

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB-BLIDA-I
FACULTE DE TECHNOLOGIES
DEPARTEMENT DU GENIE DES PROCEDES

SPECIALITE :

MASTER : « EAU, ENVIRONNEMENT ET DEVELOPPEMENT DURABLE »

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

VALORISATION AGRICOLE DES EAUX USEES EPUREES SANS RISQUES

ETUDE DE CAS :

« LA STATION D'EPURATION DE CHENOUA-TIPAZA »

Présenté et Soutenu publiquement le 29 Septembre 2015

Dirigé par :

M^r Pr. Ali AOUABED

Présenté par :

M^{me} Lamia LEHTIHET

Session : Septembre 2015.

Département de Génie des Procédés « Université Sâad Dahleb Blida-I, route de Soumâa-Wilaya de Blida, tél : 025 43 36 31.

Table des matières

Résumé	1
Introduction	1
Chapitre 1 : Aspects « eaux usées-réutilisation »	2
1.1. Définition des eaux usées	2
1.2. Composition des eaux usées domestiques.....	3
1.3. Les déversements des eaux usées dans le milieu naturel	4
1.4. La nécessité de l'épuration	4
1.5. Choix de l'épuration des eaux usées en vue de leurs réutilisation en irrigation	5
1.6. Définition de la Réutilisation des Eaux Usées Épurées « REUE »	8
1.6.1. La REUE en agriculture	9
1.6.4. La REUE en industrie	18
1.6.5. La REUE en zone urbaine	18
1.6.6. La REUE pour la production d'eau potable	19
1.6.7. La REUE et la recharge de nappe	19
1.7. Les exemples de REUE agricole dans le monde.....	19
Chapitre 2 : La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie.....	22
2.1. Les potentialités des ressources en eau en Algérie	22
2.2. L'Agriculture en Algérie.....	23
2.2.1. Structures foncières	23
2.2.2. Situation actuelle dans les Grands Périmètres Irrigués (GPI)	23
2.2.3. Petite et moyenne hydraulique (PMH).....	23
2.3. Rappel de l'importance de l'irrigation pour un développement durable	24
2.3.1. Objectifs à long terme pour le développement de l'irrigation	24
2.4. Stations D'épuration Des Eaux Usées Et Potentialités De REUE	25
2.4.1. État des systèmes d'épuration	25
2.4.2. Qualité des eaux usées.....	26
2.5. Situation de la réutilisation des eaux usées en Algérie	26
2.5.1. Potentialités en eau usées épurées :.....	26
2.6. Le cadre législatif et institutionnel de la REUE en Algérie	29
2.6.1. Aspect législatif.....	29
2.6.2. Analyse des normes en usage.....	30
2.6.3. Le référentiel de normes choisies.....	30
2.6.4. Aspect institutionnel.....	31
Chapitre 3 : Présentation de la Zone d'Etude	32

3.1.	Description Générale :.....	32
3.2.	Les indicateurs des ressources en eau dans la zone d'étude :	33
3.2.1.	Potentialités en ressources en eau et la mobilisation.....	33
3.3.	Agriculture / Déficit / Affectation.....	35
3.4.	Assainissement / STEP.....	35
Chapitre 4 : Présentation de la station d'épuration de Chenoua		38
4.1.	Description et Situation géographique :.....	38
4.1.1.	Objectif de l'épuration :	38
4.1.2.	Caractéristiques de la STEP :	40
4.1.2.1.	Dimensionnement de la STEP.....	40
4.2.	Situation existante de l'irrigation à proximité de la STEP Chenoua.....	40
4.2.1.	Superficies potentiellement irrigables à partir de la STEP	42
4.3.	Débits journaliers moyens par mois et charges journaliers de la STEP de Chenoua, eaux brutes / eaux épurées, pour les mois de juin, juillet et août de l'année 2014 et 2015 :	43
Chapitre 5 : Partie Expérimentale.....		45
5.1.	Matériel et Méthodes.....	45
5.1.1.	Prélèvement et échantillonnage.....	45
5.1.2.	Analyse de la qualité de l'eau usée (brute et épurée).....	46
5.1.3.	La recherche des Nématodes (parasites) et de germes pathogène :	49
5.2.	La Synthèse des Résultats Quantité/Qualité des Eaux Usées de la STEP Chenoua.	52
5.2.1.	Débits ponctuels mesurés sur 8h des eaux brutes et eaux épurées :.....	52
5.2.2.	Les Résultats des analyses de la qualité des eaux usées	53
5.2.2.1.	Les résultats physico-chimiques.....	53
5.2.2.2.	Les résultats bactériologiques	55
5.3.	L'interprétation des résultats Quantité/Qualité des Eaux Usées de la STEP Chenoua pour une éventuelle réutilisation agricole.....	57
5.3.1.	La quantité d'eaux usées épurées produite.....	57
5.3.2.	La qualité d'eaux usées épurées produites	57
Chapitre 6 : Recommandation pour une réutilisation durable sans risques		59
6.1.	Les différentes possibilités de réutilisations des eaux usées épurées:.....	59
6.1.1.	La réutilisation agricole.....	59
6.1.2.	Autres usages.....	59
6.2.	Les Suggestions pour une réutilisation durable et sans risques	59
6.3.	Les suggestions et les bonnes pratiques d'utilisation :.....	62
CONCLUION GENERALE.....		64

Références

ANNEXES

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Composants majeurs typiques d'eau usée domestiques [4]	4
Tableau 2 : Traitements éliminant les œufs d'helminthes.....	14
Tableau 3 : Niveaux de risques associés aux différentes cultures irriguées à partir d'eau recyclée	17
Tableau 4 : Usages autorisés par REUE dans le bassin méditerranéen	21
Tableau 5 : Évolution de la surface irrigable par les EUE en hectares pour l'ensemble de l'Algérie	28
Tableau 6 : Superficies agricoles à irriguer avec les eaux usées épurées	28
Tableau 7 : Caractéristiques des ouvrages de mobilisation.....	34
Tableau 8 : Les potentialités en irrigation situés à proximité des STEP Chenoua (Tipaza).....	36
Tableau 9 : Débit de dimensionnement de la STEP de Tipaza pour différents horizon	39
Tableau 10 : Besoins en eaux des cultures avec pluviométrie	41
Tableau 11 : Besoins en eaux des cultures sans pluviométrie.....	42
Tableau 12 : Analyse des potentialités théoriques de superficies irrigables	42
Tableau 13 : Débits journaliers moyen et Charge Polluantes	44
Tableau 14 : Les débits d'eau usée prélevée pour une durée de 8h.	52
Tableau 15 : Résultats des analyses de la qualité physico chimique des eaux usées.	54
Tableau 16: Les résultats bactériologiques	56

Liste des figures

<i>Figure 1 : Nature de la pollution des eaux. [21]</i>	3
<i>Figure 2 : les différents usages des eaux usées épurées</i>	9
<i>Figure 3 : Classification des métaux lourds en fonction des risques et de l'intérêt agronomique</i>	16
<i>Figure 4 : Répartition des expériences mondiales les plus importantes.....</i>	20
<i>Figure 5 : Répartition des eaux usées épurées par milieux récepteur</i>	25
<i>Figure 6 : Localisation de la STEP Tipaza par rapport à la STEP Hadjout sur Oued Nador.....</i>	36
<i>Figure 7 : la STEP Chenoua</i>	38
<i>Figure 8 : Représentation schématique de la station d'épuration Chenoua</i>	39
<i>Figure 9 : les périmètres agricoles situés à proximité de la STEP-chenoua (Tipaza)</i>	41
<i>Figure 10 : Aide Brochures à identification des parasites</i>	51
<i>Figure 11 : Schéma général d'un système de réutilisation des EUE.....</i>	60
<i>Figure 12 : Traitements de régénération (REUE) suggérés et résultats attendus.</i>	61
<i>Figure 13 : Schématisation du by-pass</i>	61

Liste des Photos :

<i>Photos 1:le Préleveur automatique.....</i>	<i>45</i>
<i>Photos 2: Débitmètre et conductimètre</i>	<i>46</i>
<i>Photos 3: Appareil de mesure de la DCO (ANRH).....</i>	<i>46</i>
<i>Photos 4 : Appareil de mesure de la DCO (ANRH).....</i>	<i>47</i>
<i>Photos 5 : Appareil pour détermination des chlorures.....</i>	<i>47</i>
<i>Photos 6 : Appareil de détermination du Ca, Mg, Na et K.....</i>	<i>48</i>
Photo 7 : Appareil automatique pour la détermination du Bicarbonate.....	48
<i>Photos 8 : les échantillons des eaux usées brutes et épurées.....</i>	<i>49</i>
<i>Photos 9 : Matériel utilisé au Laboratoire Parasitologie.....</i>	<i>50</i>
<i>Photos10 : la recherche au microscope des parasites.....</i>	<i>51</i>
<i>Photos 11: les cellules observées au microscope.....</i>	<i>55</i>

Les Abréviations

REUE : réutilisation des eaux usées épurées
EUE : eau usée épurée
ANRH : agence nationale des ressources hydriques
SEAAAL : société de l'eau et de l'assainissement d'Alger
SEACO : société de l'eau et de l'assainissement de Constantine
SEATA : société de l'eau et de l'assainissement de Annaba et d'El Tarf
SEOR : société de l'eau et de l'assainissement d'Oran
DREW : direction des ressources en eau de la wilaya
AEI : exploitations agricoles individuelles
EAC : exploitations agricoles collectives
PMH : petite moyenne hydraulique
GPI : grand périmètre d'irrigation
OSS :
DMRE : direction de mobilisation des ressources en au
ANBT : agence national des barrages et de transfert
DAPE : direction de l'assainissement et de la protection de l'environnement
ONA : office national de l'assainissement
DHA : direction de l'hydraulique agricole
ONID : office national de l'irrigation et de drainage
AGIRE : agence de gestion intégrée des ressources en eau
ABH : agence des bassins hydrographique
APC : assemblée populaire communale
DSA : direction de service agricole

PREFACE

VICTOR HUGO a écrit dans les misérables : « tout déchet humain et animal que le monde perd par le rejet dans les rivières, si retourner à la terre au lieu d'être jeté à la mer, pouvaient suffire à nourrir le monde ».

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à ma fille Rasha, à ma Mère, pour avoir été une source continue d'inspiration et de motivation;

A mon Mari, pour sa compréhension et ses encouragements ;

Et à toute ma famille et mes amis pour leur soutien.

REMERCIEMENTS

Je témoigne toute ma gratitude à mon promoteur, le professeur « Ali AOUABED », docteur au département, qui m'a proposé le sujet, encadré et aidé à l'élaboration de ce modeste travail.

Je remercie également M^{rs} Salah Ançar, inspecteur Général et Khaled Lemaissi, chargé d'études et de synthèse, au Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement, qui m'ont accompagné et motivé à accomplir ce projet. Sans oublié mes remerciements à mes collègues Leila Boutamin et Abderrahmane Aflihoui.

Je remercie, M^r Réda Boudab, directeur de l'assainissement à la SEAAL et M^{me} Ibtissem Chabni, responsable du laboratoire à la STEP Chenoua (Tipaza), de m'avoir autorisé, facilité l'accès à la STEP et m'aidé pour les prélèvements et les analyses de la qualité des eau, sans oublier toute l'équipe travaillant à la station.

Je remercie, M^r Habouche, directeur du laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) et sa collaboratrice M^{me} Kouider, de m'avoir permis et facilité l'accès au laboratoire pour les analyses de la qualité de l'eau.

Je remercie, M^r le Professeur Hamrioui, chef de service du laboratoire parasitologie-mycologie du Centre Hospitalier Universitaire Mustapha, de m'avoir autorisé l'accès au service et M^r le docteur Achir, chef d'unité du laboratoire parasitologie, de m'avoir orienté et assisté à réaliser les analyses bactériologiques dans le même laboratoire.

Je remercie, M^r Abdelkader Abdslamaine, chef du laboratoire service d'hygiène de la wilaya de Tipaza, de m'avoir effectué les analyses bactériologiques.

Je remercie également les membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.

RÉSUMÉ

La faisabilité de réutilisation des eaux usées épurées par la STEP Chenoua (wilaya de Tipaza) sans risque sanitaire et impact négatif sur l'environnement est vérifiée par les résultats obtenus relatifs aux analyses physico-chimiques qui sont conformes aux normes de référence. La qualité est bonne et le rendement épuratoire est satisfaisant (en moyenne 94,36%).

Par ailleurs, l'analyse de la qualité bactériologique a conclu l'absence totale des Nématodes intestinaux (œufs d'helminthes), des salmonelles et des vibrios cholériques dans les eaux usées brutes et épurées. Une légère élimination des coliformes et streptocoques fécaux est constatée mais pas sur les coliformes totaux, conséquence de la non désinfection des effluents de la STEP.

Cette eau classée dans le type de traitement de catégorie-II, est bonne pour l'irrigation. Le volume d'eaux produites par la STEP peut satisfaire les besoins en eau d'irrigation de 300 hectares, situés à proximité immédiate de la STEP. Les spéculations culturelles concernées sont la pomme de terre et la vigne, selon les normes de qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation.

Mots clés : réutilisation des eaux usées épurées- STEP Chenoua- Qualité physico chimique et bactériologique- irrigation- normes- santé publique- environnement.

تلخيص

تم التحقق من جدوى إعادة استعمال المياه المستعملة المصفاة عبر محطة التصفية شنوا (ولاية تيبازة) دون خطر على الصحة و دون إثر على البيئة من خلال النتائج المتحصل عليها و المتعلقة بالتحاليل الفيزيائية و الكيميائية المطابقة للمقاييس المرجعية.

إن النوعية جيدة والمردود التصفية مرضي (بمعدل 94,36%) و عليه تم استنتاج من خلال تحليل النوعية البكتريولوجية الانعدام الكلي للديدان الخيطية في الأمعاء (بيوض هلمنت) و السالمونيلا و الكوليرا الضمة في المياه المستعملة الخام والمصفاة. تم ملاحظة نقص طفيف لبكتريا القولون البرازية والمكورات العقدية نتيجة لعدم تطهير بالكلور النفايات السائلة لمحطة تطهير المياه المستعملة.

تصنف هذه المياه في نوع المعالجة من الصنف II و هي صالحة للسقي. ويستجيب حجم المياه المنتجة من طرف محطة تصفية المياه المستعملة لحاجيات مياه السقي من أجل سقي 300 هكتار، الواقعة بالقرب من محطة تصفية المياه، و ان الأراضي الزراعية المعنية هي أراضي لزراعة البطاطا و العنب.

- الكلمات الرئيسية:

إعادة استعمال المياه المستعملة المصفاة -محطة تصفية المياه شنوا -النوعية الفيزيائية الكيميائية و البكتريولوجية -السقي - المقاييس - الصحة العمومية - البيئة.

Summary

The feasibility of re-use of waste waters purified by the STEP Chenoua (Wilaya of Tipaza) without health risk and negative impact on the environment is checked by the obtained results relative to the physicochemical analyzes which are in conformity with the reference standards. The quality is good and the treatment efficiency is satisfactory (on average 94.66%).

Besides that, the analysis of bacteriological quality concluded the total absence of the intestinal Nematodes (eggs of Helminthes), salmonellas and the vibrios cholera in raw and purified waste waters. A slight elimination of the coliforms and fecal streptococci is noticed but not on the total coliforms, consequence of the non-disinfection of the STEP's effluents.

This water classified in the type of treatment of category-II is good for the irrigation. The volume of water produced by the STEP can satisfy the water requirements of 300 hectares irrigation, situated nearby immediate of the STEP. The concerned cultural speculations are the potato and the vine.

Keywords: re-use of purified waste waters- STEP Chenoua - physico-chemical and bacteriological quality - irrigation - standards - public health - environment.

INTRODUCTION

La gestion durable de l'eau est l'un des principaux axes du développement durable, dans la mesure où l'eau doit répondre aux besoins des générations actuelles et satisfaire les générations futures. L'agriculture constitue le plus gros consommateur des ressources hydriques, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies. Les agriculteurs, notamment, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées épurées. L'épuration de l'eau usée et son utilisation en irrigation est une option attrayante, en particulier dans les zones arides et semi-arides, car elle représente une source d'eau et d'engrais additionnels renouvelables et fiables

En Algérie, l'eau est une denrée de plus en plus rare et de moins en moins renouvelable. Elle fait actuellement l'objet d'une exploitation concurrentielle entre les besoins de la population, ceux de l'agriculture et de l'industrie qui se disputent une disponibilité limitée.

L'intérêt porté par les pouvoirs publics algériens au traitement des eaux usées s'est manifesté par l'allocation de crédits importants à la réalisation de stations d'épurations qui sont en nombre d'une centaine déjà réalisées ou en voie de réalisation. Viendra s'incruster la politique de valorisation des eaux usées épurées, qui pourraient constituer une source non négligeable pouvant participer à la réduction du déficit du bilan hydrique par sa valorisation en irrigation.

On reconnaît de plus en plus l'intérêt des espaces verts en milieu urbain et périurbain pour la protection de l'environnement, le cadre de vie, les activités de loisir et la production. Les villes qui souhaitent accroître leurs plantations de forêts, d'espaces verts ou d'arbres d'agrément en zone urbaine ou en périphérie mais qui ne veulent pas gaspiller leurs maigres ressources d'eau douce pour l'irrigation pourraient recycler les eaux usées à cette fin.

Cette réutilisation n'est pas banale. En effet, ces eaux véhiculent des pollutions qui posent des problèmes de santé publique, de conservation des sols et de protection de l'environnement, qui ne doivent être ni exagérés ni sous-estimés.

Ces problèmes doivent être traités avec précaution par, le contrôle de la qualité de l'eau usée épurée, l'évolution de l'impact sur l'environnement et la prévision des conséquences de l'utilisation des eaux usées sur la santé humaine.

Dans ce contexte, notre étude s'intéressera particulièrement, aux l'effet de l'utilisation en irrigation des eaux usées épurées par la station d'épuration de Chenoua, sur l'environnement et la santé publique.

L'évaluation de cette faisabilité nécessite entre autres, la connaissance de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau usée brute et épurée par des analyses effectuées dans une période bien précise.

Cette étude a, donc, pour objectif :

- d'apprécier la qualité des eaux épurées réutilisées pour l'irrigation ;
- de mettre en évidence l'impact des eaux usées sur les différentes composantes de l'environnement : sol et végétaux, en particulier la santé publique.

Cependant, en raison de l'origine et la composition de cette eau, la réutilisation, devrait être gérée d'une manière rationnelle et judicieuse, surveillée et contrôlée par des spécialistes dans l'objectif de maîtriser et de minimiser les risques sanitaires liés à cette pratique, d'où la nécessité de l'application des normes et de la réglementation est nécessaire pour une réutilisation durable sans risques sanitaires et environnementales.

Partie « Théorie »

1.1. Définition des eaux usées

Les eaux usées c'est les eaux ayant été utilisées pour des usages domestiques, industriels ou même agricole, constituant donc un effluent pollué et qui sont rejetées dans le milieu naturel et/ou dans un émissaire d'égout. [1]

Les cours d'eau ont une capacité naturelle d'épuration. Mais cette capacité a pour effet de consommer l'oxygène de la rivière et n'est pas sans conséquences sur la flore et la faune aquatiques (Figure-1).

Lorsque l'importance du rejet excède la capacité d'autoépuration de la rivière, la détérioration de l'environnement peut être durable. Les zones privées d'oxygène par la pollution entraînent la mort de la faune et de la flore ou créent des barrières infranchissables empêchant notamment la migration des poissons. La présence excessive de phosphates favorise le phénomène d'eutrophisation, c'est-à-dire la prolifération d'algues qui nuisent à la faune aquatique, peuvent rendre la baignade dangereuse et perturbent la production d'eau potable.

Les eaux usées regroupent les eaux usées domestiques (les eaux vannes et les eaux ménagères), les eaux de ruissellement et les effluents industriels (eaux usées des usines). [2]

Les eaux usées proviennent de quatre sources principales [3] :

- **Les eaux usées domestiques** ; Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques et en eaux de vannes qui sont les rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.

- **Les eaux usées industrielles** ; Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures... Certaines d'entre elles font l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles ne sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution.

- **Les eaux de pluie et de ruissellement dans les villes et le ruissellement dans les zones agricoles**, peuvent constituer une cause de dégradations importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. Les eaux de pluie ne sont pas exemptes de pollutions : au contact de l'air, elles se chargent d'impuretés (fumées industrielles, résidus de pesticides...), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus, métaux lourds...).

Lorsque le système d'assainissement est dit "unitaire", les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. En cas de fortes précipitations, les contraintes de préservation des installations de dépollution peuvent imposer un déversement (délestage) de ce "mélange" très pollué dans le milieu naturel. Enfin, dans les zones urbaines, les surfaces construites rendent les sols imperméables et ajoutent le risque d'inondation à celui de la pollution.

Les eaux pluviales peuvent être collectées en même temps que les eaux usées domestiques ou bien séparément. On parle alors de réseau unitaire ou séparatif.

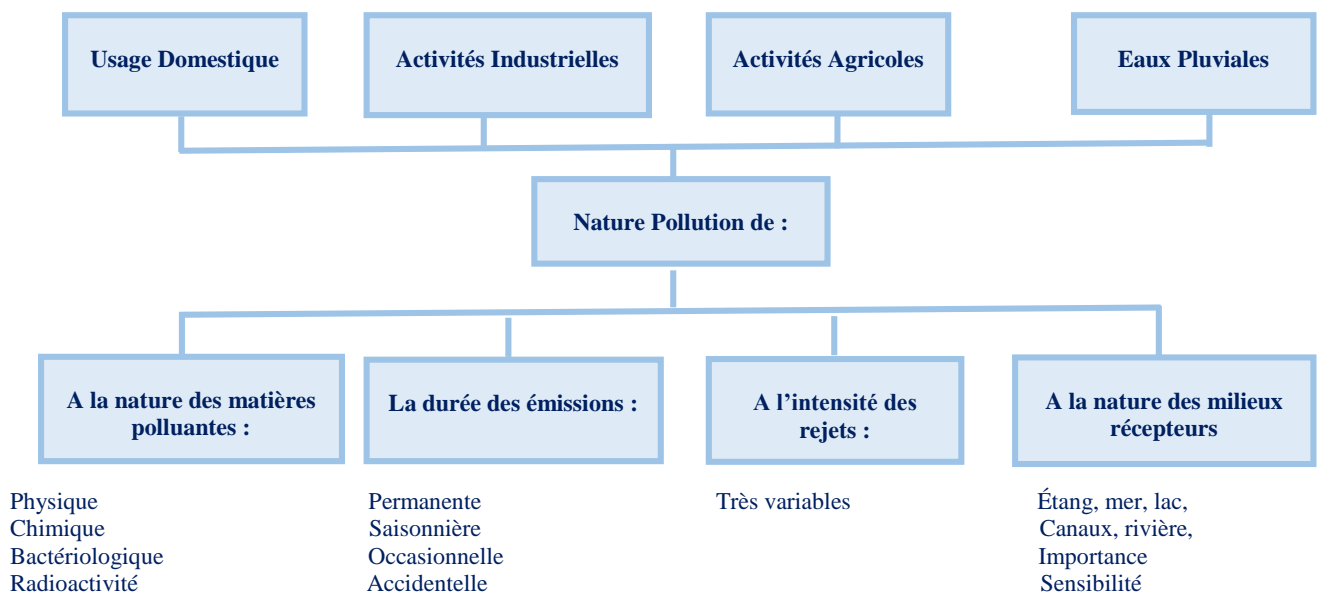


Figure 1 : Nature de la pollution des eaux. [21]

Le détail ci-après portera beaucoup plus sur les eaux usées domestiques, objectif de notre projet relatif à la réutilisation agricole des eaux usées urbaines.

1.2. Composition des eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques et en eaux-vannes qui sont les rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.

La pollution journalière produite par une personne utilisant 150 à 200 litres d'eau est évaluée à :

- 90 grammes de matières organiques ou minérales (en suspension dans l'eau sous forme de particules),
- 57 grammes de matières oxydables,
- 15 grammes de matières azotées,
- 4 grammes de phosphore (issus des détergents),
- 0,23 gramme de résidus de métaux lourds (plomb, cadmium, arsenic, mercure...),
- 0,05 gramme de composés (fluor, chlore, brome, iode...),
- 1 à 10 milliards de germes par 100 ml.

Cette composition, est extrêmement variable en fonction de leur origine, en termes de concentration elle peut être classée comme c'est indiqué dans le tableau 1, elle dépend [4]:

- de l'activité humaine (eaux ménagères et eaux vannes),
- de la composition des eaux d'alimentation en eau potable et, accessoirement, de la nature des matériaux entrant dans la constitution des canalisations d'eau, pour les composés chimiques,
- de la nature et de la quantité des effluents industriels éventuellement rejetés dans le réseau urbain.

Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les micro-organismes, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives [2].

Tableau 1 : Composants majeurs typiques d'eau usée domestiques [4]

Constituants	Concentration (mg/l)		
	Fort	Moyen	Faible
Solides totaux	1 200	700	350
Solides dissous (TDS) ¹	850	500	250
Solides suspendus	350	200	100
Azote (en N)	85	40	20
Phosphore (en P)	20	10	6
Chlore ¹	100	50	30
Alcalinité (en CaCO ₃)	200	100	50
Graisses	150	100	50
DBO ₅ ²	300	200	100

- (1) que les montants de TDS et les chlorures devraient être augmentés par les concentrations de ces composants dans l'eau issue des voitures.
- (2) DBO₅ est la demande biochimique en oxygène à 20°C pendant 5 jours, c'est une mesure de la matière organique biodégradable dans les eaux usées.

1.3. Les déversements des eaux usées dans le milieu naturel

Le rejet direct des eaux usées domestiques dans le milieu naturel perturbe l'équilibre aquatique en transformant les rivières en égouts à ciel ouvert. Cette pollution peut aller jusqu'à la disparition de toute vie. Il faut retirer des eaux usées un maximum de déchets, avant de les rejeter dans l'environnement, pour que leur incidence sur la qualité de l'eau, en tant que milieu naturel aquatique, soit la plus faible possible [5].

Quand les eaux usées ou les eaux résiduaires industrielles ne sont pas épurées avant rejet dans le milieu naturel, l'altération de ce dernier et les déséquilibres qui s'y produisent ont non seulement des effets immédiats sur les utilisations de l'eau, mais aussi des effets à long terme, parfois irréversibles dans le domaine de la vie humaine [6].

1.4. La nécessité de l'épuration

Ce qui précède démontre la nécessité de l'épuration des eaux usées et des eaux résiduaires industrielles. Les caractéristiques d'une station d'épuration et le degré de traitement doivent être fonction des caractéristiques des eaux usées, tels que l'effluent n'altère pas l'état du milieu récepteur dans une mesure incompatible avec les exigences de l'hygiène et de la salubrité publique et, d'une façon générale, avec les exigences des diverses utilisations ou activités (alimentation en

eau des hommes et des animaux, utilisation agricole ou industrielles, production piscicole ou production de coquillages, navigation, baignades et autres activités sportives [7].

L'objectif principal du traitement est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement. À cet égard, le traitement des eaux résiduaires le plus approprié est celui qui fournit, avec certitude, des effluents de qualité chimique et microbiologique exigée pour un certain usage spécifique, à bas prix et des besoins d'opération et d'entretien minimaux.

Les stations d'épuration des eaux résiduaires, indépendamment du type de traitement, réduisent la charge organique et les solides en suspension et enlèvent les constituants chimiques des eaux usées qui peuvent être toxiques aux récoltes ainsi que les constituants biologiques (microbes pathogènes) qui concernent la santé publique en général. Les différents degrés de traitements conventionnels se résument comme suit :

- **Le traitement préliminaire.** Enlèvement des solides grossiers et d'autres grands fragments de l'eau usée brute [8].

- **Le traitement primaire.** Enlèvement des solides organiques et inorganiques sédimentables ainsi que les matériaux flottants [8].

Les procédés de traitement primaire sont physiques (par exemple, décantation plus au moins poussée) ou éventuellement physico-chimiques, et produisent des boues primaires. (Vaillant, 1974).

- **Le traitement secondaire.** Enlèvement des matières organiques solubles et des matières en suspension des eaux usées traitées primaires [8].

Les procédés d'épuration secondaire (ou biologique) comprennent des procédés biologiques, naturels ou artificiels, faisant intervenir des microorganismes aérobies pour décomposer les matières organiques dissoutes ou finement dispersées. Dans certains cas, un traitement faisant intervenir des microorganismes anaérobies (digestion anaérobie des boues résiduaires) est annexé au traitement secondaire [9].

- **Le traitement tertiaire et/ou avancé.** Enlèvement de constituants spécifiques de l'eau usée tels que les nutriments et les métaux lourds, qui ne sont pas enlevés par le traitement secondaire.

Ce sont des traitements complémentaires, dénommés parfois traitements avancés (coagulation physico-chimique, filtration sur sable, chloration, ozonation, traitement par le charbon actif, etc.) [10]. La désinfection, habituellement avec du chlore, est employée pour réduire les constituants microbiologiques [11].

1.5. Choix de l'épuration des eaux usées en vue de leurs réutilisation en irrigation

Les objectifs d'une station d'épuration conventionnelle consistent généralement à traiter les eaux usées de manière à ce que leurs rejets dans les cours d'eau ne présentent pas d'impacts environnementaux importants. Dans le cadre d'une réutilisation des eaux usées épurées, les différents traitements cités ci-dessus peuvent être ajustés

En général, les objectifs prioritaires des stations d'épuration (STEP) conçues principalement pour la protection du milieu récepteur, sont la réduction de la matière organique (abattement de la DBO₅) et des éléments nutritifs dus surtout à l'azote ammoniacal qui est toxique pour les poissons.

Dans les cas de rejets dans des milieux récepteurs à risque d'eutrophisation, on peut éliminer également en premier les phosphates, les nitrates et les ammoniacaux. Selon la capacité d'assimilation des milieux récepteurs et de leurs usages, on pourrait tolérer une certaine salinité et un résidu de charge microbiologique dans les eaux usées épurées (EUE). Cependant, lorsque les

EUE sont utilisées à des fins agricoles, les objectifs de qualité des effluents sont différents, notamment :

- Les teneurs en micro-organismes doivent être contrôlées ;
- Les teneurs en substances nutritives (essentiellement azote et phosphate) doivent être suffisantes mais pas trop élevées;
- Les teneurs en chlorures ne doivent pas excéder certains seuils;
- Cette eau doit contenir uniquement de faibles quantités de métaux lourds et de composés organiques difficiles à désagréger.

En revanche, l'élimination quasi complète des substances organiques biodégradables (en particulier la DBO₅) n'est pas nécessaire si l'eau usée est destinée à l'irrigation. En effet la charge résiduelle pourra être supprimée ultérieurement dans le sol qui, lui-même, tient lieu de « corps de traitement biologique ».

En ce qui concerne les substances nutritives, il existe des besoins de qualité et de quantité opposés. En effet, à cause de leur valeur fertilisante, l'azote et le phosphate devraient rester présents si possible dans les eaux usées si celles-ci sont destinées à l'irrigation. Pour éviter l'excès de fertilisation et de lixiviation, il est avantageux que l'azote ne se présente pas sous forme de nitrate mais d'azote ammoniacal. Ce type d'azote pose moins de problème pour l'eau souterraine que le nitrate parce qu'il est adsorbé à des composantes du sol. Les plantes absorbent plus lentement l'azote d'ammonium de sorte qu'on en vient moins facilement à des effets de fertilisation excessive.

A priori, l'utilisation des eaux usées domestiques pour la production agricole, est considérée comme une démarche séduisante à plusieurs titres. Elle permet en effet :

- de valoriser l'eau et les matières fertilisantes qu'elle contient au lieu de les rejeter.
- d'éviter la création d'une station de traitement.
- de contribuer à sauvegarder la ressource en eau, lorsque celle-ci est limitée.
- d'entraîner certains risques notamment les dangers pour la santé publique, la percolation des nitrates vers les nappes souterraines et l'entraînement des charges polluantes, voire toxiques, par ruissellement.

Le tableau en annexe-I-8, indiquent les différents objectifs de traitement des eaux usées fixés respectivement par la CUM¹ et le FAO afin de répondre aux exigences de qualité respectives à la protection du milieu récepteur et de REUE en agriculture. Il est toutefois à signaler que des normes plus adaptées à l'écosystème du milieu récepteur ou encore à l'option de réutilisation retenue (industrie, usage municipal, recharge de nappe) peuvent être retenues lors de la conception du système d'épuration.

Les procédés de traitement des eaux usées comportent généralement une étape de prétraitement (dégrillage, dessablage et élimination des graisses), suivi d'un traitement primaire (décantation, sédimentation et clarification), d'un traitement secondaire (lagunage, bassins d'aération, boues activées, filtration, biofiltration, bioréacteurs, etc.), et lorsque requis, un traitement tertiaire (filtration des composés azotés, des éléments traces, des sels, etc.) et la désinfection finale (chloration, UV, ozonisation, membranes, etc.).

Par ailleurs, en cas de réutilisation indirecte, le milieu récepteur peut être mis à contribution en considération de sa capacité d'élimination et de dilution des germes pathogènes, tout en respectant la qualité. Les eaux usées ayant reçu un simple traitement secondaire peuvent être rejeté dans un cours d'eau (retenue de barrage) ou injectées dans une nappe phréatique à partir desquels elles peuvent être remobilisées.

Aux États-Unis, cette manière de stockage et de désinfection est très répandue. Mais les salinités de l'eau usée et aussi celle de l'eau souterraine ne doivent pas être trop élevées afin que la qualité

¹ Communauté Urbaine de Montréal.

de l'eau ne soit pas détériorée davantage par le mélange. En plus, le niveau de l'eau souterraine ne doit pas être trop haut pour avoir une distance d'infiltration suffisante et garantir ainsi la désinfection.

Le tableau en annexe-I-8, énumère les principaux procédés utilisés pour le traitement des eaux usées. Une brève description, les principales applications et quelques commentaires pour chacun des traitements y sont réunis. Alors que l'annexe-I-7, présente les avantages et les inconvénients des technologies non conventionnelles les plus courantes.

Pour une réutilisation directe des eaux usées comporte toujours un stockage des EUE, pour trois raisons :

1. le rythme de production des eaux usées n'est pas accordé à celui de l'irrigation.
2. l'interruption de l'approvisionnement en eau pourrait causer des inconvénients irréversibles à la production agricole. Une réserve de sécurité est donc indispensable.
3. on sait maintenant que le stockage, qu'il soit effectué sous la forme d'une recharge de nappe par bassins d'infiltration ou dans un réservoir non couvert, participe à l'amélioration de la qualité de l'eau.

