

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Hydraulique

Option : Hydraulique et technique des eaux

Présenté par : **BOUZIDI Youssouf**

Thème : Réutilisation des Eaux Usées Epurées en Algérie

Sous la direction du : **Dr BEB MESSAOUDA**

Septembre 2020

Dédicaces

*Je dédie mon travail à mes chers
parents qui ont sacrifié leur vie pour
notre éducation.*

à toute ma famille.

Résumé

Comme l'Algérie est considérée un pays en situation sujette à la pénurie d'eau, un manque d'eau systématique apparaîtra dans les agglomérations urbaines. Les ressources en eau non conventionnelles offrent une bonne alternative à la demande d'eau qui ne cesse de croître. La présente étude se concentre sur la possibilité de réutiliser les eaux usées traitées en Algérie. À cette fin, une étude a été menée sur la pertinence de l'eau traitée pour une éventuelle utilisation en agriculture. Cependant, des paramètres tels que SAR, la conductivité, la microbiologique et surtout les métaux lourds ont manqué en vue de confirmer la faisabilité de l'utilisation de cette eau traitée pour l'irrigation.

Mots clés : Réutilisation, Eaux usées, Eaux épurées, irrigation, Algérie.

Abstract

As Algeria is considered a country in a situation of water scarcity, a systematic lack of water will appear in urban agglomerations. Non-conventional water resources offer a good alternative to the rapidly growing demand for water. This study focuses on the possibility of reusing treated wastewater in Algeria. To this end, a study was conducted on the suitability of treated water for possible use in agriculture. However, parameters such as SA, conductivity, microbiological and especially heavy metals were not available in order to definitively validate the possibility of using this treated water for irrigation.

Keywords: Reuse, Wastewater, Purified water, irrigation, Algeria

ملخص

بما أن الجزائر تعتبر دولة معرضة لندرة المياه ، فسوف يظهر نقص منهجي في المياه في التجمعات الحضرية. توفر موارد المياه غير التقليدية بديلاً جيداً للطلب المتزايد باستمرار على المياه. تركز الدراسة الحالية على إمكانية إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الجزائر. تحقيقاً لهذه الغاية ، أجريت دراسة حول مدى ملاءمة المياه المعالجة للاستخدام والتوصيلية وعلم الأحياء الدقيقة وخاصة المعادن الثقيلة SAR المحتمل في الزراعة. ومع ذلك ، لم تكن هناك معايير مثل لتأكيد جدوى استخدام هذه المياه المعالجة للري

الكلمات المفتاحية: إعادة الاستخدام ، مياه الصرف الصحي ، المياه النقية ، الري ، الجزائر

Sommaire

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

Chapitre I : Epuration des eaux usées

1.1. Caractéristique de l'effluent entrant en station d'épuration.....	2
1.2. Compositions des eaux usées.....	3
1.3. Les catégories des eaux usées.....	10
1.4. Epuration des eaux usées.....	11
1.4.1. <i>Procédés physiques</i>	12
1.4.2. <i>Procédés biologiques</i>	14

Chapitre II : Domaines de réutilisation des eaux usées épurées

2.1. Introduction.....	18
2.2. Les principales voies de réutilisation.....	20
2.3. Réutilisation ou recyclage des eaux usées	20
2.4. Catégories de réutilisation de l'eau.....	22
2.4.1. <i>Réutilisation à titre d'eau potable</i>	23
2.4.2. <i>Utilisations urbaines et irrigation des cultures vivrières</i>	24
2.4.3. <i>Utilisations urbaines et récréatives restreintes, irrigation de cultures non vivrières ou de cultures transformées avant consommation</i>	24
2.4.4. <i>Réutilisation et recyclage industriels</i>	25
2.4.5. <i>La REUT en zone urbaine</i>	25
2.4.6. <i>Amélioration des ressources</i>	26
2.5. Stockage.....	26
2.6. Technologies de traitement des eaux usées pour la récupération et la réutilisation.....	27
2.7. Planification et mise en œuvre des programmes de récupération et de réutilisation des eaux usées.....	28
2.8. Règlements sur la réutilisation de l'eau, critères de qualité et directives.....	29
2.9. Les normes de qualité des eaux usées destinées à l'irrigation des cultures.....	30
2.10. Irrigation par recyclage des eaux usées.....	31
2.11. Acceptation du public.....	35

Chapitre III : Réutilisation des eaux usées épurées en Algérie

3.1. Introduction.....	36
3.2. Objectifs de la réutilisation des eaux usées en Algérie.....	37
3.3. Situation de la réutilisation des eaux usées brutes en irrigation en Algérie.....	38
3.4. Valorisation Agricole des EUT.....	38
3.5. Appui à la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture.....	39
3.5.1. L'ONA (<i>Office national d'assainissement</i>).....	39
3.5.2. ONID (<i>Office national d'assainissement d'Irrigation et de Drainage</i>).....	41
3.6. . La réutilisation des eaux usées REUE.....	42
3.6.1. <i>Potentiel actuel</i>	42
3.6.2. <i>Gestion des eaux usées épurées</i>	43
3.7. Situation actuelle de la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture et leurs perspectives pour l'irrigation.....	44
3.8. Cadre réglementaire des eaux usées traitées réutilisées en irrigation en Algérie..	

Chapitre IV Risques liés à la réutilisation des eaux usées épurées

4.1. Introduction.....	49
4.2. Risques sur le milieu naturel.....	49
4.2.1. <i>Effets sur le sol</i>	49
4.2.2. <i>Effets sur les eaux souterraines</i>	49
4.2.3. <i>Effet sur les eaux superficielles</i>	50
4.3. Risques sur les terres agricoles.....	50
4.3.1. <i>Le risque microbiologique</i>	50
4.3.2. <i>Les risques chimiques</i>	51
4.4. Guide de la salinité.....	54
4.4.1. <i>Contraintes chimiques</i>	54
4.4.2. <i>Normes et cadre législatif</i>	54
4.5. Classification des eaux d'irrigation.....	55
4.5.1. <i>Aptitude et classification des eaux à l'irrigation par rapport à la conductivité "CE" et le "SAR"</i>	55
4.5.2. <i>Aptitude des eaux à l'irrigation par rapport aux normes toxicologique et microbiologiques</i>	57
Conclusion générale.....	60
Références bibliographiques.....	61

Liste des tableaux

Tableau 1	Composants majeurs typiques d'eaux usées domestiques	3
Tableau 2	Concentration moyenne des eaux usées domestiques	5
Tableau 3	Classification des substrats polluants	6
Tableau 4	Classe de qualité de salure de l'eau d'irrigation	8
Tableau 5	Formes de réutilisation des eaux usées	23
Tableau 6	Normes de rejet pour l'irrigation (normes algériennes).	43
Tableau 7	Normes de réutilisation des eaux usées épurées	44
Tableau 8	Paramètres physico-chimiques	55
Tableau 9	Paramètres toxicologiques	58
Tableau 10	Recommandations de L'OMS	59

Liste des figures

Figure 1	Schéma d'une station d'épuration à boues activées	16
Figure 2	Filière d'épuration	17
Figure 3	Réutilisation des eaux usées dans le monde	19
Figure 4	Schéma de la réutilisation directe et indirecte des eaux usées	20
Figure 5	La réutilisation des eaux épurées dans le cycle d'assainissement.	21
Figure 6	Schéma des eaux usées collecte, épuration et réutilisation	22
Figure 7	Schéma générale des filières de traitement préconisé pour différentes classes de qualité des eaux usées a b c en vue de la réutilisation	28

Introduction générale

La raréfaction des ressources en eau et la dégradation de leur qualité est un défi majeur pour le XXI^e siècle. Les pays, qui possèdent des réserves en eau importantes, semblent favorisés. Cependant, de même que la plupart des pays industrialisés, consomment beaucoup d'eau, et la qualité de ses rivières et de ses nappes phréatiques n'est pas toujours bonne. Afin de préserver la qualité des masses d'eau et pour diminuer les prélèvements dans le milieu naturel, il convient de chercher des approvisionnements alternatifs.

La REUT recouvre deux notions : le traitement puis la réutilisation proprement dite d'eaux usées traitées. Les eaux usées sont celles rejetées par les collectivités, les industries et les particuliers, puis collectées et acheminées par les réseaux d'égouts vers les stations de traitement des eaux usées afin d'y être traitées. Ce n'est qu'à la fin de ces traitements qu'on les appelle eaux usées traitées. La REUT propose de récupérer ces eaux usées traitées, de leur apporter éventuellement un traitement complémentaire et de s'en servir pour différents usages.

La réutilisation des eaux usées traitées (ou REUT) se présente comme un enjeu politique et socioéconomique pour le développement futur des services d'eau potable et d'assainissement. Elle présente l'avantage d'assurer une ressource alternative, de mieux préserver les ressources naturelles et de contribuer à la gestion intégrée de l'eau.

La prochaine crise pour l'Humanité sera celle de l'eau potable et que, par conséquent, sa préservation est une priorité. Pourtant, n'est-il pas fréquent de constater son emploi pour des usages ne le justifiant pas tels que le nettoyage des trottoirs, celui des voitures ou encore l'arrosage de parcs par exemple ? Afin de limiter cette utilisation déraisonnée de l'eau potable, il convient de chercher des approvisionnements alternatifs. La Réutilisation des Eaux Usées Epurées (REUT) pourrait alors en être un.

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées est non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'eau de bonne qualité en accélérant le cycle d'épuration naturelle de l'eau, mais également d'assurer l'équilibre de ce cycle et la protection du milieu environnant

CHAPITRE I : Epuration des eaux usées

1.1. Caractéristique de l'effluent entrant en station d'épuration

Les eaux usées proviennent de trois sources principales :

- ✚ Les eaux usées domestiques
- ✚ Les eaux usées industrielles
- ✚ Les eaux de ruissellement.

L'effluent entrant en station est dénommé "eaux usées", il peut se composer de quatre types d'effluents différents dont l'importance relative est en fonction du site (collectivités, industries, type de réseau, état du réseau, etc...).

a) Les effluents domestiques : sont composés d'eaux usées domestiques : eaux ménagères (eaux de lavabo, douche, baignoire, appareils ménagers,...). A ces eaux fortement polluées s'ajoutent, (selon le type de réseau séparatif ou pseudo-séparatif, ou unitaire) des eaux moins polluées qui peuvent provenir des toitures, de drainage, de cours, de sous-sol et garage.

Tableau 1 : Composants majeurs typiques d'eaux usées domestiques

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

b) Les effluents d'établissement industriels, communaux ou artisanaux : qui sont issues d'activité domestique (cantines, W-C, douches,...) ou plus spécifiquement des eaux liées à l'activité industrielle, telles que les eaux de refroidissement, ou les effluents résultant du processus utilisé.

c) Les effluents d'agriculture : l'agriculture constitue la première cause des pollutions diffuses. Les pollutions d'origine agricole englobent à la fois celles qui ont trait aux cultures (pesticides et engrais) et à l'élevage (lisiers et purins).

d) Les effluents d'origine naturelle : la teneur de l'eau en substances indésirables est le fait de l'activité de certains phénomènes naturels (irruptions volcaniques, contact de l'eau avec les gisements minéraux,...).

L'effluent entrant en station peut comporter une part d'eaux parasites dues à des défauts de structure du réseau (mauvaise conception, malfaçons, collecteurs endommagés). On distingue les eaux parasites de temps sec qui correspondent à l'intrusion d'eau de la nappe phréatique, et les eaux parasites pluviales, qui concernent uniquement les réseaux séparatifs eaux usées et qui sont dues à des erreurs de raccordement, voire à du drainage rapide.

1.2. Compositions des eaux usées

Les eaux usées contiennent des matières solides, des substances dissoutes et des microorganismes. Ces derniers sont la cause des principales restrictions imposées à la réutilisation des eaux usées.

La composition des eaux usées brutes dépend :

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

Les eaux usées urbaines contiennent des matières solides, des substances dissoutes et des microorganismes. Ces derniers sont la cause des principales restrictions imposées à la réutilisation des eaux usées. La réglementation distingue des niveaux de qualité pour les eaux usées épurées, déterminés par les taux de concentration de ces microorganismes. Il est donc nécessaire de rappeler des notions élémentaires à leur sujet.

Du fait de la multiplicité des cas de différents types d'eaux il est difficile de donner une composition type des eaux usées. Dans le tableau I-1 est recensé la plupart des paramètres que l'on peut trouver dans les eaux usées.

Tableau 2 : Concentration moyenne des eaux usées domestiques.

<i>Paramètres</i>	<i>Unité</i>	<i>Variations</i>	<i>Fonction décantable</i>
Température	°C	4 - 26	--
pH	--	7.0 - 8.5	--
Extrait sec	mg/l	1000 - 1300	10 %
MES totales	mg/l	100 - 400	50 - 60 %
DCO	mgO ₂ /l	300 - 1000	30 %
DBO ₅	mgO ₂ /l	150 - 500	25 - 30 %
COT	mg/l	100 - 300	30 %
Alcalinité	mgCaCO ₃ /l	2 - 15	--
NTK	mg/l	30 - 100	< 10 %
Azote ammoniacal	mgNH ₄ ⁺ /l	20 - 80	0 %
Nitrites et nitrates	mg(NO ₂ ²⁻ ,NO ₃ ⁻)/l	< 1	0 %
Phosphates	mgPO ₄ ³⁻ /l	10 - 25	10 %
Sulphates	mgSO ₄ ²⁻ /l	63-79	--

1.2.1. Matières en suspensions et matières organiques

Les matières en suspension sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Les particules en suspension, plus lourdes que l'eau, sont éliminées par décantation. C'est une étape simple dans la réduction de la charge organique des eaux usées et de la teneur en germes pathogènes. Toutefois, un traitement beaucoup plus poussé généralement pourrait être requis pour faire face aux risques sanitaires. Une présence excessive de matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que le bouchage des systèmes d'irrigation. Les concentrations significatives des matières organiques peuvent entraîner des odeurs désagréables, notamment s'il arrive que les eaux stagnent au surface du sol.

La structure chimique des polluants permet de distinguer deux types de composés.

- **Matières organiques**

Elles sont constituées d'un grand nombre de composés qui ont la particularité commune de posséder au moins un atome de carbone, d'où leur nom de substances carbonées. Ces atomes

de carbone sont oxydés biologiquement par les micro-organismes pour fournir l'énergie nécessaire à leur croissance.

- **Matières inorganiques**

Sont des substances ne contenant pas de carbone. La fraction minérale des eaux résiduaires représente principalement les produits azotés et phosphorés.

Ces diverses classifications sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3 : Classification des substrats polluants

<i>Classification selon</i>	<i>Polluants</i>
Taille	<ul style="list-style-type: none"> • Matières décantables ou flottantes • Matières fines en suspension • Matières colloïdales • Matières solubles
Pouvoir de dégradation	<ul style="list-style-type: none"> • Matières biodégradables <ul style="list-style-type: none"> -aisément dégradables -lentement dégradables • Matières non-biodégradables
Structure chimique	<ul style="list-style-type: none"> • Matières organiques • Matières inorganiques

1.2.2. Substances nutritives

L'azote, le phosphore, le potassium, les oligo-éléments, le zinc, le bore et le soufre, se trouvent dans les eaux usées en quantités appréciables, mais en proportion très variable par rapport aux besoins des cultures. Ces éléments peuvent être en excès par rapport aux besoins de la plante et provoquent des effets négatifs, aussi bien au niveau de la culture que des sols. Un contrôle périodique de la quantité de nutriments présents dans l'effluent est nécessaire.

L'azote

Dans certains cas, un apport d'azote excédentaire par rapport aux besoins des cultures peut provoquer dans un sol très perméable la contamination facile des eaux souterraines. Si l'azote est en quantité excessive pendant l'irrigation des cultures avec les EU, il peut perturber certaines productions, retarder la maturation de certaines cultures, tels que les abricots, les agrumes, les avocats, la vigne et altérer leur qualité, par exemple réduire la teneur en sucre des fruits ou des betteraves.

Le phosphore

La concentration en phosphore dans les effluent varie de 6 à 15 mg/l, si l'élimination du phosphore n'est pas assurée durant l'épuration. La teneur en phosphore dans les eaux usées est généralement trop faible. Mais s'il y a un excès, le phosphore est retenu dans le sol par des réactions d'absorption 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.

Le potassium

La concentration en potassium dans les effluents secondaires varie de 10 à 30 mg /l et permet donc de répondre partiellement aux besoins des cultures.

1.2.3. Éléments traces

Certains éléments traces sont nécessaires en très faibles quantités pour le développement des végétaux tels que le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre. L'irrigation à partir des eaux usées va apporter ces éléments, mais aussi d'autres éléments non indispensables à la plante et très nocifs pour les êtres humains, tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome et le sélénium.

