

N° d'ordre :
N° de série :



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR D'EL-OUED
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLECULAIRE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Licence Académique

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Toxicologie

THEME

**L'impact sanitaire de la
réutilisation des eaux usées**

Dirigé par:
Mr. HAMAD Brahim

Présenté par : AHRIZAT Nadjete
MESSAID Saousen
TEDJINI Ichrak
TEKSEBTI Basma

Année universitaire : 2014/2015.

Dédicaces

Avant tout, nous remercions Dieu « ALLAH » le tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et la patience pour terminer ce modeste travail.

Nos vifs remerciements vont également au nos parents qu'on nous donné le soutien moral, le courage et qui nous soutiennent durant nos études pour nous terminons ce travail.

*A nos familles : **MESSAID, AHRIZAT, TEDJINI et TEKSEBTI.***

A tous les enseignantes à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie à l'Université D'EL-OUED.



**SAOUSSEN *NADJET *ICHRAK *BASMA*

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu « ALLAH » le tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et la patience pour effectuer ce travail.

Nous tenons à exprimer toute nos reconnaissances à nos promoteur de mémoire.

Mr. HAMAD Brahim, qui nous le remercions pour avoir dirigé ce travail et accepté de nous encadrer, pour ses conseils et ses orientations.

Nous tenons à remercier également M^{me} HADEF Leila, enseignante à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie à l'Université d'El-OUED.

Nous remercions toute l'équipe de l'ONA la STEP 1 «station d'épuration de KOUININE et E.P Algérienne des Eaux d'El-OUED, en particulier

Mr. BENALI Abdelhamid.

C'est avec un réel plaisir que nous réservons ces lignes en signe de gratitude et de profonde reconnaissance à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation et à l'aboutissement de ce travail.

Résumé

Les pratiques de réutilisation peuvent être classées en différentes catégories dans un ordre décroissant : La réutilisation domestique, soit directe à titre d'eau potable, soit indirecte dans plusieurs activités urbaines ; la réutilisation agricole pour l'irrigation des cultures vivrières, non vivrières ou de cultures transformées avant consommation. Enfin la réutilisation et le recyclage industriels pour le lavage, nettoyage et l'alimentation des circuits de refroidissement. Il existe à l'heure actuelle une vaste gamme de technologies de traitement pouvant servir à la récupération et à la réutilisation des eaux usées. Un grand nombre de ces technologies, ont été mises au point et appliquées. Ils sont implantés avec les stations d'épurations afin d'avoir une qualité d'eau épurée bien déterminé vu l'usage souhaité. Les incertitudes que soulève l'avenir des ressources en eau accentuent ce défi en raison d'épisodes climatiques extrêmes et des changements du climat, d'une concurrence accrue pour l'accès à des ressources limitées en eau à l'échelle mondiale et d'une demande croissante pour ce qui est d'un meilleur contrôle de la pollution des eaux usées à l'appui d'une meilleure utilisation des eaux réceptrices. L'une des solutions réside dans la réutilisation de l'eau, ce qui facilite l'utilisation des effluents municipaux traités comme nouvelle source d'approvisionnement tout en réduisant l'évacuation d'effluents pollués dans les eaux réceptrices. Dans certains cas, la réutilisation de l'eau peut présenter des avantages économiques sur l'expansion des infrastructures d'approvisionnement en eau et de traitement des eaux usées.

Les mots clés : eau usées, épurations, La réutilisation domestique, les eaux réceptrices.

SOMMAIRE

Introduction générale	
Chapitre I : Généralités sur les eaux usées	
I-Définition des eaux uses.....	4
II- La réutilisation des eaux uses.....	4
II-1.Bilan mondial.....	4
II-2.Cas de l'Algérie.....	4
III- Origine des eaux uses.....	6
III-1. Les eaux usées domestiques.....	6
III-2. Les eaux industrielles.....	7
III-3.Les eaux agricoles.....	8
III-4. Les eaux pluviales	9
IV- Les eaux usées : un réservoir de polluants	9
IV-1.Les matières en suspension (MES).....	10
IV-2.Les micropolluant organique et non organique	10
2.1Éléments traces.....	10
2.2Les micropolluants organiques.....	11
2.3Les substances nutritives.....	11
IV-3. Microorganismes.....	13
3.1Les bactéries.....	13
3.2Les virus.....	14
3.3Les protozoaires.....	14
3.4Les helminthes.....	14
IV-4.Les métaux lourds.....	15
Chapitre II : Formes de réutilisation des eaux usée et avantages associés	
I- Formes de réutilisation des eaux usées et avantages associés.....	16
I-1. Agriculture irriguée	16
1.1Irrigation par submersion et par rigoles d'infiltration.....	17

1.2Irrigation par pulvérisation et aspersion.....	17
1.3Irrigation localisée.....	17
1.4Arrêt de l'irrigation.....	18
I-2.Réutilisation industrielle.....	18
2.1Les risques liés à la réutilisation industrielle.....	19
I-3. Réutilisation agricole.....	19
3.1Les risques liés à la réutilisation agricole.....	19
I-4. Réutilisation en zone urbaine.....	20
I-5. Production de l'eau potable.....	20
I-6. Autres.....	23
Chapitre III : Risques sanitaires de l'utilisation des eaux usées	
III - Risques sanitaires de l'utilisation des eaux usées.....	24
III-1.Pollution de l'eau.....	24
III-1.1.L'origine de la pollution.....	24
III-1.2.Les types de la pollution.....	24
III-1.2.1.Pollution physique.....	24
III-1.2.2. Pollution chimique.....	25
III-2.Évaluation des risques sanitaires.....	26
III-3.La réponse de l'hôte.....	28
III-4.Notion de risqué.....	29
III-4.1.Le risque sur la santé.....	29
III-4.2.Le risque théorique ou potentiel.....	30
III-4.3.Le risque experimental.....	30
III-4.4.Le risque reel.....	31
III-5.Danger microbiologique.....	32
III-5.1.Les parasites dans les eaux usées.....	32
III-5.2. Les Bactéries dans les eaux usées.....	35
III-5.3. Les Virus dans les eaux usées.....	37

III-6.Les danger chimiques.....	39
Chapitre IV : Recommendations et les Traitements	
IV- Les biotechnologies appliquées dans le traitement des eaux usées.....	40
IV-1.L'assainissement de l'Antiquité à nos jours.....	40
IV-2.L'épuration des eaux usées en Algérie.....	40
IV-3.Les grandes étapes du traitement.....	40
IV-3.1.Le prétraitement.....	41
3.1.1Dégrillage.....	42
3.1.2Dessablage.....	42
3.1.3Déshuilage dégraissage.....	42
IV-3.2.Le traitement primaire.....	43
IV-3.3.Le traitement secondaire.....	43
3.3.1Le traitement secondaire anaérobie.....	44
3.3.2Les traitements secondaires aérobies.....	45
IV-3.4.Le traitement tertiaire.....	46
IV-4.Traitement bactériologique par rayonnement UV.....	48
IV-4.1.Fonctionnement d'une installation UV.....	48
IV-4.2.Avantages et inconvénients du rayonnement UV.....	49
IV-5.La filtration.....	49
IV-5.1.Lagunes de finition.....	49
IV-6.Particules colloïdales.....	52
IV-7.Traitement des odeurs.....	52
IV-8.Normes de rejet.....	52
Conclusion générale.....	53
Références bibliographiques	54
Résumé et mots clés	

LISTE DE FIGURES

Numéro	Titre	Page
Figure 1	La position géographique d'Oued Souf	06
Figure 2	Les principales sources des eaux usées	07
Figure 3	Cycle urbain de l'eau	07
Figure 4	Fonctionnement des jardins filtrants	08
Figure 5	Les étapes de production de l'eau potable	22
Figure 6	<i>Cryptosporidium parvum</i> vu au microscope électronique	33
Figure 7	<i>Helminthe</i> vu au microscope électronique (pas d'échelle)	33
Figure 8	<i>Escherichia coli</i> vues au microscope électronique	36
Figure 9	<i>Entérovirus</i> vus au microscope électronique (pas d'échelle)	38
Figure 10	Représentation schématique des différentes étapes de la digestion anaérobie de composés organiques	41

LISTE DES TABLEAUX

Numéro	Titre	Page
Tableau 1	Les domaines de l'utilisation des eaux usées dans quelque pays.	16
Tableau 2	Formes de réutilisation des eaux usées	23
Tableau 3	Modèle d'évaluation des risques sur la santé humaine	27
Tableau 4	Les parasites pathogènes dans les eaux usées	34
Tableau 5	Les bactéries pathogènes dans les eaux usées	36
Tableau 6	Les virus dans les eaux usées.	38
Tableau 7	Norme physico-chimiques de rejets de l'OMS	52

LISTE DES ABREVIATIONS

As: Arsenic.

CaCl.OCl: Le Chlore de Chaux.

CaClO₂: L'hypochlorite de Calcium.

Cd : Cadmium.

CH₄: Le méthane.

Cl²: Chlore gazeuse.

CO₂: Le dioxyde de carbone

DCO: Demande Chimique en Oxygène.

DMI : Dose Minimale Infectante.

EUT: Eaux Usées Traitées.

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

H₂S: Hydrogène Sulfureux.

Hg: Mercure.

K⁺: Le potassium.

K²O: Oxyde de potassium.

MES: Matière en suspension.

MRE: Ministère des Ressources en Eau.

Na Cl: Chlore Sodium.

NaClO: L'hypochlorite de Sodium.

NaClO₂ : Le Chlorite de Sodium.

NH₃: L'ammoniaque gazeuse.

NH₄⁺: L'ion ammoniac.

Ni : Nickel.

NRMMC: Natural Resource Management Ministériel Council.

O² : Oxygène.

O³ : L'ozone.

OMS: Organisation Mondiale de la Santé.

ONA: Office National de l'Assainissement.

ONU: Organisation des Nations Unies.

P₂O₅: Diphosphorus Dioxyde.

Pb: Plomb.

REUE : Réutilisation des eaux usées épurées.

UV : Ultra Violette.

UVC : Ultra Violette Concentrée.

Introduction générale

L'eau est indispensable à la vie. Elle constitue 70 % du poids du corps humain. Elle est utilisée pour de nombreux usages essentiels: la boisson, la préparation des repas, l'hygiène, l'entretien de l'habitation, les loisirs, la fabrication dans l'industrie, l'irrigation des cultures et l'abreuvement du bétail.

Après avoir été captée, traitée, transportée, distribuée et puis consommée, l'eau est rendue à la nature via les égouts et les stations d'épuration, au fond d'un puits perdant ou directement au ruisseau. Après un parcours plus ou moins long, que l'on appelle le cycle de l'eau, nous pourrions la capter de nouveau pour satisfaire nos besoins

L'eau est un bien précieux qui subit diverses pollutions et dégradations : les écosystèmes et la santé des personnes en sont directement impactés. Les pollutions présentes dans l'eau sont d'origines diverses : industrielle, domestique ou agricole (BASSOMPIERRE., 2007). Les chiffres publiés par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en 2004 révèlent que chaque année 1.8 million de personnes dont 90% d'enfants de moins de cinq ans, vivants pour la plupart dans les pays en voie de développement, meurent de maladies diarrhéiques. Or, à l'échelle mondiale, 88% des maladies diarrhéiques sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau de boisson et à un assainissement insuffisant des eaux usées. L'eau est devenue un enjeu stratégique mondial dont la gestion doit impérativement s'intégrer dans une perspective politique de développement durable. Certains affirment en effet qu'elle sera, au troisième millénaire, un enjeu de guerres comme le pétrole l'a été et l'est encore aujourd'hui (GARCIA-ARMISEN., 2006).

Le volume d'eaux usées rejetées à l'échelle nationale est estimé actuellement à près de 750 millions de m³ et dépassera 1,5 milliards de m³ à l'horizon 2020. Afin de prendre en charge l'épuration de ce potentiel d'eaux usées, le secteur des ressources en eau a engagé un programme ambitieux en matière de réalisation d'installations d'épuration (KESSIRA., 2013).

Selon des études prospectives, les pressions sur les ressources devraient augmenter et un plus grand nombre de pays seront en difficulté durant les années à venir. Ainsi, en 2025, près de la moitié de la population des pays méditerranéens se trouvera en situation de tension ou de pénurie d'eau (TRAD RAÏS et XANTHOULIS., 1999). Pour ces raisons, l'Organisation des Nations Unies (ONU) a déclaré la période 2005-2015, une décennie internationale d'action sur le thème d'eau, source de vie et en conséquence a décidé d'accorder davantage d'importance aux problèmes relatifs à l'eau. Parmi les thèmes centraux de cette décennie seront, entre autres : la pénurie d'eau, l'accès à l'assainissement, la prévention des

catastrophes, la pollution des eaux superficielles et la gestion intégrée des ressources en eau (ATTAB., 2011).

