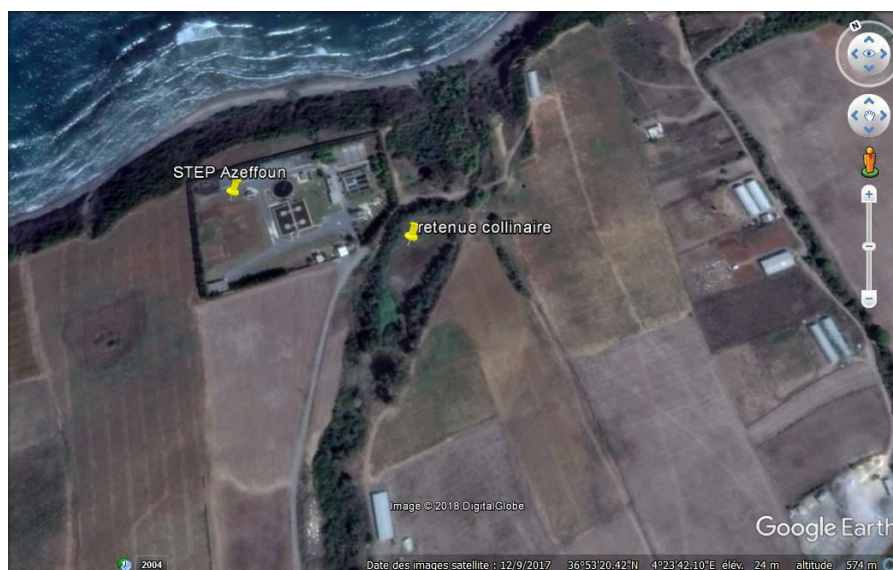


Figure 02 : Vue aérienne de la STEP Azeffoun (Google Earth, 2017)

3-2- Caractéristiques générales de la STEP Azeffoun

Tableau 03 : Fiche technique de la STEP Azeffoun (partie extension).

Désignation	Valeurs
Mise en service	Février 2013
Type de réseau	unitaire
Nature des eaux brutes	Domestique
Type de traitement	épuration biologique à boues activées à faible charge
Population raccordée	9000hab (en 2017)
Charge hydraulique	
Capacité	15000 E /H
Débit moyen journalier	1500 (m ³ /j)
Débit moyen horaire	62,5 (m ³ /h)
Débit de pointe	150 (m ³ /h)
DBO5 journalière	600 (kg/j)
DCO journalière	900 (kg/j)
MES journalières	600 (kg/j)

3-3- Fonctionnement de la STEP Azeffoun

La STEP d'Azeffoun reçoit les eaux usées de la station de relevage SR2, qui reçoit à son tour une partie par refoulement de la SR1 et l'autre partie par voie gravitaire (Figure 03).

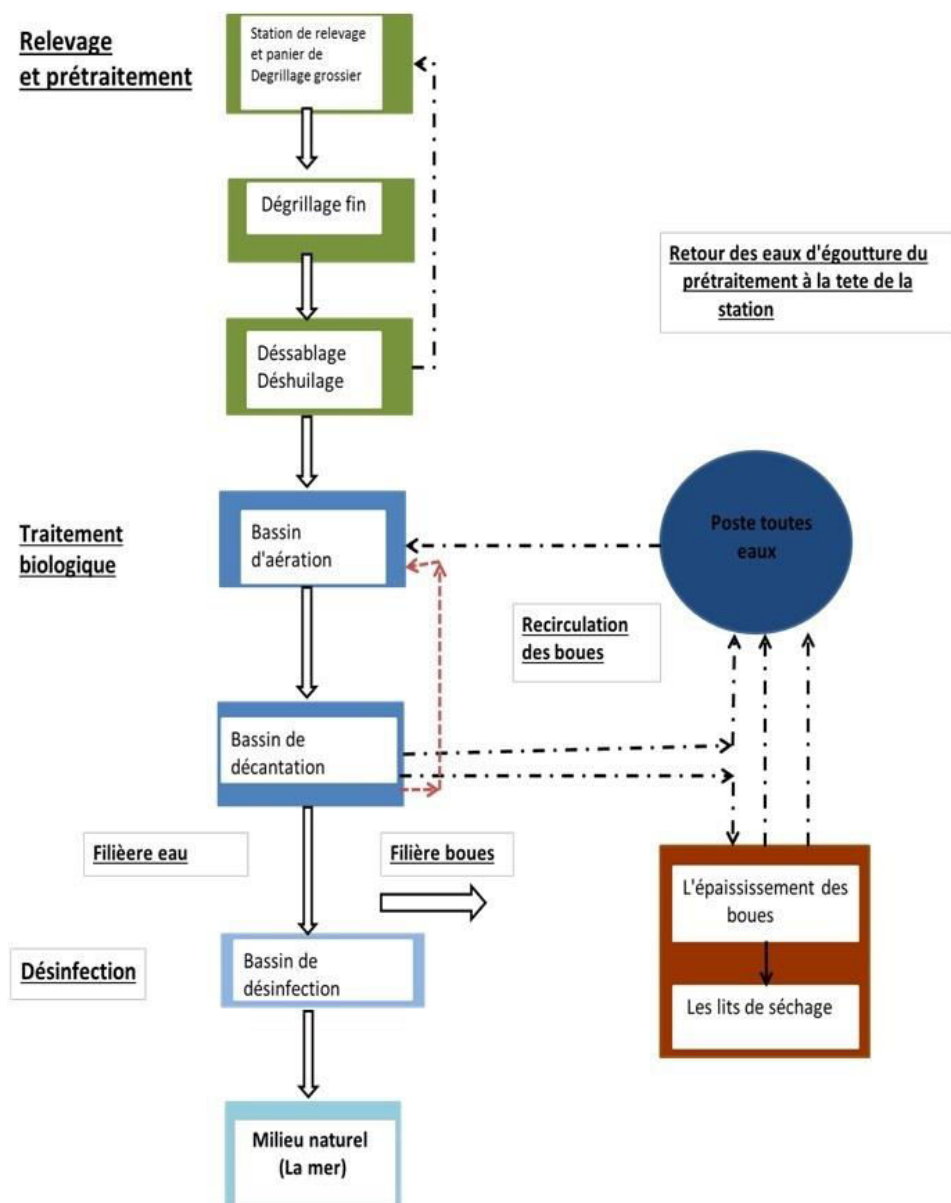


Figure 03 : Diagramme du fonctionnement de la STEP d'Azeffoun.

3-3-1-Arrivée des eaux à la STEP

L'eau arrive dans un canal à ciel ouvert muni d'un déversoir d'orage, qui a pour rôle de protéger la station des débits excédentaires en la laissant passer directement vers le milieu naturel (figure 04).



Figure 04 : Arrivée des eaux et déversoir d'orage.

3-3-2- Le poste de relevage

L'alimentation de la station se fait grâce à trois pompes immergées de $87,5 \text{ m}^3/\text{h}$ chacune, dont une de secours. Le fait de posséder trois pompes permet de gérer les écarts entre l'été et l'hiver et optimiser le fonctionnement du dessableur-deshuileur en évitant les à-coups. Les pompes sont protégées par un panier dégrilleur relevable (Figure 05)



Figure 05 : Poste de relevage.

Un débitmètre est installé au niveau de la canalisation qui alimente la station afin de mesurer le débit d'eau d'entrée.

3-3-3- Le prétraitement

a) Le dégrillage

C'est un dégrilleur fin automatique d'espacement de 20mm ; cet entrefer protège les ouvrages et les équipements placés en aval (aérateur du déshuileur ; équipements filière boue) ce qui allège et facilite d'autant la charge d'exploitation (Figure 06)

Les refus du dégrilleur sont déversés dans une seule benne de stockage



Figure 06: Dégrilleur automatique.

b) Dessablage-déshuilage

C'est un ouvrage combiné de déshuilage-dessablage de forme cylindro-conique de 4,20 m de diamètre et un volume de 34m³.

L'ouvrage est aéré par une turbine installée à l'intérieur d'une jupe de diffusion. Les bulles d'air introduites dans la masse du liquide, émulsionnent les matières légères et les graisses figées qui remontent en surface. Les flottants sont repoussés à la périphérie où ils sont raclés mécaniquement et déversés dans une goulotte qui les enverra gravitairement vers le traitement des graisses.

Les sables et autres matières minérales déposés au fond de l'ouvrage, sont évacués par une pompe à roue Vortex de débit de 30 m³/h et débarrassés des matières organiques et essorés sur un classificateur avant d'être déposés en benne comme avec les résidus du dégrillage (Figures 7, 8).



Figure 07 : Déssableur-déshuileur.



Figure 08 : Classificateur à sables.

3-3-4- Le traitement secondaire (biologique)

A la sortie du déssableur-déshuileur les effluents rejoignent les bassins d'activation via un regard de répartition qui alimente les réacteurs biologiques.

Ce regard de répartition optimise le mélange des effluents bruts et des boues recirculées.

a) Bassin d'aération

Il est composé de deux bassins biologiques rectangulaires fonctionnant en aération discontinue. Chaque bassin a 23 m en longueur, 1,5 m en largeur et 3,90 m en profondeur (Figure 09).

Ces bassins assurent d'une part, la minéralisation de la pollution hydro-carbonée ainsi que une partie infime de la pollution azotée. D'autre part, ils permettent, la nitrification partielle de l'azote ammoniacal et organique simultanément avec la transformation du phosphore en orthophosphates qui sont contenus dans l'effluent brut.

Le brassage et l'aération de la liqueur mixte sont assurés par deux aérateurs de surface, ces derniers fonctionnent en intermittence pendant 15 min et s'arrêtent 15 min.

La garantie du traitement d'une partie d'azote et du phosphore sera assurée pendant la phase d'arrêt des aérateurs durant laquelle une phase d'anoxie est enclenchée. Cette manière de faire, assure une consommation pléthorique des nutriments par la boue activée d'où une coélimination de l'azote et du phosphore.



Figure 09 : Bassin d'aération et aérateur de surface.

b) Le dégazage

Après un temps de séjour, la liqueur mixte des deux bassins passe dans un dégazeur commun. Le dégazeur, placé en amont du clarificateur, est un ouvrage qui permet une élimination des bulles contenues dans le mélange eau/boue. Ces bulles proviennent essentiellement de la formation de gaz au cours de réaction en aérobose ou anoxie avec notamment la présence d'azote gazeux.(Figure 10).



Figure 10 : Dégazeur.

c) Le clarificateur

La STEP Azeffoun est équipée d'un clarificateur de forme cylindro-conique muni d'un pont racleur pour racleur les flottants restants eu surface. Son diamètre est de 16m et une hauteur de 3m

L'injection du mélange eau/boue provenant des deux bassins d'aération se réalise par le bas du clarificateur, au centre du système, par la présence d'une jupe de répartition ; système permettant une bonne répartition du flux injecté au sein du décanteur.

Une goulotte, placée en périphérie du bassin, est précédée d'une lame déversant permettant une récupération en continue de l'eau épurée. Une lame placée de façon à éviter tout rejet de particules dans le système récepteur (figure 11).



Figure 11 : Clarificateur.

d) Poste de recirculation

Les boues décantées et concentrées au fond de l'ouvrage de clarification, seront recirculées vers les bassins d'aération par des pompes de recirculation, le refoulement des pompes se fait dans le bassin de répartition en amont des bassins d'aération afin de préserver une biomasse épuratrice de qualité et contrôler sa concentration qui doit varier de 3 à 35 g/l en été et de 6 à 6.5 g/l en hiver afin de garantir un même rendement. Les boues dites en excès seront pompées pour rejoindre la filière boue (Figure 12).

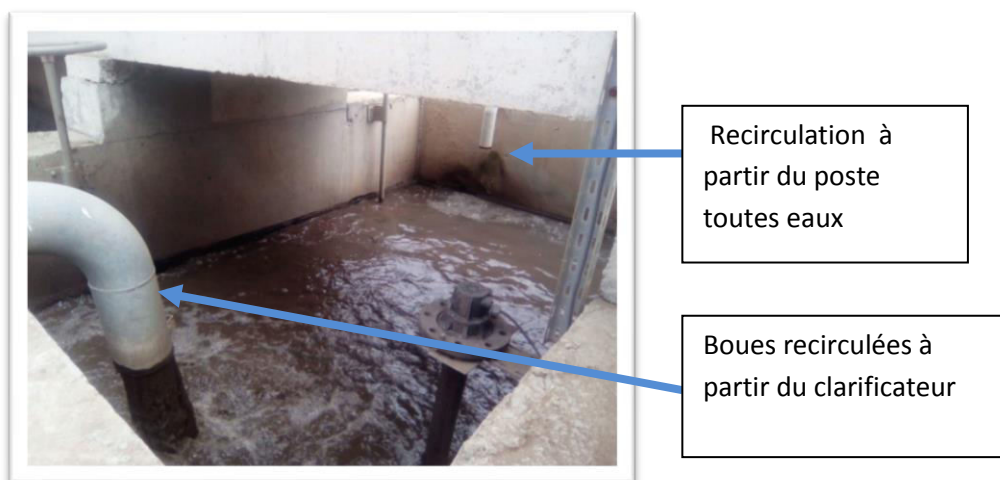


Figure 12 : Poste de recirculation.

3-3-5- Poste toutes eaux

Cet ouvrage permet de refouler en amont du traitement biologique tous les effluents internes de la station. Il est équipé de pompes qui fonctionnent sur détecteurs de niveau (Figure 13).



Figure 13 : Poste toutes eaux (vue de l'extérieur et de l'intérieur).

3-3-6-La désinfection

Un ouvrage dit de contact favorisant un temps de passage au moins de 20 min afin de favoriser l'homogénéisation et le contact de l'eau et du réactif désinfectant (eau de Javel), un local de désinfection à travers lequel se fait l'injection du désinfectant (Figure 14).



Figure 14 : Poste de désinfection.

Il est à noter que cette étape n'est pas réalisée et les eaux issues de clarification font juste passage dans le bassin de contact pour rejoindre le milieu récepteur via un canal de sortie (Figure 15).



Figure 15 : Canal de sortie des eaux épurées.

3-3-7– Epaississement des boues

Les boues en excès des deux lignes de traitement sont acheminées vers un ouvrage cylindro-conique, hersé afin d'être concentrées par décantation gravitaire avant admission sur les lits de séchage ; cet ouvrage a un diamètre de 6m et une hauteur de 3,42m. Il est muni de goulotte pour récupération du surnageant. La herse permet l'homogénéisation des boues (Figure 16).



Figure 16 : Epaississeur.

