

EPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



FACULTE DE SCIENCES DE LA MATIERE
DEPARTEMENT DE CHIMIE
SPECIALITE CHIMIE DE L'ENVIRONNEMENT

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique

Par:

BEN OUARITH NOR ELHOUDA

Intitulé:

**Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées
brutes**

Soutenus le :...../...../2022 Devant le jury :

Dr. DAKHOUCHE Achour	Université de M'sila	Président
Dr. BEN AICH Ghania	Université de M'sila	Examineur
Dr. KADI Souad	Université de M'sila	Rapporteur

Année Universitaire: 2021/2022

Table des matières

Introduction Générale	01
<i>Chapitre I : Généralités sur les eaux usées brutes</i>	
Introduction	05
I. Importance de l'eau pour notre corps	05
II. Les eaux usées	05
II. 1. Définition	05
II. 2. Origines des eaux usées brute	06
II. 2. 1. Les eaux usées domestiques	07
II. 2. 2. Les eaux usées de ruissellement	07
II. 2. 3. Les eaux usées industrielles	07
III. Les rejets d'eaux usées dans le milieu naturel	8
III. 1. L'épuration des eaux usées	8
III. 2. Les stations d'épuration (STEP)	9
III. 2. 1. Les procédés physico-chimiques	9
III. 2. 2. Les procédés biologiques	10
III. 3. Composition des eaux usées	10
III. 3 .1. Les matières en suspension (MES)	11
III. 3. 2. Les micropolluants organiques et non organiques	11
III. 3. 3. Les microorganismes	15
III. 3. 3. 1. Les virus	15
III. 3. 3. 2. Les bactéries	16

III. 3. 3. 3. Les protozoaires	17
III. 3. 3. 4. Les helminthes	17
Chapitre II : Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées brutes	
Introduction	20
I. Les paramètres physico-chimiques des eaux usées	20
I. 1. Le Ph	20
I. 2. La température	20
I. 3. La Conductivité	20
I. 4. Les Solides Totaux Dissous : STD	21
II. 6. Les sulfures	21
II. 7. Le Chrome	22
II. 8. Les nitrates et nitrites	22
II. 9. L'azote ammoniacal (NH₄⁺).....	22
II. 10. Les matières en suspensions (MES)	23
II. 11. La Demande Biochimique en Oxygène (DBO)	23
II. 12. La Demande Chimique en Oxygène (DCO)	23
III. Les normes des eaux usées brutes	23
III. 1. Les normes définies en Algérie	23
III. 2. Les normes définies dans le monde	24
IV. Les principales voies de réutilisation des eaux usées	25
Chapitre III: L'impact des eaux usées sur l'environnement et la santé	
Introduction	28
I. Impact sur l'environnement et la santé humaine	30
I. 1. L'impact sur l'environnement	31
I. 2. L'impact sur la santé humaine	32
II. Evaluation de l'indice de risque des eaux usées sur la santé publique en Algérie	33
II. 1. Cas de la ville de Bechar (SW Algérien)	33

II. 2. Cas de la ville de Bejaïa (East Algérien)	34
II. 3. Cas de la ville de Mascara (West Algérien)	35
Chapitre IV: Les procédés de traitements des eaux usées	
Introduction	38
I. Les différents degrés de traitements conventionnels	38
I. 1. Le traitement préliminaire	38
I. 2. Le traitement primaire	39
I. 2. 1. Les traitements physico-chimiques	39
I. 3. Le traitement secondaire	39
I. 3. 1. Les traitements extensifs	41
I. 4. Le traitement tertiaire	41
I. 4. 1. Les traitements chimiques et les ultraviolets	41
I. 4. 2. Les membranes	43

1. 4. 3. Le lagunage tertiaire	43
1. 4. 4. L'infiltration/percolation	43

Chapitre V : Les réglementations pour la réutilisation des eaux usées brutes	
Introduction	47
I. Les règlements	47
II. Réutilisation des eaux résiduaires urbaines	49
II. 1. La réutilisation industrielle	49
II. 2. La réutilisation en zone urbaine	50
II. 2. La production d'eau potable	50
II. 3. La recharge de nappe	51
II. 4. La réutilisation en agriculture	52

II. 4. 1. Les exemples de la réutilisation agricole dans le monde	53
II. 4. 1. 1. Le bassin méditerranéen	53
Référence	
Conclusion générale	
Résumé	

Liste des figures

Figure 1: Nature de la pollution des eaux.

Figure 2: Station d'épuration (STEP).

Figure 3: Normes nationales en matière d'eaux usées

Figure 4: La réutilisation des eaux usées épurées

Figure 5 : Rejet direct des eaux usées dans l'environnement.

Figure 6 : Composants des eaux usées et leurs effets

Figure 7 : Principales filières de traitement pour la réutilisation agricole des eaux résiduaires urbaines

Liste des tableaux

Tableau 1: Composants majeurs typique d'eau usée domestique.

Tableau 2 : Les virus dans les eaux usées.

Tableau 3 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées.

Tableau 4 : Les parasites pathogènes dans les eaux usées.

Tableau 5 : Normes de rejet de l'O.M.S, appliquées en Algérie.

Tableau 6 : Elimination des pathogènes par les différents traitements.

Tableau 7: Évaluation du risque (acceptable ou non) en fonction des traitements et des usages.

Tableau 8 : Pays ayant des ressources en eau inférieures à 500 m³/habitant par an.

Tableau 9 : Volumes d'eaux usées rejetée en Algérie

Tableau 10: Nombre de stations d'épuration

Tableau11 : Pays du Proche Orient utilisant les plus grandes quantités d'eau usée traitée

Liste des abréviations

DBO₅ : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours.

DCO : Demande chimique en oxygène.

K: Potassium.

Cd: Cadmium.

Cu: Cuivre.

Cr: Chrome.

Pb: Plomb.

Hg: Mercure.

Ni: Nickel.

Zn: Zinc.

MES: Matières en Suspensions.

MO: Matière organique.

N: Azote.

NGL: Azote total.

NTK: Azote kjeldhal.

NH₄⁺: Azote ammoniacal.

NO₂⁻: Nitrite.

NO₃⁻: Nitrate.

NTU: Nephelometric Turbidity Unit.

OMS : Organisation Mondiale de Santé.

P: Phosphore.

PT: Phosphore total.

REUE: Réutilisation des eaux usées épurées.

USEPA: United States Environmental Protection Agency.

REMERCIEMENTS

Ma gratitude s'adresse à Mme. KADI Souad pour son encadrement, son orientation, ses conseils et la disponibilité qu'elle m'a témoignée pour me permettre de mener à bien ce travail.

Pour tout ce qu'elle a pu m'apprendre, sans son honorable présence elle m'aurait été difficile de mener à bien ce travail ; qu'elle trouve ici l'expression de ma grande reconnaissance.

Je tiens à remercier, Monsieur DAKHOUCHE Achour et Madame BENAICH Ghania pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger ce travail.

Enfin, je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près et de loin dans l'élaboration de ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce travail à :

Ma chère mère Salima qui m'a toujours apportée

son amour et son affection

Mon cher père Bouzid , qui m'a toujours encouragée,

conseillée et soutenue dans mon travail

Ma très chère sœur (Chahrazad)

Mes chers frères (Ayoub. Adam. Sohaib. Okba et Ghaith)

Mon mari (Houcine) qui m'a vraiment encouragée

Ma fille qui va bientôt illuminer ma vie

Toute ma famille et belle famille

Introduction

Générale

Introduction

La disponibilité d'une eau de bonne qualité est un élément indispensable pour prévenir les maladies et améliorer la qualité de vie (1). Actuellement, la situation en Algérie se caractérise par une demande en eau croissante, alors que les ressources hydriques se raréfient d'une manière permanente.

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

La pollution de l'eau qui affecte les rivières, les mers, les nappes phréatiques et les lacs, est le résultat du rejet des eaux usées sans traitement ou à un niveau de traitement insuffisant, cela provoque une dégradation de l'écosystème. Le problème est encore plus grave dans le cas des effluents industriels qui présentent un caractère toxique. Généralement, les effluents, soit urbains ou industriels nécessitent un traitement, plus ou moins léger en fonction du degré d'altération des eaux, avant rejet dans le milieu naturel.

À cet effet, le rejet des eaux usées dans l'environnement (les oueds en particulier) constitue un problème qui se traduit par un déséquilibre du milieu écologique d'une part et d'autre part par la perte de ces eaux sans récupération. Ces eaux usées ont une part importante dans la dégradation du milieu récepteur et risquent de constituer à l'avenir la cause essentielle de la pénurie d'eau et des problèmes de santé publique (2).

L'équilibre de l'écosystème. Alors il est devenu impératif de lutter contre cette pollution, de prendre des mesures très sévères, en instaurant des lois répressives contre les rejets non traités, afin de protéger notre environnement (la santé de l'homme, la faune et la flore, etc).

Pour l'industriel, l'eau est devenue un critère important dans la productivité. Il doit tenir compte de son coût pour établir ses prix de revient. L'augmentation continue des besoins en eau, dans la grande majorité des techniques de fabrications industrielles, le conduit à faire face à un certain nombre de contraintes liées à cette consommation qui génèrent par conséquent de grandes quantités d'eaux résiduaires.

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées brutes

Ces dernières années les lois environnementales exigent aux industriels de payer une taxe sur leurs rejets liquides ou solides qui dépend du volume de ces derniers. Donc pour une meilleure gestion de l'industrie vis-à-vis du prix de revient, la réduction du volume des rejets est nécessaire, elle passe tout d'abord par la lutte contre le gaspillage de l'eau utilisée, ensuite par de nouvelle technique de fabrication demandant un faible volume d'eau. En plus le thème pollution/dépollution des eaux se pose en nouveau domaine de compétence. Nouveau métier à part entière également, il englobe pleinement aujourd'hui les préoccupations de tous .les intervenants en matières économique, sociale et juridique. Cette pollution est due pour une large part au fait que l'usine ne dispose pas d'une installation de traitement. (3)

Notre étude portera sur l'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux usées brutes et leurs impacts sur l'environnement. Ce travail est subdivisé en cinq chapitres :

- Le chapitre I présente des généralités sur les eaux usées brutes ;
- Le chapitre II porte sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées brutes ;
- Le chapitre III décrit les impacts des eaux usées sur l'environnement et la santé ;
- Le chapitre IV présente les procédés de traitement des eaux usées brutes ;
- Le chapitre V site les recommandations pour réduire la pollution de l'eau.

Chapitre I

Généralités sur les

eaux usées brutes

Généralités sur les eaux usées brutes

Introduction

L'eau est essentielle à notre organisme. Notre corps en a besoin, tout comme c'est le cas de beaucoup d'autres êtres vivants.

L'une des principales exigences de la vie terrestre est l'économie d'eau. Les mammifères ont résolu ce problème grâce à la prodigieuse adaptation de leur rein et à une régulation hormonale (4).

I. Importance de l'eau pour notre corps

L'eau représente 60 % de notre poids, soit 50 litres pour un individu de 70 kg (avec des différences liées au sexe, à l'âge et à la masse grasse). Nos 50.000 milliards de cellules contiennent les deux tiers de l'eau de notre corps. On comprend combien notre organisme en est dépendant.

Au même titre que l'air, l'eau est un élément primordial à la vie. L'eau est aussi le véhicule des éléments figurés du sang, ainsi que celui de certaines sécrétions (larmes, sucs digestifs). Elle est nécessaire au maintien de la température et à l'élimination des déchets solubles (urine). On ne peut s'en priver plus de cinq jours. Une perte de 10 à 15 % peut entraîner la mort.

L'eau de notre organisme est répartie dans trois compartiments : l'eau intracellulaire, l'eau extracellulaire et le sang. La quantité doit en rester constante ainsi que sa concentration en ions, essentiellement Na^+ et K^+ (4).

II. Les eaux usées

II. 1. Définition

Les eaux usées concernent toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques, qui parviennent jusqu'aux canalisations d'assainissement afin d'y subir un traitement. Les eaux usées englobent également les eaux de pluies et leur charge polluante susceptible d'engendrer au milieu récepteur toutes sortes de pollution et de nuisance(5).

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées brutes

On définit aussi les eaux usées comme étant des eaux ayant été utilisées pour des usages domestiques, industriels ou même agricole, constituant donc un effluent pollué et qui sont rejetées dans un émissaire d'égout. Après utilisation, les eaux dites usées ne sont pas directement rejetées dans le milieu récepteur (rivières, lacs, mers, nature, etc.) elles sont collectées et acheminées par un réseau d'égouts vers un réseau de dépollution qui élimine toutes les substances néfastes avant de les rejeter dans le milieu récepteur« le milieu naturelle» (6).

II. 2. Origines des eaux usées brute

Les eaux usées proviennent de quatre sources principales :

- 1- Les eaux usées domestiques (les eaux vannes et les eaux ménagères);
- 2- Les eaux usées industrielles (eaux usées des usines) ;
- 3- Les eaux de pluie et de ruissellement dans les villes ;
- 4- Le ruissellement dans les zones agricoles (7).

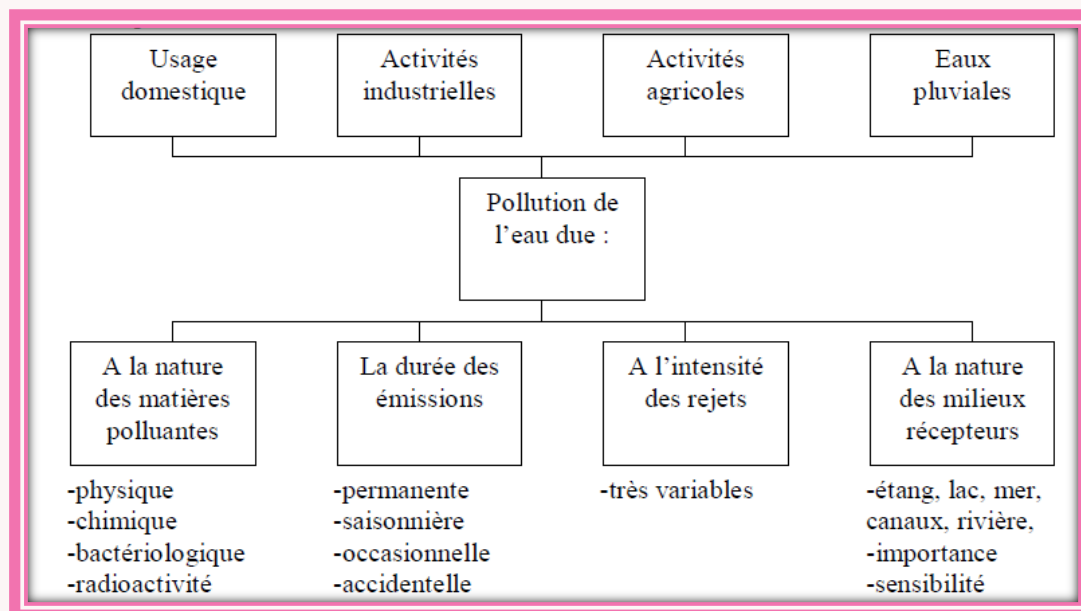


Figure 1: Nature de la pollution des eaux (8).