L'épuration des eaux usées s'est donc imposée pour préserver la qualité des milieux naturels et notamment les eaux de surface et souterraines. L'eau épurée est actuellement en majorité rejetée. La généralisation de la réutilisation de ces eaux peut donc contribuer à combler en partie le déficit d'eau de première main. Le recyclage de l'eau dans les industries et l'utilisation de l'eau pour l'arrosage des espaces récréatifs peuvent par conséquent contribuer à diminuer la pression exercée sur les ressources naturelles de bonne (ATTAB., 2011).

En ce qui concerne notre travail de recherche, nous basons sur l'étude d'impact sanitaire de réutilisation des eaux usées. Le travail fait l'objet d'une présentation en quatre chapitres est consacré au contexte de l'étude. Le premier présente une idée générale sur les eaux usées. Le deuxième chapitre présente les formes de réutilisation des eaux usées et avantages associés. Le troisième chapitre contient, les risques sanitaires qui sont liées avec les polluants qui existent dans les eaux usées. A la fin ; dans le quatrième chapitre nous expliquons les différentes étapes des traitements et les normes des eaux usées.

Chapitre I

Généralités sur les

eaux usées

I-Définition des eaux usées

Une eau usée, appelée encore eau résiduaire ou effluent est une eau qui a subi une détérioration après usage .La pollution des eaux dans son sens le plus large est définie comme « Tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou Physico-chimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines ». L'aspect des eaux résiduaires fraîches est celui d'un liquide brun gris avec une odeur typique, mais faible .Durant leur transport, ces eaux se modifient d'autant plus vite que la température est élevée ; elles deviennent noires et dégagent une odeur d'œufs pourris, signe de la présence d'hydrogène sulfureux (H₂S), dangereux pour les égoutiers et corrosifs pour le béton et les aciers des égouts. Environ un tiers des matières contenues est en suspension, le reste est en solution (ATTAB., 2011).

II- La réutilisation des eaux usées

II-1. Bilan mondial

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

D'une manière générale, pratiquement tous les autres pays du pourtour de la méditerranée, de l'Espagne à la Syrie, réutilisent des eaux usées (traitées et non traitées) pour diverses applications (BIXIO *et al.*, 2005). En effet, le bassin méditerranéen est une région où la pénurie en eau est particulièrement ressentie. C'est aussi l'une des régions où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée. Dans certains pays, cette réutilisation est devenue l'objet d'une politique nationale comme en Tunisie, en Grèce et en Jordanie.

II-2.Cas de l'Algérie

En Algérie, 60 % des eaux usées traitées sont rejetées soit loin des périmètre d'irrigation et des barrages soit en mer, ce qui rend leur réutilisation en irrigation peu rentable. Ainsi, seulement 240 millions de m³ sont potentiellement utilisables en irrigation en raison de la localisation des points de rejet (HARTANI., 2004).

Un programme de réalisation et de modernisation d'ouvrages de traitement destinés à la réutilisation des eaux usées en irrigation sont actuellement mis en œuvre (MRE., 2004).Le ratio entre la réutilisation des eaux usées et l'affectation des ressources permet d'estimer la

contribution de la réutilisation des eaux usées en irrigation. Cette contribution est de 13,37 % dans le cas de la région hydrographique Chelif Zahrez, de 21,4 % dans la région hydrographique Constantine-Seybousse-Mellegue, et de 34,92 % dans la région hydrographique Oranie Chott Chergui. Cette dernière est nettement déficitaire en pluviométrie par rapport aux autres régions du Nord algérien (400mm/an environ). La composante réutilisation des eaux usées en irrigation devient même prépondérante avec un ratio de 45%, voire 100% dans le cas du périmètre de Mléta dans la région de l'Oranie de l'Ouest algérien (HARTANI., 2004).

*En Oued Souf

La vallée de Oued-Souf est une unité de ressource en eau située au sud-est algérien (Fig.1) au centre d'une grande cuvette synclinale, appelée aussi région du Bas-Sahara à cause de la faible altitude, elle occupe une superficie de 11738 km², représente 18 communes administrativement et englobe un nombre de population de plus de 500 milles habitants (KHECHANA *et al.*, 2010).

El Oued: la ville aux mille coupoles, est caractérisée par la production des dattes qui, avec celles de la région de Biskra, sont parmi les plus réputées au monde. Elle est limitée par les coordonnées Lambert suivantes :

$$X = 275\ 200 / 322\ 000$$

$$Y = 3\ 665\ 000 / 3743\ 000 \text{ (KHECHANA } et al., 2010).$$

Le Souf est une région qui compte parmi les plus originales. Sa situation dans l'Erg Oriental, presque au contact des grands chotts, à proximité de la vallée de l'Oued Right, souffrant de problèmes de remontée de la nappe phréatique (SAKER., 2000). Elle est localisée dans d'anciens systèmes agricoles traditionnels, au fond de vastes cratères nommés « système Gout » (COTE ,1998). Ces derniers sont des dépressions sableuses artificielles, de forme alvéolaire pour cultiver les palmiers dattiers sans irrigation, en les rapprochant du niveau des nappes phréatiques.

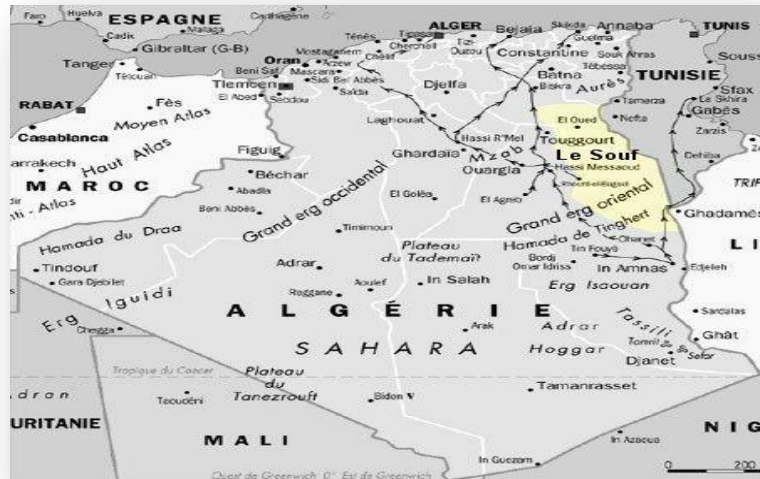


Figure 1 : La position géographique d'Oued Souf (ANONYME 1., 2015).

III-Origine des eaux usées

L'eau, propre et potable à l'origine, subit une altération et une dégradation par les multiples usages que l'on en fait dans les habitations, dans les établissements publics et dans les usines. Les matières ajoutées dans l'eau lors de son utilisation se retrouvent dans les eaux usées soit à l'état dissous soit en suspension, soit à l'état solide (ATTAB., 2011).

Au l'Algérie, les eaux usées sont essentiellement d'origine industrielle et d'origine domestique surtout à partir de la ville de Oued Souf. Suivant l'origine des substances polluantes on distingue entre quatre catégories d'eaux usées :

- *les eaux domestiques.
- *les eaux industrielles.
- *Les eaux agricoles.
- *Les eaux les eaux de ruissellement et pluviales.

III-1.Les eaux usées domestiques

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers.

Lorsque les habitations sont en zone d'assainissement collectif, les eaux domestiques se retrouvent dans les égouts. Elles constituent l'essentiel de la pollution et se composent (Fig.2) :

- * Des eaux de cuisine, qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substances alimentaires à base de matières organiques, (glucides, lipides protides), et des produits détergents ;
- * Des eaux de buanderie, contenant principalement des détergents ;

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées

* Des eaux de salle de bains, chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement de matières grasses hydrocarbonées ;

* Des eaux de vannes, qui proviennent des sanitaires (WC), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphorés et en microorganismes (ATTAB., 2011).

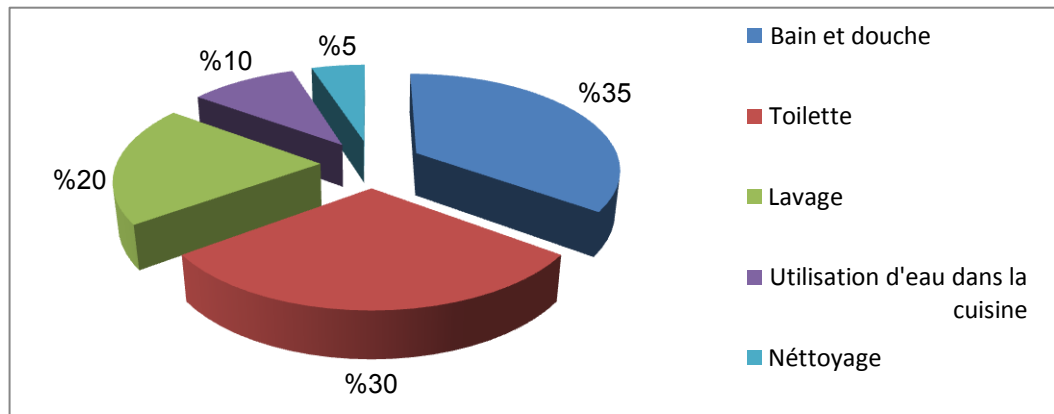


Figure 2 : Les principales sources des eaux usées (ANONYME 2., 2012).

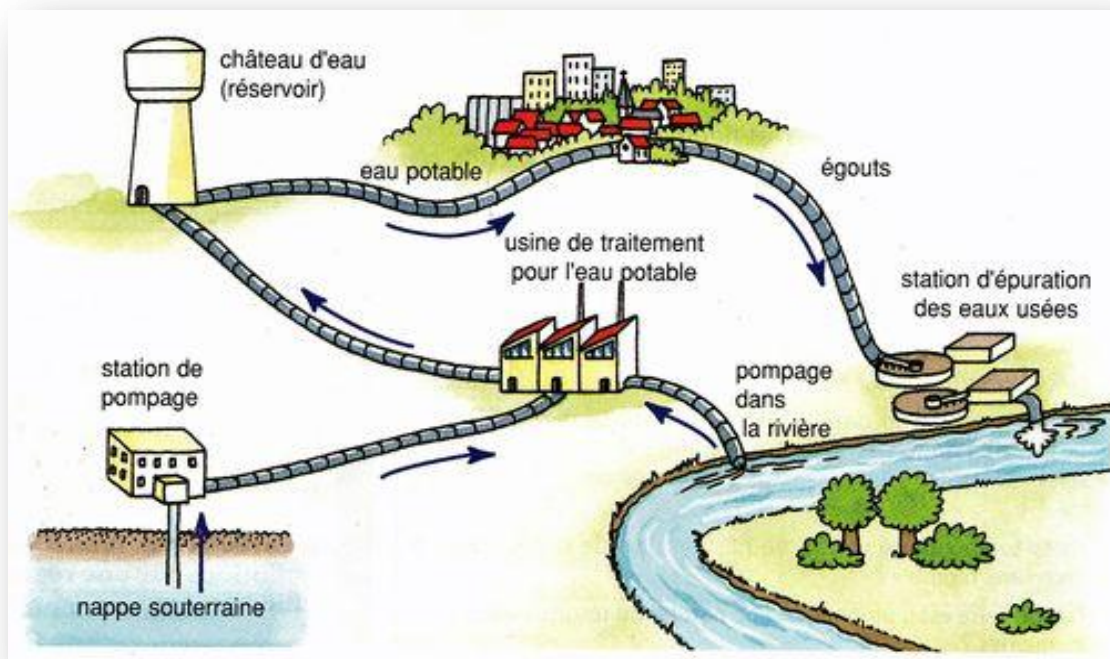


Figure 3 : Cycle urbain de l'eau (<http://classekaouah.eklablog.com>).

III-2. Les eaux industrielles

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques ou des hydrocarbures. Certaines d'entre elles font l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles ne sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution (BELAHMADI., 2011).

III-3. Les eaux agricoles

L'eau est indispensable à l'agriculture. L'eau est un des facteurs ayant concourus à l'émergence de la vie. L'eau est responsable de la croissance des plantes et, par le phénomène de turgescence, elle permet aux plantes de s'élever vers la lumière responsable de la photosynthèse. Rares sont les parties du globe où la pluie suffit à alimenter le sol en eau. L'agriculture est une source de pollution des eaux car elle apporte les engrais et les pesticides (EL RHAZI et HABIB., 2007).



Figure 4 : Fonctionnement des jardins filtrants (<http://www.consommer-responsable.fr>).