3-3-8- Lits de séchage

Ils sont au nombre de 10 avec 13m de longueur ; 3m de largeur et 0,9 m de profondeur

Les boues épaissies sont pompées et épandues sur lits de séchage sur une couche de 20 à 30cm pour y être déshydratées naturellement. Le principe est la filtration naturelle par gravité et le séchage à l'air de la boue. La déshydratation naturelle de la boue se fait en deux phases :

- Dans une première phase, la plus grosse partie de l'eau interstitielle filtre rapidement sans entrave vers le fond du lit
- La seconde phase est le séchage de l'air par évaporation

Le fond d'un lit de séchage est constitué de diverses couches de matériaux avec une granulométrie de plus en plus fine au fur et à mesure qu'on se rapproche de la surface, ces matériaux forment une couche de 40 à 50cm et sont protégées par un treillis.

Dans le fond du lit, les tuyaux de drainage évacuent l'eau filtrée vers le réseau de drainage donc en tête de la station (Figure 17).



Figure 17 : Lits de séchage.

Chapitre II : Matériel et méthodes

1-Caractérisation physico-chimique des eaux brutes et traitées

1-1-L'échantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.) (Rodier, 2005).

Avant de passer à la technique de l'échantillonnage, Il est nécessaire de déterminer les points de prélèvement qui sont comme suit :

- Les eaux brutes avant le prétraitement en amont du dégrilleur fin ;
- Les eaux épurées au niveau du canal de sortie.

Dans l'absence d'un préleveur automatique qui assure un échantillonnage sur les 24h, l'échantillonnage se fait manuellement par les analystes du laboratoire. 4 à 5 prélèvements d'au moins 200 ml chacun sont effectués sur la journée, ces derniers seront mélangés pour former un échantillon composite homogène.

Le prélèvement se fait à l'aide d'un préleveur manuel en profondeur du canal et en contre-courant, puis versé dans un contenant en verre. Les échantillons sont conservés au réfrigérateur à 4°C afin de préserver les caractéristiques initiales durant les 24h le temps d'effectuer l'analyse.

1-2- Mesure des paramètres physiques

Le mode opératoire de la mesure de la température, du pH, de la conductivité et de la turbidité est décrit en annexe 5.

Les MES ont été déterminés par un autre laboratoire

1-3- Mesure des paramètres chimiques et biochimiques

1-3-1- La demande chimique en oxygène DCO

Consiste à déterminer la quantité d'oxygène consommée par voie chimique en deux heures à 150°C. L'analyse a été effectuée par un autre laboratoire par la méthode spectrophotométrique

1-3-2- La demande biochimique en oxygène DBO

La détermination de la DBO₅ consiste à mesurer la consommation d'oxygène par voie biologique à température constante de 20°C, pendant un temps limité, par convention à 5 jours et à l'obscurité sous agitation par la méthode manométrique à l'aide d'un système de mesure OxiTop. (Figure 18). Pour le mode opératoire (voir Annexe 06).

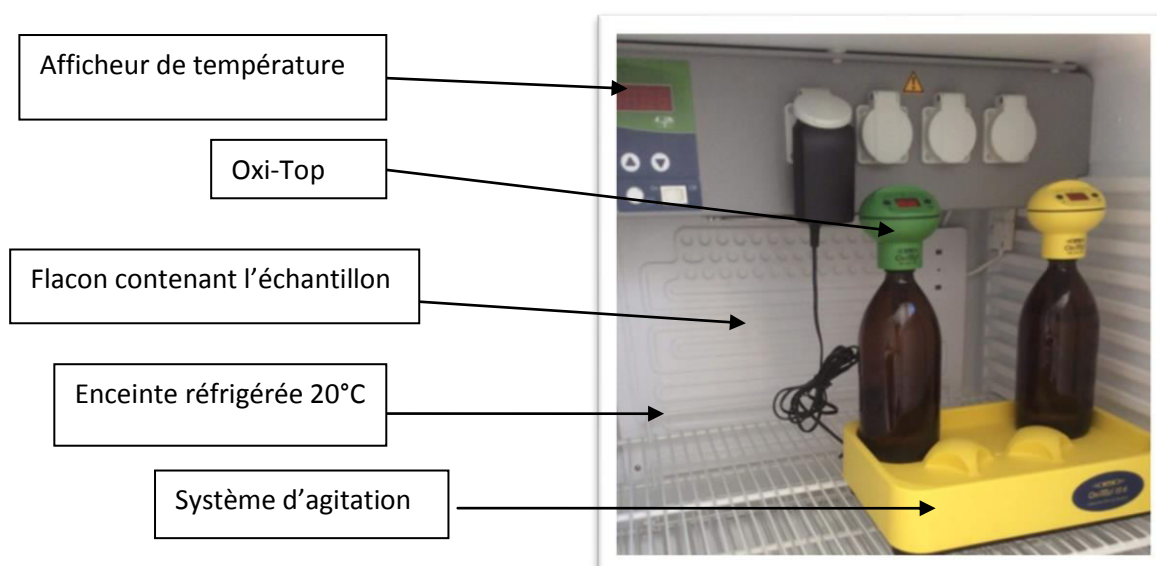


Figure 18: DBO mètre

1-3-3-L'azote et les phosphates

Pour le dosage des nitrites, nitrates et phosphates on a employé la méthode colorimétrique en utilisant un colorimètre HACH DR 820, des tubes de 25 ml et des kits de réactifs (Voir annexe 07)

Le dosage de l'ammonium (NH_4^+) a été effectué par un autre laboratoire par la méthode spectrophotométrique et les résultats nous ont été communiqués

1-3-4- Caractéristiques microbiologiques des eaux de rejet

a) Le prélèvement

Les conditions d'asepsie sont indispensables, en effet les contenants sont stérilisés et le prélèvement des eaux épurées se fait en plongeant la bouteille dans le canal de sortie puis retirer le bouchant dans l'eau et laisser remplir en contre-courant, on referme tout en gardant la bouteille immergée (Figure 19).

La teneur initiale en microorganismes contenus dans l'eau risque de subir des modifications après le prélèvement, c'est pour cela que toute analyse doit être effectuée le plus rapidement possible

et transportés dans une enceinte réfrigérée (aux environ de 4°C) avec un délai maximum de 8 heures avant l'analyse.

Le même échantillon a servi pour les analyses bactériologiques et parasitologiques.



Figure 19 : Prélèvement d'échantillon au niveau du canal de sortie.

b) Dénombrement des coliformes thermotolérants

Les coliformes thermotolérants sont des microorganismes en bâtonnet, Gram négatif, non sporulés, aérobies ou anaérobies facultatifs, capables de croître en présence de selles biliaires, fermentent le lactose avec production d'acides et de gaz en 48 heures à 44°C. (Gourmelon et al, 2002)

La recherche et le dénombrement des coliformes thermotolérants a été effectuée au niveau du laboratoire d'hygiène de la wilaya de Tizi-Ouzou par la technique de dénombrement directe en surface après filtration sur membrane selon la norme NF EN ISO9308-1 (Figure 20).

Généralement, on procède à une filtration par un appareil de filtration sur membrane. La membrane est en esters de cellulose, de porosité 0,45/ 0,2 µm, susceptible de retenir les bactéries (Rodier et al, 1996).

Un échantillon de 100 ml d'eau est filtré sur cette membrane, et déposé à la surface d'un milieu gélosé sélectif. Après 24 à 48h d'incubation à 44°C, on compte le nombre de colonies exprimé en UFC/100ml (voir annexe 08)



Figure 20 : Filtration sous vide.

c) Recherche des œufs d'helminthe (Nématodes)

La recherche a été effectuée au laboratoire de l'ONA par la technique de concentration par centrifugation (Figure 21) (Ayres et al, 1997). (Voir annexe 09).



Figure 21: Centrifugeuse avec tubes coniques.

Chapitre III : Résultats et discussions

1-Les paramètres physico-chimiques et biochimiques

Les résultats d'analyses obtenus durant la période allant du 15 au 19 Avril 2018(annexe 10) sont présentés sous forme d'histogrammes sous Microsoft office Excel 2007, de telle façon qu'ils soient facilement exploitables pour déterminer la pollution résiduelle de la station d'épuration par boues activées d'Azeffoun.

Les paramètres analysés quotidiennement sont la température, le pH et la conductivité et la turbidité. Pour la DCO, la DBO et les MES c'est 4fois/mois. L'azote et les phosphates sont analysés 2fois/mois.

1-1-La température

D'après les résultats obtenus (figure 22), les valeurs de la température de l'eau brute se situent entre 16,3 et 16,6 °C avec une moyenne de 16,47°C, celles de l'eau épurée entre 15,5 et 16,6 °C et une moyenne 16,07°C.

La température de l'effluent traité est inférieure à celle enregistrée au niveau des eaux brutes, le système renfermé des canalisations favorable au développement des organismes anaérobies, qui par leur activités fermentescible induisent un dégagement d'énergie. Ces valeurs sont en fonction de l'heure de prélèvement et des conditions météorologiques. La température de l'eau épurée est influencée par la température atmosphérique. (Rodier, 1996).

En Algérie, les normes des eaux usées admises dans la nature sont de l'ordre de 30°C (JORA, 2012).

La valeur de la température de l'effluent de la STEP Azeffoun se situe dans la gamme favorable à l'activité biologique ($\leq 30^{\circ}\text{C}$) ceci favorise le traitement biologique des eaux usées donc ne présente aucune limite d'utilisation agricole.

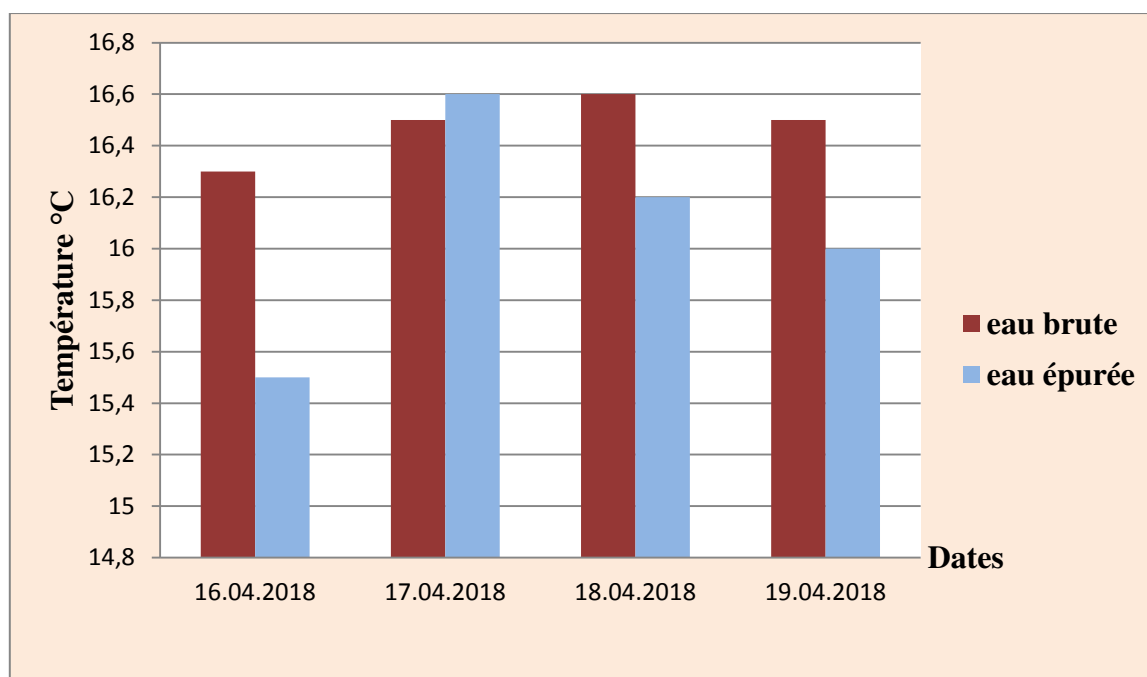


Figure 22 : Variation quotidienne de la température de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun

1-2- Le pH

D'après les résultats obtenus (figure 23), les valeurs du pH varient de 7,48 et 7,86 pour l'eau brute se situent entre 7,48 et 7,86 avec une moyenne de 7,63, celles de l'eau épurée entre 7,03 et 7,65 et une moyenne de 7,26.

Une eau usée urbaine possède un pouvoir tampon élevé. Les valeurs de pH des eaux usées avant traitement est de 7,63 qui est une caractéristique des eaux résiduaires, dont le pH est souvent de l'ordre de 7,5 à 8,5 le plus favorable à l'action bactérienne, pour les processus d'épuration aérobie et anaérobie (**Frank, 2002**).

En ce qui concerne l'eau traitée, le pH moyen est de 7,26 légèrement inférieur à celui enregistré à l'entrée ce qui serait probablement due à la minéralisation de la matière organique.

La valeur du pH obtenue répond à la norme OMS de rejet. Cette valeur coïncide avec le pH normal de l'eau de mer et des eaux douces en zones confluence (**Gaujous, 1995**).

L'eau traitée de la STEP d'Azeffoun ne présente aucun effet néfaste ou limitant sur le milieu récepteur et, sont donc acceptables pour une réutilisation agricole (JORA, 2012).

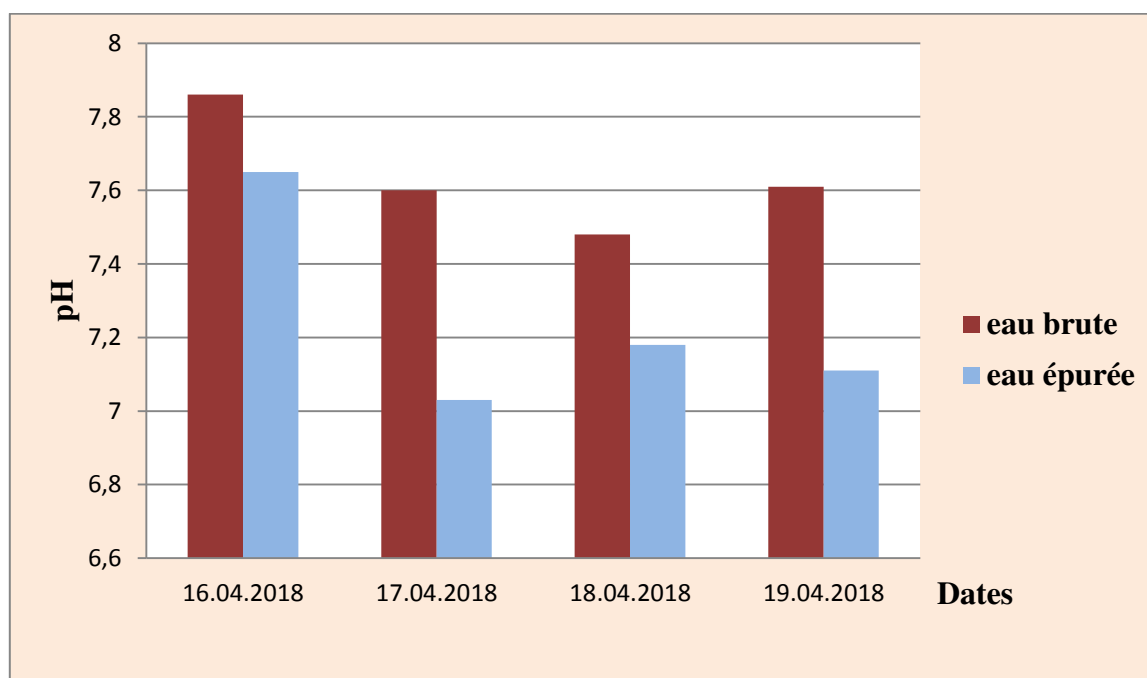


Figure 23: Variation quotidienne du pH de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun.