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées brutes

II. 2. 1. Les eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères (eaux de toilette, de lessive, de cuisine) et les eaux vannes (urines et matières fécales) (9).

Les eaux usées domestiques contiennent des matières minérales et des matières organiques. Les matières minérales (chlorures, phosphates, sulfates, etc.) et les matières organiques constituées de composés ternaires, tels que les sucres et les graisses (formés de carbone, oxygène et hydrogène, mais aussi d'azote et, dans certains cas, d'autres corps tels que soufre, phosphore, fer, etc.) (10).

II. 2. 2. Les eaux usées de ruissellement

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

Les eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marchés entraînent toutes sorte de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des boues, des silts, des sables, des déchets végétaux (herbes, pailles, feuilles, graines, etc.) et toute sortes de micropolluants (hydrocarbures, pesticides venant des jardins, détergents utilisés pour le lavage des cours, des voies publiques, des automobiles, débris microscopique de caoutchouc venant de l'usure des pneumatiques des véhicules. Le Plomb venant du plomb tétra éthyle contenu dans l'essence, retombées diverses de l'atmosphère, provenant notamment des cheminées domestiques et des cheminées d'usines (11).

II. 2. 3. Les eaux usées industrielles

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

La variété des eaux usées industrielles est très grande. Certains de ces eaux sont toxiques pour la flore et la faune aquatiques, ou pour l'homme. Il faut bien distinguer les eaux résiduaires et les liquides résiduaires de certaines industries.

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées brutes

Les eaux résiduaires sont celles qui ont été utilisées dans des circuits de réfrigération, qui ont servi à nettoyer ou laver des appareils, des machines, des installations, des matières premières ou des produits d'une usine, ou qui ont servi à retenir des poussières de fumées ; elles peuvent contenir des substances chimiques utilisées au cours des fabrications. Les liquides résiduaires sont des liquides résultant des fabrications ; c'est le cas des solutions de produits chimiques, des solutions de sous-produits, c'est le cas des liquides acides provenant de la vidange des cuves de décapage des métaux (12).

Les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement :

- ils sont directement rejetés dans le réseau domestique ;
- ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique ;
- ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel (9).

III. Les rejets d'eaux usées dans le milieu naturel

Le rejet direct des eaux usées domestiques dans le milieu naturel perturbe l'équilibre aquatique en transformant les rivières en égouts à ciel ouvert. Cette pollution peut aller jusqu'à la disparition de toute vie. Il faut retirer des eaux usées un maximum de déchets, avant de les rejeter dans l'environnement, pour que leur incidence sur la qualité de l'eau, en tant que milieu naturel aquatique, soit la plus faible possible (13).

Quant les eaux usées ou les eaux résiduaires industrielles ne sont pas épurées avant rejet dans le milieu naturel, l'altération de ce dernier et les déséquilibres qui s'y produisent ont non seulement des effets immédiats sur les utilisations de l'eau, mais aussi des effets à long terme, parfois irréversibles dans le domaine de la vie humaine (10).

III. 1. L'épuration des eaux usées

L'épuration des eaux usées et des eaux résiduaires industrielles est une nécessité. Les caractéristiques d'une station d'épuration et le degré de traitement doivent être tels que l'effluent n'altère pas l'état du milieu récepteur dans une mesure incompatible avec les exigences de l'hygiène et de la salubrité publique et, d'une façon générale, avec les exigences des diverses utilisations ou activités (alimentation en eau, utilisation agricole ou industrielles, production piscicole ou production de coquillages, navigation, baignades et autres activités sportives) (14).

III. 2. Les stations d'épuration (STEP)

L'épuration est l'ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau soit pour la réutiliser ou la recycler les eaux usées dans le milieu naturel (15).

Le principal objectif est de concentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous la forme d'un petit volume de résidu (les boues) et de rejeter une eau épurée répondant à des normes bien précises, et cela grâce à des procédés physico-chimiques ou biologiques.



Figure 2: Station d'épuration (STEP).

III. 2. 1. Les procédés physico-chimiques

Ce sont des stations utilisant des procédés physiques et chimiques pour éliminer les matières en suspension et réduire ainsi la pollution organique. C'est l'une des deux chaînes qui, après les prétraitements indispensables, utilisent des adjuvants chimiques pour éliminer les matières en suspension et assurer par là une réduction de la charge polluante. Elle comporte une phase de coagulation (agglomération des colloïdes), une phase de floculation (formation de floc par l'union de solides élémentaires) et une phase de décantation pour assurer la séparation entre solide et liquide.

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées brutes

La nature des eaux à traiter

Les traitements physico-chimiques peuvent être utilisés pour les eaux usées biodégradables ou non.

III. 2. 2. Les procédés biologiques

Ce sont des stations qui utilisent des procédés biologiques (micro-organismes) pour assurer l'élimination de la pollution organique. Et on a différentes filières de traitement: traitement par boues activées, traitement par lagunage, traitement par biofiltres et traitement par lits bactériens.

La nature des eaux usées à traiter :

L'objectif des traitements biologiques étant l'élimination de la pollution organique, les stations d'épuration biologiques conviennent aux eaux usées riches en matières organiques (effluents urbains de manière générale).

III. 3. Composition des eaux usées

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique, etc.). À titre d'exemple, le tableau suivant regroupe les composants majeurs d'eau usée domestique. Cette composition dépend de plusieurs facteurs :

- de l'activité humaine (eaux ménagères et eaux vannes),
- de la composition des eaux d'alimentation en eau potable et, accessoirement, de la nature des matériaux entrant dans la constitution des canalisations d'eau, pour les composés chimiques,
- de la nature et de la quantité des effluents industriels éventuellement rejetés dans le réseau urbain **(16)**.

Tableau 1 : Les composants majeurs typiques d'eau usée domestique (17).

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

Les eaux usées brutes peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les micro-organismes, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives (9).

III. 3 .1. Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des micro-organismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures (16).

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées brutes

III. 3. 2. Les micropolluants organiques et non organiques

Les micropolluants sont des éléments présents en quantité infinitésimale dans les eaux usées. La voie de contamination principale, dans le cas d'une réutilisation des eaux usées épurées, est l'ingestion. C'est la contamination par voie indirecte qui est généralement préoccupante.

Ainsi, certains micropolluants, comme les métaux lourds ou les pesticides, peuvent s'accumuler dans les tissus des êtres vivants, et notamment dans les plantes cultivées. Il peut donc y avoir une contamination de la chaîne alimentaire et une concentration de ces polluants dans les organismes. (9).

Les éléments traces

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux ; les plus abondants (de l'ordre de quelques $\mu\text{g/l}$) sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces.

Leur origine est multiple, ils proviennent des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels (18).

Certains éléments traces, peu nombreux, sont reconnus nécessaires, en très faibles quantités, au développement des végétaux, tel que le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène. L'irrigation, à partir d'eaux usées, va apporter ces éléments (16).

Les micropolluants organiques

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

Ils peuvent aussi provenir de rejets industriels quand ceux-ci sont déversés dans les égouts ou même des traitements de désinfections des effluents par le chlore (haloformes) (14).

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées brutes

Les principales familles de la chimie organique de synthèse sont les hydrocarbures polycycliques aromatiques, les chlorophénols, les phtalates, etc, avec une concentration de l'ordre de 1 à 10µg/l dans les effluents.

Dans le sol, ces micropolluants restent liés à la matière organique ou adsorbés sur les particules du sol. Cependant, quelques composés ioniques (pesticides organochlorés, solvants chlorés) peuvent être entraînés en profondeur. Il semble que les plantes soient susceptibles d'absorber certains composés organiques, mais il existe peu de données disponibles à ce sujet.

En raison de la faible solubilité de ces éléments organiques, on les retrouvera concentrés dans les boues et c'est surtout lors de l'épandage de ces dernières que leurs teneurs devront être contrôlées **(16)**.

Les pesticides sont les éléments traces les plus surveillés, et une étude d'impact et de métabolisme est obligatoire avant leur mise sur le marché. Par contre, le danger représenté par tous les autres polluants organiques est encore mal apprécié actuellement. Les contrôles de routine ne permettent pas de repérer toutes les toxines.

Par ailleurs, on ne connaît rien de la toxicité des mélanges complexes qui peuvent se former par réaction entre les différents contaminants **(9)**.

Les substances nutritives

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

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

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées brutes

L'azote

L'azote se trouve dans l'eau usée sous forme organique ou ammoniacale dissoute. Il est souvent oxydé pour éviter une consommation d'oxygène (O_2) dans la nature et un risque de toxicité par l'ammoniaque gazeux dissous (NH_3), en équilibre avec l'ion ammoniac (NH_4^+) **(19)**.

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

- N organique à NH_4^+ : ammonification ;
- NH_4^+ à NO_2^- : nitritation par Nitrosomonas ;
- NO_2^- à NO_3^- : nitratisation par Nitrobacter **(13)**.

Le phosphore

La concentration en phosphore dans les effluents secondaires varie de 6 à 15 mg/l (soit 15 à 35 mg/l en P_2O_5). Cette quantité est en général trop faible pour modifier le rendement **(20)**. Mais s'il y a excès, il est pour l'essentiel retenu dans le sol par des réactions d'adsorption et de précipitation, cette rétention est d'autant plus effective que le sol contient des oxydes de fer, d'aluminium ou du calcium en quantités importantes. On ne rencontre pas en général de problèmes liés à un excès de phosphore **(21)**.

Le potassium (K^+)

Le potassium est présent dans les effluents secondaires à hauteur de 10 à 30 mg/l (12 à 36 mg/l de K_2O) et permet donc de répondre partiellement aux besoins **(16)**.

Il faut noter cependant que, s'il existe, un excès de fertilisation potassique conduit à une fixation éventuelle du potassium à un état très difficilement échangeable, à une augmentation des pertes par drainage en sols légers, à une consommation de luxe pour les récoltes **(22)**.

Chlore et sodium

Leur origine est :

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées brutes

- Naturelle (mer : 27g/l NaCl, et terrains salés)
- Humaine (10 à 15g/l NaCl dans les urines/j).
- Industrielle (potasse, industrie pétrolière, galvanoplastie, agroalimentaire) (23).

Les chlorures et le sodium peuvent également poser problème, notamment en bord de mer, quand les réseaux d'égout drainent des eaux phréatiques saumâtres (16).

III. 3. 3. Les microorganismes

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes (9).

III. 3. 3. 1. Les virus

Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte. Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries (Tableau 2). Ils sont présents soit intentionnellement (après une vaccination contre la poliomyélite, par exemple), soit chez un individu infecté accidentellement. L'infection se produit par l'ingestion dans la majorité des cas, sauf pour le Coronavirus où elle peut aussi avoir lieu par inhalation (24).

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

Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal ; parmi les virus entériques humains les plus importants, il faut citer les entérovirus (exemple : polio), les rotavirus, les retrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A (21).

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées brutes

Tableau 2 : Les virus dans les eaux usées (25).

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

III. 3. 3. 2. Les bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau (Tableau 3). Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 μm (21).

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10⁶ à 10⁷ bactéries/100 ml dont 10⁵ proteus et entérobactéries, 10³ à 10⁴ streptocoques et 10² à 10³ clostridium. Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonellas dont on connaît plusieurs centaines de

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées brutes

sérotypes différents, dont ceux responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Des germes témoins de contamination fécale sont communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau ce sont les coliforms thermotolérants (16).

Tableau 3 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées (25).

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

III. 3. 3. 3. Les protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées (9). Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoeba histolytica* et *Giardia lamblia* (21).

III. 3. 3. 4. Les helminthes

Les helminthes sont des vers multicellulaires. Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites. La concentration en oeufs d'helminthes dans les

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées brutes

eaux usées est de l'ordre de 10 à 103 oeufs/l. Il faut citer, notamment, *Ascaris lumbricades*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichuria*, *Taenia saginata* (24).

Tableau 4 : Les parasites pathogènes dans les eaux usées (25).

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

Chapitre II

Caractéristiques physico-
chimiques des eaux usées
brutes

Introduction

L'objectif de cette partie est d'évaluer la qualité des eaux usées par la détermination de leurs caractéristiques physico-chimiques. Les stations d'épuration ont des normes de rejet à respecter.

I. Les paramètres physico-chimiques des eaux usées

I. 1. Le pH

Le pH (potentiel hydrogène) est une des caractéristiques fondamentales de l'eau. Il est déterminé à partir de la quantité d'ions d'hydrogène hydronium (H^+) ou d'ions hydroxide (OH^-) contenus dans la substance. Quand les quantités de ces deux ions sont égales, l'eau (ou la substance) est considérée comme neutre, Le pH d'une substance varie entre 1 et 14. Au-dessus de 7, la substance est considérée comme basique. Au-dessous de 7, la substance est acide (26).

Le pH joue un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien (27).

I. 2. La température

La température est un facteur écologique important du milieu. Elle permet de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. Elle agit aussi comme un facteur physiologique influençant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau (28).

I. 3. La Conductivité

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (15).

I. 4. Les Solides Totaux Dissous : STD

Ils sont constitués essentiellement par les produits minéraux dissous. Ces corps dissous ont pour origine :

- le lessivage naturel des roches de caractéristiques géologiques différentes ;
- l'apport des eaux usées des villes et unités industrielles ;
- la sapidité (le goût et la saveur) de l'eau se présente comme suit :
 - excellente < 300mg/L
 - bonne 300 – 600mg/L
 - passable 600 – 900mg/L
 - mauvaise 900 – 1200mg/L

La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 30 à 50 mg/L, mais ce chiffre peut être très largement dépassé (jusqu'à 300 mg/L) dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé. La teneur en sulfates des eaux doit être reliée aux éléments alcalins et alcalinoterreux de la minéralisation.