Le stockage que comporte toute installation de réutilisation d'eaux usées a des dimensions très différentes selon les objectifs poursuivis.

S'il s'agit seulement d'une réserve de régulation destinée à mettre la demande d'eau d'irrigation à l'abri des variations journalières du flux de sortie de la station d'épuration, son volume sera l'équivalent de 24 à 72 heures de consommation.

Le volume stocké pourra être plus important s'il doit faire face aux risques d'interruption de l'approvisionnement en eau épurée ou aux pannes des STEP. Dans les régions véritablement déficitaires en ressources en eau, le stockage doit permettre une régulation inter-saisonnière; l'eau inutilisée en période hivernale sera utilisée durant l'été. Le volume du stockage est alors l'équivalent de plusieurs mois de consommation.

On distingue deux types de stockage inter-saisonnier : la recharge de nappe et les réservoirs de stabilisation.

Le choix entre ces deux procédés dépend naturellement du contexte hydrogéologique. La recharge de nappe exige une nappe phréatique suffisamment perméable, qui ne soit pas déjà exploitée pour la production d'eau potable dans la zone intéressée par la recharge et des sites propices à l'infiltration. Un contexte hydrogéologique favorable n'est pas si courant et toutes les nappes de bonne qualité (non saumâtres) sont pratiquement utilisées pour l'alimentation en eau potable. Il n'est guère envisageable de l'utiliser dans le contexte algérien, du moins pour le moyen terme. Par ailleurs, l'installation d'un réservoir de stabilisation est moins contraignante; elle exige essentiellement qu'un terrain soit disponible.

Le stockage de longue durée dans des bassins constitue un véritable traitement complémentaire.

Le stockage permet en effet la diminution de la demande en oxygène, des teneurs en MES, en métaux lourds, en azote et en microorganismes. Ces diminutions sont très variables selon la qualité de l'eau d'entrée, la conception du réservoir - en particulier sa profondeur -, les conditions climatiques, le temps de séjour moyen de l'eau dans le réservoir et le mode de gestion de celui-ci. Les très nombreux réservoirs inter-saisonniers réalisés au Moyen-Orient, où ce procédé est le plus développé, sont profonds de 5,5 à 15 m pour limiter les pertes par évaporation et la surface occupée. Ces réservoirs appelés réservoirs de stabilisation, dans lesquels la charge organique appliquée ne doit pas excéder 30 à 40 kg de DBO par hectare et par jour, fonctionnent un peu à la manière des lagunages facultatifs. La partie supérieure de la masse d'eau est aérobie; la partie inférieure est anaérobie. Une partie de l'azote est éliminée, soit par stripping de l'azote ammoniacal, soit par nitrification et dénitrification. Une fraction du phosphore entré dans le réservoir se trouve accumulée dans les sédiments. Les bactéries sont éliminées dans la tranche d'eau supérieure, sous l'effet de la lumière et des pH élevés.

L'efficacité de l'épuration, particulièrement l'élimination des coliformes fécaux et des bactériophages, diffère selon que le stockage est alimenté continuellement - au rythme des débits produit par une station d'épuration - ou qu'il est rempli dans un délai de quelques jours à quelques semaines puis isolé. Dans ce deuxième cas, l'efficacité est considérablement accrue.

Par ailleurs, une partie importante des eaux usées rejetées peut être perdue par infiltration et évaporation et ne pas atteindre la retenue du barrage. Ces pertes varient selon la distance parcourue entre la STEP et le barrage, l'hydro-morphologie du cours d'eau et les conditions climatiques. Les pertes pour une réutilisation des eaux usées épurées à proximité de la station d'épuration sont largement moins importantes.

1.6. Définition de la Réutilisation des Eaux Usées Épurées « REUE »

On appelle réutilisation des eaux usées le second usage qui pourrait être fait de ces eaux une fois qu'elles sont épurées. Le second usage est, la plupart du temps, différent du premier emploi. La réutilisation des eaux usées épurées (REUE) peut être réalisée de manière directe ou indirecte :

- La réutilisation directe : qui correspond à l'emploi immédiat des eaux usées, après épuration, sans passage ni dilution de ces eaux dans le milieu naturel;
- La réutilisation indirecte : qui correspond à l'emploi des eaux usées épurées, après leur rejet et dilution dans le milieu naturel (cours d'eau, marais, barrage, nappe d'eau souterraine...)

La définition stricte de la réutilisation exclut donc le recyclage, qui lui consiste en une réutilisation interne des eaux dans un cycle de production dans le but de contrôle de la pollution et de l'économie des ressources en eau. Le recyclage est en conséquence l'affaire de l'utilisateur initial. Théoriquement, on peut utiliser les effluents traités des villes pour de nombreux usages (figure 2) :

- Irrigation/Agriculture : arboriculture, cultures fourragères ou maraîchères, céréales, prairies, etc.;
- Industriel : circuit de refroidissement, construction, papeteries, industries textiles, etc.;
- Usages municipaux : lutte contre l'incendie, lavage de voirie, recyclage des eaux usées d'un immeuble, arrosage de parcs, golfs, cimetières, etc.;
- Production d'eau potable;
- Recharge de nappe phréatique.

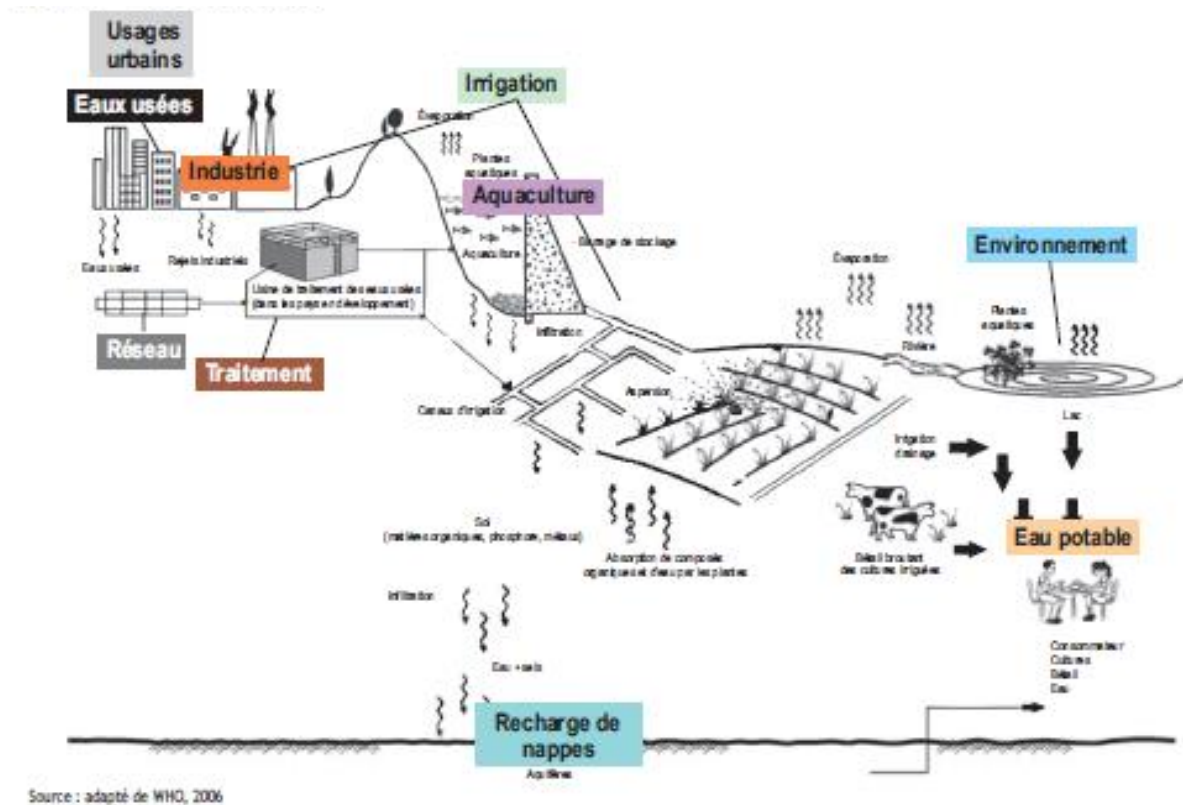


Figure 2 : les différents usages des eaux usées épurées

1.6.1. La REUE en agriculture

Dans le cas spécifique de l'irrigation, les bénéfices ne résident pas seulement dans la préservation du milieu et de la ressource, mais aussi dans la qualité des eaux usées. En effet, ces dernières contiennent :

- des éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium),
- des oligoéléments (fer, cuivre, manganèse, zinc, etc.),
- des matières en suspension.

Qui sont bénéfiques pour les cultures dans la mesure où ils contribuent à la fertilisation des sols et permettent d'augmenter d'une manière significative les rendements des cultures. De ce fait, l'arrosage avec des eaux usées constitue une sorte de fertigation, c'est-à-dire l'application combinée d'eau et de fertilisants via le système d'irrigation.

L'utilisation d'eaux usées présente un intérêt économique certain pour les agriculteurs puisqu'elle leur permet de limiter le recours aux engrais de synthèse dont l'acquisition constitue une charge importante dans le budget d'une exploitation agricole.

Cette fertigation, qui permet un apport fractionné et à faible dose des engrais, est aussi bénéfique pour l'environnement car elle évite la pollution des sols et les dépendances aux fertilisants, phénomènes que l'on rencontre avec une fertilisation classique.

Le bénéfice d'une REUE peut donc être double :

- Au niveau économique, car en plus d'une préservation quantitative de la ressource en eau, les agriculteurs font aussi des économies d'engrais;
- Au niveau écologique, car en plus de la diminution des rejets d'eaux usées dans le milieu, la pollution agricole diminue.

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 en termes de gestion des éléments nutritifs à l'hectare [4] et [14]:

- de 16 à 62 kg d'azote,
- de 4 à 24 kg de phosphore,
- de 2 à 69 kg de potassium,
- de 18 à 208 kg de calcium,
- de 9 à 100 kg de magnésium,
- de 27 à 182 kg de sodium.

L'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 [5] :

- N organique à NH_4^+ : ammonification
- NH_4^+ à NO_2^- : nitrification par Nitrosomonas
- NO_2^- à NO_3^- : nitrification par Nitrobacter

Le 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 [8]. 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 [12].

Le potassium (K^+)

Le potassium est présent dans les effluents secondaires à hauteur de 10 à 30 mg/l (12 à 36 mg/l de K_2O) et permet donc de répondre partiellement aux besoins [4].

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 [11].

Le bore

Cet élément joue un rôle très important pour les plantes puisqu' il intervient au niveau du métabolisme et du transport des glucides, il joue un rôle important au niveau de la formation et de la fertilité du pollen. Il participe à la synthèse des protéines, il a un rôle fondamental dans la résistance des parois cellulaires et favorise la fixation de N_2 atmosphérique chez les légumineuses [13].

Dans les eaux usées, le bore provient des lessives et des rejets industriels. A des concentrations très faibles, le bore est indispensable à la croissance des végétaux, ces besoins sont toujours largement couverts par les eaux usées ; mais lorsque sa concentration excède 1 mg/l, il peut être toxique pour les plantes les plus sensibles.

Pour certaines cultures, aucun engrais additionnel n'est nécessaire. Par contre, lorsque les engrais sont nécessaires, les eaux usées pourraient être la réponse pour obtenir un rendement élevé de bonne qualité (annexe-I-12). Cette quantité doit être prise en compte pour préparer le programme de fertilisation en fonction des besoins des cultures. Les quantités en N, P et K appliquées par

hectare avec une irrigation de 1 000 mm d'eau usée ayant une concentration telle que montrée au annexe-I-12 sont donnés dans ce même tableau. Évidemment, l'apport en nutriments dépend de la quantité totale d'eau usée appliquée. Il est évident que pour avoir une efficacité nutritive élevée, l'irrigation devrait être basée sur les besoins en eau des cultures.

Mais il faut faire attention à ne pas apporter ces éléments fertilisants en excès. En contrepartie, la REUE en agriculture présente les trois risques suivants :

- Un risque sanitaire : les MES protègent les micro-organismes de beaucoup de traitements, comme les traitements au chlore ou aux ultraviolets. Il existe donc une compétition entre l'élimination des micro-organismes et la préservation des MES en vue d'une utilisation agricole;
- Un risque technique : si les MES sont présentes en trop grand nombre, elles peuvent entraîner le bouchage des canalisations et des systèmes d'irrigation, plus particulièrement le système de goutte à goutte;
- Un risque agronomique et environnemental : il est possible que les éléments soient apportés en excès. Dans ce cas, il y a un risque de pollution des sols et de diminution du rendement. Les taux en éléments nutritifs (nitrate essentiellement) et la salinité de l'eau utilisée sont de première importance. Il faut donc trouver le bon équilibre entre le niveau de traitement, les besoins des cultures et la nature du sol.

On retiendra enfin que l'irrigation, qui suit un rythme saisonnier, nécessite parfois de grands volumes de stockage particulièrement pour les stations d'épuration (STEP) situées à l'aval des retenues et dont les eaux usées épurées (EUE) sont, tout simplement, rejetées en période de crue dans la mer et les chotts.

Dans l'hypothèse d'un taux d'application moyen annuel d'eaux usées de 8 000 m³/ha, l'apport total en azote (N) est de 160 kg/ha/an et en phosphore (P) de 56 kg/ha/an. Une jeune plantation qui se développe rapidement peut exporter jusqu'à 120 à 150 kg de N/ha/an et environ 12 kg de P/ha/an [13].

De telles quantités d'engrais fournissent la totalité ou plus de N normalement requise pour certaines cultures ainsi qu'une grande partie du P et du K.

A cet égard, chaque culture doit être considérée séparément pour estimer les besoins en éléments fertilisants supplémentaires.

Dans certains cas, les nutriments dans l'eau usée peuvent être en quantité supérieure à celle nécessaire à la croissance équilibrée des cultures et peuvent potentiellement stimuler une croissance excessive des parties végétatives des cultures plutôt que les fleurs et les graines. Cela peut être un problème pour des cultures comme le tournesol, le coton et quelques fruits.

En cas d'excès de nutriments, un système de culture et/ou un mélange approprié d'eau usée traitée à de l'eau douce, pour réduire l'application de fertilisants, sont des méthodes conseillées [8].

Autres nutriments.

La plupart des eaux usées contiennent habituellement des concentrations adéquates en soufre, zinc, cuivre et autres micronutriments. Ces éléments jouent un rôle déterminant dans le métabolisme de la plante, essentiellement dans les réactions enzymatiques. Leurs rôles spécifiques se présentent comme suit :

- Le cuivre : Stimulation de la germination et de la croissance, renforcement des parois cellulaires, catalyseur de la formation d'hormones de croissance, il joue un rôle essentiel dans la nitrification.
- Le fer : Élément essentiel dans la formation de la chlorophylle, il a un rôle dans le transport d'oxygène (respiration), c'est un catalyseur de plusieurs enzymes.

- Le manganèse : Synthèse de la chlorophylle, il joue un rôle dans la résistance au gel, c'est un activateur du nitrate réductase.
- Le molybdène : Action essentielle dans l'assimilation de l'azote, indispensable à l'activité nitrate réductase, indispensable pour les bactéries fixatrices de N₂ pour les légumineuses.
- Le Zinc : Rôle important dans la formation de plusieurs hormones de croissance et stimulation de la croissance précoce et du développement des fruits [15].

Il faut toutefois garder en mémoire que, sauf exception (établissements industriels très polluants raccordés directement au réseau d'assainissement), les concentrations en métaux lourds dans les eaux résiduaires sont faibles et ne constituent pas un facteur limitant la réutilisation des eaux usées en irrigation.

L'essentiel de ces métaux est retenu dans les boues des stations d'épuration. Il reste cependant prudent, afin d'éviter tout risque, de suivre la qualité des eaux recyclées et de tenir compte de leur composition dans le choix des cultures arrosées [4].

1.6.2. Notions de risque REUE Agricole

Les études d'estimation du risque distinguent deux types de risque : le risque potentiel et le risque réel [16].

- Le risque potentiel comprend lui-même le risque théorique et le risque expérimental.
- Le risque théorique, également appelé danger, est défini par le critère d'absence ou de présence d'un contaminant (micro-organisme, métal lourd, etc.). Il dépend de la population qui produit les eaux usées et d'autres facteurs (présence de rejet industriel, réseau unitaire, etc.).

Dans le cadre de notre projet, les estimations de risque de contamination sont basées sur les résultats des recherches et des expériences entreprises de par le monde et qui permettent de conclure des niveaux de risques sanitaires d'une REUE, en fonction de l'usage, du niveau de traitement et de la nature du contaminant.

Les risques généralement liés à une REUE agricole sont groupés en trois catégories :

- Le risque microbiologique;
- Le risque chimique;
- Le risque environnemental.

1.6.2.1. Le risque microbiologique

Dans le cas de l'agriculture, il est prouvé depuis longtemps que les micro-organismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes. Les micro-organismes se retrouvent donc à la surface des plantes et sur le sol. Les feuilles et la plante créent un environnement frais, humide (évaporation) et à l'abri du soleil, ce qui favorise la survie des germes pathogènes beaucoup plus sur le sol que sur les plantes. La contamination peut donc avoir lieu pendant la croissance des plantes ou pendant la récolte.

Par ailleurs, le mode d'irrigation a une influence directe sur le risque; ainsi, l'irrigation souterraine ou gravitaire peut nuire à la qualité des eaux souterraines et de surface alors que l'irrigation par aspersion crée des aérosols qui peuvent être contaminants pour les populations avoisinantes et les ouvriers agricoles. De plus, des contaminations directes peuvent avoir lieu lors de la maintenance du système d'irrigation.

Afin de limiter l'impact sanitaire et psychologique de la réutilisation des eaux usées pour irriguer des plantes destinées à la consommation humaine, les modes d'arrosage dits « localisés » sont recommandés parce qu'ils permettent de réduire considérablement les risques de contamination microbiologique.

Le procédé de désinfection n'est pas le seul facteur permettant de diminuer les risques, mais un des facteurs. Une gestion intégrée des risques sanitaires devrait, en principe, être mise en place incluant les systèmes d'irrigation, de cueillette et de communication.

Les populations humaines exposées à une pathologie associée de manière certaine à une utilisation agricole d'effluents bruts ou traités sont de quatre ordres [16] :

- Les consommateurs de légumes crus : le risque est statistiquement plus élevé pour les helminthes (par rapport à la population générale), par contre il ne l'est pas pour le risque bactériologique;
- Les consommateurs de viande bovine insuffisamment cuite : la contamination par le ver solitaire (*Tænia*) est possible car les bovins sont des hôtes intermédiaires de cet helminthe;

Les travailleurs agricoles : le risque est plus élevé pour les helminthes. En laboratoire, il a été mis en évidence que l'exposition aux entérovirus est plus élevée, même si sur le terrain il n'y a pas eu d'augmentation de cas cliniques. On distingue les facteurs causant les risques microbiologiques :

Les virus

Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte.

Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries (annexe-I-13), ils sont présents soit intentionnellement (après une vaccination contre la poliomyélite, par exemple), soit chez un individu infecté accidentellement. L'infection se produit par l'ingestion dans la majorité des cas, sauf pour le Coronavirus où elle peut aussi avoir lieu par inhalation [17].

On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 10³ et 10⁴ particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous-estimation de leur nombre réel.

Les bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau (annexe-I-14). Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 µm. La quantité moyenne de bactéries dans les fèces est d'environ 10¹² bactéries/g [12].

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10⁶ à 10⁷ bactéries/100 ml dont 10⁵ entérobactéries, 10³ à 10⁴ streptocoques et 10² à 10³ clostridium. Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonellas dont on connaît plusieurs centaines de sérotypes différents, dont ceux responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Des germes témoins de contamination fécale sont communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau ce sont les coliformes thermo-tolérants [4].

Les protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte.

Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées [2]. Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoebahistolytica*, responsable de la dysenterie amibienne et *Giardia lamblia* [12].

Les helminthes

Les helminthes sont des vers multicellulaires, des parasites intestinaux, qui peuvent se présenter soit sous forme d'œufs, soit sous forme de larves. Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites (annexe-I-15). La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 10³ œufs/l. Il faut citer, notamment, *Ascaris lumbricades*, *Oxyurisvermicularis*, *Trichuristrichuria*, *Taeniasaginata* [17].

Les œufs d'helminthes sont très résistants et peuvent notamment survivre plusieurs semaines voire plusieurs mois sur les sols ou les plantes cultivées [2].

Ces parasites sont des êtres vivants qui, pendant toute ou partie de leur existence, vivent aux dépens d'autres êtres appelés « hôtes ». L'hôte dit « définitif » est celui chez lequel le parasite accomplit sa fonction de reproduction. L'hôte « intermédiaire » héberge les formes larvaires jusqu'au stade infestant. Dans ce groupe des helminthes, on distingue deux familles de parasites : les nématodes et les cestodes.

- Les nématodes sont des vers ronds au corps non segmenté. On y trouve des espèces comme les Trichuridés, les Ascaris ou Toxocara.
- Les Cestodes sont des vers plats au corps segmenté. On y retrouve des espèces comme les Taenia ou Hymenolepis.

L'aspect infectieux de l'œuf d'helminthe est dépendant de sa viabilité. En effet, un œuf d'helminthe non viable n'a aucun pouvoir infectieux car ne libèrera jamais de larve. C'est pour cela que les laboratoires recherchent uniquement les œufs d'helminthes viables.

Le mode de transmission chez l'homme se fait le plus souvent par l'ingestion d'œufs viables à partir de différents vecteurs comme les légumes ou fruits souillés de terre, eau de boisson souillée ou par des mains contaminées. Sur ce dernier point, l'ingestion de sol (ou géophagie) par les enfants n'est pas négligeable. En cas de sol contaminé, cette ingestion de terre peut correspondre à plusieurs dizaines d'œufs ingérés par jour.

La durée de vie des œufs d'helminthes est dépendante des conditions environnementales. Ces parasites apprécient des températures modérées (entre 10 et 40°C) et une humidité importante (Tableau 2). Dans ces conditions, les œufs peuvent survivre plusieurs mois dans leurs milieux. Dans des températures plus extrêmes (hiver ou très fortes chaleurs) ou en conditions sèches (exposition au soleil...), la durée de survie se réduit alors à quelques jours en général.

L'efficacité des traitements hygiénisants utilisés dans le domaine environnemental varie selon le genre des œufs présents. D'une manière générale, plus l'intensité du traitement est importante, plus court est la durée de traitement pour arriver à une bonne efficacité.

Tableau 2 : Traitements éliminant les œufs d'helminthes

Genre	Traitement	Efficacité
Ascaris	-Digestion aérobie ou anaérobie thermophile -Compostage avec montée en température >60°C	Bonne
Trichuris	--Digestion aérobie, éventuellement suivi d'un lit de séchage pour les boues -Sédimentation, lagunage pour les eaux suées	Bonne
Ténia	-Pasteurisation (70°C/30 min) -Radiation -Chaulage (pH>12/24h)	Bonne

Source : « les agents biologiques d'intérêt sanitaire des boues d'épuration urbaine » par ADEME et Faculté de pharmacie de Nancy.

1.6.2.2. Les risques liés aux éléments traces : le risque chimique

La seule voie de contamination vraiment préoccupante pour les éléments traces est la consommation de plantes cultivées, dans lesquelles ils s'accumulent. Les modes de réutilisation autre que l'agriculture ne semblent pas dangereux et ceci pour deux raisons : premièrement, les quantités d'eau potentiellement ingérables par les utilisateurs sont extrêmement faibles et deuxièmement les concentrations en micropolluants sont infinitésimales dans les eaux épurées.

Le danger réside donc dans la consommation de végétaux contaminés, et exceptionnellement dans une consommation d'eau directe.

Dans le cas d'une REUE en agriculture, par contre, l'accumulation des micropolluants dans les plantes peut sembler plus problématique. Mais certains de ces micropolluants peuvent être intéressants en tant que facteurs de croissance des végétaux; il faut donc trouver un équilibre entre le risque sanitaire et l'intérêt agronomique.

Les métaux lourds :

On peut séparer les métaux lourds en quatre classes, selon qu'ils sont ou non indispensables au développement des végétaux, et selon qu'ils posent ou non des problèmes sanitaires².

Le manganèse (Mn) et le fer (Fe) sont tous deux indispensables au bon développement des végétaux, et leur utilisation en agriculture ne pose pas de problème pour la santé. En effet, ils sont déjà naturellement présents en forte proportion dans les sols.

Les métaux suivants ne sont pas indispensables pour les végétaux, mais ne présentent pas non plus de danger pour l'utilisation agricole. En effet :

- Le plomb (Pb) reste fixé au sol et par conséquent ne pénètre pas dans les plantes;
- Le sélénium (Se), l'étain (Sn) et le mercure (Hg) sont présents à des teneurs trop faibles dans les eaux épurées d'origines urbaines pour poser des problèmes sanitaires;
- Le chrome (Cr) est sous forme ionique (Cr³⁺), qui est peu toxique et qui ne pénètre pas dans les végétaux;
- Enfin, l'aluminium (Al) est déjà présent naturellement dans les sols, en forte proportion.

Par ailleurs, il existe des métaux lourds indispensables pour les végétaux, mais dont l'utilisation en agriculture peut poser des problèmes. Il s'agit :

- Du cuivre (Cu), qui présente une certaine toxicité pour les animaux d'élevage; cependant le seuil de phyto-toxicité est atteint avant celui de zoo-toxicité, c'est-à-dire que l'on va pouvoir détecter la contamination chez les plantes en premier et par là éviter de les donner à manger aux animaux;
- Du molybdène (Mo), qui n'est pas phyto-toxique, mais qui peut poser un problème sanitaire pour le bétail;
- Du zinc (Zn) qui est peu toxique, mais qui s'accumule très facilement dans les tissus végétaux.

Enfin, il existe trois métaux lourds qui ne sont pas indispensables au développement des végétaux, et qui, de plus, sont dangereux d'un point de vue sanitaire. Il s'agit :

- De l'arsenic (As) : une nouvelle valeur limite a été recommandée en 1993 par l'OMS, et adoptée par l'Union Européenne (1998). Le niveau d'arsenic toléré pour la potabilité a ainsi été abaissé de 50 µg/l à 10 µg/l;
- Du nickel (Ni) : il est peu toxique, mais s'accumule facilement dans les tissus végétaux;
- Du cadmium (Cd) : c'est de loin le micropolluant non organique le plus préoccupant. En effet, il est parfois présent à des concentrations importantes dans les eaux usées. Il est très mobile dans le sol, il peut s'accumuler dans les plantes et atteindre des concentrations

² Cette classification a été réalisée à partir des recommandations du Conseil supérieur de l'hygiène publique de France (CSHPF) de 1991.

sanitairement préoccupantes avant la manifestation d'effets phytotoxiques. Il peut s'accumuler dans l'organisme et provoquer une intoxication grave. Il est d'ailleurs soumis à différentes réglementations spécifiques, notamment l'OMS qui préconise un apport alimentaire moyen de 0,057 à 0,071 mg/j/individu, ou encore la FAO qui fixe comme taux maximum dans les aliments : 0,1 mg/kg pour les légumes, 0,05 mg/kg pour les céréales et dérivés.

En conclusion, remarquons que le risque posé par les métaux lourds selon qu'ils sont ou non indispensables au développement des végétaux, et qu'ils posent ou non des problèmes sanitaires (Figure 3), dépend de leur toxicité potentielle et du niveau d'exposition (concentration, durée); par ailleurs, certains sont bons pour la croissance des végétaux. Ils s'éliminent facilement par des traitements physico-chimiques (coagulation – floculation - décantation) et se retrouvent généralement dans les boues.

Métaux Lourds

Intéressant pour les plantes

Inutiles ou mauvaises pour les plantes

Ne posant pas de problèmes sanitaires

Mn
Fe

Pb Hg
Sn Cr
Se Al

Posant un problème sanitaire

Cu Mo Zn

As Ni Cd

Figure 3 : Classification des métaux lourds en fonction des risques et de l'intérêt agronomique

Les micropolluants organiques

Le risque posé par les effets à long terme de ces produits, pour lesquels il n'existe souvent aucune étude, est encore inconnu. De même, l'apparition de nouvelles substances toxiques n'est pas à exclure.

La plupart de ces éléments traces sont peu solubles, et les traitements des eaux usées par décantation sont efficaces pour les éliminer. On les retrouve donc plutôt dans les boues que dans les eaux épurées. Les concentrations infimes dans les effluents d'origine urbaine et leur transfert limité vers les végétaux rendent très faible le risque sanitaire dans le cas d'une réutilisation agricole, même si certains s'accumulent dans les racines comme le PCB, ou dans les graines de soja pour certains pesticides. Dans le pire des cas, ils ne vont constituer qu'une surcharge au système de détoxification des hommes et des animaux.

En conclusion, ce risque est à relativiser par rapport au risque bactérien, qui est bien plus considérable. Le problème des pesticides et des métaux lourds est en fait beaucoup plus préoccupant pour le recyclage des boues, dans lesquelles se retrouvent la majorité des micropolluants.

1.6.2.3. Choix des cultures et du système d'irrigation selon les risques associés

En agriculture irriguée, le besoin d'assurer la rentabilité des cultures bénéficiant des eaux recyclées, oblige les concepteurs à limiter les investissements au niveau des systèmes de traitement en encourageant ceux mieux adaptés aux cultures concernées. Dans la plupart des pays, les lois et règlements relatifs à l'irrigation précisent les types de cultures qui peuvent être irriguées avec les EUE d'une qualité donnée. Parce que la qualité des EUE peut directement affecter la santé des consommateurs, des travailleurs agricoles et des manutentionnaires, la Banque Mondiale a défini trois niveaux de risques qui facilitent la sélection des cultures à irriguer. Le tableau 3 présente ces trois niveaux de risques associés aux différentes cultures irriguées à partir des EUE.

Tableau 3 : Niveaux de risques associés aux différentes cultures irriguées à partir d'eau recyclée

N 1 : Faible risque pour le consommateur mais protection requise pour les travailleurs aux champs	N 2 : Risque moyen pour les consommateurs et les manutentionnaires	N 3 : Risque élevé pour les consommateurs, les travailleurs et les manutentionnaires
Cultures industrielles non destinées à la consommation humaine (coton, sisal, etc.)	Pâturage et fourrages verts	Toutes les cultures consommées sans cuisson et cultivées en contact avec les eaux recyclées (légumes frais tels laitue, carottes, etc.)
Cultures transformées par la chaleur ou séchage avant la consommation (graines, huiles, sucres)	Cultures pour la consommation humaine qui ne sont pas directement en contact avec les eaux recyclées (arboricultures, vignes, etc.)	Irrigation par aspersion quelle que soit la culture à une distance de moins de 100 mètres des aires résidentielles ou des places publiques
Légumes et fruits cultivés exclusivement pour la conserve ou autres procédés qui détruisent de façon efficace les pathogènes	Cultures pour la consommation humaine normalement consommées après cuisson (pommes de terre, betteraves, asperges, etc.)	
Cultures fourragères et autres cultures destinées à l'alimentation animale séchées au soleil et récoltées avant la consommation animale	Cultures pour la consommation humaine dont la pelure n'est pas consommée (agrumes, bananes, noix, etc.)	
	Toutes cultures non identifiées comme haut risque si l'irrigation par aspersion est utilisée	

Source: World Bank, Wastewater irrigation in developing countries: health effects and technical solutions. Technical Paper No. 51, 1986.

Les risques pour la santé humaine ne peuvent toutefois être la seule dimension étudiée pour le choix des cultures à irriguer avec les eaux épurées. Les dommages potentiels aux sols ainsi que l'habilité des cultures à s'ajuster aux caractéristiques des EUE imposent des études spécifiques. La tolérance relative des différentes cultures aux substances chimiques et organiques couramment retrouvées dans les eaux usées est bien connue et de nombreux manuels fournissent leur niveau de tolérance. Ainsi, la tolérance des cultures aux sels est établie en fonction des quatre classes suivantes :

- Cultures sensibles;
- Cultures modérément sensibles;
- Cultures modérément tolérantes;
- Cultures tolérantes.

Des lignes directrices simples pour le choix des cultures irriguées avec des EUE de différents teneurs en sel sont exhaustivement présentées dans l'annexe-I-16.

1.6.3. Le risque environnemental

Avantages environnementaux d'utilisation des eaux usées

Lorsque l'eau usée est utilisée correctement à des fins agricoles, plutôt que toute autre utilisation, l'environnement peut être amélioré. Voici quelques avantages environnementaux :

- La suppression de rejet en eaux de surface, prévient l'éventualité de situations esthétiques désagréables, de conditions anaérobies dans les cours d'eau et l'eutrophisation des lacs et réservoirs. La conservation des ressources en eau fournit des avantages à l'utilisation telle que l'approvisionnement en eau et la préservation des étendues d'eau à usage récréatif.
- La sauvegarde des ressources en eaux souterraines dans les zones de surexploitation de ces ressources pour l'agriculture pose le problème de l'épuisement et de l'intrusion du biseau salin.

- La possibilité de conservation des sols et de leur amélioration par apport d'humus sur les terres agricoles et de prévention de l'érosion.

Effets négatifs potentiels sur l'environnement

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

- L'introduction des produits chimiques dans des écosystèmes sensibles (principalement le sol, l'eau et les plantes),
- La propagation des microorganismes pathogènes [8].

1.6.4. La REUE en industrie

Il s'agit bien ici de la réutilisation, pour l'industrie, d'eaux usées d'origine urbaine et non de recyclage d'eaux usées industrielles qui consiste en la réutilisation des eaux du process. Certaines industries possèdent leur propre station d'épuration afin de traiter les effluents spéciaux issus des procédés industriels.

La REUE en industrie peut être intéressante dans le secteur de l'énergie, dans les circuits de refroidissement fermés ou ouverts particulièrement pour les centrales électriques localisées à l'intérieur du pays loin de la mer. Les autres applications possibles concernent les laveries industrielles, l'industrie du papier, la production d'acier, les matériaux de construction, de textiles, les industries d'électroniques et de semi-conducteurs, etc.

La qualité requise est spécifique à chaque industrie parce que sa composition chimique peut avoir des répercussions sur les process industriels. Les préoccupations concernent principalement les phénomènes d'entartrage, de corrosion, de développement de bactéries, d'encrassement, de formation de mousse et d'inhalation d'aérosols par les travailleurs. Il n'y a pas de problème sanitaire spécifique à l'industrie et on retrouve les mêmes contaminants que pour les autres usages.

1.6.5. La REUE en zone urbaine

Les utilisations possibles d'eaux épurées en zone urbaine sont extrêmement nombreuses, et il en existe de multiples exemples à travers le monde. Ces projets concernent :

- L'arrosage de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf, d'aires de jeux;
- Les bassins d'agrément, bassins pour la pêche et la navigation de plaisance;
- Le lavage de voirie, réservoirs anti-incendies, etc.