III-4. Les eaux pluviales

Ce sont des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation. Elles peuvent être particulièrement polluées, surtout en début de pluie, par deux mécanismes: Le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées. Les déchets solides ou liquides déposés par temps sec sur ces surfaces sont entraînés dans le réseau d'assainissement par les premières précipitations qui se produisent. La remise en suspension des dépôts des collecteurs par temps sec, l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs du réseau est lent, ce qui favorise le dépôt de matières décantables lors d'une précipitation, le flux d'eau plus important parmi la remise en suspension de ces dépôts (ZEGHOUD., 2013).

Elles sont de même nature que les eaux usées domestiques, avec en plus des métaux lourds et des toxiques (plomb, zinc, hydrocarbures) provenant essentiellement de la circulation automobile. Lors de précipitation importante, l'eau pluviale peut arriver en grande quantité au niveau de station d'épuration. Des dispositions permettent de limiter l'impact sur la station : bassins d'orage, bassins d'étalement, chaussées filtrantes (ANONYME 3., 2003).

IV- Les eaux usées : un réservoir de polluants

Les eaux usées urbaines proviennent essentiellement des activités domestiques et industrielles ainsi que des eaux souterraines et des précipitations (les réseaux étant généralement unitaires). Les eaux domestiques proviennent des activités humaines quotidiennes, alors que les eaux usées industrielles sont très variées en termes de quantité et de qualité. Leurs caractéristiques dépendent du type d'industrie et du niveau de traitement que les eaux usées subissent avant leur rejet (ATTAB., 2011).

La composition des eaux résiduaires urbaines brutes dépend donc, en d'autres termes:

- * essentiellement de l'activité humaine (eaux ménagères et eaux de 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 quelques constituants chimiques,
- * de la nature et de la quantité des effluents industriels éventuellement rejetés dans le réseau urbain.

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

réutilisation des eaux usées. En effet, la réglementation distingue des niveaux de qualité pour les eaux usées épurées, déterminés essentiellement par les taux de concentration en microorganismes. Il est donc indispensable de connaître la composition des eaux usées afin de définir les domaines de réutilisation possibles et le niveau de restriction (ATTAB., 2011).

Les compositions des eaux usées peuvent être classées en quatre groupes : les matières en suspension, les micropolluants organiques et non organique, les microorganismes et les métaux lourds (ZEGHOUD., 2013).

IV-1. Les matières en suspension (MES)

Ce sont des matières biodégradables pour la plupart. Les micro-organismes sont le plus souvent adsorbés à leur surface et sont ainsi « transportés » par les MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures (BAUMONT *et al.*, 2005). Les particules en suspension peuvent, par définition, être éliminées par décantation. C'est une étape simple et efficace pour réduire la charge organique et la teneur en germes pathogènes des eaux usées. Toutefois, un traitement beaucoup plus poussé est généralement requis pour faire face aux risques sanitaires (BELAID., 2010).

IV-2. Les micropolluant organique et non organique

Les micropolluants sont des éléments présents en qualité infinitésimale dans les eaux usées. La voie de contamination dans cas d'une réutilisation des eaux épurées, est l'ingestion. C'est la contamination par voie indirect qui est généralement préoccupante. Ainsi, certains micropolluants, comme les métaux lourds ou les pesticides, peuvent s'accumuler dans les tissus des être vivants, et notamment dans les plantes cultivées. il peut donc y avoir une contamination de la chaîne alimentaire et une concentration de ces polluants dans les organismes (BAUMONT *et al.*, 2004).

2.1. Éléments traces

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux ; les plus abondants (de l'ordre de quelque $\mu\text{g/l}$) sont ; le fer, zinc, le cuivre et le plomb.

Les autres métaux lourds (magnésie, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, nickel, etc.) sont présent à l'état de trace (CAUCHI., 1996).

Certain éléments traces peu nombreux, sont reconnus nécessaires en très faible quantité, au développement des végétaux : le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et les molybdènes. L'irrigation à partir d'eaux usées, va apporter ces éléments (FABY et BRISSAUD., 1997).

2.2. Les micropolluants organiques

Les micropolluants d'origine organique sont extrêmement nombreux et variés, qui rend difficile de leur dangerosité. Ils proviennent de l'utilisation domestiques de détergents, pesticides, solvant et également des eaux pluviales : eaux de ruissellement sur les terres agricoles ; sur le réseau routier, etc. (ZEGHOUD., 2013).

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

Les principales familles de la chimie organique de synthèse sont représentées : les hydrocarbures polycycliques aromatiques, les chlrophénols, les ph talâtes, 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 entrainés en profondeur. (ZEGHOUD., 2013).

En raison de la faible solubilité de ces éléments organiques, on les retrouvera concentrés dans les boues et surtout lors de l'épandage de ces dernières que leurs teneurs devront être contrôlées (FABY et BRISSAUD., 1997).

Les pesticides sont des éléments traces les plus surveillées, pour cette raison l'étude d'impact et de métabolismes 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 repérer les toxiques (BAUMONT *et al.*, 2004).

2.3. Les substances nutritives

L'azote, le phosphore, le potassium, et certains oligo-éléments comme, le zinc, le bore et le soufre, sont indispensables à la vie de végétaux .Ils se trouvent en quantités appréciables ; mais en proportions très variables par rapport aux besoins de la végétation, dans

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées

les eaux usées épurées ou non, d'autre façon générale, une lame d'eau résiduaire de 100 mm peut apporter à l'hectare:

*de 16 à 62 kg d'azote.

*de 2 à 69 kg de potassium.

*de 4 à 24 kg de phosphore.

*de 18 à 208 kg de calcium.

*de 9 à 100 kg de magnésium.

* de 27 à 182 kg de sodium (FABY et BRISSAUD., 1997).

2.3.1. L azote

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

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

*N organique à NH_4^+ : ammonification

* NH_4^+ NO_2^- : nitratisation par *Nitrosomonas*

* NO_2^- NO_3^- : nitratisation par *Nitrobacter* (CHELLE *et al.*, 2005).

2.3.2. Le phosphore

La concentration en phosphore dans les effluents secondaire varié de 6 à 15 mg/l (soit 15 à 35 mg/l en P_2O_5) cette quantité est en générale trop faible pour modifier le rendement. 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 flux effective que le sol contient des oxydes de fer, d'aluminium ou du calcium en quantité importantes. On ne rencontre pas en générale de problèmes liés à un excès de phosphore (ASANO., 1998).

2.3.3. Le potassium (K⁺)

Le potassium est présent dans les effluent secondaires à hauteur de 10 à 30 mg/l (12 à 36 mg/l de K₂O) et permet donc de reprendre partiellement aux besoins (FABY et BRISSAUD., 1997).

2.3.4. Chlore et sodium

Leurs origines sont :

*Naturelle (mer 27 mg/l NaCl, et terrains salés)

*Humaine (10 à 15 mg/l NaCl dans les urines/j)

*Industrielle (potasse, industrie pétrolière, galvanoplastie, agroalimentaire) (ZEGHOUD., 2013).

Le chlore et le sodium peuvent également poser des problèmes, notamment en bord de mer, quand les réseaux d'égout drainent des eaux phréatiques saumâtres (FABY et BRISSAUD., 1997).

IV-3. 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 classés en quatre grands groupes : les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes (BELAID., 2010).

3.1. Les bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 µm. Le taux moyen de bactéries dans les fèces est d'environ 10¹² bactéries/g. Les bactéries sont les microorganismes les plus communément rencontrés dans les eaux usées. Les eaux usées urbaines contiennent environ 10⁶ à 10⁷ bactéries/100 ml dont la plupart sont des proteus et des entérobactéries, 10³ à 10⁴ des streptocoques et 10² à 10³ des clostridium. La concentration en bactéries pathogènes est de l'ordre de 10⁴ germes/l. Parmi les plus détectées sont ; les salmonelles, dont celles responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Les coliformes thermo tolérants sont des germes

témoins de contamination fécale communément utilisés pour contrôler la qualité relative de l'eau (BELAID., 2010).

3.2. Les virus

Les virus sont des parasites intracellulaires obligés qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. Leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées restent 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 nombreux il faut citer les entérovirus (exemple: polio), les rota virus, les rétrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A. Il semble que les virus soient plus résistants dans l'environnement que les bactéries. On a constaté que, au cours de processus de traitement des eaux usées, les virus sont plus difficiles à éliminer que les bactéries classiques couramment utilisées comme indicateurs de la qualité bactériologique des eaux. De plus les auteurs ont détecté plusieurs virus dans les milieux récepteurs recevant des effluents traités tels que les rivières et les étangs. D'autre part, Blanc et Nasser (1996), ont constaté que les virus sont plus persistants, à température ambiante, dans un sol irrigué par des EUT que certains autres bactériophages (ATTAB., 2011).

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 vital une forme de résistance, appelée kyste qui peut être véhiculé par les eaux résiduaires. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées. Ainsi, selon les conditions du milieu, ces organismes peuvent survivre plusieurs semaines voir même plusieurs années. En revanche, 10 à 30 kystes, est une dose suffisante pour causer des troubles sanitaires (BELAID., 2010).

3.4. Les helminthes

Les helminthes sont des parasites intestinaux, fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires. Dans les eaux usées urbaines, le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et 10^3 germes L^{-1} . Beaucoup de ces helminthes ont des cycles de vie complexes comprenant un passage obligé par un hôte intermédiaire (TOZE., 2006). Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les œufs. Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur

présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires. En effet, la persistance de ces organismes à différentes conditions environnementales ainsi que leur résistance à la désinfection permet leur reproduction, ce qui constitue leur risque potentiel (Campos., 2008). Les helminthes pathogènes rencontrés dans les eaux usées sont : *Ascaris lumbricades*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuristrichuria*, *Taeniasaginata* (ATTAB., 2011).

L'analyse des risques sanitaires liés aux agents pathogènes susceptibles d'être transportés par les eaux usées est le fondement des recommandations proposées par l'Organisation Mondiale de la Santé en 1989 (OMS., 1989).

IV-4. Les métaux lourds

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux (de l'ordre de quelques $\mu\text{g/l}$). Les plus abondants sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces. 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 » (CAUCHI *et al.*, 1996). Les éléments cités dans la littérature comme étant les plus dangereux sont le plomb (Pb), l'arsenic (As), le mercure (Hg), le cadmium (Cd) et le nickel (Ni) (VILAGINES., 2003).

Chapitre II

*Formes de
réutilisation des
eaux usées et
avantages associés*

I-Formes de réutilisation des eaux usées et avantages associés

Devant l'augmentation des besoins en eau, la multiplication démographique et l'amélioration du niveau de vie des populations ; la réutilisation des eaux usées est la meilleure solution pour faire face à la pénurie en eau. Cette réutilisation connaît une grande extension dans les pays à climat aride et semi aride même dans les pays industrialisés. (MARA et CAIRNCROSS., 1989) ;(Tableau 1). Les eaux usées sont employées pour des usages agricoles, industriels et urbains au lieu d'être rejetées en rivière. (Tableau 2).

Tableau 1: Les domaines de l'utilisation des eaux usées dans quelques pays.

(MARA et CAIRNCROSS., 1989).

Utilisation	Pays
La fertilisation du sol	Chine .Thaïlande .Inde, Japon
La production du biogaz	Chine .Inde
La fertilisation des étangs de poisson (pisciculture)	Chine, Indonésie, Malaisie
La production des plantes aquatiques	Sud Est d'Asie, Vietnam
Utilisation de la boue des eaux usées en Agriculture	Kenya, UK, USA
La production des algues par stabilisation des étangs	Japon, Mexique

I-1. Agriculture irriguée

Les être vivants en besoin de l'aliment agricoles au long de sa vie. les agriculteurs a utilisé beaucoup des sources d'eau, malgré il y'a diminution des ces sources. La quantité des eaux usées rejetée incite les agriculteurs à utiliser cette source d'eau. Aussi, la richesse en éléments fertilisants tel que l'azote, le phosphore et le potassium, nécessaires pour le développement des plantes et aussi pour la fertilisation du sol, permet d'économiser l'achat des engrais et d'augmenter la production agricole (MARA et CAIRNCROSS., 1989).L' agriculture irriguée présent plusieurs classe :

1.1. Irrigation par submersion et par rigoles d'infiltration

C'est l'utilisation des techniques d'irrigations par rigoles d'infiltration et par submersion qui comporte les plus grands risques pour les travailleurs agricoles et leurs familles. Le risque est particulièrement important lorsque ces personnes ne portent pas de vêtements de protection (bottes, chaussures et gants, par exemple) et lorsqu'elles déplacent la terre à la main (BLUMENTHAL *et al.*, 2000). Néanmoins, un traitement des eaux usées réalisant une réduction des agents pathogènes de 2–3 unités logarithmiques ce qui protègent les travailleurs agricoles.