Leur présence dans l'eau est généralement due à des rejets en provenance d'ateliers de blanchiment (laine, soie, etc.), d'usines de fabrication de cellulose (pâte à papier, etc.) et d'unités de décoloration. En cas de rejet dans l'environnement, les sulfites se combinent à l'oxygène en donnant des sulfates (27).

II. 6. Les sulfures

Les sulfures y compris le sulfure d'hydrogène peuvent provenir soit d'eaux usées soit de pollutions industrielles (usines chimiques, papeteries ; tanneries etc.). Dans les eaux bien aérées et oxygénées, les sulfures se transforment rapidement en sulfates. Les sulfures se trouvent dans bon nombre d'aliments crus ou cuits, à des teneurs qui n'ont pas pu être complètement déterminées (29).

II. 7. Le Chrome

Le chrome existe dans la nature sous forme de dérivés en état d'oxydation varié. Le chrome pur obtenu par électrolyse à partir d'iodure de chrome, est un métal de plus en plus utilisé en

industrie. Ses dérivés ont de multiples applications chimiques et industrielles. Certains de ses dérivés peuvent entraîner des intoxications aiguës ou chroniques (30).

II. 8. Les nitrates et nitrites

Les ions nitrites (NO_2^-) sont un stade intermédiaire entre l'ammonium (NH_4^+) et les ions nitrates (NO_3^-). Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites. Cette opération, qui nécessite une forte consommation d'oxygène, est la nitratisation. Les nitrites proviennent de la réduction bactérienne des nitrates, appelée dénitrification. Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. La toxicité augmente avec la température (27).

Les nitrates (NO_3^-) constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitratâtes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates. Les nitrates ne sont pas toxiques, mais des teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu. Leur potentiel danger reste néanmoins relatif à leur réduction en nitrates (31).

II. 9. L'azote ammoniacal (NH_4^+)

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral (ammoniacque, nitrate, nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total (27).

L'azote est très présent sous forme organique et ammoniacal (NH_4^+) dans les eaux usées urbaines. On note le plus souvent une faible teneur voire une absence de nitrites (NO_2^-) et de nitrates (NO_3^-) (9).

II. 10. Les matières en suspensions (MES)

Elles représentent, la fraction constituée par l'ensemble des particules, organiques (MVS) ou minérales (MMS), non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel (32).

II. 11. La Demande Biochimique en Oxygène (DBO)

Exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques présentes dans les eaux usées par les microorganismes du milieu. Mesurée par la consommation d'oxygène à 20 °C à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique des matières organiques carbonées (14).

II. 12. La Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale. Ainsi, par la mesure de la DCO, on pourra évaluer la charge polluante d'une eau usée en matières organiques avant et après un traitement physique, chimique ou biologique afin de contrôler le fonctionnement d'une STEP et l'activité des microorganismes (14).

III. Les normes des eaux usées brutes

Généralement les eaux brutes utilisées pour la production d'eau de consommation humaine sont des eaux de surface ou eaux superficielles. L'eau brute doit obéir aux normes définies par la réglementation en vigueur.

III. 1. Les normes définies en Algérie

Conformément aux recommandations de l'organisation mondiale de la santé (OMS), les normes de rejets des eaux usées en Algérie sont résumées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Normes de rejet de l'O.M.S appliquées en Algérie (2003).

Paramètres		Normes
T°	(°C)	> 30
pH	(mg/l)	6.5 - 8.5
O ₂	(mg/l)	5
DBO5	(mg/l)	30
DCO	(mg/l)	90
MES	(mg/l)	120
Zinc	(mg/l)	2
Chrome	(mg/l)	0.1
Azote total	(mg/l)	50
Phosphore total	(mg/l)	2
Hydrocarbures	(mg/l)	10
Détergents	(mg/l)	1
Huiles et graisses	(mg/l)	20

III. 2. Les normes définies dans le monde

Un examen des normes nationales de 100 pays en matière d'effluents d'eaux usées a permis de comparer 275 normes nationales aux exigences diverses en matière de qualité des effluents. Les normes nationales sont généralement établies par les ministères de l'Environnement, et définissent normalement des paramètres liés aux matières organiques et aux nutriments comme principaux critères de mesure du traitement. Les niveaux acceptables de ces paramètres varient en fonction du type de source, de rejet et de réutilisation.

Une meilleure correspondance des normes nationales aux normes mondiales en la matière faciliterait la comparaison de données issues du monde entier et pourrait même, dans certains cas, améliorer la qualité des normes nationales. Les technologies de traitement des eaux usées sont souvent classées en technologies primaires, secondaires, tertiaires et avancées. Cependant, il n'existe ni classification ni normes de traitement pour les eaux usées et les boues provenant d'installations sur site (33).

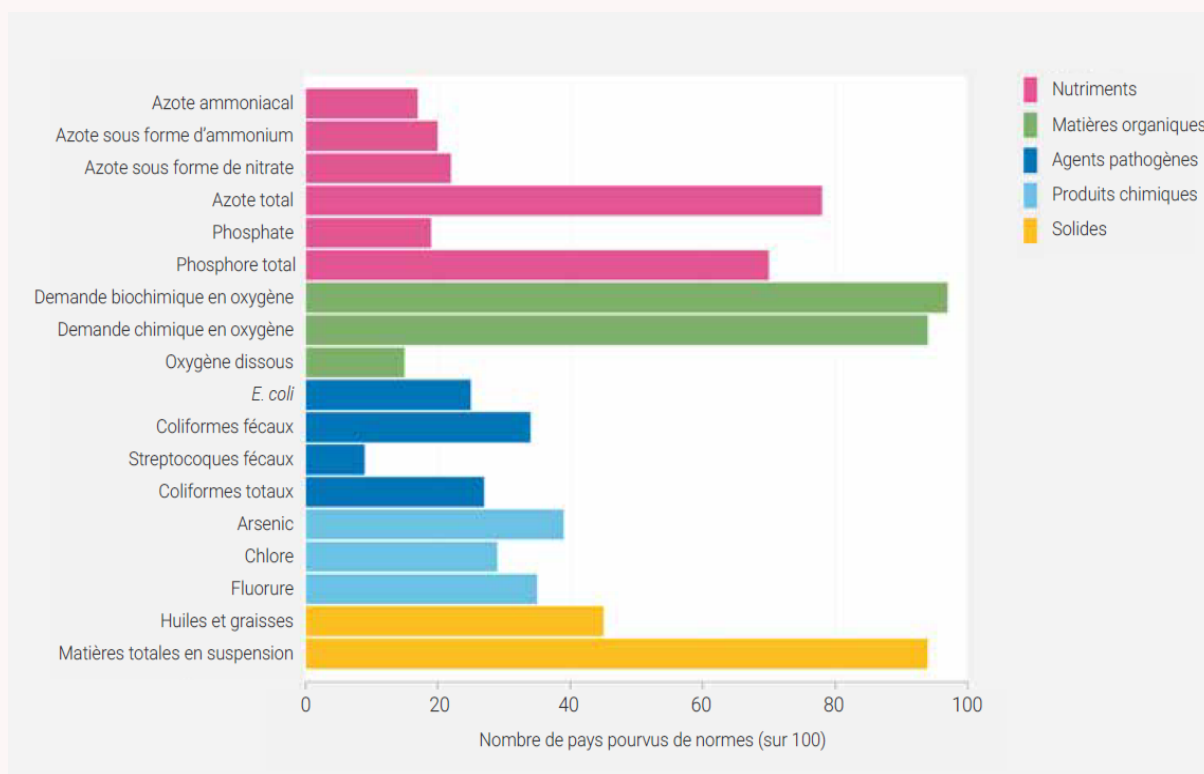


Figure 3 : Normes nationales en matière d'eaux usées (34).

IV. Les principales voies de réutilisation des eaux usées

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. Par définition, cette 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. 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.
- Les usages non potables dans les secteurs agricoles (irrigation), industriels et urbains.

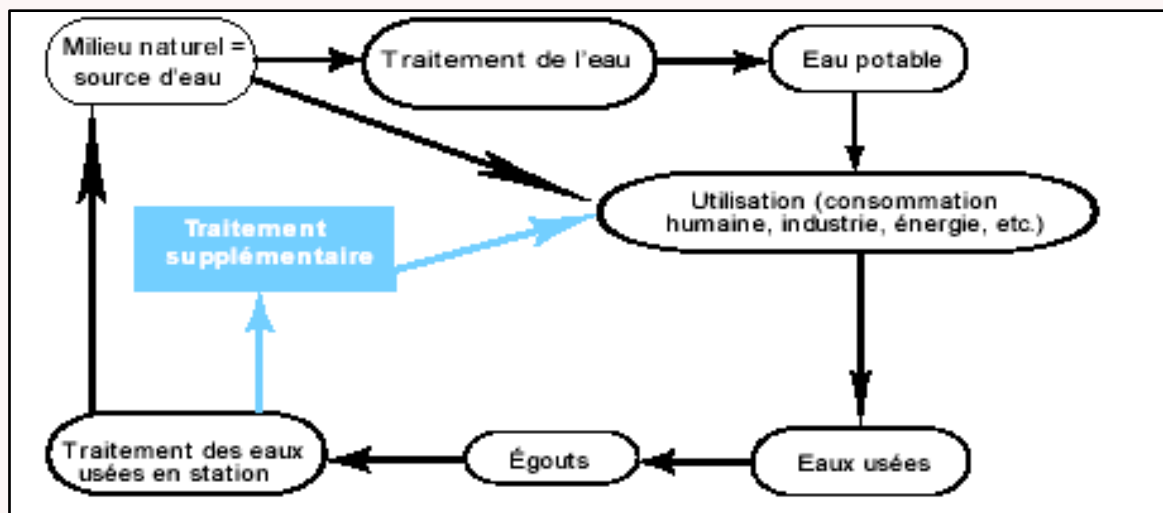


Figure 4 : La réutilisation des eaux usées épurées [9].

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

La Figure 4 résume les principales voies de réutilisation dans les pays ayant une expérience significative dans ce domaine. Il apparaît que la réutilisation pour l'irrigation est essentiellement présente dans les pays réputés agricoles mais dont les ressources hydriques sont faibles, comme le bassin méditerranéen, le Sud des Etats-Unis.

Les plus grands projets de réutilisation ont été développés dans les régions de l'Ouest et de l'Est des Etats-Unis, l'espace méditerranéen, l'Australie, l'Afrique du Sud et dans les zones semi-arides de l'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud (35).

Chapitre III

L'impact des eaux usées sur l'environnement et la santé

Introduction

Les cours d'eau, les lacs et les eaux côtières ont été utilisés depuis longtemps à titre de réceptacles pour la dilution et la dispersion des déchets domestiques. La pollution de l'eau due aux rejets d'eaux usées remonte sans doute à la fondation des premières villes, il y a 7 000 ans, le long du Tigre et de l'Euphrate et de l'Indus. Cette façon de faire n'est devenue un problème sérieux qu'au cours de la révolution industrielle lorsque les déchets des procédés industriels et les eaux usées domestiques d'une population urbaine en croissance étaient rejetés non traités dans les plans d'eau les plus près. Des exemples classiques de la pollution de l'eau à long terme par les eaux usées domestiques ont été décrits pour la Tamise, en Angleterre (36) de même que pour le port de Boston et la baie Chesapeake, aux États-Unis (37).

Bien que des efforts considérables aient été consentis depuis les années 1970 par les pays développés dans le but d'améliorer le traitement des eaux usées, le rejet d'eaux usées non traitées ou insuffisamment traitées demeure une préoccupation dans bon nombre de parties du monde, surtout dans les pays en développement ou ceux dont l'économie est en transition (Russie et Europe centrale).

Dans le cas des pays en développement, plus de 90 % des eaux usées urbaines sont directement rejetées dans les eaux de surface, sans traitement(38). Mais même dans bon nombre de pays développés, seulement une partie des eaux usées municipales fait l'objet d'un traitement classique. Ainsi, à la fin des années 1980, la proportion de la population totale des pays membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques qui était desservie par un réseau de collecte des eaux usées faisant l'objet d'un traitement des eaux usées domestiques ne s'élevait qu'à seulement 60 % (39).



Figure 5 : Rejet direct des eaux usées dans l'environnement.

Les incidences sur les eaux réceptrices des rejets d'eaux usées domestiques sont nombreuses. Les eaux usées présentent un risque sanitaire direct de par la présence d'organismes pathogènes, comme des bactéries (choléra, salmonella, shigella), de virus (virus de l'hépatite, entérovirus, poliovirus, virus de Norwalk) et de parasites (protozoaires tels Giardia et Cryptosporidium et helminthes) (40).

Les eaux résiduaires causent des accumulations de boues, en particulier dans les cours d'eau à faible circulation ou dans les eaux stagnante. A cela, s'ajoute un ralentissement des manifestations vitales par la destruction totale de micro-organismes et de poissons (41) Les eaux résiduaires industrielles contenant des graisses et des huiles peuvent par formation de films ou de couches superficielles, empêcher l'accès de l'air dans les coeurs d'eau, et causer des intoxications aux organismes vivants aquatiques (42).

Aux risques pour la santé humaine des rejets d'eaux usées domestiques s'ajoutent ceux pour l'environnement. Les charges en azote et en phosphore peuvent donner lieu à une eutrophisation provoquant des modifications radicales de la productivité et de la biodiversité, les rejets de contaminants peuvent présenter une toxicité aiguë ou chronique pour les organismes des eaux réceptrices et les charges élevées de matières consommant de l'oxygène peuvent abaisser la teneur en oxygène dissous à des concentrations qui menacent la survie des organismes aquatiques (43).

I. Impact sur l'environnement et la santé humaine

Le rejet d'eaux usées non traitées ou partiellement traitées dans l'environnement entraîne la pollution des eaux de surface, du sol et des eaux souterraines. Une fois rejetées dans les plans d'eau, les eaux usées sont diluées et transportées en aval ou s'infiltrent dans les aquifères, où elles peuvent affecter la qualité (et donc la disponibilité) des approvisionnements en eau douce. L'océan est souvent la destination finale des eaux usées rejetées dans les fleuves et les lacs. Les conséquences du rejet d'eaux usées non traitées ou traitées de façon inadéquate peuvent être classées en trois catégories :

- les effets indésirables sur la santé associés à une réduction de la qualité de l'eau ;
- les effets environnementaux négatifs en raison de la dégradation des ressources en eau et des écosystèmes ;
- et les effets potentiels sur les activités économiques (44).