La REUE en zone urbaine nécessite un réseau double qui permet de distribuer séparément les eaux épurées et l'eau potable. Il peut y avoir un réseau double à l'échelle de la ville entière ou à l'échelle de l'habitation. Lors de la modification d'un système déjà existant, l'installation d'un second réseau de distribution peut être très coûteuse ce qui affecte la rentabilité économique d'un projet de REUE. Cependant, si un double réseau est installé en une seule opération, lors de la construction d'un nouveau lotissement par exemple, la rentabilité devient beaucoup plus intéressante.

Aux États-Unis, les premiers systèmes de ce genre ont été développés il y a plus de 70 ans et le premier a été construit à Grand Canyon Village (Arizona) en 1926, pour fournir aux habitants de l'eau épurée pour l'arrosage et de l'eau potable pour les besoins de consommation.

La qualité requise dans les projets de REUE en zone urbaine a des exigences similaires aux autres réutilisations, avec quelques variantes :

- La qualité esthétique est importante : la présence de mousse, d'algues, etc. est à éviter (mauvaise perception de la part du public). Il faut également réduire le développement d'insectes (moustiques...);

- La présence d'une faune concentrant des polluants (mercure, DDT, etc.) peut poser problème pour les activités de pêche.

En comparaison à l'irrigation pour les cultures agricoles, l'irrigation des espaces verts publics requiert un traitement tertiaire et une désinfection.

Des mesures additionnelles de minimisation des risques sont souvent appliquées, telles : Irrigation nocturne, Micro asperseurs; et Installation d'avis publics, etc...

Les réflexions développées dans le cadre de la présente étude sont toutefois orientées vers l'arrosage de parcs, de terrains de sports ou de terrains de golf moyennant une infrastructure spécifique plus simplifiée sans avoir recours à des réseaux exhaustifs de distribution des EUE à travers les agglomérations avec tous les risques sanitaires que cela pourrait engendrer.

1.6.6. La REUE pour la production d'eau potable

La réutilisation est directe quand l'eau ne revient jamais dans le milieu naturel; les eaux épurées sont directement acheminées de la station d'épuration à l'usine de traitement pour l'eau potable. Cependant, ce mode de REUE sans passer par le traitement supplémentaire offert par le milieu naturel est déconseillé; il doit être mis en œuvre uniquement quand aucune autre solution n'est possible.

La réutilisation est indirecte quand elle consiste à rejeter des effluents d'une STEP dans la retenue d'un barrage ou à les injecter dans une nappe pour servir d'ultime réservoir naturel avant le traitement. C'est le cas de plusieurs barrages algériens servant à l'AEP et qui reçoivent d'importants apports en eaux usées provenant des agglomérations situées en amont.

La production d'eau potable est l'aboutissement le plus extrême de la réutilisation des eaux usées épurées. Elle a lieu essentiellement dans les zones arides ou semi-arides.

1.6.7. La REUE et la recharge de nappe

Le recours à la recharge de nappe peut être motivé par la dégradation de sa qualité environnementale et/ou par la diminution de sa réserve en eau. Ce mode de réutilisation a lieu essentiellement dans des zones arides qui doivent faire face à des problèmes d'assèchement de nappes, ou dans des zones côtières quand les nappes sont menacées par l'intrusion de l'eau de mer. Ces deux conditions sont a priori existantes en Algérie et mériteraient des réflexions approfondies.

Il existe deux moyens de recharger une nappe phréatique :

- Par percolation : le principal problème rencontré est celui des algues, qui pullulent dans les bassins. Pour lutter contre le développement des algues, les solutions préconisées sont variées : introduction de poissons, d'algicides, teindre l'eau pour empêcher la photosynthèse, faire circuler l'eau pour empêcher la stagnation, éviter le stockage dans des lacs peu profonds, éviter de laisser l'eau stagner trop longtemps et couvrir les réservoirs. Un autre problème est la formation d'un microfilm de vase, d'argile et de micro-organismes au fond du bassin qui bloque la percolation;
- Par recharge directe : l'eau est injectée dans la nappe par plusieurs puits, disposés en ligne face à la nappe d'eau salée, et formant une véritable barrière. L'eau injectée est un mélange de deux tiers d'eaux épurées et d'un tiers d'eau de la nappe.

1.7. Les exemples de REUE agricole dans le monde

L'utilisation des eaux usées en agriculture est une pratique très ancienne et assez répandue dans le monde entier (Figure-3). Elle est apparue avec l'installation d'égouts dans les agglomérations urbaines et s'est développée au cours des dernières décennies, en particulier dans les régions arides et semi arides. Ce développement s'explique principalement par le manque d'eau fraîche et par le

besoin d'accroître la production agricole. Plus de 20 millions d'hectares dans 50 pays sont actuellement irrigués avec des eaux usées épurées ou brutes.

Au plan mondial, l'utilisation de cette technique par l'agriculture, l'industrie et les usages domestiques couvrent respectivement 70 %, 20 %, 10 % de leur demande en eau.

La figure-3 résume les principales voies de réutilisation dans les pays ayant une expérience significative dans ce domaine. Il apparaît que la réutilisation pour l'irrigation est essentiellement présente dans les pays réputés agricoles mais dont les ressources hydriques sont faibles. Les plus grands projets de réutilisation ont été développés dans les régions de l'Ouest et de l'Est des États Unis, l'espace méditerranéen, l'Australie, l'Afrique du Sud et dans les zones semi-arides de l'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud [20].

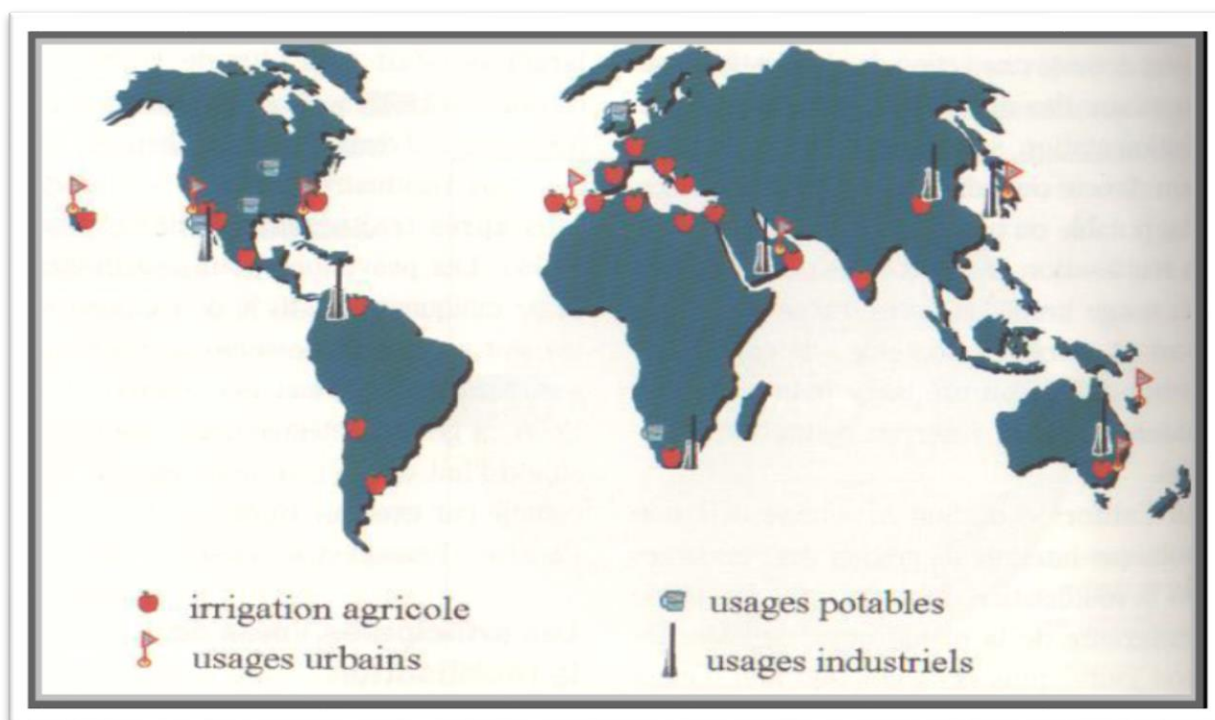


Figure 4 : Répartition des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaine [18].

Les exemples ci-dessous ont été sélectionnés pour exposer les expériences existantes dans certains pays ayant des conditions géo-climatiques similaires à celles de l'Algérie (Tableau 4).

La Tunisie a développé un programme de réutilisation des eaux usées épurées dès les années soixante. Dans ce pays, l'augmentation de la population et du niveau de vie a accru à la fois les besoins en eau et les rejets d'eaux épurées dans le milieu naturel. Les politiques se sont donc trouvées face à une crise économique et écologique dans certaines régions.

La première utilisation d'eaux épurées a eu lieu aux alentours de Tunis, pour irriguer 600 ha de citronniers. La nappe qui alimentait autrefois les circuits d'irrigation avait été surexploitée et commençait à être envahie par l'eau de mer. Il a donc fallu trouver une solution alternative.

A partir des années 80, une politique ambitieuse de réutilisation a été mise en place. En 1993, 6 400 ha de terres agricoles étaient irrigués avec des eaux épurées, et ce chiffre devait atteindre 20 à 30 000 ha dans les années suivantes [12]. Le traitement bactériologique généralement préconisé est le bassin de maturation le plus adapté aux conditions techniques et économiques locales. Les restrictions d'utilisation ne concernent que les légumes destinés à être consommés crus ou cuits, selon la réglementation tunisienne établie en 1989 [19].

Aux États-Unis, 34 états disposent de réglementations concernant l'usage agricole des eaux usées. La Californie fait office de précurseur. Sa réglementation sur la qualité des eaux et leur utilisation, dénommée « Title22 », est une référence au niveau international (elle sera détaillée dans le cadre de la Mission 4 de la présente étude). Respectivement 63% et 34% des eaux usées des états de la Californie et de la Floride sont réutilisées pour l'agriculture [20].

Au Mexique, en 1996, les eaux usées brutes (non traitées) de Mexico étaient utilisées pour irriguer 85 000 hectares de maïs, d'orge et de tomates, dans ce qui constituait le plus grand plan d'irrigation au monde. Les critères sanitaires de la réglementation ont depuis changé, ce qui est heureux au vue de l'étude épidémiologique réalisée dans cette région mettant en évidence une augmentation des maladies intestinales liées à l'irrigation par ces eaux brutes.

Des pays comme la Grèce, le Portugal, l'Italie, l'Espagne ont des programmes plus ou moins avancés de REUE pour l'agriculture. En Europe du Nord, l'Allemagne et la Hongrie utilisent les eaux épurées pour irriguer des céréales, des pommes de terre, etc. mais à moindre échelle. Notons que, mis à part le cas exceptionnel de Mexico, aucun des rapports concernant ces différents cas de réutilisation ne fait état de problèmes sanitaires.

Dans plusieurs pays du Proche Orient, le besoin d'eau est bien plus aigu et pressant. Pour cette raison, le traitement des eaux résiduaires et leur réutilisation deviennent une nécessité [8]. Certaines communautés d'Égypte utilisent des eaux usées ou des eaux ayant subi un traitement primaire pour irriguer des parcelles boisées.

Tableau 4 : Usages autorisés par REUE dans le bassin méditerranéen

Usages	Cypr	Cjordanie	Egypte	Espagne	France	Grèce	Israël	Italie	Jordanie	Liban	Maroc	Portugal	Syrie	Tunisie	Arabie saoudite	(Koweït)	(Oman)
Irrigation agricole		C	C+P+E										C+P	C	C	C	
Irrigation espèces verts/ golfs			**														
Recharge de nappe													*				
Environnement																	
Recyclage industriel																	
Usages urbains																	
Usages domestiques																	
Eau potable																	
Source des données	(1)	(1)		(1)	(1)			(1)		(2)		(1)			(2)	(2)	(2)

C : Produits consommés crus - F : Fruits sans périscarpe - E : Cultures d'exportation - P : Pâture
 * Aquifères exploités pour l'eau potable
 ** : Sauf espaces verts des écoles
 Source : Compilation par l'auteur - Source des données : (1) : Eureau - (2) : Xanthoulis (2010)

Réglementé / Interdit

Réglementé / autorisé

Non réglementé

Source : les cahiers du plan bleu-2012.

CHAPITRE 2 : LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES ÉPURÉES EN ALGÉRIE.

2.1. Les potentialités des ressources en eau en Algérie

En l'état actuel des connaissances, les potentialités en eau de l'Algérie sont globalement évaluées à 17,9 milliards de m³:

- 10 milliards de m³ en eau superficielle et 2,5 milliards de m³ en eau souterraine pour les régions nord du pays ;
- 0,4 milliard de m³ en eau superficielle et 5 milliards de m³/an exploitables dans les régions sahariennes.

Et pour satisfaire la demande en eau potable, industrielle et agricole, il a été réalisé les grandes infrastructures de mobilisation : 66 barrages de capacité 7,1 milliards de m³ et 121 000 forages de 2,6 milliards de m³.

Malgré toutes ces potentialités en eau conventionnelle existantes et tous les efforts consentis pour satisfaire la demande, face à la croissance de la population et du développement économique et industriel, l'Algérie est l'un des pays le plus affecté par la rareté des ressources en eau.

Le seuil de la rareté de l'eau est de 1.000 m³/an/habitant (FAO 1985), celui de l'Algérie est estimé à 600 m³/an/habitant atteindra 430 m³/an/habitant à l'horizon 2020.

Dans ce contexte, l'utilisation des eaux non conventionnelle est devenue une nécessité absolue et entre dans la stratégie de mobilisation des ressources en eau, telles que le dessalement de l'eau de mer, la déminéralisation des eaux saumâtres et la réutilisation des eaux usées épurées. Cette ressource alternative a passé d'une solution de dernier recours à une option stratégique, au tour de laquelle se bâtissent des politiques de développement du secteur des ressources en eaux. Il a permis l'augmenter la ressource en eaux douce disponible et faire face aux situations de pénurie et de crise de sécheresse.

Globalement les ressources en eau non conventionnelles, évaluées pour l'année 2014 sur la base de la capacité des installations existantes et projetées à 842 hm³, réparties en :

- ☞ 535,55 hm³/an d'eau de mer dessalée (9 grandes stations et 21 monoblocs) destinée à l'alimentation en eau potable (AEP) de près de 6,3 millions d'habitants.
- ☞ 22,2 hm³/an d'eau saumâtre déminéralisée (18 SDES) pour l'alimentation en eau potable de 280 440 habitants.
- ☞ 284 hm³/an d'eau usée épurée réutilisée dont :
 - 18 hm³/an sont réutilisées directement pour l'irrigation de 1 420 hectares (Tlemcen, Souk Ahras, Bordj Bou Arreridj et Boumerdes).
 - 266 hm³/an d'eau usée épurée sont réutilisés indirectement au fil de l'eau et via les barrages.

Un riche programme a été tracé en matière de mobilisation des ressources en eau non conventionnelle est (Travaux & Études), permettra de mobiliser les volumes de 560,6 hm³/an en eau non conventionnelle (SDEM, SDES et EUE) destinée aux utilités publiques, pour répondre aux besoins en eau potable de près de 3,68 millions d'habitants et satisfaire les besoins en eau d'irrigation de 30 814 hectares.

2.2. L'Agriculture en Algérie

Le contexte général dans lequel s'opère l'activité agricole est actuellement caractérisé par les aspects suivants :

- Le pays tout entier est en pleine mutation des structures socio-économiques : l'économie de marché doit se substituer progressivement au système d'économie dirigée qui a prévalu pendant trois décennies;
- Le statut foncier des exploitations agricoles n'est pas définitivement arrêté: pour le moment, l'essentiel des terres appartient toujours à l'État qui les met à la disposition d'exploitants privés;
- La faillite du réseau public de distribution des approvisionnements agricoles n'a pas été compensée par la mise en place d'un réseau privé professionnel. Les approvisionnements sont assurés par un ensemble d'opérateurs recherchant des opportunités de marché plus rémunératrices et qu'on ne peut pas considérer comme de véritables professionnels;
- Les libertés introduites, d'une part dans les prix à la production et d'autre part dans le domaine de l'importation, ont conduit à un développement systématique de la recherche du profit ponctuel immédiat, au détriment de l'établissement de relations commerciales stables.

2.2.1. Structures foncières

Les structures foncières ne sont pas encore stabilisées. Les anciens domaines socialistes ont connu un processus de redistribution qui a donné naissance à deux types d'exploitation :

- Les AEC ou exploitations agricoles collectives qui regroupent plusieurs attributaires;
- Les EAI ou exploitations agricoles individuelles, attribuées à un seul exploitant.

Cependant, il est courant que pour diverses raisons, une EAC se trouve divisée soit en de nouvelles EAC, soit en plusieurs EAI.

Il est clair que les incertitudes qui pèsent sur le foncier sont un facteur défavorable aux prises de décisions concernant les investissements agricoles.

2.2.2. Situation actuelle dans les Grands Périmètres Irrigués (GPI)

Les périmètres irrigués en exploitation étaient gérés auparavant par cinq Offices de Périmètres Irrigués (OPI) régionaux et huit offices de wilaya. Ils totalisent 183 357 ha équipés (dominés par des réseaux plus ou moins vétustes). Cependant moins de 60% disposent de réseaux en fonctionnement et peuvent ainsi être considérés comme irrigables. Et à peine 40 000 ha ont été en moyenne irrigués ces 20 dernières années, du fait de l'insuffisance des ressources en eau qui leur sont allouées annuellement.

À titre d'exemple, les volumes affectés à l'irrigation sont toujours inférieurs aux besoins incompressibles exprimés par les organes de gestion et représentent selon les années de 30 à 70% de ces besoins à cause des pénuries d'eau et de la priorité accordée systématiquement à l'alimentation en eau potable et industrielle (A.E.P.I.).

Cette situation est encore aggravée par les insuffisances au niveau de la gestion, de l'exploitation et de la maintenance des réseaux et des équipements souvent très vétustes.

2.2.3. Petite et moyenne hydraulique (PMH)

Les superficies en petite et moyenne hydraulique dans le nord du pays ainsi que l'agriculture saharienne représentent une moyenne de 350 000 ha sur les 20 dernières années soit plus de huit fois les superficies irriguées dans les grands périmètres. La majorité de la production agricole, en irrigué, est assurée par ce type d'irrigation pour laquelle une politique soutenue d'aménagement et d'appui financier a été menée depuis de nombreuses années par l'intermédiaire du Fonds National

de Développement et de Régulation Agricole et des programmes retenus par le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

2.3. Rappel de l'importance de l'irrigation pour un développement durable

Il est important de souligner que malgré la faiblesse des superficies totales irriguées, qui ne représentent que 650 000 à 700 000 ha, toutes irrigations confondues sur l'ensemble du territoire national, soit moins de 10% de la superficie agricole utile, la valeur commerciale des productions agricoles en irrigué représente selon les années près de 50% du coût total des produits de la terre.

Les projets proposés dans le cadre du programme décennal de développement des GPI en cours d'élaboration par le ministère des ressources en eau (MRE) est passé à une superficie équipée de 380 000 ha pour la campagne agricole 2009, soit une augmentation de plus du tiers des superficies équipées actuellement. L'amélioration de la prise en charge des périmètres irrigués ainsi qu'une meilleure disponibilité de la ressource en eau permettront d'espérer l'irrigation optimale d'au moins 200 000 ha. Cela représente un facteur multiplicateur de 5 par rapport à la moyenne extrêmement basse des 20 dernières années. Cette évolution influera nettement sur les productions agricoles à haute valeur ajoutée.

Ainsi l'irrigation est indispensable en Algérie pour assurer une sécurité alimentaire raisonnable et une baisse des importations de produits alimentaires de première nécessité.

À ce titre, les grands périmètres irrigués constituent des espaces optima pour les productions agricoles intensives à haute valeur ajoutée et à fort rendement. Ils peuvent être plus facilement spécialisés vers certaines cultures stratégiques en fonction des orientations agricoles décidées par les pouvoirs publics (approches agro-industrielles intégrées pour de nombreuses cultures telles que betteraves à sucre, oléagineux pour lesquels l'Algérie dépend à presque 100% des importations, ou créations de bassins laitiers, etc.).

Par ailleurs, selon les normes admises en la matière, un hectare irrigué crée au moins un emploi direct permanent et plusieurs emplois indirects ou temporaires.

L'irrigation contribue particulièrement à la limitation de l'exode rural et l'enrichissement des terroirs.

Selon certaines données de la FAO, près de trois quarts de l'augmentation de la production agricole mondiale est le fait de l'irrigation. Ceci s'explique aisément car les rendements sont multipliés dans une fourchette de 2 à 5 par rapport aux cultures en sec. Par ailleurs, dans certaines régions arides à l'exemple des régions sahariennes, aucune production agricole ne peut être faite sans l'irrigation.

2.3.1. Objectifs à long terme pour le développement de l'irrigation

Le secteur de l'Agriculture considérée comme le principal consommateur d'eau, dont la superficie irriguée est passée de 720 000 ha en 2005 à plus de 1 024 094 ha en 2014, cette croissance a engendrée une augmentation de la demande en eau d'irrigation de 4 Milliards de m³ en 2005 à 6 Milliards de m³ en 2014.

Le programme pour le développement des GPI concerne environ 140 000 ha en projet (12 périmètres) dont 51 000 hectares sont actuellement en travaux d'aménagement (6 périmètres). Sur le programme en cours de réalisation, six nouveaux périmètres d'une superficie totale de 89 830 hectares sont en cours d'étude.

Les potentialités en eau et en sol du pays peuvent permettre, sous réserve de la mise en œuvre d'une politique adéquate, d'atteindre dans une vingtaine d'années un million d'hectares irrigués au niveau national. Plus de 250 000 ha de ces terres irriguées se situent au niveau des régions sahariennes dans lesquelles, la dernière expertise de l'Office du Sahara estime qu'une exploitation raisonnable des nappes fossiles permettrait d'en extraire plus de 5 milliards de mètres cubes d'eau par an, sans trop déséquilibrer cet écosystème fragile.

Devant cette situation, accroissement continue de la sole irriguée, le recours à l'utilisation des eaux usées épurées est devenu une solution alternative notamment pour les cultures arboricoles et fourragères au niveau des régions à faible disponibilité de la ressource en eau conventionnelle.

Pour cela, le Ministère des ressources en eau a engagé, depuis plus d'une décennie, la réflexion sur la réutilisation des eaux usées épurées.

2.4. Stations D'épuration Des Eaux Usées Et Potentialités De REUE

2.4.1. État des systèmes d'épuration

L'infrastructure d'assainissement des eaux usées municipales et industrielles est relativement assez développée en Algérie. En effet, avec un réseau de collecte des eaux usées de presque 50 000 km, le taux de raccordement à l'égout moyen national est estimé, selon le Ministère des Ressources en Eau (MRE) en 2014 atteint-les 89%. On estime à environ 800 hm³ le volume d'eaux usées générées et collectées annuellement.

Ces dernières années, le Ministère des Ressources en Eau (MRE) a entrepris la mise en œuvre d'un important programme d'investissement concernant la réalisation de 159 STEP et la réhabilitation de 15 autres, dont deux en exploitation. Ceci portera le nombre de STEP existantes et en exploitation actuellement à 166 STEP en exploitation et 108 en cours de réalisation.

Ces infrastructures permettront, en fin 2015, d'épurer un volume de plus de 1,3 milliards de m³/an d'eaux usées, soit 34% du volume total des eaux usées collectées. Le graphe ci-après illustre les différents milieux récepteurs des eaux de STEP.

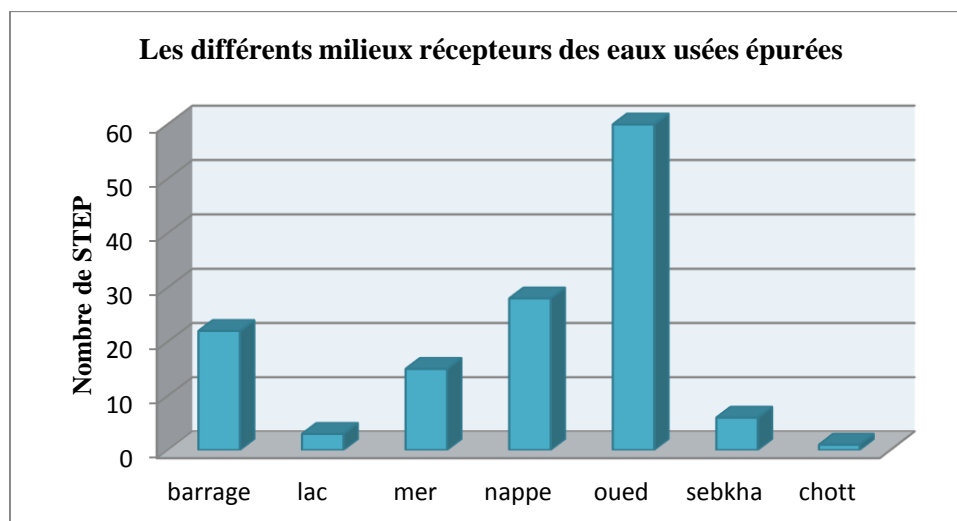


Figure 5 : Répartition des eaux usées épurées par milieux récepteur

La mise en eau et l'exploitation temporaire des nouvelles STEP, en cours de travaux sous la supervision de l'office national de l'assainissement (ONA), sont généralement déléguées à l'entreprise de réalisation dans le cadre du même contrat de travaux. Pour certaines villes, c'est la gestion déléguée aux sociétés par actions « SPA », telles que : la SEAAL, pour les deux wilayas d'Alger et de Tipaza, SEOR pour la wilaya d'Oran, SEACO pour la wilaya de Constantine et SEATA pour les wilayas d'Annaba et d'El Tarf.

La quasi-totalité des STEP est conçue avec des objectifs de qualité de rejet en milieu naturel et non pour une réutilisation des eaux usées épurées. Faute de normes nationales en la matière, les normes de rejet des eaux épurées sont généralement inspirées des normes européennes ou des bailleurs de fonds internationaux (Banque Mondiale, BEI...).

2.4.2. Qualité des eaux usées

Les stations d'épuration existantes en Algérie, sont de types Boues Activées et Lagunage. Ces STEP ont pour objectif principal, l'élimination de la matière organique et atteindre un niveau de qualité de rejet dans le milieu naturel acceptable.

Les objectifs à atteindre à travers les STEP de type boue activée ou lagunage

- DBO₅: 20 à 40 mg/l
- DCO : 90 à 120 mg/l
- MES : 20 à 30 mg/l.
- pH : 6 à 9
- Cl: 1 à 3 mg/l
- Azote : 50 mg/l
- PO₄ : 2 mg/l

Les STEP sont équipées de laboratoires pour le suivi quotidien de la qualité des eaux (Entrée et Sortie) ainsi que la qualité des boues, par des analyses physico-chimiques (DBO₅ –DCO-MES-pH) ou encore de l'azote et des phosphates.

Au niveau central, les laboratoires de l'ONA ou celui des SPA (SEAAL, SEAO, SEACO et SEATA), assurera les analyses des métaux lourds.

D'autres paramètres comme la conductivité, les chlorures, les sulfates ou encore les coliformes et les germes pathogènes, et qui intéressent plus les projets de REUE, sont moins souvent analysés.

L'élimination des risques microbiologiques et chimiques est le principal objectif du traitement des eaux usées destinées à être réutilisées. Afin de garantir la protection de la santé publique, il était indispensable de mettre en place des normes et des réglementations strictes et adaptées à la spécificité des différentes cultures en Algérie.

2.5. Situation de la réutilisation des eaux usées en Algérie

La réutilisation des eaux usées épurées est une action volontaire et planifiée qui vise la production de quantités complémentaires en eau pour différents usages. Aujourd'hui la stratégie nationale du développement durable en Algérie se matérialise particulièrement à travers un plan stratégique qui réunit trois dimensions à savoir : Sociale, Économique et Environnementale (MRE, 2014).

2.5.1. Potentialités en eau usées épurées :

2.5.1.1. Critères d'évaluation de la potentialité de REUE

Les critères d'évaluation de la potentialité de réutilisation des eaux usées épurées retenus sont généralement :

- La surface maximale irrigable par les eaux usées épurées (EUE) à moyen ou long terme, notamment l'horizon de saturation de la STEP (2015-2020);
- La proximité par rapport à la STEP;
- La faisabilité du transfert des eaux usées épurées (gravitaire, pompage);
- Les besoins en eau (volume et fluctuations saisonnières);
- La qualité des EUE versus celle exigée par l'utilisateur;
- L'acceptabilité psychologique d'une REUE.

Les surfaces d'irrigation potentielles identifiées, à proximité des STEP, sont généralement largement supérieures aux surfaces maximales irrigables par les EUE à l'horizon de saturation de la STEP (2015-2020). Ceci nécessitera des études détaillées et choisir avec plus de précision la zone à irriguer qui devra être identifiée en tenant compte d'autres critères additionnels à ceux mentionnées ci-dessous, notamment :

- Les aspects financiers et économiques;
- Le statut foncier des terrains;
- L'acceptabilité des agriculteurs à respecter les consignes d'hygiène à tous les stades de production : plantation, irrigation, cueillette et commercialisation;
- Le respect des spéculations agricoles compatibles avec la qualité et la quantité des EUE;
- Les aspects techniques : système d'irrigation et de drainage;
- Les aspects environnementaux : risque de pollution de la nappe souterraine, habitations avoisinantes.

2.5.1.2. Les potentialités en la Réutilisation:

En matière de production des eaux usées épurées, L'Algérie possède 274 Stations d'épurations en exploitations et en travaux (Boues Activées et lagunages), englobant un volume nominal de 1,306 milliard de m³/an. Les potentialités en la réutilisation sont comme suit :

- STEP en exploitation : 138 STEP sont situées à proximité des périmètres d'irrigation (situés à l'aval de ces STEP), et mobilisant un volume d'EUE est de 245 hm³/an pouvant irriguer une superficie de 50 027 ha.
- STEP en travaux : 56 STEP sont situées à proximité des périmètres d'irrigation (situés à l'aval de ces STEP), et mobilisant un volume nominale d'EUE de 318 hm³/an pouvant irriguer une superficie de 21 932 ha.

Sachant que les systèmes d'épuration conçue avant pour un objectif de protection de la santé publique et de l'environnement, plus particulièrement les ressources en eau (Barrage, Nappes, oueds,...) et non dans l'objectif d'une réutilisation.

Devant cette situation actuelle, il se trouve qu'un volume de 152 hm³/an de cette production est indirectement réutilisé au fil de l'eau (oueds) à 49,6% et via les barrages à 15,3%.

Les objectifs futurs fixés à l'échelle nationale (source MRE), de surfaces agricoles irrigables par les EUE pour les différents horizons, en fonction de la programmation des systèmes d'épuration planifié. Ces volumes sont répartis par région hydrographique, dans le contexte de la gestion intégrée des ressources en eau par bassin versant.

L'évaluation des superficies irrigable par les EUE produite sans stockage et avec stockage (tableau N°5) a montré, que la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation peut satisfaire en totalité les besoins en eau et passer même à l'extension et création d'autres superficies (MRE).

Tableau 5 : Évolution de la surface irrigable par les EUE en hectares pour l'ensemble de l'Algérie

Région Hydrographique	Stockage	Surfaces irrigables par les eaux usées épurées (ha)			
		2004	2010	2020	2030
Algerois - Soummam Hodna	Avec stockage	3 363	17 405	33 435	43 724
	Sans stockage	2 018	10 443	20 061	26 234
Cheliff - Zahrez	Avec stockage	327	2 527	8 596	13 067
	Sans stockage	196	1 516	5 158	7 840
Constantine - Seybouse Mellegue	Avec stockage	2 193	7 114	20 248	27 189
	Sans stockage	1 316	4 269	12 149	16 313
Oranie - Chott Chergui	Avec stockage	1 310	6 275	12 409	16 039
	Sans stockage	786	3 765	7 445	9 623
Sahara	Avec stockage	147	2 968	5 778	7 367
	Sans stockage	88	1 781	3 467	4 420
Total du pays	Avec stockage	7 340	36 288	80 466	107 385
	Sans stockage	4 404	21 773	48 279	64 431

Source MREE-2007.

A l'échelle nationale, moyennant d'un stockage inter-saisonnier, les eaux usées épurées deviennent une ressource alternative non négligeable qui peut satisfaire les besoins en eau d'irrigation de plus de 100 000 hectares. Parmi ces superficies indiquées, plus de 60 000 hectares sont déjà équipés en grand périmètres irrigués (GPI) et/ou en projet. Les investissements nécessaires seront amortis par une irrigation à grande valeur économique (tableau 6).

Tableau 6 : Superficies agricoles à irriguer avec les eaux usées épurées

Région Hydrographique	Stockage	Surfaces irrigables par les eaux usées épurées (ha)			
		2004	2010	2020	2030
Surfaces occupées par GPI existants ou en projet	Avec stockage	4 611	22 884	46 080	60 596
	Sans stockage	2 767	13 730	27 648	36 358
Nouvelles surfaces à équiper	Avec stockage	2 728	13 405	34 386	46 789
	Sans stockage	1 637	8 043	20 632	28 073

Source MREE-2007.

2.6. Le cadre législatif et institutionnel de la REUE en Algérie

La réutilisation des eaux usées sollicite une coordination étroite entre les différentes structures et secteurs impliqués dans les opérations de réutilisation à tous les niveaux.

2.6.1. Aspect législatif

L'Algérie, même si elle ne s'est pas dotée avant d'une législation spécifique pour encadrer la réutilisation des eaux usées épurées, dispose de certains éléments de base qui permettent d'en cerner cet aspect. On pense en particulier à la Loi de l'Eau (loi 05-12 du 4 août 2005), la Loi sur la protection de l'environnement (lois 83-03 du 5 février 1983 puis 03-10 du 19 juillet 2003), la loi sur la protection et la promotion de la santé (Loi 85-05 du 16 février 1985) ainsi que des décrets portant sur la qualité des eaux de baignade, l'inventaire du degré de pollution des eaux de surface, etc.

La loi algérienne prohibe l'utilisation des eaux usées brutes pour la production et limite les rejets dans le milieu récepteur. Elle régit également l'utilisation des eaux usées épurées en termes d'« eaux non conventionnelles » à des fins agricoles, urbaines et industrielles et à l'intérieur du cadre des lois mentionnées : protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, réduction des risques sanitaires, protection des ressources en eau, valorisation des potentialités hydriques,...