1.2. Irrigation par pulvérisation et aspersion

C'est l'irrigation par pulvérisation et par aspersion qui présente le plus grand potentiel de propagation de la contamination à la surface des cultures et de nuisance pour les communautés vivant à proximité. Les bactéries et les virus (mais habituellement pas les œufs d'helminthes ou les kystes et oocystes de protozoaires) peuvent être transmis par le biais d'aérosols aux communautés voisines. Lorsqu'on utilise des eaux usées pour irriguer par pulvérisation ou par aspersion, il peut être nécessaire de défrayer une zone tampon (50–100 m des habitations et des routes, par exemple) pour prévenir les effets préjudiciables sur la santé des communautés locales. La mise en place d'une zone tampon adaptée équivaut à une réduction des agents pathogènes d'une unité logarithmique (NRMMC et EPHCA., 2005). Il est possible de réduire la dérive de pulvérisation provenant du site d'épandage en utilisant des dispositifs tels que des pulvérisateurs à jet porté, des micro-pulvérisateurs, des pulvérisateurs partiellement circulaires (jet orienté à 180° vers l'intérieur), des arbres ou des arbustes écrans, plantés aux bords des champs et des systèmes de commutation à anémomètre (NRMMC et EPHCA., 2005).

1.3. Irrigation localisée

Les techniques d'irrigation localisée (par ajutage ou par goutte-à-goutte, par exemple) offrent en revanche la meilleure protection sanitaire aux travailleurs agricoles car les eaux usées sont appliquées directement sur les végétaux. Bien que ces techniques soient généralement les plus coûteuses à mettre en œuvre des systèmes d'irrigation par goutte-à-goutte peu onéreux ont récemment été adoptés par certains agriculteurs dans certains pays (Kay., 2001 ; Postel., 2001 ; FAO., 2002). Les bénéfices de ces systèmes en termes de réduction de la quantité d'eaux (usées) utilisée et d'augmentation des rendements agricoles ont convaincu de nombreux agriculteurs privés d'irriguer leurs cultures par goutte-à-goutte. Des recherches plus poussées sur les stratégies viables faisant appel à des matériaux locaux

appropriés (bambou, par exemple) pourraient faciliter une plus large utilisation de cette technologie dans divers pays à ressources limitées.

On estime que l'irrigation localisée fournit une réduction supplémentaire des agents pathogènes de 2–4 unités logarithmiques, selon que les parties récoltées des cultures sont en contact ou non avec le sol (EL RHAZI et HABIB., 2007).

Les goutteurs utilisés pour l'irrigation par goutte-à-goutte peuvent s'obstruer si la teneur en matières solides en suspension des eaux usées est élevée. Un bouchage des goutteurs peut aussi se produire sous l'effet de la migration d'algues en provenance du sol, comme dans le cas où les eaux usées libèrent des nutriments. Les algues issues des bassins de stabilisation ne bouchent habituellement pas les goutteurs, même s'il faut veiller à choisir des goutteurs ne s'obstruant pas facilement (EL RHAZI et HABIB., 2007).

1.4. Arrêt de l'irrigation

Ont montré que l'arrêt de l'irrigation avec des eaux usées une ou deux semaines avant la récolte peut réduire efficacement la contamination des cultures en laissant le temps à un certain dépérissement des agents pathogènes de s'effectuer. Dans les contextes non réglementés, il sera néanmoins probablement difficile de faire appliquer des périodes de retrait car de nombreux légumes (y compris les laitues et d'autres légumes à feuilles) ont besoin d'être arrosés presque jusqu'à la récolte pour acquérir une plus grande valeur marchande. Cette interruption peut cependant être pratiquée avec certaines cultures fourragères qui n'ont pas besoin d'être récoltées au maximum de leur fraîcheur.

Une autre solution consiste à irriguer les cultures avec de l'eau provenant d'une source non contaminée (lorsqu'on en dispose) entre l'interruption de l'utilisation d'eaux usées et la récolte (ATTAB., 2011).

I-2. Réutilisation industrielle

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique. Pour les pays industrialisés, l'eau recyclée fournit 85% des besoins globaux en eau. Les centrales thermiques et nucléaires (eau de refroidissement) sont parmi les secteurs qui utilisent les eaux usées en grande quantité. La qualité de l'eau réutilisée dépend de l'industrie ou de la production industrielle (MEKHALIF., 2009).

Le secteur industriel est celui qui utilise le plus d'eau. La réutilisation des eaux usées des municipalités pour répondre aux besoins du secteur industriel a commencé dès les années 1940. L'utilisation des eaux usées récupérées aux fins des secteurs de la construction et de l'industrie, notamment le lavage des agrégats, la fabrication du béton, le nettoyage de l'équipement, l'alimentation des tours de refroidissement (à l'exclusion du refroidissement

par évaporation), le nettoyage des cheminées, l'alimentation des chaudières et l'eau de fabrication (à l'exclusion de la transformation des aliments). Cependant, les exigences relatives à la qualité de l'eau tendent à être propres à l'industrie, puisque les changements de la composition chimique de l'eau peuvent modifier les procédés utilisés. Les préoccupations que pose la qualité de l'eau dans la réutilisation et le recyclage industriels touchent habituellement l'entartrage, la corrosion, la formation de bactéries, l'encrassement, la formation de mousse et les effets sur la santé des travailleurs que peut entraîner l'inhalation d'aérosols contenant des composés organiques volatils ou des agents pathogènes microbiologiques (MEKHALIF., 2009).

2.1. Les risques liés à la réutilisation industrielle

La qualité requise est spécifique à chaque industrie parce que sa composition chimique peut avoir des répercussions sur les processus industriels, et d'inhalation d'aérosols par les travailleurs. Il n'y a pas de problème sanitaire spécifique à l'industrie et on retrouve les mêmes contaminants que pour les autres usages (ATTAB., 2011).

I-3. Réutilisation agricole

La réutilisation agricole des eaux épurées comme moyen d'économiser la ressource a donc été une des premières voies de développement des projets de réutilisation des eaux usées épurées (REUE) (BAUMONT *et al.*, 2005). La réutilisation pour l'irrigation est essentiellement présente dans les pays réputés agricoles mais dont les ressources hydriques sont faibles, comme le bassin méditerranéen et 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 (LAZAROVA., 1998).

3.1. Les risques liés à la réutilisation agricole

D'après CAUCHI en 1996, les populations humaines exposées à une pathologie, associée de manière certaine à une utilisation agricole d'effluents bruts ou traités sont de quatre ordres :

- les consommateurs de légumes crus : le risque est statistiquement plus élevé pour les helminthes (par rapport à la population générale), par contre il ne l'est pas pour le risque bactériologique.

- les consommateurs de viande bovine insuffisamment cuite : la contamination par lever solitaire (*Tænia*) est possible car les bovins sont des hôtes intermédiaires de cet helminthe.

- les travailleurs agricoles : le risque est plus élevé pour les helminthes. En laboratoire, il a été mis en évidence que l'exposition aux entérovirus est plus élevée, même si sur le terrain

il n'y a pas eu d'augmentation de cas cliniques. Des études listées par DEVAUX en 1999, montrent que les travailleurs agricoles sont légèrement plus exposés que la population normale ou que les personnels de station d'épuration et les égoutiers. Les nouveaux travailleurs sont plus sensibles que les anciens : il semble y avoir une adaptation immunitaire aux bactéries et aux virus (CLARK *et* COLL., 1981).

-les populations avoisinantes, surtout dans le cas d'irrigation par aspersion qui forme des aérosols. Le risque est légèrement plus élevé pour les helminthes et *Shigella* (CAUCHI ., 1996).

I-4. Réutilisation en zone urbaine

En zone urbaine et péri urbaine l'horticulture et les micro-jardins tels ceux faisant appel à de simples techniques de culture hydroponique, permettent de générer des avantages économiques et nutritionnels en assurant à la population urbaine des produits frais tout au long de l'année. Ces techniques simples promeuvent l'économie de l'eau en la recyclant et la décontaminant, et facilitent la culture de plantes dans des zones a priori peu propices à la production agricole, comme celles caractérisées par de mauvaises conditions météorologiques, des sols pauvres, des espaces limités dans les villes, une eau rare et la présence de déprédateurs. Simultanément, elles créent des marchés locaux dans les chaînes d'approvisionnement alimentaire. Elles peuvent être considérées comme une solution alternative efficace pouvant être intégrée aux programmes de sécurité alimentaire et de nutrition rurale et périurbaine en faveur des populations à faible revenu vivant dans la pauvreté (BELAID., 2010).

Les eaux usées urbaines contiennent des matières solides, des substances dissoutes et des microorganismes. Ces derniers sont la cause des principales restrictions imposées à la réutilisation des eaux usées (BELAID., 2010).

I-5. Production de l'eau potable

Pour la production de l'eau potable plusieurs pays exigent des normes très sévères dont l'élimination totale des virus (l'Afrique du Sud et l'Australie) (LAZAROVA., 1998). Le progrès technologique du métier de l'eau permet de produire une eau de très bonne qualité, même à partir des eaux usées. De nombreuses études permettent l'utilisation des eaux usées d'une manière correcte, si les procédures suivies dans le traitement peuvent éliminer tous les éléments pathogènes (LAZAROVA., 1998). La production d'eau potable est l'aboutissement le plus extrême de la réutilisation des eaux usées épurées. Elle a lieu essentiellement dans les zones arides ou semi-arides, et peut être directe ou indirecte :

Chapitre II : Formes de réutilisation des eaux usées et avantages associés

- 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 (ASANO., 1998). Cependant, ce mode de REUE est déconseillé ; il doit être mis en œuvre uniquement quand aucune autre solution n'est possible (CROOK *et al.*, 1999).

- 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 limite de la définition d'une REUE (CAUCHI., 1996).

- 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 (CAUCHI., 1996).
Le figure 5 indiquée les déférents étapes de la production d'eau potable :

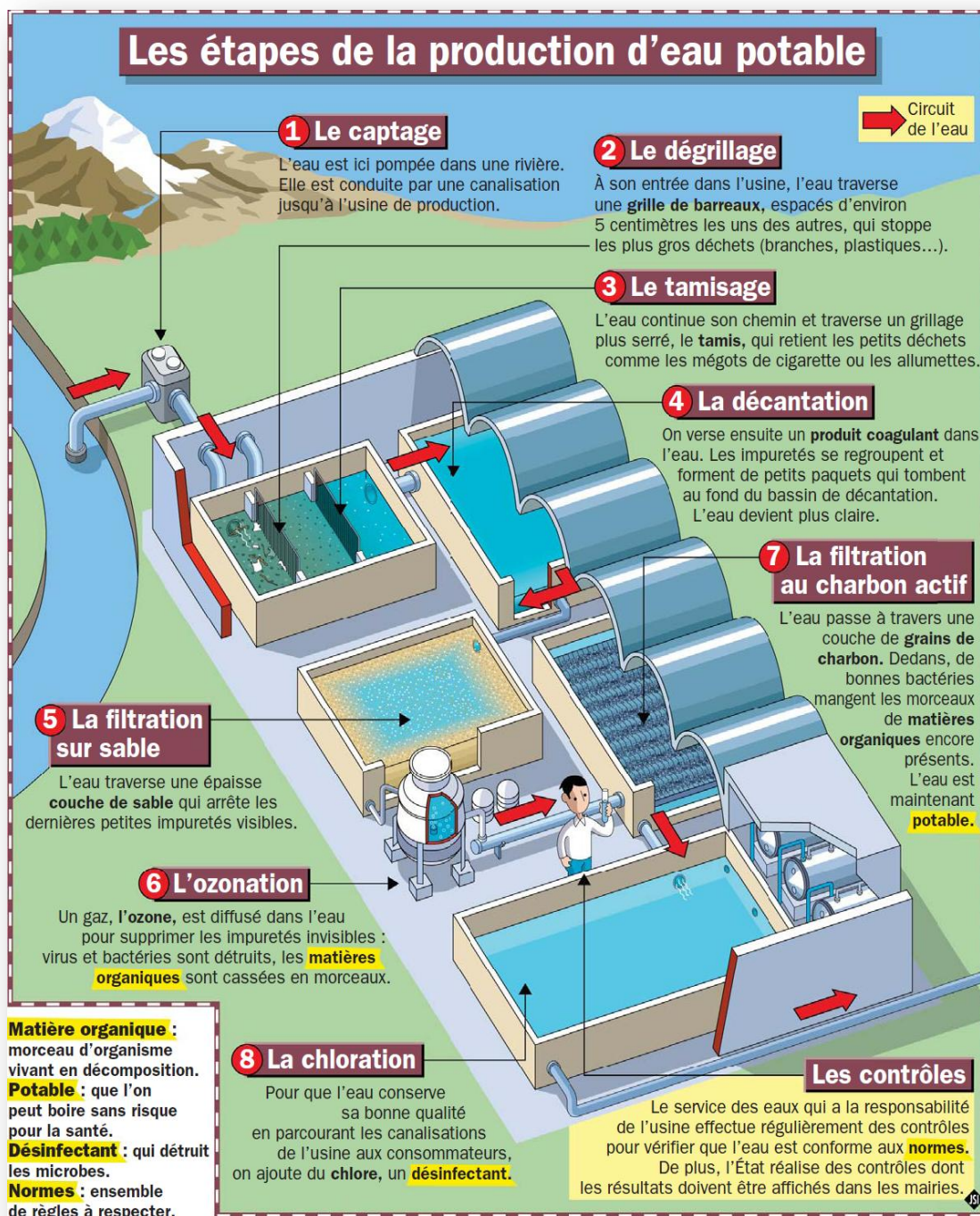


Figure 5 : Les étapes de production de l'eau potable (ANONYME 4., 2015).