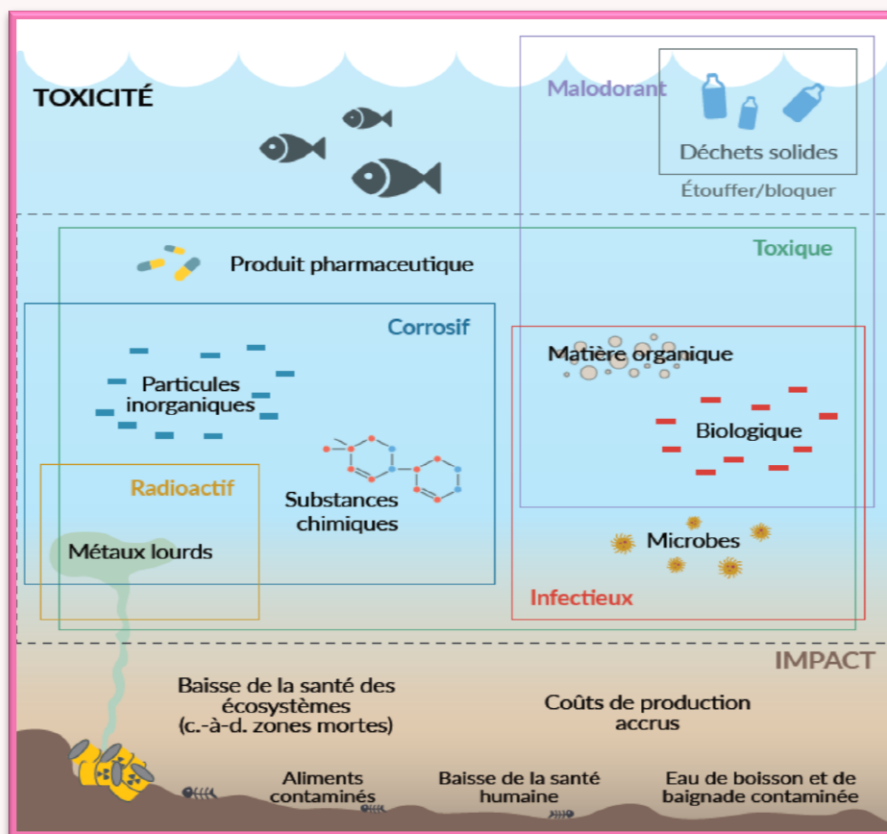


Figure 6 : Composants des eaux usées et leurs effets (45).

I. 1. L'impact sur l'environnement

Le déversement des eaux usées directement dans l'environnement cause de nombreux dangers pour la survie des organismes vivants et l'équilibre écologique. Par exemple la présence de quantités excessives d'azote et de phosphore engendre un phénomène appelé eutrophisation, qui favorise la prolifération de végétaux et diminue la quantité d'oxygène dissous, ce qui provoque à long terme la mort de nombreux organismes vivants au sein du milieu aquatique (poissons, crustacés, etc). La présence des éléments traces métalliques comme le mercure et l'arsenic dans ces eaux peut avoir un impact négatif sur les organismes vivants les plus fragiles en raison de leur toxicité même à faibles doses, provoquant des dysfonctionnements et des troubles dans leurs fonctions physiologiques (nutrition, respiration et reproduction (Pyrénées-Orientales, France) (46).

Lorsque le rejet d'eaux usées provoque des dommages à l'environnement, des coûts externes (externalités) sont générés, entraînant la perte des avantages potentiels de l'utilisation des eaux usées. Un argument économique qui milite en faveur de l'amélioration de la gestion des eaux usées est qu'il est possible de réduire au minimum les répercussions négatives qu'elles peuvent entraîner et de maximiser les bénéfiques qu'elles peuvent générer. Si les eaux usées sont reconnues comme un bien économique, les eaux usées convenablement traitées peuvent avoir une valeur positive tant pour ceux qui les produisent que pour ceux qui les consomment (47).

Le rejet d'eaux usées non traitées dans l'environnement a un impact sur la qualité de l'eau, qui à son tour affecte la quantité des ressources en eau disponibles pour un usage direct. Les préoccupations concernant la qualité de l'eau se posent comme une dimension importante de la sécurité hydrique dans le monde.

Depuis 1990, la pollution de l'eau est en hausse dans la plupart des fleuves en Amérique latine, en Afrique et en Asie, en raison de l'augmentation des quantités d'eaux usées due à la croissance démographique, l'accroissement de l'activité économique et l'expansion de l'agriculture, ainsi que le rejet d'eaux usées sans aucun traitement (ou uniquement des niveaux minimaux) (48). La gestion inappropriée des eaux usées a également une incidence directe sur les écosystèmes et les services qu'ils fournissent

La décharge d'eaux usées non traitées dans les mers et les océans explique en partie pourquoi les zones mortes désoxygénées sont en pleine croissance : environ 245 000 km²

d'écosystèmes marins sont touchés, ce qui affecte la pêche, les moyens de subsistance et les chaînes alimentaires (49).

I. 2. L'impact sur la santé humaine

L'eau est un élément indispensable à la vie humaine. L'insuffisance ou la mauvaise qualité de l'eau est à l'origine de nombreuses maladies dans le monde, notamment dans les pays en développement où 80% des maladies sont dues à l'eau (50).

Les maladies hydriques peuvent être classées selon six catégories différentes :

- Maladies transmises par l'eau (parasites, bactéries, virus) ;
- Infections de la peau et des yeux, dues au manque d'eau ;
- Maladies causées par un organisme aquatique invertébré ;
- Maladies causées par un insecte fourmillant à proximité de l'eau.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), chaque année 4 milliards de cas de diarrhée, en plus des millions d'autres cas de maladies, sont liés à un manque d'accès à l'eau propre pour la consommation humaine. Chaque année, il y a 1,7 million de personnes qui meurent à la suite de diarrhées, la plupart étant des enfants âgés de moins de cinq ans. La santé humaine est gravement touchée par les maladies liées à l'eau, de même que par la pollution due à des rejets de produits chimiques dans l'eau issus des différentes activités humaines. D'après l'UNICEF 60% de la mortalité infantile dans le monde est due à des maladies infectieuses ou parasitaires, majoritairement liées à la pollution de l'eau (51).

Certes, les installations d'assainissement des ménages se sont considérablement améliorées depuis 1990, mais les risques pour la santé publique demeurent, en raison d'un mauvais confinement, de fuites pendant la vidange et le transport, et d'un traitement inefficace des eaux d'égout. D'après les estimations, seulement 26 % des services d'assainissement et de traitement des eaux usées en zone urbaine et 34 % en zone rurale préviennent efficacement le contact humain avec les excréments tout au long de la chaîne d'assainissement et peuvent donc être considérés comme gérés en toute sécurité (52).

Les maladies liées aux eaux usées et à l'assainissement restent largement répandues dans les pays où l'offre de ces services est faible, où l'utilisation informelle d'eaux usées non

traitées pour la production alimentaire est élevée, et où la dépendance vis-à-vis de l'eau de surface contaminée pour la consommation et pour le loisir est courante. En 2012, environ 842 000 décès dans les pays à revenu moyen et faible ont été provoqués par de l'eau potable contaminée, des installations de lavage des mains inadéquates et des services d'assainissement inappropriés ou inadéquats (53).

Les eaux usées admises dans une station de traitement et, à la sortie, les effluents (les eaux usées épurées rejetées par la station de traitement), ont des propriétés permettant leur

réincorporation dans des eaux naturelles comme les lacs ou les rivières, ou leur traitement ultérieur pour en faire de l'eau potable (54).

II. Evaluation de l'indice de risque des eaux usées sur la santé publique en Algérie

Lorsqu'on effectue une évaluation environnementale, il est souhaitable de situer le volet santé comme une composante importante. Les facteurs contextuels qui peuvent être pertinents pour déterminer l'importance des impacts environnementaux comprennent principalement les couches vulnérables de la population humaine susceptibles d'être touchées par les impacts (les enfants, les personnes âgées), ainsi que leur ampleur, leur durée, leur fréquence et la possibilité de répétition (55).

La composition de l'eau à usage domestique en Algérie doit répondre à certaines normes de l'ADE (Algérienne Des Eaux), de caractères physicochimiques et organoleptiques.

II. 1. Cas de la ville de Bechar (SW Algérien)

La ville de Bechar est située au Sud Ouest Algérien. L'oued Bechar longe la ville des deux côtés sur toute sa longueur, où sont déversées les eaux usées en plusieurs points de rejets, le débit des rejets de la ville est estimé à 248,28 litre/ seconde (56). Cette situation nécessite de mener une étude objective pour dégager un diagnostic du degré de pollution de la qualité des eaux souterraines de la ville de Bechar et de l'impact des eaux de ces rejets sur la santé publique et sur l'environnement.

Sur le plan hydro chimique, 71 % des puits échantillonnés des eaux souterraines de Bechar sont contaminées. Le dendrogramme montre que la minéralisation de ces eaux est influencée par une contamination organique.

Les analyses microbiologiques indiquent que la charge microbienne est très importante et révèlent qu'il y a des signes de contamination dans la majorité des prélèvements où les valeurs moyennes du nombre des germes recherchés dépassent la norme, sauf pour deux prélèvements (P9 et P11) où il n'y a aucun signe de contamination. Cette pollution, d'origine anthropique (rejets des eaux usées dans l'Oued) rend ces eaux impropres à la consommation humaine. La population qui utilise ces eaux pour ses besoins quotidiens, s'expose à des risques sanitaires.

La présence d'une pollution organique renforce l'importance de faire un suivi régulier de la qualité de l'eau, d'apporter les correctifs appropriés pour prévenir toute contamination. Si une nouvelle analyse confirme la présence de coliformes totaux à des concentrations excédant les normes (au-delà de 10 ufc/100 ml), il s'avère alors pertinent d'effectuer un traitement choc de désinfection des puits (58).

II. 2. Cas de la ville de Bejaïa (East Algérien)

La vallée de la Soummam se situe à environ 230 km à l'est d'Alger et appartient administrativement à la wilaya de Bejaïa

Troisième fleuve d'Algérie, situé à la charnière de la Basse et de la Haute Kabylie, l'Oued Soummam est formé de la confluence de l'Oued Sahel qui descend des montagnes du Djurdjura et du plateau de Bouira, et de l'Oued Bou Sellam qui descend du plateau Sétifien. Il se jette dans la mer Méditerranée à Béjaïa après un cours de 80 km environ orienté Sud-Ouest-Nord-Est (59).

La superficie du bassin-versant de l'Oued Soummam est d'environ 8 800 km² (à l'embouchure). Ce dernier couvre une région essentiellement montagneuse caractérisée par un réseau hydrographique très marqué et bien alimenté, ayant provoqué des érosions profondes (61).

La plupart des centres urbains situés le long de la vallée de la Soummam déversent leurs eaux usées directement dans l'Oued. La quantité d'eau usée domestique déversée dans l'Oued Soummam et ses affluents est de l'ordre de 29 800 m³/j. Les rejets des unités installées dans la zone industrielle de Taharacht Akbou, celles de la zone industrielle d'Ouzellaguen et celles des 47 stations de lavage et graissage ainsi que des fabricants de carrelage se déversent directement dans l'Oued Soummam.

Les stations services (lavage, graissage) sont génératrices également de pollution, leurs eaux usées chargées en matières organiques déversées telles quelles dans les réseaux d'assainissement ou directement dans les cours d'eaux avoisinants aboutissent dans l'oued Soummam. La quantité globale d'eaux usées industrielles déversée dans l'oued et ses affluents est d'environ 4 800 m³/j. (62).

Par ailleurs, les quantités d'eaux usées domestiques déversées dans l'oued sont importantes. Elles sont de l'ordre de 29 810 m³/j. De même, les décharges non contrôlées investissent la vallée et reçoivent une quantité très importante de déchets solides estimée à 24 195 m³/j. À ces différentes sources de pollution s'ajoutent la sécheresse en période d'été et la diminution du débit de l'oued suite à l'utilisation de ses eaux pour l'irrigation.

L'eau de l'oued au niveau des quatre points de prélèvements est non seulement inapte à l'utilisation mais constitue une menace pour l'environnement et la santé des riverains. Les résultats des analyses montrent que l'eau prélevée au niveau de la quatrième station (l'embouchure) est la plus affectée et cela en raison de la quantité importante d'eau usée domestique (18 000 m³/j) ainsi qu'au volume élevé d'effluents industriels déversés en amont de cette station.

II. 3. Cas de la ville de Mascara (West Algérien)

Devant le déficit hydrique, l'Algérie considère actuellement la réutilisation des eaux usées une priorité afin d'améliorer les possibilités de développement, à la lumière des données fournies par l'Agence du Bassin Hydrographique Oranie Chott-Chergui (ABH) et l'Office Nationale d'Assainissement (ONA), il apparaît que l'épuration des eaux usées dans l'Ouest algérien reste en dessous des espérances

La wilaya de Mascara dispose de douze (12) stations d'épuration opérationnelles :

- Station d'épuration de Mascara, par boue activée
- Lagunages aérés : Ghriss, Hacine, Bouhanifia
- Lagunages naturels : Mohammadia, Oued Taria, Sehaouria, Tizi, Hachem, Khalouia, Oggaz et Froha.

De six (06) stations d'épuration en cours de réalisation :

- 02 lagunages aérés à Bouhenni et Maoussa

Chapitre IV : Les procédés de traitement des eaux usées

- 04 lagunages naturels à Matemore, Sidi Kada, El Ghomri et Zahana.

De sept (07) stations d'épuration à l'étude :

- 01 STEP par boue activée à faible charge à Mohammadia
- 01 lagunage aéré à Ain fekan
- 05 lagunages naturels à El Keurt, Gueitna, Gharrouset Sidi abd el moumène **(63)**.

La station d'épuration possède deux variantes qualitatives et quantitatives auxquelles elle était construite, la step de Mascara est considéré comme la plus grande du point de vue production par une valeur de 12000 m³/J. la step de Mascara récupère la grande quantité avec 31934,18 kg/an, la plus faible quantité revient à la lagune naturelle de Khalouia avec 34,07 kg/an, cela est un indice de l'activité urbaine de la ville **(64)**.