Ces éléments ne doivent normalement pas endommager ni les plantes ni le sol. Les éléments traces sont en général fixés dans les couches supérieures du sol. Cette accumulation peut avoir des risques pour le développement des plantes. Les métaux lourds qui présentent les risques les plus notables sont le cadmium, le cuivre, le molybdène, le nickel, et le zinc.

Les concentrations en métaux lourds dans les eaux usées traitées 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.

les éléments toxiques organiques

Une grande variété de composés organiques peut se trouver dans les effluents surtout en provenance des rejets industriels. Certains se forment aussi lors des traitements de désinfection des effluents par le chlore.

Les principales familles de la chimie organique de synthèse sont les hydrocarbures polycycliques aromatiques, les chloraux-phénols, les ph-talates, etc. avec une concentration de l'ordre de 1 à 10 µg/l dans les effluent.

1.2.4. Salinité

Le principal critère d'évaluation de la qualité des eaux usées dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles.

La concentration en sel des eaux usées dépasse celle de l'eau potable de quelque 200 mg/l.

Il y a deux conséquences néfastes d'une salinité excessive dans les eaux usées d'irrigation :

- les dommages sur le sol et sur les rendements culturaux.
- Les dommages causés à la culture.

Le phénomène de l'évaporation des plantes peut conduire à l'augmentation de la salinité de l'eau du sol. La pression osmotique de l'eau du sol augmentant avec sa concentration en sels dissous, la plante consacre alors l'essentiel de son énergie non pas à se développer, mais à ajuster la concentration en sel de son tissu végétale de manière à pouvoir extraire du sol l'eau qui est nécessaire.

Tableau 4: classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation.

Qualité de l'eau	Sels solubles correspondants estimés en NaCl (mg/l)
Excellente	< 160
Faibles salinité	160-500
Forte salinité	500 -1500
Très forte salinité	1500 - 3600

1.2.5. Microorganismes

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales et les microorganismes pathogènes. Ces micro-organismes sont à la base de l'épuration biologique qui est le procédé le plus utilisé pour restaurer la qualité de l'eau en la débarrassant de ses principales impuretés pourvu qu'elles soient plus au moins biodégradables et ne contiennent pas de toxiques qui font l'objet d'un traitement particulier (épuration physico-chimique). Ces microorganismes peuvent être classés en quatre grands groupes :

- Les bactéries ;
- Les Virus ;
- Les protozoaires ;
- Les helminthes.

Les bactéries

Unicellulaires, ces micro-organismes possèdent la structure interne la plus simple de toutes les espèces vivantes. Les eaux usées brutes contiennent environ 10^6 à 10^7 bactéries/100 ml dont 10^5 sont des entérobactéries, 10^3 à 10^4 streptocoques et 10^2 à 10^3 clostridium. La

concentration en bactérie pathogènes est de l'ordre 10^4 /l. Les plus fréquemment rencontrées, les salmonelles qui sont responsables de la typhoïde et des troubles intestinaux.

Les Virus

Leur concentration dans les eaux usées est comprise entre 10^3 et 10^4 particule/l. Parmi les virus entériques humains les plus importants nous avons les entérovirus, les rotavirus et les rétrovirus.

Les protozoaires

Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, il y a ceux qui sont responsables de la dysenterie (maladie intestinale); les protozoaires passent par une forme de résistances forment des kystes qui peuvent être véhiculés par les eaux usées.

Les helminthes

Les helminthes sont fréquemment rencontrés dans les eaux usées urbaines. Le nombre d'oeufs d'helminthes peut être évalué entre 10^1 et 10^3 d'oeufs /l. Parmi ces oeufs on trouve notamment les Ascaris et les ténias.

1.2.6. Les processus métaboliques

Les composants chimiques consommés par les micro-organismes sont soumis à de nombreuses réactions biochimiques qui font partie d'un des deux mécanismes métaboliques fondamentaux pour le développement des bactéries.

➤ **Catabolisme :**

Représente l'ensemble des réactions d'oxydation et de dégradation enzymatique. C'est une activité exothermique qui libère l'énergie inhérente à la structure complexe des molécules organiques et minérales, et qui est stockée par les micro-organismes.

➤ **Anabolisme :**

Représente l'ensemble des réactions de réduction et de synthèse enzymatique. C'est une activité endothermique qui utilise l'énergie libérée par les processus de catabolisme pour développer la taille et la structure chimique des composants organiques.

Parmi le grand nombre de processus biochimiques mis en jeu au cours du traitement biologique des polluants par les différentes populations bactériennes, on peut distinguer principalement les activités suivantes :

- **Oxydation :**

C'est une réaction qui implique une perte d'électrons suivie d'une production d'énergie. Une perte des matières absorbées par les micro-organismes est utilisée pour fournir l'énergie

nécessaire afin d'accomplir leurs fonctions biologiques. Selon la nature de l'accepteur final d'électrons, le processus d'oxydation peut s'effectuer sous les conditions d'aérobiose (présence d'oxygène), d'anaérobiose (absence d'oxygène) ou d'anoxie (présence de nitrate).

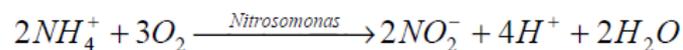
- **Digestion :**

La caractéristique de la digestion appelée aussi fermentation est que ce processus ne nécessite pas un accepteur d'électrons externe. C'est un mécanisme anaérobie de production d'énergie qui n'implique pas de chaîne de transport d'électrons. La fermentation est provoquée par des bactéries anaérobies capables de décomposer la matière organique en acides et alcools et de donner du méthane (CH₄) et du gaz carbonique (CO₂).

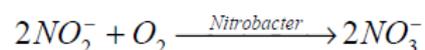
- **Nitrification :**

C'est une transformation chimique de l'azote organique en nitrate (NO₃⁻) par des organismes dits nitrifiants. La nitrification a lieu en trois étapes dans les conditions d'aérobiose :

- L'ammonification où l'azote organique est converti en ammoniac (NH₄⁺) par l'intermédiaire des hétérotrophes.
- la nitritation qui est effectuée par les nitritants dont la majorité appartient à l'espèce Nitrosomonas. Ces autotrophes sont responsables de l'oxydation de l'ion ammoniac (NH₄⁺) en nitrite (NO₂⁻). La réaction totale est de la forme :



- la nitratisation qui est accomplie par les nitratants de l'espèce Nitrobacter. Ces cellules autotrophes effectuent l'oxydation du nitrite en nitrate. La réaction stoechiométrique s'effectue comme suit :



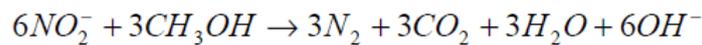
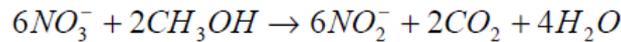
- **Dénitrification :**

C'est un processus de conversion du nitrate effectué par les hétérotrophes facultatifs sous les conditions d'anoxie. La dénitrification peut avoir lieu selon deux activités biologiques différentes :

- l'assimilation où le nitrate est réduit en ammoniac qui peut servir comme source d'azote pour la synthèse cellulaire. L'azote est donc éliminé par incorporation à la matière cytoplasmique. Mais cette activité est relativement négligeable.
- la dissimilation joue un rôle très important dans l'élimination totale du nitrate. Certains micro-organismes facultatifs (à la fois aérobies et anaérobies) ont la capacité de se servir de l'oxygène fixé dans la molécule NO₃ lorsqu'ils se trouvent plantés dans des conditions

d'anoxie, c'est-à-dire d'absence d'oxygène dissous. Le nitrate joue le rôle d'accepteur final d'électrons qui est converti en azote moléculaire au cours de la réaction d'oxydation. L'azote est donc éliminé par échappement du dioxyde d'azote gazeux N_2 . Le méthanol est utilisé comme source d'énergie c'est à dire comme donneur d'électrons.

Le processus de conversion s'effectue en deux étapes :



- **Absorption :**

Certains composés organiques comme les substances biodégradables particulières ne peuvent pas être directement absorbés par les bactéries. Ces matières sont d'abord absorbées par les micro-organismes et stockées à leur surface avant de subir un processus de conversion qui génère des substances simples aisément dégradables.

- **Hydrolyse :**

C'est une série de réactions enzymatiques extra-cellulaires appliquées aux substances adsorbées et qui ont lieu à la surface des micro-organismes. Les molécules organiques complexes sont converties en molécules plus simples qui peuvent diffuser à travers la membrane cellulaire.

- **Mortalité :**

La population biologique est soumise à divers phénomènes de mortalité : la prédation (protozoaires), le processus de lyse (dissolution) et la respiration endogène où une partie des composants cellulaires est oxydée pour satisfaire les besoins en énergie nécessaires pour maintenir en vie les autres cellules quand le substrat n'est pas disponible. Une fraction des produits de mortalité est biodégradable, l'autre partie représente les résidus endogènes inertes.

1.3. Les catégories des eaux usées

Pour chaque catégorie d'eau usée, il est recommandé d'employer un procédé de traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique exigée. Il est distingué trois catégories des eaux d'irrigation :

a) La catégorie A, dont le groupe exposé est composé de consommateurs publics et d'ouvriers agricoles. Cette catégorie représente l'irrigation des cultures destinées à être consommées crues, l'arrosage des terrains de sport, des jardins, d'espaces verts ouverts au public. Ce niveau de contraintes A consiste à assurer, la protection des personnels des exploitations et

du bétail. Dans ce type d'irrigation, le taux de coliformes dans 100 ml d'eau ne doit pas dépasser 1000 coliformes, tandis que le nombre d'oeufs de nématodes par litre d'eau ne doit pas dépasser un œuf ;

- b) La catégorie B, dont le groupe exposé est composé principalement d'ouvriers agricoles, travaillant dans l'irrigation de cultures céréalières, fourragères, des pépinières et des cultures de produits végétaux consommables après cuisson (pommes de terre, choux, carottes, tomate ...). Ce niveau est requis pour l'irrigation des cultures par le système gravitaire. Dans cette catégorie, il est recommandé que le nombre d'oeufs de nématodes par litre d'eau ne doit pas dépasser un oeuf, cependant, rien n'est recommandé pour les coliformes fécaux, ceci permettra d'assurer une protection de la population vis à vis du risque parasitologique .
- c) La catégorie C, comprend la même irrigation que celle identifiée dans la catégorie B, mais aucun ouvrier n'y est exposé. Il s'agit principalement des techniques d'irrigation souterraine ou localisées, pour des cultures céréalières, industrielles et fourragères, des vergers et des zones forestières mais aussi pour les espaces verts non ouverts au public. En effet, aucune dose maximale n'est définie, ni pour les oeufs de nématodes ni pour les coliformes fécaux.

1.4. Epuration des eaux usées

L'épuration des eaux usées a pour but :

- ✚ De lutter contre les différentes maladies à transmission hydrique.
- ✚ D'éliminer la charge organique et microbienne responsables de différentes odeurs nocives.
- ✚ De protéger l'environnement contre toute pollution et dégradation.
- ✚ De créer une nouvelle source d'eau à réutiliser.

Les eaux usées brutes ne doivent pas être directement réutilisées. Un traitement est toujours nécessaire, différent selon le type de culture et le mode d'irrigation choisis. Les objectifs principaux sont :

- Permettre l'irrigation par les eaux usées, en réduisant les risques de colmatage,
- Eviter les mauvaises odeurs,
- Eliminer les microorganismes pathogènes chaque fois que la réglementation l'exige,
- Réduire la teneur en azote.

Le choix des filières de traitement des eaux usées réutilisées à des fins agricoles est une procédure délicate qui doit prendre en compte des aspects techniques (choix des procédés, des infrastructures et des équipements existants), réglementaires locaux (normes), sociaux (spécificités culturelles, acceptabilité) et économiques (sources de financement des

équipements et de l'exploitation). Aussi, le type de système d'irrigation, les caractéristiques du sol et le type de culture à irriguer, en vue de garantir une ressource alternative, à un coût économiquement acceptable et sans risques pour la santé publique et l'environnement.

1.4.1. Procédés physiques

Ce sont des opérations de séparation de phases non-miscibles dont l'une au moins est liquide. Parmi ces procédés, les plus courantes sont :

➤ *Le dégrillage :*

Il permet d'éliminer les corps flottants et les gros déchets par l'intermédiaire de grilles placées en travers du canal d'amenée afin de protéger les installations contre les obstructions.

➤ *La filtration :*

Le passage d'un mélange liquide-solide à travers un milieu poreux (filtre) qui retient les solides (gâteau de filtration) et laisse passer les liquides (filtrat).

➤ *La décantation :*

Qui utilise les forces de gravité pour séparer les particules de densité supérieure à celle du liquide en provoquant leur dépôt.

➤ *La centrifugation :*

Est une opération de séparation par action de la force centrifuge, du mélange entraîné dans un mouvement de rotation.

➤ *La flottation :*

Elle vise à séparer les phases solides des phases liquides par la poussée d'Archimède. En flottation naturelle, les floes de faible densité remontent librement à la surface. La flottation assistée s'obtient par l'injection d'air.

1.4.2. Procédés biologiques

Le traitement biologique reproduit dans des réacteurs spécifiques le phénomène d'auto-épuration qui se déroule naturellement dans les cours d'eau. Le principe consiste à mettre la matière organique contenue dans les eaux usées au contact d'une masse bactérienne. Celle-ci se nourrit des polluants et les dégrade. Le traitement biologique est largement utilisé dans la dépollution de l'eau est donc la reconstitution d'un écosystème simplifié et sélectionné faisant appel à une micro-faune de bactéries et de protozoaires. De ce fait, l'épuration biologique consiste à favoriser la prolifération de ces micro-organismes pour utiliser leurs propriétés remarquables dans les conditions les mieux adaptées au résultat désiré.

Suivant l'emplacement des bactéries épuratrices dans le bioréacteur, on distingue deux dispositifs.

• Le procédé à cultures fixes :

Les micro-organismes sont fixés sur des supports. Le contact entre les eaux à traiter et les cellules épuratrices est assuré soit par arrosage des supports avec l'eau usée (lits bactériens), soit par rotation des supports dans le mélange pollué (disques biologiques). Ces ouvrages permettent d'obtenir des concentrations en biomasse plus importantes et donc des traitements intensifs avec une taille relativement faible, mais présent des risques de colmatage ou d'émanation d'odeurs.

• Le procédé à cultures libres :

Les micro-organismes sont maintenus en suspension dans le mélange à épurer. La biomasse entre ainsi constamment en contact avec les polluants. Ces dispositifs ont l'avantage d'avoir un traitement plus homogène et une meilleure maîtrise des facteurs d'épuration (apport de l'eau résiduaire et de masse bactérienne) comparés aux procédés à culture fixée.

Suivant les conditions de l'environnement des cellules dans l'unité de dépollution, on distingue deux modes de traitement :

• Le traitement aérobic :

Ce type de traitement fait appel aux bactéries aérobies qui se développent en présence d'oxygène. La dégradation des polluants est effectuée par des réactions d'oxydation dans un milieu aéré.

• Le traitement anaérobic :

Ce traitement s'effectue en condition d'anaérobiose c'est à dire en absence d'oxygène. Les bactéries anaérobies assurent la décomposition métabolique des composés biodégradables par des processus de fermentation.

Parmi l'ensemble des procédés biologiques utilisés dans le traitement des eaux usées, on peut citer les principaux procédés suivants :

 ***Les disques biologiques :***

Dans ce procédé, les micro-organismes sont fixés sur des disques à demi immergés et tournant lentement (quelques tours par minute) autour d'un axe horizontal. La biomasse est ainsi alternativement mouillée par les eaux résiduaires et aérée par l'air ambiant. Cette technique présente l'avantage d'être peu coûteuse en énergie mais peut entraîner l'émanation d'odeurs.

Les lits bactériens :

Ce procédé aérobie à cultures fixées consiste à faire supporter les micro-organismes par des matériaux poreux. L'effluent est distribué par aspersion en surface et l'oxygénation est apportée par ventilation naturelle de bas en haut. L'affluent arrive par la partie supérieure alors que l'effluent est évacué par le fond afin de ne pas perturber la fonction aérobie. De ce fait, ce système présente un inconvénient majeur, en ce sens qu'il nécessite un dispositif de relevage. La biomasse se développe à la surface du support. Lorsqu'elle devient trop importante, la pellicule bactérienne se détache naturellement ; elle doit alors être séparée de l'effluent par décantation.

Le lagunage :

Il s'agit d'un étang ou un système de lagunes mettant en oeuvre une culture mixte algobactérienne. Suivant la profondeur du bassin, on peut distinguer différents régimes de fonctionnement. En zone peu profonde, le traitement s'effectue dans des conditions d'aérobiose. Les deux populations vivent en symbiose. Bien qu'une partie limitée de l'oxygène dissous provienne de la diffusion naturelle à travers l'interface air-liquide, les besoins en oxygène des bactéries sont principalement assurés par l'activité photosynthétique des algues exposées à la lumière. De leur côté, les végétaux profitent du gaz carbonique ainsi que les nutriments inorganiques produits au cours des réactions métaboliques des cellules vivantes.