I-6. Autres

On peut utiliser les eaux usées dans d'autres secteurs tels que l'aquaculture et la pisciculture. Le tableau ci-dessous regroupe les principales formes de réutilisations des eaux usées et leurs applications :

Tableau 2 : Formes de réutilisation des eaux usées.

(EL RHAZI et HABIB., 2007).

Formes de réutilisation	Application
Production de l'eau potable	Production indirecte d'eau potable Production directe d'eau potable
Irrigation en agriculture	Culture maraîchère Arbre fruitiers Cultures industrielles Aquaculture
Activités récréatives	Augmentation des cours d'eau pour le pêche, natation
Utilisations industrielles	Eau de refroidissement
L'utilisation urbaine	Irrigation de parcs, écoles Golfs, résidences Protection incendie Recyclage en immeuble

Chapitre III

*Risques sanitaires
de l'utilisation des
eaux usées*

III - Risques sanitaires de l'utilisation des eaux usées

III-1. Pollution de l'eau

III-1.1. L'origine de la pollution

La pollution de l'eau connaît différentes origines : naturelle, domestique et agricole. L'origine naturelle implique un phénomène tel que le pluie. Lorsque par exemple l'eau de ruissellement passe à travers des terrains riches en métaux lourds ou encore lorsque les précipitations entraînent les polluants vers le sol (ZEGHOUD., 2013).

L'origine domestique concerne les eaux usées ménagères (salle de bains, cuisine, ... etc.), les eaux vannes (WC...etc.), ainsi que les eaux rejetées par hôpitaux, commerces...etc.

Quant à l'origine agricole et industrielle, elle concerne par exemple les eaux surchargées par des produits issus de l'épandage (engrais, pesticides) ou encore les eaux contaminées par des résidus de traitement métallurgique, et de manière plus générales, par des produits chimiques tels que les métaux lourds, les hydrocarbures ...etc. (AFIR et MEZAOUA., 1984).

III-1.2. Les types de la pollution

III-1.2.1. Pollution physique

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 (BAUMONT *et al.*, 2004).

1. Pollution mécanique

Elles résultent des décharges de déchets et de particules solides apportés par les eaux résiduaires industrielles, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension MES (GALAF., 2003).

2. Pollution thermique

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries...); l'élévation de température qu'elle induit diminue la teneur en oxygène dissous. Elle accélère la

biodégradation et la prolifération des germes. Il se trouve qu'à charge égale, un accroissement de température favorise les effets néfastes de la pollution (GALAF., 2003).

3. Pollution radioactive

La pollution des eaux par des substances radioactive pose un problème de plus en plus grave, à un effet direct sur les peuplements aquatiques en raison de la toxicité propre de ses éléments et des propriétés cancérigènes et mutagènes de ces rayonnements (ZEGHOUD., 2013).

III-1.2.2.Pollution chimique

Elle résulte des rejets chimique, essentiellement d'origine industrielle, domestique et agricole. La pollution chimique des eaux regroupée dans deux catégories :

- Organique (hydrocarbures, pesticides détergents...)
- Minérale (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...)

1. Pollution organique

C'est les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries...), et par les effluents domestique (déjections humaines, graisses...).

La première conséquence de cette pollution est la consommation d'oxygène dissous de ces eaux. Les polluants organiques ce sont principalement les détergents, les pesticides et les hydrocarbures

1.1.Les détergents

Sont des composés tensioactifs synthétiques dont la présence dans les eaux est due aux rejets d'effluent urbains et industriels. Les nuisances engendrées par l'utilisation des détergents sont :

- L'apparition de goût de savon.
- La formation de mousse qui freine le processus d'épuration naturelle ou artificielle.
- Le ralentissement du transfert et de la dissolution de l'oxygène dans l'eau (ZEGHOUD., 2013).

1.2. Les pesticides

On désigne généralement comme des produits utilisés en agriculture, les conséquences néfastes dues aux pesticides sont liées aux caractères suivants :

-Rémanence et stabilité chimique conduisant à une accumulation dans les chaînes alimentaires.

-Rupture de l'équilibre naturel (ZEGHOUD., 2013).

1.3. Les hydrocarbures

Provenant des industries pétrolières et des transports, qui sont des substances peu soluble dans l'eau et difficilement biodégradable, leur densité inférieure à l'eau les fait surnager. En surface, ils forment un film qui perturbe les échanges gazeux avec l'atmosphère (ENCYCLOPEDIE., 1995).

2. Pollution Minérale

La pollution minérale des eaux peut provoquer le dérèglement de la croissance végétale ou trouble physiologique chez les animaux. La pollution Minérale ce sont principalement les métaux lourds et les éléments minéraux nutritifs (MAYET., 1994).

III-2.Évaluation des risques sanitaires

Pour évaluer les risques sanitaires, on fait appel à trois types d'évaluations : analyses chimiques et microbiologiques en laboratoire, études épidémiologiques et évaluation quantitative des risques microbiens. Les eaux usées contiennent divers agents pathogènes, dont un grand nombre sont capables de survivre dans l'environnement (dans les eaux usées, sur les cultures ou dans les sols) suffisamment longtemps pour être transmissibles aux hommes (OMS., 2012).

Les eaux usées représentent un important véhicule d'agents biologiques (parasites, bactéries et virus) et chimiques (métaux lourds surtout) issus de l'activité humaine et/ou industrielle. Dans les zones d'épandages, le rejet de ces eaux usées est intense. Les agents pathogènes peuvent être transmis à l'homme lors du contact direct avec les eaux usées, ou indirectement par la consommation de cultures irriguées avec ces eaux usées, ou encore par des produits d'origine animale (EL RHAZI et HABIB., 2013).

Les activités utilisant des eaux usées peuvent entraîner l'exposition des travailleurs et de leurs familles à des maladies liées aux excréta (notamment la schistosomiase), à des irritants

Chapitre III : Risques sanitaires de l'utilisation des eaux usées

cutanés et à des maladies à transmission vectorielle (en certains endroits). Le traitement des eaux usées est une mesure de lutte contre les maladies liées aux excréta, les irritants cutanés et la schistosomiase, mais n'a guère d'impact sur les maladies à transmission vectorielle. Les communautés locales sont exposées aux mêmes dangers que les travailleurs, notamment si leurs membres ont accès aux champs irrigués par des eaux usées. S'ils n'ont pas accès à une eau de boisson saine, il peut arriver que ces membres utilisent l'eau d'irrigation contaminée pour la boisson ou à d'autres fins domestiques. Il se peut aussi que les enfants jouent ou nagent dans l'eau contaminée. De même, si l'irrigation par des eaux usées entraîne une intensification de la reproduction des vecteurs, les communautés locales peuvent être touchées par des maladies à transmission vectorielle, même si elles n'ont pas d'accès direct aux champs irrigués. Afin d'atténuer ces dangers pour la santé, les communautés locales peuvent recourir aux mesures de protection sanitaire (OMS., 2012).

Tableau 3 : Modèle d'évaluation des risques des eaux usées sur la santé humaine. (OMS., 2012)

Étape	Objectif
1. Identification des dangers	Décrire les effets aigus et chroniques sur la santé humaine associés à un danger particulier quelconque, notamment un agent pathogène ou un produit chimique toxique
2. Caractérisation des dangers	Évaluation de la relation dose-réponse en vue de caractériser la relation entre différentes doses administrées et l'incidence de l'effet sur la santé, y compris les mécanismes sous-jacents et l'extrapolation des systèmes modèles
3. Évaluation des expositions	Déterminer la taille et la nature de la population exposée, ainsi que la voie, l'ampleur et la durée de l'exposition
4. Caractérisation des risques	Combiner les données fournies par les étapes d'identification de l'exposition, de la relation dose-réponse et des dangers pour estimer l'ampleur du problème de santé

	publique et évaluer la variabilité et l'incertitude
--	---

Les eaux usées brutes renferment divers agents pathogènes pour l'homme. Les concentrations de ces agents pathogènes varient d'une région à l'autre et au cours du temps. Si des flambées épidémiques de maladies liées aux excréta se produisent, les concentrations des agents pathogènes responsables peuvent aussi atteindre des valeurs importantes dans les eaux usées et les excréta. De nombreux agents pathogènes sont capables de survivre (et parfois de se multiplier) dans l'environnement (dans l'eau, les plantes ou le sol, par exemple) sur des durées suffisamment longues pour permettre leur transmission aux êtres humains. Plusieurs facteurs influent sur leur dépérissement, dont la température, le degré d'humidité, l'exposition au rayonnement ultraviolet, le temps écoulé, la présence ou l'absence d'hôtes intermédiaires appropriés, le type de végétaux, etc. (OMS., 2012).

III-3. La réponse de l'hôte

La notion de dose minimale infectante (DMI) et de variabilité interindividuelle, correspond à la quantité de pathogènes qui doit être absorbée pour que des symptômes de la maladie se manifestent chez quelques sujets au moins. Elle varie en fonction des espèces de pathogènes. Elle est difficile à établir car elle nécessite l'utilisation de volontaires humains. Des études expérimentales ont permis de déterminer des DMI avec généralement un mode de transmission par voie orale. Les DMI sont très variables selon le type biologique de l'agent : de l'ordre de l'unité pour les helminthes, de la centaine pour les virus et les protozoaires, elles peuvent dépasser le million pour les bactéries. Associée à leur importante capacité de survie dans le milieu extérieur et à leur émission abondante par les selles, la faible DMI des helminthes en fait des pathogènes particulièrement préoccupants. La DMI est différente aussi en fonction des individus et de leur réaction physiologique face à la contamination. La réponse de l'hôte est extrêmement variable, elle dépend des caractéristiques des individus exposés aux pathogènes, comme l'âge, le sexe, voire l'activité professionnelle (Clark et coll., 1981, référencée par Devaux, 1999, qui met en évidence que les travailleurs de station d'épuration sont plus résistants que la population générale). C'est la variabilité interindividuelle. Les personnes immunodéprimées sont particulièrement sensibles et la maladie qu'elles vont développer sera plus grave. De même, les enfants et les personnes âgées, sont plus fragiles face aux infections. Enfin, il peut y avoir une contamination entre individus. La contamination peut avoir lieu à cause d'individus malades, mais les pathogènes

peuvent également être transportés par des porteurs sains, c'est-à-dire des sujets « infectés mais non malades, qui excrètent l'agent pathogène autour d'eux sans que des signes d'alerte en permettent le diagnostic » (DEVAUX., 1999).

III-4. Notion de risque

Trop souvent, l'isolement des agents pathogènes à partir des cultures, du sol ou de l'eau d'irrigation est considéré comme indicateur d'un risque potentiel pour la santé de ceux qui entreraient en contact avec l'élément contaminé. Parfois, l'isolement même d'un germe non (ou exceptionnellement) pathogène, mais utilisé comme marqueur usuel de contamination (par exemple : *Escherichia coli*), suffit pour considérer que le risque est réel, on distingue trois niveaux de risque (EL RHAZI et HABIB., 2013).

III-4.1. Le risque sur la santé

Le principal risque à la santé lié à l'utilisation des eaux usées municipales pour l'irrigation est sans contredit la contamination microbienne. Les eaux usées contiennent une multitude d'organismes pathogènes pour l'humain tels que des bactéries, (ex. : *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Pseudomonas*, *Campylobacter*), des virus (ex. *Entérovirus*, *Adénovirus*, *Coronavirus*, *Rotavirus*, *Virus de l'hépatite A et E*) ainsi que des parasites (ex. : *Giardia* et *Cryptosporidium*) (US EPA., 2004). Ces micro-organismes pathogènes peuvent survivre quelques jours, semaines ou mois dans le sol ou sur des terres en culture sur lesquels des eaux usées auraient été déversées (OECD., 2005). Les risques à la santé liés à ces agents sont principalement des infections entériques. Certains agents microbiens peuvent causer des infections respiratoires, cutanées, oculaires ou encore plus sévèrement, occasionner une hépatite.