La STEP de Mascara récupère la grande quantité avec 31934,18 kg/an, la plus faible quantité revient à la lagune naturelle de Khalouia avec 34,07 kg/an, cela est un indice de l'activité urbaine de la ville **(65)**.

Les résultats offerts par l'ONA nous ont donné une idée sur l'état de l'épuration dans la wilaya de Mascara, on a pu extraire ce qui suit :

- La STEP de Mascara est la plus fiable dans l'épuration quantité et qualité, et cela revient bien sûr au procédé avancé.
- Les valeurs des paramètres de la majorité des stations dépassent les normes exigées.
- Enormes quantités récupérées de solide et sables et cela revient au système d'assainissement unitaire.
- Quant à la valorisation des boues, une corrélation entre les données fournies, indique que le domaine de l'exploitation des boues subit une rémanence accrue, sans oublier l'absence totale des procédés de traitement des boues. La négligence de cette source nous fait perdre un énorme compensateur face au dénuement qu'attestent le domaine d'agriculture, d'industrie et de l'énergie.

A la lumière de l'ensemble des données collectées concernant l'épuration des eaux usées dans la wilaya de Mascara, il ressort que la réutilisation des eaux usées reste en dessous des espérances **(66)**.

Chapitre IV

Les procédés de

traitements des eaux

usées

Introduction

Le traitement des eaux usées industrielles et municipales au niveau d'un pays est généralement le reflet de son niveau de revenu. En moyenne, les pays à revenu élevé traitent environ 70 % des eaux usées qu'ils génèrent, tandis que la proportion tombe à 38 % dans les pays à revenu intermédiaire supérieur et à 28 % dans les pays à revenu intermédiaire inférieur. Dans les pays à faible revenu, seulement 8 % des eaux usées industrielles et municipales font l'objet d'un quelconque traitement (67).

I. Les différents degrés de traitements conventionnels :

- **Le traitement préliminaire :** Enlèvement des solides grossiers et d'autres grands fragments de l'eau usée brute (20).
- **Le traitement primaire :** Enlèvement des solides organiques et inorganiques sédimentables ainsi que les matériaux flottants (20). Les procédés de traitement primaire sont physiques (par exemple, décantation plus au moins poussée) ou éventuellement physico-chimiques, et produisent des boues primaires. (10).
- **Le traitement secondaire :** Enlèvement des matières(20). Les procédés d'épuration secondaire (ou biologique) comprennent des procédés biologiques, naturels ou artificiels, faisant intervenir des microorganismes aérobies pour décomposer les matières organiques dissoutes ou finement dispersées. Dans certains cas, un traitement faisant intervenir des microorganismes anaérobies (digestion anaérobie des boues résiduelles) est annexé au traitement secondaire (68).
- **Le traitement tertiaire et/ou avancé :** Enlèvement de constituants spécifiques de l'eau usée tels que les nutriments et les métaux lourds, qui ne sont pas enlevés par le traitement secondaire.

Ce sont des traitements complémentaires, dénommés parfois traitements avancés (coagulation physico-chimique, filtration sur sable, chloration, ozonation, traitement par le charbon actif, etc.) (69). La désinfection, habituellement avec du chlore, est employée pour réduire les constituants microbiologiques (22).

I. 1. Le traitement préliminaire

En tête d'une station d'épuration, ces procédés permettent de retenir les matières volumineuses grâce à des grilles (dégrillage), les sables (dessablage), les matières flottantes

grossières (écumage) et les liquides moins denses que l'eau (désuilage). Les déchets solides peuvent être déchiquetés (dilacération) par des « pompes dilacératrices », cette opération facilitant leur dispersion (68).

I. 2. Le traitement primaire

La décantation primaire permet d'alléger les traitements biologiques ou chimiques ultérieurs, en éliminant une partie des solides en suspension. L'efficacité du traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle (qui s'oppose à la décantation). La décantation primaire permet d'éliminer, pour une vitesse ascensionnelle de 1,2 m/h, 40 à 60 % des MES, soit 10 à 30 % des virus, 50 à 90 % des helminthes et moins de 50 % des kystes de protozoaires (16). Approximativement 25 à 50% de la demande biologique en oxygène (DBO5), 50 à 70% du total des solides en suspension (SS) et 65% des graisses et huiles sont éliminés par décantation primaires (70).

I. 2. 1. Les traitements physico-chimiques

Ils sont généralement utilisés dans les stations d'épuration de grande capacité, ou dans celles ayant à faire face à de grandes variations de charge dans l'année (zone touristique). Ils comportent classiquement deux phases : une phase de coagulation par des sels de fer ou d'aluminium, puis une floculation des colloïdes formés.

La séparation du floc a lieu pendant la phase de clarification (décantation secondaire). Les traitements physico-chimiques permettent un bon abattement des virus. Cependant, leur utilisation, et notamment le dosage de sels de fer et d'aluminium, n'est pas toujours bien optimisée, sinon maîtrisée. Il y a donc un risque de surcoût lié à une mauvaise utilisation, voire un risque environnemental (21).

I. 3. Le traitement secondaire

Le traitement par boues activées est très largement utilisé. Il s'agit d'un réacteur qui contient les eaux à traiter, dans lequel est injectée une boue chargée de bactéries. Les bactéries consomment la matière organique et contribuent à l'élimination de l'azote et du phosphate. A la sortie du réacteur, l'effluent passe dans un clarificateur. La boue décantée est séparée en deux flux : l'un rejoint le réacteur (ensemencement) et l'autre est évacué vers la filière des boues. L'action des bactéries dans le réacteur nécessite de l'oxygène. Une épuration biologique (boues activées puis bassin de clarification) permet d'éliminer 90 % des virus, 60 à

90 % des bactéries, mais par contre a peu d'effet sur les kystes de protozoaires et les œufs d'helminthes (16).

Selon, un traitement par boues activées élimine 90 % des bactéries entériques, 80 à 99% des entérovirus et des rotavirus, 90 % de *Giardia* et de *Cryptosporidium* (21). L'élimination a lieu grâce à la sédimentation des MES, la compétition avec les microorganismes non pathogènes et la température ; la part la plus importante est due à la sédimentation.

L'épuration sur lit bactérien est le plus ancien procédé biologique. Des bactéries sont cultivées sur un substrat neutre, comme de la pierre concassée, de la pouzzolane (sable volcanique), du mâchefer ou du plastique. On fait passer l'effluent sur le substrat. La difficulté consiste à trouver la bonne vitesse du flux d'eau, qui ne doit pas être trop rapide (pour permettre la dégradation bactérienne) ni trop lente (pour une bonne évacuation des MES en excès).

Une épuration sur lit bactérien est plus efficace qu'un traitement à boues activées car elle élimine non seulement les virus et les bactéries (respectivement 30 à 40 % et 50 à 95 %) mais aussi les œufs d'helminthes (20 à 90 %) et les kystes de protozoaires (83 à 99 % des kystes d'*Entamoeba histolytica*) (16).

Le dernier traitement biologique mis au point est le bio filtre, qui combine les actions épuratrices de la filtration et de l'activité microbienne. C'est un traitement intensif qui est rapide à mettre en place, qui prend peu de place, et qui ne nécessite pas de bassin de clarification. Il est donc beaucoup utilisé dans les unités de traitement individuelles. Par contre, il nécessite un nettoyage fréquent du filtre. Son efficacité serait similaire à celle des boues activées (9).

On admet généralement que les principaux inconvénients de l'épuration biologique sont les suivants :

- elle ne réduit la teneur en azote que de 20 à 40% ;
- elle ne transforme que dans certains cas l'ammoniaque en nitrate ;
- la réduction de la teneur en phosphore n'est que de 20 à 30 % ;
- l'épuration biologique peut être entravée par les substances toxiques ;
- elle est souvent moins efficace en saison froide qu'en saison chaude (10).

I. 3. 1. Les traitements extensifs

Le lagunage secondaire utilise des mécanismes naturels pour traiter les eaux usées : bactéries, photosynthèse et pouvoir germicide de la lumière et de certaines algues. Un traitement par lagunage comprend en général trois types de bassins : un bassin anaérobie, un bassin facultatif et un bassin de maturation.

Le bassin anaérobie permet de diminuer la charge en matière organique. L'anaérobiose est obtenue en apportant un effluent très chargé en matière organique. Ce type de bassin pose parfois des problèmes d'odeur, notamment à cause de la formation de composés soufrés. Le bassin facultatif permet le développement d'algues photosynthétiques qui vont produire de l'oxygène, tout en diminuant la charge en matière organique. Enfin, le bassin de maturation va permettre l'élimination des pathogènes, sous l'action conjuguée des UV et du pouvoir germicide de certaines algues **(18)**.

Les bactéries pathogènes sont éliminées de 90 à 99 %. L'élimination des virus est un peu moins efficace **(21)**. Un lagunage secondaire à plusieurs bassins, dont les profondeurs sont comprises entre 0,7 et 1,2 m et pour une durée de rétention supérieure à 60 jours, la concentration finale en bactéries dans l'effluent est inférieure à 104/l. Si la durée de rétention est suffisante, les œufs d'helminthes peuvent être éliminés à 100 % par décantation.

Le lagunage secondaire est donc un moyen peu coûteux et efficace de traiter les eaux usées. Il nécessite peu de moyens financiers, techniques et humains. Cependant, il requiert une surface importante. On retiendra que l'efficacité du traitement dépend surtout de la durée de rétention et des conditions climatiques **(16)**.

I. 4. Le traitement tertiaire

A l'issue des procédés décrits précédemment, les eaux sont normalement rejetées dans le milieu naturel. Dans le cadre d'une réutilisation des eaux usées épurées (REUE), les eaux usées nécessitent des traitements supplémentaires, essentiellement pour éliminer les micro-organismes qui pourraient poser des problèmes sanitaires. Ce ne sont pas des traitements d'épuration « classiques » (mis à part le lagunage), par contre ils sont fréquemment utilisés dans les usines de production d'eau potable **(69)**.

I. 4. 1. Les traitements chimiques et les ultraviolets

Le traitement chimique

Le chlore est un oxydant puissant qui réagit à la fois avec des molécules réduites et organiques, et avec les micro-organismes. Les traitements de purification et de clarification en amont ont une très grande importance pour permettre une bonne efficacité du traitement, et éviter d'avoir à utiliser trop de chlore.

D'autant plus que le coût de la déchloration, qui permet de limiter considérablement l'effet toxique de certains produits dérivés formés lors du traitement, est élevé.

L'ozone est un procédé de désinfection utilisé aux États-Unis, en Afrique du Sud et au Moyen-Orient essentiellement. Il permet l'élimination des bactéries, des virus et des protozoaires. C'est le seul procédé vraiment efficace contre les virus (71). Les tests de toxicité effectués sur des poissons, des crustacés et des algues n'ont pas permis de mettre en évidence une quelconque toxicité (18). On peut également utiliser l'acide peracétique, le dioxyde de chlore et les ferrates.

Les désinfections utilisant des produits chimiques (chlore, ozone, etc.) sont efficaces, sauf contre *Cryptosporidium*. Il a été montré que des kystes de *Cryptosporidium* pouvaient résister à des traitements à pH = 11,2, à la chloration et à d'autres traitements chimiques (72).

Cependant, la plus grande partie des kystes de *Cryptosporidium* sont éliminés pendant les phases primaires de décantation et coagulation/floculation. Par ailleurs, il faut trouver l'équilibre entre le risque posé par les désinfectants en eux-mêmes, et le risque lié aux microorganismes pathogènes (21). C'est essentiellement le cas pour le chlore dont l'utilisation crée des dérivés halogènes potentiellement cancérogènes (18).

Le traitement par les rayons ultraviolets

Le traitement par rayons ultraviolets utilise des lampes à mercure disposées parallèlement ou perpendiculairement au flux d'eau. Leur rayonnement s'attaque directement aux microorganismes.

Ce traitement est très simple à mettre en œuvre, car il n'y a ni stockage, ni manipulation de substances chimiques et les caractéristiques chimiques de l'effluent ne sont pas modifiées. La durée d'exposition nécessaire est très courte (20 à 30 s).

Pour les ultraviolets, leur action sur les virus et les coliformes fécaux est bonne. Seules les formes de résistances, comme les œufs d'helminthes, ne sont pas trop affectées (18).

I. 4. 2. Les membranes

Les membranes permettent de filtrer et d'éliminer toutes les MES, tous les microorganismes et toutes les substances qui s'y adsorbent. Seules subsistent les matières dissoutes. L'efficacité épuratrice d'une membrane dépend de son « seuil de coupure ». Un seuil de coupure de 0,035 µm permet de désinfecter de manière quasi-totale.

Les autres avantages d'un traitement par membranes sont une réduction considérable de la surface nécessaire pour le site de traitement (moins 50 % de surface totale au sol et moins 40 % du volume d'un bassin biologique, toujours selon Lazarova et une automatisation poussée de l'usine (73).

Par contre, les membranes nécessitent d'être nettoyées régulièrement pour continuer à être efficaces. De plus, le traitement par membranes est un procédé dont le coût est élevé. La filtration est très efficace pour l'élimination des micro-organismes, d'autant plus que ceux-ci sont gros. L'osmose inverse, qui est une technique de filtration encore plus fine, et qui permet de séparer également les substances dissoutes, est tout aussi efficace (9).

1. 4. 3. Le lagunage tertiaire

Le lagunage tertiaire est un procédé extensif de désinfection similaire au lagunage secondaire, si ce n'est qu'il est précédé d'un traitement d'épuration comme par exemple un traitement par boues activées. Il permet d'éliminer les micro-organismes, d'affiner l'épuration, de faire face aux variations de flux et de protéger le milieu récepteur (18).

1. 4. 4. L'infiltration/percolation

L'infiltration ou percolation consiste à traiter l'eau par l'intermédiaire du sol ou d'un massif filtrant. On infiltre les effluents à raison de quelques centaines de litres d'effluent par mètre carré de massif filtrant et par jour. Trois mécanismes entrent en jeu :

Chapitre IV : Les procédés de traitement des eaux usées

- la filtration des MES : plus le sable est grossier, plus la fixation des MES se fera en profondeur. Les MES finissent par colmater le filtre. Pour lutter contre le bouchage du massif filtrant, il faut donc alterner phase d'infiltration et phase de séchage. L'élimination des MES permet également l'élimination des micro-organismes qui y sont fixés ;
- l'adsorption des bactéries libres par les grains de sable du filtre : il se forme alors un film biologique contaminé, surtout dans la partie supérieure ;
- ce film va permettre une dégradation microbienne de la matière organique et des substances dissoutes dans l'effluent (phosphates, nitrates, etc.). Cette dégradation consomme de l'O₂ et produit du CO₂, il faut donc aérer régulièrement le film pour éviter l'asphyxie du milieu (73).