1-3- La conductivité

La valeur de la conductivité électrique (figure 24) se situent entre 1282 et 1346 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour l'eau brute avec une moyenne de 1336 $\mu\text{S}/\text{cm}$, celles de l'eau épurées varient entre 1205 et 1252 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une moyenne de 1237,95 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces valeurs sont en fonction du degré de minéralisation naturelle de l'eau potable et celle à l'usage domestique.

Une diminution légère de la conductivité pourrait être expliquée par la sédimentation des sels minéraux dans le décanteur qui se sont concentrés dans les boues.

Les valeurs de la conductivité de l'eau traitée sont inférieures à 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, norme exigée à la fois pour les eaux destinées à l'irrigation que pour leurs rejets directs dans le milieu récepteur.

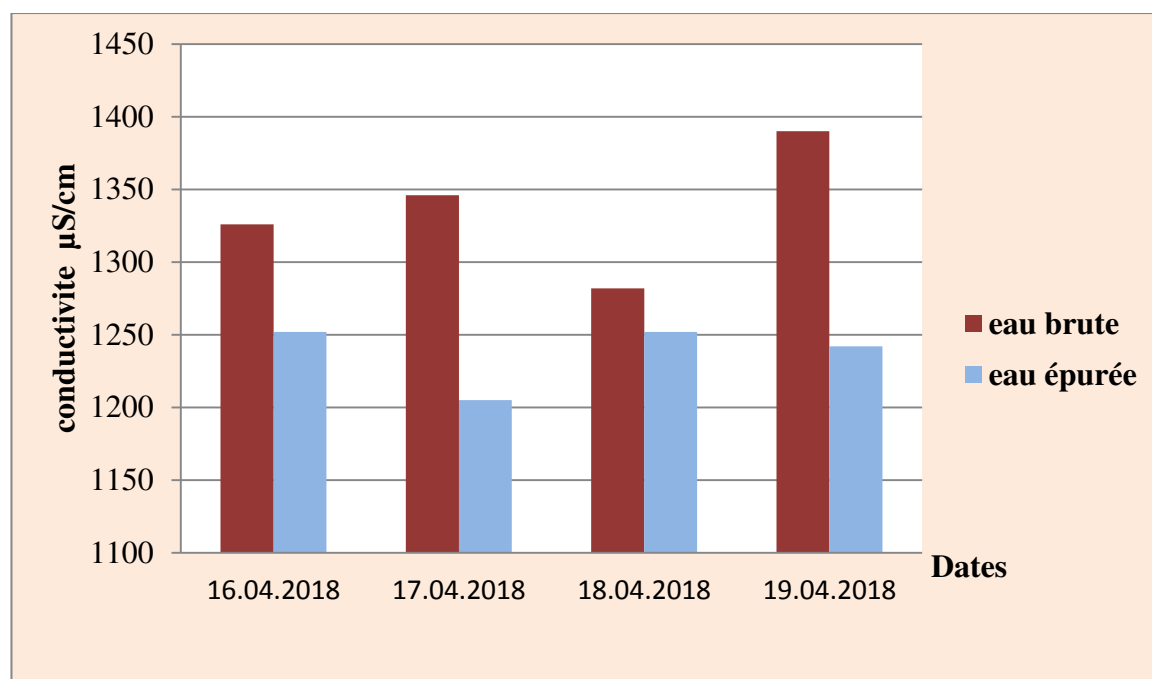


Figure 24 : Variation quotidienne de la conductivité de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun

1-4- La turbidité

Les valeurs hebdomadaires de la turbidité oscillent de 144 à 428 NTU avec une moyenne de 258,25 NTU pour l'eau brute, et de 6 à 11 NTU pour l'eau épurée avec une moyenne de 7,75 NTU.

La valeur est considérablement réduite après traitement pour atteindre 7,75 NTU au niveau des eaux épurées, cette valeur qui est largement inférieure à la norme algérienne du rejet qui est de 50 NTU (figure 25).

La turbidité, indicateur de présence de matières particulaires, renseigne donc indirectement sur la présence de microorganismes, plus la teneur en particules de l'eau est élevée, plus il est probable de trouver des microorganismes (**Santé Canada, 1995**).

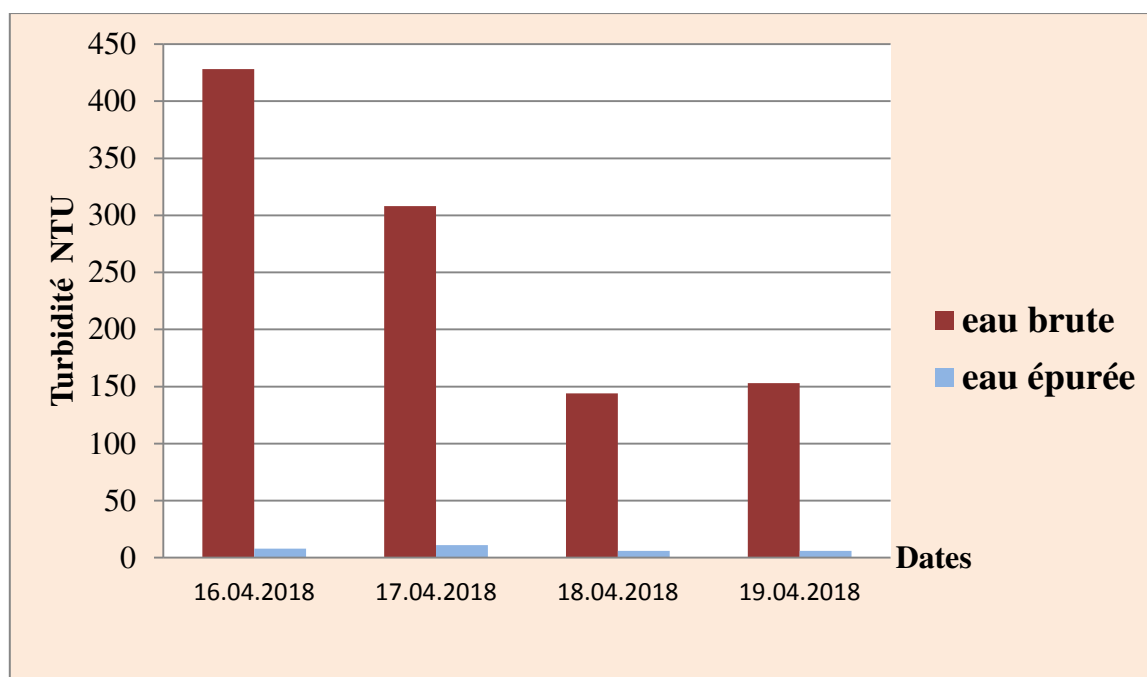


Figure 25 : Variation hebdomadaire de la turbidité de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun.

1-5- MES

Les matières en suspension (MES) sont, en majeure partie, de nature biodégradable (FAO, 2003). L'analyse des eaux usées de la ville d'Azeffoun a révélé une teneur élevée en MES qui est de 396 mg/l. Tandis qu'elles sont considérablement réduites dans l'eau traitée pour atteindre 5 mg/l (figure 26).

Cette diminution est due au traitement de décantation qu'a subi l'eau usée est très significative, elle présente un rendement épuratoire de 98,73 %, ce qui donne une idée sur l'efficacité du traitement. Sachant que la valeur limite des MES pour le rejet dans le milieu récepteur et pour l'irrigation est de 30 mg/l, on peut dire que ces eaux peuvent être destinées pour une réutilisation agricole.

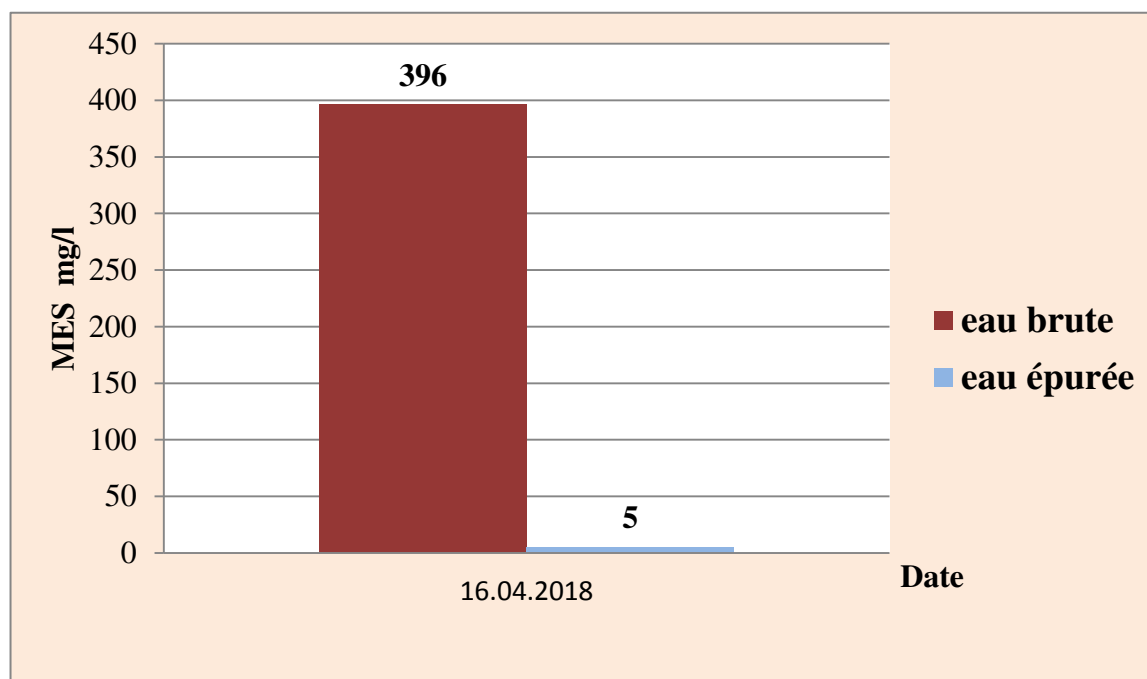


Figure 26 : Concentration hebdomadaire des MES (mg/l) de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun.

1-6- DCO

La demande chimique en oxygène DCO, est une indication sur les quantités de substances organiques chimiquement oxydables, présentes dans l'eau (**Bliffert et Perraud, 2001**).

Les valeurs obtenues pour ce paramètre sont de 402 mg/l pour les eaux brutes et 15,8 mg/l pour les eaux épurées, cette réduction est très significative, elle représente un rendement épuratoire de 96,06% et nous renseigne sur l'efficacité du système d'épuration (figure 27).

La valeur de la DCO obtenue pour l'eau épurée obéit aux normes OMS pour les rejets qui est fixée à 90 mg/l ainsi qu'aux normes algériennes pour les eaux destinées à l'irrigation dont la valeur de la DCO est fixée à 30 mg/l.

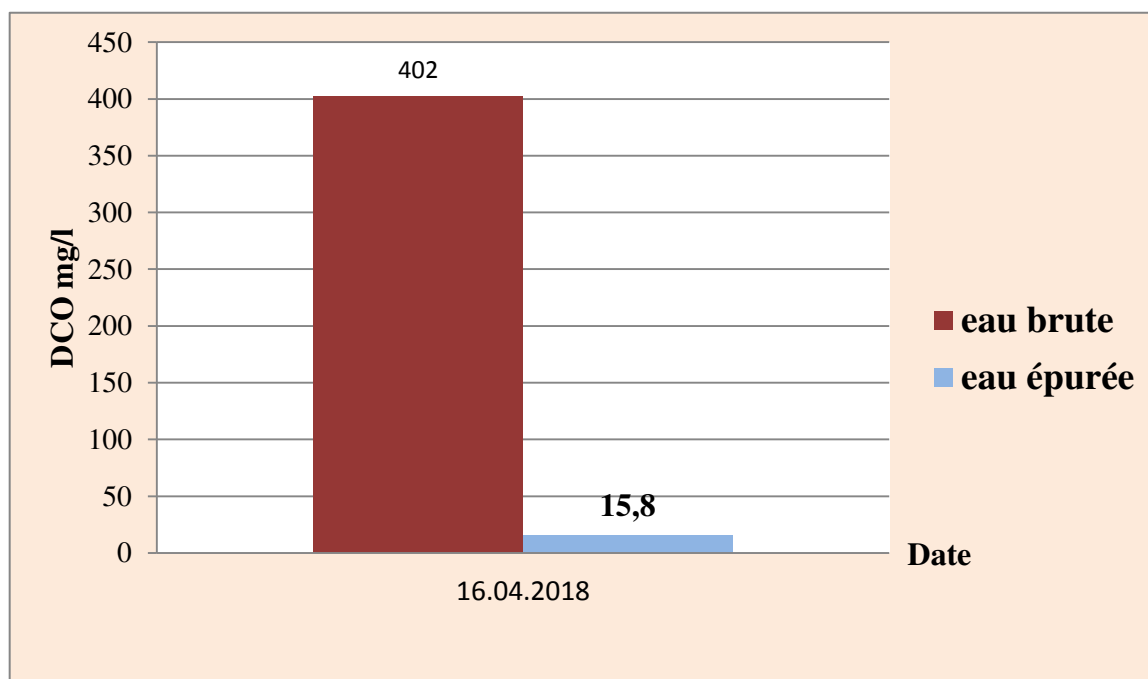


Figure 27 : Concentration en DCO (mg/l) de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun.

1-7- DBO₅

Les valeurs enregistrées pour la DBO₅ sont de 230 mg/l pour les eaux brutes et de 04 mg/l pour les eaux épurées avec un rendement de 98,26% ce qui est considérable et nous renseigne sur les performances appréciables de la station d'Azeffoun (Figure 28).