Dans le cas des lagunes plus profondes, en plus de la zone supérieure aérobie, on peut distinguer une région intermédiaire facultative où la disponibilité de l'oxygène dépend de la lumière solaire. Le traitement a lieu dans des conditions d'aérobiose le jour, et en anaérobiose durant la nuit. Les dépôts de boues au fond des bassins suffisamment profonds forment une couche anaérobie où ont lieu des processus de fermentation.

Les boues activées :

Ce système comprend deux compartiments principaux. Le premier est le bassin d'aération où ont lieu les activités biologiques de transformation des polluants biodégradables par l'intermédiaire des micro-organismes en suspension. Outre les matières organiques assimilées par les hétérotrophes, principaux constituants des boues activées, les composés azotés peuvent aussi être oxydés par des phénomènes de nitrification-dénitrification. Les bactéries floculantes utilisées dans ce système, ont la faculté de transformer les éléments ingérés en matière corpusculaire. Les floes formés dans le bassin d'aération sont alors conduits vers un second compartiment appelé décanteur secondaire où a lieu la séparation des solides de la phase liquide par décantation.

Le principe du procédé consiste donc à provoquer le développement d'un floc bactérien dans un bassin alimenté en eau usée à traiter (bassin d'activation) en brassant suffisamment le milieu pour éviter la décantation des floes et en fournissant l'oxygène nécessaire à la prolifération des micro-organismes. Le bassin d'aération peut être précédé d'un décanteur primaire, dans le but d'éliminer les matières en suspension décantables, et sera toujours suivi d'un clarificateur qui assurera la séparation de l'effluent épuré et des boues. Celles-ci seront recyclées dans le bassin d'aération pour en assurer la concentration permanente et la masse produite en excès sera dirigée vers le traitement des boues (figure 1).

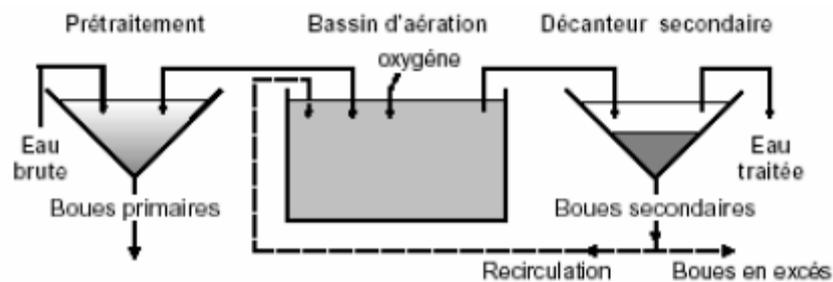


Figure1: Schéma d'une station d'épuration à boues activées.

La figure ci-dessous présente les différents procédés d'épuration des eaux usées (physiques, chimiques, biologiques...)

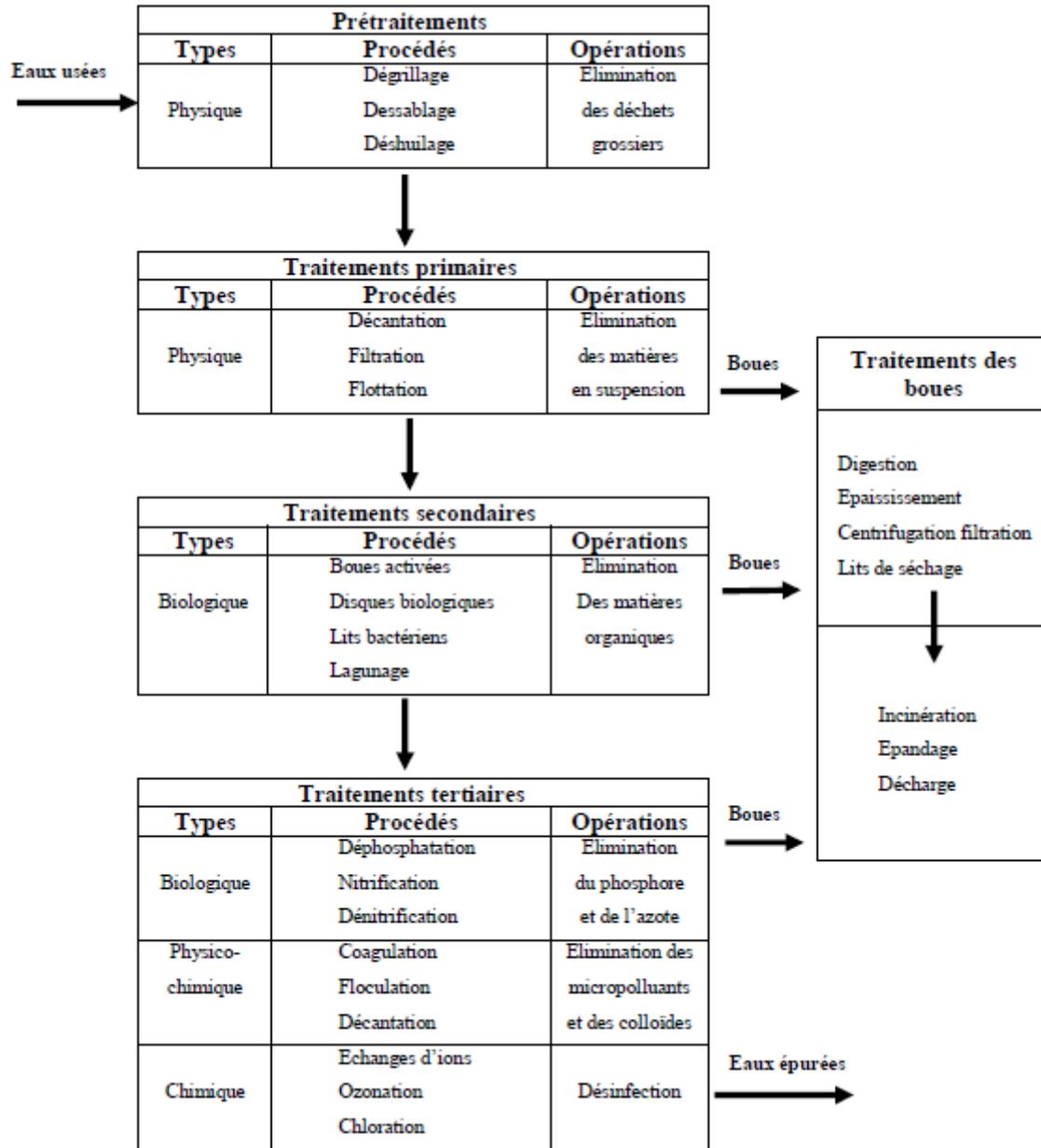


Figure 2 : Filière d'épuration

CHAPITRE II : Domaines de réutilisation des eaux usées épurées**2.1. Introduction**

Le défi croissant que pose la gestion de l'eau est d'arriver à établir un équilibre entre la demande, l'utilisation de l'eau et le maintien de la qualité, que ce soit à l'échelle locale, régionale ou nationale. Cela est particulièrement difficile dans les régions arides et semi-arides des pays en voie de développement où l'eau est rare et où la population croît rapidement. Par conséquent, il y a des régions où les ressources en eau sont limitées, en particulier pendant les périodes de sécheresse et de demande élevée, et des régions où la consommation d'eau à des fins agricoles est très élevée (dans certaines régions, il s'agit de 70 % de la consommation totale). D'où l'intérêt que peut présenter la réutilisation de l'eau à l'échelle locale ou régionale.

La réutilisation de l'eau est plus pratiquée dans les régions du monde où cette ressource est limitée, au Moyen-Orient par exemple, en Australie et dans le sud-ouest des États-Unis, ou dans les régions où s'appliquent des restrictions sévères concernant l'évacuation des eaux usées traitées, notamment en Floride, dans les régions côtières et insulaire de la France et de l'Italie et dans les pays très densément peuplés de l'Europe comme l'Angleterre et l'Allemagne (Figure 2). Dans les pays où il existe des disparités dans la répartition régionale des ressources en eau, le recyclage et la réutilisation de l'eau sont également très répandus. Bien que les précipitations annuelles atteignent en moyenne 1714 mm et que les barrages et réservoirs soient nombreux au Japon, des régions de ce pays connaissent des sécheresses fréquentes; c'est pourquoi la réutilisation des eaux usées urbaines est devenue une pratique courante dans de nombreuses régions du Japon.

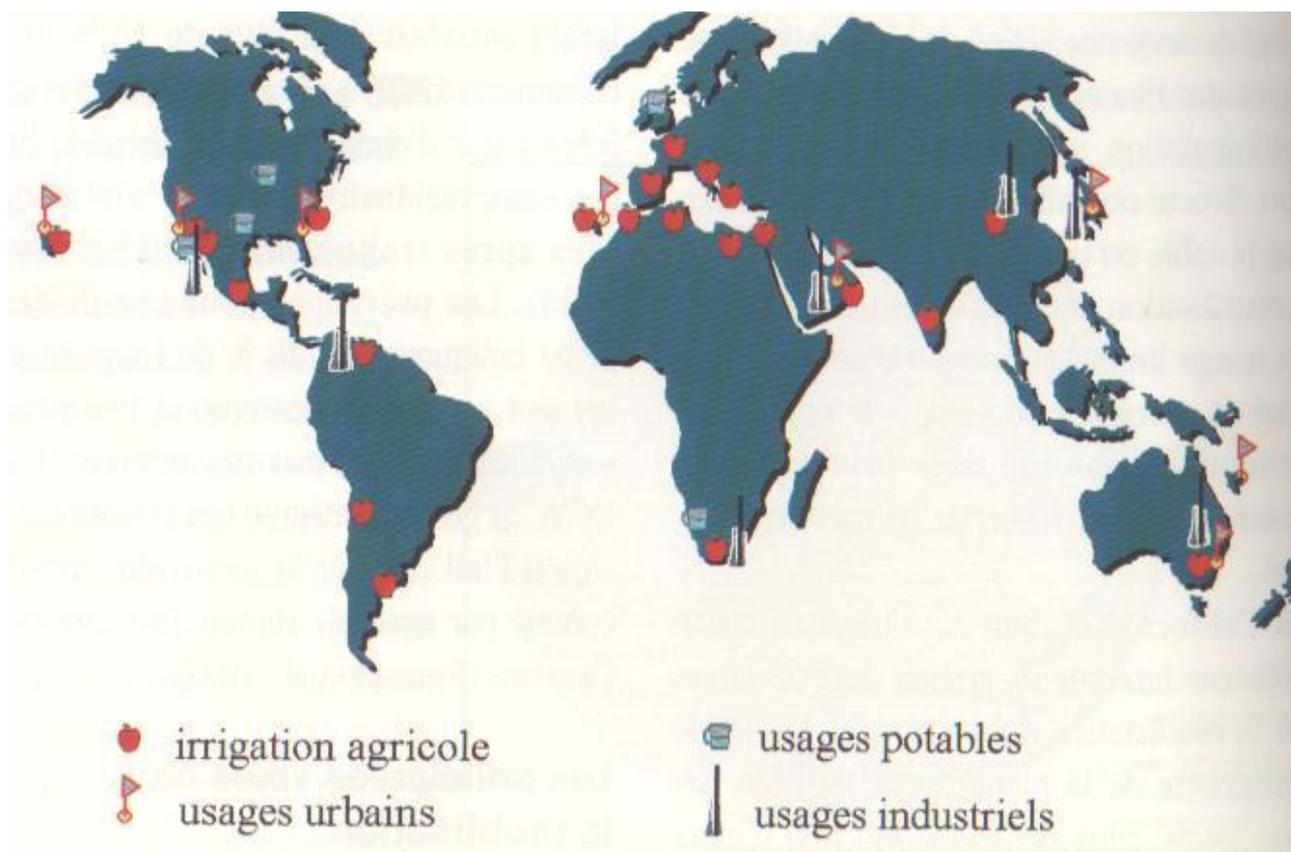


Figure 3 : Réutilisation des eaux usées dans le monde

Le degré auquel la réutilisation de l'eau est pratiquée dépend de la disponibilité de l'eau, des facteurs incitatifs sur le plan économique, de la faisabilité sur le plan de la réglementation et de l'acceptation du public. Parmi ces facteurs, la disponibilité de l'eau est probablement la plus importante ; là où cette ressource est rare, la réutilisation de l'eau est une pratique généralement acceptée du public, réalisable sur le plan économique et appuyée par un cadre réglementaire.

La réutilisation de l'eau consiste en l'utilisation d'eau traitée à des fins utiles, notamment l'irrigation agricole et le refroidissement dans le secteur industriel. L'eau récupérée est un effluent traité pour obtenir une qualité conforme à un usage précis. La réutilisation directe fait référence à un système de réutilisation dans lequel l'eau récupérée est transportée jusqu'aux points où elle est réutilisée. La réutilisation indirecte concerne l'évacuation dans des eaux réceptrices (eaux de surface ou nappe souterraine) d'un effluent qui est ensuite assimilé puis prélevé en aval, ce qui ne correspond pas à une réutilisation directe planifiée de l'eau.

Une majorité des stations assurent un traitement secondaire des eaux usées ce qui ne garantit pas la destruction de toutes les bactéries et microbes. Ce type d'eau n'est pas indiqué pour

l'irrigation des cultures agricoles destinées à être consommées crues tels que la tomate, la carotte, la laitue et le concombre".

2.2. Les principales voies de réutilisation

La réutilisation des eaux usées épurées peut être réalisée de deux manières :

- **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, barrage, nappe d'eau souterraine...).

En fonction des exigences de qualité des consommateurs, deux grandes classes de réutilisation peuvent être définies :

- ✚ Les usages potables qui peuvent être directs, après un traitement poussé, ou indirects, après passage dans le milieu naturel (Figure 3),
- ✚ Les usages non potables dans les secteurs agricoles (irrigation), industriel et urbain.

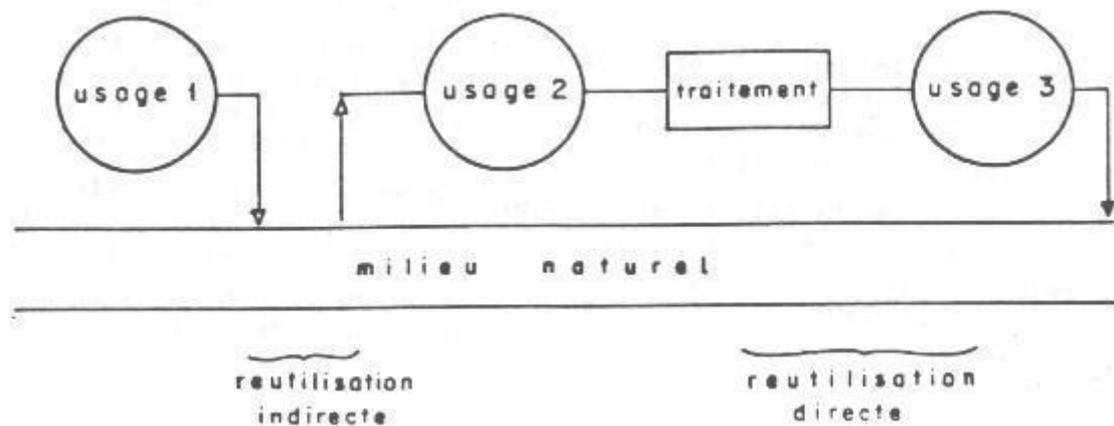


Figure 4 : Schéma de la réutilisation directe et indirecte des eaux usées

2.3. Réutilisation ou recyclage des eaux usées :

La réutilisation des eaux usées traitées (ou REUT) se présente comme un enjeu politique et socioéconomique pour le développement futur des services d'eau potable et d'assainissement. Elle présente l'avantage d'assurer une ressource alternative, de mieux préserver les ressources naturelles et de contribuer à la gestion intégrée de l'eau (Figure 4 et 5).

La réutilisation des eaux usées, ou recyclage, consiste à récupérer les eaux usées après plusieurs traitements destinés à en éliminer les impuretés, afin de stocker et d'employer cette eau à nouveau. Le recyclage remplit donc un double objectif d'économie de la ressource : il permet à la fois d'économiser les ressources en amont en les réutilisant, mais aussi de diminuer le volume des rejets pollués. L'intérêt en est cependant limité quand il n'y a pas de tension quantitative sur la ressource en eau dans le secteur concerné.