Les techniques d'infiltration/percolation permettent l'élimination des « gros » microorganismes (protozoaires et helminthes) par filtration/adsorption au début du massif filtrant.

L'élimination des virus et des bactéries est fonction du milieu poreux, de la vitesse de percolation, de l'épaisseur du massif filtrant et du niveau d'oxydation de l'eau filtrée (16).

Tableau 6 : Elimination des pathogènes par les différents traitements.

	Virus entériques	Salmonella	Giardia	Cryptosporidium
Concentration dans les eaux brutes (unité/l)	100 000 à 1 000 000	5 000 à 80 000	9 000 à 200 000	1 à 3960
Élimination par...				
Traitement primaire a				
Taux d'élimination (%)	50 à 98,3	95,5 à 99,8	27 à 64	0,7
Nombre restant (unité/l)	1 700 à 500 000	160 à 3 360	72 000 à 146 000	
Traitement secondaire b				
Taux d'élimination (%)	53 à 99,92	98,65 à 99,996	45 à 96,7	
Nombre restant (unité/l)	80 à 470 000	3 à 1 075	6 480 à 109 500	
Traitement tertiaire c				
Taux d'élimination (%)	99,983 à 99,9999998	99,99 à 99,9999995	98,5 à 99,99995	2 à 7d
Nombre restant (unité/l)	0,007 à 170	0,000004 à 7	0,099 à 2 951	

Chapitre IV : Les procédés de traitement des eaux usées

- (a) Sédimentation primaire et désinfection ;
- (b) Sédimentation primaire, lit bactérien/boues activées et désinfection ;
- (c) Sédimentation primaire, lit bactérien/boues activées, désinfection, coagulation, filtration et désinfection ;
- (d) Filtration uniquement (21).

Chapitre V

*Les réglementations pour
la réutilisation des eaux
usées brutes*

Introduction

L'utilisation des eaux usées est une pratique très répandue dans la plupart des pays méditerranéens. Les principaux projets d'utilisation sont consacrés à l'irrigation agricole, à l'irrigation paysagère. L'utilisation à des fins industrielles est très rarement pratiquée.

La gestion des eaux usées en Méditerranée varie d'un pays à l'autre, en fonction des normes qui y sont en vigueur et du caractère effectif de leur application. Il y a des pays qui ne possèdent pas d'installation d'épuration des eaux usées, et l'utilisation directe des eaux usées brutes y a lieu avec des risques sérieux pour la santé et des problèmes pour l'environnement. D'autres pays ont une politique nationale bien définie de réutilisation. De plus, les normes de traitement et d'utilisation des eaux diffèrent aussi d'un pays à l'autre, et parfois même au sein d'un même pays, comme en Italie et en Espagne.

I. Les réglementations

Des eaux usées brutes ou partiellement traitées ont été épandues en de nombreux sites du monde entier, et non sans entraîner de conséquences graves pour la santé publique et des impacts néfastes pour l'environnement, avec notamment l'apparition de foyers infectieux endémiques, voire épidémiques.

Les premières réglementations relatives à la réutilisation des eaux ont été instaurées en 1918 par l'État de Californie. À l'époque, la seule application prise en considération était l'irrigation. En 1933, les premières normes microbiennes d'effluent "pour l'irrigation de jardins maraîchers à produits consommés crus" ont été fixées par le Conseil de santé de l'État de Californie, soit une concentration de coliformes $\leq 2,2$ NPP/100 ml (Ongerth et Jopling, 1977). La concentration de coliformes était équivalente à celle requise pour l'eau potable et se fondait sur le concept de "risque zéro". Depuis lors, les normes ont été constamment révisées pour répondre aux nouvelles applications de l'eau récupérée et prendre en compte les progrès accomplis dans les techniques d'épuration des eaux usées et les dernières connaissances en matière de protection de la santé publique (74).

Les critères californiens de réutilisation de l'eau ont été critiqués pour leur excès de rigueur et leur manque d'une base scientifique solide. Les services de santé californiens ont choisi de ne pas recourir à des études épidémiologiques pour asseoir leurs normes de qualité de l'eau, en le justifiant avant tout par le fait que les études épidémiologiques ne sont pas

sensibles à un faible niveau d'exposition. Il n'a pas été utilisé d'évaluations quantitatives des risques obtenues par modélisation pour établir les normes relatives aux agents pathogènes (75).

Les recommandations OMS prennent en compte le procédé de traitement des eaux usées, le système d'irrigation, le groupe exposé et les cultures à irriguer. Elles portent sur les diverses options de protection de la santé telles que le traitement des eaux usées, les conditions restrictives imposées aux cultures, les contrôles d'application et le contrôle de l'exposition humaine. Une approche multi-barrières tout au long du cycle de l'eau combinant différentes mesures est considérée comme un élément important. D'autres précautions comme le port d'une combinaison de protection et une meilleure hygiène, la cuisson, la mise à disposition de moyens de lavage appropriés, le contrôle de l'exposition humaine, la promotion de l'hygiène, etc., sont également recommandées. Les directives OMS (1989) ont permis un véritable essor de la réutilisation des eaux usées et renforcé dans plusieurs pays l'acceptation de cette pratique parmi les décideurs, ingénieurs, responsables sanitaires et le public. Elles ont été adoptées dans un certain nombre de pays en développement comme de pays développés. Mais elles font toutefois l'objet d'une controverse, en particulier à propos du critère de la moyenne géométrique de CF £ 1000 /100ml pour une irrigation sans restrictions et l'on met en question la possibilité qu'aurait la valeur limite de coliformes fécaux de protéger contre les virus ainsi que la valeur limite des œufs de nématode de protéger contre les parasites protozoaires puisque les virus et les protozoaires ne sont pas facilement éliminés par des procédés de traitement classiques et la désinfection (Blumenthal et al., 2000). Enfin, elles sont considérées comme trop laxistes et n'assurant pas la sécurité du public (76)

Selon le Plan Bleu (77), les ressources en eau renouvelables se répartissent très inégalement dans l'ensemble du Bassin méditerranéen, environ 72% se situant dans le nord (Espagne, France et Monaco, Italie, Malte, Bosnie-Herzégovine, Croatie, Slovénie, ex-Yougoslavie, Albanie, et Grèce), 23% à l'est (Turquie, Chypre, Syrie, Liban, Territoires palestiniens de Gaza/Cisjordanie, et Jordanie), et 5% dans le sud (Égypte, Libye, Tunisie, Algérie, et Maroc). En outre les ressources en eau disponibles deviennent de plus en plus rares, vulnérables et menacées par la surexploitation et différentes sources de pollution. Les pays du sud de la Méditerranée et du Moyen-Orient sont confrontés à des pénuries d'eau de plus en plus graves.

L'OMS a publié en 2006 un système de «barrières» pour le traitement des eaux usées. La norme, sauf pour les helminthes, repose sur différents facteurs de réduction des contaminants microbiens par certaines unités logarithmiques. Les barrières peuvent être Le traitement des eaux usées, l'arrêt de l'irrigation pendant 2-4 jours avant la récolte, l'utilisation de l'irrigation à goutte à goutte, le lavage du produit ou la cuisson, etc. Chacune de ces « barrières » peut réduire le nombre de micro-organismes d'une certaine quantité. Une réduction de 6 unités logarithmiques des micro-organismes est obtenue à travers différentes actions allant du traitement à la cuisson et par conséquent la station de traitement des eaux usées n'a pas besoin d'éliminer, à un coût élevé, tous les micro-organismes. Le système de barrières, toutefois, ne s'applique pas aux helminthes. Les lignes directrices de 2006 ont conservé une valeur stricte pour les helminthes, qui a été déterminée par des études épidémiologiques et qui est inférieure ou égale à 1 œuf/litre (78).

II. Réutilisation des eaux résiduaires urbaines

L'évolution de la réutilisation des eaux usées a connu et connaît encore à l'heure actuelle différentes phases en fonction des intérêts mis en jeu, qu'ils soient économiques, sanitaires, socioculturels ou environnementaux. Elle est liée aux développements de l'ingénierie des eaux usées, couplés aux pressions croissantes exercées sur les ressources en eau.

Actuellement, les possibilités de réutilisation des eaux usées sont très larges, quand la qualité est en adéquation avec l'usage (79).

II. 1. La réutilisation industrielle

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique. Pour certains pays et types d'industries, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau (80).

Parmi les activités industrielles, la production d'énergie est de très loin le secteur qui prélève le plus d'eau dans le milieu. La REUE (réutilisation d'eau usées épurées) industrielle peut donc être intéressante dans le secteur de l'énergie, dans les circuits de refroidissement fermés ou ouverts. Les autres applications possibles concernent les laveries industrielles, les stations de lavage de voiture, l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles, les industries d'électroniques et de semi-conducteurs, etc.

L'un des premiers cas dans le monde est une papeterie du Japon qui est fournie en eaux épurées depuis 1951 (21).

II. 2. La réutilisation en zone urbaine

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

- l'arrosage de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf, d'aires de jeux ;
- les bassins d'agrément, 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 qualité requise dans les projets de réutilisation des eaux usées épurées (REUE) en zone urbaine a des exigences similaires aux autres réutilisations, avec quelques variantes :

La qualité esthétique est importante, la présence de mousse, d'algues, etc. est à éviter (mauvaise perception de la part du public). Il faut également réduire le développement d'insectes (moustiques) ; la présence d'une faune concentrant des polluants (mercure, DDT, etc.) peut poser problème pour les activités de pêche.

Les pays à la pointe de la REUE en milieu urbain sont en majorité des pays développés et fortement urbanisés : États-Unis, Japon, Corée du Sud, Allemagne (6).

II. 2. La production d'eau potable

La réutilisation est directe quand l'eau ne revient jamais dans le milieu naturel, les eaux épurées sont directement acheminées de la station d'épuration à l'usine de traitement pour l'eau potable (système « pipe to pipe »). L'unique exemple dans le monde de réutilisation directe se trouve en Afrique, à Windhoek, capitale de la Namibie (21).

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. C'est le cas du comté d'Essex en Angleterre, où une ville de 140 000 habitants, Chelmsford, est alimentée en eau potable pendant l'été par des eaux épurées, après un passage dans la rivière Chelmer.

D'un point de vue sanitaire, il faut noter qu'aucune incidence sur la santé n'a été relevé, aussi bien à Windhoek, où la REUE existe depuis plus de 25 ans, qu'à Chelmsford (début du projet en 1996) (Lunn, 2001).

II. 3. La recharge de nappe

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.

Il existe deux moyens de recharger une nappe phréatique :

- par percolation : c'est le cas à Los Angeles, où 160 000 m³ par jour d'effluents traités sont déversés dans des bassins gravitaires. Le principal problème rencontré est celui des algues, qui pullulent dans les bassins. Les solutions préconisées sont variées, introduction de poissons, d'algicides, teindre l'eau pour empêcher la photosynthèse, faire circuler l'eau pour empêcher la stagnation, éviter le stockage dans des lacs peu profonds, éviter de laisser l'eau stagner trop longtemps et couvrir les réservoirs. Un autre problème est la formation d'un microfilm de vase, d'argile et de micro-organismes au fond du bassin qui bloque la percolation;
- par recharge directe : c'est le cas dans le comté d'Orange, en Californie. L'eau est injectée dans la nappe par plusieurs puits, disposés en ligne face à la nappe d'eau salée, et formant une véritable barrière. L'eau injectée est un mélange de deux tiers d'eaux épurées et d'un tiers d'eau de la nappe. Chaque jour, 57 000 m³ sont déversés dans la nappe (21).

Tableau 7 : Evaluation du risque (acceptable ou non) en fonction des traitements et des usages (81).

	Désinfection tertiaire I a	Désinfection tertiaire II b	Désinfection secondaire c
Arrosage de golf	Acceptable	Acceptable	Non acceptable
Irrigation de culture	Acceptable	Acceptable	Non acceptable
Bassin d'agrément sans restriction	Non acceptable	Non acceptable	Non acceptable
Recharge de nappe	Acceptable	Acceptable	Acceptable

(a) Filtration puis chloration directe.

(b) Chloration directe.

(c) Pas de chloration.

II. 4. La réutilisation en agriculture

L'irrigation de cultures ou d'espaces verts est, de très loin, le mode le plus répandu de réutilisation des eaux usées urbaines (figure 7). C'est aussi, si on le compare aux autres modes de réutilisation, qu'il s'agisse du double réseau urbain, des usages industriels, ou des recharges d'aquifère, celui qui a le plus d'avenir à court et à moyen terme (16).

Dans le cas spécifique de l'irrigation, les bénéfices ne résident pas seulement dans la préservation du milieu et de la ressource, mais aussi dans la nature des eaux usées. En effet, elles contiennent des éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) ainsi que des oligoéléments (fer, cuivre, manganèse, zinc, etc.) qui sont bénéfiques pour les cultures, et qui peuvent augmenter significativement le rendement. Les MES contribuent également à la fertilisation des sols car elles sont riches en matière organique. L'utilisation d'eaux usées à la place d'engrais de synthèse coûteux est économiquement intéressante pour les agriculteurs.

De plus, l'arrosage avec des eaux usées constitue une sorte de fertigation, c'est-à-dire l'application combinée d'eau et de fertilisants via le système d'irrigation. La fertigation permet un apport fractionné et à faible dose des engrais, en cela elle est bénéfique pour l'environnement car elle évite la pollution des sols et les dépendances aux fertilisants, qui sont des phénomènes qui apparaissent avec une fertilisation classique (21).

Le bénéfice d'une REUE peut donc être double :

- au niveau économique, car en plus d'une préservation quantitative de la ressource, les agriculteurs font des économies d'engrais ;
- au niveau écologique, car en plus de la diminution des rejets d'eaux usées dans le milieu, la pollution agricole diminue (9).

