

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

**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou Faculté des Sciences
Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département d'Agronomie**



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du Diplôme de Master II en Agronomie

Spécialité : Eau et Environnement

THÈME

*Régulation des concentrations en nutriments des eaux usées
secondaires pour des fins agricole :
cas de la STEP Est de tizi-ouzou*

Présenté par : M^{elle} AMARA Lynda

M^{elle} BELKACEMI Hanane

Devant le jury

Présidente : M^{me} BOUDIAF NAIT KACI M. MCA UMMTO

Promoteur : M^r. METAHRI M. S. MCA UMMTO

Co Promoteur : M^{elle} BELMIHOUB N. DOCTORANTE UMMTO

Examineur : M^rBERRADJ O. MCB UMMTO

Année universitaire : 2017-2018

Remerciements

En premier lieu, on tient à remercier Dieu tout puissant qui nous a donné la force de continuer et d'achever ce travail.

On remercie fortement notre promoteur monsieur **METAHRI M.S** de nous avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.

Nos vifs remerciements à mademoiselle **BELMIHOUB N** pour son aide, ses conseils et sa disponibilité durant toute la période de notre projet.

On tient également à remercier Madame **BOUDIAF NAIT KACI M** d'avoir accepté de présider le jury de notre projet de fin de cycle.

On remercie Monsieur **BERRADJ O** qui nous a fait l'honneur d'apprécier et de juger notre travail.

Nos remerciements à toute la famille de département des sciences agronomiques UMMTO.

Nous voudrions remercier aussi l'ensemble du personnel de la station EST de Tizi-Ouzou pour leurs aides.

Dédicaces

A l'âme de mon grand père Qui a toujours été l'étoile de mon ciel, Que dieu l'accueille en son vaste paradis.

A mes chers parents, pour leurs sacrifices et leur soutien moral et matériel dont ils ont fait preuve pour que je réussisse tout le long de ma vie et mes études.

A ma très cher grand mère, et mes sœurs. les deux Kahina. Fatma et à mon unique frère Lounis.

A mes oncles et mes tantes, cousins et cousines surtout Kahina et à toute ma famille.

A Ma chère binôme et amie Hanane et toute sa famille.

A tous ceux qui me sont très chers

A tous les étudiants de la promotion Eau et Environnement 2016-2018.

Lynda

Dédicace

Il me tient à cœur de dédier ce modeste travail à ceux qui m'ont donné la vie source de mon courage et mon inspiration, mes très chers parents pour tout les sacrifices qu'ils ont fournis pour mes études. J'espère toujours rester fidèle aux valeurs morales que vous m'avez apprises

A mon marie et à ma belle-famille,

A mes frères lyes, Aghiles, Yanis, Assales, ma sœur Nesrine et son mari et,

A mon adorable neveu Rayan,

A ma grand-mère, et à mes tantes et toute ma famille

A mes chers amis(es) et à leur tête nadia, sadia, lydia, djedjiga, fetta, lynda, rachid, athman, et en fin à tous les étudiants de la promotion eau et environnement 2017-2018 surtout kamilia, fatima, riad, boussad, siham.

A toutes les personnes qui me connaisse et qui ont contribués de près ou de à la réussite dans mon cursus pédagogique.

Hanane

Liste des abréviations

AEP : Alimentation en Eau Potable.

EUT : Eaux Usées Traitées.

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

ONA : Office National d'assainissement.

ONID : Office National de l'irrigation et du Drainage.

REUE : Réutilisation des Eaux Usées Epurées.

REUT : Réutilisation des Eaux Usées Traitées.

STEP: Station d'épuration.

Liste des figures

Figure I.1 : Cycle d'azote	6
Figure I.2 : Schéma des composées azotées	10
Figure II.1 : Répartition des expériences mondiales la plus importante en réutilisation des eaux résiduaires urbaines.....	16
Figure II.2 : Volume moyen journalier des eaux usées recyclées dans quelques pays de la Méditerranée.....	17
Figure III.1 : Station d'épuration Est de la ville de Tizi-Ouzou.....	27
Figure III.2 : Degrailleur.....	30
Figure III.3 : Déshuileur d'une station d'épuration des eaux usées.....	30
Figure III.4 : Vis d'archimède	31
Figure III.5 : Bassin d'aération	32
Figure III.6 : Clarificateur.....	33
Figure III.7 : Stabilisateur	33
Figure III.8 : Epaisseur	34
Figure III.9 : Lits de séchage	34
Figure III. 10 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la région de Tizi-Ouzou (2008-2017).....	35
Figure III.11 : Position de la région de Tizi-Ouzou dans le Climagramme d'Emberger durant une période de 10 ans (2007-2018).....	38
Figure IV.1 : pH mètre	39
Figure IV.2 : Thermomètre à sonde	42
Figure IV.3 : Conductimètre	43
Figure IV.4 : Dispositif de filtration sous vide.....	43
Figure IV.5 : Retenus Après filtration des eaux brutes	45
Figure IV.6 : colorimètre.....	45
Figure IV.7 : Variation de Température de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	47
Figure IV.8 : Variation de pH de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP	48
Figure IV.9 : Variation de CE de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	49
Figure IV.10 : Evolution du NH_4^+ à l'entrée et à la sortie de la STEP	50
Figure IV.11 : Variation de NO_2^- à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	51
Figure IV.12 : Variation de NO_3^- à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	51

Figure IV.13 : Abatement de l'azote minéral de la STEP.....	52
Figure IV.14 : Variation de PO_4^{3-} -à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	53

Liste des tableaux

Tableau I.1: Composants majeurs typique d'eau usée domestique	3
Tableau II.1 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.....	18
Tableau II.2 : Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation.....	19
Tableau II.3 : Les paramètres utilisés pour l'évaluation des eaux usées en agriculture.....	20
Tableau III.1 : Données climatiques de la région de TIZI-OUZOU pour la période2008-2017	36
Tableau IV.1 : Matériels et réactifs utilisés au niveau de laboratoire.....	42
Tableau IV.2 : Résultats d'analyses physico-chimiques des effluents secondaire	54
Tableau IV.3 : calcul de besoins en eau des agrumes.....	54
Tableau IV.4: les besoins en azote et en phosphore des agrumes en kilogrammes par hectare et par an dans la wilaya de Tizi-Ouzou	55
Tableau IV.5 : Apport assuré par les EUT pour les jeunes plantes	56
Tableau IV.6 : apport assuré par les EUT pour les jeunes adultes	56

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur les eaux usées	
I. Introduction	2
II. Définition des eaux usées	2
III. Différentes catégories d'eaux usées	2
III.1 Eaux usées domestiques	2
III.2 Eaux usées urbaines	2
III.3 Eaux usées industrielles	3
IV. Composition des eaux usées	3
IV.1 Matières en suspension	4
IV.2 Micropolluants organiques et non organiques	4
IV.2.1 Eléments traces	4
IV.2.2 Micropolluants organiques	4
IV.3 Substances nutritives	5
IV.3.1 Azote	5
IV.3.2 Phosphore	6
IV.3.3 Potassium (K+)	7
V. Caractéristiques des eaux usées	7
V.1 Paramètres physico-chimiques	7
V.1.1 Température	7
V.1.2 pH	7
V.1.3 Matières en suspension (MES)	7
V.1.4 Demande Biochimique en Oxygène (DBO)	8
V.1.5 Demande chimique en oxygène (DCO)	8
V.1.6 Conductivité	8
V.1.7 Turbidité	9
V.1.8 Matières oxydables (MO)	9
V.1.9 Carbone organique total (COT)	9
V.1.10 Les matières azotées	9
V.1.11 Matières phosphatées	10
V.2 Paramètres biologiques	11

V.2.1	Protozoaires	11
V.2.2	Helminthes.....	11
V.2.3	Virus	11
V.2.4	Germes témoins de contamination fécale.....	11
V.2.4.1	coliformesfécaux.....	11
V.2.4.2	streptocoques fécaux.....	12

Chapitre II : Réutilisation des eaux usées en agriculture

I.	Introduction	13
II.	Définition de la réutilisation des eaux.....	13
III.	Domain de la réutilisation des eaux usées.....	13
III.1	Valorisation agricole et forestière.....	13
III.2	Usages urbains	14
III.3	Cas des golfs	14
III.4	Aquaculture.....	14
III.5	Valorisation industrielle.....	14
III.6	Valorisation à des fins d'AEP.....	15
IV.	Réutilisation dans le monde	15
V.	Réutilisation des eaux usées en agriculture.....	17
VI.	Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation	18
VI.1	Salinité	21
VI.2	Salinisation.....	21
VI.3	Alcalinité.....	22
VI.4	Sodisation.....	22
VII.	Fertilisants dans les eaux usées traitées	23
VII.1	Charge nutritive en NPK.....	23
VII.1.1	Azote.....	24
VII.1.2	Phosphore	24
VII.1.3	Potassium.....	24
VIII.	Rôle des éléments fertilisants et leurs concentrations dans les eaux usées	25

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude

I.	Présentation de la zone d'étude.....	27
----	--------------------------------------	----

I.1	Situation géographique	27
I.2	Conception et réalisation	27
I.3	Caractéristiques des eaux	38
II.	Traitement des eaux usées.....	29
II.1	Prétraitements	29
II.1.1	Dégrillage	29
II.1.2	Dessableur déshuileur.....	30
II.2	Traitement secondaire (biologique)	31
II.2.1	Bassin d'Aération	32
II.2.2	Décanteur Secondaire (clarificateur).....	32
II.3	Principe de traitement des boues.....	33
II.3.1	Stabilisateur	33
II.3.2	Epaississeur	34
II.3.3	Séchage.....	34
III.	Données météorologiques de la région de Tizi-Ouzou	35
III.1	La température	36
III.2	Précipitation	37
III.3	Humidité relative	37
III.4	Evaporation	37
III.5	Insolation	37
III.6	Vent.....	37
III.7	Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson.....	37
III.8	Climagramme d'Emberger	38

Chapitre IV: Analyse et interprétation des résultats

I.	Introduction.....	40
II.	Analyse physicochimique	40
II.1	Techniques d'analyse physico- chimique des eaux usées	40
II.2	Echantillonnage	40
II.3	Méthodes d'analyse	41
II.3.1	Potentiel hydrogène pH	42
II.3.2	Température (C°).....	43
II.3.3	Détermination de la conductivité électrique.....	43
II.3.4	Éléments nutritive.....	43
II.3.4.1	Détermination de l'azote ammoniacal.....	43
II.3.4.2	Détermination des nitrates.....	44

II.3.4.3	Détermination des nitrites	46
II.3.4.4	Détermination des phosphates.....	46
III.	Résultats d'analyses physicochimiques	46
III.1	Température de l'eau (T°C).....	47
III.2	Potentiel d'hydrogène (pH)	47
III.3	Conductivité électrique (CE)	48
III.4	Matières azotées.....	49
III.4.1	Azote ammoniacal (NH ₄ ⁺).....	49
III.4.2	Nitrites (NO ₂ ⁻)	50
III.4.3	Nitrates (NO ₃ ⁻).....	51
III.4.4	Rendement d'abattement de l'azote minéral	52
III.5	Les Ortho-phosphates (PO ₄ ³⁻).....	52
IV.	Régulation des nutriments (azote et phosphore) des effluents secondaires de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou pour une réutilisation agricole sur l'agrumiculture.....	54
IV.1.	Résultats d'analyses physicochimiques de l'eau secondaire	54
I.2.V.	Besoins en nutriments (azote et phosphore) des agrumes cultivés dans la wilaya de Tizi-ouzou.....	54
IV.3.	System d'irrigation.....	55
IV.4.	Estimation de l'apport en (Azote et phosphore) assuré par les EUT	56
	Conclusion et perspectives	57

Introduction

L'amenuisement des ressources hydriques et la dégradation de leur qualité est une préoccupation majeure pour le XXI^e siècle, particulièrement dans de nombreuses régions arides et semi-arides du globe.

Devant ces besoins en eau douce qui ne cessent de croître et vu l'impossibilité de se contenter exclusivement des ressources naturelles conventionnelles, la recherche de moyens d'épuration adéquats et la réutilisation des effluents d'eaux usées traitées est devenue une option attrayante et une alternative incontournable afin de mobiliser de plus importants volumes d'eau et satisfaire ainsi la demande croissante, particulièrement, dans les pays hydro-sensibles (**Metahri, 2012**).

La réutilisation des eaux usées traitées, permet d'une part, de fournir des quantités d'eau et d'engrais supplémentaires et d'autre part d'assurer l'équilibre du cycle naturel d'eau et la protection de l'environnement. La valorisation des eaux usées en agriculture apporte en outre des bénéfices additionnels résultants dans certains cas, l'augmentation du rendement des cultures et de l'amélioration des systèmes d'irrigation.

C'est dans une perspective de garantir les objectifs de qualité des milieux récepteurs tout en répondant à la problématique du stress hydrique, que nous proposons une étude qui porte sur la valorisation des effluents secondaires de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. Cette manière de faire, représenterait une solution à plusieurs intérêts positifs à savoir le traitement tertiaire des effluents secondaires, la protection du milieu naturel récepteur, apporter l'eau et les nutriments nécessaires aux plantes pour améliorer la productivité agricole et garder les ressources conventionnelles propre pour les usages nobles comme l'AEP (**Metahri, 2012**).

nous avons divisé notre travail en deux parties distinctes :

- La première partie elle se consacrera sur la recherche bibliographique sur les eaux usées en général et les procédés d'élimination de la pollution azotée et phosphorée.
- La deuxième partie sur les analyses réalisées dans la station et les calculs des besoins en eaux et en nutriments azotés et phosphorés en agriculture.

I. Introduction

En parlant de l'eau usée il semble important d'avoir une idée sur sa définition, son Origine et ses caractéristiques, ainsi que les différentes méthodes utilisées pour son épuration, et ceci fera l'objet de notre premier chapitre.

II. Définition des eaux usées

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 défini comme « Tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou physico-chimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines » (**Bettache, 2013**).

III. Différentes catégories d'eaux usées

Suivant l'origine des substances polluantes on peut les diviser en trois grands rangs:

III.1 Eaux usées domestiques

Désigne les eaux résiduaires qui proviennent des différents usages domestiques, Qui contiennent des matières minérales et des matières Organiques. Les matières minérales (chlorures, phosphates, sulfates, etc.) et les matières Organiques constituées de composés ternaires, tels que les sucres et les graisses (formés de Carbone, oxygène et hydrogène, mais aussi d'azote, et dans certains cas d'autres corps tels Que soufre, phosphore, fer, etc.) La composition de ces eaux est à peu près la même pour toutes les habitations (**Boumont, et al, 2004**).

III.2 Eaux usées urbaines

Les eaux usées urbaines comprennent les eaux usées domestiques et les eaux de Ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours publiques).

Les eaux qui ruissellent entraînent toutes sorte de déchets minéraux et organiques tel que : La terre, les limons, les boues, les silts, les sables, les déchets végétaux Et toute

sortes de micropolluants (hydrocarbures, pesticides venant des Jardins, détergents utilisés pour le lavage des cours, des voies publiques, des automobiles, Débris microscopique de caoutchouc venant de l'usure des pneumatiques des véhicules (**Desjardins, 1997**).

III.3 Eaux usées industrielles

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique et urbaines sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, laboratoire d'analyses médicales, etc.

La variété des eaux usées industrielles est très grande, certains de ces eaux sont toxiques pour la flore et la faune aquatique, ou pour l'homme, ce qui mène à bien distinguer les eaux résiduaires des liquides résiduaires de certaines industries (**Edline, 1979**).

Les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement (**Baumont, et al, 2004**).

- ils sont directement rejetés dans le réseau domestique.
- ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique.
- ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel.

IV. Composition des eaux usées

La composition des eaux usées illustré dans le tableau N°1, est extrêmement variable en fonction de leur origine.

Tableau I.1: Composants majeurs typique d'eau usée domestique (**Baumont, et al, 2004**).

Constituants	concentration (mg/l)		
	Fort	Moyen	Faible
Solides totaux	1200	700	350
Solides dissous (TDS)	850	500	250
Solides suspendus	350	200	100
Azote (N)	85	40	20
Phosphore (P)	20	10	6
Chlore	100	50	30
Alcalinité (en CaCO ₃)	200	100	50
Graisses	150	100	50
DBO ₅	300	200	100

IV.1 Matières en suspension

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

IV.2 Micropolluants organiques et non organiques

Les micropolluants sont des éléments présents en quantité infinitésimale dans les eaux usées, a voie de contamination principale, dans le cas d'une réutilisation des eaux usées épurées, est l'ingestion, C'est la contamination par voie indirecte qui est généralement préoccupante. Ainsi, certains micropolluants, comme les métaux lourds ou les pesticides, peuvent s'accumuler dans les tissus des êtres vivants, et notamment dans les plantes cultivées. Il peut donc y avoir une contamination de la chaîne alimentaire et une concentration de ces Polluants dans les organismes (Baumont, et al, 2004).