L'Algérie s'est dotée tout récemment d'une législation portant sur la réutilisation des eaux usées épurées:

- le **Décret exécutif 07-149 du 20 mai 2007** qui fixe les modalités de concession d'utilisation de ces eaux à des fins d'irrigation ainsi qu'un cahier de charges y afférant (Annexe-II). La loi algérienne confirme que l'utilisation des eaux usées brutes est prohibée tout comme celle des eaux usées épurées pour la production de légumes destinés à la consommation crue. Elle permet cependant la production de fourrages, de pâturages et de produits ligneux.
- Les deux arrêtés interministériels du 2 janvier 2012 fixant :
 - les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation ;
 - la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.
- le projet de normes, qui a été approuvé par l'Institut Algérien National de Normalisation (IANOR), devra être annexé au décret susmentionné et représentera le cadre à l'intérieur duquel il sera possible d'évoluer pour la réutilisation des eaux usées épurées. Un résumé de la réglementation algérienne existante et ayant un impact sur l'utilisation des eaux usées épurées est présenté en détail (annexe-II).

Le décret exécutif n°07-149 règle tous les processus d'utilisation des eaux usées épurées par les stations d'épurations, par une demande adressée par un concessionnaire au Wali de la région, cette demande comporte une convention avec la station d'épuration qui fournit les eaux usées épurées.

Le contrôle technique, la gestion des périmètres irrigués et le contrôle sanitaire ainsi que la qualité de l'eau épurée et des produits agricoles est assurée par les directions territoriales de chaque wilaya sous tutelle de différents ministères : ressources en eau, agriculture, santé, environnement et commerce, selon les deux arrêtés interministériels du 15 juillet 2012 (Annexes-II-JO N°41), définissant les spécifications des eaux usées épurées physico-chimique et microbiologique utilisées à des fins d'irrigation et fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec ces eaux (Annexes-II). Il a été souligné dans la liste des cultures à irriguer ce qui suit :

- L'irrigation avec des eaux usées épurées du groupe d'arbres fruitiers, est permise à condition que l'on cesse l'irrigation au moins deux (2) semaines avant la récolte. Les fruits tombés au sol ne sont pas ramassés et sont à détruire.

- Pour le groupe de cultures fourragères, le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux usées épurées est strictement interdit et, ce afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs.

2.6.2. Analyse des normes en usage

L'Algérie, qui s'appuyait jusqu'à maintenant sur la réglementation sur l'eau et sur l'environnement, avait besoin d'une norme pour appuyer cette législation. Ce projet de norme récemment approuvé se veut donc une référence de base qui servira à encadrer les activités de réutilisation des eaux usées épurées. Il s'agit d'un projet évolutif qui pourra être affiné avec le temps, en fonction des modifications possibles aux usages, aux volumes ou aux procédés d'épuration utilisés. Qui plus est, et à l'exemple d'autres pays méditerranéens, des réglementations régionales ont complété le cadre proposé, en fonction des spécificités inhérentes de ces régions.

Il a été tenu compte de plusieurs paramètres pour la mise en place de cette norme sur la réutilisation des eaux usées épurées:

- Le niveau d'industrialisation du pays;
- La capacité de faire respecter les normes;
- Les connaissances des utilisateurs;
- La possibilité que les produits issus des activités de réutilisation des EUE puissent être contaminés hors du circuit de production;
- Le coût du traitement pour rendre l'effluent utilisable selon la norme choisie;
- Le concept du risque maximal acceptable.

Un bon nombre de bénéfices potentiels peuvent être obtenus en fournissant des infrastructures et des règles minimales qui constitueront la base des activités de réutilisation des eaux usées épurées dans un pays durement touché par le manque d'eau. Ces activités pourront se traduire par un meilleur engagement dans des secteurs comme la production alimentaire ou le tourisme, tout en minimisant les risques pour la santé.

2.6.3. Le référentiel de normes choisies

Normes microbiologiques :

Les risques pour la santé incluent principalement les risques microbiologiques et les risques chimiques. Comme la réutilisation des eaux usées épurées, autre que pour l'eau potable, est et demeurera sans doute, l'utilisation principale pour les projets de réutilisation pour plusieurs années encore, les recommandations ont principalement porté sur les risques microbiologiques.

Conséquemment, pour le cas de l'Algérie, il a été suggéré de baser le projet de norme sur le référentiel OMS, qui offre plus de flexibilité en termes de traitement des effluents, car moins restrictif en termes de contenu bactériologique. En fait, lorsque nous parlons de recommandations de l'OMS, nous faisons référence à la version de 2000 qui présente des limites fixes. La version de 2006 offre plus de latitude en termes de moyens pour gérer les risques liés à l'utilisation des eaux usées épurées. Ces normes sont destinées à une utilisation internationale, et sont donc adaptées aux pays en voie de développement

L'irrigation, avec des eaux usées épurées des cultures maraîchères dont les produits sont consommés crus est interdite. Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées épurées ne doivent porter aucune culture, autre que celles figurant sur la liste indiquée.

Normes physico-chimiques

Pour les paramètres physico-chimiques, les normes de rejet de la FAO, étaient une bonne référence de base utilisées avec succès dans plusieurs pays, dont l'Algérie. Cette norme a été bonifiée en limitant la teneur de certains éléments que l'on peut retrouver dans les eaux usées épurées algériennes comme le mercure, les cyanures et les phénols. Une caractérisation des effluents des stations d'épuration des eaux usées pourra servir à mieux cerner les contaminants de nature

chimique et à orienter l'établissement de la norme au niveau de ces éléments (produits chimiques, fertilisants, métaux lourds, éléments traces, etc.). L'ensemble des mesures.

En plus des critères proposés par la FAO pour les éléments traces (voir Annexe-II), il a été suggéré d'ajouter les éléments suivants : mercure, phénols et cyanures. Ces ajouts sont faits en raison de la présence en Algérie d'industries générant potentiellement des rejets contenant ces substances et de leur impact important sur la santé humaine.

2.6.4. Aspect institutionnel

La réutilisation des eaux usées est actuellement du domaine du Ministère des Ressources en Eau (DMRE – ANBT, DAPE - ONA, DHA - ONID, AGIRE - ABH) et du Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Locales (APC ;...), avec la participation active des Ministères de la Santé, du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement de L'Agriculture, du Ministère du Commerce ou encore du Ministère du Tourisme à l'échelon national et, éventuellement, à l'échelon des wilayas. Étant donné le nombre d'organismes publics susceptibles d'être concernés par la réutilisation des eaux usées, il a été important de renforcer leur coopération en créant un comité interministériel pour :

- Élaborer une politique nationale ou régionale cohérente en matière de réutilisation des eaux usées et de surveiller l'application;
- Répartir les responsabilités entre les différents ministères et organismes concernés et définir les modalités de leur collaboration;
- Évaluer les projets de réutilisation, en particulier du point de vue de la protection de la santé publique et de l'environnement;
- Veiller à la promotion et à la mise en œuvre de législations et de codes de conduite nationaux;
- Élaborer une politique rationnelle de formation professionnelle dans ce secteur.

Dans certains pays, un organisme distinct, institué à l'échelon national ou local, a été chargé non seulement de planifier la réutilisation des eaux usées, mais aussi de gérer le secteur. Quelle que soit la forme institutionnelle adoptée, pour laquelle il n'existe pas de modèle, cet organisme doit veiller à la mise en œuvre des politiques adoptées. Au niveau des projets, il est plus facile de protéger la santé quand les projets sont gérés par un organisme unique, qu'il s'agisse d'une société privée, d'une coopérative ou d'un organisme public.

CHAPITRE 3 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

3.1. Description Générale :

La wilaya de Tipaza, dont le chef-lieu est situé à 68 Km à l'Ouest de la capitale d'Alger, au nord du Tell central. Cette wilaya s'allonge en bordure de la méditerranée sur près de 123 Km, limitée géographiquement par :

- La wilaya d'Alger à l'est.
- La wilaya de Blida au sud ;
- La wilaya de Aïn Defla au sud-ouest ;
- La wilaya de Chlef à l'ouest ;

Selon le recensement de 2008, la population de la wilaya est de 617 661 habitants et couvre une superficie de 1 707 Km², soit une densité de 362 hab./Km².

Sur le plan administratif, la wilaya de Tipaza compte 28 communes et 10 Daïras. Elle dépend de l'Agence de Bassin Hydrographique de «l'Algérois-Hodna-Soummam» et de l'Agence du Bassin Hydrographique « Chelih-Zahrez ».

Par sa position en bordure de mer, la richesse de ses terres agricoles et son passé historique, le développement économique de la wilaya de Tipaza est axé sur l'agriculture maraîchère, la pêche, l'industrie et le tourisme.

La wilaya de Tipaza dispose d'un potentiel touristique et d'un patrimoine historique important, avec l'existence de 51 plages dont 39 sont ouvertes à la baignade en plus de nombreuses criques, baies, et autres falaises offrant d'indéniables possibilités touristiques. Ces secteurs constituent un atout appréciable pour le développement socio-économique de la wilaya car une affluence considérable est enregistrée chaque année.

Le territoire est découpé en trois grandes zones géographiques :

- La Plaine de Mitidja, couvre 17% de la superficie totale de la wilaya. La SAU représente 33% de la SAU totale de la wilaya. Son agriculture irriguée est quasiment en totalité sur le GPI de la Mitidja Ouest et, la PMH ne représente que 8% des terres en PMH dans la wilaya.
- Le Sahel Algérois, cette zone représente 12,5% de la superficie totale de la wilaya, avec 18% de la SAU de la wilaya et 59% de la PMH.
- Le Massif du Zaccar, en bordure de mer, représente 70% du territoire, occupant 49% de la SAU de la wilaya et 33% de la PMH.

Le potentiel en sol de la wilaya de Tipasa est de 72 929 ha, dont 64 772 ha de surface agricole utile (SAU).

Par ailleurs, la ville de Tipaza fait partie du bassin hydrographique Côtier-Algérois qui se caractérise par un climat de type méditerranéen avec des hivers frais et humides et des étés chauds et secs.

Les précipitations interannuelles varient entre 500 et 900 mm sur les zones côtiers et 600 à 1 100 mm à l'intérieur de la Mitidja. La période la plus sèche est durant les mois de Juin, Juillet et Août alors que décembre, avec 101 mm de précipitation, correspond au mois le plus pluvieux.

La température moyenne annuelle est d'environ 18,2°C avec des températures estivales moyennes d'environ 24°C et des températures hivernales moyennes aux alentours de 11°C, les moyennes annuelles des températures mensuelles maximales et minimales étant respectivement 27°C en mois d'Août et en mois de janvier 10°C (Source ANRH Soumaa).

L'humidité est modérée tout au long de l'année avec une valeur moyenne de 73,5%, les valeurs maximales sont atteintes durant les mois d'hiver (75-80%) et les plus faibles sont en été.

Le vent présente des vitesses généralement modérées aux alentours de 3,6 Km/h, les vents dominants sont de direction Ouest. Le sirocco qui est un vent saharien violent, très sec très chaud, souffle en moyenne pendant 18 jours, présent dans la région peut avoir certains effets nuisibles. La durée moyenne d'ensoleillement à Baraki est de l'ordre de 2 650 heures par an.

L'évapotranspiration de référence (ETP) estimée par la formule de Penman, dans la zone du projet se trouve dans l'intervalle 1 000-1 200 mm d'ETP est de 1 189 mm/an à Baraki, les valeurs les plus élevées se produisant de Mai à Septembre. (Les facteurs climatologiques sont présentés en Annexes-III-1).

3.2. Les indicateurs des ressources en eau dans la zone d'étude :

3.2.1. Potentialités en ressources en eau et la mobilisation

Dans un climat aride et semi-aride où la rareté de l'eau entraînée ces dernières années par les changements climatiques nous amène à mobiliser d'importance ressources pour couvrir le déficit en eau d'irrigation des cultures agricoles pour atteindre un rendement agricole appréciable.

A cet effet l'utilisation des eaux usées épurées représentent ces dernières années une solution alternative pour combler le déficit en eau d'irrigation. La wilaya de Tipaza dispose d'un réseau hydraulique important. D'Est en Ouest :

- Oued Mazafran ;
- Oued El Hachem ;
- Oued Djer ;
- Oued Damous

La zone d'étude appartient au bassin versant « Côtiers Algérois (02) », le Sous-bassin versant: Côtiers Cherchell (0203), les principaux oueds sont : Nador, Bou Arbi, Hachem et Messelmoun. Ce sous bassin versant est d'une superficie de 116 486 ha. Le ratio mobilisable en eau superficielle est de 30%, et en eau souterraine est de 60%.

3.2.1.1.Eaux Superficielles

Les limites et extension du sous bassin versant (0203) sont : Les dépôts alluviaux de ces oueds sont accumulés dans la zone, limitée par la Méditerranée au Nord, par la Plaine de Mitidja au Sud, par le massif de Chenoua à l'Ouest et par la formation Astien à l'Est.

Par rapport à l'aspect géologique : les dépôts alluviaux sont formés autour des cours d'eau de Mazafran, Nador et Beni-Messour. Ces oueds coulent en direction Sud-Nord et les oueds de Mazafran et Nador passent à travers la Plaine de Mitidja. L'Oued Beni-Messour n'est pas long, son alluvion étant le plus pauvre.

En matière de mobilisation de l'eau superficielle, la wilaya de Tipaza compte (Tableau 7) :

- Un seul grand barrage, Boukourdane situé à l'aval de oued Hachem dont l'eau est destinée à l'alimentation en eau potable, en priorité, puis au GPI Mitidja Ouest et au périmètre ONID de Cherchell. Il est à signaler que le Barrage de Boukourdane reçoit un volume d'eau mensuel provenant de la prise Oued Nador.
- et d'un petit barrage Meurad (Boudjebroune), implanté sur oued Bou Chenoun. Il est à signaler que sur les retenues collinaires et petits barrages existants, celui de Meurad, est le seul qui alimente des zones d'irrigation de la PMH. Les autres ont subi un envasement plus ou moins conséquent et ne sont plus fonctionnels pour l'alimentation de la PMH.

Tableau 7 : Caractéristiques des ouvrages de mobilisation

Barrage	Mise en eau	Capacité Initiale (hm ³)	Capacité (hm ³)	Volume 31 Mai 2015 et taux remplissage	Destination
Boukourdane	1992	97,00	105	8.78 hm ³ 36.93 %.	AEP: 51 000m ³ /j IRR : 4 hm ³
Meurad	1860	0,32	0,2	0.20 hm ³ 97.50 %.	IRR

3.2.1.2.Eaux Souterraine,

La wilaya de Tipaza comprend de nombreuses unités hydrogéologiques avec plusieurs aquifères exploitées par l'irrigation. Les plus importantes :

- la formation dunaire Ouest Sahel, s'étend sur le littoral Est de la wilaya (code 42_1b_1) ; possède des alluviaux monocouches libres, sans liaison avec les cours d'eau, lui fournissant une puissance et une réserve faible ;
- le système d'aquifère des monts du Zaccar (code 42_5_1) caractérisé par des aquifères multicouches, sans nappe libre significative, et présente un aquifère captif en profondeur ;
- la nappe de la plaine de la Mitidja, s'étend sur le flanc, Sud Ouest de la wilaya (code 42_4_1). Caractérisée par des aquifères multicouches, à nappe libre.

Le volume mobilisable des ressources en eau souterraines est estimé à environ 109,2 hm³.

Dans notre zone d'études, lors des crues, les oueds alimentent l'aquifère d'alluvions Oued Nador (~ 150 km²), et inversement pendant la période sèche les aquifères alimentent les oueds au cours l'irrigation. Il y a des nombreuses sources à la bordure des plaines alluviales de débit Q= 0.1 à 1.0 l/s. L'exploitation des eaux souterraines, se fait à travers 660 forages mobilisant 447 519 m³/j, dont la dernière affectation (Mars 2015), est comme suit :

- Alimentation en eau potable 70%
- Industrie 27%
- Irrigation 0,3%

Ces chiffres démontrent que l'eau souterraine est exclusivement destinée à l'alimentation en eau potable et industrie. Pour la patrie exploitée en agriculture se fait à travers des puits et des forages.

3.2.1.3.Eaux Non Conventiennelle,

Le stress hydrique, que la wilaya de Tipaza le vit depuis les années 2000, a fait qu'un riche programme de mobilisation de ressources en eau non conventionnelle a été tracé. La priorité a été donnée à la satisfaction des besoins en eau potable et industrielle et la réaffectation de la ressource superficielle (Barrages) à l'irrigation.

1. Eaux de mer dessalée :

La wilaya de Tipaza a bénéficié de deux(02) stations de dessalement de l'eau de mer, pour satisfaire l'alimentation en eau potable de plus de 500 000 habitants.

- 01 grandes stations (SDEM), installée à Fouka (Douaouda) et mise en service en 2011, de capacité de production d'eau de 120 000 m³/j. Cette station est gérée par la société de projet en mode BOT : MIYAH TIPAZA (AEC/ SNC LAVALIN/ PREDESA (Canada/Espagne). Le rendement de production (janvier-juin 2014) est de 83%. La population desservie est de 588 328 habitants (400 000 hab. Tipaza + 188 328 hab. Alger).

- 01 station Monobloc, située à BouIsmaïl, installée en 2002 dans le cadre de programme d'urgence, de capacité de 5 000 m³/j. Le rendement de production varie entre 40 et 55%. Cette station est gérée par la SPA "SEAAL".

2. Eaux Usées Épurées :

Les potentialités en eau usée épurée dans la wilaya de Tipaza sont estimées à capacité installée à 32 985 m³/j (12hm³/an), produites à partir des trois STEP fonctionnelles actuellement : Chenoua, Hadjout et Koléa. Le volume interannuel stocké et susceptible d'être mobilisé est de 4,23 Million de mètre cube, soit 35%, du volume total de la capacité installée.

Ce volume peut satisfaire en partie les besoins en eau d'irrigation des périmètres existants à proximité des STEP d'une superficie totale de 811 hectares.

D'une façon générale, une réutilisation des eaux usées épurées se fait indirectement au fil de l'eau et via les barrages.

3.3. **Agriculture / Déficit / Affectation**

Le potentiel en sol de la wilaya de Tipaza est de 72 929 ha, dont 64 772 ha de surface agricole utile (SAU). La superficie irriguée est estimée à fin 2004 à 12 215 ha avec un taux d'irrigation de 18,9% par rapport à la SAU. Les terres sont délimitées en trois grandes zones agro-climatiques ;

- La première étant le Sahel qui englobe toute la SAU du littoral dont la vocation est essentiellement maraîchère ;
- La seconde dénommée la plaine de la Mitidja constitue le futur berceau d'une agriculture intensive avec la mise en eau du périmètre irrigué. Ce périmètre couvre une superficie de 14 000 ha.

Les cultures principales de cette zone sont les agrumes, l'arboriculture fruitière, la pomme de terre, les fourrages et les céréales. Ce sera aussi le futur bassin laitier de la Mitidja Ouest.

- La troisième zone est formée par une zone montagneuse. Elle est constituée par les monts du Dahra, le Zaccar et celui du Chenoua. Elle est particulièrement favorable à l'arboriculture rustique ainsi qu'à l'élevage local bovin et caprin.

Les cultures pratiquées sur les terres de la wilaya varient selon la nature du sol. Elles sont dominées par les cultures suivantes :

- Céréales : 19 866 ha (30,7%) ;
- Maraichages : 14 623 ha (22,6%) ;
- Arboriculture : 8 823 ha (13,7%) ;
- Fourrages : 6 103 ha (9,5%) ;
- Viticulture : 4 133 ha (6,4%) ;
- Légumes secs : 398 ha (0,7%) ;
- Cultures industrielles : 455 ha (0,7%).

3.4. **Assainissement / STEP**

La wilaya de Tipaza dispose d'un réseau d'assainissement de linéaire total de 1 100Km dont 58 Km concernent le chef-lieu de la wilaya de Tipaza. Le taux de raccordement à l'égout urbain pour toute la wilaya est de 97%, véhiculant un volume d'eaux usées rejetées brutes de 97 398 m³/j.

La wilaya de Tipaza est dotée de trois (03) stations d'épuration des eaux usées urbaines des villes de Tipaza, Hadjout et Koléa et une (01) station en cours de travaux (Tableau 8).

L'assainissement de la wilaya de Tipaza a été confié à la SPA SEAAL en gestion déléguée depuis le 02 janvier 2012. Cette SPA gère le réseau d'assainissement des vingt-huit (28) communes que compte la wilaya, ainsi que les 23 stations de relevage en exploitation.

Tableau 8 : Les potentialités en irrigation situés à proximité des STEP Chenoua (Tipaza).

Nom STEP	Etat STEP	Date Mise en service	Capacité Eq/Hab.	Capacité Fonctionnelle STEP (m ³ /j)	Volume Estimé Stockage Interannuel (Hm ³)	Potentialité IRR à proximité des STEP (ha)
Tipaza (Chenoua) (**)	Exploitation	2008	70 000	11200	0.5	100
Hadjout(*)		2006	70 000	11 500	1.37	295
Koléa		1986-2006	75 000	10 985	2.36	416
Bou Smail	Travaux	/	320 000	32 000	1.18	200
Total			535 000	65285	5,41	1 011

(*) : Situé dans le GPI Mitidja Ouest, d'une superficie irrigable de 21 273 ha, géré par l'ONID.

(**) : Situé à l'aval du GPI Sahel Algérois, d'une superficie irrigable de 2 570 ha, géré par l'ONID.

Les périmètres d'irrigation disponibles à proximité de ces STEP d'une superficie de 1 011 hectares, dont 295 hectares sont situés dans le grand périmètre (GPI) de la Mitidja Ouest (figure 5). La majeure partie c'est de la petite moyenne hydraulique (PMH).



Figure 6 : Localisation de la STEP Tipaza par rapport à la STEP Hadjout sur Oued Nador.

Partie Expérimentale

CHAPITRE 4 : PRÉSENTATION DE LA STATION D'ÉPURATION DE CHENOUA

4.1. Description et Situation géographique :

La station d'épuration des eaux usées (STEP-Chenoua) est située à la sortie de la ville de Tipaza sur la route allant vers Chenoua juste à la sortie de la ville. Cette station est destinée à épurer les eaux usées domestiques avant rejet dans l'oued Nador et la mer (figure 7). Située à 70 km à l'Ouest de la capitale Alger, la ville de Chenoua est localisée dans la wilaya de Tipaza. La présence de la mer et des reliefs du mont Chenoua donne un paysage particulier à cette ville côtière qui compte 12 534 habitants.

L'assiette de la STEP est d'une superficie est de 40 819 m². Elle est du type « boues activées à une faible charge massique à aération prolongée ». Sa mise en service était en janvier 2008 pour protéger l'Oued Nador et la mer.

La charge polluante de 4 200 kg DBO₅/j a été retenue, ce qui correspond à 70 000 EH (en considérant 60 g DBO₅/EH*j). Un volume journalier de 11 200 m³ a été pris en compte à capacité installée et de 16 800 m³/j à capacité de saturation à l'horizon 2020 (Tableau 9).

Le volume réel entrant à la STEP est de l'ordre de 6 500 m³/j, avec un taux de collecte de 62%. La concentration de la biomasse dans le bassin aération est de 3g/l, soit une charge massique de 0.23Kg.

Qualité des eaux usées épurées

- DBO₅ < 25 mg/l ;
- DCO < 90 à 120 mg/l ;
- MES < 25 mg/l ;
- pH : 6,5 à 8.



Figure 7 : la STEP Chenoua

Le système d'assainissement Chenoua de l'unité de Tipaza, était géré depuis sa mise en service par l'Office National de l'Assainissement (ONA), puis cette gestion a été transférée à SEAAL (SPA : Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Alger), le 02 janvier 2012.

Le volume réel entrant à la STEP est de 6 500 m³/j, avec un taux de collecte de 62%. Le système d'assainissement Chenoua de l'unité de Tipaza, était géré depuis sa mise en service par l'Office National de l'Assainissement (ONA), puis cette gestion a été transférée à SEAAL (SPA : Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Alger), le 02 janvier 2012.

4.1.1. Objectif de l'épuration :

La station d'épuration chenoua était conçue dans l'objectif de protection de l'environnement (oued, nappe et la mer) ainsi que la santé publique par l'élimination de la pollution organique issue des

rejets urbains des localités de quatre villes urbaines et semi urbaines : Tipaza, Nador, Sidi Moussa et Sidi Amar.

Tableau 9 : Débit de dimensionnement de la STEP de Tipaza pour différents horizon

Désignation	Horizon 2010	Horizon 2020
Capacité STEP (EH)	70 000	105 000
Charge Hydraulique :		
- Débit journalier (m ³ /j)	11 200	16 800
- Débit moyen horaire (m ³ /h)	467	700
- Coefficient de pointe (Cp)	1,79	1,72
- Débit de pointe (m ³ /h)	803	1 176

Les différents degrés de traitements conventionnels au niveau de cette station Chenoua, se résument comme suit (figure 8) :

- Le traitement préliminaire : enlèvement des solides grossiers et d'autres grands fragments de l'eau usée brute ;
- Le traitement primaire : enlèvement des solides organiques et inorganiques sédimentables ainsi que les matériaux flottants ;
- Le traitement secondaire : enlèvement des matières organiques solubles et des matières en suspension des eaux usées épurées primaires ;
- Le traitement tertiaire et/ou avancé : enlèvement de constituants spécifiques de l'eau usée tels que les nutriments et les métaux lourds, qui ne sont pas enlevés par le traitement secondaire. La désinfection, habituellement avec du chlore, est employée pour réduire les constituants microbiologique.

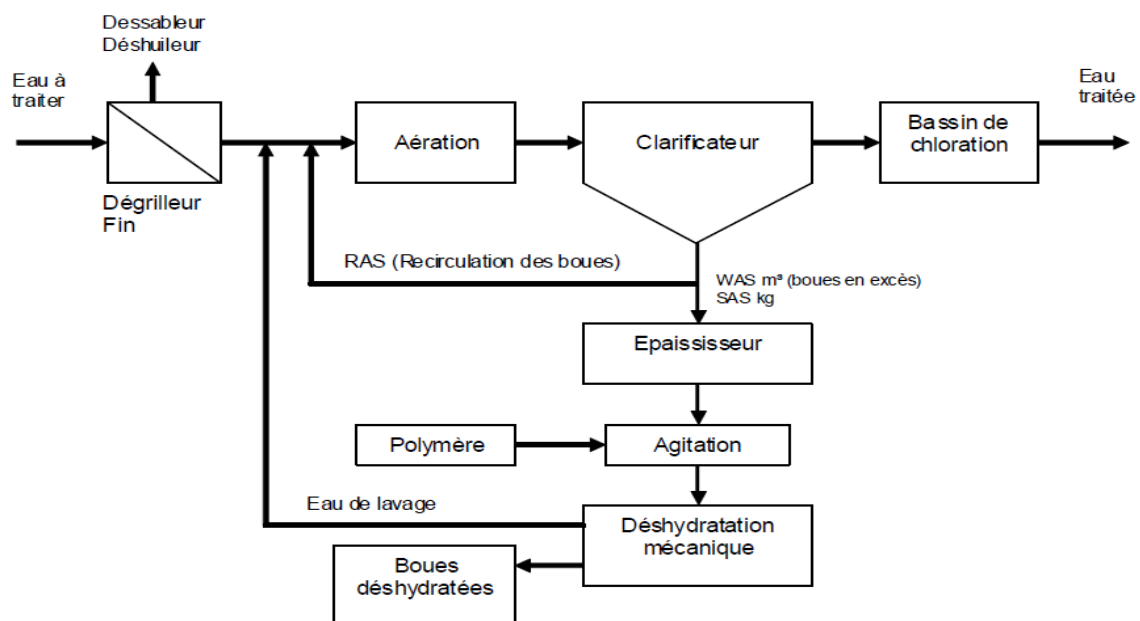


Figure 8 : Représentation schématique de la station d'épuration Chenoua

La filière biologique de traitement des eaux est composée de deux bassins d'aération et de deux clarificateurs secondaires (figure 8). Les bassins d'aération ne sont pas structurellement divisés en différentes zones, mais peuvent, par la forme allongée et les trois aérateurs de surface aménagés

longitudinalement, créer différents milieux (*aérobie, anoxique*). *Pour cette raison une dénitrification partielle est possible*. Le volume d'un bassin d'aération est de 6 000 m³.

Autres filières de traitement sont le traitement mécanique qui est composé d'un dégrilleur automatique fin (espacement entre barreaux de 20 mm), le dégrillage grossier (espacement de 50 mm) ayant déjà été assuré dans le poste de relevage en amont, d'un ouvrage aéré de forme tronconique comme dessablage-dégraissage, d'une clarification finale qui sépare la boue activée de l'eau clarifiée ainsi d'un ouvrage de chloration. Le bassin de chloration y existe par contre la chloration n'est pas pratiquée.

La stabilisation (minéralisation) des boues secondaires s'effectue au sein même du bassin d'aération. Le traitement des boues issues de la clarification comporte deux étapes :

- ✓ un épaissement statique
- ✓ une déshydratation mécanique

Les boues sont ensuite transportées dans l'agriculture.

4.1.2. Caractéristiques de la STEP :

4.1.2.1. Dimensionnement de la STEP/

A l'entrée de la station, les MES = 210,90 mg/l - MVS = 130,65 mg/l, les dites teneurs caractérisent la qualité d'une eau usée urbaine à prédominance domestique moyennement chargée, si l'on tient compte du tableau de Metcalf et Eddy (Annexes III-2).

A la sortie de la station, les MES = 11,30 mg/l - MVS = 10,45 mg/l, ces dernières semblent respecter les normes de rejet exigées pour cette station d'épuration, c'est-à-dire renferment un traitement complet avec nitrification partielle de NH₃ du type « E », elles sont également indiquées en gras et en soulignés.

Pour ces dits paramètres chimiques, les rendements épuratoires de la STEP sont les suivants : MES = 95,05% - MVS = 91,40% : le rendement épuratoire global de la STEP les concernant avoisine les 92,70%.

Le pH moyen de l'eau brute avoisine à l'entrée de la STEP de Tipaza les 7,9 et à la sortie les 7,85. Ce dernier semble satisfaire aussi les exigences recommandées pour la STEP, sont: 6,5 et 8,5.

4.2. Situation existante de l'irrigation à proximité de la STEP Chenoua

La STEP de Chenoua est située à l'Est de l'agglomération de Tipaza. Les eaux usées épurées sont rejetées dans l'oued Nador qui longe la STEP pour être véhiculées dans la mer qui se situe à proximité de la STEP.

Même avant la création de la STEP les agriculteurs avaient l'habitude d'utiliser les eaux non épurées de l'oued pour faire une irrigation à point en période de sécheresse ; les eaux brutes étaient alors utilisées. Depuis la construction, et vue la proximité de la mer, les eaux usées épurées ne sont utilisées que ponctuellement par quelques paysans avoisinants. A l'état actuel il n'existe pas d'infrastructures permanentes pour irriguer à partir des eaux provenant de la STEP.



Figure 9 : les périmètres agricoles situés à proximité de la STEP-chenoua (Tipaza)

Pour les principales cultures agricoles qui s’y prêtent le mieux pour une irrigation avec les eaux usées épurées les besoins en eau ont été calculés et estimés à l’aide du logiciel (source ANRH-service pédologie).

Les tableaux 10 et 11, ci-dessous illustrent les résultats des besoins en eau par culture avec et sans pluviométrie. Comme l’efficacité du réseau de la source jusqu’à la plante pour la méthode goutte-à-goutte 0,90 est prise et pour l’aspersion 0,80. L’aspersion n’est proposée uniquement pour la culture fourragère, luzerne.

Pour faciliter l’estimation de la superficie irrigable à partir d’une STEP les besoins en eau sont calculés par mois. Deux efficacités de la pluviométrie sont prises en compte ; efficacité qui dépend de la hauteur de la pluie 0-4 % pour illustrer les besoins en eau en cas de manque total de pluviométrie; le cas le plus défavorable.

Tableau 10 : Besoins en eau des cultures avec pluviométrie

Mois	ETo mm/jr	Pluviométrie		Vigne		Agrumes		Pomme de Terre Primeur		Pomme de Terre Saison		Luzerne	
		mm/mois	Pluv. Eff. mm/mois	mm/jr	m3/mois/ha	mm/jr	m3/mois/ha	mm/jr	m3/mois/ha	mm/jr	m3/mois/ha	mm/jr	m3/mois/ha
Janvier	1.24	80.0	40.0	-0.77		-0.60		0.01	2	-1.38			
Février	1.81	81.0	40.8	-0.82		-0.09		-1.22		-0.18		-0.47	
Mars	2.56	73.0	34.4	-0.38		0.65	215			1.46	488	1.05	372
Avril	3.25	61.0	26.6	0.09	29	1.28	427			2.53	947	2.07	731
Mai	3.94	40.0	14.0	0.72	252	1.99	663			3.39	1,273	3.12	1,101
Juin	4.52	17.0	0.2	1.35	450	2.61	872			3.60	450	4.11	1,449
Juillet	5.00	4.0	0.0	3.05	1,051	2.85	950					4.55	1,606
Août	4.89	6.0	0.0	3.81	1,314	2.79	929					3.96	1,398
Septembre	3.81	35.0	11.0	2.61	868	1.81	602					1.46	1,032
Octobre	2.68	76.0	36.8	0.86	311	0.32	106	0.11	38				
Novembre	1.72	96.0	52.8	-0.42		-0.75		-0.61					
Décembre	1.33	115.0	68.0	-1.28		-1.48		-0.84					
					4,275		4,764		40		3,158		7,689

«Source ANRH » *Logiciel estimation des besoins : Cropwat Version 8.0*

Tableau 11 : Besoins en eaux des cultures sans pluviométrie

Mois	ETo	Pluviométrie	Pluv. Eff.	Vigne		Agrumes		Pomme de Terre		Pomme de Terre Saison		Luzerne	
	mm/jr	mm/mois	mm/mois	mm/jr	m3/mois/ha	mm/jr	m3/mois/ha	mm/jr	m3/mois/ha	mm/jr	m3/mois/ha	mm/jr	m3/mois/ha
Janvier	1.24	80.0	0.0	0.56	188	0.73	244	1.34	446	0.62	155		
Février	1.81	81.0	0.0	0.54	181	1.27	422	0.14	45	1.18	441	0.89	333
Mars	2.56	73.0	0.0	0.77	256	1.79	597			2.61	979	2.20	826
Avril	3.25	61.0	0.0	0.98	325	2.17	722			3.41	1,280	2.96	1,109
Mai	3.94	40.0	0.0	1.18	394	2.46	819			3.86	1,448	3.59	1,345
Juin	4.52	17.0	0.0	1.36	452	2.62	874			3.62	452	4.11	1,542
Juillet	5.00	4.0	0.0	3.05	1,017	2.85	950					4.55	1,706
Août	4.89	6.0	0.0	3.81	1,271	2.79	929					3.96	1,485
Septembre	3.81	35.0	0.0	2.97	991	2.17	724					1.83	1,372
Octobre	2.68	76.0	0.0	2.09	697	1.55	515	1.34	447				
Novembre	1.72	96.0	0.0	1.34	447	1.01	338	1.15	384				
Décembre	1.33	115.0	0.0	0.99	330	0.78	262	1.42	474				
					6,548		7,396		1,797		4,755		9,717

«Source ANRH -2012»

4.2.1. Superficies potentiellement irrigables à partir de la STEP

En se basant sur les besoins en eaux cités ci-dessus, pour la STEP des superficies théoriquement irrigables à partir des eaux usées épurées, peuvent être estimées. Toutefois il s'agira d'un exercice plutôt théorique qui ne donnera qu'une idée globale des potentialités. Dans les tableaux 10 et 11, ci-après à titre informative et que pour les cultures les plus pratiquées pour la STEP une analyse quantitative a été faite.