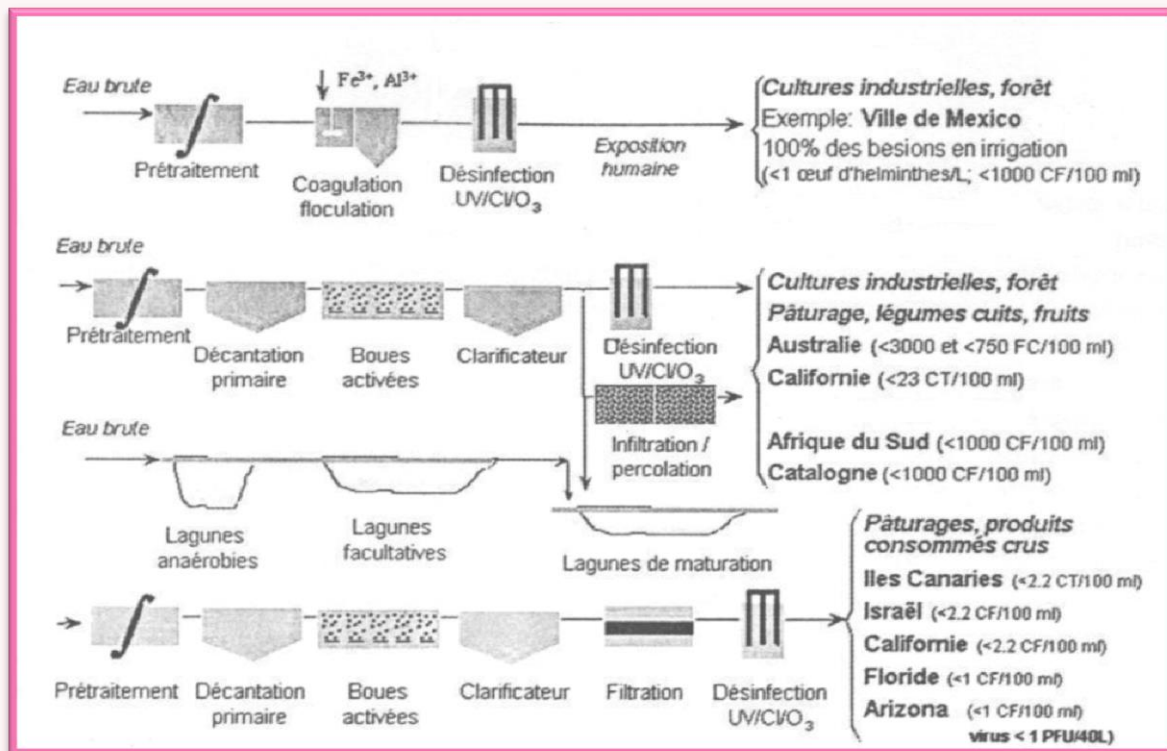


Figure 7 : Principales filières de traitement pour la réutilisation agricole des eaux résiduaires urbaines (82).

II. 4. 1. Les exemples de la réutilisation agricole dans le monde

Les projets se concentrent autour du bassin méditerranéen et dans les pays industrialisés, en Europe, aux États-Unis ou encore en Australie (9).

II. 4. 1. 1. Le bassin méditerranéen

La réutilisation agricole des eaux usées a toujours existé et est aujourd'hui une pratique largement répandue sur le pourtour sud de la Méditerranée, de l'Espagne à la Syrie. En effet, le bassin méditerranéen est une région où la pénurie en eau est particulièrement

ressentie. C'est aussi l'une des régions où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée (83).

Tableau 8 : Pays ayant des ressources en eau inférieures à 500 m³/habitant par an (84).

Pays	Ressources en eau renouvelables internes par habitants et par an (m ³)		Ressources en eau renouvelables par habitants et par an (m ³)	
	1994	2004	1994	2004
Algérie	411	348	427	361
Djibouti	537	421	537	421
Egypte	30	25	964	749
Jamahiria arabe libienne	129	106	129	106
Mauritanie	178	134	5087	3836
Niger	401	282	3852	2710
Tunisie	476	422	521	462

En Tunisie : Une approche graduelle et prudente en matière de développement de la réutilisation des eaux usées a été adoptée en Tunisie depuis le début des années 60. Une stratégie a été mise en œuvre à cet effet et a consisté en l'équipement des villes en stations de traitement (60 stations en 2002 traitant annuellement 160 millions de m³ d'eaux usées) (79).

La première utilisation d'eaux épurées a eu lieu aux alentours de Tunis, pour irriguer 600 ha de citronniers. La nappe qui alimentait autrefois les circuits d'irrigation avait été surexploitée et commençait à être envahie par l'eau de mer. Il a donc fallu trouver une solution alternative. Puis, à partir des années quatre-vingt, une politique ambitieuse de réutilisation a été mise en place. En 1993, 6 400 ha de terres agricoles étaient irrigués avec des eaux épurées, les différentes cultures irriguées à partir de ces eaux sont les fourrages, les arbres fruitiers, les céréales, le coton et le tabac (85), et ce chiffre devait atteindre 20 à 30 000 ha dans les années suivantes (21).

Le traitement préconisé est le bassin de maturation, le plus adapté aux conditions techniques et économiques locales. Les restrictions d'utilisation ne concernent que les légumes destinés à être consommés crus ou cuits, selon la réglementation tunisienne établie en 1989 (83).

Au Maroc : Les eaux usées appréciées en tant que ressources en eau et comme source de fertilisation sont réutilisées pour l'irrigation depuis longtemps à l'aval de certaines grandes agglomérations continentales, là où les terrains sont disponibles en aval des lieux de déversement des effluents. Ces eaux usées irriguent actuellement, par un volume dépassant 60 millions de m³ par an, une superficie de plus de 6000 ha comprenant l'arboriculture, les fourrages, les céréales et les maraîchages.

Cependant, cette réutilisation en irrigation est pratiquée avec des eaux usées à l'état brut ou mélangées avec les eaux des oueds dans lesquels elles sont déversées.

Une grande partie des eaux de l'oued Fes et de ses affluents, dans lesquels se déversent les eaux usées de cette ville, sert à l'irrigation des vergers et cultures maraîchères avant de rejoindre l'oued Sebou. Pour sa part, la ville de Meknes réutilise un volume de 20 millions de m³ par an pour l'irrigation. Ce genre d'irrigation est utilisée aussi de plus en plus aux alentours des villes moyennes, à titre d'exemple cette eau de seconde main assure l'irrigation de 150 ha à Beni Mellal, 55 ha à Fquih ben salah et 300 ha à Taroudant **(85)**.

En Algérie : L'eau est une ressource limitée, difficile à mobiliser et à exploiter tellement elle est conditionnée par des précipitations orageuses, variables et irrégulières dans le temps et dans l'espace. Les écoulements superficiels sont estimés à plus de 12 milliards de mètre cube annuellement où seulement près de 2 milliards sont mobilisés par an. Ce volume devrait atteindre les 3 milliards quand tous les barrages en construction seront opérationnels.

Le volume mobilisable est de l'ordre de 6 milliards de mètre cube quelque soit les moyens utilisés.

Ces chiffres permettent de prévoir que d'ici l'an 2010, l'Algérie aura à vivre une situation de pénuries d'eau si rien n'est fait pour d'abord utiliser rationnellement cette ressource et la mobiliser par la suite. La qualité de cette ressource est très variable et reste soumise à certaines pollutions. Les eaux usées ne sont pratiquement point recyclées et constituent une perte appréciable et un polluant de l'agriculture par le biais de l'irrigation **(86)**.

Le volume global d'eaux usées rejetées annuellement est évalué à près de 600 millions de m³, dont 550 pour les seules agglomérations du nord. Ce chiffre passerait à près de 1.150 millions de m³ à l'horizon 2020.

La réponse, c'est l'épuration des eaux usées et leur réutilisation. On a recours à cette activité pour différents motifs: absence d'exutoire; déficit en eau; souci de protéger l'environnement.

Les usagers possibles sont théoriquement illimités: irrigation; recharge des aquifères; Industrie; lavage de chaussées; etc.

La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation doit concerner en priorité les zones déficitaires en eau conventionnelle afin d'alléger le recours à cette dernière (87).

Tableau 9 : Volumes d'eaux usées rejetée en Algérie.

Type d'agglomérations	Volume d'eaux usées rejeté (Hm3)			
	1995	Taux (%)	2020	Taux (%)
Côtières	169	31	282	25
Amont des barrages	48	9	122	11
Proximité des périmètres	62	11	143	12
Autres	149	27	352	30
>20.000<50.000 hab.	122	22	251	22
Total	550	100%	1150	100%

Tableau 10 : Nombre de stations d'épuration.

Station	Nombre	Volume d'eau usée
Exploitation	14	160 000 m3/j soit 58 Millions m3/an
Travaux	7	115 000 m3/j soit 42 Millions m3/an
Réhabilitation	24	390 000 m3/j soit 142 Millions m3/an
Total	45	665 000 m3/j soit 242 Millions m3/an

L'irrigation par les eaux usées issues des rejets domestiques et industriels, est devenue une pratique courante à Tlemcen, malgré l'interdiction d'une telle pratique par la loi. En effet, les agriculteurs, pour la plupart d'entre eux, ignorent les dispositifs juridiques adoptés pour endiguer le problème (88).

Le recours aux eaux usées pour l'irrigation des cultures maraîchères est une pratique conçue de fil blanc dans de nombreuses localités de la daïra de Chelghoum Laïd et précisément le long de Oued Rhumel et la périphérie du barrage de Hammam Grouz (89).

En Grèce : La ville d'Athènes a développé en 1996 une stratégie de réutilisation des eaux usées traitées. La réutilisation est une solution particulièrement attractive vue les difficultés d'approvisionnement en eau rencontrées ces dernières années.

Les différentes alternatives étudiées sont celles les plus fréquemment appliquées dans les programmes de réutilisation des eaux usées urbaines à travers le monde. Les bassins Thriassio, Megarida et Salamis sont situés autour d'Athènes et font partie intégrante de l'étude de réutilisation (83).

Le proche orient : Dans plusieurs pays du Proche Orient, le besoin d'eau est bien plus aigu et pressant (tableau 5). Pour cette raison, le traitement des eaux résiduaires et leur réutilisation deviennent une nécessité (20). Certaines communautés d'Egypte utilisent des eaux usées ou des eaux ayant subi un traitement primaire pour irriguer des parcelles boisées.

Les essences le plus couramment utilisées sont *Casuarina glauca*, *Eucalyptus camaldulensis* et *Tamarix aphylla*. Celles-ci permettent de couvrir les besoins locaux de bois de feu et de fabriquer des poteaux à vendre sur les marchés locaux (90).

Tableau11 : Pays du Proche Orient utilisant les plus grandes quantités d'eau usée traitée (91).

Pays	Eau usée traitée $10^6 \text{ m}^3/\text{an}$	En % du total	En % de l'eau prélevé dans le pays
Egypte	200	16.7	0.36
Koweit	52	4.3	9.67
Arabie Saoudite	217	18.1	1.28
Syrie	370	30.8	2.57
Emirats Arabes Unis	108	9.0	5.12
Autres 24 pays	253	21.1	0.06
Total Proche Orient	1 200	100.0	0.23

Jordanie : L'eau usée produite en Jordanie est rapportée à 300 Mm^3 et le volume des eaux usées traitées disponible était 50 Mm^3 en 1993 et 69 Mm^3 en 1995. Les principales

plantations irriguées incluent des plantations d'*Eucalyptus* âgées moins de cinq ans, éparpillé et qui occupent généralement de petites régions; *Casuarina*, *Cupressus* et *Tamarix* (22).

Koweït : Les eaux usées non traitées ont servi à irriguer des plantations forestières au Koweït pendant de nombreuses années. Le contenu des fosses septiques était transporté par citerne et utilisé sur des plantations forestières contrôlées par l'Etat et interdites au public.

Par exemple, deux rideaux abris (constitués de *Tamarix aphylla*, *Eucalyptus camaldulensis* et *Acacia salicina*) ont été mis en place avec succès, l'un le long de la route Koweït-Jahara, l'autre autour de Jahara pour la protection de l'environnement de l'agglomération (92).

Autres Pays : Les eaux usées traitées sont utilisées en plusieurs degrés pour l'irrigation des plantations forestières utilisées comme ceintures vertes pour la stabilisation des dunes du sable dans beaucoup d'autres pays de la région. Ceux-ci incluent Soudan, Royaume d'Arabie saoudite, les Émirats arabes unis (Dubai, Sharjah) et Qatar.