IV.2.1 Eléments traces

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux ; les plus abondants sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb.

Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) Sont présents à l'état de traces (Cauchi, et al, 1996).

IV.2.2 Micropolluants organiques

Les micropolluants d'origine organique sont extrêmement nombreux et variés, ce qui rend difficile l'appréciation de leur dangerosité. Ils proviennent de l'utilisation domestique de détergents, pesticides, solvants, et également des eaux pluviales : eaux de ruissellement sur les terres agricoles, sur le réseau routier, etc.

Ils peuvent aussi provenir de rejets industriels quand ceux-ci sont déversés dans les égouts ou même des traitements de désinfections des effluents par le chlore (Xanthoulis, 1993).

IV.3 Substances nutritives

L'azote, le phosphore, le potassium, et les oligo-éléments, le zinc, le bore et le soufre, indispensables à la vie des végétaux, se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables par rapport aux besoins de la végétation, dans les eaux usées épurées ou non. D'une façon générale, une lame d'eau résiduaire de 100 mm peut apporter à l'hectare :

- 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,
- De 27 à 182 kg de sodium (**Faby, 1997**).

IV.3.1 Azote

L'azote se trouve dans l'eau usée sous forme organique ou ammoniacale dissoute. Il est souvent oxydé pour éviter une consommation d'oxygène (O_2) dans la nature et un risque de toxicité par l'ammoniaque gazeux dissous (NH_3), en équilibre avec l'ion ammoniac (NH_4^+) (**Martin, 1979**).

La nitrification est une transformation chimique de l'azote organique par l'intermédiaire de bactéries et passe par les étapes :

- N organique à NH_4^+ : ammonification
- NH_4^+ , NO_2^- : nitritation par Nitrosomonas
- NO_2^- , NO_3^- : nitratisation par Nitrobacter (**Chellé, et al. 2005**).

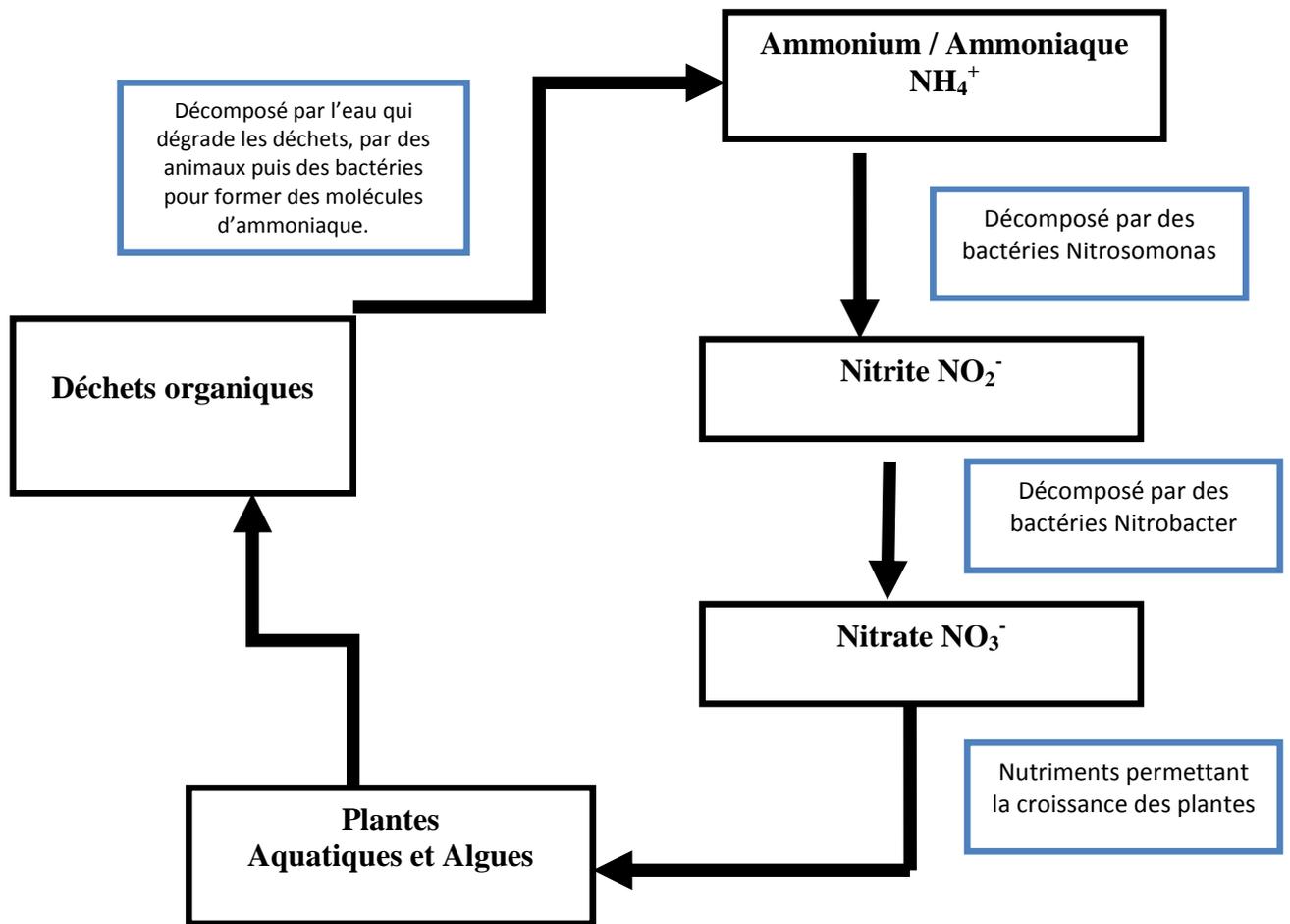


Figure I.1 : Cycle d'azote (Chellé, et al, 2005).

IV.3.2 Phosphore

La concentration en phosphore dans les effluents secondaires varie de 6 à 15 mg/l (soit 15 à 35 mg/l en P_2O_5). Cette quantité est en général trop faible pour modifier le rendement (FAO, 2003). Mais s'il y a excès, il est pour l'essentiel retenu dans le sol par des réactions d'adsorption et de précipitation; cette rétention est d'autant plus effective que le sol contient des oxydes de fer, d'aluminium ou du calcium en quantités importantes. On ne rencontre pas en général de problèmes liés à un excès de phosphore (Asano, 1998).

IV.3.3 Potassium (K⁺)

Le potassium est présent dans les effluents secondaires à hauteur de 10 à 30 mg/l (12 à 36 mg/l de K₂O) et permet donc de répondre partiellement aux besoins (**Faby, 1997**).

Il faut noter cependant que, s'il existe, un excès de fertilisation potassique conduit à une fixation éventuelle du potassium à un état très difficilement échangeable, à une augmentation des pertes par drainage en sols légers, à une consommation de luxe pour les récoltes (**FAO, 2002**).

V. Caractéristiques des eaux usées

V.1 Paramètres physico-chimiques

V.1.1 Température

La température joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Par ailleurs, la température détermine le taux et la vitesse des réactions de dégradation biochimique. Plus la température est importante, plus les réactions sont rapides. La température des eaux usées influe beaucoup sur l'efficacité du procédé de traitement. Par exemple, la décantation est plus efficace à des températures élevées (**Grunditz et Dalhauar, 2001**).

V.1.2 PH

Le pH (potentiel hydrogène), est le reflet de la concentration d'une eau en ions H⁺. Le pH est un paramètre qui permet de mesurer l'acidité, l'alcalinité ou la basicité d'une eau (**Gomella et Gueree, 1978**), son rôle est capital pour la croissance des microorganismes qui ont généralement un pH optimum variant de 6,5 à 8. Lorsque le pH est inférieur à 5 ou supérieur à 8,5, la croissance des microorganismes est directement affectée (**Hamdani, 2002**).

V.1.3 Matières en suspension (MES)

On appelle matières en suspension les très fines particules qui sont non dissoute dans l'eau (**Gomella et Gueree, 1978**) (sable, argile, produits organiques,

particules de produits polluants, micro-organismes,...) qui donnent un aspect trouble à l'eau, (turbidité).

Elle représente, la fraction constituée par l'ensemble des particules organiques (MVS) ou minérales (MMS) non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou industriel.

V.1.4 Demande Biochimique en Oxygène (DBO)

DBO₅, comme il est couramment abrégé, est l'un des paramètres les plus importants et utiles indiquant la force organique des eaux usées. La demande biologique en oxygène est, par définition la quantité d'oxygène dissous nécessaire par les systèmes biologiques aérobies naturels dans les eaux usées pour décomposer les matières organiques décomposables dans des conditions définies. Elle est exprimée en mg O₂ /L (**Eckenfelder, 1982**).

V.1.5 Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO), exprimée en mg d'(O₂)/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 (**Grosclaude, 1999**). Elle représente donc, la teneur totale de l'eau en matières Oxydables. Vu la simplicité de mesure de DCO et sa précision, il s'est avéré nécessaire de développer des corrélations entre la DBO₅ et la DCO ainsi le rapport DCO/ DBO₅ des eaux usées urbaines est proche de 2 (**Gomella et Guerree, 1978**), le rapport DCO/ DBO₅ des effluents domestiques est de 1,9 à 2,5 (**Hamdani, et al, 2002**).

V.1.6 Conductivité

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations.

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm².

L'unité de conductivité est le siemens par mètre (S/m) :

$$1 \text{ S/m} = 10^4 \mu\text{S/cm} = 10^3 \text{ mS/m (Rodier, 2005).}$$

V.1.7 Turbidité

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau (Rodier, 2005).

V.1.8 Matières oxydables (MO)

C'est un paramètre utilisé par les agences de l'eau pour caractériser la pollution organique de l'eau, il se définit à partir de la DBO₅ et de la DCO selon la formule suivante (Badia et Gondard, 2003).

$$\text{MO} = (2 \times \text{DBO}_5 + \text{DCO}) / 3$$

V.1.9 Carbone organique total (COT)

Le carbone organique est constitué d'une grande diversité de composés organiques à plusieurs états d'oxydation, dont certains sont susceptibles d'être oxydés par des procédés chimiques ou biologiques. Ces fractions sont caractérisées par la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène (DBO) (Badia et Gondard, 2003).

V.1.10 Les matières azotées

L'azote existe sous plusieurs formes. Les types d'azote Principaux sujets de préoccupation pour le traitement des eaux usées sont: l'azote total (TN), azote Total Kejeldahl (NTK), l'ammoniac (NH₃), l'azote organique (ORG-N), les nitrates (NO₃) et nitrites (NO₂). Les concentrations sont indiquées en mg / L.

Azote Total Kejeldahl (NTK) : c'est la somme de l'azote ammoniacal et d'azote lié organiquement, mais n'inclut pas l'azote des nitrates ou des nitrites.

$$\text{NTK} = \text{NH}_3 + \text{org-N}$$

Azote Total (NT) : est la somme de l'azote des nitrates (NO_3^-), des nitrites (NO_2^-), l'azote ammoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) et azote lié organiquement.

$$\text{NT} = \text{NTK} + \text{NO}_3 + \text{NO}_2 \text{ (Bettache, 2013).}$$

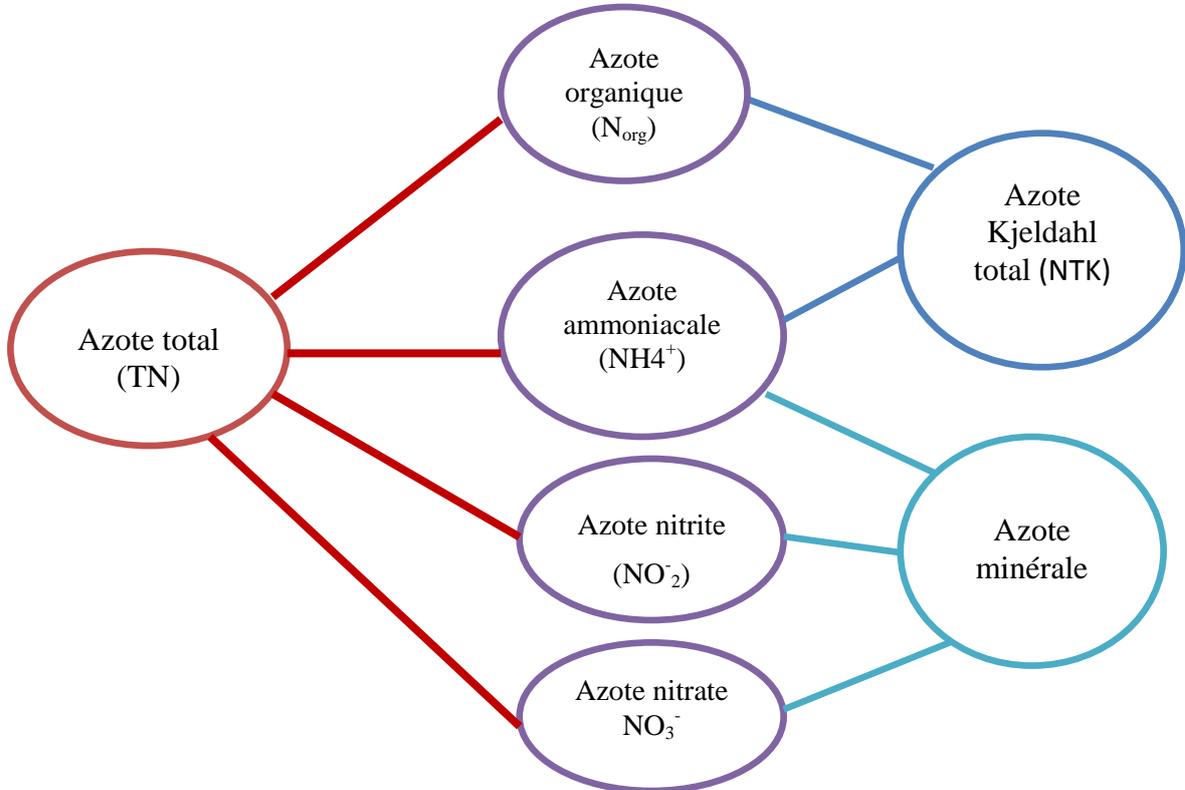


Figure I.2 : Schéma des composées azotées (Bettache, 2013).

V.1.11 Matières phosphatées

Le phosphore se présente dans les eaux usées en trois fractions :

- Ortho-phosphate inorganique dissous (PO_4)
- Composés de phosphore organiques dissous
- Phosphore particulaire (lié dans la biomasse ou fixé sur des particules)

Dont la somme donne la teneur totale en phosphore (PT)

Les apports les plus importants proviennent des déjections humaines et animales, et surtout des produits de lavage. Les composés phosphorés sont indésirables dans les réservoirs de distribution d'eau potable, parce qu'ils contribuent au développement d'algues et plus généralement du plancton aquatique (Bettache, 2013).

V.2 Paramètres biologiques

La plupart des micro-organismes connus pour les microbiologistes peuvent être trouvés dans les eaux usées :

V.2.1 Protozoaires

Ils sont présents dans les eaux usées à l'état de kystes. la principale forme pathogène pour l'homme est *Entamoebahistoltyca*, agent responsable de la dysenterie amibienne (**Bouhoum, et al, 1997**).

V.2.2 Helminthes

Les eaux usées ont susceptibles de véhiculer un grand nombre d'helminthes parasites d'origine humaine ou animale. La plupart des ces parasites sont excrétés dans le milieu extérieur sous forme d'œufs, éliminés avec les matières fécales, le nombre et la variété des œufs d'helminthes dans les eaux résiduaires sont liés au niveau d'infestation de la population humaine et /ou animal desservies (**Moubarrad, 2005**).

V.2.3 Virus

Les virus se trouvent dans les eaux résiduaires à des concentrations de l'ordre de milliers d'unités infectieuses par millilitre d'eau. Parmi les infections virales d'origine hydrique, on trouve la poliomyélite, également on peut citer l'hépatite A (**Bettache, 2013**).