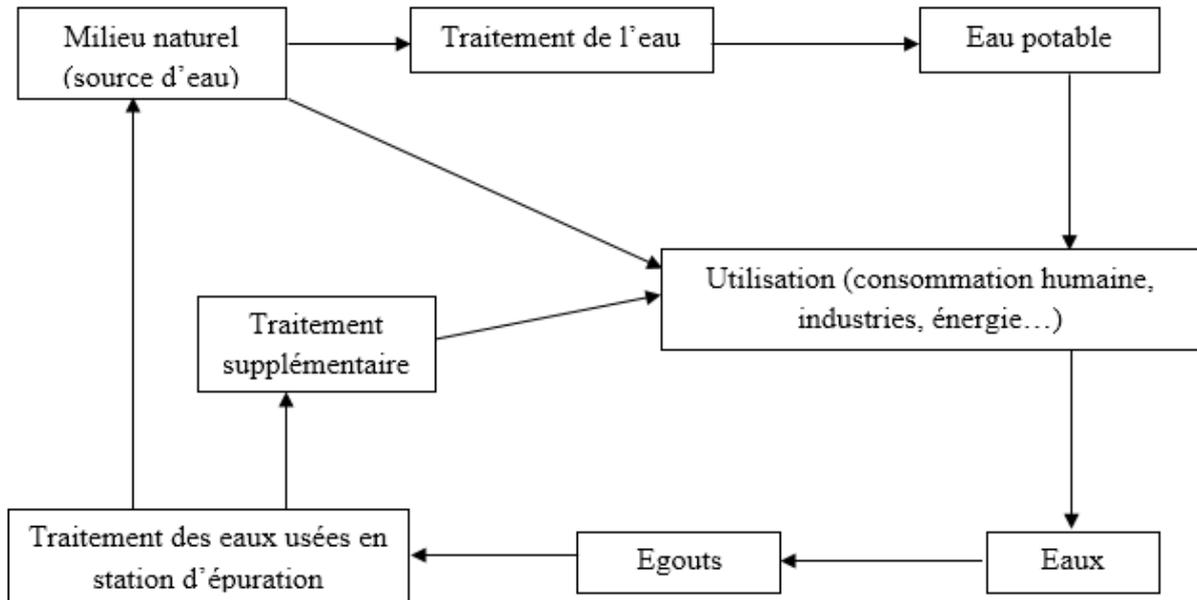


Figure 5. : La réutilisation des eaux usées épurées dans le cycle d'assainissement.

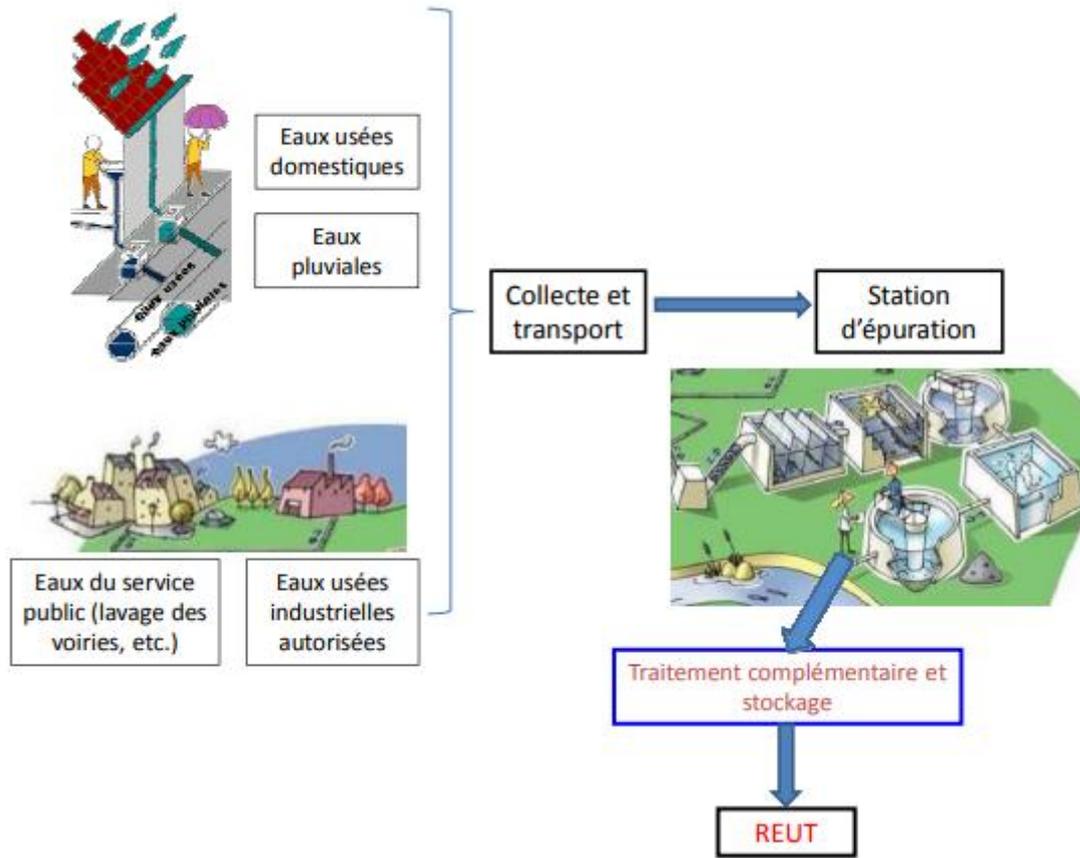


Figure 6 : Schéma des eaux usées collecte, épuration et réutilisation

2.4. Catégories de réutilisation de l'eau

Les pratiques de réutilisation peuvent être classées en plusieurs catégories comme le montre le tableau suivant.

Tableau 5 : Formes de réutilisation des eaux usées

Formes de réutilisation	Application
Production de l'eau potable	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Production indirecte d'eau potable ➤ Production directe d'eau potable
Irrigation en agriculture	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Culture maraîchère ➤ Arbre fruitiers ➤ Cultures industrielles ➤ Aquaculture
Activités récréatives	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Augmentation des cours d'eau pour le pêche, natation
Utilisations industrielles	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Eau de refroidissement
L'utilisation urbaine	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Irrigation de parcs, écoles ➤ Golfs, résidences ➤ Protection incendie ➤ Recyclage en immeuble

2.4.1 Réutilisation à titre d'eau potable

La réutilisation directe à titre d'eau potable, soit l'acheminement direct d'une eau récupérée à un système d'approvisionnement en 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 (système « pipe to pipe »). L'unique exemple dans le monde de réutilisation directe se Trouve en Afrique, à Windhoek, capitale de la Namibie. 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 indirecte à titre d'eau potable fait référence à l'augmentation des sources d'approvisionnement en eau potable à partir d'eaux récupérées hautement traitées. La réutilisation est **indirecte et non planifiée** quand les eaux épurées sont rejetées dans un cours d'eau ou une réserve souterraine qui sert à l'alimentation d'une usine de traitement, sans que ce lien soit volontaire. Cette notion est à la limite de la définition d'une REUE. La réutilisation est **indirecte et planifiée** quand elle consiste à rejeter des effluents de station Volontairement en amont d'une usine de traitement, au niveau du plan d'eau ou de la nappe qui sert d'ultime réservoir naturel avant le pompage et le traitement. 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

2.4.2. Utilisations urbaines et irrigation des cultures vivrières

La plus répandue, permettant d'exploiter la matière fertilisante contenue dans ces eaux réalisant ainsi une économie d'engrais. Cette catégorie de réutilisation exige une qualité d'eau assez élevée et représente actuellement le plus haut degré de réutilisation pratiquée de façon courante. Entre autres exemples typiques d'utilisation non restreinte en milieu urbain à des fins agricoles ou récréatives, mentionnons :

- Utilisation en milieu urbain : irrigation des parcs, terrains de jeu et cours de récréation; protection contre les incendies; fontaines et bassins ornementaux; chasse d'eau de toilette et climatisation des édifices.
- Irrigation agricole des cultures vivrières destinées à la consommation humaine sans cuisson.

Les procédés de traitement usuels nécessaires comportent un traitement secondaire minimal suivi d'une filtration et d'une désinfection ; des limites strictes sont fixées en ce qui concerne la demande biochimique en oxygène (DBO) des effluents, leur turbidité, le total des coliformes et les coliformes fécaux, les résidus de désinfectant et le pH.

2.4.3. Utilisations urbaines et récréatives restreintes, irrigation de cultures non vivrières ou de cultures transformées avant consommation

Ces applications sont des exemples relativement fréquents de réutilisation de l'eau dans des lieux d'accès restreint ou d'activités restreintes. Ces restrictions supposent l'exposition limitée d'une population à l'eau récupérée ou encore l'exposition limitée des populations urbaines à des activités restreintes. Des exemples typiques de cette catégorie suivent :

- Irrigation d'aménagements : terrains de golf, cimetières, bordures de verdure et terre-pleins des autoroutes.
- Utilisations récréatives restreintes : pêche récréative, canotage et autres activités récréatives sans contact.
- Irrigation agricole : fourrages, fibres, cultures grainières, pâturages, pépinières, gazonniers et aquaculture commerciale.

Les exigences relatives à la qualité de l'eau sont les mêmes pour toutes les utilisations de cette catégorie. Le traitement de récupération habituel comporte un traitement secondaire suivi d'une désinfection; les exigences relatives à la demande biochimique en oxygène (DBO), à la turbidité

(solides en suspension) sont plus souples pour cette catégorie que pour la catégorie de réutilisations urbaines non restreintes.

2.4.4. Réutilisation et recyclage industriels

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique. Pour les pays industrialisés, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau. Les centrales thermiques et nucléaires (eau de refroidissement) sont parmi les secteurs qui utilisent les eaux usées en grande quantité. La qualité de l'eau réutilisée dépend de l'industrie ou de la production industrielle. Les applications sont nombreuses et on peut classer les secteurs où se pratique la REUT en fonction des différentes catégories d'activités industrielles : le secteur chimique et para chimique, le secteur agro-alimentaire, le secteur des industries mécaniques, métallurgiques. Le secteur industriel est celui qui utilise le plus d'eau. La réutilisation des eaux usées des municipalités pour répondre aux besoins du secteur industriel a commencé dès les années 1940. L'utilisation des eaux usées récupérées aux fins des secteurs de la construction et de l'industrie, notamment le lavage des agrégats, la fabrication du béton, le nettoyage de l'équipement, l'alimentation des tours de refroidissement (à l'exclusion du refroidissement par évaporation), le nettoyage des cheminées, l'alimentation des chaudières et l'eau de fabrication (à l'exclusion de la transformation des aliments).

Cependant, les exigences relatives à la qualité de l'eau tendent à être propres à l'industrie, puisque les changements de la composition chimique de l'eau peuvent modifier les procédés utilisés. Les préoccupations que pose la qualité de l'eau dans la réutilisation et le recyclage industriels touchent habituellement l'entartrage, la corrosion, la formation de bactéries, l'encrassement, la formation de mousse et les effets sur la santé des travailleurs que peut entraîner l'inhalation d'aérosols contenant des composés organiques volatils ou des agents pathogènes microbiologiques.

2.4.5. La REUT en zone urbaine :

En zone urbaine et périurbaine, la réutilisation des eaux usées est une source importante. Les usages les plus courants sont l'irrigation d'espaces verts (parcs, golfs, terrains sportifs), l'aménagement paysager (cascades, fontaines, plans d'eau), le lavage des rues ou des véhicules et la protection contre l'incendie. Une autre application importante est le recyclage en immeuble, par exemple l'utilisation de l'eau ménagère traitée pour le lavage. 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, piscines, bassins pour la pêche et la navigation de plaisance
- les eaux des sanitaires d'un immeuble ou d'un groupe d'immeubles
- le lavage de voirie, réservoirs anti-incendie, 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.

2.4.6. Amélioration des ressources

La principale motivation concernant la recharge de nappe est la dégradation de sa qualité environnementale et/ou 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 où les nappes sont envahies par l'eau de mer.

Le dispositif de la recharge de nappe consiste à faire infiltrer ou percoler les EUT dans le sous-sol dont les principaux objectifs sont :

- La restauration d'une nappe surexploitée par excès de pompage et dont le rabattement est préjudiciable.
- La protection des aquifères côtiers contre l'intrusion d'eau salée
- Le stockage des eaux pour une utilisation différée.
- L'amélioration du niveau de traitement de l'eau en utilisant le pouvoir auto épurateur du sol.

Les techniques de recharge reposent sur deux systèmes principaux de circulation de l'eau :

- L'infiltration depuis la surface, dans des bassins ou des lits de cours d'eau.
- L'injection profonde, par puits ou forages, où l'eau est introduite directement dans la nappe souterraine.

2.5. Stockage

Toute l'installation de la réutilisation des eaux usées nécessite un stockage plus ou moins important. Pour régulariser les variations journalières du débit de sortie de la station d'épuration, le volume du stock sera l'équivalent de 24 à 72 heures de consommation. D'ailleurs, elle doit faire face aux risques d'interruption de l'approvisionnement en eaux épurées ou aux pannes des systèmes de traitement.

Dans les régions véritablement déficitaires en ressources en eau, le stockage est inter-saisonnier : il stocke l'eau inutilisée en période hivernale, qui sera utilisée durant l'été. Le

volume stocké doit être alors l'équivalent de plusieurs mois de consommation. On distingue deux types de stockage inter-saisonnier :

- ✚ la recharge de nappe,
- ✚ 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. L'installation d'un réservoir de stabilisation est moins difficile, elle demande essentiellement qu'un terrain soit disponible. Le stockage de longue durée dans des bassins constitue un véritable traitement complémentaire. Il permet une diminution de la demande en oxygène, des teneurs en MES, en métaux lourds, en azote et en micro-organismes. Ces diminutions sont très variables selon la qualité de l'eau traitée, la profondeur du réservoir, les conditions climatiques et le temps de séjour moyen de l'eau dans le réservoir.

La profondeur des réservoirs de stabilisation est de 5,5 à 15 m pour limiter les pertes par évaporation. La partie supérieure de la masse d'eau est en aérobie; la partie inférieure est en anaérobie. Une partie de l'azote ammoniacal est éliminée, soit par désorption d'ammoniac gazeux dans l'atmosphère, soit par assimilation par les algues, soit par nitrification biologique en conditions aérobies. Cette élimination de l'ammoniac permet de réduire le dosage de chlore en cas de désinfection par le chlore après stockage. 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. Le stockage est alimenté continûment ou il est rempli dans un délai de quelques jours à quelques semaines. Dans ce deuxième cas, l'efficacité de l'épuration est considérablement accrue.

2.6. Technologies de traitement des eaux usées pour la récupération et la réutilisation

Il existe déjà à l'heure actuelle une vaste gamme de technologies de traitement pouvant servir à la récupération et à la réutilisation des eaux usées selon la qualité (Figure 6). Un grand nombre de ces technologies, par exemple les biofiltres, les technologies membranaires et la désinfection aux ultraviolets, ont été mises au point et appliquées.

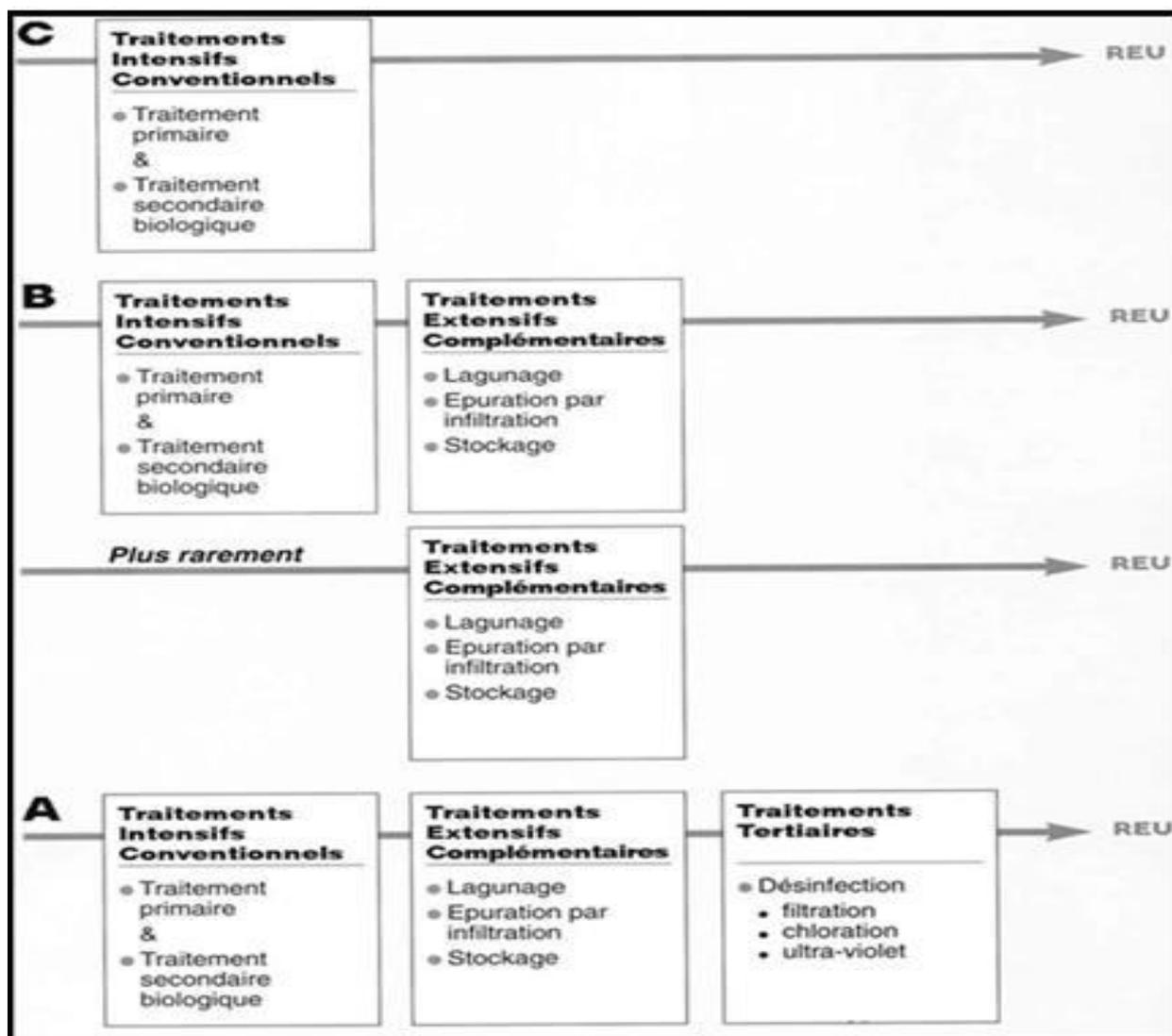


Figure 7 : Schéma générale des filières de traitement préconisé pour différentes classes de qualité des eaux usées A, B, C, en vue de la réutilisation.