La STEP Chenoua est située à proximité de la mer, de ce fait l'irrigation des superficies entraîne vite le besoin de pomper les eaux et ainsi donc d'augmenter non seulement les coûts d'investissement mais également les coûts de fonctionnement. Le mètre cube d'eau, même si les eaux usées épurées sont disponibles gratuitement, devrait donc porter un coût assez élevé pour couvrir le fonctionnement.

Des tableaux ressort qu'en utilisant les débits des eaux usées épurées actuellement la STEP et dépendant des cultures choisies les superficies suivants pourront être irriguées : 153 ha pomme de terre à 154 ha de vigne.

Car il est peu probable qu'une seule culture soit pratiquée, le tableau 12, ci-après illustre par culture le potentiel maximale. Avec l'accroissement de la population on assiste à l'accroissement des débits traités donc des superficies irrigables avec ces eaux.

Tableau 12 : Analyse des potentialités théoriques de superficies irrigables

Mois	STEP		Besoins des cultures							
	Chenoua	Chenoua	Vigne		Agrumes		Pommes de terre		Fourragère	
	m3/jr	m3/mois	m3/mois	ha	m3/mois	ha	m3/mois	ha	m3/mois	ha
janvier	6,851	205,519	188	1,093	244	843	155	1,326		
février	7,597	227,913	181	1,259	422	540	441	517	333	685
mars	8,223	246,700	256	964	597	413	979	252	826	299
avril	7,480	224,401	325	690	722	311	1,280	175	1,109	202
mai	6,998	209,934	394	533	819	256	1,448	145	1,345	156
juin	6,715	201,451	452	446	874	231	452	446	1,542	131
juillet	6,907	207,217	1,017	204	950	218			1,706	121
août	6,483	194,476	1,271	153	929	209			1,485	131
septembre	6,846	205,367	991	207	724	284			1,372	150
octobre	6,480	194,397	697	279	515	377				
novembre	5,102	153,063	447	342	338	452				
décembre	5,542	166,274	330	505	262	636				
Superficie maximale sans pluviométrie				153		209		145		121

«Source ANRH -2012»

En analysant les besoins en eau pour les différentes cultures et en les comparant avec les données sur les quantités d'eaux usées épurées par la STEP Chenoua (données 2012) les observations suivantes peuvent être faites :

- Les mois déterminants sont entre le mois de Mai et le mois de Septembre ; il s'agit des mois pendant lesquels la pluviométrie est négligeable et les besoins en eau des plantes sont maximales ;
- Les superficies irrigables sont basées sur les quantités d'eau de 2012 ; la capacité maximale de la STEP est supérieure et dépend de la population ; on peut s'y attendre à une augmentation annuelle des volumes d'eaux traitées (nouveau raccordement à l'égout) ;
- De manière générale plusieurs cultures sont pratiquées sur les superficies autour de la STEP ;
- Les cultures fourragères sont les plus consommatrices ceci est dû également au fait que ces cultures ne se prêtent guère à l'irrigation goutte-à-goutte ;
- Les chiffres illustrés dans les tableaux sont les plus défavorables (pas de pluviométrie et efficacité de l'irrigation prudente) ;
- Les chiffres ne prennent pas en compte la qualité des eaux mais se basent sur le fait que les qualités d'eaux usées épurées satisfassent les critères légaux des normes publiées.

4.3. Débits journaliers moyens par mois et charges journaliers de la STEP de Chenoua, eaux brutes / eaux épurées, pour les mois de juin, juillet et août de l'année 2014 et 2015 :

Les caractéristiques de la STEP chenoua, présentées dans le tableau 13 ci-après, montre une légère différence entre l'année 2014 et 2015 et la variation des débits et charges polluantes durant les trois mois choisis, correspondant à la période d'irrigation de pointe : juin, juillet et août.

Le débit moyen journalier d'eau usée épurée est entre 6 000 et 6 500 m³/j, Ainsi, que le rendement épuratoire de la STEP est très satisfaisant. Le faible débit s'explique par le fait que le volume maximal correspond aux eaux usées domestiques et pluviale. Le réseau est partiellement unitaire.

Ainsi ces valeurs nous indiquent que la STEP fonctionne entre 40 et 54% par rapport au dimensionnement initial indiqués précédemment et capacité installée, « La charge polluante de 4,2 Tonnes DBO₅/j retenue correspond à la capacité de 70 000 EH pour un volume journalier traité de 11 200 m³ ». Cette dernière pourra recevoir d'autres volumes eaux usées brutes suite à d'autres raccordements et pourra traiter une charge polluante plus élevée.

Tableau 13 : Débits journaliers moyen et Charge Polluantes

Désignation	Année 2014			Moyenne	Année 2015			Moyenne
	Juin	Juillet	Août		Juin	Juin	Juin	
Débits eaux usées épurées (m³/j)	5 600	6 400	7 600	6 533	6 266	5 470	6 328	6 021
Charge polluante eaux usées brutes (tonnes/jours)								
DBO₅	1,4	1,6	2,1	1,7	1,6	1,6	1,5	1,6
DCO	2,1	3,2	3,8	3,0	3,5	2,8	3,1	3,1
MES	1,9	2	2,2	2,0	2,2	2,5	1,9	2,2
Rendement d'épuration (%)								
DBO₅	98	98	97	97,7	96	98	96	96,7
DCO	94	94	95	94,3	92	94	92	92,7
MES	98	98	96	97,3	95	99	95	96,3

« Résultats du laboratoire de la STEP CHENOUA - Source : SEAAL »

Seulement, ces rendements peuvent changés pendant une plusieurs journées dans un mois, suite à certaines contraintes extérieures et/ou à l'intérieur de la STEP. C'est ce que nous avons pu constater, suite aux analyses ponctuelles, effectuées sur des journées précises, telle que la même période de chaque mois.

Cette première conclusion, sera analysée et revérifiée par les informations récentes, qualitatives, dans le chapitre suivant, obtenues et réalisées dans différents laboratoires choisis pour conclure sur la faisabilité de ce projet de réutilisation agricole des eaux usées épurées par la STEP Chenoua.

CHAPITRE 5 : PARTIE EXPÉRIMENTALE

5.1. Matériel et Méthodes

Une méthode a été arrêtée pour effectuer les analyses de la qualité de l'eau usées épurée de certains paramètres physico-chimiques et microbiologiques.

5.1.1. Prélèvement et échantillonnage

La STEP Chenoua est dotée d'un préleveur automatique, ce dernier a été utilisé pour nos prélèvements. Ainsi, l'échantillonnage moyen, a été effectué à partir de ce préleveur automatique « Endress+Hauser » (Photo N°).

Le mode opérateur de ce prélèvement :

Chaque 12 minute, un prélèvement de 100 ml se fait via ce préleveur.

On compte 12 litres d'eau prélevée dans les 24 heures, soient 10 échantillons chaque 2 heures.

Ces différents volumes prélevés sont conservés automatiquement, dans ce dernier à 4°C.



Photos 1: le Préleveur automatique.

Le nombre de l'échantillon moyen à analyser, était variable, en fonction des besoins en analyses de la qualité de l'eau usée (brute et épurée) : analyses physico-chimiques et bactériologiques.

Le nombre total d'échantillons analysés pour les prélèvements journaliers ponctuels du 27 juin, 28 juillet et 30 août 2015, est de dix-huit (18) :

- Six (06) échantillons, ont été prélevés pour la journée du 27 juin 2015, pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux brutes et épurées. Les destinations étaient vers les laboratoires d'Alger : SEAAL- ANRH- Parasitologie-mycologie du CHU Mustapha. Ce jour la météo indiquée une température de 35°C à Tipaza et de 34°C à Alger.
- Huit (08) échantillons, ont été prélevés pour la journée du 28 juillet 2015, pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques. Les destinations étaient vers les laboratoires d'Alger : SEAAL- ANRH- Parasitologie-mycologie du CHU Mustapha et le laboratoire du service d'hygiène de la wilaya de Tipaza. Ce jour la météo indiquée une température de 31°C à Tipaza et à Alger.
- Quatre (04) échantillons, ont été prélevés le 30 août 2015, pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques. Les destinations étaient vers les laboratoires d'Alger : SEAAL et le laboratoire du service d'hygiène de la wilaya de Tipaza. Ce jour la météo indiquée une température de 35°C à Tipaza et de 34°C à Alger.

5.1.2. Analyse de la qualité de l'eau usée (brute et épurée)

a) Détermination du pH : la Méthode Potentiométrique

Appareillage : pHmètre

Mode opératoire : Étalonner selon le mode opératoire de l'appareil au moyen de solution tampon commerciale prête à l'emploi et de pH connus : pH 4.01 ; pH 7 ; pH 10.01.

Les résultats sont exprimés en unité pH et sont lus directement sur l'écran du pH mètre (photos 2).



Photos 2: Débitmètre et conductimètre

b) Détermination de la conductivité électrique « CE » :

Appareillage : conductimètre

Mode opératoire : L'appareil mesure la tension aux bornes d'une cellule plongeant dans la solution à étudier et l'intensité du courant qui y circule.

Étalonner avec une solution KCL 0.01 mole/l. Cette solution a une conductivité de 1.413mS/cm à 25°C. L'eau utilisée : Eau distillée ou déminéralisée

Les résultats sont exprimés en micro siemens par centimètre (mS/cm) et sont lus directement sur l'écran du conductimètre. Cet appareil ressemble à celui du Ph mètre.

c) Détermination de la demande chimique de l'oxygène (DCO) : par oxydation au dichromate de potassium.

Appareillage : DCOmètre

- Bloc chauffant
- Boîtier de commande
- Appareil constitué de tube surmonté d'un réfrigérant.
- Burette de précision

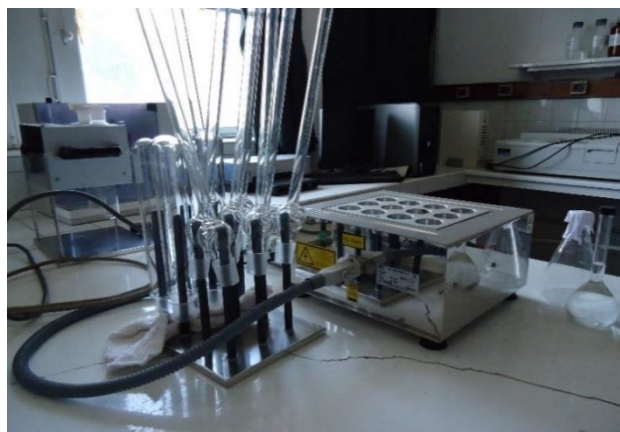


Photos 3: Appareil de mesure de la DCO (ANRH)

Mode opératoire :

Ebullition, dans un bloc chauffant, d'une prise d'essai de l'échantillon, en milieu acide, en présence de dichromate de potassium, de sulfate d'argent jouant le rôle de catalyseur d'oxydation et de sulfate de mercure permettant de complexer les ions chlorures

- L'oxygène consommé (en mg/l) est calculé après détermination de l'excès de dichromate par titration avec du sulfate de fer II et d'ammonium en présence d'indicateur.



Photos 4 : Appareil de mesure de la DCO (ANRH)

d) Détermination des Chlorures (Cl⁻) : spectrophotométrie à 490 nm.

Appareillage (photo 5)

Dispositif d'analyse à flux continu de type SKALAR « San⁺⁺ » composé de :

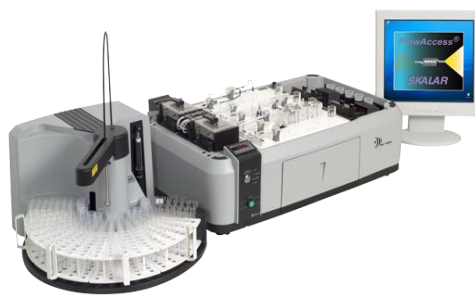
- Échantillonneur automatique ;
- Module de réaction chimique ;
- Colorimètre à absorption moléculaire ;
- Ordinateur ;

Principe : après complexations en thiocyanates

Les chlorures en présence de thiocyanate mercurique forment un chlorure mercurique soluble mais non ionisé ; les ions thiocyanates libres en présence d'ions ferriques, forment un complexe coloré rouge susceptible d'un dosage spectrophotométrique à 490 nm.



Photos 5 : Appareil pour détermination des chlorures



e) **Détermination du Calcium et Magnésium**

Calcium (photo N°) : complexomètre au crésolphtaleine

Principe :

L'échantillon est d'abord mélangé avec la solution 8- d'hydroxyquinoline afin de masqué le magnésium. Après dialyse, le calcium forme avec le crésolphtaleine en milieu alcalin un complexe mesurable à une longueur d'onde de 580 nm. (photos6)



Photos 6 : Appareil de détermination du Ca, Mg, Na et K

Magnésium**Principe :**

L'échantillon est dilué dans une solution saline et subit ensuite une dialyse en présence d'une solution tampon de Borax en même temps qu'une élévation de pH (10). L'ajout de bleu de xylydil forme avec le magnésium un complexe rouge dont l'absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 505 nm (photos 6).

f) **Détermination simultanée du Sodium et du Potassium****Principe :**

La mesure simultanée des éléments : Na, K, à partir d'un échantillon unique est effectuée au moyen d'un Photomètre de flamme (photos 6).

Le Protocole analytique pour ces deux cations est effectué conformément aux instructions fournies avec chaque appareil.

g) **Détermination du Bicarbonates (HCO₃⁻)**

Principe : La méthode automatique pour la détermination de bicarbonate est basée sur le changement de pH. L'échantillon est mélangé avec une solution faiblement tamponnée contenant un indicateur de pH (phénolphtaléine). La diminution du pH provoque la réduction de la coloration qui est mesurée à 550 nm

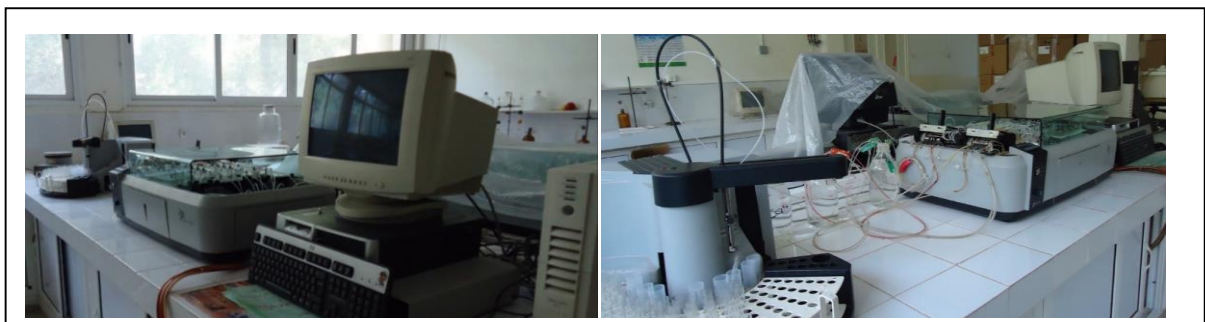


Photo 7 : Appareil automatique pour la détermination du Bicarbonate

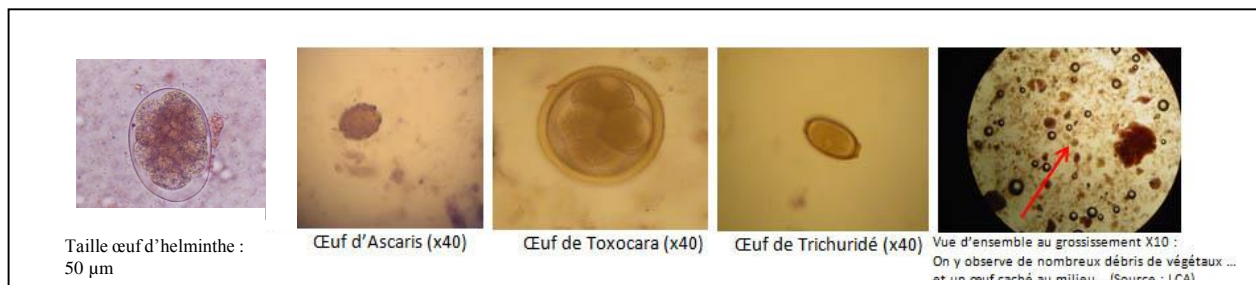
5.1.3. La recherche des Nématodes (parasites) et de germes pathogène :

Un (01) paramètre a été analysé dans le laboratoire parasitologie-mycologie du Centre Hospitalier Universitaire Mustapha, c'est la recherche des œufs d'helminthes dans les eaux usées brutes et épurées par la STEP Chenoua (W.Tipaza).

Introduction :

Les œufs d'helminthes pathogènes pour l'homme et mis en évidence dans les eaux usées appartiennent à différents groupes taxonomiques dont :

- les nématodes : *Ascaris sp*, *Toxocarasp*, *Trichurissp*, *Ancylostomaduodenale* ;
- les cestodes : *Taeniasaginata*, *Taeniasolium*, *Hymenolepissp* ;
- les trématodes : *Fasciolasp*, *Schistosomasp* [] (Bouhoum, 1987, Asmama, 1996).



L'objectif général de cette recherche est d'évaluer le niveau de la contamination en parasite des eaux usées domestiques collectées et traitées par la station d'épuration de Chenoua (STEP), afin de prévoir une réutilisation agricole sans nuire à la santé publique.

Méthodes de travail : Les prélèvements d'eaux usées brutes ont été effectués juste à l'entrée de la station d'épuration de Chenoua (W.Tipaza) au niveau du bassin de convergence des différentes canalisations ; quant aux eaux épurées, elles étaient prélevées à la fin de la filière de traitement des eaux usées.

Les Analyses parasitologiques : Ces analyses concernent les eaux usées brutes et celles épurées se sont déroulées au laboratoire parasitologie-mycologie.

De façon spécifique, il s'agit : de rechercher les œufs d'helminthes présents dans les eaux usées brutes et épurées et éventuellement de décrire la variation de la concentration temporelle de la charge parasitaire « œufs d'helminthes » dans ces eaux usées.

Les deux échantillons moyens de 1 litre chacun

- les eaux à l'entrée de la STEP, brute ;
- les eaux à la sortie de la STEP, usée épurée ;



Photos 8 : les échantillons des eaux usées brutes et épurées (STEP-Chenoua)

Méthodes de travail :

Les prélèvements d'eaux usées brutes ont été effectués juste à l'entrée de la station d'épuration de Chenoua au niveau du bassin de convergence des différentes canalisations ; quant aux eaux épurées, elles étaient prélevées à la sortie de la station, à la fin de la filière de traitement des eaux usées.

Un échantillon composite de 1,5 litre a été prélevé pour l'analyse microbiologique. Ces prélèvements étaient répétés 2 fois à raison d'un prélèvement par mois (juin et juillet).

Les analyses parasitologiques consistent en la recherche de présence et de dénombrement des œufs d'helminthes, dans les eaux usées brutes épurées. Cette opération s'est déroulée dans le laboratoire parasitologie-mycologie du Centre Hospitalier Universitaire Mustapha (wilaya d'Alger).

Matériel utilisé :

Le matériel utilisé pour la réalisation de cette analyse qui consiste en un dénombrement était composé :

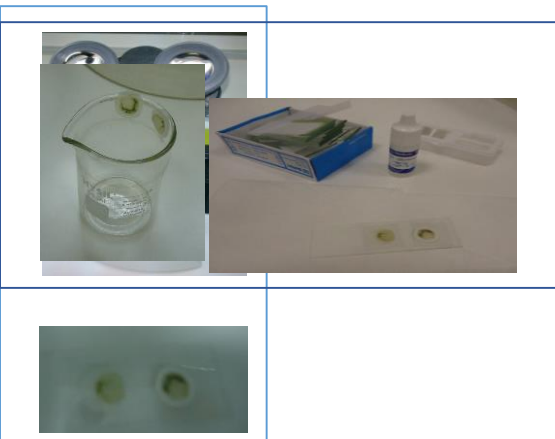
- des flacons, cristallisoirs, éprouvettes de 1 litre ;
- un dispositif de micro-filtre, papier filtre à 45 microns ;
- un entonnoir, une paire de ciseaux et seringues à 50 ml ;
- d'un microscope de marque Olympus;
- d'eau distillée, lugol.



Photos 9 : Matériel utilisé au Laboratoire Parasitologie

Mode Opératoire :

- Filtration d'un (1) litre d'échantillon à analyser, avec une seringue via le dispositif à micro-filtre ;
- récupération des filtres, dilution et coloration de ces dernières avant de les examiner au microscope ;
- sur des lamelles, observation et identification des microorganismes existants, sous l'objectif de 10X du microscope.



Photos10 : la recherche au microscope des parasites

Cette recherche a été basée sur des brochures (figure 10), qui ont aidé à identifier les parasites présents dans l'eau brute et épurée.



Figure 10 : Aide Brochures à identification des parasites

5.2. La Synthèse des Résultats Quantité/Qualité des Eaux Usées de la STEP Chenoua.

5.2.1. Débits ponctuels mesurés sur 8h des eaux brutes et eaux épurées :

Afin d'observer les différents débits d'eaux usées entrant à la STEP pendant une journée, nous avons choisi la période de travail des opérateurs de la STEP c'est-à-dire 8 heures, s'étalant de 8h du matin à 16h de l'après-midi. Chaque 2h, ces quantités d'eaux usées sont prélevées par les débitmètres installés à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Les débits obtenus sont illustrés dans le tableau 14 ci-après, pour les prélèvements ponctuels du 27 Juin, 28 Juillet et 30 Août 2015, soient 48 lectures de débits affichés au niveau des débitmètres de la STEP. Le nombre d'échantillon pour chaque prélèvement effectué est de 10.

Tableau 14 : Les débits d'eau usée prélevée pour une durée de 8h.

Heure	Prélèvement 27 Juin 2015				Prélèvement 28 Juillet 2015				Prélèvement 30 Août 2015			
	Eau Brute (m ³)	Eau Épurée (m ³)	Rendement (%)	Débit Perdu (m ³)	Eau Brute (m ³)	Eau Épurée (m ³)	Rendement (%)	Débit Perdu (m ³)	Eau Brute (m ³)	Eau Épurée (m ³)	Rendement (%)	Débit Perdu (m ³)
8h	834	830	99,52	4	783	420	53,64	363,00	622	619	99,52	3
10h	1 095	1 020	93,15	75	517	210	40,62	307,0	719	698	97,08	21
12h	720	700	97,22	20	918	658	71,68	260,0	800	790	98,75	10
14h	988	970	98,18	18	858	292	34,03	566,0	998	990	99,20	8
16h	613	602	98,21	11	732	722	98,63	10,0	744	740	99,46	4
Débit Total sur 8h	4 250	4 122	96,99	128	3 808	2 302	60,45	1 506,00	3 883	3 837	98,82	46

Interprétation des Résultats « Quantité d'Eau » :

Les quantités d'eaux usées reçues par la STEP Chenoua de 8h à 16h, les samedi 27 juin, dimanche 28 juillet et 30 août de l'année 2015, sont différentes selon le jour de la semaine et la période. Ces quantités sont respectivement de : 4 250, 3808 et 3 883 m³.

D'autre part, des pics de débit d'eaux usées brutes ont été observés pour des heures différentes de la journée, à savoir :

- Pour le 27 juin 2015, le débit maximum d'eau brute est à 10h, cela s'explique par le fait que ce jour de prélèvement, correspondait à un jour de weekend (Samedi) et en même temps au 1^{er} jour de Ramadhan.
- Pour le 28 juillet 2015, le débit maximum d'eau brute est observé à 12h, c'est un jour de semaine (Dimanche) et la semaine d'après la fête de Laid.
- Pour le 30 août 2015, le débit maximum d'eau brute a été enregistré à 14h, il s'explique par le fait que le prélèvement a été fait un jour de la semaine (Dimanche) correspondant en plus à une période des congés (changement d'habitudes).

Le rendement épuratoire quantitatif moyen est satisfaisant pour les deux mois de Juin et d'Août, de 96,99% et 98,82%. Par contre, pour le mois de juillet, ce rendement est très faible de 60,45%. Ce qui a engendré des volumes d'eaux usées épurées très différents, soient : 4 122, 2 302 et 3 837 m³.

Les volumes d'eaux usées perdues, constatés pendant la période du mois de juillet, s'expliquent par le fait, que pendant la période du mois de juin, une prolifération des algues a été constatée entraînant une baisse du rendement épuratoire. Il a été nécessaire de procéder à un entretien de la STEP, par la vidange et le lavage des bassins de chicanes avec une recirculation des boues entre 50% et 60% afin d'optimiser le rendement épuratoire de la STEP. D'autre part des coupures d'énergie électrique ont été enregistrées, ce qui a affecté le rendement épuratoire.

Globalement, les volumes d'eaux usées épurées produits ne représentent que 40-54% de capacité installée de 2010.

5.2.2. Les Résultats des analyses de la qualité des eaux usées

En fonction de l'objectif de cette étude, qui est la faisabilité de la réutilisation des eaux usées épurées par la STEP Chenoua pour l'irrigation, sans risque sanitaire et sans impact négatif sur l'environnement, les paramètres à mesurer, ont été choisis en fonction de la prise en charge des différents laboratoires sélectionnés pour les analyses physico chimiques et bactériologiques, à savoir pour :

- Les analyses des paramètres physico chimiques prises en charge dans les laboratoires SEAAL : ce sont les paramètres analysés quotidiennement pour l'optimisation du système épuratoire mensuellement. Tels que : Le pH, la température (T°), la conductivité électrique (CE), nitrate ammonium (NH₄), dioxyde d'azote (NO₂), nitrates (NO₃), phosphate (PO₄), le phosphore total (PT), l'azote total (NT), la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO₅).
- Les analyses des paramètres chimiques prises en charge dans les laboratoires ANRH : certains paramètres sont nécessaires à vérifier et ne sont pas pris en charge par le laboratoire de la STEP Chenoua et celui de la SEAAL, tels que : les anions solubles (les chlorures (Cl) et le bicarbonate (HCO₃⁻)), les actions solubles (le sodium (Na), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg)) pour le calcul du SAR.
- Les analyses des paramètres bactériologiques prises en charge dans les laboratoires du Centre Hospitalier Universitaire (CHU-Mustapha) et celui du service d'hygiène de la santé au niveau de Tipaza. Ces paramètres sont nécessaires pour vérifier l'impact de la réutilisation des eaux usées épurées sur la santé publique. Tels que : les germes pathogènes et les nématodes (parasites).

5.2.2.1. Les résultats physico-chimiques :

Le rendement épuratoire moyen pour la qualité physico chimique des eaux usées épurées est satisfaisant. L'élimination de la charge organique (DBO₅, MES et DCO) est ramenée, en moyenne de 93,99%, 91,14% et 97,93%, pour les trois prélèvements ponctuels effectués respectivement les 27 juin, 28 juillet et 30 août 2015. Le détail des résultats sont affichés dans le tableau 15 ci-dessous.

Notons que malgré ce rendement global acceptable pour le rabattement de la pollution organique, la demande chimique en oxygène (DCO) reste relativement élevée et dépasse les normes de rejets dans le milieu naturel, pour les deux mois de juin et juillet 2015.

Tableau 15 : Résultats des analyses de la qualité physico chimique des eaux usées.

Paramètres	Unité	Prélèvement 27 Juin 2015			Prélèvement 28 Juillet 2015			Prélèvement 30 Août 2015			Rdt Moyen (%)
		La Qualité de l'Eau Usée sur échantillon moyen		Rendement Épuratoire (%)	La Qualité de l'Eau Usée sur échantillon moyen		Rendement Épuratoire (%)	La Qualité de l'Eau Usée sur échantillon moyen		Rendement Épuratoire (%)	
		Eau Brute	Eau Épurée		Eau Brute	Eau Épurée		Eau Brute	Eau Épurée		
Résultats laboratoire SEAL											
pH	---	7,75	7,82	/	7,60	7,90	/	7,40	7,20	/	/
T°	°C	25,90	25,60	/	28,00	27,00	/	28,00	22,00	/	/
CE	mS/cm	1 452	1 482	/	1 726	1 594	/	1 733	1 486	/	/
NH ₄ ⁺	mg/l	24,90	19,50	21,69	30,10	24,00	20,27	40,40	4,51	88,84	43,60
NO ₂ ⁻	mg/l	0,19	0,13	31,91	0,17	0,15	12,21	/	/	/	/
NO ₃ ⁻	mg/l	0,85	0,55	35,14	1,04	1,00	3,85	2,67	1,00	62,55	33,84
PO ₄ ²⁺	mg/l	3,04	0,48	84,24	1,30	0,44	66,15	6,49	0,37	94,30	81,57
PT	mg/l	6,23	0,72	88,44	6,20	0,70	88,71	12,40	0,38	96,94	91,36
NT	mg/l	37,80	20,20	46,56	35,00	28,00	20,00	54,00	9,00	83,33	49,96
DCO	mg/l	400,00	34,30	91,43	459,00	45,00	90,20	1 108,00	21,00	98,10	93,24
DBO ₅	mg/l	238,00	6,00	97,48	227,00	19,00	91,63	646,00	19,00	97,06	95,39
MES	mg/l	260,00	18,00	93,08	262,00	22,00	91,60	736,00	10,00	98,64	94,44
Résultats Laboratoire ANRH											
Cl ⁻	mg/l	220,10	203,06	7,74	252,41	220,10	12,80				
HCO ₃ ⁻	mg/l	460,55	430,05	6,62	625,25	456,28	27,02				
Na ⁺	mg/l	271,17	271,17	-	265,19	267,49	- 0,87				
Ca ²⁺	mg/l	93,20	98,20	- 5,36	104,00	97,60	6,15				
Mg ²⁺	mg/l	26,16	27,96	- 6,88	25,20	21,84	13,33				
SAR	meq/l	6,37	6,19	2,83	6,03	6,35	- 5,31				

Les eaux usées épurées, présentent les caractéristiques d'un effluent de qualité bonne. Elles contiennent en effet : peu de matières en suspension (MES), leur demande chimique et biochimique en oxygène (O₂), représentative de la matière organique, est plutôt basse; elles sont chargés en azote et en phosphore, et correspondent à celles habituellement rencontrées dans un effluent domestique, non dilué par des infiltrations d'eaux parasites dans le réseau traité par les boues activées, faible à moyenne charge.

Le rabattement en Na⁺, Ca²⁺ et Mg²⁺ n'a pas été effectué, c'est une station boue activée à faible charge, conçue pour l'élimination de la charge organique, ces paramètres ont été mesurés pour le

calcul du SAR. A 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 est en moyenne de 6,35 meq/l, et correspond à un degré de restriction à la REUE en irrigation de surface « léger modéré ».

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

Les chlorures et le sodium peuvent également poser problème, notamment en bord de mer, quand les réseaux d'égout drainent des eaux phréatiques saumâtres. C'est le cas de cette étude de cas, où les eaux d'irrigation drainées sont chargées en engrais. Les résultats montrent que selon les normes FAO-1985 (Annexe-I), le degré de restriction à la réutilisation agricole est léger modéré.

L'eau de la STEP présente une bonne minéralisation, moyennement minéralisée, sa teneur en sel minéraux est aux environs de 1 043 mg/l.

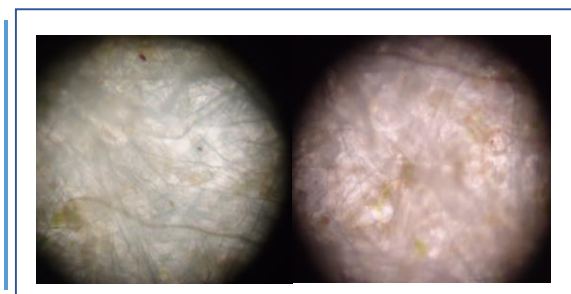
A l'exception des faibles rendements obtenus des phosphores et l'azote, la STEP Chenoua semble fonctionner correctement, si l'on se tient compte des rendements épuratoires enregistrés, à savoir DBO₅, DCO et MES. Les concentrations atteignant les 94,36% en moyenne.

5.2.2.2. Les résultats bactériologiques :

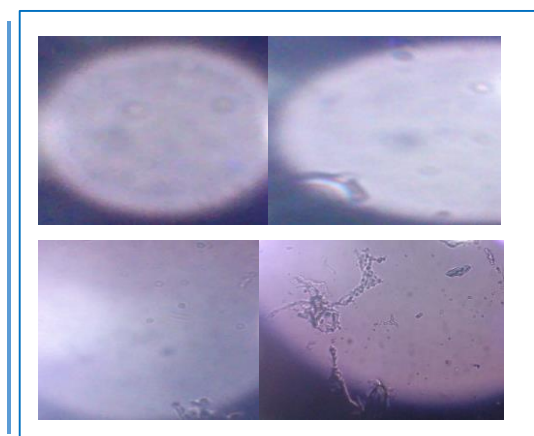
Lors de la visite de la STEP, nous avons constaté une défaillance dans l'un des procédés d'épuration, à savoir la désinfection.

En effet, à la sortie, les eaux usées épurées sont rejetées sans être chlorées (Cl₂); la rupture de stock concernant ce puissant oxydant influe sur les microorganismes se trouvant dans l'eau qui ne sont donc pas éliminés. Ils constituent, de ce fait, le principal danger sanitaire pour la réutilisation des eaux usées épurées (REUE), alors que les normes microbiologiques non respectés, contrairement aux normes chimiques (DCO, DBO₅, NTK, etc...), (Tableau 16). A cet effet, l'analyse bactériologique était nécessaire.

Un (01) paramètre a été analysé dans le laboratoire parasitologie du CHU-Mustapha, c'est la recherche et le dénombrement des parasites (œufs d'helminthes). Ces analyses ont concerné quatre échantillons des deux prélèvements des journées du 27 Juin et 28 Juillet 2015. Les résultats obtenus, ont montré qu'il y a absence totale de nématodes concernant l'eau brute et l'eau épurée.