V.2.4 Germes témoins de contamination fécale

Une contamination fécale est anormale, elle révèle un problème d'hygiène générale. Il est impossible de rechercher dans les eaux usées la présence systématique de tous les pathogènes. On évalue alors la qualité sanitaire en recherchant la présence de bactéries fécales dites témoins de contamination fécale; parce que cela signifie la présence possible d'un grand nombre de pathogènes transmis par les fèces ou les urines de l'homme et des animaux à sang chaud (**bettache, 2013**).

V.2.4.1 Coliformes fécaux

C'est un groupe de bactéries utilisé comme indicateur de contamination fécale. Ils appartiennent à la classe des Enterobacteriaceae (**Bergey, 1984**). Ce sont des bacilles à gram négatif, asporogènes, oxydase négative, aérobies ou anaérobies facultatifs,

capables de se multiplier et de fermenter le lactose et produisent de gaz, d'acide et d'aldéhyde (**Guedira, 2001**). On les considère comme bons indicateurs de contamination fécale, ils se cultivent à 44°C les coliformes totaux se développent à 37°C. Ces derniers peuvent avoir une origine non strictement fécale : Le sol, les insectes et les plantes peuvent les héberger. Les coliformes totaux sont inclus dans les germes témoins de contamination fécale de deuxième ordre (**Imzilin, 1990**).

V.2.4.2 Streptocoques fécaux

Ces bactéries appartiennent à la famille des streptococcaceae, sont des cocci généralement disposées en diplocoques ou en courte Chain, à gram négatif, asporulantes, immobiles, aérobies facultatifs et possédant un métabolisme fermentatif. Ces germes colonisent l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud. Leur présence dans le milieu hydrique prouve une pollution d'origine fécale de l'eau. Cependant, on peut trouver aussi des streptocoques fécaux dans le sol, les plantes et les insectes (**Bettache, 2013**).

I. Introduction

La raréfaction des ressources en eau et la dégradation de leur qualité est un défi majeur pour la plus part des pays du monde. L'Algérie, qui possède des réserves en eau importantes, semble favorisée. Cependant, de même que la plupart des pays industrialisés, elle consomme beaucoup d'eau, et la qualité de ses rivières et de ses nappes phréatiques n'est pas toujours bonne. Afin de préserver la qualité des masses d'eau et pour diminuer les prélèvements dans le milieu naturel, il convient de chercher des approvisionnements alternatifs. La réutilisation des eaux usées épurées, ou REUE peut constituer l'un de ces approvisionnements.

II. Définition de la réutilisation des eaux

La REUE propose de récupérer directement les eaux usées épurées, de les traiter éventuellement une nouvelle fois et de s'en servir pour toutes sortes d'usages. On constate que la REUE agit à deux niveaux : premièrement elle évite les rejets d'eaux issues de stations d'épuration dans le milieu naturel, et deuxièmement, elle constitue un approvisionnement supplémentaire.

III. Domain de la réutilisation des eaux usées

Quasiment tous les domaines relatifs aux usages de l'eau sont concernés par la REUT sauf ce qui touche aux eaux thermales et minérales, dont les exigences de qualité sont telles qu'elles n'entrent pas dans le champ de la réutilisation. En effet, pour autant qu'on accepte de payer le prix toute eau usée est potentiellement réutilisable. La classification qui suit permet d'y voir plus clair en matière d'utilisations des EUT (Rotbardt, 2011).

III.1 Valorisation agricole et forestière

C'est actuellement, en volume, l'usage principal de REUT à travers le monde, les modalités de mise en œuvre sont multiples : il existe des périmètres irrigués exclusivement avec des EUT, des périmètres mixtes (certains irrigants s'alimentent au réseau EUT et d'autres sont autonomes), des dispositifs avec stockage ou transfert amont etc... Au-delà des considérations hydrauliques, agricoles ou financières propres à tout périmètre irrigué,

la particularité forte d'une valorisation avec des EUT est la dimension sociale et sociologique d'acceptabilité par les usagers ainsi que les particularités agronomiques associées à la qualité des EUT. La mise en valeur sylvicole est un cas particulier de ce mode de valorisation car elle est moins exigeante en terme qualitatif, et présente des conditions d'acceptabilité très favorables (**Rotbardt, 2011**).

III.2 Usages urbains

Dans cet usage figurent :

▣ l'irrigation d'espaces verts (par réseau spécifique ou par camionnage), dont la gestion incombe le plus souvent à la collectivité, ▣ L'alimentation de plans d'eau récréatifs : cette valorisation s'apparente également à la catégorie du cycle long car souvent les eaux usées traitées viennent s'ajouter à l'eau de plans d'eau existants. Le lavage des rues et des marchés (à l'instar de ce qui se pratique dans certains ports avec des aiguades alimentées en eau de mer).

Des recyclages d'eaux grises à l'échelle d'un immeuble en vue d'alimenter des circuits particuliers de chasse d'eau, les expériences japonaises dans ce domaine sont particulièrement avancées (**Rotbardt, 2011**).

III.3 Cas des golfs

On pourrait classer l'irrigation des golfs dans la catégorie des valorisations agricoles ou d'espaces verts en s'en tenant au strict point de vue technique, mais en ce qu'elle s'adresse à un secteur privé qui met en jeu des logiques de rémunération auprès d'utilisateurs aisés, il s'en déduit des facilités de recouvrement des coûts qui lui confèrent un caractère spécifique (**Rotbardt, 2011**).

III.4 Aquaculture

Cette valorisation est encore relativement embryonnaire à travers le monde mais elle est déjà pratiquée en Inde ainsi que des pays asiatiques à la fois comme procédé d'épuration et pour piscicole qui en résulte (**Rotbardt, 2011**).

III.5 Valorisation industrielle

Les applications sont nombreuses et on peut classer les secteurs où se pratique la REUT en fonction des différentes catégories d'activités industrielles : Le secteur chimique

et para chimique ; Le secteur agro- alimentaire ; celui du cuir et du textile ,le secteur des industries mécaniques, métallurgiques et électroniques. La REUT dans le cadre des circuits de refroidissement constitue un exemple fréquent. A cela s'ajoute les économies d'eau à l'intérieur d'une unité industrielle par recyclage des eaux de procès qui est en quelque sorte une réutilisation interne (**Rotbardt, 2011**).

III.6 Valorisation à des fins d'AEP

La réutilisation des eaux à des fins de consommation en eau potable est une catégorie comptant un nombre réduit de projets. En Australie, la ville de Goulburn a mis en œuvre un projet de ce type. C'est également le cas en Namibie (Windhoek), ou à Singapour ou l'eau est mixée avec une ressource conventionnelle. On comprend aisément que le premier frein à ces projets est d'ordre psychologique. Par ailleurs les méthodes de traitement et leur fiabilité doivent être exemplaires pour permettre d'envisager de tels projets (**Rotbardt, 2011**).

IV. Réutilisation dans le monde

Pendant les dernières années, la réutilisation des eaux usées a connu un développement très rapide avec une croissance des volumes d'eaux usées réutilisées de l'ordre de 10 à 29 % par an, en Europe, aux États Unis et en Chine, et jusqu'à 41 % en Australie. Le volume journalier actuel des eaux réutilisées atteint le chiffre impressionnant de 1,5 - 1,7 millions de m³ par jour dans plusieurs pays, comme par exemple en Californie, en Floride, au Mexique et en Chine (**Lazarova et Brissaud, 2007**).

La figure II.1 illustre les aspects de réutilisation des eaux dans les différentes régions du monde

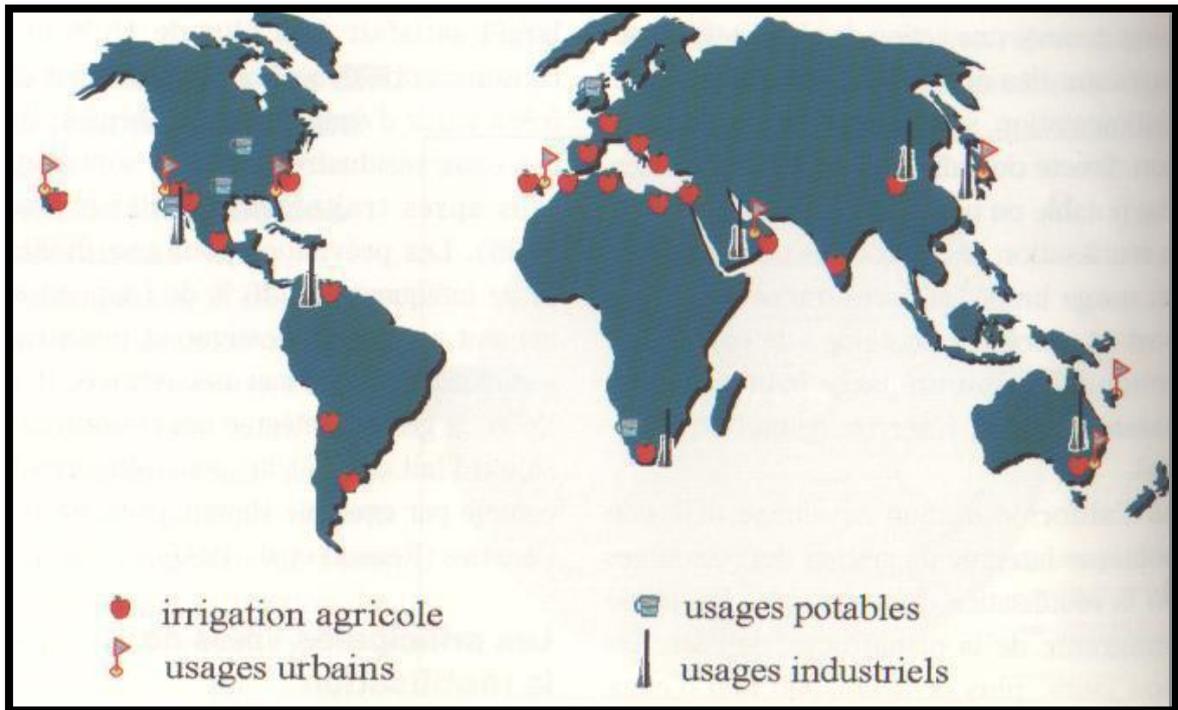


Figure II.1 : Répartition des expériences mondiales les plus importantes de réutilisation des eaux résiduaires urbaines (Lazarova, 1998).

D'une manière générale, pratiquement tous les autres pays du pourtour de la Méditerranée, de l'Espagne à la Syrie, réutilisent des eaux usées (traitées et non traitées) pour diverses applications. En effet, le bassin méditerranéen est une région où la pénurie en eau est particulièrement ressentie. C'est aussi l'une des régions où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée. Dans certains pays, cette réutilisation est devenue l'objet d'une politique nationale comme en Tunisie, en Grèce et en Jordanie.

Le graphique (figure II. 2) donne une idée des volumes journaliers d'eaux usées traitées recyclées par certains pays de la Méditerranée.

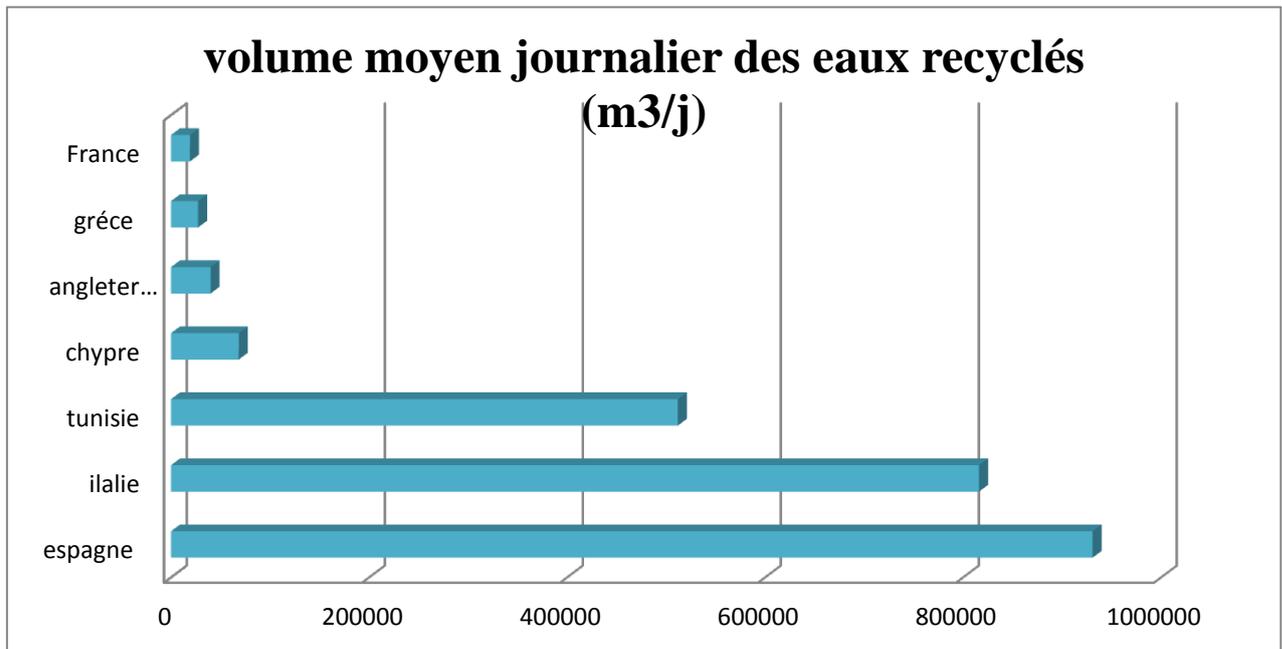


Figure II.2 : Volume moyen journalier des eaux usées recyclées dans quelques pays de la Méditerranée (Lazarova et Brissaud, 2007).

V. Réutilisation des eaux usées en agriculture

L'irrigation agricole est cruciale pour améliorer la qualité et la quantité de la production agricole. Dans le monde entier, l'agriculture est le secteur le plus consommateur d'eau (UNEP et Global Environment Centre Fondation, 2005). En effet, L'UNESCO (2000) a rapporté que le secteur de l'agriculture reçoit 67% des prélèvements totaux en eau et compte pour 86% de la consommation mondiale.

Pour la plupart des pays arabes, la consommation en eau est essentiellement due au secteur de l'agriculture ; par exemple pour le Maghreb l'agriculture correspond à 81% des prélèvements en eau, tels la Mer d'Aral, le marécage irakiens l'intrusion marine des aquifères côtiers et la salinisation des sols.

la REUT, lorsqu'elle est correctement utilisée, peut permettre une utilisation plus efficace de l'eau dans le domaine de l'agriculture en vue d'une gestion durable de l'eau les principaux bénéfices de la REUT pour l'agriculture sont :

- Une conservation des ressources en eau douce et leur allocation plus rationnelle, en particulier dans les pays en pénurie d'eau.

- Un moyen d'éviter la pollution des eaux de surface en évitant le déversement d'eaux usées dans les plans d'eau.
- Un apport naturel en nutriment (notamment azote, phosphore et potassium) donc des besoins en engrais artificiels réduits.
- Amélioration de la caractéristique physique des sols grâce à l'apport des matières organique : prévention de l'érosion

L'arrêté du ministre de l'agriculture du 21 Juin 1994 fixant la liste des cultures qui peuvent être irriguées par les eaux usées traitées (tableau II.1), soit les fourrages, les céréales, les arbres fruitiers et fourragers, les cultures florales (à sécher).

Tableau II.1 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées (**Hannachi, et al, 2014**).

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

VI. Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation

Les caractéristiques de qualité chimique et physique sont identiques pour n'importe quelle eau d'irrigation. À cet égard, les directives générales présentées dans le tableau II.2 peuvent être employées pour évaluer l'eau usée traitée, utilisée à des fins d'irrigation, en

termes de constituants chimiques tels que les sels dissous, le contenu en sodium et les ions toxiques.

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

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

- EC_w signifie la conductivité électrique en deci Siemens par mètre à 25°C.
- SAR signifie le taux d'adsorption de sodium (sodium adsorption ratio).

- $\text{NO}_3\text{-N}$ signifie l'azote sous forme de nitrate rapporté en terme d'azote élémentaire.
- $\text{NH}_4\text{-N}$ et N-organique devraient être également examinés dans les eaux usées.

Tableau II.3 : Les paramètres utilisés pour l'évaluation des eaux usées en agriculture.