Certaines personnes vulnérables sont particulièrement susceptibles aux infections soit : les enfants de moins de 5 ans, les personnes âgées et les personnes immunodéprimées. En plus d'être plus sensibles aux infections par les micro-organismes pathogènes, ces personnes vulnérables peuvent développer des maladies suite à l'exposition à des organismes qui ne représentent habituellement pas de risque pour les individus en bonne santé (INSPQ., 2003).

Les voies d'exposition aux agents infectieux lors de l'utilisation du procédé d'irrigation avec des eaux usées traitées sont l'ingestion involontaire (ex. : contact des mains, sur les surfaces arrosées, que l'on porte à la bouche par la suite, consommation d'aliments qui auraient été en contact avec l'eau réutilisée, proximité de sources d'alimentation en eau potable) et l'inhalation (aérosols dispersés vers les utilisateurs du terrain ou la population environnante). L'exposition par la peau demeure possible mais elle est très limitée.

Relativement à la dispersion des agents pathogènes par le vent, lors de l'utilisation de gicleurs, il a été observé que les aérosols peuvent être transportés à de grandes distances. À titre d'exemple, des entérovirus ont été retrouvés à 100 mètres sous le vent de champs irrigués par aspersion d'eaux usées (SCHWARTZBROD., 2000).

Selon le type de micro-organismes, la dose infectieuse, c'est-à-dire le nombre d'agents pathogènes nécessaires pour provoquer la maladie, est très variable. En général, la dose nécessaire est plus faible dans le cas des virus et des protozoaires qu'avec les bactéries. Ainsi, l'ingestion de 1 à 10 particules virales ou de quelques kystes de protozoaires peut provoquer la maladie alors qu'une concentration de 10^3 à 10^6 organismes est nécessaire dans le cas de certaines bactéries (fonction du type de pathogènes) (NRMMC., 2005).

III-4.2. Le risque théorique ou potentiel

Découle de la présence ou de l'absence d'un microorganisme dans le milieu étudié. Celui-ci peut être un sol, une culture, une eau d'irrigation ou un effluent brut ou épuré. Cette évaluation purement qualitative, de présence ou d'absence de microorganismes pathogènes, est une indication microbiologique qui constitue une étape de l'identification du risque, mais qui ne pourrait être assimilée au risque pour l'homme de contracter une infection. En effet, l'homme pourrait être en contact permanent avec une variété de microorganismes pathogènes sans en être nécessairement affecté. Leur présence est une condition nécessaire mais non suffisante pour déclencher l'apparition d'une pathogénie. Le risque potentiel comprend lui-même le risque théorique. Le risque théorique, également appelé danger, est défini par le critère d'absence ou de présence d'un contaminant (micro-organisme, métal lourd, etc.). Il dépend de la population qui produit les eaux usées et d'autres facteurs (présence de rejet industriel, réseau unitaire, etc.). Les différents dangers liés à la composition des eaux usées ont déjà été abordés dans la première partie (DEVAUX., 1999).

III-4.3. Le risque expérimental

Le risque expérimental est le risque que le contaminant soit transmis à un individu. Il dépend de la dose de départ, de l'efficacité du traitement, de la capacité de survie (pour les microorganismes) ou de rétention (pour les micropolluants), et de la dose minimale nécessaire pour contaminer un individu (dose infectante pour les micro-organismes et seuil de toxicité pour les micropolluants). Pour les micro-organismes, des facteurs particuliers interviennent, comme la latence ou la multiplication dans l'environnement. Quant aux micropolluants, leur

passage dans le milieu naturel peut les dégrader en produits plus ou moins dangereux et aux propriétés souvent inconnues (DEVAUX., 1999).

Les agents pathogènes en question doivent survivre en quantité suffisante et être présents dans le milieu à une concentration compatible avec la dose infectante. Celle-ci se définit en tant que quantité de microorganismes nécessaire pour provoquer l'infection d'un individu sensible. Elle est faible pour les parasites (un seul œuf d'ascaris est suffisant pour engendrer une infection) mais souvent grande pour certaines bactéries telles que *Salmonella* (FEACHEM *et al.*, 1983).

III-4.4. Le risque réel

Le risque réel « correspond à la probabilité [d'être contaminé] dans une population exposée ». Il dépend des facteurs liés au risque potentiel, et dépend également des « capacités immunitaires de l'individu (naturelles ou acquises), ainsi que d'autres facteurs comme l'âge, le sexe, l'état de santé, la nutrition, l'hygiène et la capacité diagnostique (clinique, sérologique et portage) des acteurs de santé. » (BAUMONT *et al.*, 2004).

Le risque réel est le risque de contracter la maladie, observé par l'épidémiologiste dans une population exposée. Il est différent du risque expérimental en ce sens qu'il introduit dans la chaîne épidémiologique les déterminants de l'environnement physique et social susceptibles de modifier l'exposition des individus au risque. Il tient compte aussi de la notion d'immunité individuelle acquise par les membres de la communauté, et de celle du ratio « population réceptive/population immune » dans cette communauté. L'immunité ainsi que d'autres facteurs de susceptibilité ou de résistance appelés « facteur d'hôte », modifient l'expression du risque expérimental dans une communauté. Le risque réel intègre en fait le langage épidémiologique appelé risque attribuable. Celui-ci est représenté par le nombre de cas d'infections supplémentaires enregistrés dans une communauté utilisant les eaux usées par rapport à l'époque où elle n'y recourait pas. C'est aussi, le nombre de cas supplémentaires observés dans une communauté utilisant des eaux usées par rapport à une autre qui n'en est différente que par cette seule pratique. Par exemple, si l'agent pathogène dont on veut évaluer le risque est présent dans l'environnement comme polluant habituel, le risque lié aux eaux usées ne sera qu'un facteur secondaire d'exposition. La réutilisation même à l'état brut des eaux usées, jouerait un rôle mineur de contamination de l'environnement, comparé aux autres modes de propagation. Le risque attribuable serait donc faible (AIT MELLOUL., 1999).

III-5. Danger microbiologique

Le danger infectieux peut être estimé par la prévalence. Il s'agit du pourcentage des individus infectés dans une population pendant un certain temps donné. Elle donne la fréquence de la maladie au sein de la population. La détermination de la prévalence donne une information importante sur les mesures préventives à entreprendre. Le danger microbiologique est dû aux agents pathogènes véhiculés par les eaux usées (parasites, bactéries et virus) (EL RHAZI et HABIB., 2007).

Dans le cas de l'agriculture, il est prouvé depuis longtemps que les micro-organismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes. Les micro-organismes se retrouvent donc à la surface des plantes et sur le sol. Les feuilles et la plante créent un environnement frais, humide (évaporation) et à l'abri du soleil. Il peut donc y avoir une contamination pendant la croissance des plantes ou la récolte. Les pathogènes survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes. Des cas de contaminations fécales par l'intermédiaire de produits végétaux arrosés par des eaux usées brutes ont déjà été mis en évidence, même si cet exercice est difficile. De la même manière. Des infections ont été observées chez les consommateurs : infections parasitaires (ascaris, trichocéphales) et par des bactéries à dose infectante élevée. Le risque est donc avéré et assez important dans le cas de la réutilisation d'eaux brutes. Il paraît donc indispensable d'utiliser des eaux traitées. Le mode d'irrigation a une influence directe sur le risque : ainsi, l'irrigation souterraine ou gravitaire peut nuire à la qualité des eaux souterraines et de surface. Des contaminations directes peuvent avoir lieu lors de la maintenance du système d'irrigation. L'irrigation par aspersion crée des aérosols qui peuvent être contaminants (ASANO., 1998).

III-5.1. Les parasites dans les eaux usées

5.1.1. Protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. Les 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 (ELRHAZI et HABIB., 2007).



Figure 6 : *Cryptosporidium parvum* vu au microscope électronique (CATHERINE *et al.*, 2009).

5.1.2. Les helminthes

Les helminthes sont des vers multicellulaires. Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites. Les œufs d'helminthes sont très résistants et peuvent notamment survivre plusieurs semaines voire plusieurs mois sur les sols ou les plantes cultivées. La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 10³ œufs/l (FABY et BRISSAUD., 1997).



Figure 7 : *Helminthe* vu au microscope électronique (pas d'échelle) (CATHERINE *et al.*, 2009).

Chapitre III : Risques sanitaires de l'utilisation des eaux usées

Le tableau 4 regroupe les principaux protozoaires et helminthes que l'on trouve dans les eaux usées, avec les pathologies qui leur sont associées, éventuellement le nombre moyen de parasites que l'on trouve dans un litre d'eau usée et la voie de contamination principale du pathogène.

Tableau 4: Les parasites pathogènes dans les eaux usées (ASANO., 1998).

Organisme	Symptômes et maladie	Nombre pour un litre	Voies de contamination principales
Protozoaires	Dysenterie amibienne	4	Ingestion
<i>Entamoebahistolytica</i>	Diarrhée, malabsorption	125 à 100 000	Ingestion
<i>Giardia lamblia</i>	Diarrhée bénigne, ulcère du colon	28-52	Ingestion
<i>Balantidium Coli</i>	Diarrhée	0,3 à 122	Ingestion
<i>Cryptosporidium</i>	Toxoplasmose ganglions, faible fièvre		Inhalation / Ingestion
<i>Toxoplasma gondii</i>	Diarrhée, légère fièvre, perte de poids		Ingestion
<i>Cyclospora</i> <i>Microsporidium</i>	Diarrhée		Ingestion
Helminthes	Ascariadiase : diarrhée, troubles nerveux	5 à 111	Ingestion
<i>Ascaris</i>	Anémie	6 à 188	Ingestion / Cutanée
<i>Ancylostoma</i>	Anémie		Cutanée

<i>Necator</i>	Diarrhée, douleurs musculaires		Ingestion de viande
<i>Tænia</i>	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

III-5.2. Les Bactéries dans les eaux usées

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 μ m. La quantité moyenne de bactéries dans les fèces est d'environ 10^{12} bactéries/g (ASANO., 1998). La majorité de ces bactéries ne sont pas pathogènes. Cependant, chez un hôte infecté, le nombre de bactéries pathogènes peut être très important. Les bactéries entériques sont adaptées aux conditions de vie dans l'intestin, c'est-à-dire une grande quantité de matière carbonée et de nutriments, et une température relativement élevée (37°C). Leur temps de survie dans le milieu extérieur, où les conditions sont totalement différentes, est donc limité. Par ailleurs, les bactéries pathogènes vont se trouver en compétition avec les bactéries indigènes, ce qui limitera leur développement.

Les eaux usées contiennent en moyenne 10^7 à 10^8 bactéries/ml. La concentration en bactéries pathogènes est de l'ordre de 10^4 /l. Le nombre de germes peut être multiplié par 1 000 dans les eaux de rivières après un rejet urbain (FABY et BRISSAUD., 1997).

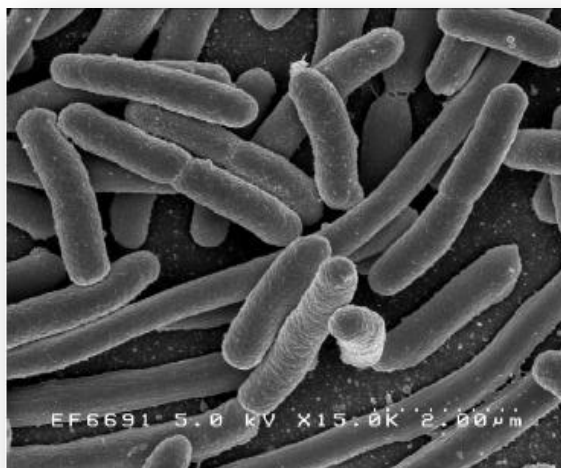


Figure 8 : *Escherichia coli* vues au microscope électronique (CATHERINE *et al.*, 2009).

La voie de contamination majoritaire est l'ingestion, comme le montre le tableau 05, Les bactéries pathogènes d'origine hydrique sont responsables de la mort de 3 à 10 millions de personnes par an dans le monde.

Tableau 5 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées

D'après (ASANO., 1998).

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

Chapitre III : Risques sanitaires de l'utilisation des eaux usées

<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-5.3. Les Virus dans les eaux usées

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. 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 *Coronavirus* où elle peut aussi avoir lieu par inhalation. Dans le tableau 07 sont recensés la plupart des virus que l'on peut trouver dans les eaux usées, avec les symptômes de la maladie qui leur est associée, éventuellement le nombre moyen de virus que l'on trouve dans un litre d'eau usée et la voie de contamination principale (ELRHAZI et HABIB., 2007).