Photos 11: les cellules observées au microscope



D'autre part, nous avons constaté que l'eau usée brute était très chargée et riche en micro-algues, en coliformes fécaux, et présente des flagellés et des spores au nombre important.

Au niveau du laboratoire parasitologie-mycologie (CHU Mustapha-Alger), choisi pour la recherche des œufs d'helminthes, nous n'avons pas pu identifier les germes pathogènes fécaux et/ou totaux. L'appel à un autre laboratoire était nécessaire, et ces analyses ont concerné deux prélèvements de deux (02) journées du 28 juillet et 30 août 2015. Pour chaque période de prélèvement, quatre (04) échantillons, de 7 litres chacun d'eau usée brute et épurée, ont été analysés. Les résultats illustrés dans le tableau 16, se présentent comme suit (figure 10) :

L'eau usée Brute :

- Le dénombrement des germes pathogènes, a démontré qu'il y a un nombre important en matière de coliformes fécaux, totaux et les Streptocoques fécaux. Dans 100 ml d'eau, le nombre se situe entre 1 100 et dépasse les 1 400 pour les coliformes.
- La recherche de germes pathogènes spécifiques aux eaux usées épurées domestiques a été faite pour les Salmonelles dans 5 litres d'eau et les Vibrions Cholériques dans les 450 ml. Les résultats ont démontré l'absence totale de ces derniers.
- De même, pour les Nématodes intestinaux (œufs d'helminthes), l'examen a donné un résultat négatif.

L'eau usée Épurée :

- Après épuración, le rabattement a été observé dans les seuls paramètres bactériologiques : streptocoques fécaux et coliformes fécaux, d'un taux respectivement de 70 et 21,43%.

Tableau 16: Les résultats bactériologiques

Paramètres Microbiologiques	Unité	La Qualité Bactériologique de l'Eau Usée	
		Eau Brute	Eau Épurée
Nématodes (Œufs d'helminthes)	Nbre/1 litre	Absence	Absence
Salmonelles	Nbre/ 5 litres	Absence	Absence
Vibron Cholérique	Nbre/ 450 ml	Absence	Absence
Streptocoques Fécaux	Nbre/100 ml	1 100	150
Coliformes Totaux	Nbre/100 ml	> 1 400	> 1 400
Coliformes Fécaux	Nbre/100 ml	1 400	500

Interprétation :

- Les résultats des analyses de recherche et de dénombrement, démontrent l'absence des Nématodes intestinaux, ce qui se justifie par l'amélioration de l'hygiène de vie au niveau des centres urbains de Tipaza, constatée ces dernières années par les services de santé.
- Suite à une enquête de santé effectuée, il a été constaté que pendant ces dix dernières années il n'y a pas eu de présence de Nématodes intestinaux dans les excréments humains.
- Concernant le rabattement des germes pathogènes qui est très faible, il est dû, essentiellement, au manque de la désinfection au chlore, car le rejet se fait en mer.

5.3. L'interprétation des résultats Quantité/Qualité des Eaux Usées de la STEP Chenoua pour une éventuelle réutilisation agricole

5.3.1. La quantité d'eaux usées épurées produite :

L'analyse des besoins d'irrigation par rapport à la production journalière de la station d'épuration de Chenoua montre bien, la capacité de couverture des besoins en eau d'irrigation par cette dernière.

Les volumes d'eaux produites annuellement par cette station peuvent couvrir aisément les besoins d'irrigation, même avec l'allocation d'un débit écologique et un by-pass des volumes excédentaires en période de crue.

Les confrontations des volumes produits à capacité installée pour différent horizon par la STEP (11 200 m³/j en 2010 et 16 800 m³/j en 2020) et les besoins d'irrigation montrent que la production directe couvre au fil de l'eau, les besoins des mois de Septembre à Mars avec, même, un excédent. Par contre pour les autres mois de l'année, la période la plus sec, du mois d'Avril jusqu'au mois d'Août, nous constatons un déficit qu'il est nécessaire de combler par un stockage de l'excédent des eaux épurées.

La réalité de la STEP diffère de celle mise en place théoriquement. Les volumes réellement produits ne représentent que 40 à 54% de ce qui a été prévu dans le dimensionnement de cette STEP à l'horizon 2010. Le taux de collecte d'eaux usées brutes est de 62%, d'où la possibilité d'augmenter le taux de collecte des eaux destinées à cette STEP et d'avoir une plus grande quantité d'eau usée épurée dédiée à d'autres usages.

Le débit moyen journalier d'eau usée épurée est de l'ordre de 6 000 et 6 500 m³/j, et le rendement épuratoire de la STEP est très satisfaisant. Le faible débit s'explique par le fait que le volume maximal correspond aux eaux usées domestiques et pluviales. Le réseau d'assainissement est partiellement unitaire.

D'autre part, la STEP Chenoua est située à proximité de la mer, de ce fait l'irrigation des superficies entraîne vite le besoin de pomper les eaux et ainsi, augmenter, non seulement les coûts d'investissement, mais également les coûts de fonctionnement. Le mètre cube d'eau, même si les eaux usées épurées sont disponibles gratuitement, devrait donc porter un coût assez élevé pour couvrir le fonctionnement.

Le volume d'eau usée épurée, à l'état actuel, pourrait satisfaire les besoins en eau d'irrigation de la superficie agricole entre 100 et 300 hectares, située à proximité immédiate de la STEP. Avec l'accroissement de la population, nous assisteront à l'accroissement des débits traités et en conséquence des superficies irrigables avec ces eaux.

5.3.2. La qualité d'eaux usées épurées produites :

- Qualité physico-chimique :

La filière de traitement installée pour la STEP Chenoua, est la Boue Activée à faible charge à charge massique de 0,23 Kg. Selon les ouvrages installés des différentes étapes de traitement, cette STEP est de type-II (Annexes-V).

Notons que les différentes catégories de traitement qui sont liées directement par un mode de traitement bien défini présenteront l'obtention d'une certaine qualité des eaux usées épurées et entraîneront des restrictions d'utilisation spécifique.

Les eaux usées épurées par cette STEP, selon les résultats des analyses obtenues, présentent les caractéristiques d'un effluent à caractère domestique, de qualité relativement bonne. Elles contiennent en effet peu de matières en suspension (MES), leur demande chimique et biochimique en oxygène (O₂) représentative de la matière organique est plutôt basse; elles sont chargées en azote et en phosphore et correspondent à celles habituellement rencontrées dans un effluent domestique

normalement concentré. L'eau de la STEP présente une bonne minéralisation, moyennement minéralisée, sa teneur en sel minéraux se situe aux environs de 1043 mg/l.

A l'exception des faibles rendements obtenus des phosphores et l'azote, la STEP Chenoua fonctionne correctement, les résultats enregistrés, à savoir DBO₅, DCO et MES, font ressortir un taux moyen de 94,36% en moyenne.

- **Qualité bactériologique :**

Rappelons que la désinfection au chlore ne se fait pas au niveau de la STEP. Les résultats bactériologiques ont démontré qu'il n'y a pas d'éliminations importantes des germes pathogènes. Un léger rabattement est observé uniquement pour les streptocoques fécaux et germes fécaux, qui probablement ont été diminués dans le bassin de décantation et l'effet de la température extérieure qui a agi sur ces derniers (météo : 31-33°C).

Quant aux Nématodes, aux Salmonelles et aux Vibrions Cholériques, une absence totale de ces parasites a été observée au niveau de la qualité de l'eau usée à l'entrée et à la sortie. Une réutilisation de ces eaux ne peut être que très restrictive.

- **La confrontation « Qualité-Réutilisation agricole ».**

Les types de cultures à irriguer avec cette eau usée épurée est de type « B » selon les normes (Annexes-IV), à savoir : les légumes qui ne sont consommés que cuits et les légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire, à condition d'assurer le traitement de la catégorie-III (annexes-V), avec la qualité microbiologique exigée pour la protection de la santé publique exposée directement, telle que la population environnante et les ouvriers agricoles.

Une réadaptation du procédé d'épuration est nécessaire pour l'amélioration de la qualité bactériologique, à savoir :

- ☞ Les Coliformes fécaux (CFU/100ml) : <250 (La valeur limite pour les coliformes fécaux représente une moyenne géométrique).
- ☞ Les Nématodes intestinaux (œufs/l) : < 0,1 (La valeur limite pour les œufs de nématodes représente une moyenne arithmétique)

- **La liste des cultures à irriguer pour l'effluent issu d'une STEP de catégorie II**

Les effluents issus des stations d'épuration catégorie-II conviennent à l'irrigation des cultures du groupe C et D de la norme algérienne. Il est, par conséquent, interdit d'irriguer les cultures maraîchères et de pratiquer le pâturage direct. Cette norme fixe de manière exhaustive la liste des cultures pouvant être irriguées par ce type d'eau, notamment :

- ✓ Les arbres fruitiers : dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, Rhubarbe, Arachides, Noix, Olive.
- ✓ Les agrumes : Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine
- ✓ Les cultures fourragères : Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce, et luzerne.
- ✓ Cultures industrielles : Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, le tabac, le lin.
- ✓ Les cultures céréalières : Blé, orge, triticale et avoine.
- ✓ Les cultures de production de semences : Pomme de terre, Haricot et Petit pois.
- ✓ Les arbustes fourragers : l'Acacia et l'Atriplex.
- ✓ Les plantes florales à sécher ou à usage industriel : rosier, l'iris, le jasmin, la marjolaine et le romarin.

CHAPITRE 6 : RECOMMANDATION POUR UNE REUTILISATION DURABLE SANS RISQUES

6.1. Les différentes possibilités de réutilisations des eaux usées épurées:

6.1.1. La réutilisation agricole :

Des différentes analyses et constatations de la réalité du terrain, il ressort que :

- ☞ Les caractéristiques de la STEP Chenoua, le traitement mis en place est de catégorie-II ;
- ☞ L'analyse quantitative/qualitative des EUE par la STEP Chenoua (tableaux 13-14-15, chapitre-III) et les fonctions des normes de qualité pour la réutilisation agricole, concluent ce qui suit :
 - Les mois déterminants pour une irrigation de pointe pour l'année 2015, se situent entre le mois de Mai et le mois de Septembre ; il s'agit des mois secs, pendant lesquels la pluviométrie est négligeable et les besoins en eau des plantes sont maximaux;
 - Les superficies irrigables sont basées sur les quantités d'eau usée produite, la capacité maximale de la STEP est supérieure et dépend du nombre de la population, on peut s'attendre à une augmentation annuelle des volumes d'eaux usées épurées (nouveaux raccordement à l'égout) et, en conséquence, l'augmentation des volumes d'eaux réutilisables;
 - De manière générale plusieurs cultures sont pratiquées sur les superficies autour de la STEP. Les cultures fourragères sont les plus consommatrices mais ne se prêtent guère à l'irrigation goutte-à-goutte; l'irrigation doit être avec prudence ;

Les cultures pouvant être irriguées au niveau de périmètres situés à proximité immédiate sont : la pomme de terre et les vignes, d'une superficie en moyenne chacune de 150 hectares. Ces chiffres ne prennent pas en compte la qualité des eaux mais se basent sur le fait que ces eaux usées épurées satisfassent les critères légaux des normes publiées. Il est peu probable qu'une seule culture soit pratiquée (tableau 12, chapitre-III).

Selon le dimensionnement de cette STEP et des capacités à atteindre en matière de collecte et d'épuration des eaux usées épurées, à différentes horizons et avec un stockage inter-saisonnier on peut même envisager une extension des superficies à irriguer entre 60% et 150%.

D'autre part, la STEP Chenoua est située à proximité de la mer à un niveau plus bas que les superficies à irriguer, de ce fait l'irrigation des superficies nécessite le pompage des eaux traitées et leur transport engendrant ainsi l'augmentation non seulement des coûts supplémentaires tant au niveau de l'investissement que dans celui du fonctionnement

6.1.2. Autres usages :

Ces eaux usées épurées, peuvent convenir aussi pour l'usage municipal, pour les mêmes conditions d'épuration tertiaire de catégorie-II et III. On peut irriguer les espaces à accès restrictif au public : irrigation des espaces verts urbains, espaces verts de zone médianes des autoroutes, ou espaces similaires (annexes-IV). Cette irrigation est soumise à la même réglementation (décret de concession 2007 et normes NA 17683-2014), avec les recommandations suivantes :

- L'irrigation mobile par camions citernes pour des plantes dispersées, par un système localisé ou par aspersion pour les jardins et parcs. En cas de système par aspersion, l'irrigation doit s'opérer pendant le moment d'absence de public et en période non venteuse. Pour les terrains de golf, il est souhaitable d'adopter une irrigation souterraine (Sub-surface irrigation).
- Les ouvriers et opérateurs (manutention) sont exposés aux risques, d'où la nécessité de surveiller la qualité bactériologique dans les cas des irrigations citées ci-dessus.

6.2. Les Suggestions pour une réutilisation durable et sans risques

L'objectif principal du traitement d'épuration est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable sans risque sur la santé humaine et environnementale.

À cet égard, le traitement des eaux résiduaires le plus approprié est celui qui fournit, avec certitude, des effluents de qualité chimique et microbiologique exigées pour un certain usage spécifique, à bas prix et des besoins d'opération et d'entretien minimaux.

Dans le cas de la STEP Chenoua, la réutilisation des eaux usées épurées, avec de telles quantités et qualités, ne peut pas être rentable, dans la condition, d'atteindre un objectif de traitement de catégorie-III, avec la mise en place des nouvelles technologies très coûteuses, (figure 9):

- ☞ Dans les cas où les eaux usées sont à dominance domestique, et leur localisation située dans une zone à proximité des périmètres agricoles, un traitement tertiaire s'impose,
- ☞ La nécessité du système de réutilisation un bassin de stockage inter-saisonnier, pour faire face aux perturbations quantitatives et qualitatives au niveau de la STEP.

Ceci pourrait être justifié par le fait que les stations d'épuration des eaux résiduaires, indépendamment du type de traitement, réduisent la charge organique et les matières solides en suspension et enlèvent les constituants chimiques des eaux usées qui peuvent être toxiques aux récoltes ainsi que les constituants biologiques (microbes pathogènes) qui concernent la santé publique en général.

S'ajoutent au système d'épuration existant de la STEP, les différentes méthodes de traitements complémentaires :

- ☞ Le traitement tertiaire et/ou avancé qui résident en :
 - La désinfection, habituellement avec du chlore, employé pour réduire les constituants microbiologiques, ou la filtration gravitaire sur sable ;
 - L'enlèvement de constituants spécifiques de l'eau usée tels que les nutriments et les métaux lourds, qui ne sont pas enlevés par le traitement secondaire.
 - Le lagunage (ou étangs de stabilisation), qui peut être conçu pour réaliser différents degrés de traitement des eaux usées et en même temps utilisé comme traitement de finition.

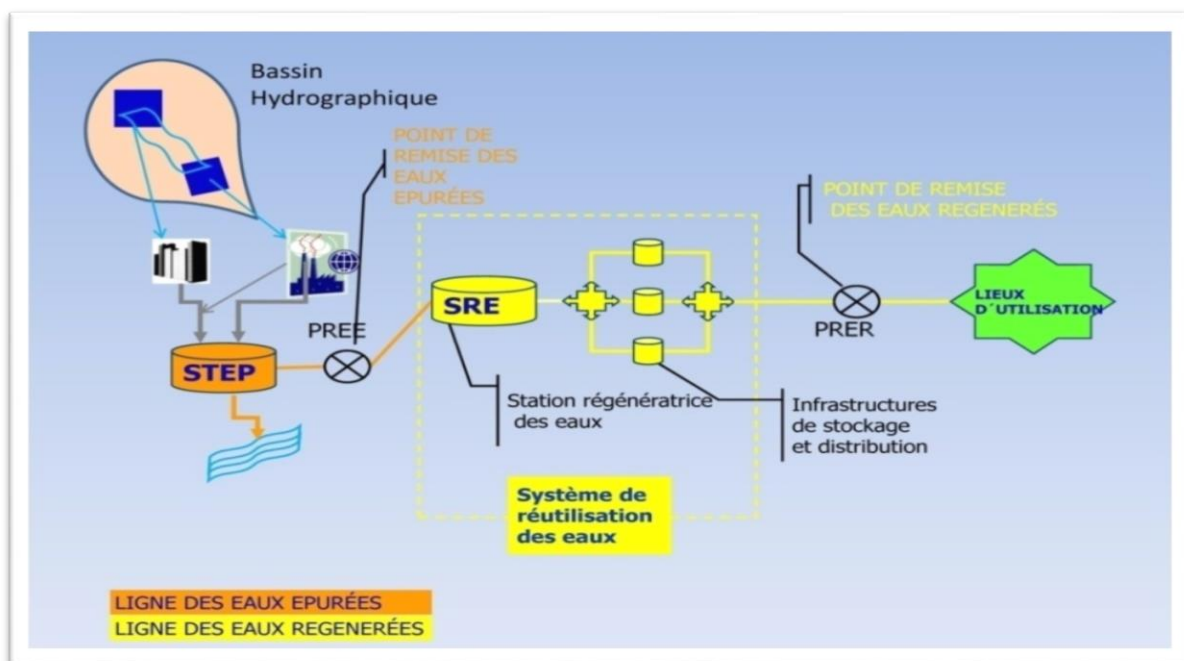


Figure 11 : Schéma général d'un système de réutilisation des EUE.

Les traitements additionnels pour améliorer la qualité des effluents des STEP peuvent être classifiés comme le montre la figure 10, ci-dessous.

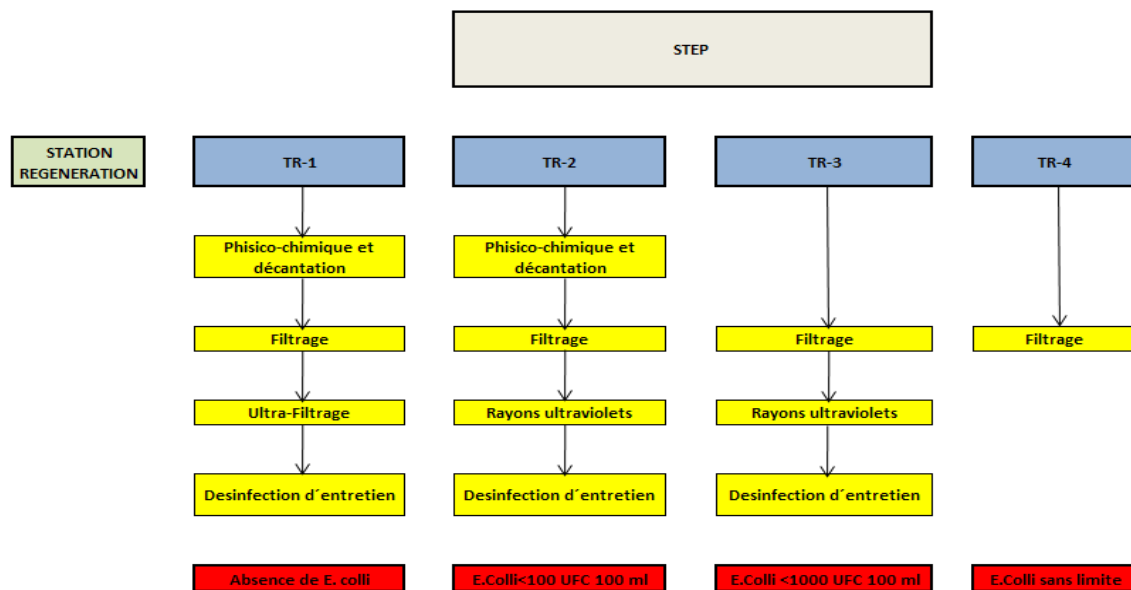


Figure 12 : Traitements de régénération (REUE) suggérés et résultats attendus.

Ces différents traitements additionnels sont aussi conditionnés par les coûts d'investissement et plus particulièrement les coûts de fonctionnement. Si on procède à la réadaptation du système d'épuration existant pour une réutilisation agricole sans risque, nous proposons :

- Une filtration sur sable par gravité ;
- Un stockage de régulation (24-72 h de consommation), pour mettre à l'abri des variations journalières des flux à la sortie de la STEP, d'autres investissements sont nécessaires pour une réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation des périmètres situés à proximité immédiate ;
- Un stockage inter-saisonnier (3 à 4 mois), pour une régulation saisonnière de la quantité et aussi de la qualité. Il pourrait être un stockage superficiel (bassin de stabilisation) ou un stockage souterrain (recharge de nappe).

À la sortie de la STEP, il faut prévoir un dispositif de by-pass entre la sortie station et l'entrée du bassin de stockage (figure 11), afin de pouvoir diriger les eaux épurées vers le milieu naturel en cas de problème grave au niveau de la station.

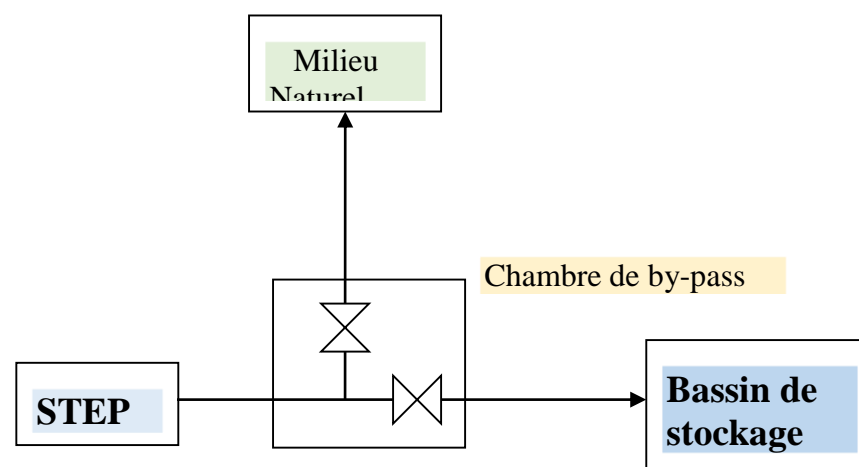


Figure 13 : Schématisation du by-pass

Lorsque les eaux épurées ne sont pas conformes aux normes fixées pour une réutilisation agricole, il n'existe en pratique guère d'autre possibilité que de dévier les rejets de la STEP au travers d'un

by-pass vers le milieu naturel environnant, avec tous les inconvénients que cela puisse comporter. Le mélange avec les eaux naturelles entraîne une dilution des rejets d'eaux usées épurées.

Avec ces suggestions, la réutilisation des eaux produites par la STEP Chenoua, sera sans risques sanitaires et même environnementaux. Toutefois, il faut minimiser au maximum ces risques en prenant les précautions d'utilisation (bonnes pratiques), et élargir la gamme des cultures à irriguer les superficies, aussi.

6.3. Les suggestions et les bonnes pratiques d'utilisation :

L'eau usée est unique du point de vue de sa composition. Les constituants physiques, chimiques et biologiques qui s'y trouvent doivent être pris en considération. Dans une approche intégrée du traitement et d'utilisation des eaux usées en irrigation, la fiabilité du traitement et le contrôle continu sont fortement recommandés puisque ceux-ci sont hors contrôle de l'agriculteur.

Dans la planification et l'exécution de projets de réutilisation des eaux usées, l'application prévue devrait régir le degré de traitement exigé et la fiabilité du processus de traitement des eaux résiduaires et de l'exploitation de la station d'épuration.

Les valeurs maximales des paramètres à contrôler, et les fréquences minimales d'analyse pour un usage agricole sont fixées par la norme Algérienne (annexe-II), il faudra les appliquer. En matière de gestion, en envisageant l'utilisation des eaux épurées pour une communauté de plusieurs bénéficiaires du système d'irrigation, il est nécessaire de prévoir une structure de gestion. Exemple : se constituer en communauté ou en association des irrigants etc.

Les usagers de l'eau et d'autres biens du domaine public hydraulique de la même prise ou concession doivent se regrouper en associations d'utilisateurs, lorsque la destination des eaux est principalement l'irrigation.

L'organisme de gestion peut imposer, lorsque l'intérêt public l'exige, la constitution des différents types de communautés d'utilisateurs ou association des irrigants.

Pour faciliter la valorisation des eaux usées épurées, le choix des cultures doit tenir compte de plusieurs facteurs susceptibles d'intervenir dans la bonne gestion de l'irrigation, à savoir :

- La nature et les caractéristiques physico-chimiques du sol ;
- La pratique habituelle de l'irrigation chez l'agriculteur ;

La salinité des eaux est généralement de moyenne à élevée, sur le plan environnemental, c'est un problème important. Les teneurs élevées en sels solubles, en particulier en sodium, bore et chlorures peuvent être néfastes pour la production végétale et pour les propriétés physico-chimiques des sols.

Les agriculteurs doivent être sensibilisés et bien informés sur:

- la fiabilité de la réutilisation des eaux usées épurées ;
- les mesures nécessaires à entreprendre pour éviter les risques sanitaires ;
- la détection des changements de la qualité des effluents épurés et les pannes éventuelles ;
- les avantages des eaux épurées et surtout leur potentiel fertilisant.

La sensibilisation doit être assurée par un service technique et de vulgarisation qui fournira aux agriculteurs et ouvriers agricoles les conseils et les recommandations en matière de protection des ouvriers en contact avec les eaux usées épurées, en matière de bonnes pratiques agricoles ainsi que les différents impacts environnementaux (sol, eau souterraines, etc...).

Enfin, plusieurs acteurs doivent intervenir dans la bonne gestion d'utilisation des eaux usées épurées sans risques: le gestionnaire de la STEP, le concessionnaire, l'exploitant agricole, les directions de wilaya de l'hydraulique, de la santé, de l'agriculture et du commerce. Des contrôles improvisés doivent être menés par les services d'hygiène et de l'agriculture. Cette option exige notamment :

De l'exploitant de la STEP :

- Qu'il traite de manière à assurer la conformité des eaux épurées à la norme ;
- Qu'il contrôle de façon régulière la conformité à la norme des eaux usées épurées ;
- Qu'il gère la station afin de garantir la pérennité d'une épuration optimale.

Du concessionnaire :

- Qu'il gère et contrôle les systèmes de distribution et de stockage des eaux épurées ;
- Qu'il prenne en charge les analyses des eaux usées épurées au niveau des périmètres irrigués, surtout si l'eau épurée est acheminée sur certaine distance ;
- Qu'il veille à la préservation de la qualité des eaux dans les bassins de stockage pour éviter des apports « pirates » de pollution extérieure. Les aires doivent être bien clôturées et inaccessibles à des personnes non autorisées.

De l'agriculteur :

- Qu'il respecte les restrictions des cultures selon le niveau de traitement de l'eau usée ;
- Qu'il respecte les recommandations ou les bonnes pratiques liées aux cultures pratiquées (choix des cultures, pratiques culturales...) ;
- Qu'il gère le procédé d'irrigation (choix du système d'irrigation et détermination des quantités d'eau nécessaires...) ;
- Qu'il s'astreigne au respect des règles de sécurité et d'hygiène.

De l'autorité de contrôle :

- Qu'elle assure le contrôle et la surveillance des personnes exposées aux risques ;
- Qu'elle assure le contrôle et la surveillance de la qualité des sols et des eaux souterraines.

CONCLUION GENERALE

Notre travail a porté sur la réutilisation des eaux usées épurées par la STEP Chenoua (wilaya de Tipaza) pour l'irrigation sans risque sanitaire et sans impact négatif sur l'environnement.

Les résultats des analyses physico-chimiques obtenus pour les trois prélèvements ponctuels effectués en mois de Juin, Juillet et Août 2015, présentent les caractéristiques d'un effluent de bonne qualité. Elles contiennent peu de matières en suspension ($10 < \text{MES} < 22 \text{ mg/l}$), les valeurs de la demande chimique et biochimique en oxygène (O_2), représentative de la matière organique, sont plutôt basses ($34 < \text{DCO} < 45 \text{ mg/l}$, $6 < \text{DBO}_5 < 19 \text{ mg/l}$). Elles sont chargés en azote et en phosphore et correspondent à celles habituellement rencontrées dans un effluent domestique normalement concentré, c'est-à-dire non dilué par des infiltrations d'eaux parasites dans le réseau traité par les boues activées, à faible et à moyenne charge. La concentration en azote est relativement élevée ($\text{NT} = 19,07 \text{ mg/l}$), mais celle en phosphore est très faible ($\text{PT} = 0,60 \text{ mg/l}$). Le procédé de traitement de la STEP n'élimine que partiellement l'azote (49,96%) mais en grande partie le phosphore (91,36%).

L'eau usée épurée par cette STEP présente une bonne minéralisation, sa teneur en sel minéraux est aux environs de $1\,043 \text{ mg/l}$, avec des concentrations en chlorure et sodium, respectivement de $211,5 \text{ mg/l}$ (Cl^-) et $269,33 \text{ mg/l}$ (Na). Le degré de restriction à l'usage pour l'irrigation sans impact sur le sol et la récolte doit être léger à modéré par rapport aux limites recommandées en salinité.

A l'exception des faibles rendements obtenus pour certains paramètres (Na , NT , Cl^- , HCO_3^- , Ca et Mg), la STEP Chenoua fonctionne correctement, si l'on tient compte des résultats et des rendements épuratoires enregistrés en moyenne de 94,36% sur les principaux paramètres : DBO_5 , DCO et MES , qui correspondent aux normes de rejet dans le milieu naturel.

Pour la qualité bactériologique, la recherche des nématodes ainsi que les germes pathogènes, était nécessaire pour une réutilisation agricole sans risque sanitaire. Il en résulte qu'après épuration, un rabattement de 21,43% et 70% a été observé pour respectivement les streptocoques fécaux et coliformes fécaux. Les coliformes totaux ne sont pas éliminés, à cause, essentiellement du manque de la désinfection au chlore prévue dans le dimensionnement de la STEP qui ne se fait plus, car le rejet se fait en mer. Par contre, il y a absence totale des Nématodes intestinaux (œufs d'helminthes), des salmonelles et des vibrions cholériques.

Les confrontations des volumes produits à capacité installée pour différent horizon par la STEP ($11\,200 \text{ m}^3/\text{j}$ (2010) et $16\,800 \text{ m}^3/\text{j}$ (2020)) et les besoins d'irrigation, montrent que la production directe couvre au fil de l'eau les besoins pour les mois de Septembre à Mars avec, même, un excédent. Par contre pour les autres mois les plus secs de l'année, soient du mois d'Avril au mois d'Août, un déficit en eau est observé et nécessite d'être comblé par un stockage de l'excédent des eaux épurées.

Le taux de collecte des eaux usées brutes au niveau de la STEP, ne représente que de 62%. En l'état actuel, les volumes réellement produits se situent entre 40 et 54% de ce qui a été prévu au dimensionnement de la STEP Chenoua; d'où la possibilité d'augmenter le taux de collecte destiné à cette STEP et avoir une plus grande quantité d'eau usée épurée intéressante pour d'autres usages.

Les eaux de cette STEP peuvent satisfaire les besoins en eau des spéculations culturales existantes situées à proximité de 153 ha en pomme de terre et 154 ha de vigne. Ces chiffres ne prennent pas en compte la qualité des eaux mais se basent sur le fait que les qualités des eaux usées épurées sont conformes aux critères légaux des normes publiées.

ANNEXES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]-Ramade F. (2000)., Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ed. Ediscience international, Paris, 689p. Rodier J. (1984)., Analyse de l'eau: Eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer. Ed. Dunod Bordas. Paris, 7eme ed, 1365p.
- [2]-Baumont S, Camard J-P, Lefranc A, Franconi A. (2004)., Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220p.
- [3]-Eckenfelder W.W. (1982)., Gestion des eaux usées urbaines et industrielles. Ed. Lavoisier. Paris, 503p.
- [4]-Faby J.A., Brissaud F. (1997)., L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau, 76 pages.
- [5]-Chellé F., Dellale M., Dewachter M., Mapakou F., Vermey L. (2005)., L'épuration des eaux: pourquoi et comment épurer Office international de l'eau, 15 pages.
- [6]-Vaillant J.R. (1974)., Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux
- [7]-Xanthoulis D. (1993)., Valorisation agronomique des eaux usées des industries agro-alimentaires. Tribune de l'eau n° :563/3. Ed. CEBEDOC, pp: 27-32.
- [8]-BENBLIDIA M. (2011). L'efficience d'utilisation de l'eau et approche économique. Plan Bleu, Centre d'Activités Régionales PNUE/PAM, Etude nationale, Algérie, 2011, 9-12. FAO (2003). Irrigation avec des eaux usées traitées, Manuel d'utilisation, FAO, 2003 73p.
- [8*]-FAO. (2003)., L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. FAO Irrigation and Drainage paper, 65p.
- [9]-Desjardins R. (1997)., Le traitement des eaux. 2ème édition. Ed. Ecole polytechnique de Montréal, Canada, 303p.
- [10]-Edline F. (1996)., L'épuration physico-chimique des eaux.3eme édition. Ed. CEBEDOC, Paris, 283p.
- [11]-FAO. (2002)., The use of treated wastewater (tww) in forest plantations in the neareastregionNeareastforestry commission (fifteenth session), 5 pages.
- [12]-Asano T. (1998)., Wastewater reclamation and reuse. Water quality management library, 1475 p.
- [13]-Braatz S., Kandiah A. (1996)., Recyclage des eaux usées urbaines pour l'irrigation des forêts et des arbres. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage n° 49. Rome, 10 pages.
- [13*]-Skiredje A. (2005)., Besoins des plantes en eau et en éléments nutritifs. Département d'Horticulture, Maroc, 10p.
- [14]-Cadillon M., Lancar L. (1996)., L'irrigation forestière avec des eaux usées en situation de maquis ou de garrigue bilan et perspectives. 8 èmes rencontres de l'agence régionale pour l'environnement. Nice - Acropolis, 17pages.
- [15]-Coïc Y., Coppenet M. (1989)., Les oligo-éléments en agriculture et élevage : incidences sur la nutrition humaine.Ed. INRA, Pris, 114p.

[16]-Cauchi, Hyvrard, Nakache, Schwartzbrod, Zagury, Baron, Carre, Courtois, Denis, Dernas, Larbaigt, Derangere, Martigne, Seguret. (1996)., Dossier : la réutilisation des eaux usées après épuration. Techniques, Sciences et Méthodes, 2 : 81-118.

[17]-CSHPF. (1995)., Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines, 22p.

[18]-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.

[19]-Puil C. (1998)., La réutilisation des eaux usées urbaines après épuration. Mém. D.U.E.S.S. « Eau et Environnement », D.E.P., univ. Picardie, Amiens, 62 pages.

[20]-Ecosse D. (2001)., Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde. Mém.D.E.S.S. « Qualité et Gestion de l'Eau », Fac. Sciences, Amiens, 62 pages.