Paramètres	Symbole	Unité
Physique		
Total des solides dissous	TDS	mg/l
Conductivité électrique	E_{c_w}	dS/m^1
Température	T	$^\circ\text{C}$
Couleur/Turbidité		NTU/JTU ²
Dureté		mg equiv. CaCO_3/l
Sédiments		g/l
Chimique		
Acidité/Alcalinité	pH	
Type et concentration des anions et cations:		
Calcium	Ca^{++}	me/l ³
Magnésium	Mg^{++}	me/l
Sodium	Na^+	me/l
Carbonate	CO_3^{-}	me/l
Bicarbonate	HCO_3^{-}	me/l
Chloride	Cl	me/l
Sulfate	SO_4^{-}	me/l
Sodium adsorption ratio	SAR	
Bore	B	mg/l^4
Eléments traces		
Métaux lourds		mg/l
Nitrate-Nitrogen	$\text{NO}_3\text{-N}$	mg/l
Phosphate Phosphore	$\text{PO}_4\text{-P}$	mg/l
Potassium	K	mg/l

- dS/m = déci Siemens/mètre en SI Unités (équivalent à 1 mmhos/cm)
- NTU/JTU = Nephelometric Turbidity Units/Jackson Turbidity Units
- me/l= milliéquivalent par litre.
- mg/l = milligrammes par litre = partie par million (ppm); aussi, $\text{mg/l} \sim$

640x EC en dS/m (Kandiah, 1990).

VI.1 Salinité

Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles.

On estime que la concentration en sels de l'eau usée excède celle de l'eau du réseau d'alimentation en eau potable de quelques 200 mg/l, sauf dans le cas de pénétration d'eaux saumâtres dans les réseaux d'assainissement ou lors de collecte d'eaux industrielles. Cette augmentation n'est pas susceptible, à elle seule, de compromettre une irrigation.

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

- les dommages vis-à-vis des sols et donc, indirectement, vis-à-vis des rendements cultureux,
- les dommages causés aux cultures (Faby, 1997).

Dans la plupart des pays, l'eau utilisée pour l'approvisionnement municipal est l'eau ayant la meilleure qualité disponible et elle est habituellement de faible salinité. Cependant, en conditions de pénurie en eau, la salinité peut être un problème. La quantité et le type de sels présents sont importants pour évaluer si l'eau usée traitée convient pour l'irrigation. Des problèmes potentiels sont liés à la teneur en sels totaux, au type de sel ou à la concentration excessive d'un ou plusieurs éléments (Ayers et Westcot, 1989).

VI.2 Salinisation

Les plantes et l'évaporation prélèvent l'eau du sol en y abandonnant une large part des sels apportés par l'eau d'arrosage; ce qui conduit à augmenter la salinité de l'eau du sol. La pression osmotique de l'eau du sol augmentant avec sa concentration en sels dissous, la plante consacre alors l'essentiel de son énergie non pas à se développer, mais à ajuster la concentration en sel de son tissu végétal de manière à pouvoir extraire du sol l'eau qui lui est nécessaire.

En dessous de 700S/cm, il n'y a pratiquement pas de culture dont le rendement soit affecté par la salinité; entre 700 et 3 000S/cm, le maintien des rendements est encore

possible avec des façons culturales adéquates. Quand une tendance à l'enrichissement en sels de la solution du sol menace les rendements cultureux, elle doit être compensée par des irrigations supérieures aux besoins en eau de la culture pour entraîner la solution du sol excessivement enrichie en ions en dessous de la zone racinaire. Des abaques permettent de déterminer le taux de lessivage en fonction de la tolérance au sel de la culture et de la salinité de l'eau appliquée. Bien entendu, le projet de réutilisation doit se soucier de l'évacuation de l'eau de lessivage. Si la perméabilité du sol n'est pas suffisante, un drainage doit être prévu (FAO, 2003).

VI.3 Alcalinité

La dispersion de la phase colloïdale du sol, la stabilité des agrégats, la structure du sol et la perméabilité à l'eau sont toutes très sensibles aux types d'ions échangeables présents dans l'eau d'irrigation.

L'augmentation de l'alcalinité du sol, qui peut se produire avec l'eau usée traitée à cause de la concentration élevée en Na, réduit la perméabilité du sol, particulièrement en surface, même si le lessivage a lieu. Ce phénomène est lié à la dispersion et au gonflement des argiles lorsque la concentration en Na échangeable augmente. Toutefois, pour une certaine valeur du Rapport d'Adsorption du Sodium (SAR : Sodium Adsorption Ratio), la vitesse d'infiltration augmente ou diminue avec le niveau de salinité. Par conséquent, le SAR et EC_w (salinité) devraient être employés en association pour évaluer les problèmes potentiels éventuels (Rhoades, 1977).

VI.4 Sodisation

L'accumulation de sodium (sodisation) sur le complexe adsorbant des sols peut dégrader les propriétés physiques des sols.

Leur capacité de drainage, donc leur perméabilité, conditionne la productivité des terres irriguées. Un excès de sodium par rapport aux alcalino-terreux (calcium, magnésium) dans le complexe adsorbant provoque une défloculation des argiles, une déstructuration du sol qui se traduit par une réduction de la perméabilité et de la porosité des couches superficielles du sol.

L'eau d'irrigation stagne alors à la surface du sol et ne parvient plus jusqu'aux racines. D'autre part, à proportions égales de sodium et d'alcalino-terreux dans la solution,

la tendance à la sodisation du sol est d'autant plus forte que la concentration en cations totaux dans la solution est plus élevée. Ainsi, les risques de sodisation relatifs à une eau d'irrigation sont caractérisés par deux paramètres : le SAR (Sodium Adsorption Ratio), qui rend compte du rapport entre les concentrations en sodium et en alcalino-terreux, et la conductivité de l'eau appliquée.

Le SAR défini comme égal à $Na^+ / \sqrt{[Ca^{++} + Mg^{++}] / 2}$ [Na^+ , Ca^{++} et Mg^{++} étant exprimés en meq/l] peut être ajusté pour mieux tenir compte du calcium susceptible de demeurer sur le sol après une irrigation (Faby, 1997).

VII. Fertilisants dans les eaux usées traitées

La concentration élevée en éléments fertilisants augmente la valeur agronomique des eaux usées. Toutefois, ces éléments nutritifs peuvent constituer un facteur limitant dans le cas d'un apport excessif lié à une concentration élevée ou à un apport d'eau usée important.

Les eaux usées urbaines contiennent beaucoup de nutriments (macronutriments N, P, K, Ca, Mg et micronutriments Fe, Zn, Cu, Mn....) (Masséna, 2001), qui sont essentiels à la nutrition des plantes. Cependant, la teneur nutritive de l'eau usée peut excéder les besoins de la plante et constitue ainsi une source potentielle de pollution des eaux de nappe. Elle peut également poser des problèmes liés à un développement végétatif excessif, en retardant la maturité ou en réduisant la qualité des cultures irriguées. Il est donc nécessaire de considérer les nutriments présents dans l'effluent traité en tant qu'élément du programme global de fertilisation des cultures irriguées. À cet égard, l'analyse d'eau usée est requise au moins une fois au début de la saison culturale (FAO, 2003).

VII.1 Charge nutritive en NPK

La concentration en N et P dans les eaux usées traitées secondaires peut varier sensiblement selon la source d'eau usée primaire et le procédé de traitement. Les concentrations en N et P des installations de traitement conventionnelles, sont habituellement plus élevées qu'en lagunages aérés et en fossés d'oxydation. En général, N et P sont réduits par le traitement mais la concentration en K reste approximativement identique au niveau trouvé dans l'eau usée brute.

VII.1.1 Azote

La teneur en azote dans les eaux usées peut varier de 20 à plus de 100 mg/l, selon les usages et le traitement de l'effluent de ces eaux (FAO, 1992).

L'usage d'eaux usées en irrigation peut faire craindre un excès d'apports azotés. Cet excès se réfère d'une part aux tolérances de la végétation cultivée et, d'autre part, aux risques de pollution des nappes phréatiques sous-jacentes.

L'azote en quantité excessive peut, dans des mesures qu'il ne faut pas exagérer, perturber certaines productions, retarder la maturation de certaines cultures, abricots, agrumes, avocats, vigne par exemple, altérer leur qualité, comme par exemple réduire la teneur en sucre des fruits ou des betteraves, accentuer la sensibilité des cultures aux maladies, la tendance à la verse pour les céréales, limiter le développement des jeunes racines...etc (Faby, 1997).

VII.1.2 Phosphore

Dans l'eau usée après traitement secondaire il varie de 6 à 15 mg/l (15-35 mg/l P₂O₅) à moins qu'un traitement tertiaire l'élimine. L'évaluation de P dans l'eau usée traitée devrait être réalisée en concomitance avec les analyses de sol pour les conseils de fumure (FAO, 2003).

Selon (FAO, 1992), l'effluent des eaux usées peut contenir 5 à 50 mg/l du phosphore, selon l'alimentation et l'usage de l'eau de la population locale. Pendant le prétraitement des eaux usées, et par infiltration à travers le sol, le phosphore organique est converti biologiquement en phosphate. Dans les sols calcaires à pH alcalin, le phosphate précipite avec le calcium pour former le phosphate du calcium. Dans les sols acides, le phosphate réagit avec le fer et les oxydes de l'aluminium dans le sol pour former des composés insolubles. Quelquefois, le phosphate est immobilisé initialement par adsorption au sol et revient lentement en formes insolubles, en autorisant plus d'adsorption de phosphate mobile, etc. Dans les sables propres avec pH neutre, le phosphate peut être relativement mobile.

VII.1.3 Potassium

Le potassium contenu dans l'eau usée n'occasionne pas d'effet nuisible sur les plantes ou l'environnement. C'est un macronutriment essentiel qui affecte favorablement la

fertilité du sol, le rendement des cultures et leur qualité. La concentration en K dans l'eau usée traitée secondaire varie de 10 à 30 mg/l (12-36 mg/l K₂O) (FAO, 1992).

VIII. Rôle des éléments fertilisants et leurs concentrations dans les eaux usées

La croissance des végétaux nécessite un approvisionnement en macronutriments (azote, phosphore et potassium) et en oligo-nutriments. Les trois macronutriments sont présentés soit sous forme Élémentaire N/P/K, soit sous forme N/P₂O₅/K₂O, les deux dernières substances caractérisant les formes anhydres du phosphore et du potassium. L'azote est impliqué dans la synthèse des acides aminés (constituants de base des protéines). Il favorise la croissance des tissus végétaux, ce qui en fait un facteur de rendement important. Il est présent dans les eaux usées sous forme minérale (N-NO₃ et N-NH₄) ou organique, mais il est absorbé par les plantes uniquement sous forme minérale, essentiellement nitraté (N-NO₃). Une carence en azote entraîne des baisses de rendement importantes, d'où l'intérêt d'apporter, si nécessaire, des compléments azotés sous forme d'engrais minéraux. Cependant un apport d'azote en quantité excessive est contre-productif, notamment sur les cultures de fruits et légumes. Cela entraîne une surcroissance végétale qui retarde la maturité des fruits et en détériore leur qualité (Ayers et Westcot, 1985). Ce phénomène s'observe fréquemment dans le cas de réutilisation agricole des eaux usées, lorsque celles-ci n'ont pas fait l'objet d'un traitement préalable susceptible de réduire la charge en azote.

Le phosphore est un constituant cellulaire et un transporteur d'énergie. En tant que constituant cellulaire, il participe, avec l'azote, à la croissance de la plante, notamment au développement des racines. Il favorise également la floraison, la nouaison des fruits et la formation des graines. On le trouve principalement dans les eaux usées domestiques. Il y est présent sous forme minérale, constituée essentiellement par les orthophosphates (HPO₄²⁻, H₂PO₄⁻, H₃PO₄) et, en plus faible quantité, sous forme organique.

Le potassium est nécessaire à la photosynthèse et à la synthèse des protéines. Il permet également à la plante de mieux résister à la sécheresse. Une carence ou un excès en potassium augmente la sensibilité de la plante au parasitisme. Il se présente sous forme minérale K⁺ dans les eaux usées. Les micronutriments ou oligo-éléments sont des constituants de nombreux enzymes. Ils sont utilisés à des quantités relativement faibles par

rapport aux trois éléments majeurs N, P, K. Azote, phosphore et potassium sont naturellement présents dans les sols, mais un apport exogène peut s'avérer nécessaire pour atteindre les rendements culturaux escomptés. Les apports complémentaires se font généralement par le biais d'engrais synthétiques. Ces derniers sont onéreux et souvent inaccessibles pour les petits exploitants maraîchers des pays pauvres qui sont ainsi fréquemment tentés de profiter des nutriments contenus dans les eaux usées.

I. Présentation de la zone d'étude

I.1 Situation géographique

La station d'épuration Est de Tizi-Ouzou est située sur la rive gauche d'Oued Sebaou à 200 m en amont du Pont de Bougie sur le chemin de Wilaya n° 124 reliant Tizi-Ouzou à Bejaïa. La STEP est donc implantée à la sortie Est de la ville de Tizi-Ouzou, en dehors du tissu urbain. D'une superficie de 35591 m² dont 14714 m² bâtis.



Figure III.1 : Station d'épuration Est de la ville de Tizi-Ouzou

I.2 Conception et réalisation

La station d'épuration Est de Tizi-Ouzou a été conçue aux débuts des années 90 et a été mise en marche en août 2000.

L'étude du projet a été effectuée par la direction de l'hydraulique de la wilaya de Tizi-Ouzou, en collaboration avec la société française DEGREMONT.

Elle a pour but, l'épuration des effluents de la partie Est de la ville de Tizi-Ouzou, selon le procédé « boues activées », pour un volume journalier théorique de 18 000 m³/jour, et une capacité de 120 000 Eq/hab.

Ces effluents arrivent à la station à travers un réseau unitaire par voie gravitaire. Les eaux usées à traiter sont exclusivement domestiques.

I.3 Caractéristiques des eaux

• Eau brute

L'effluent brut à traiter à charge nominale, les caractéristiques suivant :

Charge hydraulique :

- Débit journalier par temps sec.....18 000 m³/j
- Débit moyen journalier.....750 m³/j
- Débit de point temps sec.....1260 m³/j
- Débit de point temps de pluie.....2250 m³/j

Charge polluante :

DBO₅ :

- Flux quotidien.....6500 kg/j
- Concentration moyenne360 g/m³

MES :

- Flux quotidien.....4800 kg/j
- Concentration moyenne466 g/m³
- pH.....6-8.5
- Température..... 25°C

• Eaux traitée

Les objectifs à atteindre sont :

- ◆ DBO₅ inférieure ou égale à 30 mg/l sur échantillon moyen de 24 heures.
- ◆ MES inférieure ou égale à 30mg/l sur échantillon de 24 heures.
- ◆ DCO inférieur ou égale à 90mg/l sur échantillon de 24 heures
- ◆ pH compris entre 6.6 et 8,5.

II. Traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées sert à éviter le plus possible de polluer le milieu naturel ou elles sont rejetées. Pour cela, on dispose des stations d'épuration qui nettoient ces eaux.

Notre étude est réalisée sur la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou, elle permet de traiter les eaux urbaines polluées de manière à réduire considérablement leur degré d'altération pour qu'elles puissent être rejetées dans le milieu récepteur qui est l'oued Sébaou sans impacts ou bien une éventuelle réutilisation dans le futur.

Les procédés d'épuration utilisés reposent sur le principe biologique (les micro-organismes absorbent la pollution).

La station d'épuration comprend les étapes de traitement suivantes :

- Prétraitements
- Traitements primaires
- Traitements physico-chimiques
- Traitements secondaires
- Traitement des boues

II.1 Prétraitements

L'objectif principal de cette étape est de séparer la phase liquide des matières solides grossières, parmi les étapes de prétraitements on peut citer : le dégrillage, le dessablage, déshuilage et le dégraissage.

II.1.1 Dégrillage

Il consiste à faire passer les eaux usées à travers une grille dont les barreaux plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus grossiers et les déchets volumineux supérieurs à 5 cm (figure III.2) , il a pour but d'éliminer toutes les impuretés qui pourraient, par obstruction, provoquer dans les pompes des difficultés de fonctionnement, cette étape est très importante parce qu'elle permet de soumettre les eaux usées aux traitements ultérieurs sans trop de problèmes.



Figure III.2 : Degrilleur

II.1.2 Dessableur déshuileur

➤ Déshuilage et dégraissage

Les opérations de dégraissage-déshuilage consistent à séparer les huiles et les graisses de l'eau par flottation c'est pourquoi, il faut nettoyer aussi bien la surface que le fond du bassin. Pour le nettoyage on utilise des ponts racleurs et des racleurs à chaîne et à lames (figure III.3).



Figure III.3 : Déshuileur d'une station d'épuration des eaux usées.

➤ **Dessableur**

C'est une opération dans laquelle on fait la séparation entre l'eau et le sable par décantation.