La valeur obtenue sur les eaux épurées répond aux normes de rejets et celle fixée à 30 mg/l par (JORA, 2012) pour les eaux destinées à l'irrigation.

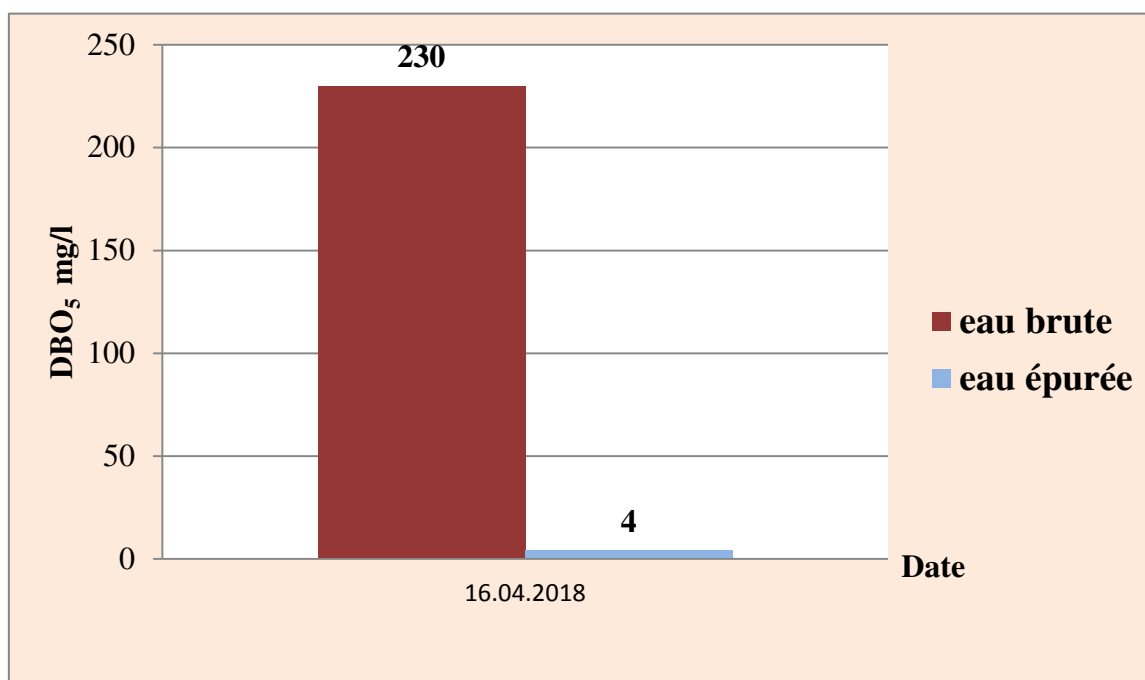


Figure 28 : Concentration en DBO₅ (mg/l) de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun

Le rapport entre la DCO et la DBO₅ permet de caractériser la nature de l'effluent en entrée de la STEP, il est en moyenne de $1,74 < 3$, donc nous permet de dire que l'effluent étudié est facilement biodégradable (**Rodier, 2005**). Ce qui confirme que les eaux usées traitées au niveau de la STEP Azeffoun sont d'origine domestique.

1-8- L'azote

Les résultats obtenus du dosage de l'azote sous ses différentes formes minérales est comme suit :

1-8-1-NH₄⁺

La teneur en ammonium enregistrée pour l'eau brute est de 22,08 mg/l, cette valeur passe à 0,18 mg/l pour les eaux épurée. Cette baisse très considérable est due au type du processus à boues activées qui permet l'élimination, presque de la quasi-totalité, de l'ammonium par le mécanisme de nitrification par les bactéries nitrifiantes (Figure 29).

L'intérêt de cette transformation réside dans le fait que la forme nitrique est moins toxique que la forme nitreuse et ammoniacale.

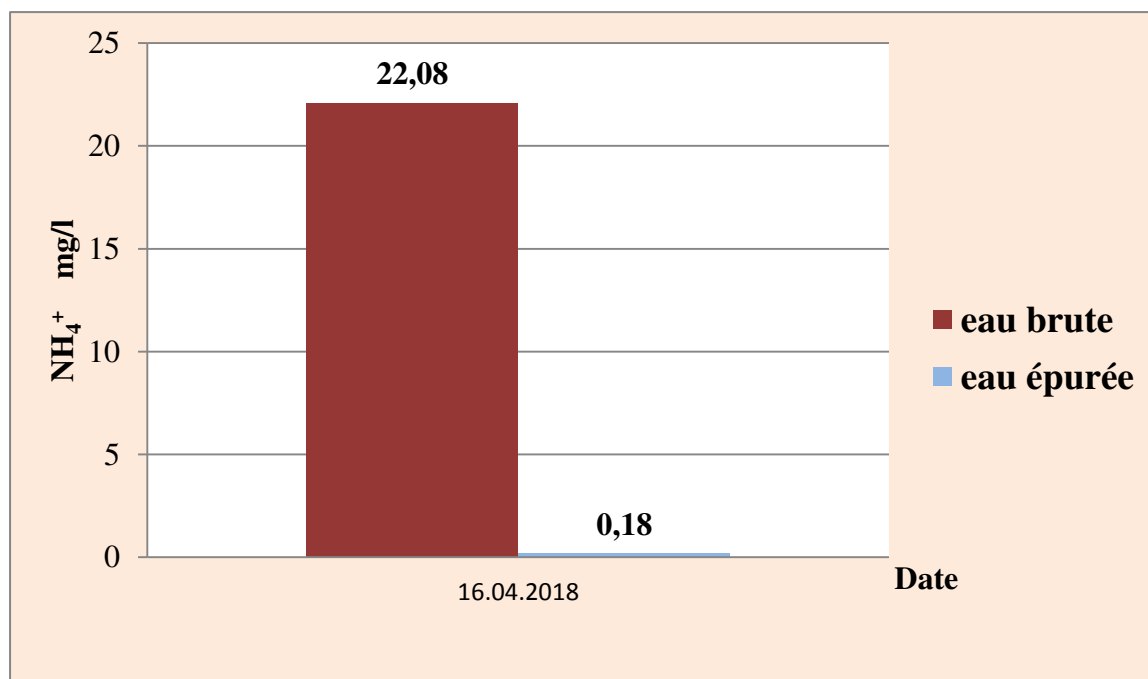


Figure 29 : Teneurs en NH_4^+ (mg/l) de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun

1-8-2- NO_2^-

D'après les résultats obtenus, les valeurs de l'azote nitreux avoisinent le zéro, elle est de 0,076 mg/l pour l'eau brute et 0,031 mg/l pour l'eau épurée (Figure 30).

La présence des nitrites en forme de traces dans les eaux brutes et épurées est due au fait que cette forme est transitoire est instable, elle est rapidement transformée en nitrates en présence d'oxygène.

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque ou la nitrification n'était pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante à des températures élevées, cette dernière joue un rôle important pour le fonctionnement du système de traitement (**Choubert, 2002**).

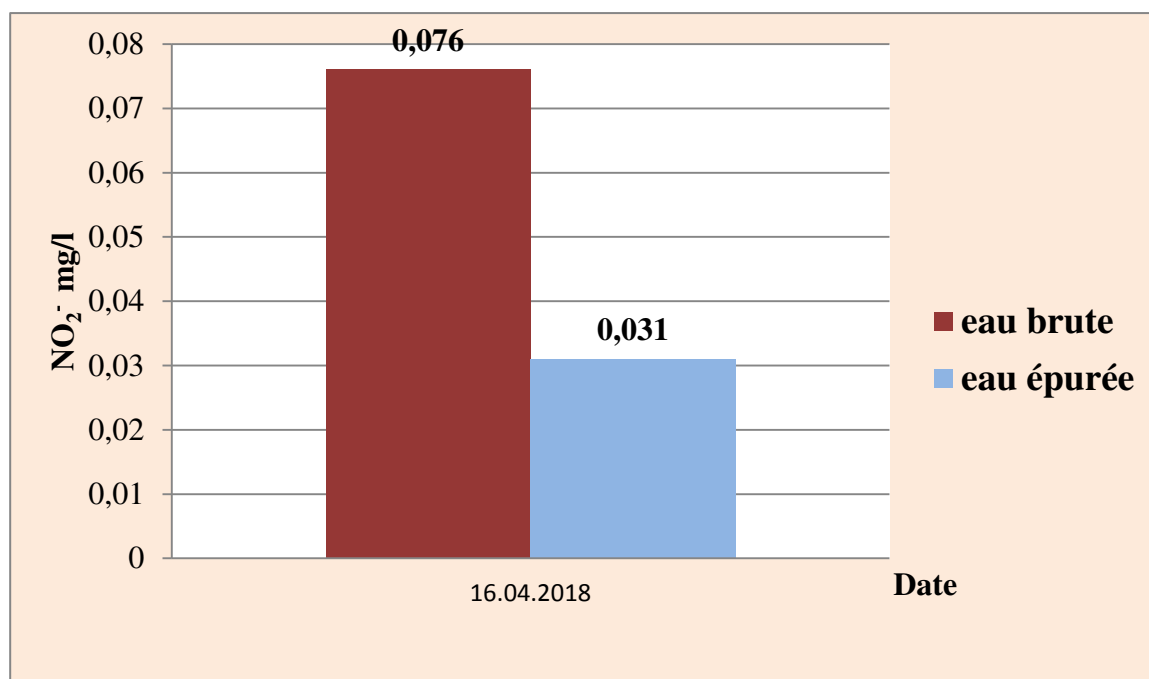


Figure 30 : Teneurs en NO_2^- (mg/l) de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun

1-8-3- NO_3^-

La valeur enregistrée pour les nitrates au niveau des eaux brutes est faible, elle est de 0,25 mg/l, cette valeur est considérablement élevée après le processus d'épuration pour atteindre une valeur de 22,5 mg/l (Figure 31).

En comparaison avec la valeur limite fixée par (JORA, 2012) pour les eaux destinées à l'irrigation, l'eau épurée de la STEP Azeffoun répond aux exigences (30 mg/l).

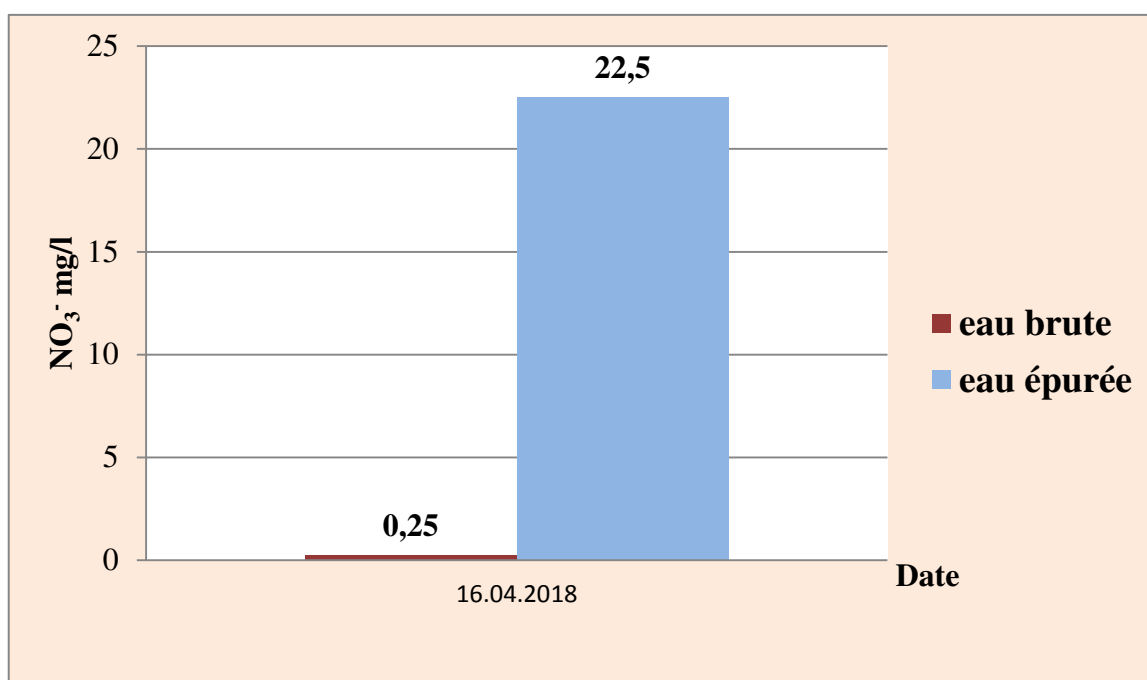


Figure 31 : Teneur en NO_3^- (mg/l) de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun

1-9- PO_4^{3-}

La teneur en orthophosphates enregistrée pour l'eau brute est de 6,9 mg/l et celle des eaux épurées est de 9 mg/l (Figure 32).

L'élévation de la teneur en orthophosphates après le traitement est due à l'activité des microorganismes qui participent à la transformation du phosphore organique en orthophosphates. Cette valeur est élevée et dépasse les normes algérienne et internationales des rejets (<2 mg/l).