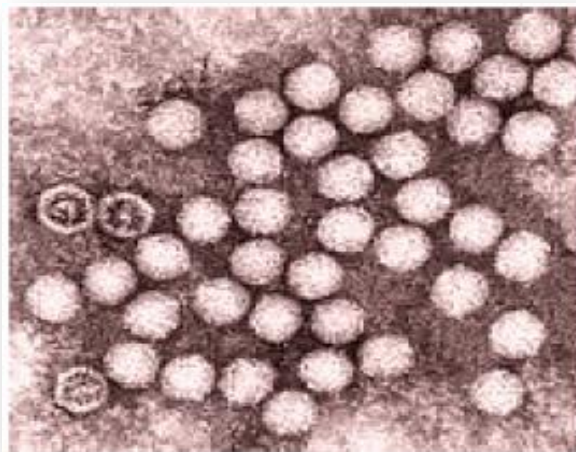


Figure 9 : *Entérovirus* vus au microscope électronique (pas d'échelle) (CATHERINE *et al.*, 2009).

Tableau 6 : Les virus dans les eaux usées.

D'après (ASANO., 1998).

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre d'eau usée	Voies de contamination principales
<i>Virus de l'hépatite A</i>	Hépatite A		Ingestion
<i>Virus de l'hépatite E</i>	Hépatite E		Ingestion
<i>Rotavirus</i>	Vomissement, diarrhée	400 à 85 000	Ingestion
<i>Virus de Norwalk</i>	Vomissement, diarrhée		Ingestion
<i>Adénovirus</i>	Maladie respiratoire, conjonctivite, vomissement, diarrhée		Ingestion
<i>Astrovirus</i>	Vomissement, diarrhée		Ingestion
<i>Caliciviru</i>	Vomissement, diarrhée		Ingestion
<i>Coronavirus</i>	Vomissement, diarrhée		Ingestion / inhalation
<i>Réovirus</i>	Affection respiratoire bénigne et Diarrhée		Ingestion
<i>Entérovirus :</i>	Poliovirus Paralysie, méningite, fièvre	182 à 492 000	Ingestion

Chapitre III : Risques sanitaires de l'utilisation des eaux usées

<i>Coxsackie A</i>	Méningite, fièvre, pharyngite, maladie respiratoire		Ingestion
<i>Coxsackie B</i>	Myocardite, anomalie congénitale du coeur (si contamination pendant la grossesse), éruption cutanée, fièvre, méningite, maladie respiratoire		Ingestion
<i>Echovirus</i>	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, rash, diarrhée, fièvre		Ingestion
<i>Entérovirus</i>	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, conjonctivite hémorragique aiguë, fièvre	68-71	Ingestion

III-6. Les dangers chimiques

Les industries rejettent dans l'environnement des polluants chimiques comme les métaux lourds, causant des effets nocifs en pathologie humaine avec dans certains cas des phénomènes toxiques. Entre 1953 et 1960 à MINAMATA au Japon, 111 personnes sont mortes ou ont été gravement intoxiquées à la suite de l'absorption de poissons, mollusques et crustacés renfermant des taux élevés de mercure organique. La maladie de ITAI-ITAI ou OUCH-OUCH au Japon, résultant d'une contamination par le cadmium. Depuis, l'idée d'une intoxication chronique causée par les métaux lourds a pris naissance chez les écotoxicologues et les toxicologues (EL RHAZI et HABIB., 2007).

Chapitre IV

Recommandations et les Traitements

IV- Les biotechnologies appliquées dans le traitement des eaux usées

IV-1.L'assainissement de l'Antiquité à nos jours

De nos jours l'assainissement des eaux usées domestiques et industrielles est perçu comme une évidence, aussi bien pour la protection de notre santé que pour la préservation de l'eau en tant qu'écosystème. La collecte et le traitement des eaux usées ont suivi, à la fois, le mode de vie des sociétés au fil de l'histoire, mais également les découvertes scientifiques. D'un point de vue historique la croissance démographique et le développement des villes ont imposé la nécessité de fournir aux citoyens une eau saine de « bonne qualité ». La protection de la santé publique a fait l'objet de nombreux efforts, avec notamment la dépollution des eaux usées, depuis plusieurs générations. Scientifiquement, la prise de conscience des problèmes de santé publique et la compréhension des causes d'épidémies, telles que le choléra, la peste et le typhus, ont entraîné la construction d'infrastructures et le développement de procédés, de plus en plus sophistiqués, permettant de mettre un terme à ces problèmes (LE HYARIC., 2009).

IV-2.L'épuration des eaux usées en Algérie

En Algérie, peu d'importance est accordée à la couverture des services d'assainissement, comparée à la couverture des services d'approvisionnement en eau et encore moins d'importance est accordée à l'épuration. En effet, pour un taux de couverture du réseau d'assainissement de l'ordre de 85 %, seules 20 % des eaux usées collectées en Algérie sont traitées. Le volume annuel des eaux usées est estimé à 600 millions de m³, dont quelques 550 millions de m³ correspondent aux agglomérations de taille supérieure à 50 000 habitants (HARTANI., 2004). Au cours de ces dernières années, le Ministère des ressources en Eau (MRE) a entrepris la mise en œuvre d'un important programme d'investissement concernant la réalisation de 84 stations d'épuration (STEP) et la réhabilitation de 15 autres, dont deux en exploitation. Ceci a porté le nombre actuel des STEP existantes et en exploitation de 46 à 138 avant la fin 2008. À noter aussi que 56 STEP sont actuellement en cours d'étude ou en étude de réhabilitation, et dont le lancement des travaux a été prévu pour le moyen terme (2007-2010), ce qui a permis d'atteindre un parc de 194 STEP à l'horizon 2010 (ATTAB., 2011).

IV-3.Les grandes étapes du traitement

Nous venons de voir que la composition d'une eau usée est très diversifiée suivant son origine, chaque installation est par conséquent conçue pour répondre à un besoin spécifique. Les technologies utilisées se développent et se perfectionnent constamment par la recherche de technologies ou de procédés nouveaux et par la mise en place de nombreux automatismes

Chapitre IV : Recommandations et les Traitements

pouvant diminuer efficacement la dégradation environnementale de ressources précieuses en eau et détruire les agents pathogènes humains potentiels (PRESCOTT *et al.*, 2007).

Les quatre étapes principales du traitement de la digestion anaérobie de composés organiques sont détaillées sur la figure 10.

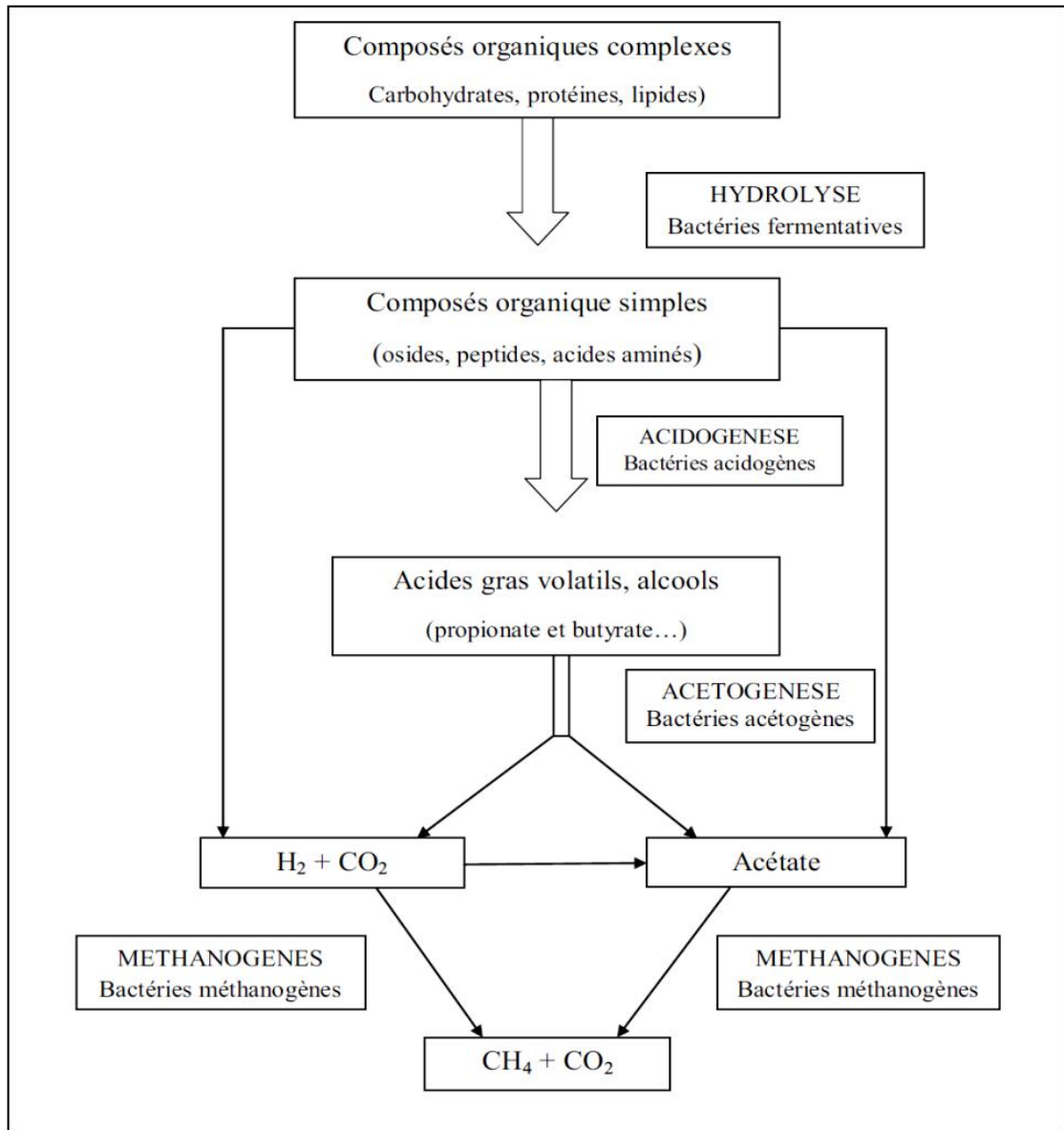


Figure 10 : Représentation schématique des différentes étapes de la digestion anaérobie de composés organiques (ATTAB., 2011).

IV-3.1. Le prétraitement

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

Il comprend :

3.1.1. Dégrillage

Il permet de filtrer les objets ou les débris les plus grossiers véhiculés par les eaux usées. Son principe consiste à faire passer l'eau brute à travers des grilles composées de barreaux placés verticalement ou inclinés de 60° à 80° sur l'horizontal. Le choix d'espacement des barreaux de la grille est défini par la taille et la nature des déchets acceptés par la STEP. Un espacement de 10mm (dégrillage fin) maximum est utilisé pour protéger les filières d'épuration des eaux ou des boues spécifiques (décantation lamellaire, centrifugation...). Plus communément, l'espacement des barreaux est de 2,0 à 2,50 cm pour un dégrilleur mécanique et 3 à 4 cm pour un dégrilleur manuel.

La vitesse moyenne de passage de l'eau entre les barreaux est comprise entre 0,6 et 1 m/s. Les déchets récupérés sont compactés afin de réduire leur volume puis stockés dans une benne avant d'être envoyés vers une filière de traitement adapté (ATTAB., 2011).

3.1.2. Dessablage

Les matières minérales grossières en suspension tels que les sables et les graviers, dont la vitesse de chute est inférieure à 0,3 m/s, susceptibles d'endommager les installations en aval, vont se déposer au fond d'un dessableur par décantation. Il faut 60 secondes à l'eau pour traverser le dessableur et éliminer 90% du sable qui ensuite récupéré par un râteau mécanique et poussé dans un centenaire d'évacuation (ATTAB., 2011).

3.1.3. Déshuilage dégraissage

Le déshuilage est une extraction liquide-liquide tandis que le dégraissage est une extraction solide-liquide. On peut considérer que le déshuilage dégraissage se rapporte à l'extraction de toutes matières flottantes d'une densité inférieure à celle de l'eau. Ces matières sont de nature très diverses (huiles, hydrocarbures, graisses...) (ATTAB., 2011).

Elles peuvent former une émulsion stable entretenue par le brassage de l'eau ou constituer une phase indépendante non émulsionnée. Le déshuilage complet nécessite en fait un traitement en deux stades:

-Pré-déshuilage, par opération physique gravitaire sans adjonction de réactifs, réduisant la teneur en HC à environ 15 à 100mg/l, il s'effectue par flottation naturelle des vésicules huileuses émulsionnées. Si l'émulsion n'est pas trop fine (particules supérieures à 50µm). Il est réalisé dans différents types d'appareils: déshuileurs longitudinaux conventionnels, à plaques parallèles et circulaires raclés.