Figure III.4 : Vis d'archimède

II.2 Traitement secondaire (biologique)

Pour compléter l'épuration de l'eau, on procède à un autre type de traitement qui est le traitement secondaire. Ce type de traitement a pour but de séparer l'eau et les matières en suspension, Cette étape est accomplie en forçant le mélange entre les eaux usées, les bactéries et l'oxygène, l'oxygène aide les bactéries à oxyder plus rapidement les polluants. L'eau est ensuite acheminée dans d'autres réservoirs où les particules solides se déposent à nouveau dans le fond, le traitement secondaire élimine entre 90 et 95% des polluants, soit un abattement de 85 à 90% de la DBO₅ et 90 à 99% des bactéries coliformes selon la réaction suivantes :

Eau usée + biomasse + oxygène → Eau épurée + accroissement de la biomasse + gaz

Pour séparer l'eau et la boue, elle va être traitée par d'autres procédés qu'on détaillera dans ce qui suit :

II.2.1 Bassin d'Aération

L'eau passe de dessableur déshuileur par gravité dans un bassin d'aération où elles sont mises en contact avec une biomasse responsable de l'épuration, qui se nourrissent des impuretés dissoutes et permettent d'éliminer petit à petit la pollution. Cette pollution est microscopique. Il n'est pas possible de la distinguer à l'œil nu. Ces minuscules êtres vivants, les bactéries, vont se charger d'éliminer la pollution, exactement comme dans un cours d'eau. La seule différence, c'est que dans une station d'épuration ce phénomène est concentré et intensifié pour faire face à la quantité de matière polluante qui est rejetée chaque jour.



Figure III.5 : Bassin d'aération

II.2.2 Décanteur Secondaire (clarificateur)

La dernière étape avant que l'eau soit relâchée dans le milieu naturel consiste en la clarification. Quand il n'y a plus que de l'eau et des bactéries, ces dernières, rassasiées, s'agglomèrent en de gros paquets : les floes. Il ne faudrait pas risquer de les rejeter dans le cours d'eau. Une dernière décantation (décantation secondaire), permet de débarrasser l'eau épurée des floes de bactéries. Cette opération se passe dans le clarificateur. L'eau épurée s'en échappe par débordement pour aller rejoindre l'Oued pendant que les boues décantées sont raclées sur le fond du bassin et évacuées.



Figure III.6 : Clarificateur

II.3 Principe de traitement des boues

Le principal objectif du traitement des boues en station d'épuration est d'en réduire le volume pour limiter les quantités à stocker (voire à épandre), et de les stabiliser pour en améliorer les caractéristiques physiques (amélioration de leur tenue en tas) et arrêter la biodégradation dont elles sont le lieu.

II.3.1 Stabilisateur

La stabilisation pour empêcher ou réduire les problèmes de fermentation et d'éviter ainsi les nuisances olfactives. La stabilisation peut être biologique par voie aérobie ou anaérobie, ou chimique (chaulage ou autres traitements) (Office International de l'Eau, 2001). La stabilisation biologique présente l'avantage de limiter l'évolution ultérieure de la composition des boues.



Figure III.7 : Stabilisateur

II.3.2 Epaisseur

Les procédés d'épaississements permettent de réduire le volume des boues grâce à l'extraction de leur eau. Il vise donc à augmenter la siccité des boues, soit leur teneur en matière sèche.



Figure III.8 : Epaisseur

II.3.3 Séchage

Le séchage est une opération unitaire du traitement des boues consistant à évaporer l'eau libre et liée et peut être effectué par deux méthodes, les lits de séchage (figure III.9) et séchage thermique.



Figure III.9: Lits de séchage

Une fois la boue est séchées, la dernière étape consiste en leur l'extraction, manuellement. Suite les boues seront déplacées vers "l'aire de stockage des boues (figure III.10), qui sont récupérées par des agriculteurs.



Figure III.10 : Aire de stockage des boues.

III. Données météorologiques de la région de Tizi-Ouzou

Pour une meilleure caractérisation du climat de la région de TIZI-OUZOU nous avons utilisé les données de la station météorologique de Boukhalfa, la plus proche de la STEP Est, se rapportant à une période de dix ans (2008-2017). Les données sont consignées dans le tableau suivant.

Tableau III.1 : Données climatiques de la région de TIZI-OUZOU pour la période 2008-2017 (ONM, 2018).

	T _{moy} (c°)	T _m (c°)	T _M (c°)	p (mm)	H (%)	V (m/s)	ev (mm)	Ins (h)
janvier	10,84	6,98	16,07	130,52	81,2	1,08	38,6	151,8
février	11,01	6,88	16,33	114,09	78,6	1,23	42,5	149,4
mars	13,9	8,64	19,22	101,56	76,8	1,4	55,2	207,6
avril	16,27	11,06	22,61	68,04	73,9	1,24	63,3	240,5
mai	19,57	14,05	26,27	64,29	70,9	1,04	88	244,2
juin	24,2	17,72	31,58	16,22	63,5	1,11	120,9	308,3
juillet	28,12	21,36	35,85	2,42	58,2	1,26	163,8	329,5
août	28,02	21,99	35,42	3,43	59,3	1,15	156,6	306,9
septembre	24,29	18,9	31,34	37,99	66,5	1,31	113,6	231,5
octobre	20,56	15,49	27,54	54,94	71,2	0,9	77,3	219,8
novembre	15,03	11,96	19,26	119,91	77,5	0,85	54,1	156,6
décembre	12,05	8,05	18,13	113,26	81,5	0,67	38,3	154,8
Moy	18,655	13,59	24,968	826,67 *	71,591	1,103	1012,2 *	225,075

T moy. : Température moyenne.

T m : Température minimale

T M : Température maximale.

P : Précipitations.

H : Humidité relative.

V : vents.

Ev : évaporation.

Ins. : Insolation.

* : Cumul

III.1 La température

A partir du tableau III.1 nous observons que la température moyenne maximale du mois le plus chaud est atteinte en juillet avec 35,85°C et la température moyenne minimale du mois le plus froid en février avec 6,88°C.

III.2 Précipitation

Les précipitations sont plus importantes en hiver qu'en été, leur répartition est marquée par une sécheresse quasi au mois de juillet et mois d'Août, et un maximum en mois de Janvier avec 130, 52 mm. Le cumul annuel des précipitations est de l'ordre de 826,67mm voir (tableau III.1).

III.3 Humidité relative

L'humidité relative de l'air faible elle est de l'ordre de 58,20% en juillet, atteignant un maximum de 81,5% au mois de Décembre, et une moyenne annuelle de 71,60% voir (tableau III.1).

III.4 Evaporation

L'évaporation est très importante, le cumul est de l'ordre de 1012,20 mm/an avec un maximum mensuel de 163,80 mm au mois de Juillet, et minimum en mois de Janvier et mois de décembre (tableau III.1).

III.5 Insolation

L'ensoleillement est considérable à Tizi-Ouzou. Elle est de l'ordre de 225, 075 h/mois, Avec un maximum de 329,5 heures en juillet et un minimum de 149,4heures en février. La durée d'insolation moyenne annuelle est de 225.075 h/mois, soit environ 7.50 h/jour (tableau III.1).

III.6 Vent

D'après le (tableau III.1) les vitesses moyennes du vent varient est de 1.103 m/s. Le mois le plus venté est septembre avec de vitesse moyenne de 1.31 m/s, les mois les moins ventés sont octobre, novembre et décembre avec des vitesses moyennes de 0.9, 0.85 et 0.67 m/s respectivement.

III.7 Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson permet de déterminer la période sèche suivant un principe à échelle $P = 2T$.

P : précipitation.

T : température moyenne annuelle.

L'aire comprise entre les deux courbes représente la période sèche dans la région Tizi-Ouzou. Cette période s'étend sur 4 mois (fin Mai, fin Septembre) et la période humide s'étend sur 8 mois (fin Septembre, fin Mai).

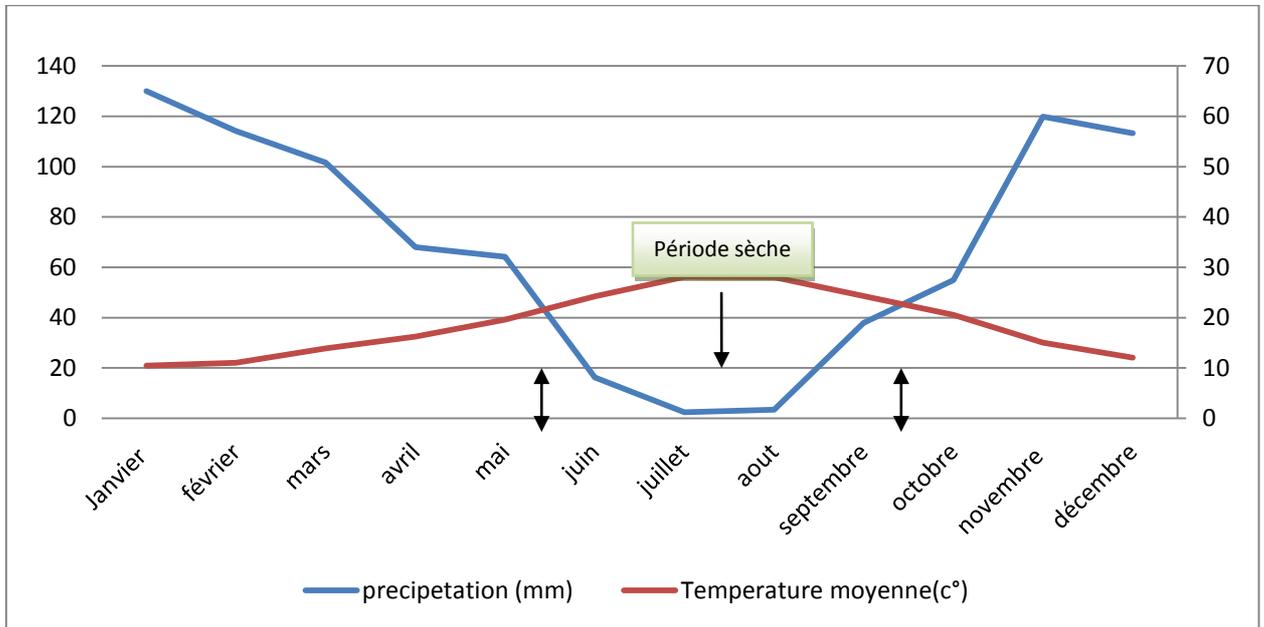


Figure III. 10 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région de Tizi-Ouzou (2008-2017).

III.8 Climagramme d'Emberger

Le quotient pluviométrique d'Emberger permet de distinguer les différents étages climatiques méditerranéens (humide, subhumide, semi aride, aride et saharien) ainsi que les variantes de chaque étage (hiver doux, frais, froid ou chaud). Il est fonction de la température moyenne maximale (M) du mois le plus chaud, de la température moyenne minimale (m) du mois le plus froid et de la pluviosité annuelle (p) en mm. Selon STEWART (1969) le quotient est écrit comme suite :

$$Q_2 = 3,43 \frac{p}{(M-m)}$$

P : Somme des précipitations annuelles exprimées en mm.

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud exprimées en °C.

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid exprimées en °C.

$$P = 826.76, M = 35.85^{\circ}\text{C}, m = 6.88^{\circ}\text{C}, Q_2 = 97.88$$

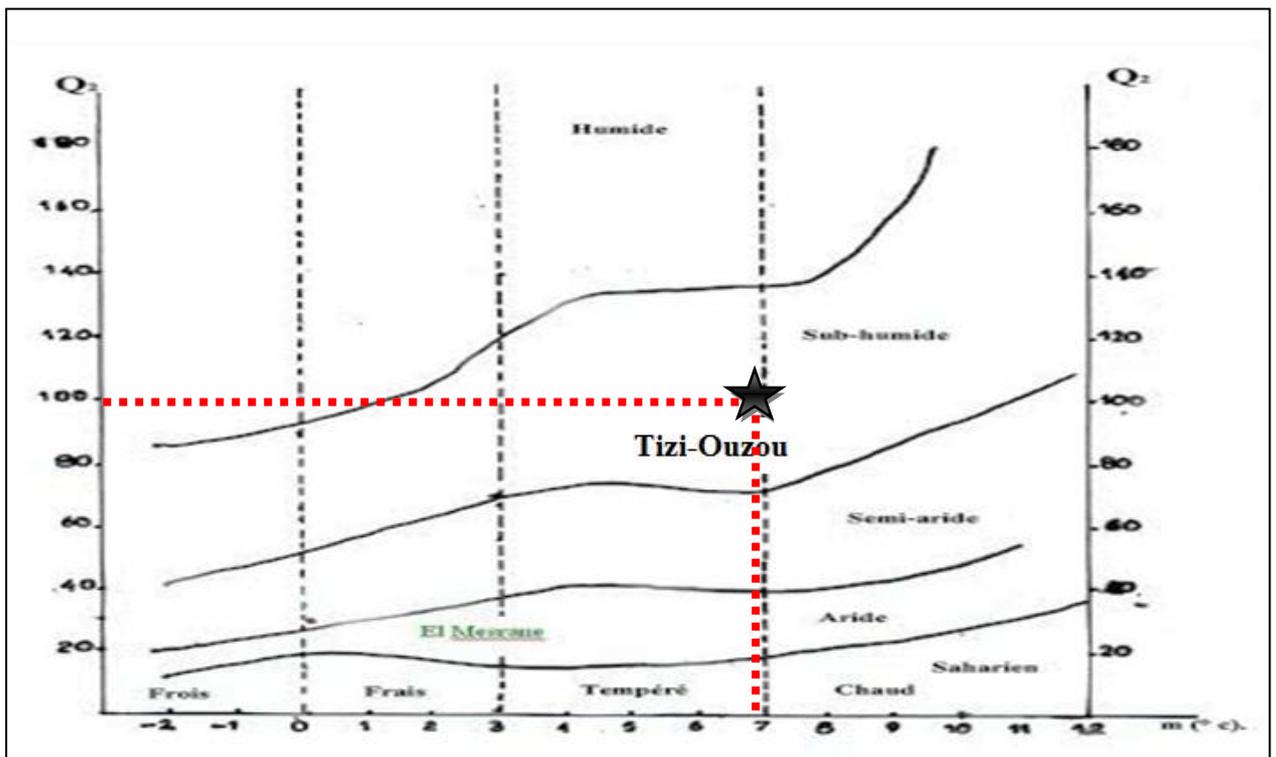


Figure III.11 : Position de la région de Tizi-Ouzou dans le Climagramme d'Emberger durant une période de 10 ans (2007-2018).

Les calculs donnent Q_2 égale à 97.88 avec $T^\circ \text{ m} = 6.88^\circ\text{C}$. Ce qui permet de classer cette région donc dans l'étage bioclimatique subhumide, avec un hiver tempéré.

I. Introduction

Les analyses physico-chimiques, sont réalisées au niveau de laboratoire de la STEP Est de Tizi-Ouzou selon des méthodes et des modes opératoires bien précis, en fin Les résultats obtenus sur la période d'étude nous ont permis d'établir des graphes pour chaque élément analysé.

II. Analyse physicochimique

L'objectif principal de ce travail est de faire les analyses physico-chimiques des eaux usées de la station d'épuration, afin d'évaluer les concentrations en nutriments azotés et phosphorés, et projeté une éventuelle réutilisation de cette eau en agriculture et en même temps un amendement aux cultures, notre choix était porté sur les agrumes.

II.1 Techniques d'analyse physico- chimique des eaux usées

Les composés que l'on trouve dans les eaux usées sont très nombreux pour déterminer le degré de pollution, on ne peut pas identifier la totalité des composés chimiques présents. On fait plutôt appel à des paramètres globaux de pollution applicables sur tous les types d'eau. Ces paramètres globaux mesurés par des analyses courantes, correspondent aux principaux polluants et ce sont eux que l'on va trouver dans les normes de rejet (pH, MES, DCO, DBO₅, NO₂, NO₃) (Amouria et Medjouri, 2007).

II.2 Echantillonnage

nous avons effectué le prélèvement de l'échantillon d'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP de Tizi-Ouzou pour la période allant d'une semaine (25 mars -29mars) ,La fréquence d'échantillonnage est de l'ordre d'une à deux fois par semaine pour les analyses de: NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ et PO₄³⁻, mais nous avons pu récupérer d'autres résultat d'analyses faites avant et juste après notre stage pratique .

Nous avons retenu deux sites de prélèvement au niveau de la station :

- Le premier après le dégrilleur (effluent brute).
- Le deuxième à la sortie du décanteur secondaire (effluent traité).