Au cours du traitement la quasi-totalité du phosphore est transformée en orthophosphates, que l'on devra éliminer par un traitement spécifique de déphosphatation si la protection du milieu naturel l'exige (OIE, 2002)

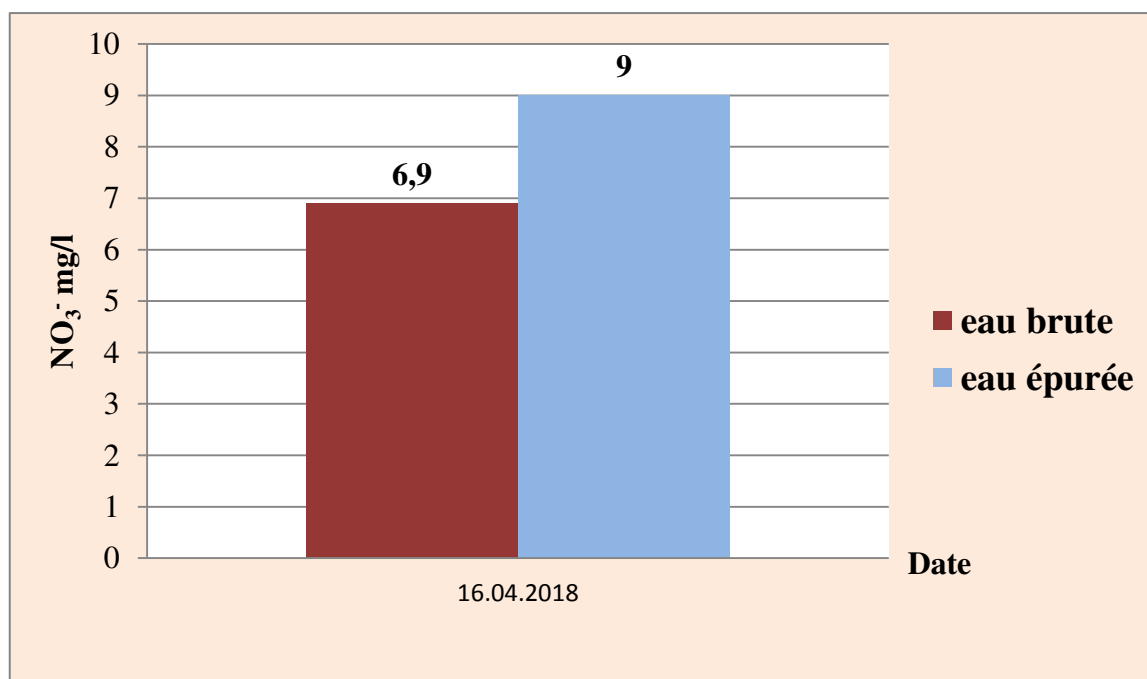


Figure 32: Teneurs en NO_3^- (mg/l) de l'eau brute et de l'eau épurée de la STEP Azeffoun

1-10- les métaux lourds

La recherche des éléments traces métalliques effectuée par le laboratoire central de l'ONA ont abouti aux résultats mentionnés dans le tableau 04.

Tableau 04 : Les concentrations des éléments en traces métalliques au niveau du rejet de la STEP Azeffoun

Paramètre	Résultant	Unité	Les valeurs limitent (mg/l) (JORA ,2012)
Nickel	<0,1	mg/l	2
Cuivre	<0,05	mg/l	5
Cadmium	<0,02	mg/l	0,05
Plomb	<0,2	mg/l	10
Zinc	<0,05	mg/l	10
Chrome	<0,5	mg/l	1
Cobalt	<0,1	mg/l	5
Fer	<0,1	mg/l	20
Manganese	<0,05	mg/l	10
Mercure	<1	µg/l	0,01

La teneur en éléments traces métalliques mercure, Nickel, cuivre, cadmium, plomb, zinc, chrome, cobalt, fer, manganèse et mercure obtenues sont nettement inférieures à celles exigées par la norme algérienne pour les eaux épurées destinées à une valorisation agricole (**JORA, 2012**). Nous signalons de ce fait, que les effluents secondaires de la STEP d'Azeffoun ne présentent aucune limite pour un usage agricole.

2- Les paramètres microbiologiques

L'analyse microbiologique a été effectuée sur trois (03) échantillons d'eau épurée étudiés entre le mois de mai et juin.

2-1- Dénombrement des coliformes fécaux

Appelés aussi coliformes thermotolérants. Les coliformes fécaux constituent un sous-groupe des coliformes totaux, capables de se développer à 44 °C. Les coliformes fécaux sont les plus appropriés que les coliformes totaux comme indicateurs de contamination fécale. Ce groupe est majoritairement constitué d'*Escherichiacoli* (**Mc Lellan et al, 2001**).

Le dénombrement des coliformes fécaux a révélé des concentrations élevées. En effet, l'ensemble des essais a montré des concentrations supérieures à 3000 UFC/100ml, avec une moyenne géométrique de 3000 qui est >1000UFC/ml (tableau 05) (Figure 33).

Tableau 05 : Résultats de dénombrement des coliformes fécaux

Date de l'échantillonnage	14/05/2018	28/05/2018	03/06/2018
Nombre de coliformes fécaux (UFC/100ml)	>3000	>3000	>3000

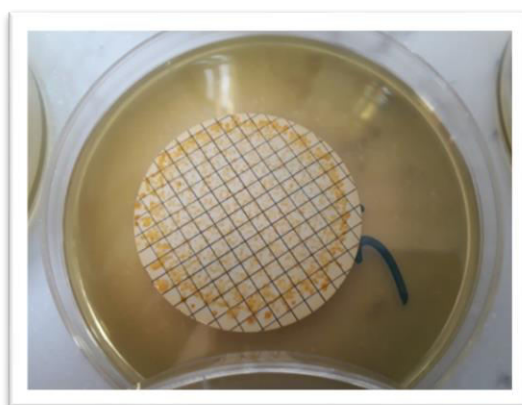


Figure 33: Colonies de coliformes fécaux après 24h d'incubation

2-2- recherche des œufs d'helminthes (Nématodes)

Les résultats de recherche parasitologique sont mentionnés dans le tableau 06

Tableau 06: Résultats de recherche des œufs d'helminthes

Date de l'échantillonnage	14/05/2018	28/05/2018	03/06/2018
Recherche des œufs d'helminthes dans un litre	négative	négative	Positive (02 œufs)

La recherche des œufs d'helminthes au niveau des eaux épurées de la STEP Azeffoun était négative sur deux échantillons et positive sur le troisième.

Les œufs retrouvés ont été identifiés comme étant ceux du ténia (Figure 34).



Figure 34: *Teania sp* (G x40)

L'OMS qualifie la présence d'helminthes, en particulier les nématodes intestinaux, comme principale contrainte ou limite de leur recyclage en agriculture, à cause de leur dose infectante faible et leur longue survie dans l'environnement (**Kefalla et al 2012**).

Vu les teneurs résiduelles importantes en coliformes fécaux dont la moyenne arithmétique >1000 UFC/100ml, ces eaux peuvent être utilisées pour une irrigation restrictive pour les cultures d'arbres fruitiers, cultures et arbustes fourragers, cultures céréalière, cultures industrielles, arbres forestiers, plantes florales et ornementales à condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrisent la gestion de l'irrigation localisée et respectent les règles d'hygiène exigées (**JORA, 2012**).

Chapitre IV : Estimation des taux de participations de la STEP Azeffoun

1-Estimation des taux de participation de la STEP Azeffoun en eaux

La station d'épuration d'Azeffoun a une capacité de 15000 EH avec un débit nominal journalier de 1500 m³/j. Ce qui donne un cumul annuel de 547500m³. Sachant que le déficit hydrique annuel de la wilaya de Tizi-Ouzou est de 600 mm (**Metahri, 2012**), et que le coefficient cultural de la culture étudiée (vigne) est de 0.53 (**Belabess, 2004**), cela correspond à un volume de 3180m³/ha, soit une moyenne de 87EH/ha.

Le volume total annuel est de 547500m³ permettra de couvrir une superficie de 172ha de viticulture en intensif pour la commune d'Azeffoun.

2-Estimation des taux de participations de la STEP Azeffoun en nutriments

Nous attirons l'attention des lecteurs que faute d'analyses relatives à l'azote total et au phosphore total, les calculs de ces paramètres se sont basés uniquement sur les concentrations en azote et en phosphore minéral.

2-1- Estimation des taux de participation en azote minéral

L'azote, facteur principal pour la production et la satisfaction des besoins des cultures, occupe la première place dans la démarche d'optimisation des productions végétale (**Goutouly, 2011**).

La valeur de la concentration en azote dans les eaux épurées de la station est de 22,71mg/l, avec un flux annuel de 12,43 tonnes d'azote minéral.

D'après (**Metahri, 2012**) les besoins en azote des vignes sont estimés à 140 kg/ha/an correspondants à 169EH.

Sachant que la quantité d'azote apportée par notre effluent est de 72,21kg/ha/an. Cette quantité est relativement insuffisante pour couvrir l'ensemble des besoins des cultures viticoles en place, d'où la nécessité un apport complémentaires d'engrais minéraux ou organiques (67,79 kg/h/an) afin de satisfaire cette demande et d'obtenir les rendements attendus.

2-2-Estimation des taux de participation en phosphore minéral

Le phosphore joue un rôle au niveau du développement végétatif de la vigne et dans les mécanismes énergétiques de la plante.

La valeur de la concentration en phosphore des eaux épurées de la station est de 9mg/l avec un flux annuel de 4,92 tonnes. Ce qui donne de 28,62 kg/ha/an .

Ainsi comparant à la demande en phosphore de la vigne qui est de 120 Kg/ha /an correspondant à 365 EH.

La quantité apportée est insuffisante pour pouvoir satisfaire les besoins en phosphore, l'agriculteur doit apporter 91,38 kg/ha/an d'engrais phosphatés.

3- Estimation du taux de participation de la STEP en eau en période d'irrigation

Le diagramme ombrothermique réalisé sur une durée de dix ans (2007-2017) a révélé une période sèche d'environ 6mois et demi allant de mi avril à octobre, ce qui nécessiterait l'irrigation durant cette période qui est d'une durée d'environ 200 jours .

En période sèche, la station produirait 300 000m³ qui couvrirait 94,3ha, ce qui correspond à 8219 EH.

Selon la (DPSB, 2013), les champs de vigne au niveau de la commune d'Azeffoun occupent une superficie de 83ha, la mobilisation des eaux traitées de la STEP Azeffoun pourrait couvrir la totalité des besoins en eau durant la période d'irrigation.

Conclusion générale :

L'Algérie est un pays semi-aride à faible pluviométrie où les apports climatiques sont irréguliers et subissent des variations chroniques et ne répondent que pour une infime partie des besoins globaux en eau de la population qui s'élèvent à près de 1700 m³/ha/an, alors que le taux de satisfaction en eau en Algérie n'est que 350 m³/ha/an.

Par ailleurs il est normal de se tourner vers des ressources d'eaux non conventionnelles pour satisfaire l'accroissement de la demande.

Les eaux usées urbaines rejetées chaque année représentent une ressource de valeur qu'il faudra exploiter, dans l'agriculture et d'autres usages municipaux afin de préserver les eaux conventionnelles.

La réutilisation des eaux usées permet de fournir des quantités supplémentaires d'engrais organiques à minéralisation progressive.

Le présent travail a pour objectifs :

- La gestion rationnelle des ressources hydriques conventionnelles et non conventionnelles afin de répondre aux besoins globaux en eau.
- La caractérisation des effluents d'entrée et sortie de la STEP Azeffoun afin de déterminer les performances du traitement à boues activées à la réduction de la pollution organique et une éventuelle réutilisation de l'eau traitée en irrigation.

Dans un premier temps nous avons effectué des analyses des eaux usées brutes et traitées de la STEP d'Azeffoun.

Les paramètres de pollution des eaux usées traitées déterminés : matières en suspension (MES), demande chimique en oxygène (DCO), demande biochimique en oxygène (DBO) l'azote minéral (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻) montrent que leurs valeurs ne présentent aucun danger quant à leur réutilisation en agriculture et elles sont dans les normes requises pour leur rejet direct dans le milieu aquatique et donc sans aucune nuisance pour l'environnement. Les orthophosphates (PO₄³⁻) dépassent avec une valeur de 9mg/l la limite fixée à 2mg/l pour les eaux de rejet d'où leur réutilisation en irrigation constituerait un bon traitement tertiaire

Le coefficient de biodégradabilité DCO/DBO₅ mesuré est de 1.75 indique que les eaux usées rejetées sont de nature biodégradable.

Conclusion générale

Les rendements obtenus pour les différents paramètres DBO₅, DCO, MES; sont respectivement 98,26% ; 96,06% ; 98,73%. Ces résultats témoignent de l'efficacité du système de traitement mis en place (traitement à boues activées).

Les résultats d'analyse des éléments traces métalliques ont montré que les concentrations en Cuivre (<0.05 mg/l), Nickel (<0,1 mg/l), zinc (<0,05 mg/l), Fer(<0.1 mg/l), manganèse (<0,05 mg/l), Plomb (<0,2 mg/l), cadmium (<0,02 mg/l), et chrome (<0.5 mg/l), sont inférieures aux normes requises et ne présentent aucune limite ou nuisances pour une réutilisation agricole à court ou à long terme.

Quant aux analyses parasitologiques et bactériologiques, on a enregistré la présence d'œufs d'helminthes avec absence de Nématodes intestinaux et une concentration moyenne supérieure à 3000 UFC/100ml pour les coliformes thermo tolérants. Ce qui permet de réutiliser ces eaux en irrigation restrictive selon la norme algérienne (**JORA, 2012**).

Au terme de cette évaluation de la charge polluante globale, on conclut que l'ensemble des paramètres étudiés, en particulier les paramètres de pollution métallique, biologiques et organique (DBO₅, DCO et MES) classent les eaux usées traitées de la STEP d'Azeffoun dans la tranche de concentration faible, qui est en relation avec l'eau brute arrivant à la station.

En dernier, nous avons fait une simulation des besoins en azote et en phosphates pour une culture bien prisée à Azeffoun qui est la vigne et nous avons conclu que la STEP peut apporter 547500 m³/an d'eau, 12,41 tonnes/an d'azote minéral et 4,92 tonnes/an de phosphates.

Par ailleurs, les futurs utilisateurs de cet effluent en l'occurrence les exploitants des parcelles voisines à la STEP, pour garantir une meilleure productivité agricole, il leur est recommandé d'ajouter un apport supplémentaire de 67,79 kg/ha/an d'azote minéral et 91,38 kg/ha/an de phosphore minéral pour leurs cultures viticoles sachant que la station ne fournit que 72.2 kg/ha/an d'azote et 28.6 kg/ha/an de phosphore et que les besoins annuels de la vigne en azote sont de 140 Kg/ha/an et de 120 Kg/ha/an en phosphore.

La mobilisation de la totalité des eaux traitées de la STEP Azeffoun couvrirait les besoins des 83 ha de vigne de la région en eau durant la période d'irrigation.

Recommandations

- ✓ Etant que les effluents sont des rejets directs vers la plage centre de la ville d'Azeffoun et suite à la concentration élevée en coliformes fécaux enregistrés et aux œufs d'helminthes que nous avons trouvé, nous suggérons de mettre en place une station de désinfection UV qui s'avère plus efficace qu'une désinfection chimique au chlore ;
- ✓ Suite aux concentrations élevées en coliformes fécaux dans l'effluent secondaire, il est nécessaire de diagnostiquer le fonctionnement du réacteur biologique et du clarificateur secondaire ;
- ✓ Vu la charge élevée en coliformes fécaux, un examen bactériologique plus poussé par rapport à la recherche des germes pathogènes avec étude de leur antibiorésistance ;
- ✓ Nous avons constaté la présence d'œufs d'helminthes dans l'effluent traité, nous suggérons des analyses complémentaires avec des fréquences adéquates pour confirmer ou infirmer le caractère de réutilisabilité de ces eaux pour une valorisation agricole ;
- ✓ Pour une meilleure réutilisation, mettre en place un bassin de stockage instantané ;
- ✓ En fin, une irrigation localisée est recommandée pour une meilleure efficience et une meilleure protection des ouvriers agricoles.