[21]-Direction de l'environnement. (1990)., Les stations d'épuration d'effluents domestiques. Ed. Ministère de l'intérieur. 24p.

[22]-Zid E., Grignon C. (1991)., L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELEF-UREF. John Libbey Eurotext, Paris, pp. 91-108.

<http://www.hc-sc.gc.ca>

<http://www.cieau.com>

http://perso.wanadoo.fr/bernard.pironin/aquatech/index_1.htm

<http://www.fao.org/docrep/005/t1680f/T1680F08.htm>

<http://www.ville.laval.qc.ca/>

<http://crdp.ac-besancon.fr/ressourc/flore/index.htm>

<http://www.treecanada.ca/programs.htm>

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Chlorophylle>

<http://crdp.ac-besancon.fr/ressourc/flore/index.htm>

ANNEXES- I

Annexes-I-1 : Évaluation des risques sanitaires associés à la REUE pour l'irrigation

Tableau 1. Résumé de l'évaluation des risques sanitaires associés à l'utilisation d'eaux usées pour l'irrigation			
Groupe exposé	Menaces pour la santé		
	Infestations par des helminthes	Infections bactériennes/virales	Infections à protozoaires
Consommateurs	Risque significatif d'infestation des enfants et des adultes par des <i>Ascaris</i> par le biais d'eaux usées non traitées	Flambées de choléra, de typhoïde et de shigellose signalées comme résultant de l'utilisation d'eaux usées non traitées, cas de séropositivité pour <i>Helicobacter pylori</i> (eaux non traitées); augmentation de la fréquence des diarrhées non spécifiques lorsque l'eau contient plus de 10 ⁴ coliformes thermotolérants/100 ml	Preuves de la présence de protozoaires parasitiques à la surface de légumes irrigués par des eaux usées, mais absence de preuve directe de la transmission de la maladie
Travailleurs agricoles et leurs familles	Risque significatif d'infestation par des <i>Ascaris</i> pour les enfants et les adultes en contact avec des eaux usées non traitées; il subsiste un risque, en particulier pour les enfants, même lorsque le nombre d'œufs de nématodes par litre dans ces eaux est <1; risque accru d'ankylostomiase pour les travailleurs agricoles	Risque accru de maladie diarrhéique chez les jeunes enfants en contact avec des eaux usées si ces eaux contiennent plus de 10 ⁴ coliformes thermotolérants/100 ml; risque élevé de salmonellose chez les enfants exposés à des eaux usées non traitées; forte séropositivité pour les norovirus chez les adultes exposés à des eaux usées partiellement traitées	Risque d'infestation par <i>Giardia intestinalis</i> trouvé insignifiant en cas de contact avec des eaux usées traitées ou non traitées; risque accru d'amibiase observé en cas de contact avec des eaux usées non traitées
Communautés proches	Transmission des <i>Ascaris</i> non encore étudiée dans le cas de l'irrigation par aspersion, mais observations identiques pour l'irrigation par submersion et par rigoles d'infiltration impliquant un contact important	Relation entre l'irrigation par aspersion avec de l'eau de qualité médiocre (coliformes totaux: 10 ⁶ -10 ⁸ CT/100 ml) et une forte exposition à des aérosols d'une part, et une augmentation des taux d'infection; on ne constate pas d'association entre l'utilisation d'eau partiellement traitée (10 ⁴ -10 ⁵ CT/100 ml ou moins) pour l'irrigation par aspersion et un accroissement du taux d'infections virales	Pas de données sur la transmission des infections à protozoaires pendant l'irrigation par aspersion avec des eaux usées

CT: coliformes totaux.

Annexes-I-2 : Résultats QMRA pour les risques d'infection à rotavirus pour différentes expositions.

Tableau 2. Résumé des résultats de la QMRA pour les risques d'infection à rotavirus^a pour différentes expositions			
Scénario d'exposition	Qualité de l'eau^b (<i>E. coli</i>/100 ml d'eaux usées ou 100 g de sol)	Risque infectieux médian par personne et par an	Notes
Irrigation sans restriction (consommateurs des cultures)			
Laitues	10 ³ –10 ⁴	10 ⁻³	100 g consommés crus par personne tous les 2 jours 10–15 ml d'eaux usées restant sur les cultures
Oignons	10 ³ –10 ⁴	5 × 10 ⁻²	100 g consommés crus par personne et par semaine sur 5 mois 1–5 ml d'eaux usées restant sur les cultures
Irrigation restreinte (agriculteurs ou autres populations fortement exposées)			
Agriculture fortement mécanisée	10 ⁵	10 ⁻³	100 jours d'exposition par an 1–10 mg de sol consommés par exposition
Agriculture à forte intensité de main-d'œuvre	10 ³ –10 ⁴	10 ⁻³	150–300 jours d'exposition par an 10–100 mg de sol consommés par exposition
^a Les risques estimés pour <i>Campylobacter</i> et pour <i>Cryptosporidium</i> sont plus faibles.			
^b Effluents non désinfectés.			

QMRA : Évaluation quantitative des risques microbiologique

Annexe I-3 : Orientation de la F.A.O en matière de R.E.U.E. Agricole

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

Problèmes Potentiels en Irrigation	Unités	Degré de restriction à l'usage		
		Aucun	Léger à 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	mécq/l	< 3	> 3	
Chlorure(Cl)				
Irrigation de surface	mécq/l	< 4	4 – 10	> 10
Irrigation par aspersion	mécq/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)	mécq/l	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
pH	Gamme normale 6.5 - 8.4			

¹ EC_w signifie la conductivité électrique en deciSiemens par mètre à 25°C.

² SAR signifie le taux d'adsorption de sodium (sodium adsorption ratio).

³ NO₃ -N signifie l'azote sous forme de nitrate rapporté en terme d'azote élémentaire. NH₄-N et N-organique devraient être également examinés dans les eaux usées.

Annexe I-4: Concentrations maximales tolérables dans le sol de divers produits chimiques toxiques sur la base des exigences de protection de la santé humaine.

Tableau 4. Concentrations maximales tolérables dans le sol de divers produits chimiques toxiques sur la base des exigences de protection de la santé humaine

Produit chimique	Concentration dans le sol (mg/kg)
Éléments	
Antimoine	36
Argent	3
Arsenic	8
Baryum ^a	302
Béryllium ^a	0,2
Bore ^a	1,7
Cadmium	4
Fluor	635
Mercure	7
Molybdène ^a	0,6
Nickel	107
Plomb	84
Sélénium	6
Thallium ^a	0,3
Vanadium ^a	47
Composés organiques	
Aldrine	0,48
Benzène	0,14
Chlordane	3
Chlorobenzène	211
Chloroforme	0,47
2,4-D	0,25
DDT	1,54
Dichlorobenzène	15
Dieldrine	0,17
Dioxines	0,00012
Heptachlore	0,18
Hexachlorobenzène	1,40
HPA (tels que le benzo[<i>a</i>]pyrène)	16
Lindane	12
Méthoxychlore	4,27
PCB	0,89
Pentachlorophénol	14
Phtalate	13 733
Pyrène	41
Styrène	0,68
2,4,5-T	3,82
Tétrachloroéthane	1,25
Tétrachloroéthylène	0,54
Toluène	12
Toxaphène	0,0013
Trichloroéthane	0,68

^a Les limites numériques calculées pour ces éléments se situent à l'intérieur des plages typiques pour les sols.

Annexe I-5: Limites recommandées en éléments traces dans les EUE destinées à l'irrigation

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

^a Adapté de: Académie nationale des sciences - National Academy of Engineering (1973)

^b Pour l'eau utilisée sans interruption sur tous les sols

^c Pour l'eau utilisée pendant une période d'au plus 20 ans sur des sols de texture fine, neutres ou alcalins

Annexe-I-6.Recommandations microbiologiques révisées de l'OMS pour le traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture (Blumenthal *et coll.*, 2000) / (OMS 2000 et 2006).

Catégories	Conditions de réutilisation	Groupes exposés	Techniques d'irrigation	Nématodes intestinaux ^b	Coliformes fécaux ^c	Traitements recommandés pour atteindre le niveau de qualité microbiologique
A	Irrigation sans restrictions A1 Pour les cultures maraîchères consommées crues, les terrains de sports, les parcs publics ^g	Travailleurs, consommateurs, public	Toutes	$\leq 0,1^e$	$\leq 10^3$	Série de bassins de stabilisation bien conçus, réservoir de stockage et de traitement remplis séquentiellement, ou traitement équivalent (p. ex. traitement secondaire conventionnel suivi soit d'un lagunage tertiaire, soit d'une filtration et d'une désinfection)
		B1 Travailleurs (mais pas les enfants < 15 ans), populations alentour	Par aspersion	≤ 1	$\leq 10^5$	Série de bassins de rétention dont un bassin de maturation ou un bassin séquentiel ou un traitement équivalent (p. ex. traitement secondaire conventionnel suivi soit par des lagunages tertiaires, soit une filtration)
B	Irrigation restreinte. Céréales, cultures industrielles, fourragères, pâturage et forêt ^f	B2 comme B1	Par rigole d'infiltration ou par gravité	≤ 1	$\leq 10^3$	Comme pour la catégorie A
		B3 Travailleurs dont les enfants < 15 ans, population alentour	Toutes	$\leq 0,1$	$\leq 10^3$	Comme pour la catégorie A
C	Irrigation localisée sur des cultures de la catégorie B s'il n'y a pas d'exposition des travailleurs ou du public	Aucun	Goutte-à-goutte, micro-jet, etc.	Pas de norme	Pas de norme	Pré-traitement nécessaire pour des raisons techniques liées à l'irrigation, mais pas moins qu'une sédimentation primaire

(a) Dans certains cas particuliers, les facteurs épidémiologiques, socio-culturels et environnementaux devront être pris en compte, et les recommandations modifiées en conséquence.

(b) Moyenne arithmétique du nombre d'œufs/l. Les espèces considérées sont *Ascaris*, *Trichuris* et l'ankylostome ; la recommandation correspond aussi à une protection contre les protozoaires parasites.

(c) Moyenne géométrique^e du nombre/100 ml. La moyenne géométrique (G) est définie comme étant la racine Nième du produit des N termes d'une série statistique.

(d) Une limite plus restrictive (≤ 200 coliformes fécaux / 100 ml) est appropriée pour les pelouses publiques, comme les pelouses d'hôtels, avec lesquelles le public peut avoir un contact direct.

(e) Cette limite peut être augmentée à ≤ 1 œuf/l si (i) il fait chaud et sec et que l'irrigation de surface n'est pas pratiquée ou (ii) le traitement de l'eau contient aussi des traitements chimiothérapeutiques anti-helminthes.

(f) Dans le cas des arbres fruitiers, l'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la récolte, et aucun fruit ne doit être récolté au sol. L'irrigation par aspersion ne doit pas être utilisée.

Annexe-I-7 : Recommandation de l'OMS (2006) pour l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture

Exposition (cible de 10^{-6} DALY) ^a	Réduction des pathogènes requis (log)	Œufs de nématodes (nombre / L)
Irrigation sans restriction		
Laitue	6	$\leq 1^{b, c}$
Oignon	7	$\leq 1^{b, c}$
Irrigation avec restriction		
Hautement mécanisée	3	$\leq 1^{b, c}$
Haute intensité de main d'oeuvre	4	$\leq 1^{b, c}$
Irrigation localisée		
Cultures hautes	2	pas de recommandation ^d
Cultures basses	4	$\leq 1^c$

a Réduction pour les rotavirus. La cible de 10^{-6} peut être atteinte pour l'irrigation localisée et sans restriction par une réduction de 6-7 unités log (obtenue par une combinaison de traitement des eaux usées et autres mesures de protection, incluant une réduction de 3-4 log par la décroissance naturelle dans les conditions au champ et par la réduction des pathogènes au niveau domestique par un lavage et rinçage des produits.

b Lorsque des enfants de moins de 15 ans sont exposés, des mesures supplémentaires doivent être prises (traitement à $\leq 0,1$ œuf de nématode / L, vêtements de protection, médication préventive)

c Une moyenne arithmétique doit être déterminée pour la saison d'irrigation. La valeur moyenne doit être obtenue pour au moins 90% des échantillons

d Aucun produit au sol ne doit être cueilli

Annexe-I-7 – suite

Mesure de contrôle	Réduction des pathogènes (log)	Notes
Traitement des eaux usées	1 - 6	La réduction requise des pathogènes dans les eaux usées dépend de la combinaison des mesures de protection choisies
Irrigation localisée : goutte-à-goutte	2	Pour les légumes racines et les cultures : la laitue, qui poussent juste au dessus du sol, en contact partiel (cultures basses)
Irrigation localisée : goutte-à-goutte	4 le sol (cultures hautes)	Pour les cultures comme les tomates, dont s les produits récoltés ne sont pas en contact
Irrigation par aspersion – contrôle de la dérive	1	Utilisation de micro-asperseurs, asperseurs contrôlés par anémomètre, etc...
Irrigation par aspersion – Zone tampon	1	Protection des résidents près des zones irriguées. La zone tampon de 50 à 100 m
Décroissance des pathogènes	0,5-2 / jour	Décroissance sur la surface des produits qui se produit entre la dernière irrigation et la consommation. La réduction des pathogènes dépend du climat (temp., soleil, humidité), du temps et de la culture
Lavage des produits (eau claire)	1	Lavage des légumes à salade, des légumes et des fruits avec de l'eau potable
Lavage des produits (désinfectant)	2	Lavage des légumes à salade, des légumes et des fruits avec un désinfectant faible et rinçage l'eau potable
Pelage des produits	2	Pour les fruits et légumes racines
Cuisson des produits	6 - 7	L'immersion dans l'eau bouillante (ou presque) jusqu'à ce que le produit soit cuit assure la destruction des pathogènes

Annexe-I-8 : Résumé des recommandations américaines (Californie) pour la REUE (USEPA)

Applications de la REUE	Techniques d'irrigation	Coliformes fécaux ou totaux ^b	Traitements des eaux usées requis
Utilisation pour l'irrigation et l'arrosage			
Cultures comestibles	Aspersion	< 2,2/100 ml ^a	Traitement secondaire, coagulation, clarification, filtration et désinfection
Cultures comestibles	Surface	< 2,2/100 ml ^a	Traitement secondaire et désinfection
Arbres fruitiers et vigne	Surface	Aucune limite	Traitement primaire
Cultures fourragères, production de fibres végétales et cultures de semences	Surface ou aspersion	Aucune limite	Traitement primaire
Pâturage pour animaux élevés pour leur lait	Surface ou aspersion	< 23/100 ml ^a	Traitement secondaire et désinfection
Parcours de golfs, cimetières, haltes routières et autres espaces avec un accès public similaire	Surface ou aspersion	< 23/100 ml ^{a,c}	Traitement secondaire et désinfection
Parcs, jardins publics, aires de jeux, cours d'école et autres espaces similaires	Surface ou aspersion	< 2,2/100 ml ^a	Traitement secondaire, coagulation, clarification, filtration et désinfection
Autres usages			
Bassin d'agrément sans restriction d'usage	-	< 2,2/100 ml	Traitement secondaire, désinfection, oxydation
Bassin paysager	-	< 23/100 ml	Traitement secondaire, Désinfection, oxydation
Recharge de nappe	-	d	d

(a) Les critères californiens de réutilisation des eaux usées épurées sont exprimés comme la médiane du nombre de coliformes totaux pour 100 ml, déterminée à partir d'analyses bactériologiques réalisées les 7 derniers jours.

(b) La concentration en coliformes ne doit pas excéder 23 pour 100 ml dans plus d'un échantillon sur une période de 30 jours.

(c) La concentration en coliforme ne doit pas excéder plus de 240 pour 100 ml dans plus d'un échantillon sur une période de 30 jours.

(d) Chaque projet est examiné individuellement par les services de santé de l'État de Californie

Annexe-I-9 : Limites recommandées en salinité, SAU et autres dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO)

Problème potentiel en irrigation	Unité	Degré de restriction à l'usage		
		Aucun	Léger à modéré	Sévère
Salinité				
Conductivité électrique	dS/m	< 0,7	0,7-3,0	> 3,0
Ou TDS				
DBO ₅	mg/l	< 450	450-2 000	> 2 000
Infiltration				
SAR = 0 - 3 et CE	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)	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		

(a) sur moyenne de 24 heures.

(b) sauf dérogation particulière.

Annexe-I-10 : Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO)

Paramètre	Long terme^a (mg/L)	Court terme^b (mg/l)
Aluminium	5.0	20.0
Arsenic	0.1	2.0
Béryllium	0.1	0.5
Bore	0.75	2.0
Cadmium	0.01	0.05
Chrome	0.1	1.0
Cobalt	0.05	5.0
Cuivre	0.2	5.0
Fluor	1.0	15.0
Fer	5.0	20.0
Plomb	5.0	10.0
Lithium	2.5	2.5
Manganèse	0.2	10.0
Molybdène	0.01	0.05
Nickel	0.2	2.0
Selenium	0.02	0.02
Vanadium	0.1	1.0
Zinc	2.0	10.0

a pour l'eau utilisée sans interruption sur tous les sols.

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

Annexe-I-11 : Effets de chaque paramètre choisi sur la REUE et la santé publique (FAO)

Paramètre mesuré	Effets
Pathogènes : coliformes et nématodes	Transmission de maladies contagieuses d'origine bactérienne, virale ou parasitaire
Métaux lourds	Accumulation potentielle dans le sol et toxicité pour les plantes, les animaux et les humains.
Composés chimiques ; phénols, hydrocarbures,...	Toxiques dans l'environnement. Problèmes potentiels de santé, certains carcinogènes
Solides dissous : salinité	Toxique pour certaines plantes Problèmes de perméabilité des sols
Matières en suspension	Création de dépôts et de conditions anaérobies dans le milieu récepteur Obstruction des systèmes d'irrigation
DCO et DBO ₅	La décomposition des matières organiques consomme l'oxygène dissous
pH	Modification de la solubilité des métaux Effet sur l'alcalinité
Nutriments : N, P, K	Pollution des eaux de surface et souterraines Développement d'organismes indésirables (algues, etc.)

Annexe-I-12: Apport de nutriments pour diverses quantités d'eau d'irrigation appliquées

Eau d'irrigation (m ³ /ha.an)	Concentration d'un nutriment dans les eaux usées (mg/l)								
	5	10	15	20	25	30	35	40	50
Quantité de nutriments ajoutée (kg/ha.an)									
1000	5	10	15	20	25	30	35	40	50
2000	10	20	30	40	50	60	70	80	100
3000	15	30	45	60	75	90	105	120	150
4000	20	40	60	80	100	120	140	160	200
5000	25	50	75	100	125	150	175	200	250
6000	30	60	90	120	150	180	210	240	300
7000	35	70	105	140	175	210	245	280	350
8000	40	80	120	160	200	240	280	320	400
9000	45	90	135	180	225	270	315	360	450
10000	50	100	150	200	250	300	350	400	500

Annexe-I-13 : Les virus dans les eaux usées

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre d'eau usée	Voies de contamination principales
Virus de l'hépatite A	Hépatite A		Ingestion
Virus de l'hépatite E	Hépatite E		Ingestion
Rotavirus	Vomissement, diarrhée	400 à 85 000	Ingestion
Virus de Norwalk	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Adénovirus	Maladie respiratoire, conjonctivite, vomissement, diarrhée		Ingestion
Astrovirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Calicivirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Coronavirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion / inhalation
Réovirus	Affection respiratoire bénigne et diarrhée		Ingestion
Entérovirus :			
Poliovirus	Paralyse, méningite, fièvre	182 à 492 000	Ingestion
Coxsackie A	Méningite, fièvre, pharyngite, maladie respiratoire		Ingestion
Coxsackie B	Myocardite, anomalie congénitale du cœur (si contamination pendant la grossesse), éruption cutanée, fièvre, méningite, maladie respiratoire		Ingestion
Echovirus	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, rash, diarrhée, fièvre		Ingestion
Entérovirus 68-71	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, conjonctivite hémorragique aiguë, fièvre.		Ingestion

Source : adapté d'Asano (1998) et du site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca)

Annexe-I-14 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre d'eau usée	Voies de contamination principales
<i>Salmonella</i>	Typhoïde, paratyphoïde, salmonellose	23 à 80 000	Ingestion
<i>Shigella</i>	Dysenterie bacillaire	10 à 10 000	Ingestion
<i>E. coli</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Yersinia</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Campylobacter</i>	Gastro-entérite	37 000	Ingestion
<i>Vibrio</i>	Choléra	100 à 100 000	Ingestion
<i>Leptospira</i>	Leptospirose		Cutanée/Inhalation/Ingestion
<i>Legionella</i>	Légionellose		Inhalation
<i>Mycobacterium</i>	Tuberculose		Inhalation

Source : adapté d'Asano (1998) et du site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca).

Annexe-I-15 : Les parasites pathogènes dans les eaux usées

Organisme	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre	Voies de contamination principales
Protozoaires			
<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne	4	Ingestion
<i>Giardia lamblia</i>	Diarrhée, malabsorption	125 à 100 000	Ingestion
<i>Balantidium coli</i>	Diarrhée bénigne, ulcère du colon	28-52	Ingestion
<i>Cryptosporidium</i>	Diarrhée	0,3 à 122	Ingestion
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose : ganglions, faible fièvre		Inhalation / Ingestion
<i>Cyclospora</i>	Diarrhée, légère fièvre, perte de poids		Ingestion
<i>Microsporidium</i>	Diarrhée		Ingestion
Helminthes			
<i>Ascaris</i>	Ascariase : diarrhée, troubles nerveux	5 à 111	Ingestion
<i>Ancylostoma</i>	Anémie	6 à 188	Ingestion / Cutanée
<i>Necator</i>	Anémie		Cutanée
<i>Tænia</i>	Diarrhée, douleurs musculaires		Ingestion de viande mal cuite
<i>Trichuris</i>	Diarrhée, douleur abdominale	10 à 41	Ingestion
<i>Toxocora</i>	Fièvre, douleur abdominale		Ingestion
<i>Strongyloïdes</i>	Diarrhée, douleur abdominale, nausée		Cutanée
<i>Hymenolepis</i>	Nervosité, troubles digestifs, anorexie		Ingestion

Source : adapté d'Asano (1998) et du site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca)

Annexe-I-16 : Lignes directrices pour l'utilisation des eaux saumâtres en agriculture irriguée

Classes de cultures		Non saline	Légèrement saline	Moyennement saline	Hautement saline	Extrêmement saline
	TDS (mg/l)	<500	500 – 2000	2000 – 4000	4000 – 5000	9000 – 30 000
	EC _w	< 0,7	0,7 – 3,0	3,0 – 6,0	6,0 – 14,0	14,0 – 42
I	Cultures sensibles	Pas de restriction Rendement normal	Restriction moyenne à légère Jusqu'à 50% de réduction du rendement	Pour usage restreint seulement Plus de 50% de réduction du rendement	Non recommandé	Non recommandé
II	Cultures modérément sensibles	Pas de restriction Rendement normal	Restriction légère Jusqu'à 20% de réduction du rendement	Restriction moyenne Jusqu'à 50% de réduction du rendement	Pour usage restreint seulement Plus de 50% de réduction du rendement	Non recommandé
III	Cultures modérément tolérantes	Pas de restriction Rendement normal	Pas de restriction Rendement normal	Restriction légère à moyenne Jusqu'à 20-40% de réduction du rendement	Restriction moyenne 40-50% de réduction du rendement	Pour usage restreint seulement Plus de 50% de réduction du rendement
IV	Cultures tolérantes	Pas de restriction Rendement normal	Pas de restriction Rendement normal	Pas de restriction sérieuse Près du rendement normal	Restriction légère à moyenne 20-40% de réduction du rendement	Pour usage restreint seulement Plus de 50% de réduction du rendement Recommandé pour plantes halophytes

Source : Traduit et adapté de FAO Soils Bulletin No. 39, Salt-affected soils and their management, 1988 et Maas, E.V. and Hoffman, G.J., Cropsalttolerance – current assessment, J. Irrig. Drainage Div., ASCE, 103, IR2, 115, 1977.

ANNEXES -II

Cadre Réglementaire Existant REUE Algérie

- Loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement ;
 - Loi 85-05 du 16 février 1985 sur la protection et la promotion de la santé ; dans le contenu contrôle périodique de salubrité et d'hygiène des activités de production, conservation et transport des produits alimentaires et examens médicaux.
 - Loi n°03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre de développement durable ; dans le contenu la réglementation des rejets des eaux usées, brutes ou traitées, dans le milieu récepteur; maintien de la qualité des eaux et des sols et aussi :
 - Décret exécutif n°93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels ;
 - Décret exécutif 93-163 du 10 juillet 1993, inventaire du degré de pollution des eaux superficielles
 - Décret exécutif n°93-164 du 10 juillet 1993 définissant la qualité des eaux de baignade ;
 - Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels ;
 - Loi n° 05 - 12 du 04 août 2005 relative à l'eau dont : dans le contenu est l'interdiction de l'utilisation des eaux usées brutes et l'irrigation du maraichage consommé crue; et dans les articles :
 - L'article 2 vise la valorisation des eaux non conventionnelles pour accroître les potentialités hydriques ;
 - L'article 3 prévoit la prise en compte du coût réel de la collecte et de l'épuration des eaux usées ;
 - L'article 4 considère que les eaux usées épurées et utilisées dans un but d'utilité publique font partie du domaine public hydraulique naturel ;
 - L'article 6 stipule que la mobilisation, la production et l'utilisation des eaux non conventionnelles sont soumises aux conditions particulières fixées par la présente loi ;
 - L'article 16 considère que les collecteurs des eaux usées et les stations d'épuration ainsi que leurs dépendances relèvent du domaine public hydraulique artificiel ;
 - Les articles 76 et 78 ont institué la concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation.
 - Décret exécutif n°07-399 du 23 décembre 2007 concernant les périmètres de protection qualitative des ressources en eau ; dans le contenu est la réglementation l'utilisation des eaux usées épurées en production agricole, l'interdiction de l'usage des eaux usées épurées pour des productions maraîchères consommées crues; l'irrigation des arbres fruitiers par aspersion, le pâturage direct sur des sites irriguées avec des EUE.
-

- Décret n° 07-149 du 20 mai 2007 concernant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation, ainsi que le cahier de charges type y afférent ;
 - Décret exécutif n° 09-209 du 11 juin 2009 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement des eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration ;
 - Décret exécutif n°10-23 du 12 janvier 2010 fixant les caractéristiques techniques des systèmes d'épuration des eaux usées ;
 - Arrêtés interministériels du 2 janvier 2012 fixant :
 - les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation ;
 - la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.
- ☞ L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette.
 - ☞ Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol.
 - ☞ L'irrigation par aspersion est à éviter.
 - ☞ Le pâturage direct est interdit, les irrigations doivent être arrêtées une semaine avant la coupe.
 - ☞ Exige une technique d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes.
 - ☞ L'utilisation de la main d'œuvre qualifiée.
 - ☞ Etc..
-

ANNEXES -III

Annexes-III-1 : Climatologie de la zone d'étude :

1.1.1. Température :La distribution mensuelle de la température est donnée dans le tableau T1 ci-dessous :

Tableau T1 : Répartition mensuelle de la température de l'air en °C.

Paramètre	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Moyenne
Température Moyenne (°C)	23,5	19,9	15,6	12,2	10,8	11,6	13,5	15,1	19,3	23,2	26,7	27,0	18,2

D'après le tableau ci-dessus, on enregistre une température moyenne de 18,2°C, avec une moyenne minimale de 10°C pendant le mois de janvier et une moyenne maximale de 27°C pendant le mois d'août.

Les températures moyennes allant de novembre à avril sont inférieures à la moyenne annuelle à comparer avec la température des mois de mai à octobre qui sont supérieures à cette dernière.

1.1.2. Vitesse des vents :

Les valeurs moyennes de la vitesse du vent enregistrées au niveau de la station installée au niveau du barrage de Boukerdene sont présentées dans le tableau T2 ci-dessous :

Tableau T2 : Vitesse du vent (mm).

Paramètre	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Moyenne
Vitesse du Vent (Km/h)	3,5	3,1	3,2	3,6	3,8	3,7	3,5	3,6	6,1	3,1	3,1	3,0	3,6

Les vitesses du vent sont relativement faibles et homogènes durant toute l'année. La moyenne annuelle est de 3,6 Km/h.

Les vents dominants y sont de direction Ouest.

1.1.3. Evaporation :

L'évaporation représente un paramètre essentiel dans l'analyse de la ressource en eau, dans ce cas une bonne estimation est nécessaire sur la base de l'évaporomètre classe A installé au niveau du barrage Boukerdene.

La distribution moyenne mensuelle de l'évaporation est donnée au tableau T3.

Tableau T3 : Répartition mensuelle de l'évaporation moyenne en mm.

Paramètre	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Cumul Moyen
Evaporation moyenne (mm)	123,1	92,2	51,9	42,9	42,7	50,5	75,2	94,1	124,6	156,2	185,6	172,2	1211,2

Source station oscillaire ANRH à Boukedane et Station Dal El Beida (T moyenne de 17,8°C , située à 75 Km).

L'examen de ce tableau montre que l'évaporation est importante pendant la période allant du mois de mai à septembre et elle est plus faible du mois de novembre à janvier. Le cumul moyen est de 1211 mm.

1.1.4. Humidité relative :

La distribution mensuelle de l'humidité de l'air est présentée dans le tableau T3

Tableau T4 : Répartition mensuelle de l'évaporation moyenne en mm.

Paramètre	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Moyenne
H (%)	77,8	79,5	75,2	73,9	73,9	68,5	67,9	68,9	67,5	74,8	77,7	76,5	73,5

L'examen de la répartition mensuelle, montre que l'humidité relative de l'air est généralement plus élevée en saison hivernale. Les valeurs maximales sont atteintes durant les mois d'hiver (75-80%), lorsque les températures sont minimales. Les valeurs d'humidité les plus faibles sont enregistrées en été.

1.1.5. Tension de vapeur d'eau :

La distribution mensuelle de la tension de vapeur d'eau est présentée dans le tableau T4.

Tableau T5 : Répartition mensuelle de tension de vapeur d'eau en mbar.

Paramètre	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Année
Tension de vapeur (mbar)	19,7	17,1	13,2	11,2	10,1	10,5	11,7	12,8	16,3	19,1	22,2	22,7	155

Les valeurs moyennes mensuelles minimales et maximales de la tension de vapeur d'eau se situent respectivement en mois de janvier (10 mbar) et au mois d'août (22 mbar).

1.1.6. Ensoleillement :

La quantité d'heures d'ensoleillement dans la région est assez élevée ; la moyenne annuelle est de 7,7 heures par jour. L'ensoleillement annuel total est de 2 821 heures.

Tableau T6 : Ensoleillement en heures.

Paramètre	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Année
Moyenne	253	225	170	155	167	180	230	244	267	300	328	303	2 821
Heures/jours	8,4	7,2	5,5	5,0	5,4	6,2	7,4	8,1	8,6	10	10,6	9,8	7,7

1.1.7. Phénomène météorologique :

Les différentes caractéristiques climatiques sont données dans le tableau suivant pour période 1993-2010.

Tableau T5 : Phénomène météorologique en jours.

Paramètre	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Année
Gèle	8	7	4	1	0	0	0	0	0	0	1	3	23
Suroco	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	0	2	18
Grêle	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3

Le siroco qui est un vent saharien violent, très sec est très chaud, souffle en moyenne pendant 18 jours par ans.

1.1.8. Évapotranspiration :

L'estimation théorique de l'évapotranspiration potentielle faite par l'ANRH est calculée sur la base de la formule de Penman utilisant les données climatiques différentes pour la période 1993-2010.

Tableau T6 : Résultats des calculs ETP de la zone du projet selon la formule utilisée en mm.

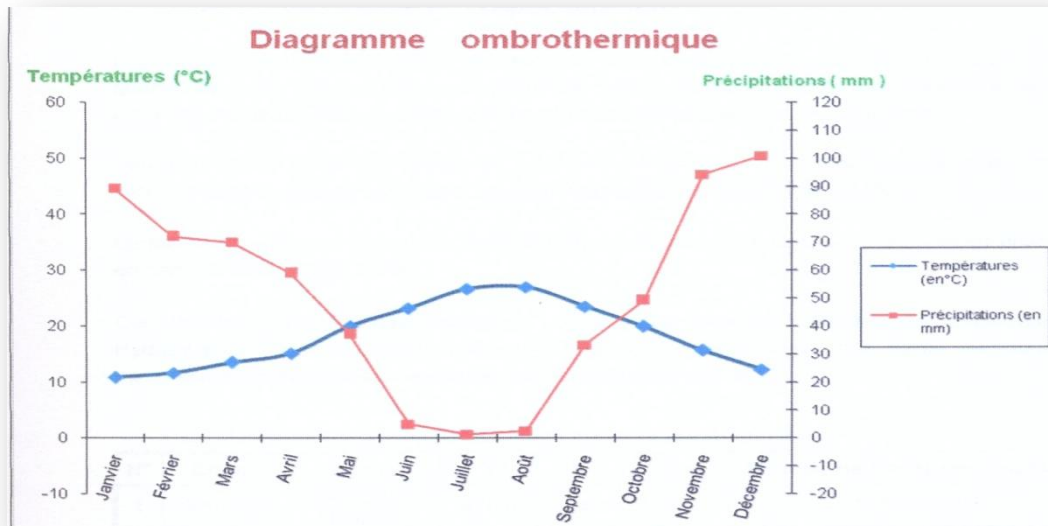
Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Total
ETP Moyenne	105	65	36	20	20	35	59	86	113	143	158	145	986

Les résultats de ces calculs d'ETP sont confirmés par la carte algérienne des ETP sur laquelle nous pouvons voir que la zone du projet se trouve dans l'intervalle 1 000-1 200 mm d'ETP.

1.1.9. Diagramme ombro-thermique :

Le diagramme ombrothermique permet de définir les mois secs de l'année. Les précipitations sont exprimées en mm. Lorsque celles-ci sont égales ou inférieures au double de la température exprimée en degré centigrades ($P \leq 2T$).

Le diagramme ombrothermique fait ressortir une période sèche qui s'étale sur environ 5 mois, allant du mois de mai jusqu'au mois de septembre.