2.7. Planification et mise en œuvre des programmes de récupération et de réutilisation des eaux usées

Les projets de récupération et de réutilisation des eaux usées sont généralement complexes et nécessitent des méthodes de planification à objectifs multiples et la participation de tous les intervenants. Voilà quelques conditions favorisant la planification et la mise en oeuvre de projets de réutilisation des eaux usées :

- ✚ Politiques favorisant le plein coût des ressources en eau : le coût peu élevé de l'eau est un facteur dissuasif pour l'instauration de programmes de réutilisation et de recyclage

de l'eau; cela constitue également un obstacle au progrès et à l'innovation technologique ;

- ✚ Programmes nationaux de réutilisation de l'eau : de tels programmes sont nécessaires pour déterminer les normes de conception, promouvoir la recherche sur l'information technologique et sensibiliser le public aux risques pour la santé et aux avantages de la réutilisation ;
- ✚ Systèmes de gestion et d'analyse économique appliquée : pour mieux mesurer la faisabilité financière, institutionnelle et technique des projets et évaluer les répercussions sur l'environnement et la perception du public ;
- ✚ Consultation publique : favoriser la consultation publique par la mise en œuvre de programmes de réutilisation, notamment à la lumière des nouvelles questions liées à la santé que soulèvent les produits pharmaceutiques et les perturbateurs endocriniens ;
- ✚ Programme de sensibilisation : mettre en valeur les réalisations, informer et sensibiliser le public de façon continue.

2.8. Règlements sur la réutilisation de l'eau, critères de qualité et directives

Les régions où la réutilisation des eaux usées est une pratique courante, doivent disposer de normes et de critères bien définis régissant de telles applications ; il y a beaucoup à apprendre de leur expérience. En ce qui concerne les règlements, les critères de qualité et les directives sur la réutilisation de l'eau, nous devons connaître :

- Directives nationales sur la réutilisation de l'eau : des directives nationales qui lieraient les usages proposés aux exigences relatives à la qualité de l'eau ;
- Normes nationales : il faudrait établir des critères régissant la qualité de la réutilisation des eaux usées ;
- Nouveaux contaminants préoccupants : les questions de santé humaine liées à la salubrité des eaux récupérées contenant des perturbateurs endocriniens, des produits chimiques pharmaceutiques ou thérapeutiques et des produits chimiques organiques d'usage industriel commencent à se poser. Les répercussions que peuvent avoir ces produits chimiques, présents en très faibles quantités, ne sont pas bien comprises quant aux effets à long terme sur la santé ;

Contrôle environnemental et conséquences de la récupération de l'eau : l'utilisation de l'eau récupérée pour la préservation des terres humides, dont on prévoit qu'elle s'accroîtra, l'augmentation des écoulements fluviaux et l'alimentation des nappes souterraines démontre la nécessité de faire davantage de recherche dans ce domaine.

2.9. Les normes de qualité des eaux usées destinées à l'irrigation des cultures

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) reconnaît, depuis les années 1970, l'importance de la réutilisation des eaux usées en agriculture ainsi que ses avantages environnementaux et socio-économiques. Les experts de l'OMS ont conclu que la consommation d'aliments provenant de cultures irriguées par ces eaux entraîne des effets négatifs sur la santé publique, en raison de l'existence d'organismes pathogènes d'origines fécales, comme : les virus, les protozoaires, les bactéries et les helminthes ou autres.

En effet, l'OMS a défini quatre mesures pour réduire le risque de la réutilisation des eaux usées sur la santé publique, dont : le traitement des eaux usées, la limitation des cultures, le contrôle de l'utilisation des eaux usées et le contrôle de l'exposition. Par conséquent, l'OMS a élaboré une directive qui prend en considération ces quatre mesures en vue d'une réutilisation adéquate des eaux usées en agriculture. Elle a été nommée : la directive concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en agriculture.

Cette directive fixe le nombre de bactéries coliformes considérées comme indicateurs d'organismes pathogènes et le nombre d'oeufs de nématodes acceptables dans un effluent final qui peut être destinée à l'irrigation, ces nombres sont considérés comme des normes. Donc la pollution microbiologique dans les eaux usées traitées selon l'OMS doit être moins de 1000 coliformes fécaux/100ml et moins de 1 oeuf d'helminthe /l. Ces normes ont pour objectif principal l'élimination des risques sanitaires pour pouvoir procéder à une irrigation sans restriction.

Les recommandations de l'OMS pour les rejets des eaux usées sont :

$DBO_5 \leq 25 \text{ mg /L}$

$DCO \leq 125\text{mg/L}$

$MES \leq 35 \text{ mg / L .}$

Ces normes définissent la qualité des eaux usées destinées à l'irrigation. Elles ont été établies afin de :

- ✚ protéger les usagers et les ouvriers agricoles ;
- ✚ protéger les consommateurs des produits agricoles ;
- ✚ protéger les ressources en eau superficielles et souterraines et les sols ;
- ✚ protéger le matériel d'irrigation ;
- ✚ maintenir des rendements acceptables.

2.10. Irrigation par recyclage des eaux usées

La majorité des projets de réutilisation des eaux usées concerne des utilisations agricoles. Pour ce secteur, la réutilisation des eaux améliore les rendements des cultures et apporte des bénéfices financiers. L'irrigation de cultures ou d'espaces verts est la voie la plus répandue de réutilisation des eaux usées urbaines. Au niveau mondial, c'est également la solution qui a le plus d'avenir à court et à moyen terme.

Il s'agit de l'utilisation des eaux usées, traitées ou pas, pour répondre aux besoins d'irrigation dans les activités agricoles. Ceci permet une économie des ressources hydriques en amont et une réduction de la pollution en aval. Par ailleurs, les eaux usées épurées peuvent souvent constituer une source d'éléments nutritifs pour les plantations.

La REUT est une pratique très répandue dans les régions qui souffrent d'une pénurie des ressources en eau, dont les principaux exemples sont le Japon, le bassin méditerranéen (Tunisie, Chypre, Espagne), les Etats-Unis (surtout la Californie), mais aussi l'Asie et le Golfe Persique.

L'irrigation peut augmenter la productivité des activités agricoles de 100% à 400% et permettre la pratique de certaines cultures dans des régions où les conditions environnementales ne sont pas favorables. Or, l'agriculture est responsable pour 70% des prélèvements d'eau, chiffre qui arrive à 95% dans certains pays en développement. En même temps, c'est une façon naturelle de réduire les impacts à l'environnement et de fournir les nutriments (surtout l'azote et le phosphore) qui fertiliseront le sol.

2.10.1. Lieux ou contextes dans lesquels ce moyen paraît le mieux adapté :

Ce moyen est adapté surtout aux régions qui ont des ressources en eau limitées par rapport à la demande existante. Et pourtant, certaines cultures sont plus adaptées que d'autres à cette technique en fonction des risques inhérents des produits irrigués avec de l'eau recyclée. Parmi les cultures où la REU s'applique, on trouve l'orge, le maïs, l'avoine, le coton, l'avocat, les choux, les laitues, la betterave à sucre, la canne à sucre, l'abricot, l'orange, la prune, la vigne, les fleurs et les bois.

La FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) propose une classification des cultures en fonction du niveau de risque pour les consommateurs et pour les agriculteurs.

a. Risque faible :

- Cultures industrielles non destinées à la consommation humaine (par exemple le coton, le sisal) ;

- Cultures traitées par la chaleur ou le séchage avant d'être destinées à la consommation humaine (par exemple les céréales, les oléagineux, les betteraves à sucre) ;
- Les légumes et les fruits cultivés exclusivement pour la mise en conserve ou autre traitement qui détruit efficacement les germes pathogènes ;
- Les cultures fourragères et d'autres cultures d'aliments pour les animaux qui sont récoltées et séchées au soleil avant.

b. Risque moyen :

- Pâturages et cultures fourragères herbacées ;
- Cultures pour la consommation humaine qui ne sont pas en contact direct avec des eaux usées, à condition que rien ne soit ramassé sur le sol et que l'irrigation par aspersion ne soit pas utilisée (par exemple l'arboriculture, les vignes) ;
- Cultures pour la consommation humaine après cuisson (par exemple les pommes de terre, l'aubergine, la betterave) ;
- Cultures pour la consommation humaine dont la peau n'est pas mangée (par exemple les agrumes, les bananes) ;
- Toutes les cultures non identifiées comme « Risque élevé » si l'irrigation par aspersion est utilisée.

c. Risque élevé :

- Tous les aliments consommés crus ou cultivés en contact étroit avec les effluents (par exemple la laitue et les carottes) ;
- L'irrigation par aspersion, indépendamment du type de culture, à moins de 100 m des zones résidentielles ou de lieux d'accès public.

2.10.2. La mise en œuvre

Les eaux usées épurées contiennent des matières solides, des substances dissoutes et des microorganismes. Ces derniers sont la cause principale des restrictions imposées à la réutilisation car ils contiennent très souvent des éléments néfastes pour la santé les micropolluants organiques contenant des agents pathogènes comme des virus, des bactéries, des protozoaires et des helminthes. La charge en agents pathogènes dans les eaux brutes est essentiellement fonction de l'état sanitaire de la population à l'origine de ces eaux usées. Le risque d'infection d'origine hydrique par ces agents pathogènes est dépendant d'un ensemble de facteurs qui incluent :

- ✚ D'une part leurs concentrations, leur dispersion dans l'eau, la capacité de ces agents intestinaux à survivre dans l'environnement, la qualité du traitement d'épuration de l'eau,
- ✚ Et d'autre part la dose infectante, l'exposition et la susceptibilité de la population exposée.

En général, des traitements (primaires et/ou secondaires) sont nécessaires pour que l'eau usée atteigne le niveau de qualité requis pour une nouvelle utilisation. Donc, en plus de tous les aspects concernés dans la conception d'un système d'irrigation traditionnel, il faut bien définir les aspects liés à la captation et le traitement de l'eau pour mettre en œuvre un système d'irrigation qui utilise de l'eau recyclée.

Les étapes suivantes donnent une vision sur la démarche à suivre pour la mise en œuvre :

✚ **L'identification et la caractérisation des objectifs et besoins du système d'irrigation :**
Les cultures irriguées, les concentrations acceptables de substances chimiques et microorganismes, le débit d'eau nécessaire à l'irrigation (et sa variation selon l'heure du jour et l'époque de l'année). Les concentrations acceptables ainsi que les débits sont déterminés en fonction des types de cultures concernés, les caractéristiques du sol et le climat dans la région.

✚ **L'identification et caractérisation des sources d'eau recyclée en potentiel :**

Les concentrations de substances chimiques et microorganismes présents et les débits d'eau disponibles.

✚ **Les caractéristiques d'un éventuel traitement additionnel nécessaire :**

Ce niveau doit être défini en fonction des conditions des eaux à être recyclées et des besoins du système d'irrigation.

✚ **La nécessité d'installations de stockage et distribution de l'eau recyclée :**

Des installations de stockage peuvent être nécessaires pour assurer la disponibilité de l'eau face aux oscillations de l'offre et de la demande. La distance entre la source et le site à irriguer est un des facteurs qui va influencer la faisabilité économique du projet.

2.10.3. Les impacts environnementaux du système d'irrigation :

Surtout en ce qui concerne l'utilisation du sol, les conditions hydrologiques de la région et les impacts sur les nappes phréatiques. Les eaux (épurées ou non) contiennent en proportions très variables des substances nutritives pour les végétaux comme l'azote, le phosphore, le potassium et les oligo-éléments, le zinc, le bore et le soufre. Dans certaines circonstances, ces éléments peuvent être en excès par rapport aux besoins des végétaux et provoquer des effets négatifs, aussi bien au niveau des cultures que des sols. Un contrôle périodique de la quantité

de nutriments présents dans l'effluent est nécessaire pour tenir compte des besoins en fertilisants des cultures irriguées. La présence de certaines substances dans l'eau doit être bien maîtrisée pour garantir une bonne qualité du système d'irrigation.

Il faut surtout connaître les éléments suivants :

- Les contraintes chimiques :

- **Salinité :**

Des niveaux élevés de sels dans le sol peuvent entraîner une réduction de la productivité de la plantation, et même amener à l'échec total de celle-ci. La quantité de sels présente dans l'eau utilisée pour l'irrigation affecte directement la salinité du sol. Cette quantité peut être mesurée à partir de la conductivité électrique de l'eau ou de la quantité de solides dissous totaux.

- **Sodium :**

Une proportion de la concentration de sodium par rapport aux concentrations de magnésium et calcium élevée (au-dessus de 3 : 1) peut réduire la perméabilité du sol. La croissance des plantes est donc affectée par l'indisponibilité d'eau dans celui-ci.

- **Chlore :**

Des concentrations de chlore peuvent endommager la plupart des plantes à partir de **5 mg/l** et les plus sensibles à partir de **0,05 mg/l**. Les eaux usées épurées peuvent présenter des niveaux élevés de chlore en fonction de traitements effectués en amont.

Éléments-traces de métaux lourds :

Des concentrations élevées de nickel, cadmium, zinc, cuivre, plomb et mercure peuvent être toxiques pour de végétaux et d'animaux, ces derniers affectés par la propagation de certains de ces éléments au long de la chaîne alimentaire.

Concentration de ces substances : la quantité optimale pour l'irrigation est :

- Mercure, Cadmium : Concentration comprise entre **0,01 et 0,1 µg/L**,
- Vanadium, Chrome, Nickel, Arsenic, Selenium, Plumb, Uranium: Concentration comprise entre **1 µg/L et 10 µg/L**,
- Lithium, Bore, Aluminium, Titane, Fer, Cuivre, Zinc, Rubidium, Baryum : Concentration **supérieure à 10 µg/L**. [36]

- Les contraintes microbiologiques :

C'est les coliformes et les streptocoques fécaux et totaux qui proviennent des excréments humains et des animaux et qui provoquent plusieurs maladies. E.Coli appartient à cette catégorie de coliformes.

2.11. Acceptation du public :

La perception du public des produits agricoles cultivés à l'eau usée traitée est en général négative en se basant la plupart du temps sur des thèmes liés à l'hygiène et à la santé, le manque de confiance dans le contrôle public de la qualité ainsi qu'à une répulsion naturelle envers ces aliments ayant été potentiellement en contact avec des excréments humains. La conséquence est que les agriculteurs n'arrivent pas à vendre leur récolte, même si elle répond bien aux critères de qualité importants requis, rendant ceux-ci réticents à utiliser des eaux usées pour l'irrigation de leurs cultures.

La sensibilisation publique et la confiance sont des conditions préalables à la réussite de la réutilisation des eaux usées traitées, des sessions d'information relatives à tous les aspects (avantages importants apportés à l'environnement et à l'économie, précautions à prendre pour rendre la réutilisation des eaux usées traitées fiable et salubre ...) seraient nécessaires pour renforcer l'acceptation sociale de la réutilisation des eaux usées.