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération assez délicate, car la moindre erreur peut fausser plusieurs résultats d'analyse ainsi que leur interprétation.

Pour cela on doit respecter les critères suivants :

- Le prélèvement doit être réalisé à un endroit où l'effluent est homogène et représentatif.
- On doit être positionné le plus proche possible du point de prélèvement.
- Utiliser des bouteilles en plastique que on rince avant chaque remplissage avec l'eau à analyser.
- Noter les données de base tel que : le nom, la date, l'endroit, le temps et d'Autres.
- Le stockage des échantillons sera réfrigéré et thermostat. La température de l'enceinte sera 4°C. Une fois sortie du réfrigérateur, l'échantillon est laissé à températures ambiantes pendant quelques heures avant de commencer les analyses.

II.3 Méthodes d'analyse

Les analyses ont été réalisées sur les échantillons prélevés sur les deux types d'eau brute et traitée. Certaines de ces analyses sont réalisées quotidiennement, c'est le cas de la température (T°), pH, conductivité, turbidité et matières en suspension (MES), alors que d'autres le sont à des intervalles espacés, comme c'est le cas de la DBO_5 , DCO , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , et PO_4^{3-} .

Tableau IV.1 : Matériels et réactifs utilisés au niveau de laboratoire

Paramètres mesurés	Matériels	Réactifs et solutions
pH	Etuve	NitraVer3
T°	Four à moufle	NitraVer5
turbidité	Réacteur DCO	NitraVer6
CE	Colorimètre	Nitri Ver3
MES	Conductimètre	PhosVer 3
DCO	Thermomètre	Hydrogénophthalate de potassium
DBO ₅	Spectrophotomètre	Dichromate de potassium
NH ₄ ⁺	pH mètre	Acide sulfurique et sulfate d'argent
NO ₃ ⁻	Incubateur+DBO mètre à Oxy-top	Sulfate de fer et d'ammonium
NO ₂ ⁻	Réfrigérateur	Salicylate ammoniacal
PO ₄ ³⁻	Hote	Cyanurate ammoniacal
	Balance analytique	Indicateur ferroïne
	Plaque chauffante	
	Dessiccateur en verre	
	Dispositif de filtration	
	Agitateur magnétique	
	Microscope binoculaire	
	Verrerie de laboratoire	

II.3.1 Potentiel hydrogène pH

Le pH est mesuré au laboratoire à l'aide d'un pH mètre électronique.

On plonge l'électrode dans l'échantillon et on attend jusqu'à la stabilisation de la mesure et faire la lecture.



Figure IV.1 : pH mètre

II.3.2 Température (C°)

On mesure la température grâce à un thermomètre à sonde que l'on plonge dans l'eau à analyser. Une fois la température stabilisée, on effectue la lecture.



Figure IV.2 : Thermomètre à sonde

II.3.3 Détermination de la conductivité électrique

La valeur de la conductivité est un paramètre cumulé pour la concentration en ions d'une solution mesurée. Plus une solution contient de sel, d'acide ou de base, plus sa conductivité est élevée. L'unité de conductivité est $\mu\text{S}/\text{cm}$, pour sa mesure un étalonnage puis on plonge la sonde dans l'eau à analyser (eau brute et traitée) pour ensuite effectuer la lecture.



Figure IV.3 : Conductimètre

II.3.4 Éléments nutritifs**II.3.4.1 Détermination des effluents d'azote ammoniacal (NH_4^+) :****➤ Principe**

Mesurage spectrophotométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium).

Mode opératoire :

Après avoir préparé le spectrophotomètre et introduit le numéro de programme (385) correspondant à une longueur d'onde de (655nm), puis on procède au reste de la manipulation :

- Diluer les échantillons (eau brute, eau épurée) de 1/100 pour l'eau brute et de 1/50 pour l'eau épurée.
- On remplit 2 flacons de 25ml des échantillons préalablement dilués (eau brute diluée, eau épurée diluée), et un autre flacon de 25ml d'eau distillée (le blanc).
- On ajoute pour les trois flacons une gélule de Salicylate ammoniacal.
- Après un temps de réaction de 3min (apparition d'une couleur jaunâtre), on ajoute un autre réactif (cyanurate ammoniacal) Après 15min de réaction (apparition d'une couleur verte) on place les flacons dans le puits de mesure et on effectue la lecture.

Les résultats obtenus expriment la valeur de NH_4^+ après sa multiplication par un coefficient égal à 1,29 et par leurs facteurs de dilution (x 100 pour l'eau brute, x50 pour l'eau épurée).

II.3.4.2 Détermination des nitrates (NO_3^-)

Un spectrophotomètre a été utilisé pour la mesure des NO_3^- sur les eaux brutes alors que pour l'eau épurée, un colorimètre a été utilisé pour la mesure de NO_3^- .

➤ Pour l'eau brute (mesure du NO_3^-)

Au préalable, et grâce à un dispositif sous vide, l'eau brute est filtrée pour en retenir toutes les MES avant de procéder à la mesure avec le spectrophotomètre réglé à une longueur d'onde 507nm. Suite à quoi, le mode opératoire suivant est appliqué :

- Préparer 30ml d'eau brute dans un flacon +réactif (NitraVer6).
- Agiter pendant 3min, puis laisser 2min de réaction et décantation.
- Ajouter le 2^{ème} réactif (NitraVer3), et laisser agir pendant 10min.

A l'apparition d'une couleur rose clair, on procède à la lecture de la valeur de NO_3^- avec un spectrophotomètre. Le résultat peut être exprimé en nitrate NO_3^- , en multipliant le résultat obtenu à la lecture par 4,4.



Figure IV.4 : Dispositif de filtration sous vide
filtration des eaux brutes



Figure IV.5 : Retenus Après

- **Pour l'eau épurée (mesure du NO_3^-) le mode opératoire est le suivant :**
- Mettre 10ml d'eau épurée dans le tube + réactif (NitraVer5).
 - Préparer, entre temps, un autre tube contenant de 10ml d'eau distillée (blanc) + réactif (NitraVer5).
 - Agiter les tubes pendant 1min, et laisser un temps de 5 mn pour la réaction.

A l'apparition d'une couleur jaune clair, on fait la lecture directe de la valeur de NO_3^- sur un colorimètre.



Figure IV.6 :colorimètre

II.3.4.3 Détermination des nitrites(NO_2^-)

La détermination des concentrations en nitrites a été réalisée par un spectrophotomètre. Après avoir introduit le numéro du programme 371, l'appareil a été réglé sur une longueur d'onde de 507nm. Le mode opératoire était le suivant

➤ **L'eau brute sans dilution**

- 25ml de l'échantillon dans un flacon + un réactif (NitriVer3)

➤ **L'eau épurée avec dilution 1/5ème**

En utilisant les flacons de 25ml, on verse 5ml d'eau épurée puis on complète avec l'eau distillée + un réactif (NitriVer3).

- On prépare le blanc avec l'eau de l'échantillon.
- Laisser 5min de réaction.
- Apparition d'une couleur rose, puis placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure et faire la lecture avec un spectrophotomètre.

Le résultat obtenu N- NO_2^- est multiplié par 3,3 pour avoir les nitrites exprimé en NO_2^- et par le facteur de dilution pour l'eau épurée (x 5).

II.3.4.4 Détermination des phosphates (PO_4^{3-})

La détermination de ce paramètre se fait grâce à un spectrophotomètre réglé sur le numéro du programme (490), correspondant à une longueur d'onde de 890nm.

Le mode opératoire :

Effectuer une dilution de 1/10 des deux échantillons préalablement filtrés en pipétant 5ml de chaque eau analysée (épurée et brute) et en complétant celui-ci jusqu'à 50ml avec de l'eau distillée. De ces deux volumes 25ml sont prélevées sur chacune des deux eaux analysées et aux quelles on rajoute un réactif (phosVer3). Après 2min de réaction, on note l'apparition d'une couleur bleue. L'échantillon est alors placé dans le puits de mesure pour effectuer la lecture, qui sera enfin multiplier par le facteur de dilution.

III. Résultats des analyses physico-chimiques

L'étude de la qualité des eaux usées et des eaux épurées obtenues par les analyses des Paramètres physiques et chimiques prélevées au niveau de la station d'épuration de

Tizi-Ouzou montre que les valeurs obtenues se diffèrent d'un paramètre à l'autre, le brut des résultats d'analyses est présenté en figures ci-dessous.

III.1 Température de l'eau (T°C)

La température journalière de l'eau, mesurée à l'entrée et à la sortie de la STEP est représentée par la figure IV.7.

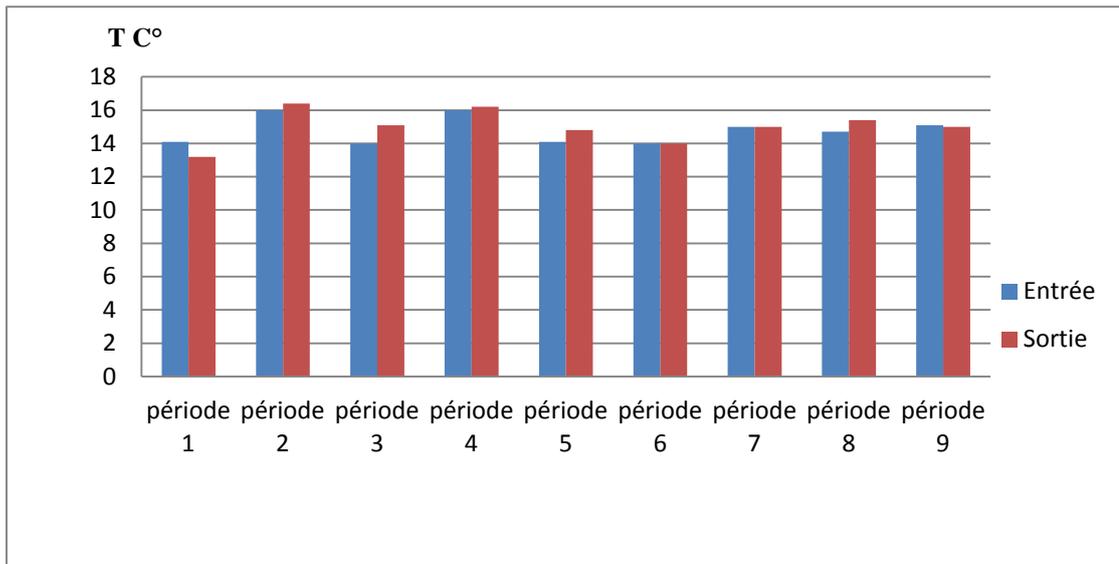


Figure IV.7 : Variation de Température de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP

On constate que la variation de la température des différents échantillons prélevés durant cette période n'été pas importante. La température se situe dans l'intervalle de 14.1°C à 16°C à l'entrée des eaux usées et de à 13.2°C et 16°C pour les eaux épurées. Ces valeurs s'inscrivent dans la tranche permettant le développement de la population bactérienne, elles sont inférieures au seuil maximal tolérable qui est de 30°C. Il est évident de noter que cette campagne d'analyses était menée en printemps et que la température de l'eau est influencée par le climat saisonnière.

III.2 Potentiel d'hydrogène (pH)

Les mesures du pH de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP durant le période considérée sont représentées dans la figure IV.8.

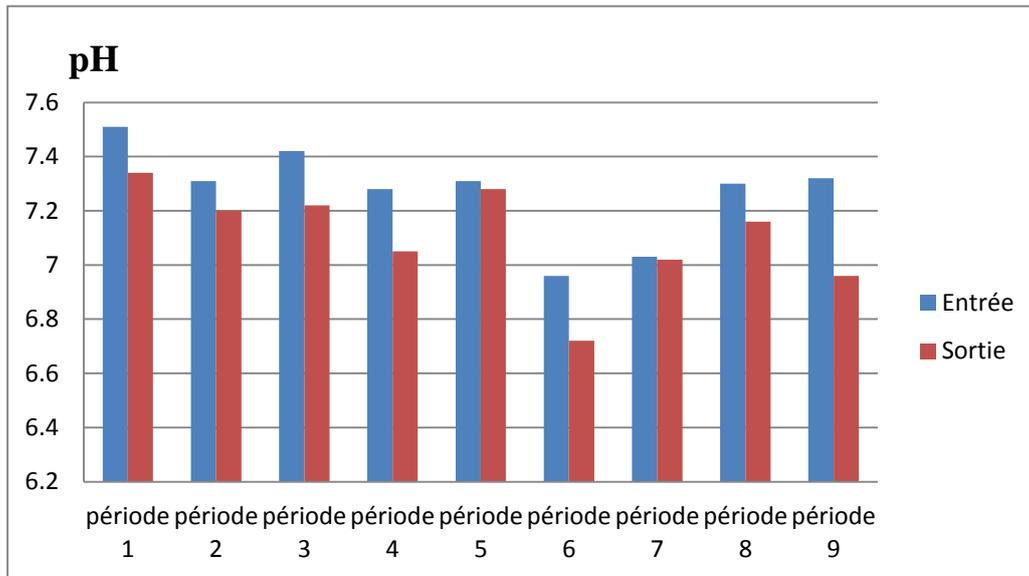


Figure IV.8: Variation de pH de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP

Les valeurs du pH permettant d'assurer un traitement efficace et d'éliminer convenablement l'azote doivent se situer entre 6.5 et 8.5. La figure représentant les mesures du pH, Les valeurs du pH des eaux usées avant traitement sont comprises entre 6.96 et 7.51, tandis que, celle à la sortie de la STEP, varie entre 6.72 et 7.34. Les valeurs du pH des eaux à la sortie de la STEP sont légèrement inférieures à celles enregistrées à l'entrée. Cette réduction du pH est due probablement au dégagement du gaz CO_2 lors de la réduction de la pollution carbonée par les bactéries.

III.3 Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est influencée par la température, la nature des ions libérés et leur concentration dans les eaux, La CE est un facteur qui intervient directement sur la salinité des sols si on prévoit une irrigation avec les effluents secondaires.

Les mesures du CE de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP durant la période considérée sont représentées dans la figure IV.9.

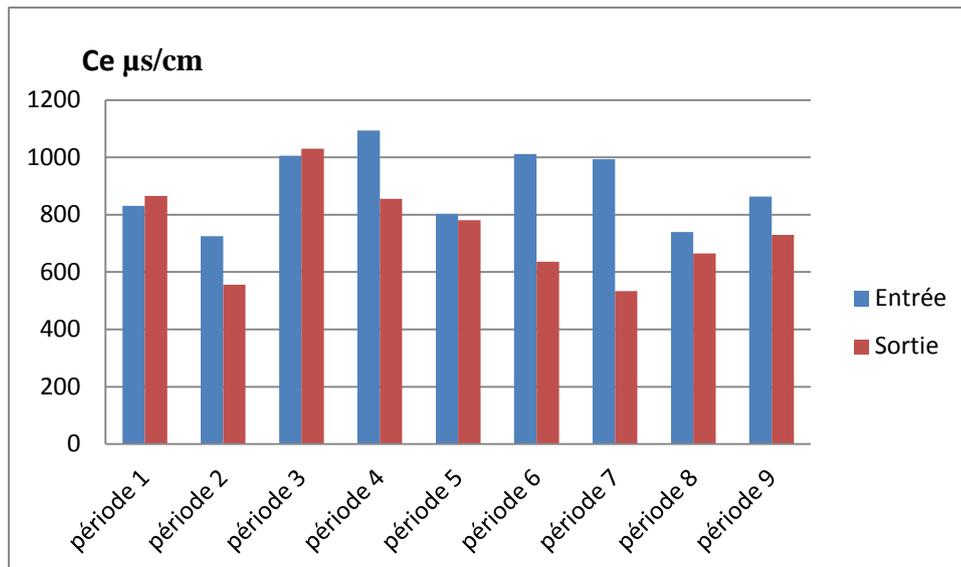


Figure IV.9 : Variation de CE de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP

Les valeurs enregistrées sont variées entre 831 $\mu\text{S/cm}$ à 1094 $\mu\text{S/cm}$ à l'entrée des eaux et de 535 $\mu\text{S/cm}$ à 1030 $\mu\text{S/cm}$ à la sortie de l'eau, L'augmentation de la CE est impactée par les divers effluents domestiques.

III.4 Matières azotées

L'azote est présent dans les effluents sous les différentes formes suivantes :

- Azote ammoniacal (NH_4^+)
- Nitrates (NO_3^-)
- Nitrites (NO_2^-)

L'évolution des concentrations en NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- dans l'eau brute et dans l'eau traitée, est présentée ci-dessous :

III.4.1 Azote ammoniacal (NH_4^+)

Les résultats de l'analyse des concentrations en NH_4^+ à l'entrée et à la sortie de la station d'épuration sont reportés sur la figure IV.10.