Références bibliographiques :

- **ABA-AAKI, 2012** : Elimination des métaux lourds (Cd, Pb, Cr, Zn, et As) des eaux usées industrielles et naturelles par le procédé d'infiltration-percolation, thèse de doctorat. Agadir, Maroc.
- **ABBOU SONIA, 2012** : Réutilisation des eaux usées épurées.
- **AFSA, 2008** : Agence française de sécurité sanitaire des aliments ; Réutilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage ou l'irrigation.
- **ALPHA SEDDIKI.M, 2005** : Thèse de doctorat en pharmacie sur : La qualité organoleptique de l'eau de consommation. Université de Bammako.
- **AMIR.S, 2005** : Contribution à la valorisation de boue de station d'épuration par compostage. Thèse de doctorat à l'institut polytechnique Toulouse
- **ANGERVILLE.R, 2009** : Thèse doctorat évaluation des risques écotoxicologiques liés au déversement de rejets urbains par temps de pluie.
- **ANONYME 1, 2004** : Dictionnaire Larousse
- **AYERS R.S et WESTCOST D.W, 1985**. Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper 29 Rev.
<http://www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E00.htm>.
- **AYRES RACHEL.M et DUNCANMARA.D, 1997** : Analyses des eaux résiduaires en vue de leur recyclage en agriculture. Manuel de technique de laboratoires bactériologie et parasitologie. Edition OMS
- **BASSOMPIERRE CINDY, 2007** : Procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote à la validation de modèles. Thèse Doctorat. Institut National Polytechnique De Grenoble, pp 25-42
- **BAUMONT.S ; CAMARD J.P ; LEFRANC.A ; FRANCONI.A, 2005** : Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France.
- **Belabbes.K, 2004** : Projet d'initiative propre : Ecobilans appliqués à l'agriculture et Formation de Conseillers agricoles en environnement au Maroc.
- **BEOGLIN J.C, 1998** : Traitements biologiques des eaux résiduaires. Techniques de l'ingénieur.28p.

Références bibliographiques

- **BLIEFERT.C et PERRAUD.R, 2001** : Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Déchets. Edition de Boeck, pp 317 à 477
- **BOEGLIN.J et ROUBATY J.L, 2007** : Pollution industrielle de l'eau, caractérisation, classification, mesure ; G₁210 V₂. Edition Techniques de l'Ingénieur. Paris.
- **BOUBCHIR.F ; NESSAH.H, 2004** : Caractérisation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux du bassin versant du barrage Taksebt (Tizi Ouzou) ; Mémoire de fin d'études diplôme d'Ingénieur d'état en Agronomie.
- **BOUTIN.K ; ALAIN.H ; HELMER, J.M, 2009** : Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT).
- **BOUZIANI, 2000** : L'eau (de la pénurie aux maladies).Ed. IBN KHALDOUN.
- **BUI.Y, 2007** : Helminthes et protozoaires. La médecine en contexte multiculturel II ; Vol ; 42 (3). 51p
- **CARDOT.C, 1999** : Les traitements de l'eau – Procédés physico-chimiques et biologiques. Ellipses, Paris : pp 247.
- **CHOUBERT J.M, 2002** : Analyse et optimisation du traitement de l'azote par les boues activées à basse température. Thèse Doctorat de l'Université Louis Pasteur – Strasbourg I, pp 29-32.
- **DEGREMONT, 2005** : Mémento Technique de l'eau 10^{eme} édition. Lavoisier, tome I, Paris
- **DESJARDINS.R, 1997** : Le traitement des eaux deuxième édition de l'école polytechnique de Montréal.
- **Direction de la programmation et suivi budgétaires de la wilaya de Tizi Ouzou (DPSB), 2013** : annuaire statistique de la willaya de Tizi Ouzou année 2013. Edition 2014, N°29.
- **DJEDDOU, 2014** : Prévision du taux d'échec avec les réseaux neurones artificiels dans une station de traitement des eaux résiduaires, thèse doctorat UMK. Biskra
- **EDDABRA, 2011** : Evaluation de la contamination bactériologique des eaux usées des stations d'épuration du Grand Agadir
- **ERIC et YANN LANDOT, 2009** : Code pratique de l'eau et de l'assainissement paris 2009.
- **FABY J.A ET BRISSAUD.F, 1997** : L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office international de l'Eau (OIE).

Références bibliographiques

- **FAO (2003).** Irrigation avec des eaux usées traitées, Manuel d'utilisation, FAO, 2003.
- **FRANCK.R, 2002 :** Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques. Edition Scérén CRDP AQUITAINE. Bordeaux, p165-239.
- **GAUJOUS.D, 1995 :** La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. Edition Technique et Documentation Lavoisier, p 220.
- **GAUVIN.D, 2006 :** Réutilisation d'effluents de stations de traitement d'eaux usées domestiques pour l'irrigation d'un terrain de golf.
- **GAYE.M et NIANG.S, 2010 :** Manuel des bonnes pratiques de l'utilisation saine des eaux usées dans l'agriculture urbaine .P131.
- **GERARD COSME et CHRISTIAN LAGRANGE, 2014 :** Guide pratique pour les particuliers.
- **GOURMELON.M ; DERRIN.A ; CRENN.L ; LOAEC.S, 2002 :** Dénombrement des coliformes thermo tolérants ou des Escherichia coli dans des sédiments côtiers vaseux. Direction de l'environnement et de l'aménagement littoral Département Microbiologie et phytotoxines (DELIMP).p75 .
- **GROSCLAUDE.D, 1999 :**L'eau, usages et polluants (Tome 2). Edition INRA. Paris.
- **HENNIA.K 2004 :** Les techniques d'épuration.
- **HYARIC.R, 2009 :** Caractérisation, traitabilité et valorisation des refus de dégrillage des stations d'épuration, thèse de doctorat, L'institut national des sciences appliquées de Lyon.
- **IBGE, 2005 :** L'eau à Bruxelles, qualité physico- chimique et chimique des eaux de surface (institut bruxellois de la gestion et de l'environnement)
- **Journal office N°41. 2012, République démocratique algérienne (JORA):** Conventions et accords internationaux - lois et décrets arrêtes, décisions, avis, communications et annonces.
- **KEFFALA.C ; HARERIMANA.C ; VASEL J.L, 2012 :** Œufs d'helminthes dans les eaux usées et les boues de station d'épuration : enjeux sanitaires et intérêt du traitement par lagunage. Environ Risque santé.
- **LAKHDARI B ,2011 :** Effet de la coagulation –floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain EL Houtz ; Thèse de Doctorat.

Références bibliographiques

- **LAZAROVA.V ; GAID.A ; RODRIGUEZ-GONZALES.J ; ALDAY ANSOLA.J, 2003** :L'intérêt de la réutilisation des eaux usées : analyses d'exemples mondiaux. Techniques, Sciences et Méthodes 9, pp 64-85
- **MADIGAN MICHAEL et MARTINKO JOHN, 2007** : Biologie des microorganismes.11ème édition, Pearson/éducation, Paris, pp 918-932.
- **MC LELLAN S.L; DANIELS A.D; SALMORE A.K, 2001**: Clonal populations of thermotolerant Enterobacteriaceae in recreational water and their potential interference with fecal Escherichia coli counts. Applied and Environmental Microbiology 67, pp 4934-4938
- **MELQUIOT.P et G.BERTOLINI 2003** : 1001 mots et abréviations de l'environnement et du développement durable. Ed RECYCONSULT.
- **MESLEM.T, 2012** : Elimination de l'azote et du phosphore contenus dans les eaux usées urbaines, ONA.
- **METAHRI M.S 2002** : Caractérisation de l'état de pollution et modélisation du pouvoir auto-épurateur de Sebaou par la méthode du bilan d'oxygène et évolution de la pollution par les Nitrates. Mémoire de Magister, UMMTO.
- **METAHRI M.S, 2012** : Elimination de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées (Thèse de doctorat).UMMTO.
- **METAHRI M.S, 2016** : Cours de pollution des eaux, Master 1 eau et environnement, UMMTO.
- **METAHRI M.S, 2015**: Ecology and safety, volume 9; 2015. Evaluation of cultivated land Required for tertiary treatment of secondary effluent from the east WWTP of Tizi Ouzou (Algeria)
- **Morgan Mozas & Alexis Ghosn, 2013** : État des lieux du secteur de l'eau en Algérie. Institut de prospective du mon méditerranéen (IPEMED)
- **Office international de L'EAU (OIE), 2002** : Définitions pollution et norme de rejet, 22p.
- **Office international de L'EAU (OIE), 2002** : Définitions pollution et norme de rejet, 22p.
- **OMS (Organisation mondiale de la santé), 2012** : L'utilisation sans risque des Eaux usées, des excréta et des eaux ménagères; p254.
- **ONM, 2017** : Office national de météorologie de Tizi Ouzou.

Références bibliographiques

- **ORS (Observatoire régional de santé), 2004** : Réutilisation des eaux usées épurées : considérations sanitaires et intérêts pour l'Île-de-France : Observatoire régional de santé d'Ile-de-France.
- **OUALI M.S, 2001** : Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux. Office des Publications Universitaires, Alger, pp12-31.
- **OUANOUI, 2014** : Gestion de l'environnement, traitement des eaux usées. Edition page bleue.
- **PRESCOTT ; HARLEY et KLEIN, 2007** : Microbiologie. 2ème Edition de Boeck. Paris, pp 837-855.
- **REJESK.F, 2002** : Analyse de l'eau, aspect réglementaire et technique. Edition CRDP. Aquitaine, d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France.
- **RODIER.J ; LEGUBE.B ; MERLET.N, 2009** : L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mers ; 9 eme édition .Edition Dunod . Paris.
- **RODIER.J, 1984** : L'analyse de l'eau, eau naturelle, eau de mer. Edition : Bordas, Paris.
- **RODIER.J, 1996** : Analyse de l'eau eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8 ème édition DUOND. Paris.
- **RODIER.J, 2005** : L'analyse de l'eau 8 eme edition. Duond Paris.
- **SANTE CANADA 1992** : Le nitrate et le nitrite. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada - Documentation à l'appui, Accessible à: www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/nitrate_nitrite/index-fra.php
- **Santé Canada, 1995** : La turbidité. Document de support aux recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada. Accessible à http://www.hc-sc.gc.ca/ehp/dhm/catalogue/dpc_pubs/rqepdoc_appui/rqep.htm.
- **SETER, 2014** : Service Etudes Travaux et Exploitation Réseaux, Reims Métropole, 2014.
- **TAMRABET LAHBIB, 2011** : Contribution à l'étude de la valorisation des eaux usées en maraichage. Thèse de doctorat.
- **Tiercelin Jean-Robert ; Vidal Alin, 2006** : Traité d'irrigation, 2ème édition Lavoisier, PP 737-768.
- **Toze.S, 2006** : Reuse of effluent water—benefits and risks. Agricultural water management n° 80.

Références bibliographiques

- **TRAD RAIS.M et XANTHOULIS.D, 2006** : Rôle de la micro-irrigation dans l'atténuation des risques sanitaires liés à la réutilisation des eaux usées à des fins agricoles, Vecteur-environnement, 2006.
- **VANDERMEERSCH.S, 2006** : Etude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogènes. (diplôme d'études spécialisées en gestion de l'environnement).
- **VEOLIA, 2006** : Le recyclage de l'eau, une solution locale quand l'eau se fait rare.
- **VILAGINES.R, 2003** : Eau, environnement et santé publique : introduction à l'hydrologie. 2^{ème} Ed, Lavoisier, Paris.
- **VILLERS.J ; SQUILBIN.M ; YOURAWWOSKY.C, 2005** : L'eau à Bruxelles Institut Bruxelloise pour la gestion de l'environnement/Observatoire des données de l'environnement.
- **YAH.I.H, 2011** : Le traitement des eaux de consommation. Cours polycopié, 4^{ème} année hydraulique, UMMTO.
 - **Webographie :**
<https://www.lenntech.fr/francais/data-perio/p.htm#ixzz5HP8IcBbf>
www.Googleearth.com

Annexes

Annexe(1) : SPECIFICATIONS DES EAUX USEES EPUREES UTILISEES A DES FINS D'IRRIGATION

Tableau 07 : Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2003) :

Constituent	Utilisation à long terme a (mg/l)	Court terme b (mg/l)
Aluminium	5.0	20.0
Arsenic	0.10	2.0
Béryllium	0.10	0.5
Bore	0.75	2.0
Cadmium	0.01	0.05
Chrome	0.1	1.0
Cobalt	0.05	5.0
Cuivre	0.2	5.0
Fluor	1.0	15.0
Fer	5.0	20.0
Plomb	5.0	10.0
Lithium	2.5	2.5
Manganèse	0.2	10.0
Molybdène	0.01	0.05
Nickel	0.2	2.0
Sélénium	0.02	0.02
Vanadium	0.1	1.0
Zinc	2.0	10.0

A : pour l'eau utilisée sans interruption sur tous les sols

B : pour l'eau utilisée pendant une période d'au plus de 20 ans sur des sols de texture fine, neutres, ou alcalins.

Tableau 08 : Paramètres microbiologiques (JORA, 2012)

Groupes de cultures	Parametres microbiologiques	
	Coliformes fécaux (CFU/100ml) (moyenne géométrique)	Nématodes intestinaux (œuf/1) (moyenne arithmétique)
Irrigation non restrictive. Culture de produits pouvant être consommés crus.	<100	Absence
Légumes qui ne sont consommés que cuits. Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire.	<250	<0,1
Arbres fruitiers (1). Cultures et arbustes fourragers (2). Cultures céréalières. Cultures industrielles (3). Arbres forestiers. Plantes florales et ornementales (4).	Seuil recommandé <1000	<1
Cultures du groupe précédent (CFU/100ml) utilisant l'irrigation localisée (5) (6).	pas de norme recommandée	pas de norme recommandée

(1) L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion est à éviter.

(2) Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.

(3) Pour les cultures industrielles et arbres forestiers, des paramètres plus permissifs peuvent être adoptés.

(4) Une directive plus stricte (<200 coliformes fécaux par 100 ml) est justifiée pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquels le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

(5) Exige une technique d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes.