CHAPITRE III : Réutilisation des eaux usées épurées en Algérie

3.1. Introduction

L'Algérie **accuse un retard** dans la réutilisation des eaux traitées pour l'irrigation agricole et ce en dépit des efforts consentis par l'Etat pour son développement, ont estimé les experts. Ils se sont accordés sur l'impératif développement des procédés permettant le recours à la réutilisation des eaux traitées pour l'irrigation en vue d'assurer une économie de l'eau, ceci d'autant plus que le secteur agricole consomme plus de 60% de la production d'eau et des eaux souterraines. L'irrigation avec des eaux traitées touche seulement **11.000 ha** de terres agricoles sur un total de **1,3 million d'hectares** de terres irriguées à l'échelle nationale"

La réutilisation des eaux usées épurées « REUE » 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, Economique et Environnementale.

L'intérêt porté par l'Algérie à la réutilisation des eaux usées en agriculture a pour origine des besoins en eau en forte augmentation puisque la population algérienne est en forte croissance démographique dans les dernières années.

L'Algérie à l'instar d'un grand nombre de pays du bassin méditerranéen accuse un déficit hydrique très important. La situation du pays se caractérise par une demande en eau croissante, alors que les ressources hydriques se raréfient d'une manière permanente pour l'irrigation. En revanche, la production des eaux usées s'accroît et leur réutilisation se présente comme une première réponse à cette situation de pénurie d'eau pour l'irrigation.

La stratégie du ministère des ressources en eau dans le domaine de l'épuration est basée sur la protection de la ressource hydrique, la réutilisation des eaux usées épurées, notamment à des fins agricoles. En outre, la capacité de production en eau usées épurées par les stations d'épurations fonctionnelles (STEP et lagunes) en Algérie représente environ 130000 m³/an, en suivant les trois traitements primaires et secondaires et tertiaires.

La réutilisation des eaux usées épurées notamment à des fins agricoles est devenue l'un des axes principaux de la stratégie du secteur des ressources en eau. Presque toutes les ressources accessibles d'eau douce dans le pays sont déjà mobilisées et il est donc logique de se canaliser vers des ressources d'eau non conventionnelles pour satisfaire l'accroissement de la demande telle que l'utilisation des eaux usées traitées. Le projet de la réutilisation des eaux

usées traitées en Algérie, a été lancé au début des années 2000. En 2001, l'ONA a été créé pour assurer sur tout le territoire national, la protection de l'environnement.

Le traitement des eaux usées en Algérie connaît actuellement un grand essor avec la création de nouvelles stations d'épuration (STEP) et le renouvellement et la mise à niveau des anciennes stations d'épuration. Une centaine de STEP existantes ou en voie de réhabilitation permettront de produire un grand volume d'eau qui sera réutilisée au profit de l'irrigation ou de l'industrie. Par conséquent, le développement de l'agriculture irriguée peut être réalisé par la réutilisation des eaux usées traitées.

3.2. Objectifs de la réutilisation des eaux usées en Algérie

Le but principal de la réutilisation des eaux usées est d'économiser d'importantes quantités d'eau potable qui seraient ainsi destinées pour les besoins de la population en AEP et ainsi permettre de diminuer la pression de mobilisation qui s'exerce sur les nappes, sans pour cela défavoriser les agriculteurs. En revanche, elle permet la protection de l'environnement en premier degré, en plus la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages viendra combler des déficits hydriques et mobilisera pour le besoin croissant en eau d'irrigation des sources alternatives sachant que l'eau reste un vecteur de développement de la production agricole.

Par ailleurs, le traitement des eaux usées génère des boues biologiques, très riches en azote et en phosphore. Leur réutilisation peut constituer un apport d'amendement non négligeable des sols. Ainsi, pour satisfaire l'ensemble des besoins en eau du pays et aussi de préserver les eaux de bonne qualité et les attribuer à l'alimentation en eau potable, l'utilisation des eaux usées traitées est une nécessité. Elle doit être une partie intégrante de la stratégie des décideurs dans le cadre de la mobilisation de toutes les ressources disponibles.

Cette orientation est indispensable pour le pays qui ne cesse d'accroître ses efforts dans le domaine de l'assainissement et du traitement des eaux usées à travers la création et l'amélioration des stations d'épuration. Il serait dommage que cette eau ne soit pas valorisée chaque fois qu'il en est possible. Les eaux usées représentent plus de 600 millions de m³/an. A l'horizon 2020, elles représenteront un volume très appréciable : près de 2 milliards de m³ si la demande en eau est totalement satisfaite à cet horizon. Ce volume, une fois épuré, pour des considérations écologiques ou de protection des ressources en eau, sera très appréciable pour son utilisation par l'agriculture ou l'industrie. Cependant, le développement de la réutilisation des eaux usées traitées doit se faire en suivant une démarche avisée assurant le meilleur équilibre possible des résultats sur les plans sanitaires, environnementaux et économiques.

En Algérie, l'utilisation des eaux usées épurées en irrigation permettrait :

- ✚ L'exploitation d'une ressource durable qui réduira la demande des eaux conventionnelles.
- ✚ La valorisation des sols par les nutriments des eaux usées.
- ✚ De développer à court et à moyen terme et long terme l'agriculture

3. 3. Situation de la réutilisation des eaux usées brutes en irrigation en Algérie

Actuellement, en Algérie, il y a des agriculteurs qui utilisent les eaux usées sans traitement au préalable et sans aucune autorisation des services concernés, pour irriguer particulièrement la pomme de terre, la salade, la tomate, etc.... à partir des bassins de décantation qui se trouvent juste à côté de leurs champs. Ces bassins sont remplis par les eaux des réseaux d'assainissement. Ils utilisent aussi des bassins de stockage de ces eaux polluées et hautement nocives pour la santé des agriculteurs. Les eaux usées véhiculent des éléments polluants qui posent des problèmes sur la santé publique et des risques de contaminer les sols, les plantes, les ouvriers agricoles et les consommateurs.

Pour cela, les eaux usées brutes ne doivent pas être directement réutilisées, un traitement est toujours nécessaire. Cependant, il existe depuis quelques années déjà, des stations d'épuration des eaux usées qui ont été réalisées pour permettre à de nombreux fellahs et producteurs d'en utiliser ces eaux pour l'irrigation de leurs périmètres (www.presse-dz.com, 2012). Mais ces eaux doivent être payées par l'agriculteur pour pouvoir les utiliser. Cependant, il existe depuis quelques années déjà, des stations d'épuration des eaux usées qui ont été réalisées pour permettre à de nombreux fellahs et producteurs d'en utiliser ces eaux pour l'irrigation de leurs périmètres (www.presse-dz.com, 2012). Mais ces eaux doivent être payées par l'agriculteur pour pouvoir les utiliser.

3.4. Valorisation Agricole des EUT

Face à la rareté et la mauvaise répartition de l'eau, la réutilisation des eaux usées apparaît comme la solution la plus adaptée. Elle permet d'une part, de fournir des quantités d'eau supplémentaires, d'autre part d'assurer l'équilibre du cycle naturel de l'eau et la protection de l'environnement. Les eaux usées traitées présentent l'avantage de la stabilité par rapport à celles liées à la pluviométrie.

Dans les nombreuses régions à climat aride et semi-aride comme l'Algérie, la réutilisation des eaux usées traitées, notamment dans l'agriculture, constitue une alternative

intéressante pour la préservation des ressources conventionnelles destinées en priorité à l'Alimentation en Eau Potable (AEP).

La réutilisation des eaux usées en agriculture permet d'augmenter le rendement des cultures et d'améliorer l'efficacité des systèmes d'irrigation (www.eurojournals.com, 2012).

En effet, une lame d'eau épurée de 100 mm (1000 m³/ha) peut apporter aux cultures à l'hectare :

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

3.5. Appui à la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture

Le gouvernement d'Algérie connaît la nécessité des ressources hydriques additionnelles dans la mesure où le pays se caractérise par un climat aride et semi-aride. Parmi elles, la réutilisation des eaux usées traitées relève d'une exceptionnelle pertinence, d'autant que des investissements importants ont été faits dans les eaux résiduaires en sortie des stations d'épuration. Avec un traitement additionnel, elles peuvent servir à plusieurs usages, et en particulier à l'arrosage en agriculture. Néanmoins et au-delà des avantages clairs de la réutilisation, les contraintes sont multiples, en termes de législation et surtout de qualité. S'il est évident que la réutilisation des eaux usées possède un grand avenir en Algérie, il est aussi impératif de créer les conditions nécessaires à son développement.

3.5.1. L'Office National de l'Assainissement (ONA)

L'Office National de l'Assainissement (ONA) est un établissement public national, à caractère industriel et commercial. Il a été créé par le décret exécutif n° 01-102 du 27 Moharem 1422 correspondant au 21 Avril 2001. L'Office est placé sous la tutelle du ministre des ressources en eau. L'Office National de l'Assainissement est chargé dans le cadre de la politique nationale de l'assainissement : de l'exploitation, de la maintenance, du renouvellement, de l'extension et de la construction de tout ouvrage destiné à l'assainissement des agglomérations (des infrastructures d'assainissement) et surtout, les réseaux de collecte des eaux usées, les stations de relevage, les stations d'épuration, dans les périmètres urbains et communaux.

Il assure aussi :

- La protection de l'environnement hydrique et la sauvegarde des ressources en eau.
- La lutte contre toutes les sources de pollution hydrique.
- La préservation de la santé publique.
- L'élaboration et de la réalisation des projets en relation avec le traitement des eaux usées.

Voici quelques chiffres essentiels en L' ONA au niveau national :

- Nombre de communes administrées par l'ONA : **638**
- Longueur du réseau géré par l'ONA plus de : **30 000 km**
- Nombre de STEP en exploitation par l'ONA : **77**
- Capacités installées des **77 STEP : 861 217 m³/j**
- Volume mensuel des eaux épurées (juin 2012) : **10,9 millions de m³.**
- Débit moyen journalier des eaux usées épurées : **365 310 m³/j**
- Taux d'utilisation des capacités des installations : **42 %**
- Volume des eaux usées collectées durant le mois de juin 2012 : **52,9 millions de m³**
- Nombre de branchements réalisés durant le mois de juin 2012 : **55 branchements**
- Nombre de regards réalisés durant le mois de juin 2012 : **72 regards.**
- Volume de déchets solides évacués durant le mois de juin : **6 913 m³**
- Volume d'eau relevé durant le mois de juin 2012 : **14 052 885 m³**
- Nombre de Station de relevages gérés par l'ONA : **316** (www.onid.com, 2012).

Par ailleurs, la stratégie de l'ONA s'appuie sur une vision futuriste de l'eau. La considérant comme rare, elle lui donne une seconde vie. Un programme de réutilisation des eaux usées épurées (REUE), notamment à usage agricole est mis en place.

En effet, un traitement des eaux usées permet d'atteindre des niveaux de qualité de rejets autorisant la pratique d'irrigation agricole. Sur les 107 stations d'épuration (STEP) en exploitation à travers le pays, 18 STEP sont concernées par la REUE au bénéfice de l'Agriculture, dont le volume réutilisé est estimé à 14,7 Millions de m³ afin d'irriguer près de 12 000 ha de la superficie agricole. Il s'agit des stations d'épuration suivantes : Kouinine (El Oued), Ouargla, Guelma, Boumerdès, Ain Hadjar, Saïda, Bordj Bou Arreridj, Souk Ahrass, Mascara, Bouhnifia, Hacine, Oued Taria, Hachem, Ghriss, Sehaouria, Tizi et Mohammadia.

A la fin de 2014, le volume réutilisé est estimé à 20 millions de m³ irriguant près de 12 000 hectares de superficie agricole. Le potentiel de la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles évoluera d'une manière significatives d'environ 20 millions de m³ en 2014 à 40 millions de m³ en 2019 et le nombre de stations concernées par la REUE sera de 26 stations

pour irriguées plus de 13 000 hectares, parmi ces projets : Sétif, Médéa, Sidi Bel Abbès, Aïn Defla, Chelghoum Laïd, Ouargla, Saïda, Tiaret et Chlef. L'ONA déploie des efforts et des recherches pour l'extension de la REUE à d'autres domaines. Un autre sous-produit d'épuration, en l'occurrence, la boue, fait partie des préoccupations de l'Office pour une éventuelle valorisation agricole ou industrielle.

À ce jour, l'ONA est gérées 12 STEP concernées par les projets de la REUE en cours d'étude ou de réalisation, pour l'irrigation de plus de 8000 hectares de terres agricoles, parmi ces projets : Sedrata, Chelghoum Laid, Tipaza, Ouargla, Saida et Chlef.

Un plan d'action ONA/ONID est en cours d'étude, pour définir les possibilités réelles d'une éventuelle réutilisation des eaux usées épurées des STEP exploitées par l'ONA pour l'irrigation des grands périmètres d'irrigation (GPI) gérés par l'ONID au niveau des cinq (05) bassins hydrographiques à l'échelle nationale (www.onid.com, 2012).

3.5.2. L'Office National d'Irrigation et de Drainage (ONID)

La nouvelle politique de l'eau mise en place par le ministère des ressources en eau est basée sur des principes nouveaux de gestion intégrée, participative, économique et écologique. Cette politique s'est concrétisée notamment par la création de l'Office national de l'irrigation et du drainage (ONID) en tant qu'outil privilégié du secteur pour la relance du programme de développement de l'hydraulique agricole et l'utilisation rationnelle du facteur d'eau comme un élément de base pour l'accroissement de la production agricole.

Pour obtenir une gestion optimale d'irrigation : l'adoption de procédés d'irrigation économiseurs d'eau et l'utilisation des eaux non conventionnelles (eaux usées traitées), contribueront à l'extension notable des superficies irriguées, l'objectif global de l'Algérie est d'atteindre une L'Office National pour l'Irrigation et le Drainage, C'est une structure chargée de l'ensemble de l'activité hydraulique agricole dans les Grands périmètres d'irrigations (GPI), créée en 18 mai 2005. Elle est subdivisée en 5 directions régionales selon le découpage hydrographique adopté par le secteur. Elle est présente dans l'ensemble des grands périmètres d'irrigation, soit plus d'une vingtaine d'unités. Son potentiel humain dépasse les 2.000 personnes.

Devant le déficit hydrique accru que connaît le pays, L'ONID a lancé une nouvelle expérience dans un vaste programme qui permet d'augmenter sensiblement les superficies irriguées. Il consiste en la réutilisation des eaux usées épurées, produites par les stations d'épuration de l'ONA pour irriguer des périmètres à l'aval de chaque station d'épuration et lagune. A ce titre, l'ONID a commencé par la réalisation et l'aménagement de deux périmètres

hydro-agricoles alimentés par des STEP. Il s'agit des périmètres d'irrigation de Hennaya dans la wilaya de Tlemcen et celui de Mléta dans la wilaya d'Oran qui sont déjà en exploitation.

Particulièrement, dans les périmètres d'irrigation, l'ONID est chargé de :

- ✚ gérer, exploiter et entretenir les réseaux d'irrigation.
- ✚ diriger les irrigations.
- ✚ commercialiser l'eau agricole.
- ✚ apporter assistance et conseils aux usagers de l'eau agricole.

Actuellement, l'office exploite et entretient 25 périmètres d'irrigation d'une superficie équipée globale de plus de 200.000 ha, dont plus de 162.000 ha sont irrigables.

3.6. La réutilisation des eaux usées REUE

Les eaux usées épurées sont utilisées dans différents usages. Elles sont considérées comme des quantités complémentaires aux eaux conventionnelles. Les principales utilisations des eaux usées épurées sont :

- **Utilisations agricoles** : La réutilisation des eaux usées en irrigation, en plus de sa première mission, elle permet d'exploiter la matière fertilisante contenue dans les eaux épurées. On peut réaliser ainsi une grande économie d'engrais.
- **Utilisations Municipales** : arrosage des espaces verts, lavage des rues, lutte contre les incendies, l'arrosage des terrains de golf, arrosage pour compactage des couches de base des routes et autoroutes.
- **Utilisations industrielles** : refroidissement des dispositifs industriels ;

3.6.1. Potentiel actuel

Sur les 130 stations d'épuration exploitées par l'ONA à travers les 44 wilayas, 17 sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture. Le volume réutilisé à fin aout 2016 est estimé à 14,6 Millions de m³, pour ces 17 STEP concernées par la REUE ; afin d'irriguer plus de 11 076 ha de superficies agricoles, il s'agit de :

- ✚ Kouinine (El Oued) et Ouargla,
- ✚ Guelma, Souk Ahras
- ✚ Tlemcen, mascara et les lagunes de : Ghriss, Bouhanifia, Hacine, Oued Taria, Froha, Khalouia, Tizi et Mohamadia,
- ✚ Boumerdes.