1.2. Précipitations :

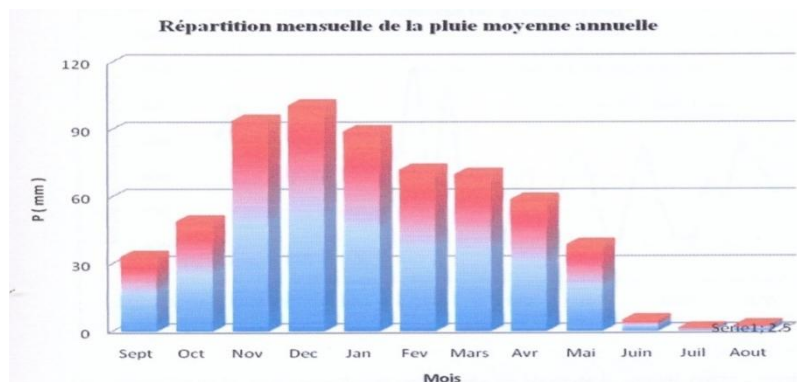
Les précipitations présentent un facteur essentiel dans le bilan hydrologique, sa quantification est faite au niveau de plusieurs stations pluviométriques implantées à travers le territoire algérien dans le but d'avoir une information précise sur ce paramètre.

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques de la station pluviométrique prise en considération dans notre étude, très proche de la zone d'étude, présentant les mêmes conditions climatologiques, presque à la même altitude de l'aire d'irrigation. La répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle à la station (020329) du barrage Boukerdane est donnée dans le tableau ci-après :

Tableau T7 : Répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle à la station 020329.

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Jun	Juil.	Août	Total
P (mm)	33,2	49,2	94,1	100,9	89,2	72,0	70,1	59,0	38,7	4,9	1,2	2,5	615
Répartition (%)	5,4	8,0	15,3	16,4	14,5	11,7	11,4	9,6	6,3	0,8	0,2	0,4	100

D'après le graphique ci-dessus, la saison pluvieuse s'étend du mois d'octobre au mois mai, par contre la saison sèche est dominante au cours des mois de juin, juillet et août.



Annexe-III-2 : Composition typique des eaux usées domestique « METCALF and EDDY,INC. (Mc Graw Hill 1972).

Contaminant	Unit	Faible	Moyen	Fort
Solids, total (TS)	mg/l	350	720	> 1200
Dissolved, Total (TDS)	mg/l	250	500	> 850
Fixed	mg/l	145	300	525
Volatile	mg/l	105	200	325
Settleablesolids	ml/l	5	10	20
Biochemicaloxygendemand, 5-day, (BOD5, 20°C)	mg/l	110	220	< 400
Total organiccarbon (TOC)	mg/l	80	160	290
Chemicaloxygendemand (COD)	mg/l	250	500	< 1000
Nitrogen (total as N)	mg/l	20	40	85
Organic	mg/l	8	15	35
Free ammonia (NH4)	mg/l	12	25	50
Nitrites (NO2)	mg/l	0	0	0
Nitrates (NO3)	mg/l	0	0	0
Phosphorus (total as P)	mg/l	4	8	15
Organic	mg/l	1	3	5
Inorganic	mg/l	3	< 5	10
Chlorides (Cl)	mg/l	30	50	> 100
Sulfates (SO4)	mg/l	20	30	>50
Alkalinity (as CaCO3)	mg/l	50	100	>200
Grease	mg/l	20	100	>150
Total coliform	(NPP/100 ml)	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁸ -10 ⁹
Volatile organiccompunds (VOCs)	µg/l	<100	100-400	> 400

**Annexes-III-4 : Résultats des Analyses de la qualité physico-chimique des eaux usées
de la STEP Chenoua- Laboratoire Central SEAAL (Alger)**

Les Prélèvements horaires

Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger
Centre STEP et PR Tipaza



Les Prélèvements des Eaux Usées Epurées par la STEP CHENOUA Wilaya de Tipaza

Date du Prélèvement SEAAL du : 27 Juin 2015

Heure	Débit (m3)	Entrée STEP	Sortie STEP	Rendement Epuratoire
8h	Q1 et Q1*	834	830	99,52
10h	Q2 et Q2*	1 095	1 020	93,15
12h	Q3 et Q3*	720	700	97,22
14h	Q4 et Q4*	988	970	98,18
16h	Q5 et Q5*	613	602	98,21
Débit Total 8 heures				96,99

Date du Prélèvement SEAAL du : 28 Juillet 2015

Heure	Débit (m3/j)	Entrée STEP	Sortie STEP	Rendement Epuratoire
8h	Q1 et Q1*	783	420	53,64
10h	Q2 et Q2*	517	210	40,62
12h	Q3 et Q3*	918	658	71,68
14h	Q4 et Q4*	858	292	34,03
16h	Q5 et Q5*	732	722	98,63
Débit Total 8 heures				60,45
Débit Total 8 heures				3 808
Débit Total 8 heures				2 302

Date du Prélèvement SEAAL du : 30 Août 2015

Heure	Débit (m3/j)	Entrée STEP	Sortie STEP	Rendement Epuratoire
8h	Q1 et Q1*	622	619	99,52
10h	Q2 et Q2*	719	698	97,08
12h	Q3 et Q3*	800	790	98,75
14h	Q4 et Q4*	998	990	99,20
16h	Q5 et Q5*	744	740	99,46
Débit Total 8 heures				98,82
Débit Total 8 heures				3 883
Débit Total 8 heures				3 837

Chef de Centre STEP eLPR
 CHABWI Lotissim & PR
 Centre des Eaux Usées et de l'Assainissement d'Alger

**Annexes-III-5 : Résultats des Analyses de la qualité physico-chimique des eaux usées
- Laboratoire STEP-Chenoua (SEAAL-Tipaza)**

*Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger
Centre STEP et PR Tipaza*



**Résultats Laboratoire STEP Chenoua SEAAL
30-31 AOUT 2015**

Paramètre	Unité	EUE Brute 30/089/2015	EUE Epurée 31/09/2015
AZOTE NITREU	mg/l	<0.2	0,39
DBO5 DIL	mg/l	525	3
AZOTE NITRIQ	mg/l	<4	<4
P-PO4	mg/l	8,4	0,73
DCO	mg/l	980	
MES	mg/l	860	24
AZOTE AMMON	mg/l	28	3,8
MVS	mg/l	120	
PT	mg/l		
NTK	mg/l		

**Résultats Laboratoire STEP Chenoua SEAAL
27-28 JUNI 2015**

Paramètre	Unité	EUE Brute 30/089/2015	EUE Epurée 31/09/2015
AZOTE NITREU	mg/l		
DBO5 DIL	mg/l		
AZOTE NITRIQ	mg/l		
P-PO4	mg/l		
DCO	mg/l		
MES	mg/l		
AZOTE AMMON	mg/l		
MVS	mg/l		
PT	mg/l		
NTK	mg/l		

**Résultats Laboratoire STEP Chenoua SEAAL
28-29 JUILLET 2015**

Paramètre	Unité	EUE Brute 30/089/2015	EUE Epurée 31/09/2015
AZOTE NITREU	mg/l		
DBO5 DIL	mg/l		
AZOTE NITRIQ	mg/l		
P-PO4	mg/l		
DCO	mg/l		
MES	mg/l		
AZOTE AMMON	mg/l		
MVS	mg/l		
PT	mg/l		
NTK	mg/l		

Chef de Centre STEP et PR
 Tipaza

**Annexes-III-6 : Résultats des Analyses de la qualité physico-chimique des eaux usées -
Laboratoire Central SEAAL-Alger**

Paramètres	Unité	Prélèvement 27 Juin 2015		Prélèvement 28 Juillet 2015		Prélèvement 30 Août 2015	
		Eau Brute	Eau Epurée	Eau Brute	Eau Epurée	Eau Brute	Eau Epurée
PH	---	7,75	7,82	7,60	7,90	7,40	7,20
T°	°C	25,90	25,60	28,00	27,00	28,00	22,00
CE	mS/cm	1 452,00	1 482,00	1 726,00	1 594,00	1 733,00	1 486,00
NH4	mg/l	24,90	19,50	30,10	24,00	40,40	4,51
NO2	mg/l	0,19	0,13	0,17	0,15		
NO3	mg/l	0,85	0,55	1,04	1,00	2,67	1,00
PO4	mg/l	3,04	0,48	1,30	0,44	6,49	0,37
PT	mg/l	6,23	0,72	6,20	0,70	12,40	0,38
NT	mg/l	37,80	20,20	35,00	28,00	54,00	9,00
DCO	mg/l	400,00	34,30	459,00	45,00	1 108,00	21,00
DBO5	mg/l	238,00	6,00	227,00	19,00	646,00	19,00
MES	mg/l	260,00	18,00	262,00	22,00	736,00	10,00



 Chef de Centre STEP et PR
 Laboratoire Central SEAAL-Alger

Annexe-III-7 : Les Résultats des Analyses de la qualité Physico-Chimiques des eaux usées de la STEP Chenoua– Laboratoire ANRH

Laboratoire des eaux

A.N.R.H

CONTROLE DE QUALITE DES EAUX DE LA STEP DE CHENOUA TIPAZA

ANALYSES DE LABORATOIRE

Eléments physiques et composés organique

N° Labo	Désignation	Date de prélèvement	pH	Conductivité à 25°C $\mu\text{S/cm}$	DCO mg/l
174	Eau brute	28/06/2015	7.82	1464	234.24
175	Eau épurée	28/06/2015	7.45	1461	61.44
212	Eau brute	29/07/2015	7.52	1683	250.38
213	Eau épurée	29/07/2015	7.90	1560	70.97

Eléments minéraux

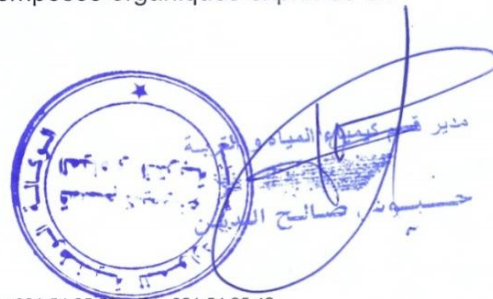
N° Labo	Désignation	Date de prélèvement	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	Cl mg/l	HCO ₃ mg/l	SAR meq/l
174	Eau brute	Date de prélèvement	93.20	26.16	271.17	220.10	460.55	6.37
175	Eau épurée	Date de prélèvement	98.20	27.96	271.17	203.06	430.05	6.19
212	Eau brute	Date de prélèvement	104	25.2	265.19	252.41	625.25	6.03
213	Eau épurée	Date de prélèvement	97.60	21.84	267.49	220.10	456.28	6.35

Salinité :

L'eau de la STEP présente une bonne minéralisation, moyennement minéralisée, sa teneur en sels minéraux est aux environs de 1043 mg/l

Composés organiques:

Les eaux épurées présentent de bonnes teneurs en composés organiques exprimée en DCO.



Annexes-III-8 : Résultats des Analyses de la qualité Bactériologiques des eaux usées de la STEP Chenoua- Laboratoire du Service Hygiène (W.Tipaza)

Eau Usée Brute

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE LA SANTE, DE LA POPULATION ET DE LA REFORME HOSPITALIERE

WILAYA DE TIPAZA
DIRECTION DE LA SANTE ET DE LA POPULATION DE TIPAZA
ETABLISSEMENT PUBLIC DE SANTE DE PROXIMITE DE TIPAZA
LABORATOIRE D'HYGIENE DE LA WILAYA DE TIPAZA


RESULTATS DES ANALYSES BACTERIOLOGIQUES DES EAUX

Echantillon N° :02/2015 Date de prélèvement : 30/08/2015 Date de réception : 30/08/2015

Provenance : STEP Chenoua * Eaux Brute * Analyse demander par : /

PARAMETRES	RESULTAT	NORMES
Coliformes Totaux	>1400/100ml	
Coliformes Fécaux	1400/100ml	
Streptocoques Fécaux	1100/100ml	
Salmonelles	Absence	Absence/5 Litre
Vibron Cholérique	Absence	Absence / 450 ml
Nématodes intestinaux (Œufs)	Absence	Absence
Dénombrement		
Recherche germes pathogènes		
Parasitologies		
Conclusion		

Tipaza : le : 03/09/2015


 Responsable du laboratoire

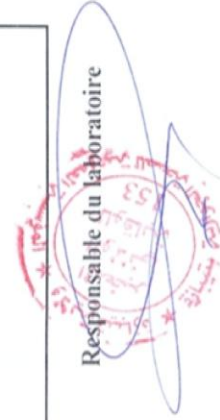
RESULTATS DES ANALYSES BACTERIOLOGIQUES DES EAUX

Echantillon N° : 02/2015 ——— Date de prélèvement : 30/08/2015 ——— Date de réception : 30/08/2015

Provenance : STEP Chenoua * Eaux Epurée * ——— Analyse demander par : /

PARAMETRES	RESULTAT	NORMES
Dénombrement		
Coliformes Totaux	>1400/100ml	
Coliformes Fécaux	500/100ml	
Streptocoques Fécaux	150/100ml	
Recherche germes pathogènes		
Salmonelles	Absence	Absence/5 Litre
Vibriion Cholérique	Absence	Absence / 450 ml
Parasitologies		
Nématodes intestinaux (Eufs)	Absence	Absence
Conclusion		

Tipaza ; le : 03/09/2015


Responsable du laboratoire

Annexes-III-9 : Résultats des Analyses de la qualité Bactériologique des eaux usées de la STEP Chenoua- Laboratoire Parasitologie (CHU Mustapha-Alger)

CENTRE HOSPITALO - UNIVERSITAIRE MUSTAPHA

LABORATOIRE DE PARASITOLOGIE-MYCOLOGIE

RESULTATS DU LABORATOIRE		
Nom :	Prénom :	Age :
Sexe :	Externe :	
Service :	Lit n° :	Médecin traitant :
Prélèvement :	Reçu le :	N° :
<i>Eaux usées brutes</i>	<i>STEP CHENOUA - TIPASA -</i>	
<u>Examens demandés :</u>	<i>Recherche d'œufs d'helminthes.</i>	
<u>Résultat :</u>		
	<i>Prélèvement n° ① (27 juin 2015) :</i>	NEGATIF
	<i>Prélèvement n° ② (30 juillet 2015) :</i>	NEGATIF
<u>Observations :</u>		
	Alger le	<i>31-08-2015</i>

Dr I. ACHIB  MUSTAPHA
LABORATOIRE
DE PARASITOLOGIE MYCOLOGIE

Annexe-III-10 :

Normes Algériennes REUE- (Arrêtés Interministériels)

Rappel des différentes catégories de STEP proposées dans le projet de normes algériennes pour l'utilisation des eaux usées épurées en irrigation agricole

CATÉGORIE I : Stations de traitement avec traitements primaires sommaires et avec peu (ou pas) de possibilités de gestion de processus épuratoire.

- Modes de traitement :
 - ☞ Traitement primaire : dégrillage au minimum ;
 - ☞ Traitement secondaire : lagunages naturels ou aérés ; boues activées à faible charge.
 - ☞ Stockage des eaux épurées destinées à l'irrigation : durée de stockage 1/2 jour minimum.
- Qualité des eaux épurées
 - DBO₅ < 20 à 30 mg/l - DCO < 90 à 120 mg/l
 - MES < 20 à 30 mg/l - pH : 6,5 à 8

CATÉGORIE II : Stations de traitement avec traitements primaires complets et avec moyens de gestion de processus épuratoire comportant les équipements de contrôle adaptés.

- Modes de traitement :
 - ☞ Traitement primaire : dégrillage ; dessablage/déshuilage aéré
 - ☞ Traitement secondaire: boues activées à faible charge avec décantation secondaire ou lagunage aéré avec lagune de finition.
 - ☞ Si nécessaire désinfection par chloration.
 - ☞ Stockage des eaux épurées destinées à l'irrigation : durée de stockage 1 jour minimum
- Qualité des eaux épurées
 - DBO₅ < 25 mg/l - DCO < 90 à 120 mg/l
 - MES < 25 mg/l - pH : 6,5 à 8

CATÉGORIE III : Stations d'épuration avec traitement primaire complet, avec moyens de gestion de processus épuratoire comportant les équipements de contrôle, d'exploitation et de pilotage adaptés ;

Le traitement secondaire biologique permet de pouvoir éventuellement assurer l'abattement de l'azote et du phosphore ;

Un traitement tertiaire de filtration – désinfection est opérationnel.

- Modes de traitement :
 - ☞ Traitement primaire : dégrillage; dessablage/déshuilage aéré ;
 - ☞ Traitement secondaire : boues activées à faible charge avec décantation secondaire ou lagunage aéré avec temps de séjour de 20 jours minimum. Lagune de finition avec temps de séjour de 2 jours minimum ;
 - ☞ Stockage des eaux épurées destinées à l'irrigation : durée de stockage 1 jour minimum ;
 - ☞ Traitement tertiaire : filtration sur sable + stérilisation (UV par ex.) + post-chloration.
- Qualité des eaux épurées
 - DBO₅ < 15 mg/l ; - DCO < 90 mg/l ;

MES < 5 mg/l. -

Annexe-III-10 : Tableau1 - Spécifications physico-chimiques des eaux usées destinées à l'irrigation agricoles

Paramètre		Symbole	Unité	Concentration maximale ^a
pH		-		6,5 < pH < 8,5
Conductivité électrique		CE	dS/m	3
Demande chimique en oxygène		DCO	mg O ₂ /l	90
Matière en suspension		MES	mg/l	30
Chlorures		Cl	meq/l	10
Sodium		Na	mg/l	1000
Pourcentage de Sodium Adsorbé		SAR	ds/m	10
Eléments Toxiques	Phénols		mg/l	0,002
	Aluminium	Al	mg/l	5
	Arsenic	As	mg/l	0,1
	Béryllium	Be	mg/l	0,1
	Bore	B	mg/l	2,0
	Cadmium	Cd	mg/l	0,01
	Cobalt	Co	mg/l	0,05
	Chrome	Cr	mg/l	0,1
	Cuivre	Cu	mg/l	0,2
	Cyanures		mg/l	0,05
	Fer	Fe	mg/l	5,0
	Fluorures	F	mg/l	1,0
	Lithium	Li	mg/l	2,5
	Manganèse	Mn	mg/l	0,2
	Mercure	Hg	mg/l	0,001
	Molybdène	Mo	mg/l	0,01
	Nickel	Ni	mg/l	0,2
	Plomb	Pb	mg/l	5,0
Sélénium	Se	mg/l	0,02	
Vanadium	V	mg/l	0,1	
Zinc	Zn	mg/l	2,0	
^(a) Une tolérance de 10 % maximum est acceptable pour une mesure à condition que ce dépassement ne se représente pas plus de trois fois pour des campagnes d'analyses consécutives ; ^(b) Pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin.				

Annexe-III- 10 :

Tableau 1 - Spécifications biologiques des eaux usées épurées destinée à l'irrigation

Groupes de cultures à irriguer avec les eaux usées épurées	Culture à irriguer	Groupe exposé	Paramètres microbiologiques		Traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique exigée
			Coliformes fécaux ^a (CFU/100ml)	Nématodes intestinaux ^b (œufs/l)	
A	Irrigation non restrictive Culture de produits pouvant être consommés crus	Population alentour Ouvriers agricoles Consommateurs	<100	Absence	Catégorie III
B	Légumes qui ne sont consommés que cuits Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire	Population alentour Ouvriers agricoles	<250	< 0,1	Catégorie III
C	Arbres fruitiers ^c Cultures et arbustes fourragers ^d Cultures céréalières Cultures industrielles Arbres forestiers Plantes florales et ornementales	Population alentour Ouvriers agricoles	Seuil recommandé <1000	<1	Catégorie II
D	Les cultures du groupe C utilisant l'irrigation localisée ^e	Aucun	Pas de norme recommandée	Pas de norme recommandée	Catégorie I

^a La valeur limite pour les coliformes fécaux représente une moyenne géométrique.
^b La valeur limite pour les œufs de nématodes représente une moyenne arithmétique.
^c L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion est interdite.
^d Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.
^e à condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrise la gestion de l'irrigation localisée et respecte les règles d'hygiène.

Annexes-III-11 : Décret de Concession REUE

Annexe-III-12- Normes NA 17683-REUE (Juin 2014)

Dispositions obligatoires pour toutes les réutilisations d'eaux usées épurées

Les risques sanitaires liés à la réutilisation des eaux usées épurées peuvent être minimisés en respectant certaines règles d'hygiène et de bonnes pratiques. Le Décret exécutif n° 07-149 du 3 Joumada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent, édicte des dispositions obligatoires destinées à limiter au maximum les risques sanitaires liés à l'usage des eaux usées épurées en irrigation.

Aussi les dispositions de la présente norme, citées ci-dessous sont obligatoires :

- L'irrigation, avec des eaux usées épurées des cultures maraîchères dont les produits sont consommables crus est interdite ;
- L'irrigation par des eaux usées épurées doit être interrompue au moins deux semaines avant la récolte ;
- Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées épurées ne doivent porter aucune culture, autre que celles figurant sur la liste indiquée dans le paragraphe **1.4 Liste des cultures pouvant être irriguées aux eaux usées épurées** ;
- La consommation des fruits tombant au sol est interdite ; ces fruits tombés doivent être détruits ou transportés à la décharge publique ;
- L'irrigation par aspersion ou par tout autre système mettant l'eau usée épurée en contact avec les fruits, pour les arbres fruitiers, est interdite ;
- Le pâturage direct sur les parcelles et aires irriguées aux eaux usées épurées est interdit ;
- L'obligation pour les parcelles de comporter un écriteau portant la mention « *Pâturage interdit* » en langues arabe et française ;
- Les parcelles irriguées, au moyen des eaux usées épurées, doivent être éloignées de plus de 100 mètres des routes, des habitations, des puits de surface et autres ouvrages destinés à l'alimentation en eau potable.
- Tout raccordement des eaux usées épurées avec une canalisation transportant de l'eau potable est interdit ;
- Les bassins de stockage, doivent être clôturés et leur accès interdit au public ;
- Les bornes et robinets d'irrigation, doivent comporter une plaque inamovible signalant que l'eau est non-potable et donc impropre à la consommation ;
- Les sorties du réseau, doivent être peintes en rouge et doit comporter un écriteau portant la mention « *Eaux usées épurées pour l'irrigation* » en langues arabe et française ;
- Les canalisations transportant des eaux usées épurées doivent être marquées par une bande rouge ;
- L'irrigation des parcs et des espaces verts, au moyen des eaux usées épurées, doit s'effectuer en dehors des heures d'ouverture au public ;

En outre :

- Le personnel travaillant sur les parcelles et aires irriguées aux eaux usées épurées, doit porter en permanence des gants, bottes et habits appropriés pendant tous les travaux du champ, qui permet de réduire le risque de contamination par contact (même en dehors des périodes d'irrigation, le personnel ne doit pas travailler pieds nus) ;
- La stagnation des eaux d'irrigation en cas de rupture dans le système d'irrigation doit être évitée ;
- L'irrigation par aspersion doit être évitée. Ce mode d'irrigation peut occasionner des effets négatifs sur les populations voisines dus à la propagation des aérosols ;

- Les ouvriers manipulant les eaux usées épurées doivent être informés sur la qualité biologique des eaux usées épurées ; les ouvriers manipulant les eaux usées épurées doivent avoir accès à l'eau potable pour leurs besoins en eau de boisson et leurs besoins sanitaires (hygiène personnelle) ;
- Une douche est obligatoire, après toute manipulation des eaux usées épurées par les ouvriers ;
- Une visite médicale annuelle pour le personnel exposé, est exigée ;
- De signaler clairement que les bassins de stockage (même s'ils sont clôturés comme le veut le décret susmentionné) contiennent des eaux usées épurées, et cela par des pancartes bien visibles portant la mention «Eau impropre à la consommation et à la baignade» en langues arabe et française ;
- La maintenance ne doit être assurée que par des professionnels qualifiés ;
- De limiter au maximum l'accès aux conduites et canalisations ;
- Les mesures appropriées doivent être prises afin d'éviter toutes connexions accidentelles entre le réseau d'eau potable et le réseau des eaux usées épurées, des contrôles réguliers de la qualité de l'eau potable devant en principe permettre de les détecter.

1. Spécifications de la qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation agricoles

1.1. Considérations générales

Les eaux usées épurées considérées par la présente norme sont exclusivement d'origine urbaine à dominante domestique.

La charge hydraulique journalière maximale autorisée pour les rejets industriels ne pourra, en aucun cas, dépasser 20% de la charge hydraulique totale de la station d'épuration en m³/jour.

Les spécifications qualitatives de tous les rejets industriels admis dans les STEP doivent répondre au Décret exécutif n° 09-209 du 17 Jumada Ethania 1430 correspondant au 11 juin 2009 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement des eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration Voir **Tableau B1**.

1.2. Spécifications physico-chimiques

La qualité physico-chimique des eaux usées épurées destinées à l'irrigation agricoles doit être conforme aux normes suivantes :

Tableau 2— Spécifications physico-chimiques des eaux usées destinées à l'irrigation agricoles

Paramètre		Symbole	Unité	Concentration maximale ^a
pH		-		6,5 < pH < 8,5
Conductivité électrique		CE	dS/m	3
Demande chimique en oxygène		DCO	mg O ₂ /l	90
Matière en suspension		MES	mg/l	30
Chlorures		Cl	meq/l	10
Sodium		Na	mg/l	1000
Pourcentage de Sodium Adsorbé		SAR	ds/m	10
Eléments toxiques ^b	Phénols		mg/l	0,002
	Aluminium	Al	mg/l	5
	Arsenic	As	mg/l	0,1
	Béryllium	Be	mg/l	0,1
	Bore	B	mg/l	2,0
	Cadmium	Cd	mg/l	0,01
	Cobalt	Co	mg/l	0,05
	Chrome	Cr	mg/l	0,1
	Cuivre	Cu	mg/l	0,2
	Cyanures		mg/l	0,05
	Fer	Fe	mg/l	5,0
	Fluorures	F	mg/l	1,0
	Lithium	Li	mg/l	2,5
	Manganèse	Mn	mg/l	0,2
	Mercuré	Hg	mg/l	0,001
	Molybdène	Mo	mg/l	0,01
	Nickel	Ni	mg/l	0,2
	Plomb	Pb	mg/l	5,0
	Sélénium	Se	mg/l	0,02
Vanadium	V	mg/l	0,1	
Zinc	Zn	mg/l	2,0	
^(c) Une tolérance de 10 % maximum est acceptable pour une mesure à condition que ce dépassement ne se représente pas plus de trois fois pour des campagnes d'analyses consécutives ; ^(d) Pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin.				

Du point de vue qualité physico-chimique, les mêmes spécifications sont applicables pour tous les types de système d'épuration.

1.3. Spécifications biologiques

Dans l'objectif de préserver la santé et l'environnement, une classification qualitative selon le type de traitement appliqué aux eaux usées urbaines a été choisie.

Quatre catégories de niveau de traitement serviront de référence. Chaque catégorie présentera des restrictions d'utilisation spécifiques conformément au **Tableau 2** et **Tableau 3**.

La qualité biologique des eaux usées destinées à l'irrigation doit être conforme aux normes suivantes :

Tableau 3—Concentration maximale tolérée en DBO₅ dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation

Paramètre	Symbole	Unité	Concentration maximale tolérée (Moyenne sur 24h)
Demande biologique en oxygène à 5 jours	DBO ₅	mg O ₂ /l	30

Le paramètre DBO₅ sera doté de la même valeur limite pour tous les types de système d'épuration.

Tableau 4—Spécifications biologiques des eaux usées épurées destinée à l'irrigation

Groupes de cultures à irriguer avec les eaux usées épurées	Culture à irriguer	Groupe exposé	Paramètres microbiologiques		Traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique exigée
			Coliformes fécaux ^a (CFU/100ml)	Nématodes intestinaux ^b (œufs/l)	
A	Irrigation non restrictive Culture de produits pouvant être consommés crus	Population alentour Ouvriers agricoles Consommateurs	<100	Absence	Catégorie III
B	Légumes qui ne sont consommés que cuits Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire	Population alentour Ouvriers agricoles	<250	< 0,1	Catégorie III
C	Arbres fruitiers ^c Cultures et arbustes fourragers ^d Cultures céréalières Cultures industrielles Arbres forestiers Plantes florales et ornementales	Population alentour Ouvriers agricoles	Seuil recommandé <1000	<1	Catégorie II
D	Les cultures du groupe C utilisant l'irrigation localisée ^e	Aucun	Pas de norme recommandée	Pas de norme recommandée	Catégorie I

^a La valeur limite pour les coliformes fécaux représente une moyenne géométrique.
^b La valeur limite pour les œufs de nématodes représente une moyenne arithmétique.
^c L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion est interdite.
^d Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.
^e à condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrise la gestion de l'irrigation localisée et respecte les règles d'hygiène.

1.4. Liste des cultures pouvant être irriguées aux eaux usées épurées

1.4.1. Cas des effluents issus des stations d'épuration catégorie I et II

Les effluents issus des stations d'épuration catégorie I et II et qui conviennent pour l'irrigation des cultures du groupe C et D de la présente norme. Il est par conséquent interdit d'irriguer les cultures maraîchères. Il est également interdit de pratiquer le pâturage direct.

La présente norme fixe de manière exhaustive les cultures pouvant être irriguées par ce type d'eau, à savoir :

- **Les arbres fruitiers⁽¹⁾** : dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, Rhubarbe, Arachides, Noix, Olive.
- **Les agrumes** : Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine
- **Les cultures fourragères⁽²⁾** : Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce, et luzerne.
- **Culture industriel** : Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, le tabac, le lin.
- **Les cultures céréalières** : Blé, orge, triticales et avoine.
- **Les cultures de production de semences** : Pomme de terre, Haricot et Petit pois.
- **Les arbustes fourragers** : l'Acacia et l'Atriplex
- **Les plantes florales à sécher ou à usage industrielle** : rosier, l'iris, le jasmin, la marjolaine et le romarin.

1.4.2. Cas des effluents issus des stations d'épuration catégorie III

L'obtention de la qualité d'eau répondant à la catégorie de traitement III permettrait d'élargir la gamme des cultures à irriguer en évoluant vers une utilisation non restrictive, et cela, conformément aux spécificités indiquées dans la présente norme voir **Tableau 3**.

ANNEXES-IV-V

Tableau 1 : Avantages et contraintes des procédés physico-chimiques de désinfection
(Selon Quaneir, 2006)

Procédé	Avantages	Contraintes
Chloration (chlore)	<ul style="list-style-type: none"> -Désinfectant puissant sous sa forme d'acide hypochloreux -Efficace contre les entérovirus pathogènes. 	<ul style="list-style-type: none"> -Nécessite une faible concentration en matière organique et en ammoniac le temps de contact est de 30 min ; -Eviter les rejets trop chargés en chloramines et en chlore résiduel pour préserver l'environnement récepteur ; -Exige la maîtrise des technologies de stockage et de dosage compte tenu de sa toxicité.
Dioxyde de chlore	<ul style="list-style-type: none"> -Efficacité indépendante du pH : -Efficace contre tous les types de micro-organismes pathogènes ; -effet rémanent -Temps de contact moins de 5 min 	<ul style="list-style-type: none"> -le dioxyde de chlore doit être produit sur place, ce qui en limite l'utilisation : augmentation du coût des installations, - formation de sous produits (chlorates et chlorites) dont on ne connaît pas bien les effets.
L'ozone	<ul style="list-style-type: none"> - temps de contact de l'ordre de 10 min. - spectre germicide très large, efficacité indépendante du pH. - diminution de 20% de la DCO résiduelle. 	<ul style="list-style-type: none"> - Formation de bromates dans le cas d'eaux chargées, même faiblement, en bromures. - pas d'effet rémanent.
Rayonnement UV	<ul style="list-style-type: none"> - pas d'utilisation de produits chimiques, toxiques, néfastes à l'environnement. - efficace contre la majorité des micro-organismes. 	<ul style="list-style-type: none"> - pas d'effet rémanent. - la présence de MES peut constituer un écran entre les rayons UV et les micro-organismes. - une turbidité inférieure à 1 est requise. - vieillissement rapide des lampes. - déconseillé pour des eaux chargées en matières organiques, en Fer, en Mn ou trop entartrantes (dépôts importants sur les lampes ce qui limite le rayonnement). - le nettoyage périodique des lampes est indispensable.

Tableau 2: Guide pour l'interprétation de la salinité d'une eau d'irrigation (FAO, 1985)

Paramètre		Unité	Guide pour la qualité d'eau		
			Aucun risque	Risque léger à modéré	Risque élevé
Salinité	CE	dS/cm	< 0,7	0,7-3,0	> 3,0
	TDS	mg/l	< 450	450-2000	> 2000
Sodium (Na)	Irrigation de surface	SAR	< 3	3-9	> 9
	Irrigation par aspersion		< 3	> 3	
Chlorure (Cl)	Irrigation de surface	méq/l	< 4	4-10	> 10
	Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	

Tableau 3: Tolérance à la salinité de quelques plantes (Adaptées de FAO, 1985 et 1988 ; Ayers et al., 1980 ; Bouaziz, 1997, CRUESI, 1970 ; François et al 1988 ; Sandhu et al., 1981)

CE (dS/m)	Salinité de l'eau					
	<2	2-3	3-4	4-5	5-7	>7
RS mg/l	<1280	1280-1920	1920-2560	2560-3200	3200-4480	>4480
Liste des plantes	Agrumes, Amandiers, Pêchers, Pruniers, Pommiers, Poiriers Fraisier Haricots, Oignon, Carotte	Pommes de terre Raisins Tomates, Piment Maïs, Brocoli Epinards Pastèques, Concombres, Vesce, Pamplemousses, Figuier	Sorgho Betteraves	Soja* Luzerne** Palmiers*** Trèfle, Artichaut, Tournesol Olivier Grenadier	Betteraves Sucrères Blé, Ray gras,	Coton, Orge, Triticale, Kallargrass, Sudax (sorghohybride)

**des niveaux de salinité plus élevés ont été rapportés pour la luzerne (7 et 8 ds/m) dans le sud tunisiens

***des niveaux de salinité plus élevés ont été rapportés pour des palmiers dattiers en Algérie (7-8 ds/m).

Tableau 4: Système d'irrigation et propagation du risque

Système d'irrigation	Impact et efficacité du système
<p align="center">Gravitaire</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Impact sur les eaux souterraines • Impact possible sur les eaux de surface lié aux évacuations des excédents • Impact sur les cultures surtout à port bas • Impact sur les ouvriers agricole • Efficacité du système: <ul style="list-style-type: none"> - Bassin : 60-80 % - Raie : 50-70 % - Planche : 40-70 %
<p align="center">Aspersion</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Impact sur les eaux superficielles • Impact sur les cultures • Impact sur la population environnante • Efficacité du système : 80 à 90 %
<p align="center">Souterraine "Sub - irrigation"</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Impact possible sur la nappe • Impact possible sur les eaux superficielles lié aux évacuations des excédents
<p align="center">Localisé</p> <ul style="list-style-type: none"> • Goutteurs • Rampes perforées 	<ul style="list-style-type: none"> • Efficacité : 90-95% • Impact possible sur les eaux superficielles mais d'une ampleur inférieure aux autres systèmes d'irrigation