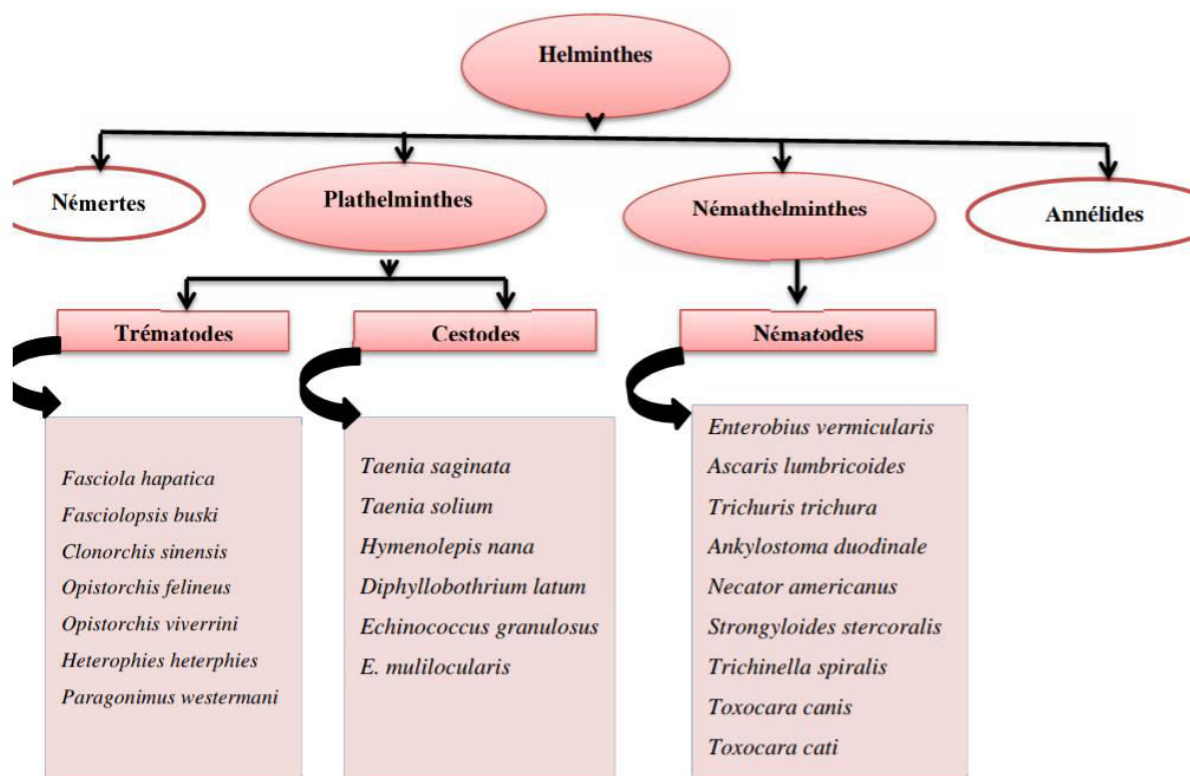
(6) A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrisent la gestion de l'irrigation localisée et respectent les règles d'hygiène exigées. Aucune population alentour

Tableau 09 : Les normes algériennes de réutilisation des eaux usées traitées (JORA ; 2012)

paramètres		Unité	Concentration maximale admissibles
Physico-chimiques	pH	--	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg / l	30
	DBO5	mg / l	30
	DCO	mg / l	90
	AZOTE (N-NO3)	mg / l	30
Eléments toxiques	Aluminium	mg / l	20.0
	Arsenic	mg / l	2.0
	Béryllium	mg / l	0.5
	Bore	mg / l	2.0
	Cadmium	mg / l	0.05
	Chrome	mg / l	1.0
	Cobalt	mg / l	5.0
	Cuivre	mg / l	5.0
	Cyanures	mg / l	0.5
	Fluor	mg / l	15.0
	fer	mg / l	20.0
	Phénols	mg / l	0.002
	Plomb	mg / l	10.0
	Lithium	mg / l	2.5
	Manganèse	mg / l	10.0
	Mercur	mg / l	0.01
	Molybdène	mg / l	0.05
	Nickel	mg / l	2.0
	Sélénium	mg / l	0.02
	Vanadium	mg / l	1.0
	zinc	mg / l	10.0

Annexe 02

Figure 35 : Classification des helminthes d'intérêt médical (Bui, 2007)



Annexe 03

Tableau 10 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées (JORA, 2012)

Groupes de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres fruitiers (1)	Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, rhubarbe, arachides, noix.
Agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
Cultures fourragères (2)	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce et luzerne.
Cultures industrielles	Tomate industrielle, haricot à rames, petits pois à rames, betterave sucrière, coton, tabac, lin.
Cultures céréalières	Blé, orge, triticales et avoine
Cultures de production de semences	Pomme de terre, haricots et petits pois.
Arbustes fourragers	Acacia et atriplex
Plantes florales à sécher ou à usage industriel	Rosier, iris, jasmin, marjolaine et romarin

- (1) L'irrigation avec des eaux usées épurées est permise à condition que l'on cesse l'irrigation au moins deux (2) semaines avant la récolte. Les fruits tombés au sol ne sont pas ramassés et sont à détruire.
- (2) Le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux usées épurées est strictement interdit et, ce afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs.

Annexe 04 :Synthèse climatique de la zone d'étude:

Le climat de la zone d'étude (ZE) est de type méditerranéen, caractérisé par deux saisons contrastées, un hiver frais et pluvieux suivi d'un été sec et chaud.

Pour une meilleure caractérisation du climat de notre ZE, nous avons retenu les paramètres de précipitations et températures pour la période allant de 2007 à 2017, paramètres relevés par l'ONM (Office national de la météorologie).

- **Les températures :**

Nous remarquons à partir du (tableau 11) que la température maximale est enregistrée durant le mois d'Aout (36.1°C), et la température minimale durant le mois de Février (6.9°C). la température moyenne annuelle est de (19.27°C). Selon SAADI(1970), un mois chaud étant défini comme un mois ayant une température moyenne annuelle à 20°C. La période chaude s'étale du mois d'Avril (16.85°C) au mois d'Octobre (21.5°C) ; tandis que la période froide définie comme la période ayant des températures inférieures à 20°C s'étale du mois de novembre (15.9°C) au mois de mars (13.9°C).

Tableau 11 : Variation des températures mensuelles maximales, minimales et moyennes en (°C) de la région de TiziOuzou pour la période allant de 2007 à 2017 (ONM de Tizi Ouzou,2017)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
M°C	16.7	16.3	19.2	22.6	26.3	31.6	36.1	35.3	31.3	27.5	19.8	16.8	24.95
m°C	7	6.9	8.6	11.1	14.1	17.7	21.4	22	18.9	15.5	12	7.9	13.59
S= (M+m)/2	11.85	11.6	13.9	16.85	20.2	24.65	28.75	28.65	25.1	21.5	15.9	12.35	19.27

- **Les précipitations :**

Les précipitations sont irrégulières et varient d'une année à une autre.

Tableau 12 : Moyennes des précipitations mensuelles et total des précipitations annuelles de la région de TiziOuzou pour la période allant de 2007 à 2017. (ONM de T.O, 2017)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Tot
P (mm)	123.54	113.13	101.56	68.04	66.09	16.22	1.83	5.73	38.07	54.94	119.92	115.64	824.71

- **P (mm)** : moyenne des précipitations annuelles (mm)
- **Total** : total des précipitations annuelles (mm)

Pour la région de TiziOuzou allant de 2007 à 2017, la hauteur des pluies la plus élevée est observée au mois de janvier (123.54 mm). Alors que la plus faible est enregistrée au mois de juillet avec une valeur de 1.83 mm. La pluviométrie moyenne annuelle de cette période est de 824.71 mm.

- **Diagramme ombrothermique de Bagnauls et Gaussen :**

Afin de caractériser le climat de notre région, et de mettre en évidence la période sèche, nous avons jugé utile de réaliser un diagramme ombrothermique de Bagnauls et Gaussen (Figure 36).

Selon les deux auteurs, il y a apparition de période de sécheresse lorsque $P=2T$. Nous traçons le diagramme en portant en abscisses les mois et en ordonnées les températures moyennes mensuelles et les pluviométries moyennes mensuelles avec une échelle double pour la première. Il y a sécheresse lorsque la courbe des précipitations rencontre celle des températures, et passe en dessous de cette dernière.

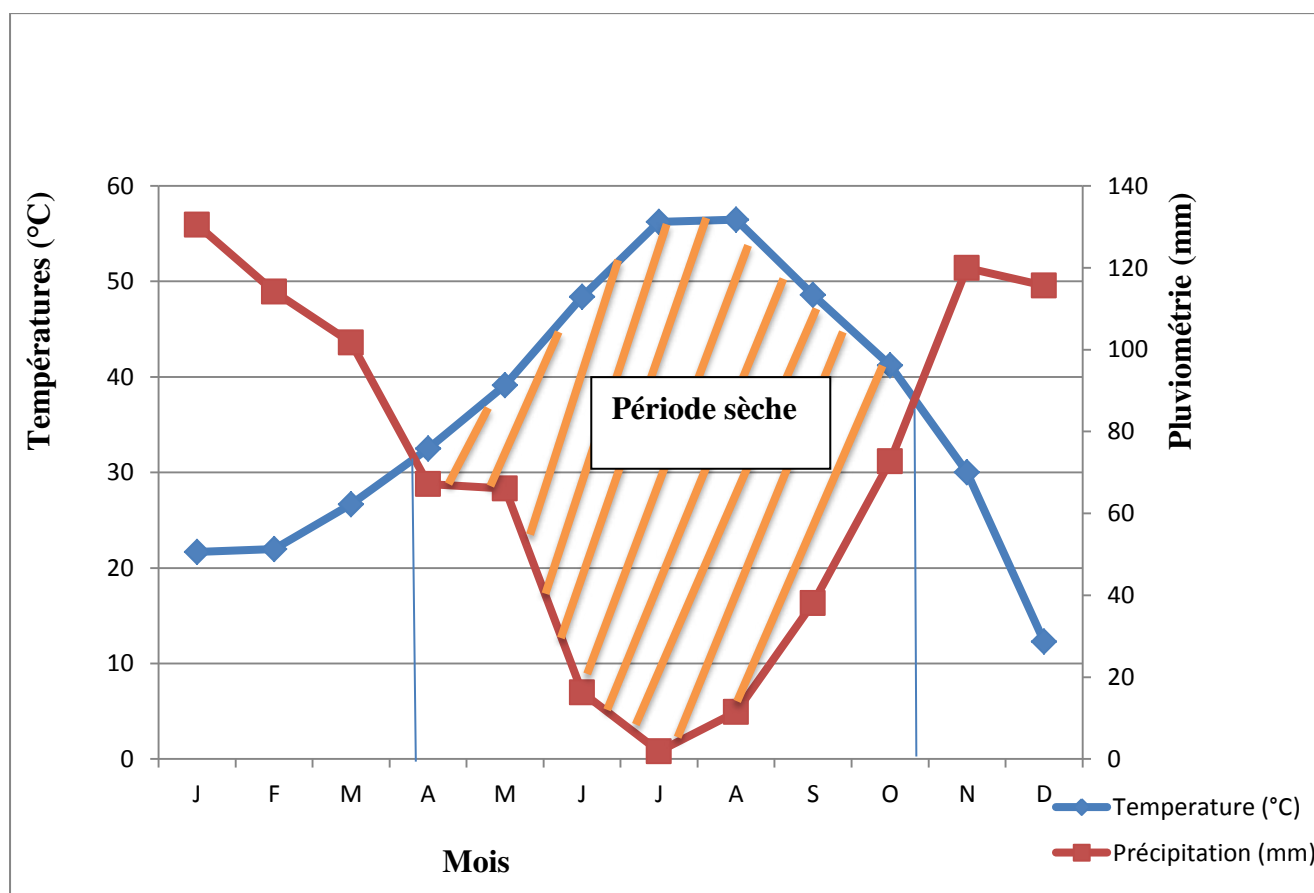


Figure 36: Diagramme Ombro-thermique de la wilaya de Tizi-Ouzou pour la période (2007-2017).

- **Quotient pluviométrique et climatique d'Emberger :**

Selon Emberger, la sécheresse du climat en région méditerranéenne peut être exprimée par un quotient dont la formule est la suivant :

$$Q_2 = 2000P / M^2 - m^2$$

Où

P : précipitation annuelle

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en degré Kelvin.

$$(35.3 + 273.2 = 308.5 \text{ } ^\circ\text{K})$$

m : moyenne des minima du mois le plus froid en degré Kelvin

$$(7 + 273.2 = 280.2 \text{ } ^\circ\text{K})$$

La valeur du quotient pluviométrique de notre région est de : $Q_2 = 99$.

Le climatogramme d'Eemberger (Figure 37) est représenté par la combinaison des valeurs (m) en abscisses et celles de (Q_2) en ordonnées, il permet de situer la ZE en fonction des étages climatiques.

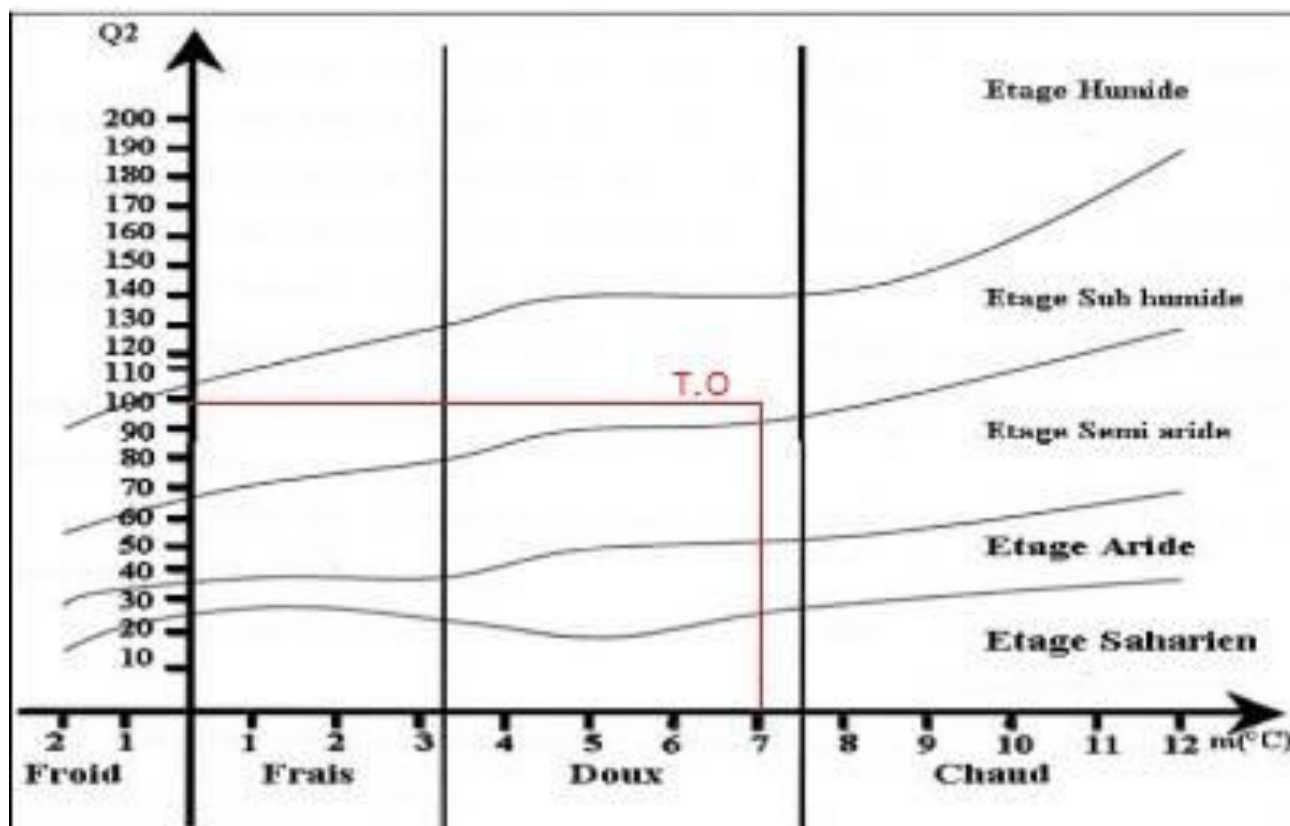


Figure 37 : Situation de la wilaya de TiziOuzou sur le climatogramme d'Eemberger.