Références

Références

1. Oluduro, A.O. et Aderiye, B. I. 2007. Efficiency of Moringa oleifera seed extract on the microflora of surface and ground water. J. Plant Sci. 6: 453-438
2. Ghadbane, N. 2003. Les eaux usées urbaines. Mémoire de Magistère, université Mohamed Boudiaf M'sila, 147
3. Ezziane S. 2008. Traitement des eaux de rejets de l'unité céramit "Tenés", mémoire de magister. Université Hassiba Ben Bouali de Chlef, 169
4. Claire König. 2016. L'importance de l'eau pour l'Homme et les autres êtres vivants. Futura planète.
5. Dugniolle, 1980. L'assainissement des eaux résiduaires domestiques, CSTC - revue n° 3-septembre, 44-52
6. Ramade, F. 2000. Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Edi Science international, Paris, 689
7. Eckenfelder W.W. 1982. Gestion des eaux usées urbaines et industrielles. Ed. Lavoisier. Paris, 503.
8. Direction de l'environnement. 1990., Les stations d'épuration d'effluents domestiques. Ed. Ministère de l'intérieur. 24p.
9. Baumont, S. Camard, J. P. Lefranc, A. Franconi, A. 2004. Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220.
10. Vaillant, J.R. 1974. Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires : eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles. Ed. Eyrolles. Paris, 413
11. Desjardins, R. 1997. Le traitement des eaux. 2ème édition. Ed. Ecole polytechnique de Montréal, Canada, 303
12. Edline, F. 1979. L'épuration biologique des eaux résiduaires. Ed. CEBEDOC, Paris, 306.
13. Chellé, F. Dellale, M. Dewachter, M. Mapakou, F. Vermey, L. 2005. L'épuration des eaux : pourquoi et comment épurer Office international de l'eau. 15

Références

14. Xanthoulis, (1993). Valorisation agronomique des eaux usées des industries agroalimentaires.
15. Zeghoud, (2014). L'étude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra. Mémoire Master. Université d'El Oued
16. Faby, (1997). L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau, 76 pages
17. Djeddi H., 2007. Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines, thèse de Magistère. Université Mentouri Constantine, pp. 1.
18. Cauchi, Hyvrard, Nakache, Schwartzbrod, Zagury, Baron, Carre, Courtois, Denis, Derrat, Larbaigt, Derangere, Martigne, Seguret. (1996)., Dossier : la réutilisation des eaux usées après épuration. *Techniques, Sciences et Méthodes*, 2 : 81-118.
19. Martin G. (1979)., Le problème de l'azote dans les eaux. Ed technique et documentation, Paris, 279p.
20. FAO. (2003)., L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. FAO Irrigation and Drainage paper, 65p.
21. Asano T , (1998). Wastewater reclamation and reuse. Ed, Water quality management library, 1475p.
22. FAO. (2002)., The use of treated waste water (tww) in forest plantations in the near east region Near east forestry commission (fifteenth session), 5 pages
23. Gaujous D. (1995)., La pollution des milieux aquatiques ; aide mémoire. Ed. Techniques et documentations. Lavoisier. Paris, 220p.
24. CSHPF. (1995)., Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines, 22p.
25. Asano. 1998. site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca).
26. OMS, (2007). Contrôle et suivi de la qualité des eaux usées. .
27. Rodier j, Bernard l ; Nicole M, (2005). Mémento technique de l'eau : vol 2. 10ème édition

Références

28. Rodier j ;Bernard l ;Nicole M, (1996). « L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer ». 8ème édition. DUNOD. PARIS.
29. SEMEGA A. LAWERS R. Toxicologie industrielle et intoxication professionnelle, Paris. 693.
30. OMS. Critères d'hygiène et documentation à l'appui, Genève. 1986
- 31 .Rodier J, (2009). « (L'analyse de l'eau » 9ème édition, Dunond, Paris,
32. Metahri M S, (2012). Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixte. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi Ouzou Thèse doctorat. Université Mouloud Mammeri. Tizi Ouzou.
33. Organisation mondiale de la Santé et ONU-HABITAT, 2018.
34. OMS. Organisation mondiale de la Santé 2017.
35. Ecosse D. (2001)., Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde. *Mém.D.E.S.S. « Qualité et Gestion de l'Eau »*, Fac. Sciences, Amiens, 62 pages.
- 36.(Gameson et Wheeler, 1977)
37. National Research Council, 1993.
38. World Resources Institute. 1996.
39. OCDE, 1995. Organisation de coopération et de développement économiques
40. Organisation mondiale de la santé, 1993. World Resources Institute, 1996.
41. Boeglin J C., 1988. "Analyse des eaux résiduaires; mesure de pollution"~ Edition technique de l'ingénieur. *Traité de l'Environnement*, p. 4200.
- 42 .Degrement, 1989. "Mémento technique de l'eau". Tome I.
43. Meybeck et al., 1989. National Research Council, 1993.
44. PNUE, 2015. Economic Valuation of Wastewater - The Cost of Action and the Cost of No Action. Nairobi, PNUE.

Références

45. Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D. and Savelli, H. (eds). 2010. « L'eau malade ? Le rôle central de la gestion des eaux usées dans le développement durable » (en anglais) Programme des Nations Unies pour l'environnement/Programme des Nations Unies pour les établissements humains/ GRID-Arendal (PNUE/ONU-Habitat).
www.unep.org/pdf/SickWater_screen.pdf
46. Chemistry and Ecology. 2009;25:435–452
47. PNUE, Economic Valuation of Wastewater - The Cost of Action and the Cost of No Action. Nairobi, PNUE.
unep.org/gpa/Documents/GWI/Wastewater%20Evaluation%20Report%20Mail.pdf
48. PNUE, 2016. A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a Global Assessment. Nairobi, PNUE. en.unesco.org/emergingpollutants
49. Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D. and Savelli, H. (eds). 2010. « L'eau malade ? Le rôle central de la gestion des eaux usées dans le développement durable » (en anglais) Programme des Nations Unies pour l'environnement/Programme des Nations Unies pour les établissements humains/ GRID-Arendal (PNUE/ONU-Habitat).
www.unep.org/pdf/SickWater_screen.pdf
50. Carstea E.M. Baker A. Pavelescu G. International Journal. 2009.
51. Holbrook R.D. Science of the Total Environment. 2006.
52. Hutton, G. and Varughese, M. M. 2016. The Cost of Meeting the 2030 Sustainable Development Goal Targets on Drinking Water, Sanitation, and Hygiene. Technical paper. Washington, DC, World Bank/ Water and Sanitation Programme (WSP).
elibrary.worldbank.org/doi/pdf/10.1596/K8543
53. OMS, 2014. Investing in Water and Sanitation: Increasing Access, Reducing Inequalities. (Investir dans l'eau et l'assainissement : améliorer l'accès, réduire les inégalités). UN-Water Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking Water GLAAS 2014 Report. Genève, Suisse, OMS. apps.who.int/iris/bitstream/10665/139735/1/9789241508087_eng.pdf?ua=1

Références

54. Madigan Met Martinto J., 2007. Brock biologie des micro-organismes, 1 le édition. Nouveaux horizons, pp. 920-925.
55. CFPHTMT, 2005. “Guide canadien d’évaluation des incidences sur la santé. V2, approches et prise de décision’’, rapport, canada.
56. Kabour A. Hani A. Chebbah L. Impact des rejets urbains sur les eaux souterraines, dans une région aride (cas de la ville de Bechar, SW Algérien), GIGE09, Facultés des sciences, Fès. Maroc). 13-14 mai 2009.
57. Kabour A. Hani A. Chebbah L. European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.53 No.4. 2011. 582-589)
58. Perrier J. Défense contre les eaux nuisibles de l’oued Soummam. Mémoire préliminaire Compte rendu. Paris, 1964.
59. Pollution de la Soummam. Rapport. Akbou : Service d’environnement de la wilaya de Béjaia, 1997.
60. Direction de la planification et de l’aménagement de territoire de Béjaia. Annuaire statistique de la wilaya de Bejaia, Résultats 2003. Bejaia.
61. Pollution de la Soummam. Rapport. Akbou :Service d’environnement de la wilaya de Beéjaia, 1997.
62. BENFETTA H el (al). (2011). Réutilisation des eaux usées de la ville de Mascara en Agriculture. Rapport de Synthèse, Direction des services agricoles de la wilaya de Mascara, Mascara, pp. 25-45.
63. SAHNOUN A.Y. (2012). Comparative study of the characteristics of three types of sludge from wastewater treatment plants, energy procedia, sciverse science direct, ELSEVIER Ltd, 2012.
64. BOEGLIN J.C, (1997). Analyse des eaux résiduaires : mesure de la pollution. Techniques de l’ingénieur : analyse et caractérisation ISSN 1762-8717. Institut de recherche hydrologiques environnement (IRH), France. Vol. p5, n°P4200, pp. P4200.1-P4200.24, 1997.

Références

65. BENFETTA H el (al). (2011). Réutilisation des eaux usées de la ville de Mascara en Agriculture. Rapport de Synthèse, Direction des services agricoles de la wilaya de Mascara, Mascara, pp. 25-45
66. Hassan Noureddine Benfetta (October 2017), Epuration des Eaux Usées dans la Wilaya de Mascara,258p
67. Desjardins R. (1997)., Le traitement des eaux. 2^{ème} édition. Ed. Ecole polytechnique de Montréal, Canada, 303p..
68. Edline F. (1996)., L'épuration physico-chimique des eaux.3^{eme} édition. Ed. CEBEDOC, Paris, 283p.
69. FAO. (1992)., Wastewater treatment and use in agriculture. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage n° 47. Rome
70. Lazarova V., Gaid A., Rodriguez-Gonzales J., Alday Ansola J. (2003)., L'intérêt de la réutilisation des eaux usées : analyses d'exemples mondiaux. *Techniques, Sciences et Méthodes*, 9 : 64-85.
71. Rose J.B., Farrah S.R., Friedman D., Riley K., Hamann C.L., Robbins M. (1999)., Public evaluation of advanced water for potable application. *Water Science and Technology*, 40 (4-5) :247- 252.
72. Lazarova V., Gaid A., Rodriguez-Gonzales J., Alday Ansola J. (2003)., L'intérêt de la réutilisation des eaux usées : analyses d'exemples mondiaux. *Techniques, Sciences et Méthodes*, 9 : 64-85.
73. LIGNES DIRECTRICES POUR L'UTILISATION DES EAUX USÉES MUNICIPALES DANS LA RÉGION MÉDITERRANÉENNE. PAM/PNUE Athènes, 2005].
74. Crook, J. (1998). Water reclamation and reuse criteria. In Asano T. ed. *Wastewater Reclamation and Reuse* . Lancaster, PA, Technomic Publishing, 627-703.
75. Crook, J., Johnson, L.J. and Thompson, K. (2001). California's new water recycling criteria and their effect on operating agencies.
76. Crook, J. and Surampalli, R.Y. (1996). Water reclamation and reuse criteria in the USA. *Wat. Sci. Tech.*, 33(10-11): 475-486

Références

77. Talaboulma Rabah. Recommandations pour l'utilisation des eaux usées épurées dans l'agriculture. 2018.
78. Bahri A. (1998)., Wastewater reclamation and reuse in Tunisia, In: Wastewater Quality Management Library, Vol. 10, Ed. T. Asano, Technomic Publishing Co., Inc., 877-916.
79. Ecosse D. (2001)., Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde. *Mém.D.E.S.S. « Qualité et Gestion de l'Eau »*, Fac. Sciences, Amiens, 62 pages.
80. Lunn M. (2001)., The deliberate indirect wastewater reuse scheme at Essex & Suffolk Water. Colloque de Noirmoutier, 4 pages..
81. Lazarova V. (1998)., Rôle de la réutilisation des eaux usées pour la gestion intégrée des ressources. *L'Eau, l'Industrie, les Nuisances*, n° 227, p. 147 – 157..
82. Puil C. (1998)., La réutilisation des eaux usées urbaines après épuration. *Mém. D.U.E.S.S. « Eau et Environnement »*, D.E.P., univ. Picardie, Amiens, 62 pages..
83. FAO. L'irrigation en Afrique en chiffres: Enquête. AQUASTAT 2005.
84. El-Bech M.H. (1995)., LA Réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie. Ministre de l'Environnement, Tunisie, 4p. .
85. Benabdeli K. (2005)., 50 connaissances pour préserver l'environnement. Organisation de recherche sur les Milieux et l'Environnement, 51p.
86. Benabdallah S. (2003)., La réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie. Centre international des technologies de l'environnement de Tunis (CITET), 38p
87. La Tribune (Algérie), 14 septembre 2004., Algérie : l'irrigation par les eaux usées bat des records à Tlemcen.
88. Boumelih M. (2006)., Des eaux usées pour l'irrigation à Chelghoum Laid. *El Watan*, 24 Janvier 2006.
89. El-Lakany M.H. (1995)., Urban and peri-urban forestry in the Near East region: a case study of Cairo. Document préparé pour le Département des forêts de la FAO..
90. Aquastat, FAO, 1997.
91. Armitage F.B. (1985)., Irrigated forestry in arid and semi-arid lands: a synthesis. CRDI, Ontario, Canad

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail a été réalisé dans le but d'étudier les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées brutes basée sur la détermination des paramètres moyens et globaux de leur pollution.

En s'appuyant sur les procédés physico-chimiques et biologiques, les stations d'épuration ont pour rôle de concentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous forme de deux effluents secondaires, l'eau épurée et les boues. Les résidus peuvent faire objet d'une valorisation agricole, industrielle, municipale ou injectés dans les milieux récepteurs en respectant les normes de rejets adaptées à ce sujet.

Les paramètres relatifs à la pollution organique (turbidité, matières en suspension, et demande biochimique en oxygène) diminuent de façon flagrante entre les eaux usées brutes (où on enregistre les valeurs les plus élevées) et les eaux usées traitées (où on enregistre les valeurs les plus faibles).

L'irrigation localisée avec des eaux usées épurées issue des stations d'épuration, permet une croissance et un développement plus rapide des différentes essences et peuvent être utilisées sans danger pour l'irrigation.

La sensibilisation des populations aux mesures d'hygiène à prendre en vue de préserver la qualité de l'eau ainsi que la mise en fonction des stations d'épuration devraient permettre de préserver la qualité de l'eau pour l'irrigation et de sauvegarder les côtes de la pollution d'autre part.

Résumé

Résumé :

Ce travail présente les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées brutes. La disponibilité d'une eau de bonne qualité est un élément indispensable pour prévenir les maladies et améliorer la qualité de vie. Actuellement, la situation dans le monde se caractérise par une demande en eau croissante, alors que les ressources hydriques se raréfient d'une manière permanente. La pollution de l'eau qui affecte les rivières, les mers et les lacs, est le résultat du rejet des eaux usées sans traitement ou à un niveau de traitement insuffisant, cela provoque une dégradation de l'écosystème. Le problème est encore plus grave dans le cas des effluents industriels qui présentent un caractère toxique. Généralement, les effluents, soit urbains ou industriels nécessitent un traitement avant rejet dans le milieu naturel. Ces eaux usées risquent de constituer à l'avenir la cause essentielle de la pénurie d'eau et des problèmes de santé publique.

Mots clés : Eaux usées brutes, caractéristiques physico-chimiques, traitements, impacts environnementaux.

ملخص

يعرض هذا العمل الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه الصرف الصحي الخام. إن توافر المياه الجيدة أمر ضروري للوقاية من

الأمراض وتحسين نوعية الحياة. في الوقت الحالي، يتسم الوضع في العالم بتزايد الطلب على المياه، بينما أصبحت موارد المياه

شحيحة بشكل دائم. تلوث المياه، الذي يؤثر على الأنهار والبحار والبحيرات، ناتج عن تصريف المياه العادمة دون

معالجة أو عند مستوى غير كافٍ من المعالجة، مما يتسبب في تدهور النظام البيئي. المشكلة أكثر خطورة في حالة المخلفات

الصناعية السامة بطبيعتها. بشكل عام، تتطلب النفايات السائلة، سواء كانت حضرية أو صناعية، معالجة قبل تصريفها

Résumé

في البيئـة الطبيعية . من المحتمل أن تكون مياه الصرف الصحي هذه هي السبب الرئيسي لندرة المياه ومشاكل الصحة العامة

في المستقبل .

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي الخام ، الخصائص الفيزيائية والكيميائية ، المعالجات ، التأثيرات البيئية