3.6.2. Gestion des eaux usées épurées

Dans le cadre de la gestion des eaux usées épurées, un arsenal juridique pour protéger utilisateurs et gestionnaires a été mis en place. Pour une meilleure protection de l'environnement aquatique, l'eau traitée doit satisfaire certaines normes de rejet ; qui sont données dans le tableau. 6 par rapport aux respects des normes d'utilisation des eaux épurées et aux risques de contamination par ces eaux épurées.

Tableau 6 : Normes de rejet pour l'irrigation (Normes Algériennes)

Paramètre	unité	Valeurs seuil
Température	°C	< 30
Ph	-	6.5 à 8.5
Oxygène dissout(*)	mg O ₂ /l	> 5
MES	mg/l	< 30
DBO5	mg/l	< 40
DCO	mg/l	< 90
Azote total	mg/l	< 50
Phosphore (PO ₄)	mg/l	< 02
Huile et graisse	mg/l	< 20
Coliformes fécaux(*)	nombre de CF/100mL	<1000 CF/100Ml

Source : ANRH (ALGER)

Tableau 7 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées

Paramètres	Unité	Normes		
		FAO *(1985)	OMS **(1989)	JORA(2012)
pH		6,5-8,4 *		6,5-8,5
CE	ds/m	<0,7 * Aucune restriction 0,7 – 3,0 * restriction légère à modérée > 3,0 * Forte restriction		3
MES	mg/l	<30**		30
DCO	mg O ₂ /l	< 40 **		90
DBO ₅	mg O ₂ /l	<10 **		30
NO ₃ ⁻	mg/l	50 **		30
NO ₂ ⁻	mg/l	< 1 **		Non disponible
NH ₄ ⁺	mg/l	< 2 **		Non disponible
PO ₄ ³⁻	mg/l	< 0,94 **		Non disponible
SAR	meq/l	<3* Aucune restriction 3-9* restriction légère à modérée >9* Forte restriction		Non disponible
Coliformes totaux	UFC/100ml	Non disponible		Non disponible
Streptocoque fécaux	UFC/100ml	1000 **		Non disponible
Salmonelles	UFC/ 1L	Absence **		Non disponible

3.7. Situation actuelle de la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture et leurs perspectives pour l'irrigation

Pour assurer la sécurité alimentaire, un pays doit une forte production agricole, d'où la nécessité d'avoir suffisamment d'eau pour l'irrigation. Le ministère de l'Agriculture et du développement rural, a indiqué, que « chaque goutte d'eau collectée, quelle que soit son origine, est utile pour renforcer la production agricole, notamment l'utilisation des eaux usées traitées qui pourront être d'une grande utilité dans l'irrigation de plusieurs terres agricoles de manière permanente, réglementée et satisfaisante». Il faut donc, recourir aux eaux non conventionnelles, dont les eaux usées épurées pour satisfaire les besoins en eau en irrigation.

Le volume annuel d'eaux usées rejetés à l'échelle nationale est estimé à près de 750 millions de m³ actuellement et dépassera les 1,5 milliard m³ à l'horizon 2020. La capacité totale de traitement actuelle est de 4 millions de m³. A cet effet, nous pouvons dire que l'utilisation des eaux usées traitées dans l'irrigation agricole est encore à ses débuts, donc au stade expérimental.

➤ Oran

Les eaux usées du groupement d'Oran traitées par la STEP d'El Kerma sont, désormais, utilisées pour l'irrigation d'une partie des terres agricoles de la plaine de la Mléta, au sud de la wilaya, qui s'étend sur une superficie de 8.100 ha. Cette plaine est répartie entre les deux communes d'Oued Tlélat (3.833 ha) et Tafraoui (4.267 ha).

Une superficie de 600 ha de cultures maraîchères et d'arbres fruitiers, situés à proximité de la station sont irrigués par les EUE de la STEP d'El Kerma. La STEP d'El Kerma recourt à un système de la graduation de l'épuration jusqu'à obtenir une eau purifiée utilisée strictement aux fins d'irrigation agricole. ces eaux épurées ne présentent aucun risque pour la santé humaine ou la qualité des produits agricoles. La STEP d'El Kerma a été créée pour deux objectifs importants, à savoir : l'arrêt des rejets des eaux usées dans la mer et la réutilisation des eaux traitées pour l'irrigation des terres agricoles.

Au niveau national, les superficies agricoles irriguées consomment plus de 17 millions de m³ d'eau. Ils devront connaître une augmentation pour atteindre le volume pour irriguer plus de 15.000 ha en 2014.

3.8. Cadre réglementaire des eaux usées traitées réutilisées en irrigation en Algérie

3.8.1. Dispositions préliminaires

Art. 2 : Eau usée épurée destinée à l'irrigation, toute eau usée dont la qualité, après un traitement approprié dans une station d'épuration ou de lagunage est conforme aux spécifications fixées par arrêté conjoint des ministres chargés des ressources en eau, de la santé et de l'agriculture.

Art. 3 : L'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation est soumise au régime de la concession. La concession peut être octroyée à toute personne morale ou physique, de droit public ou privé, qui se propose de distribuer, à des usagers, des eaux usées épurées à des fins d'irrigation au sens de l'article 2 ci-dessus.

Art. 4 : L'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation doit être conforme aux clauses du cahier des charges-type annexé au présent décret auquel doit souscrire tout concessionnaire.

Art. 5 : Le dossier de demande de concession est adressé par le demandeur, en double exemplaire, au wali territorialement compétent.

La wilaya compétente est celle sur le territoire de laquelle sont situées les parcelles destinées à être irriguées par les eaux usées épurées.

Art. 6 : La demande de concession doit comporter les noms, prénoms, et adresses pour les personnes physiques ou la raison sociale et l'adresse du siège social pour les personnes morales. Elle doit être accompagnée d'un mémoire technique, comportant notamment les documents et informations suivants:

- une description de la station d'épuration ou de lagunage d'où proviennent les eaux usées épurées ainsi que le mode de traitement utilisé;
- la description et les plans des ouvrages de stockage, d'amenée et de distribution des eaux usées épurées à réaliser;
- une fiche d'analyse des eaux usées épurées dont la qualité doit être conforme, aux spécifications en vigueur.;
- la localisation et la superficie des terres destinées à être irriguées, avec un plan parcellaire à une échelle appropriée où seront indiqués les parcelles destinées à être irriguées et le mode d'irrigation préconisé ;
- un accord écrit de l'organisme gestionnaire de la station d'épuration ou de lagunage par lequel il s'engage à fournir les volumes d'eaux usées épurées, en quantité et qualité requises ;
- un engagement des agriculteurs, utilisateurs des eaux usées épurées ;
- un plan de situation des installations d'amenée, de stockage et de distribution des eaux usées épurées, sur lequel doivent être reportés les ouvrages et réseaux d'alimentation en eau potable situés à proximité ainsi que les installations d'épuration.

Art. 7 : Les services de l'hydraulique de la wilaya doivent procéder à une étude technique de la demande de concession, en concertation avec les services de l'agriculture, de la santé et de la protection de l'environnement. Ils doivent, notamment :

- vérifier la disponibilité, en quantité et en qualité, des eaux usées épurées destinées à l'irrigation ;
- faire une évaluation technique de la faisabilité du projet ;
- procéder à une visite des lieux ;
- évaluer les risques de contamination des personnes, des cultures et des ressources en eau, ainsi que les conséquences sur l'environnement ;
- recueillir l'avis des assemblées populaires communales concernées.

Art. 8 : La concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation est permise par arrêté pris par le wali territorialement compétent.

Quand les terres destinées à être irriguées et la station d'épuration ou de lagunage sont situées sur le territoire de plus d'une wilaya, la concession est donnée par un arrêté du ministre chargé des ressources en eau.

Art. 9 : L'arrêté de concession doit comporter les indications suivantes :

- la station d'épuration ou de lagunage d'où proviennent les eaux usées épurées ;
- les volumes des eaux usées épurées qui seront utilisés annuellement ;
- la localisation et la superficie des terres destinées à être irriguées.

Art 10 : L'administration a le droit de s'assurer, en tout temps, par la visite des ouvrages et des parcelles irriguées ainsi que par des prélèvements d'eau et de produits agricoles aux fins d'analyse, que les conditions auxquelles a souscrit le concessionnaire sont demeurent observées.

3.8.2. Prévention des risques liés à l'usage des eaux usées épurées en irrigation

Art. 14 : L'irrigation avec des eaux usées épurées des cultures maraîchères dont les produits sont consommables crus est interdite.

Art. 15 : La liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées est fixée par arrêté conjoint des ministres chargés des ressources en eau, de l'agriculture et de la santé.

Art. 17 : L'irrigation par les eaux usées épurées des cultures autorisées doit cesser au moins deux semaines avant la récolte. La consommation des fruits tombant au sol est interdite ; ces fruits tombés doivent être détruits ou transportés à la décharge publique.

Art. 18 : L'irrigation des arbres fruitiers par aspersion, ou par tout autre système mettant l'eau usée épurée en contact avec les fruits est interdite.

Art. 19 : Le pâturage direct sur les parcelles et aires irriguées par les eaux usées épurées est interdit.

Art. 20 : 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.

Art. 21 : 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.

Art. 22 : Tout raccordement avec une canalisation transportant de l'eau potable est interdit.

Art. 23 : Toutes les bornes et tous les robinets d'irrigation du réseau de distribution des eaux usées épurées doivent comporter obligatoirement une plaque inamovible, signalant que l'eau est non potable et par conséquent impropre à la consommation.

Art. 24 : En cas de dégradation de la qualité de l'eau des puits situés à proximité des zones irriguées par les eaux usées épurées, l'utilisation d'eau de ces puits est soumise aux mêmes spécifications et conditions d'usage imposées aux eaux usées épurées.

Art. 25 : L'exploitation à des fins d'irrigation des puits situés à l'intérieur des zones irriguées avec les eaux usées épurées n'est permise que pour les cultures autorisées sur ces zones.

CHAPITRE IV : Risques liés à la réutilisation des eaux usées épurées

4.1. Introduction

Renforcer la connaissance scientifique et le suivi pour comprendre et contrôler les risques, une des clefs pour le développement de la réutilisation des eaux Un des enjeux majeurs pour faire aboutir des projets viables et encadrer les pratiques est l'évaluation et le contrôle des risques (sanitaires, environnementaux, sociaux et économiques) garantissant un bon niveau de sécurité des pratiques et contribuant à lever les freins liés à la perception négative de ces dernières (Condom et al., 2012). Les politiques de gestion des effluents fondées sur le principe de précaution sont développées à partir de règlements existants et autres guidelines internationales (FAO,

Le recyclage des eaux usées représente une solution pour faire face à la demande croissante des ressources hydriques pour l'irrigation agricole. Mais leur réutilisation pose des problèmes de sécurité, de réglementation et bien sûr de techniques adaptées

4.2. Risques sur le milieu naturel

L'utilisation d'eau usée 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.

4.2.1. Effets sur le sol

Ces impacts sont d'importance particulière pour les agriculteurs puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres. Le sol doit rester à un bon niveau de fertilité chimique et physique, afin de permettre une utilisation durable à long terme et une agriculture rentable. Les problèmes qui peuvent influencer sur le sol agricole sont :

- La salinisation,
- L'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol,
- L'accumulation d'éléments potentiellement toxiques,
- L'accumulation de nutriments.

4.2.2. Effets sur les eaux souterraines

Dans certaines conditions, les effets sur les eaux souterraines sont plus importants que les effets sur le sol. La pollution des eaux souterraines avec des constituants de l'eau usée est possible. La contamination des eaux souterraines dépend de trois paramètres : le sol, les roches sous-jacentes et la nappe.

4.2.3. Effet sur les eaux superficielles

Les rejets directs d'eaux épurées posent des problèmes d'eutrophisation des cours d'eau, de qualité de l'eau destinée à la production d'eau potable (norme d'un maximum de 50 mg/l pour l'azote) et de contamination microbiologique des zones de conchyliculture. C'est pourquoi une réutilisation des eaux usées épurées est quasiment toujours préférable à un rejet direct dans le milieu (Baumont 2004).

La concentration élevée en N et P dans l'eau usée est d'un intérêt particulier lorsque l'eau usée est mélangée dans un barrage, avant irrigation, car ces éléments peuvent créer des conditions favorables à l'eutrophisation. Dans de telles conditions, l'apparition d'algues vertes est très fréquente et il est difficile de remédier aux problèmes y associés, en particulier à l'obstruction des systèmes d'irrigation pressurisés. Ce problème est un des soucis majeurs des agriculteurs. Le problème d'eutrophisation et du déficit en oxygène, dû aux nutriments dans l'eau usée, est particulièrement important quand l'effluent est déchargé dans les étendues d'eau (Oueds, lacs et mer). L'azote est le facteur limitant pour la croissance des algues en mer, alors que (N) et (P) sont les facteurs limitant dans les lacs, les bassins d'eau salée et dans les barrages où l'eau usée est stockée avant irrigation. I

4.3. Risques sur les terres agricoles

La réutilisation des eaux épurées pour l'irrigation des terres agricoles ne se fait pas sans prendre en considération les risques suivants :

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

4.3.1. Le risque microbiologique

Dans le cas de l'agriculture, 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. Il peut donc y avoir une contamination pendant la croissance des plantes ou la récolte. Les pathogènes survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes.

➤ **Le consommateur**

La protection du consommateur passe par une réglementation de la qualité sanitaire des eaux utilisées pour l'irrigation. D'autre part, la qualité bactériologique dépend des cultures pratiquées. Pour certaines, un niveau de < 100 bactéries coliformes sera acceptable. Pour d'autres, ce niveau pourra descendre à moins de 100 / 100 ml, nécessitant ainsi une désinfection de l'eau.

➤ **Cultures légumières**

Presque tous les cas d'épidémies cités concernent la consommation de végétaux crus et l'utilisation d'eaux résiduaires brutes, de matière de vidange ou de boues brutes. Compte tenu de l'efficacité des traitements d'épuration et de la désinfection, l'utilisation des eaux résiduaires sur des végétaux à consommer crus est inacceptable, quel que soit le stade de traitement (Maait,1997). Des cas de contaminations fécales par l'intermédiaire de produits végétaux arrosés par des eaux usées brutes ont déjà été mis en évidence.

4.3.2. Les risques chimiques

Au-delà de l'effet global de certains constituants de l'eau usée sur les cultures irriguées comme la salinité, l'eau usée peut potentiellement créer une toxicité due à une concentration élevée de certains éléments comme le bore et quelques métaux lourds.

➤ **Éléments traces**

Les eaux usées épurées utilisées en irrigation des cultures peuvent potentiellement créer une toxicité due à une concentration élevée de certains éléments comme les métaux lourds. Les éléments traces sont, en général, immobilisés dans les couches supérieures du sol, par adsorption et échange d'ions. Cette accumulation peut avoir pour conséquence à terme des risques pour le développement des plantes, la santé humaine et animale ; Les éléments trace ne sont pas tous toxiques, beaucoup sont essentiels en petites quantités pour la croissance des plantes (Fe, Mn, Mo, Zn). Mais, les quantités excessives de ces éléments peuvent causer des accumulations indésirables dans les tissus des plantes et une réduction de leur croissance. La plupart des éléments trace sont fixés facilement et accumulés dans les sols. Des applications répétées avec des taux élevés, peuvent contaminer le sol et le rendre improductif.

Le prélèvement des éléments trace contenus dans les EUE doit être contrôlé par apport, à la demande des plantes et à leurs besoins. Si la concentration d'un élément trace quelconque

dans les tissus atteint le seuil de toxicité, le fonctionnement de la plante est affecté et la croissance du végétal est ralentie.

Le plomb et le mercure sont peu mobiles dans les sols mais, présents sous formes solubles, ces éléments sont très toxiques pour les végétaux, entraînant la destruction de l'allongement des racinaires et l'arrêt de la croissance de la plante. L'indice visuel est la chlorose. Le cobalt peut causer aussi des chloroses quand il est présent en excès. Il est toxique pour les plantes et les êtres humains (Djeddi, 2007).

Les métaux qui présentent les risques les plus notables sont: Le cadmium, le mercure, le plomb, peuvent être toxiques pour les animaux et les humains, Substances nutritives

➤ **L'azote**

En quantité excessive peut :

- Perturber certaines productions,
- Retarder la maturation de certaines cultures (abricots, agrumes);
- Altérer leur qualité, comme par exemple réduire la teneur en sucres des fruits ;
- Accentuer la sensibilité des cultures aux maladies, la tendance à la verse pour les céréales, limiter le développement des jeunes racines.