Notre zone d'étude occupe l'étage bioclimatique sub-humide à hiver doux.

Annexe 05 : Mesure des paramètres physiques

La température

Vu l'instabilité et la variation de ce paramètre, la mesure se fait sur chaque prélèvement instantané. Puis une moyenne est calculée sur l'échantillon composite.

Dans un bécher on verse l'eau à analyser et on plonge la sonde du thermomètre, on attend la stabilité de l'affichage et on note la valeur qui s'affiche en °C.

Le pH

Dans un bécher on verse l'eau à analyser et on plonge la sonde du pH mètre, on met en marche le pH mètre. Après stabilisation de l'affichage sur le cadran du pH mètre, nous avons noté la valeur du pH.

La mesure de ce paramètre est instantanée et dans un délai maximal de 6h après le prélèvement.

La conductivité électrique

On introduit l'électrode du conductimètre dans un bécher contenant un volume suffisant de l'échantillon, on met le conductimètre en service et on choisit l'unité de mesure $\mu\text{s}/\text{cm}$. On lit le résultat qui affiche sur l'écran de l'appareil.

La turbidité

On remplit un tube avec 10ml d'eau distillée et un tube avec l'échantillon à analyser ; on introduit le numéro du programme 94 on fait entrer on met le tube d'eau distillée on ferme le capot on presse zéro puis on le chiffre 0 s'affiche ; on introduit le tube contenant l'échantillon à analyser on ferme le capot on appuie Read une valeur s'affiche sur l'écran en NTU

Annexe 06 : Mode opératoire détermination de la DBO₅

La technique repose sur la mesure de la pression dans un système clos. Les microorganismes qui se trouvent dans l'échantillon consomment l'oxygène en formant du CO₂. Celui-ci est absorbé avec du NaOH. Il s'ensuit une dépression dont la mesure peut être lue directement.

Dans un flacon opaque, préalablement rincé avec l'eau à analyser et dont la température ne doit être trop froide, on verse un volume bien déterminé de l'échantillon, ce volume est en fonction de sa charge polluante et on se réfère aux résultats de la DCO.

On y introduit un barreau magnétique et on met en ferme avec les cupules dans lesquels on y introduit 3 pastilles d'hydroxyde de Sodium et on ferme bien la bouteille avec OxiTop. On appuie bien au même temps sur les touches S et M jusqu'à l'affichage de 0 0, ainsi l'Oxi Top commence à enregistrer des valeurs chaque 24h pendant 5jrs.

Le tableau suivant nous donne les volumes d'eau à analyser selon la charge polluante ; un facteur de correction est donné à fin de calculer la valeur finale de la DBO.

La valeur de la DBO₅ est estimée à 80% de la valeur de la DCO

Tableau 13 : Volumes à utiliser pour la détermination de la DBO₅

Volume en ml	Concentration en mg	Facteur d'équilibre
4321	0-40	1
365	0-80	2
250	0-200	5
164	0-400	10
97	0-800	20
43.5	0-2000	50
22.7	0-4000	100

Annexe 07 : mode opératoire de la mesure de l'azote et du phosphore

1-Les nitrates (N-NO₃⁻)

⇒ **NITRATE, gamme basse (0 à 0,50 mg/l N-NO₃⁻)**

Principe de la méthode : Le cadmium réduit le nitrate dans l'échantillon en nitrite. L'ion nitrite réagit avec l'acide sulfanilique pour former un sel de diazonium intermédiaire qui réagit avec l'acide chromotropique pour produire un complexe coloré rose.

Mode opératoire :

1. Entrer le numéro de programme mémorisé pour le nitrate gamme basse (N-NO₃⁻).

Presser **PRGM** .L'affichage indique : **PRGM**

2. Presser : **55 ENTER** L'affichage indique **mg/l, NO₃-N** et le symbole **ZERO**.

3. Remplir le tube bouché de 25 ml jusqu'à 15 ml avec l'eau usée brute

4. Ajouter le contenu d'une gélule de réactif NitraVer 6 au tube et boucher.

5. Presser : **TIMER ENTER** Une période de réaction de 3 minutes commence.

Agiter vigoureusement le tube pendant la période de 3 minutes

6. Lorsque le minuteur sonne, l'affichage indique : **2:00 Timer 2**

Presser : **ENTER**

7. Lorsque le minuteur sonne, verser avec précaution 10 ml d'échantillon du tube dans une cuvette colorimétrique propre.

8. Ajouter le contenu d'un sachet de NitriVer 3 à la cuvette (l'échantillon préparé).

Boucher. Agiter pour dissoudre.

9. L'affichage indique : **15:00 Timer 3**

Presser : **ENTER**. Une période de réaction de 15 minutes commence.

Remplir une autre cuvette (le blanc) avec 10 ml d'échantillon.

10. Lorsque le minuteur sonne, placer le blanc dans le puits de mesure. Ajuster le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.

11. Presser : **ZERO** Le curseur se déplace vers la droite puis l'affichage indique : **0.00 mg/l NO₃-N**

12. Moins de 10 minutes après la sonnerie du minuteur, retirer le bouchon de l'échantillon préparé. Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure. Ajuster le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.

13. Presser : **READ** Le curseur se déplace vers la droite puis le résultat en mg/l de nitrate exprimé en azote s'affiche.

-NITRATE, gamme haute (0 à 30,0 mg/l N-NO₃⁻)

Le cadmium métallique réduit le nitrate en nitrite. L'ion nitrite réagit en milieu acide avec l'acide sulfanilique pour former un sel de diazonium intermédiaire. Ce sel réagit avec l'acide gentisique pour former une solution de couleur ambre. Cette gamme est appliquée à l'eau usée épurée

Mode opératoire :

1. Entrer le numéro de programme mémorisé pour le nitrate gamme haute

(N-NO₃⁻). Presser **PRGM** L'affichage indique : **PRGM**

2. Presser : **51 ENTER** L'affichage indique **mg/l, NO₃-N** et le symbole **ZERO**.
3. Remplir une cuvette avec 10 ml d'échantillon.
4. Ajouter le contenu d'un sachet de réactif NitraVer 5 à la cuvette (l'échantillon préparé). Boucher la cuvette.
5. Presser : **TIMER ENTER** Une période de réaction d'une minute commence.
Agiter la cuvette vigoureusement jusqu'à ce que le minuteur sonne.
6. Lorsque le minuteur sonne, l'affichage indique : **5:00 Timer 2**
Presser : **ENTER**. Une période de réaction de 5 minutes commence.
La présence des nitrates se traduit par une coloration ombrée
7. Remplir une autre cuvette avec 10 ml d'échantillon (le blanc). Essuyer tout liquide ou traces de doigts.
8. Placer le blanc dans le puits de mesure. Ajuster le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.
9. Lorsque le minuteur sonne, presser : **ZERO**
L'affichage indique : **0.0 mg/l NO₃-N**
10. Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure. Ajuster le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.
11. Presser : **READ**. Le résultat en mg/l d'azote (N-NO₃⁻) s'affiche.

2- Les nitrites, gamme basse (0 à 0,350 mg/l N-NO₂⁻)

Principe de la méthode : Le nitrite dans l'échantillon réagit avec l'acide sulfanilique pour former un sel de diazonium qui réagit avec l'acide chromotrope pour produire un complexe coloré rose dont la coloration est proportionnelle à la quantité de nitrite présent.

Mode opératoire :

1. Entrer le numéro de programme mémorisé pour le nitrite gamme basse en azote (N-NO₂⁻). Presser **PRGM**
L'affichage indique : **PRGM**
2. Presser : **60 ENTER**
L'affichage indique **mg/l, NO₂-N** et le symbole **ZERO**.
3. Remplir une cuvette avec 10 ml d'échantillon.
4. Ajouter le contenu d'une gélule de NitraVer 3 à la cuvette (l'échantillon préparé). Boucher. Agiter pour dissoudre la poudre.
5. Presser : **TIMER ENTER** Une période de réaction de 15 minutes commence.
6. Lorsque le minuteur sonne, remplir une autre cuvette avec 10 ml d'échantillon (le blanc). Essuyer l'extérieur des cuvettes avec un tissu propre.
7. Placer le blanc dans le puits de mesure. Ajuster le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.
8. Presser : **ZERO** l'affichage indique : **0.000 mg/l NO₂-N**
9. Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure.
Ajuster le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.
10. Presser : **READ** Le curseur se déplace vers la droite puis la concentration de nitrite en mg/l d'azote.

3- Les phosphates, ORTHO (0 à 30,00 mg/l)

Principe de la méthode

En solution fortement acide, le molybdate d'ammonium réagit avec l'orthophosphate pour former de l'acide molybdophosphorique. Ce complexe est ensuite réduit par le réactif aminoacide pour former le bleu de molybdène intensément coloré en bleu.

Mode opératoire

1. Entrer le numéro de programme mémorisé pour l'orthophosphate, méthode l'orthophosphate, méthode aminoacide. Presser **PRGM** L'affichage indique :**PRGM**,
2. Presser : **85 ENTER** L'affichage indique **mg/l, PO4** et le symbole **ZERO**.
3. Remplir une cuvette avec 25 ml d'échantillon.
4. Ajouter 1,0 ml de réactif molybdate en utilisant un compte-gouttes gradué de 1 ml.
5. Ajouter 1,0 ml de réactif amino-acide. Boucher et retourner plusieurs fois pour mélanger (échantillon préparé).
6. Presser : **TIMER ENTER** Une période de réaction de 10 minutes commence.
7. Verser 25 ml d'échantillon (le blanc) dans une cuvette.
8. Lorsque le minuteur sonne, placer le blanc dans le puits de mesure. Ajuster le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.
9. Presser : **ZERO** puis l'affichage indique : **0.00 mg/l PO4**
10. Verser l'échantillon préparé dans une cuvette. Placer la cuvette dans le puits de mesure. Ajuster le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.
11. Presser : **READ**. Le curseur se déplace vers la droite puis le résultat en mg/l de PO_4^{3-} s'affiche.

Annexe 08 : Mode opératoire de dénombrement des coliformes fécaux

Le déroulement des étapes s'est effectué en zone stérile entre deux becs bunsen et l'ensemble de l'appareillage est préalablement stérilisé.

⇒ Préparation du milieu de culture :

Le milieu gélose Tergitol 7 est liquéfié en bain marie, après refroidissement on y rajoute 1ml de l'additif TTC. On coule les boîtes de pétri sur une hauteur de 5mm on laisse refroidir.

⇒ Filtration

Afin de réaliser cette étape, on a utilisé un simple système de filtration sous pression.

L'ensemble de l'appareillage doit être placé entre deux becs bunsen, de manière à ménager une zone de travail stérile et à pouvoir stériliser le matériel à la flamme.

- on flambe la base et le support filtre. Une fois le support filtre refroidi, à l'aide d'une pince on pose stérilement la membrane stérile
- on flambe le godet. Une fois refroidi, on pose sur la base sans léser la membrane.
- on rince la membrane avec un peu d'eau stérile
- on verse doucement le volume de l'échantillon d'eau à analyser ;
- on filtre à l'aide d'une pompe à vide (création du vide)
- on rince avec de l'eau stérile l'ensemble de l'appareil, en particulier les bords internes du godet
- On débranche le tuyau à vide.

⇒ Mise en culture

-On flambe la pince et on retire la membrane.

- On la pose sur la gélose, sans faire de bulles et sans la retourner (la nutrition des bactéries se fait au travers).
- On Incube à la température de 44°C pendant 24 à 48h

Annexe 09 : Mode opératoire de recherche des œufs d'helminthes

- On laisse décanter notre échantillon afin de le concentrer ;
- On récupère le culot et le repartit sur des tubes à fond conique ;
- on centrifuge à 5000 tours /min pendant 20 minutes ;
- On récupère le culot et avec une pipette on le repartit sur des lames ;
- on recouvre avec des lamelles pour une observation à l'état frais avec un microscope Photonique (OPTIKA) à l'objectif x10 puis au x40

Annexe 10 :

Tableau 14 : Résultats d’analyses physico-chimiques du stage pratique effectué à la STEP Azeffoun du 16/04/2018 au 19/04/2018

Analyses	Journalières					Hebdomadaires						
Paramètres		T° C	pH	CE (µS/cm)	Turb (NTU)	MES (mg/L)	DCO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	NH4+ (mg/L)	NO2 ⁻ (mg/L)	NO3 ⁻ (mg/L)	PO4 ³⁻ (mg/L)
16/04/2018	EB	16.3	7.86	1326	428	396	402	230	22.07	0.076	0.25	6.9
	EE	15.5	7.65	1252	8	5	15.8	4	0.18	0.031	22.5	9
17/04/2018	EB	16.5	7.60	1346	309							
	EE	16.6	7.03	1205	11							
18/04/2018	EB	16.6	7.48	1282	144							
	EE	16.2	7.18	1252	6							
19/04/2018	EB	16.5	7.61	1390	153							
	EE	16	7.11	1242	6							