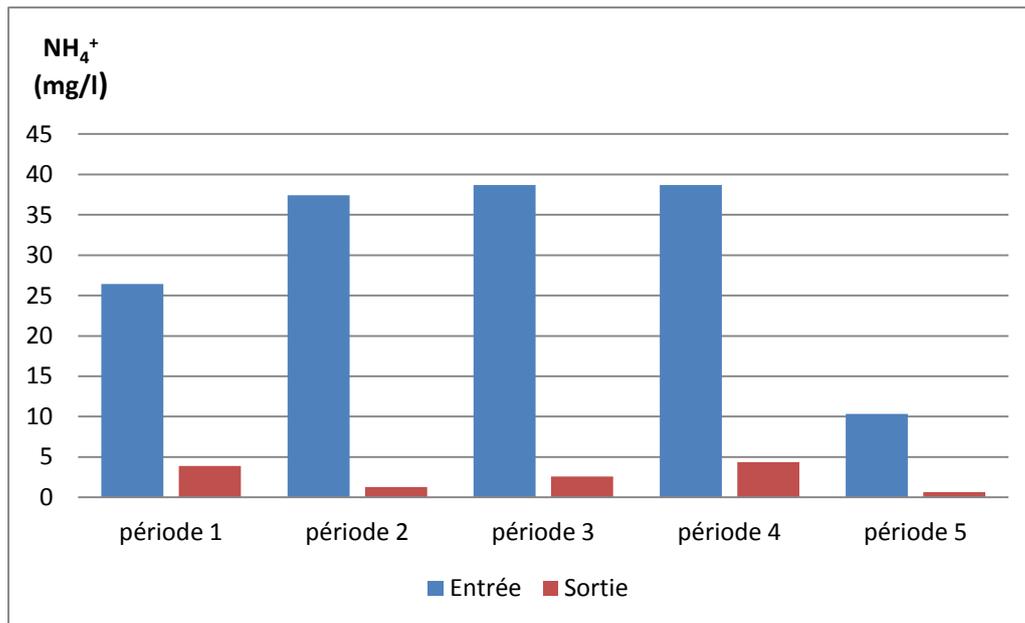


Figure IV.10 : Evolution du NH_4^+ à l'entrée et à la sortie de la STEP

La lecture et l'analyse de la figure IV.10 permettent de porter le constat suivant:

Les mesures du NH_4^+ , effectuées à l'entrée de la STEP sur les eaux usées, varient entre 38.7 mg/l et 10.32 mg/l. Ce fort taux de concentration est un indicateur de la présence d'une importante pollution azotée.

Les concentrations en NH_4^+ dans les eaux épurées sont comprises entre 0.64 mg/L et 4.38 mg/l. (Elles sont largement faibles et conformes à la norme OMS de rejet qui est de 5 mg/l). L'important abattement du NH_4^+ est dû à la bonne aération générant une excellente oxygénation des eaux à épurer.

L'existence d'une bonne oxygénation conjuguée à la présence des bactéries nitrifiant dans le bassin d'aération, assure le phénomène de nitrification.

Le NH_4^+ est oxydé en nitrite puis en nitrate par la consommation de l'oxygène.

Les résultats obtenus confirment la fiabilité de la station en matière de nitrification.

III.4.2 Nitrites (NO_2^-)

L'ion nitrite, instable est la principale forme d'azote inorganique trouvée dans les eaux. Il s'oxyde facilement en ion nitrate et se retrouve ainsi rarement en concentration importante dans les eaux. Les nitrites instables ne se maintiennent que lorsque le milieu, n'est pas suffisamment oxydé, leur présence indique un état critique de pollution organique. Les résultats de l'analyse des concentrations en NO_2^- à l'entrée et à la sortie de la station d'épuration de Tizi-Ouzou sont reportés sur la figure IV.11.

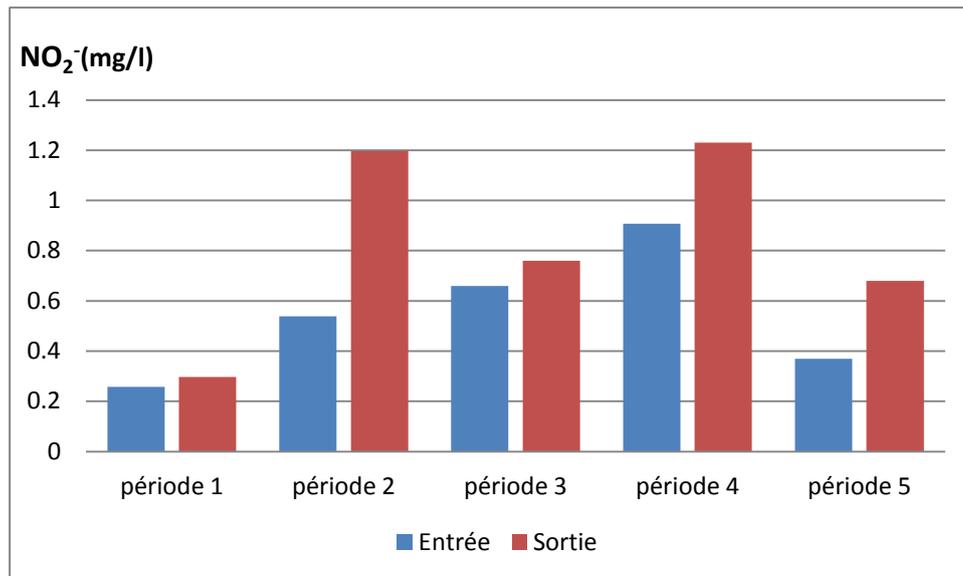


Figure IV.11: Variation de NO_2^- à l'entrée et à la sortie de la STEP.

La figure IV.11 fait ressortir que les teneurs en NO_2^- dans l'eau brute varient entre 0.90 mg/l et 0.25 mg/l. Cependant à la sortie de la STEP, les valeurs du NO_2^- dans l'eau traitée se situent entre 1.19 mg/l et 0.23 mg/l. on remarque que les teneurs en nitrites augmentent de l'entrée à la sortie de la station, ce qui explique que l'oxydation de l'ammonium par les bactéries de la nitrification se fait dans des bonnes conditions d'aération et aussi le temps de séjours dans le clarificateur est court pour qu'il y ait formation d'azote gazeux.

III.4.3 Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau. La figure IV.12 représente la concentration des nitrates mesurés à l'entrée et à la sortie de la STEP.

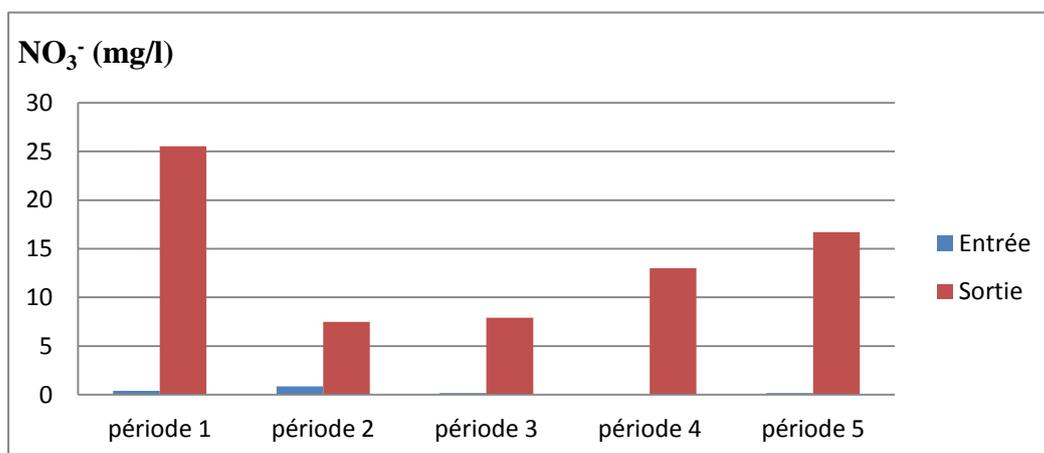


Figure IV.12 : Variation de NO_3^- à l'entrée et à la sortie de la STEP

Les valeurs des nitrates obtenues, varient entre 0.004 mg/l et 0.36 mg/l à l'entrée et de 7.48 mg/l à 25.52 mg/l pour les eaux épurées. L'augmentation insignifiante des teneurs en nitrates à la sortie de la STEP est due à la nitrification. La teneur en nitrates a augmenté après le traitement, et ce à cause de la nitrification, ce qui signifie que le taux d'oxygène dissous dans le bassin d'aération est suffisant et qu'il y'a eu une mauvaise dénitrification.

III.4.4 Rendement d'abattement de l'azote minéral

En absence de moyens et d'équipements au niveau de la STEP pour mesurer l'azote organique, cet élément a été négligé et seule l'évolution de l'azote minéral a été suivie.

L'azote minéral est la somme des trois éléments, l'azote ammoniacal (NH_4^+), les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-). L'azote ammoniacal (NH_4^+) représente à lui seul 70% de l'azote totale. Les rendements de l'abattement de l'azote minéral sont présents sur la figure IV.13 :

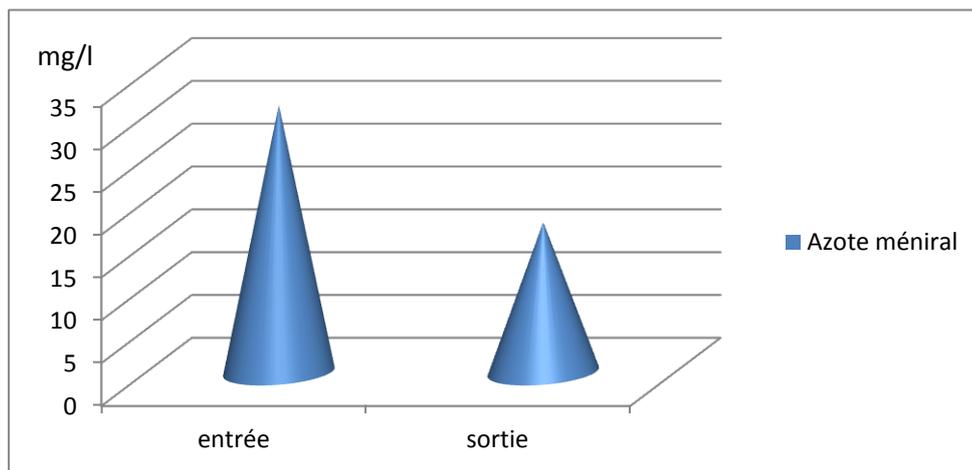


Figure IV.13 : Abatement de l'azote minéral de la STEP

La valeur de l'Azote minérale à l'entrée des eaux est de 31.185 mg/l, et la valeur de rendement de l'abattement de l'azote minéral est de 17.504 mg/l. Cette valeur confirme la fiabilité du process et le bon fonctionnement de la STEP.

III.5 Les Ortho-phosphates (PO_4^{3-})

Le phosphore peut se trouver sous différentes formes oxydées; sous la forme acide, on trouve l'acide méta (HPO_3), pyro ($\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$) et ortho (H_3PO_4). En milieu aqueux, les acides métras et pyro tendent vers une forme plus stable.

l'ortho-phosphate, Pratiquement, c'est sous cette forme qu'on le rencontre dans les eaux superficielles dont le pH est compris entre 5 et 8 (Rodier, 2005).

La figure IV.14 suivante montre les concentrations mesurées des phosphates à l'entrée et à la sortie de la station d'épuration de Tizi-Ouzou.

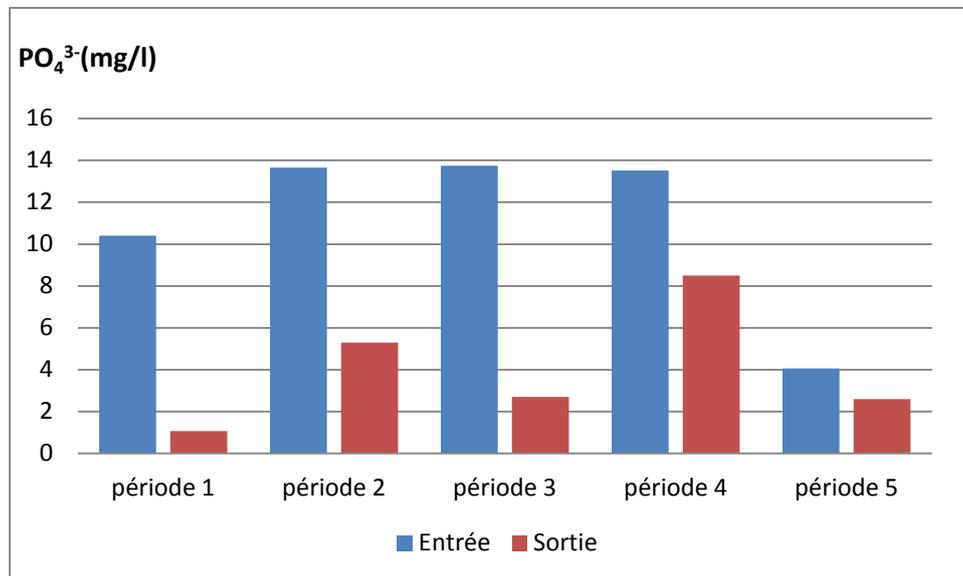


Figure IV.14 : Variation de PO_4^{3-} -à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Les valeurs des ortho-phosphate obtenues, varient entre 4.06 mg/l et 13.75 mg/l à l'entrée et de 1.07 mg/l à 8.5 mg/l pour les eaux épurées, lorsque on fait une comparaison entre les teneurs des eaux brutes et celles des eaux traitées qui signifie l'élimination biologique des ortho-phosphate par le micro-organisme dans le réacteur biologique.

Toute réutilisation agricole des eaux usées traitées exige une analyse exhaustive des paramètres biologiques et physico-chimique qui pourrait limiter leur valorisation en agriculture. Pour le cas de notre étude ces paramètres biologiques et physico-chimique ont été bien pris en charge (Metahri, 2012), et que ces paramètres ne présentent aucune limitation pour le recyclage direct de ces effluents en agriculture et particulièrement en l'arboriculture.

IV. Régulation des nutriments (azote et phosphore) des effluents secondaires de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou pour une réutilisation agricole sur l'agrumiculture

Avec près 70% de la consommation mondiale d'eau en moyenne, l'agriculture est sans conteste le secteur d'activité le plus consommateur d'eau. En effet la réutilisation Agricole des eaux épurées apparait comme une solution alternative pour limiter la pénurie et préserver les ressources naturelles conventionnelles.

IV.1 Résultats d'analyses physicochimiques de l'eau secondaire

Après les analyses physico-chimiques réalisées au niveau de laboratoire de l'ONA, et pour une meilleure estimation, on a fait une moyenne des résultats obtenus qui sont illustrés dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV.2 : Résultats d'analyses physico-chimiques des effluents secondaire

Fertilisants	Azote total	Phosphore
Concentration (mg/l)	23.22	4.03

IV.2 Besoins en nutriments (azote et phosphore) des agrumes cultivés dans la wilaya de Tizi-ouzou

Les apports en eau et en nutriments seront calculés sur la base du déficit hydrique et des besoins en nutriments de la culture en place dans la région d'étude voir tableaux IV.3 et IV.4.

Les calculs de l'ensemble des apports sont fait sur la base d'un bilan hydrique sur une période de 27 ans. Les principaux résultats sont résumés dans le tableau IV.3.

Tableau IV.3 : calcul de besoins en eau des agrumes

mois paramètre	sept	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	Mai	jui	juil	aou	Total
P(mm)	3,9	20,2	40,2	66,5	81,1	80	57,7	49,3	49,7	38,2	6,7	1,8	495,3
ETP mm	118.5	79,2	44,4	29,4	30,3	42,6	67,8	94,8	120	159.9	188.2	175.2	/
R sol	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	/
ETR	103.9	20.2	40.2	29.4	30.3	42.6	57.7	49.3	49.7	38.2	6.7	1.8	/
Déficit (mm)	14.6	59	4.2	0	0	0	10.1	45.5	70.3	121.7	181.5	173.4	680.3mm
ETM (kc=0,68)	9.93	40.12	2.86	0	0	0	6.87	30.94	47.80	82.76	123.42	117.91	462.6mm /12mois

Avec :

P : Précipitations (les précipitations relative 80% ONM 2018)

ETP : Evapotranspiration potentielle. (Avec le logiciel CROPWAT)

R sol : Réserve du sol.