➤ **Les nitrates**

L'origine des nitrates dans l'eau souterraine est principalement due aux engrais et les eaux d'épuration. L'azote n'est pas absorbé par les plantes, volatilisé, ou emporté par le nettoyage des surfaces dans les eaux souterraines sous forme de nitrate. Ceci rend l'azote non disponible pour les plantes, et peut également augmenter la concentration dans les eaux souterraines au-dessus des niveaux admissibles pour la qualité de l'eau potable. Les systèmes septiques éliminent seulement la moitié de l'azote des eaux usées, laissant l'autre moitié dans les eaux souterraines, ceci conduit à une augmentation des concentrations en nitrate.

➤ **Le potassium**

La concentration en potassium dans les effluents secondaires varie de 10 à 30 mg/l. Un excès de fertilisation potassique conduit à une fixation éventuelle du potassium et une augmentation des pertes par drainage en sols légers.

➤ **Le phosphore**

Le principal problème causé par le phosphore est l'eutrophisation des milieux aquatiques, notamment des lacs, retenue, collinaire, étang ...etc. L'eutrophisation est "l'asphyxie des eaux d'un lac ou d'une rivière" due à un apport exagéré de substances nutritives - notamment le phosphore - qui augmente la production d'algues et de plantes aquatiques. La décomposition et

la minéralisation de ces algues, lorsqu'elles meurent, consomment de l'oxygène dissous. Autrement dit, plus il y a d'algues, moins il y a d'oxygène, particulièrement dans les eaux du fond. En dessous d'un certain seuil, on parle généralement de 4 mg d'oxygène par litre, les conditions de vie deviennent difficiles pour la faune et la flore.

➤ **Salinité**

Parmi les différents caractères chimiques d'une eau usée d'irrigation, la salinité en constitue l'aspect le plus important. En générale, L'irrigation conduite avec des eaux chargées en sel et particulièrement, l'irrigation avec les eaux usées entraîne une accumulation de ces sels dans le sol susceptible de ralentir la croissance des végétaux avec baisse des rendements pouvant aller jusqu'au dépérissement. Les eaux usées peuvent avoir une concentration élevée en Cl et Na à cause du contenu relativement élevé de ces éléments dans les eaux d'origine domestiques. Parallèlement, l'irrigation par ces eaux avec un excès de sodium peut engendrer la dégradation de la structure du sol (Clement, 1979. Djeddi, 2007).

Généralement, les ions les plus toxiques existants dans les eaux usées sont le sodium (Na), le chlore (Cl) et le bore (B) qui causent dans la plupart des cas une toxicité.

Le sodium

Les cultures annuelles sont sensibles à de faibles concentrations de sodium mais peuvent être affectées par des concentrations plus élevées. Les plantes absorbent le sodium et se concentre dans les feuilles, il peut entraîner des dégâts si son accumulation atteint une concentration dépassant la tolérance de la culture. Cette toxicité est manifestée par la brûlure ou le dessèchement des tissus situés sur les bords de la feuille, surtout sur les feuilles les plus âgées. Si la teneur en sodium dans les tissus de la feuille excèdent 0,25 à 0,50% en poids sec est souvent associée à une toxicité du sodium. Particulièrement pour les arbres. Il peut réduire cette toxicité si le calcium est suffisamment disponible dans le sol. En générale, les fruits à noyaux sont sensibles à des concentrations relativement faibles en Na.

Le chlore

Les cultures sensibles au chlore à faibles doses peuvent être affectées par des teneurs en chlore de la solution du sol à partir de 1 mg/l. Les effets toxiques apparaissent facilement lorsque les sels sont apportés directement sur les feuilles lors des irrigations par aspersion. Donc les cultures peuvent souffrir si elles sont irriguées par la méthode d'aspersion. Pour y remédier à ce problème, il suffit de stocker les eaux dans un réservoir ouvert pendant quelques heures pour éliminer le chlore résiduel. Une teneur en chlore résiduelle inférieure à 1 mg/l n'est pas dangereuse pour le feuillage, cependant une concentration supérieure à 5 mg/l serait hautement

dommageable. Les signes de toxicité sont : la brûlure des feuilles ou le dessèchement des tissus foliaires.

Les indices de qualité de l'eau qui doivent être mesurés sont interprétés à base des différentes organisations et laboratoires parmi lesquelles :

4.4. Guide de la salinité

L'eau utilisée pour irriguer contient toujours des quantités mesurables de substances dissoutes qui selon une terminologie collectivement admises sont appelés sels, on y trouve en quantités relativement faibles, mais ayant des effets importants. Une eau convient ou non à l'irrigation selon la quantité et le type de sels qu'elle contient. Avec une eau de qualité médiocre, on peut s'attendre à divers problèmes pédologiques et agronomiques, il faut alors mettre en oeuvre des méthodes d'aménagement spéciales afin de maintenir une pleine productivité agricole. Les problèmes qu'entraînent l'utilisation d'une eau médiocre varient tant en nature qu'en gravité, les plus communes sont les suivantes : Salinité; toxicité.

Un guide pour l'évaluation de la qualité de l'eau usée traitée, utilisée à des fins d'irrigation, en termes de constituants chimiques tels que les sels dissous, le contenu en sodium et les ions toxiques, selon les normes en vigueur

4.4.1. Contraintes chimiques

Selon les recommandations, la qualité chimique à laquelle doivent répondre ces eaux est la suivante:

- Les effluents à dominante domestique (le rapport DCO/DBO₅<2,5, DCO<75mg/l) et (NTK : Azote total Kjeldhal <100 mg/l), peuvent être utilisés, après épuration, pour l'irrigation des cultures et l'arrosage des espaces verts.
- L'utilisation d'effluents à caractère non domestique, du fait de la présence possible en quantité excessive de micropolluants chimiques minéraux ou organiques, reste assujettie à un examen particulier de leur qualité chimique; dans certains cas, elle pourra être interdite.

4.4.2. Normes et cadre législatif :

La législation en Algérie qui traite la réutilisation des eaux épurées conformément au décret N° 07-149 du 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux

épurées à des fins agricoles et l'Arrêté interministériel du 02/01/2012 fixant les spécifications des eaux épurées utilisées à des fins d'irrigation. Les textes législatives sont donnés à partir :

- Du décret N° 07-149 du 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux épurées à des fins agricoles.
- Arrêté interministériel du 02/01/2012 fixant les spécifications des eaux épurées utilisées à des fins d'irrigation.

Ainsi les normes à prendre en considération sont :

Tableau 8 : Paramètres physico-chimiques

Paramètres		Unités	Valeurs Limitées maximales
Physique	Température	°c	30
	PH	-	6,5-8,5
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR= 0 - 3 CE	ds/m	0,2
	3 - 6		0,3
	6 - 12		0,5
	12 - 20		1,3
20 - 40	3		
Chimiques	DBO ₅	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	Chlorure	meq/l	10
	Azote (NO ₃ -N)	mg/l	3
	Bicarbonate(HCO ₃)	meq/l	8.5

4.5. Classification des eaux d'irrigation

4.5.1. Aptitude et classification des eaux à l'irrigation par rapport à la conductivité " CE" et le "SAR" :

Parmi les différents paramètres physico-chimiques d'une eau d'irrigation, la salinité en constitue l'aspect le plus important. L'irrigation conduite avec des eaux chargées en sels entraîne une accumulation de ces sels dans le sol susceptible de ralentir la croissance des végétaux avec baisse des rendements pouvant aller jusqu'au dépérissement, parallèlement un

excès de sodium peut engendrer l'alcalinisation et la dégradation de la structure du sol. Deux paramètres permettent d'apprécier, pour une étude sommaire les risques dus à la salinité :

- Conductivité électrique(CE) exprimée en (mms/cm);
- Le SAR (% de Na échangeable).

La salinité d'une eau est un terme utilisé pour faire référence à la concentration totale d'ions inorganiques majeurs (Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+}) dissous dans cette eau.

4.5.1.1. Conductivité électrique « CE » exprimée en (mms/cm) ;

a) Classification USSL (United States Salinity Laboratory)

C'est la classification la plus utilisée en ce qui concerne l'irrigation. Proposée par le laboratoire de Riverside (RICHARDS 1954), elle est basée essentiellement sur deux (02) paramètres essentiels : Selon la salinité et le risque d'alcalinisation des eaux pouvant être destinées à l'irrigation. Selon la salinité de l'eau, exprimée par sa conductivité électrique CE à 25 °C, on distingue cinq(5) classes :

- ✚ **C1 : $0 < \text{CE} < 0,25$ mms/cm ou ds/m** : L'eau à faible salinité. Elle peut être utilisée pour irriguer la plupart des cultures sur la plupart des sols et il est peu probable qu'elle provoque des difficultés. Un certain lessivage est nécessaire, mais celui-ci fait partie des pratiques normales d'irrigation, sauf sur les sols de très faibles perméabilités.
- ✚ **C2 : $0,25 < \text{CE} < 0,75$ mms/cm ou ds/m** : l'eau à salinité moyenne, peu de danger si elle est utilisée avec un léger lessivage pour les plantes modérément tolérantes aux sels.
- ✚ **C3 : $0,75 < \text{CE} < 2,25$ mmhs/cm ou ds/m** : l'eau à salinité à prendre en considération, pour les sols à drainage restreint.
- ✚ **C4 : $2,25 < \text{CE} < 5$ mms/cm ou ds/m** : l'eau à très forte salinité et inutilisable pour les conditions normales, elle n'est autorisée que si on pratique un lessivage intense et sur des cultures très tolérantes.
- ✚ **C5 : $\text{CE} > 5$ mms/cm ou ds/m** : l'eau est inutilisable sauf sur des sables lessivés et drainés et pour des cultures extrêmement tolérantes (ex : palmiers et dattiers).

Il n'y a pas de données pour classer la conductivité CE correspondante à l'eau épurée de la station de Guelma dans quelle catégorie et d'en juger si elle est conforme à la législation algérienne en vigueur qui fixe une concentration maximale de la CE à 3 ds/m ou 3 mms/cm l'eau traitée.

4.5.1.2. Le SAR (% de Na échangeable) :

Le risque d'alcalinisation d'un sol par l'eau d'irrigation est apprécié selon le sodium adsorbable par ce sol. Ainsi, selon le taux adsorbable de sodium (SAR) d'irrigation, on distingue quatre (4) classes :

- ✚ **S1 : SAR < 10** : L'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation.
- ✚ **S2 : 10 < SAR < 18** : Les eaux contenant une quantité moyenne de sodium, peuvent présenter quelques difficultés dans les sols à texture fine, à moins qu'il n'y ait du gypse dans le sol. Ces eaux peuvent être utilisées sur des sols à texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau.
- ✚ **S3 : 18 < SAR < 26** : Les eaux contenant une quantité de sel élevée, peuvent provoquer des difficultés dans la plupart des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques. S'il y a une forte quantité de gypse dans le sol, il peut ne pas surgir de difficultés pendant quelque temps.
- ✚ **S4 : SAR > 26** : Les eaux contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement impropres à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité très faible et si on ajoute du gypse ou autre source de Ca soluble pour améliorer le bilan ionique.

Evaluation du SAR :

Le SAR exprime le pourcentage de sodium absorbé, par la relation suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}}$$

Les concentrations des éléments sont exprimées en milliéquivalents par litre, mais faute de données, on peut pas pas calculer le SAR

4.5.2. Aptitude des eaux à l'irrigation par rapport aux normes toxicologique et microbiologiques:

La réutilisation des eaux épurées doivent répondre à des normes faisant ressortir les concentrations admissibles en matière d'élément toxique et microbiologique. Ces normes sont fixés par la législation algérienne à travers : - Le décret N° 07-149 du 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux épurées à des fins agricoles, et l'arrêté

interministériel du 02/01/2012 fixant les spécifications des eaux épurées utilisées à des fins d'irrigation. qui stipulent :

Tableau 9 : Paramètres toxicologiques

Paramètres		Unités	Valeurs Limitées maximales	Résultats Analyses
Toxicologiques	Aluminium	mg/l	20,0	0.0994
	Cyanures	mg/l	0,5	0.015
	Fluore	mg/l	15,0	0.4750
	phénols	mg/l	0,002	0.0002
	Cadmium	mg/l	0,05	0.0023
	Cuivre	mg/l	5,0	0.0703
	Plomb	mg/l	10,0	0.0017
	Chrome	mg/l	1,0	0.0101
	Manganèse	mg/l	10,0	0.0041
	Zinc	mg/l	10,0	0.019
	Nickel	mg/l	2,0	0.0108
	Fer	mg/l	20,0	0.0031
	Arsenic	mg/l	0,2	0.011
	Béryllium	mg/l	0,5	0.0017
	Bore	mg/l	2,0	0.0154
	Cobalt	mg/l	5,0	0.0027
	Lithium	mg/l	2,5	0.0027
	Mercure	mg/l	0,01	0.0017
Molybdène	mg/l	0,05	0.0081	
Sélénium	mg/l	0,02	0.0011	
Vanadium	mg/l	1,0	0.0009	

Il ressort que d'après les analyses toxicologiques effectuées précédemment de la STEP de Guelma, les eaux épurées présentent des valeurs très faibles par rapport aux limites fixées. Ainsi les eaux ne présentent aucun danger toxicologique. On peut aussi conclure que concentration en (ETM) éléments traces métallique est très faible.

Tableau 10 : Recommandations de l’OMS

Réglementation de l’OMS				
Catégories	Conditions de réutilisation	Groupe Exposé	Œuf d’helminthe (NPP/ml)	Coliforme Fécaux (NPP/100 ml)
A	Irrigation de cultures pouvant être consommées crues, terrain de sport, parc public	Travailleurs Consommateurs Public	≤ 1	≤ 1.000
B	Irrigation de cultures céréalières, industrielles, de fourrages, d’arbres fruitier et de pâturages	Travailleurs	≤ 1	Pas de recommandation standard
C	Irrigation localisée de la catégorie B, sans exposition possible avec les travailleurs ou le public	Personne	Non applicable	Non applicable

Des analyses physico chimiques effectuées précédemment sur les eaux résiduaires urbaines de la station de Guelma pour déterminer le rendement d’élimination de la charge polluante nous ont permis de conclure que plus de 95 % de la charge polluante est éliminée, témoin d’un bon rendement et de l’efficacité de traitement utilisé au niveau de la station d’épuration (Traitement biologique à boue activée). Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que les eaux usées épurées répondent pratiquement à toutes les normes de rejet fixées par la réglementation en vigueur.

Conclusion générale

La réutilisation est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques. La réutilisation des eaux usées est une technique en pleine expansion, principalement associée à l'agriculture. De nombreuses solutions techniques permettent de répondre aux normes de réutilisation existantes, en particulier aux directives de l'OMS sur l'irrigation restreinte et sans restrictions.

Dans les pays où les réserves actuelles d'eau douce sont, ou seront prochainement, à la limite du niveau de survie, le recyclage des eaux usées semble être la technique alternative la plus abordable, tant au niveau financier (les traitements extensifs sont les plus adaptés) qu'au niveau technique pour les réutilisations agricoles, industrielles et urbaines ne nécessitant pas une eau de qualité potable.

Seul doit être considéré le coût marginal de recyclage des eaux usées, à l'exclusion du coût de la collecte et du traitement des eaux usées. Ainsi, le coût supplémentaire pour la réutilisation d'eaux usées à des fins d'irrigation, par exemple, ne représente qu'une faible partie - environ 30 % - du coût total du traitement classique avec rejet des eaux usées dans le milieu naturel.

Les avantages de la réutilisation et du recyclage des eaux usées sont reconnus par de nombreux pays, ils sont inscrits dans leurs schémas directeurs de l'eau et dans leur politique nationale.

En raison de non disponibilité des données notamment le SAR permettant de classer les eaux réutilisées de la STEP de Guelma selon quelle catégorie, la conductivité et surtout les éléments toxiques, le rendement de cette eau pour la réutilisation reste incertain.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Baumont S, Camard J-P, Lefranc A, Franconie A. Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220p, 2004
- [2] CLAUDE, C. Les traitements de l'eau : Procédés physico-chimiques et biologiques, édition Ellipses, pp.123-129, février 2013.
- [3] Desjardins Raymands, Traitement des eaux ,deuxième édition, Montréal, 2010..
- [4] Faby J.A., Brissaud F . L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation, 1997.
- [5] Office international de l'eau. Guide des procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités. Janvier 2001.
- [6] Jean. Claude. Boeglin. Traitement biologique des eaux résiduaires. Revue technique de l'ingénieur, Doc J 3 942-1.
- [7] Cours Mme BEB. M. Epuration & réutilisation des eaux usées. Université de Guelma faculté science et technologie 2018.
- [8] Mémento technique de l'eau. Formulaire Dégrémont. Huitième édition 1978.
- [9] Mémento technique de l'eau. Formulaire Dégrémont. Édition 2005.
- [10] Brochure descriptive de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma (STEP), 2003.
- [11] Journal officiel de la république algérienne. Les paramètres physico-chimiques, Article 41, 15 JUILLET 2012