ETR : Evapotranspiration réelle.

Déficit : Déficit hydrique.

ETM : Evapotranspiration maximale (ETM = Déficit * Kc)

Kc : Coefficient cultural (0.68) (Metahri et *al.*, 2015).

Tableau IV.4: les besoins en azote et en phosphore des agrumes en kilogrammes par hectare et par an dans la wilaya de Tizi-Ouzou (Metahri, 2012).

Espèce	Age	Azote (kg/ha/an)	Phosphore (kg/ha/an)
Agrumes	Jeunes plants	70	70
	Jeunes adultes	220	160

IV.3 System d’irrigation

Les agrumes exigent des besoins hydriques importants compris entre 1200 et 1500 mm/ans. La pratique la plus courante est l’irrigation « goutte à goutte » La période d’irrigation s’étale généralement de mars à octobre dans le climat méditerranéen. Pour que l’arbre acquière un bon développement et un bon niveau de production, il est nécessaire que l’arbre ait un volume humide d’environ 33% autour de ses racines.

Une alternative est l’irrigation souterraine « goutte à goutte » qui vise à optimiser et à améliorer l’efficacité de l’irrigation et la fertilisation azotée. Ce système d’irrigation produit une réduction de l’évapotranspiration des cultures et un volume plus grand de sol mouillé.

IV.4 Estimation de l'apport en (Azote et phosphore) assuré par les EUT

Tableau IV.5 : Apport assuré par les EUT pour les jeunes plantes

Paramètres	N=23.22 mg/l	P=4.03 mg/l
besoin en fertilisants kg/ha	70	70
apport par les EUT (kg/ha/an) ETM*(N, P)	107.4	18.63
apport par les EUT en % des besoins)	153.42	26.61
Observation	Dilution	Utilisation des engrais

A partir des résultats obtenus en dessus, on constate que l'eau destinée à l'irrigation des agrumes contient un apport d'azote très élevé qui doit être dilué, tandis que l'apport de phosphore est très faible compte tenu la demande en ce nutriment par cette culture, donc l'utilisation des engrais est indispensable.

Tableau IV.6 : apport assuré par les EUT pour les jeunes adultes

paramètres	N=23.22 mg/l	P=4.03 mg/l
besoin en fertilisants kg/ha/an	220	160
apport par les EUT (kg/ha/an) ETM*(N,P)	107.4	18.63
apport par les EUT en % des besoins)	48.81	11.63
Observation	Utilisation d'engrais	Utilisation d'engrais

Compte tenu de ces résultats, on ne déduit que l'eau destinée à l'irrigation des agrumes (Jeunes adultes) contient un apport d'azote et de phosphore très faible par rapport sa demande en ces nutriments, donc l'utilisation des engrais et des boues est imposé.

Conclusion et perspectives

Au terme de notre étude, et selon les résultats d'analyses obtenus dans le laboratoire de la station, nous distinguons la grande différence entre les valeurs des paramètres physico-chimiques des eaux traitées et celles des eaux brutes. Cela reflète le degré d'efficacité du traitement biologique des eaux résiduaires de la STEP de Tizi-Ouzou qui présente un rendement satisfaisant. Ainsi que la possibilité de recycler ces eaux usées traitées pour un usage agricole.

La charge en éléments fertilisants de ces eaux exige une bonne gestion des apports en eau pour éviter toute forme de pollution ou bien un stress qui sont des éléments indispensables à la croissance des cultures. Afin de ne pas dépasser le pouvoir auto-épurateur des milieux récepteurs (filtre planté), il est nécessaire d'optimiser les apports en eau et en nutriments. Pour se faire, nous avons dimensionné les surfaces cultivées en fonction du déficit hydrique agricole de la région d'étude et des concentrations en éléments fertilisants contenus dans les effluents secondaires.

Les résultats moyens des analyses effectuées durant la période d'étude, ont permis de faire le Constat suivant :

- la température et le pH ne varient pratiquement pas, le pH moyen est 7.10, et la T° moyenne est de 15,01°C, sont dans les normes. Par contre on note une diminution de la conductivité électrique qui est 739,11 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- les effluents secondaires présentent des concentrations importantes en Nutriments. Pour l'azote, l'évolution de l'entrée à la sortie de la station d'épuration se traduit également par une oxydation de l'azote ammoniacal. Les teneurs des nitrites nitrates, augmentent de l'entrée vers la sortie à cause du processus de nitrification qui transforme l'azote ammoniacal (d'où sa diminution) en nitrates (d'où leur augmentation).
Notre résultat d'azote ammoniacal est de 2.55 mg/l qui est incluses dans la gamme habituelle d'une eau destinée à l'irrigation (0-5 mg/l), $\text{NO}_2^- = 0.83$ mg/l et $\text{NO}_3^- = 14.12$ mg/l

- Les phosphates de l'eau usée sont utilisés durant le traitement biologique dans la métabolisation bactérienne, ce qui provoque la diminution des teneurs en phosphates de l'entrée à la sortie de la station d'épuration avec une moyenne de 4.03mg/l.

Les concentrations des nutriments contenants dans les eaux usées traitées destinées à l'irrigation des agrumes sont estimées à :

- Pour l'azote total avec une concentration moyenne de 23,22mg/l, le flux global de la STEP est de 152,55 tonnes par an. Cette quantité peut satisfaire une surface globale de plants adulte de 693,43ha.
- Pour le phosphore avec une concentration moyenne de 4.03 mg/l, le flux global de la STEP est de 26,47 tonnes par an. Cette quantité peut satisfaire une surface globale de plants adulte de 165,43ha.

Compte tenu du volume total nécessaire pour l'irrigation des agrumes, et de leurs besoins en nutriments on a pu effectuer un calcul estimatif des taux de satisfaction en azote et en phosphore assurés par les EUT dont les résultats sont comme suit :

- Jeunes plantes : reçoivent un apport de 153,42% d'azote, et 26,61% de phosphore de leur besoin total.
- Jeunes plantes : reçoivent un apport de 48.81% d'azote, et 11.63 % de phosphore de leur besoin total.

Pour le cas des jeunes plantes l'apport d'azote est très élevé, en effet une dilution de l'eau d'irrigation est indispensable, les résultats obtenus indiquent qu'on doit ajouter un volume de 1610.2m³d'eau douce, pour les apports en nutriments moins de 100% l'utilisation des engrais ou bien des boues est imposée.

Perspectives :

- ❖ Effectuer des analyses des sols afin de fixer les conditions de fertilisation.
- ❖ Afin d'équilibrer les concentrations d'azote et de phosphore on doit augmenter le temps de séjour dans le clarificateur, les bactéries vont oxyder la matière organique en présence d'oxygène lié aux nitrites et nitrates (conditions d'anoxie), ces derniers étant fortement liés, les bactéries utiliseront l'énergie emmagasinée sous forme d'ATP et d'ADP et il y aura en effet le relargage de phosphore et les concentrations de ce dernier augmenteront tandis que l'azote étant libre va s'échapper sous forme gazeux, pour obtenir des concentrations en nutriments équilibrées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Asano T, (1998). Wastewater reclamation and reuse. Water Quality Management Library, 1475p.

Ayers R.S et Westcot D.W, (1989). Water quality for agriculture, Bulletin FAO d'irrigation et de Drainage. No. 29, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Rév. 1,174pp.

Badia G, et Gondard F, (2003). l'assainissement des eaux usees. Edition techni. cités, 231p.

Baumont S, Camard J-P, Lefranc A, Franconi A, (2004). Réutilisation des eaux usées: Risques Sanitaires et Faisabilite en Île-de-France. Rapport ORS, 220p.

Bergey, (1984). Systematic bacteriology. 9th edition.

Bettache A, (2013). Traitement des eaux usées domestique par bio dénitrication ; effets des nitrates. Thèse d'ingénieur, Universite Chouaib Doukkali.

Bouhoum K; Amahmid O; Habbari K ; et Schwartzbrod J, (1997). Devenir des oeufs d'helminthes et des kystes de protozoaires dans un canal a ciel ouvert alimente par les eaux usees de marrakech = fate of helmintheggs and protozoancysts in an open channelreceivingrawwastewaterfrom marrakech. revue des sciences de l'eau.

Cauchi , Hyvrard ; Nakache ; Schwartzbrod ; Zagury , Baron ; Carre ; Courtois ; Denis ; Dernas ; Larbaigt ; Derangere ; Martigne, Seguret, (1996). Dossier : La reutilisation des eaux usees.

Chellé F ; Dellale M ; Dewachter M ; Mapakou F ; Vermey L, (2005). L'épuration des eaux : pourquoi et comment épurée office international de l'eau, 15p.

Desjardins R, (1997). Le traitement des eaux. 2^{ème} édition. Ed. ecole polytechnique.

Eckenfelder W.W, (1982). Gestion des eaux usees urbaines et industrielles. traduit de l'américain par L. Vandevenne. Technique et Documentation Lavoisier. Paris.

Edline F, (1979). L'épuration biologique des eaux residuaires. Ed. cebedoc, Paris, 306p.

Faby J.A et Brissaud F, (1997). L'utilisation des eaux usees epurees en irrigation.

FAO, (1985). Water quality for agriculture. fao irrigation and drainage paper 29, Rev. 1., FAO, Rome.

FAO, (1992). Wastewater treatment and use in agriculture. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage n° 47. Rome.

- FAO, (2002).** The use of treated waste water in forest plantations in the near east region.
- FAO, (2003).** L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. FAO Irrigation and Drainage paper, 65p.
- Gomella C, et Guerree H, (1978).** Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées. Edition Eyrolles Paris, 262p.
- Grosclaude G, (1999).** L'eau : Usage et polluants. Edition INRA, 210p.
- Grunditz C and Dalhammar G, (2001).** Development of nitrification inhibition assays using pure cultures of nitrosomonas and nitrobacter.
- Guedira S, (2001).** Contribution a l'etude des facteurs influençant la survie des coliformes fécaux et d'un pathogène salmonella typhimurium dans un chenal algal a haut rendement. Thèse de doctorat Université Chouaib Doukkali, faculté des sciences d'Eljadida.13p.
- Hamdani , (2002).** Caracterisation et essais de traitement des effluents d'une industrie laitière : aspects microbiologiques et physico-chimiques. Thèse de l'Université Chouaib Doukkali, El jadida, Maroc.
- Hannachi A ; Gharzouli R ; DJELLOULI Y, (2014).** Gestion et valorisation des eaux usées en algerie. Larhyss Journal ISSN 1112-3680, no 19.
- Imzilin B, (1990).** Traitement des eaux usées par lagunage anaérobie et aérobie facultatif a marrakech : etude bacteriologique quantitative et qualitative; antibioresistance des bacteries d'interet sanitaire.
- Kandiah A, (1990).** ENVIRONMENTAL IMPACTS OF IRRIGATION DEVELOPMENT WITH SPECIAL REFERENCE TO SALINE WATER USE. In: Water, Soil and Crop Management Relating to the Use of Saline Water. AGL/MISC/16, FAO, Rome. pp. 152-165.
- Lazarova V, (1998).** Rôle de la réutilisation des eaux usées pour la gestion intégrée des ressources. L'Eau, l'Industrie, les Nuisances, n° 227, p. 147 – 157.
- Lazarova V et Brissaud F, (2007).** Interet, benefices et contraintes de la reutilisation des eaux usées en france. L'eau, l'industrie et les nuisances, 299, 43-53.
- Moubarrad L, (2005).** Caracterisation parasitologique des eaux usées d'el jadida, leur impact sur le littoral et sur la population infantile la zone de rejet.
- Martin G. (1979).** Le problème de l'azote dans les eaux. Ed technique et documentation, Paris, 279p.
- Masséna P. A. (2001).** Valorisation des eaux usées en irrigation localisée. Office international de l'eau, 14 pages

Metahri M.S, (2012). Elimination de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées (thèse de doctorat).UMMTO.

Metahri M.S; Taguemout M; Bouzid M; Berrouane N; Boudiaf M, (2015). The agricultural use of treated effluent, from the WWTP of boumerdes Algeria.

MRE (2012). Ministère des Ressources en Eau, Algérie, 2012.

Rhoades J.D, (1977). Potential of using saline agricultural drainage for irrigation. In Proc. Water Management For Irrigation and Drainage. ASAE, Reno, Nevada, July 1977:85-116.

Rodier J, (2005) : L'analyse de l'eau 8^{ème} édition, Dunod Paris.

Rotbardt A, (2011). Réutilisation des eaux usées traitées – perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action. Agence Française de développement, rapport final, 91 p.

UNED et Global Environment Centre Foundation, (2005).Water and wastewater reuse _ an environmentally sound approach for sustainable urban water management, 4 p.

Xanthoulis D, (1993). valorisation agronomique des eaux usées des industries agro-alimentaires office.

Résumé

La STEP Est de Tizi-Ouzou rejette ses effluents secondaires dans l'oued Sébaou qui est devenu un vrai dépotoir, surtout ces dernières années, notre étude est portée essentiellement à trouver une alternative à ces rejets en les orientant vers les zones agricoles comme une solution à double effets positifs, d'une part protéger le milieu naturel, d'autre part apporter les nutriments nécessaires aux plantes en plus de satisfaire leurs besoins en eau. Les analyses physico-chimiques ont révélé que les eaux traitées présentent des caractéristiques satisfaisantes dans l'ensemble, un pH neutre avec une moyenne de 7,10, une température moyenne de 15,01°, et une conductivité électrique de 739,11 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ainsi qu'une forte charge en nutriments est marquée considérer de 2,55 mg/l d'azote ammoniacal, 0,83 mg/l de NO_2^- , 14,12 mg/l de NO_3^- , et de 4,03 mg/l de phosphate. Nos résultats ont démontré une période d'irrigation de 7 mois ce qui nous assure un apport en azote et en phosphore estimé à 153,42% d'azote, 26.61% de phosphore pour les jeunes plantes, et de 48.81% d'azote, 11,63% de phosphore pour les plantes adultes part apport à leur besoin total.

Abstract

The East STEP of Tizi-Ouzou discharges its secondary effluents into the Sébaou river, which has become a real dump site, especially in recent years. Our study is essentially focused on finding an alternative to those discharges by orienting them into the farming areas as a solution with double positive effects, first protecting the natural environment, and secondly providing the necessary nutrients to the plants in addition to satisfying water needs. The physico-chemical analyses revealed that the treated water has satisfactory characteristics overall, a neutral pH with an average of 7.10 and an average temperature of 15.01°, an electrical conductivity of 739.11 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a high nitrogen and phosphorus load considered to be 2.55 mg /l ammonia nitrogen, 0.83 mg/l of NO_2^- , 14.12 mg/l of NO_3^- and 4.03 mg/l of phosphate. The results showed a 7-month irrigation period, which ensures a nitrogen and phosphorus supply estimated to 153.42% of nitrogen, 26.61% of phosphorus for young plants and 48.81% of nitrogen, 11.63% of phosphorus for mature plants, as a contribution to their total need.

ملخص

تصب محطة تطهير لشرق تيزي وزو مياه الصرف الثانوية في نهر سيياو الذي أصبح بمثابة محطة تفريغ حقيقية، خصوصا في السنوات الأخيرة، موضوع دراستنا موجه أساسا إلى إيجاد بديل لمياه الصرف عن طريق توجيههم إلى المناطق الزراعية كحل ذات تأثيرين إيجابيين، أولا حماية البيئة، ثانيا توفير العناصر المغذية اللازمة للنباتات بالإضافة إلى ضمان احتياجاتها من الموارد المائية. كشفت التحاليل الفيزيائية الكيميائية أن المياه المعالجة لها خصائص مرضية بشكل عام، ودرجة حموضة عادلة بمتوسط 7.10°، ومتوسط درجة حرارة 15.01°، والناقلية الكهربائية 739.11 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ، بالإضافة إلى تركيز عالي من العناصر المغذية حيث أعطت النتائج ما يلي، 2.55 ملغ / لتر من ازوت الأمونيا، 0.83 ملغ / لتر من النيتريت، 14.12 ملغ / لتر من النترات، و 4.03 ملغ / لتر من الفوسفات. أظهرت نتائجنا أن فترة الري هي سبعة أشهر، والتي تضمن كمية الازوت والفوسفور المقدر ب : 153.42% من الازوت، 26.61% فوسفور عند النباتات الصغيرة، و 48.81% ازوت، 11.63% من الفوسفور عند النباتات البالغة، مقارنة باحتياجاتهم الكلية.