-Déshuilage final: flottation par air dissous où les bulles d'air augmentent la vitesse de remontée des particules grasses et des huiles lorsqu'elles ne sont pas émulsionnées, ou

coagulation par sels métalliques ou par électrolytes permettant d'obtenir l'épuration complète (ATTAB., 2011).

IV-3.2. Le traitement primaire

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

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

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

-La décantation associée à l'utilisation d'un coagulant- flocculant (voie physicochimique) : le principe est ici de favoriser l'agrégation des molécules en suspension grâce aux techniques de coagulation et de floculation de façon à augmenter la sédimentation grâce à l'obtention de floccs plus gros (ATTAB., 2011).

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

IV-3.3. Le traitement secondaire

Parmi les traitements secondaires, le traitement aux boues activées est le plus efficace des traitements biologiques car il élimine de 60% à 90% des virus présents. Les filtres lents et les bassins de stabilisation donnent des résultats variables, mais des bassins multicellulaires bien conçus peuvent éliminer de 80% à 90% des virus (OMS., 1979).

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

Le principe de ce traitement est de mettre en contact la matière organique contenue dans les eaux usées avec une population bactérienne. Celle-ci assimile alors la matière organique pour son propre développement. Ces dispositifs permettent d'intensifier et de localiser sur des surfaces réduites les phénomènes de transformation et de dégradation des matières organiques

tels qu'ils se produisent en milieu naturel. Ils sont la reconstitution d'un écosystème simplifié et sélectionné faisant intervenir une microflore bactérienne et une microfaune de protozoaires et de métazoaires (BASSOMPIERRE., 2007).

Les procédés de traitement secondaires sont fondés sur la digestion microbienne à la fois en présence ou en absence d'oxygène pour réduire la concentration en matières organique (MADIGAN *et* MARTINKO., 2007). Plusieurs techniques peuvent être distinguées, le choix de l'une ou l'autre est fonction de l'emplacement disponible pour le procédé de traitement, de la charge de l'effluent et de la quantité de pollution à traiter.

Du fait que les micro-organismes, les plus actifs, sont les bactéries qui conditionnent en fonction de leur modalité propre de développement, les procédés biologiques de traitements, peuvent être classés en procédés aérobies et anaérobies (VILAGINES, 2003).

3.3.1. Le traitement secondaire anaérobie

La digestion anaérobie a été découverte il y a plus de trois siècles. C'est en 1630 que des scientifiques ont pour la première fois constaté qu'un gaz inflammable pouvait se dégager d'une matière organique en décomposition (KALOGO, 1999).

Le traitement secondaire anaérobie est un processus microbiologique de conversion de la matière organique, faisant intervenir essentiellement des populations bactériennes (*Bacteria* et d'*Archaea*), ainsi que des protozoaires et quelques champignons anaérobies. (EFFEBI., 2009).

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

Le principe de la digestion anaérobie est décrit comme la conversion de la matière organique en biomasse et en biogaz, composé essentiellement de méthane (CH₄) et de gaz carbonique (CO₂). La digestion anaérobie (figure 6) d'un produit organique complexe comporte quatre étapes différentes, à savoir : l'hydrolyse, l'acidogène, l'acétogène et la méthanogène (EFFEBI., 2009).

Grâce à l'action des microorganismes anaérobies présents, les composés macromoléculaires des eaux usées sont d'abord digérés par des poly saccharases, des protéases et des lipases pour donner des composés solubles. Ces derniers sont alors fermentés pour fournir un mélange d'acides gras volatils, qui sont ensuite fermentés en acétate, CO₂ et

H₂, ces produits sont alors utilisés comme substrats par les *Archaea* méthanogènes, capables de réaliser les réactions suivantes :

- $\text{CH}_3\text{COOH} = \text{CH}_4 + \text{CO}_2$
- $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 = \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$. (MADIGAN et MARTINKO., 2007).

Ce type de fermentation est une opération délicate qui demande une surveillance importante. En effet, la température doit être maintenue à un niveau très stable et suffisamment élevé. Il faut aussi éviter les écarts brutaux de pH et les substances inhibitrices du développement bactérien, à titre d'exemple : les cyanures, les sels de métaux lourds et les phénols (VILAGINES., 2003).

D'emblée on peut rappeler que les systèmes de traitement anaérobie sont réputés plus économiques que les systèmes aérobies du fait de l'économie d'énergie, de la faible production de boue, et la possibilité de réutiliser le biogaz produit, qui est converti parfois en énergie électrique ou mécanique (EFFEBI., 2009).

3.3.2 .Les traitements secondaires aérobies

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

3.3.2.1. Les procédés aérobies à culture fixée

- Le lit bactérien ou granulaire

Ruissellement de l'eau à traiter sur le support, ne nécessite pas de clarificateur en ce qui concerne le lit granulaire, coûts de fonctionnement faibles, rendement moyen pour un lit bactérien et bon pour un lit granulaire, chocs toxiques supportés, fonctionnement stable, risque de colmatage ;

- Les bios disques

Biomasse fixée sur des disques tournants au sein du mélange à traiter, coûts de fonctionnement faibles, efficace à faible charge uniquement, sensible aux conditions climatiques (lessivage du bio film par la pluie) (BASSOMPIERRE., 2007).

3.3.2.2. Les procédés aérobies à culture libre

- Le lagunage

L'effluent prétraité séjourne pendant une durée allant de plusieurs semaines à plusieurs mois, dans des bassins peu profonds mais de grande surface.

L'épuration biologique est assurée par les microorganismes se développant dans le milieu grâce à l'oxygène de la photosynthèse des algues (lagunage naturel) ; le cas échéant, par aération artificielle : lagunage aéré par l'insufflation d'air. Ce procédé permet également la stabilité des boues produites. En raison de sa simplicité d'exploitation et de son efficacité, cette technique connaît un essor important dans les pays en voie de développement et également en Europe, pour le traitement des eaux usées des communes rurales (ALTMAYER *et al.*, 1990).

- Les boues activées

Traitement en deux phases, contact de la biomasse et de l'eau usée dans un réacteur puis séparation des solides de la phase liquide épurée par décantation. Le processus d'épuration par boues activées est le plus répandu. Son développement est dû à ses excellentes performances de dépollution (rendement supérieur à 95 %) par rapport aux autres procédés existants. En contre partie, suivant le type d'effluents à traiter, ce procédé peut être difficile à maîtriser notamment pour le traitement de l'azote et du phosphore ou en cas de variations importantes des flux à traiter (CARDOT., 1990).

3.3.2.3. Les procédés à culture hybride

Résultant, comme nous l'avons vu précédemment, du couplage d'un système à culture libre avec un système à culture fixée au sein du même réacteur, sont proposés et utilisés pour le traitement des effluents de petites municipalités (TIZGHADAM., 2007). L'avantage principal des procédés hybrides est de permettre des possibilités de traitement plus élevé sans nécessiter d'augmenter le volume de bassin d'aération (GERMAIN *et al.*, 2007). Deux grandes familles de bioréacteurs à membrane :

- les bioréacteurs à membrane externes : installés à l'extérieur du bassin d'aération.
- les bioréacteurs à membrane immergées : installés à l'intérieur du bassin d'aération.

(DEGREMONT., 2005).

La diversité des technologies et l'efficacité de chacune d'entre elles, permet également de concevoir des filières adaptées à chaque besoin spécifique dans le but d'atteindre le juste coût économique (CORSIN et LE STRAT., 2007).

IV-3.4. Le traitement tertiaire

Certains rejets d'eaux traitées sont soumis à des réglementations spécifiques concernant l'élimination d'azote, de phosphore ou des germes pathogènes, qui nécessitent la mise en œuvre de traitements tertiaires (FRANCK., 2002). Il regroupe toutes les opérations physiques et chimiques qui complètent les traitements primaires et secondaires (OUALI., 2001).

3.4.1. L'élimination de l'azote

Les stations d'épuration n'éliminent qu'environ 20 % de l'azote présent dans les eaux usées, par les traitements de nitrification – dénitrification. Pour satisfaire aux normes de rejet en zones sensibles, des procédés physiques et physico-chimiques complémentaires permettent l'élimination de l'azote par : électrodialyse, résines échangeuses d'ions, "stripage" de l'ammoniaque, mais ces traitement ne sont pas utilisés dans le traitement des eaux résiduaires urbaines, pour des raisons de rendement et de coût (FRANCK., 2002).

3.4.2. L'élimination du phosphore

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

3.4.3. La désinfection

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

3.4.3.1. Le chlore

Est un oxydant puissant qui réagit à la fois avec des molécules réduites et organiques, et avec les micro-organismes (BAUMONT *et al.*, 2005). Les composés utilisés dans le traitement des eaux usées sont : le chlore gazeux (Cl_2), l'hypochlorite de sodium (NaClO) appelé communément "eau de Javel",

L'hypochlorite de calcium $\text{Ca}(\text{ClO}^2)$, le chlore de chaux (CaCl , OCl) et le chlorite de sodium (NaClO_2) (OUALI., 2001).

3.4.3.2. L'ozone (O_3)

Est un oxydant puissant, la désinfection par l' O_3 est utilisée aux Etats-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 (LAZAROVA., 2003). Les tests de toxicité effectués sur des poissons, des crustacés et des algues n'ont pas permis de mettre en évidence une quelconque toxicité (CAUCHI., 1996).

Ces durées étant bien évidemment beaucoup trop grandes. Les colloïdes peuvent même traverser un filtre très fin, ils sont les principales causes de la turbidité et la couleur d'une eau.

3.4.4. L'épuration physicochimique

Le traitement tertiaire inclut un ou plusieurs des processus suivants :

*Désinfection par le chlore ou l'ozone (pour éliminé les germes pathogènes).

*Neutralisation des métaux en solution dans l'eau : en faisant varier le pH de l'eau dans certaine plages, on obtient une décantation de ces polluants (ZEGHOUD., 2013)

Et aussi si la décantation se faisait directement après le prélèvement dans le milieu aquatique, le temps de décantation d'un gravier dans un mètre d'eau serait d'une seconde par la seule influence de son poids, on passerait à 2 minutes pour le sable fin, à 2 heures pour l'argile, à 8 jours pour une bactérie et de 2 à 200 ans pour un colloïde.

Ilya d'autres classements du traitement des eaux usées selon le type du traitement :

IV-4.Traitement bactériologique par rayonnement UV

Les rayons UV font partie des radiations non visibles émises par le soleil, de longueur d'onde comprise entre 100 et 400 nm (1 nanomètre ou nm = 10⁻⁹ mètre soit 1 milliardième de mm). Les UVC (longueur d'onde de 200 à 280 nm) ont le plus fort effet in activateur sur les micro-organismes (souvent appelé effet germicide). Ils inactivent : les bactéries, les virus, les champignons, les levures, les algues... En traversant la membrane de ces micro-organismes, ils détruisent les molécules d'ADN (GODART., 2011).

L'effet maximal est obtenu à la longueur d'onde de 254 nm. Il s'agit d'une action dite photochimique. En présence d'ozone ou de peroxyde d'hydrogène, le rayonnement UV engendre des radicaux (notés OH) qui occasionne des oxydations supplémentaires. Les lampes UV à basse pression ont un spectre de rayonnement de 200 à 315 nm centré sur la longueur d'onde 254 nm ; elles sont utilisées pour les débits inférieurs à 50 m³/ h. Au-delà, on préfère les lampes à moyenne pression.

Les règles générales d'utilisation de cette technique ont été fixées par la circulaire du 19 janvier 1987 du ministère de la Santé.

IV-4.1.Fonctionnement d'une installation UV

Une lampe à vapeur de mercure produit le rayonnement ultraviolet. Cette énergie est obtenue par vaporisation du mercure dans l'ampoule, sous l'effet d'un arc électrique.

La lampe UV n'est pas en contact direct avec l'eau à traiter mais est contenue dans une gaine protectrice en quartz. Le quartz assure une excellente transmission des rayons ultraviolets (95 % environ). Cette gaine en quartz a pour but de créer un matelas d'air entre la lampe UV et l'eau à traiter. Ce matelas d'air joue le rôle d'écran thermique. Le rendement de

la lampe UV et son pouvoir désinfectant sont ainsi préservés des changements de température (GODART., 2011).

IV-4.2. Avantages et inconvénients du rayonnement UV

*** Avantages**

- Pas d'utilisation de produit chimique donc absence totale de toxicité (pas de risque de surdosage) ;
- Absence de formation de sous-produits ;
- Action bactéricide et virulicide importante ;
- Pas de modification des caractéristiques physico-chimiques de l'eau ;
- Elimination des problèmes de stockage de réactifs, de transport et de manutention ;
- Pas d'usure mécanique (pas de pièces en mouvement) ;
- Ne nécessite pas de bêche de contact, son action est instantanée.

*** Inconvénients :**

- Contrairement à la désinfection par le chlore et ses dérivés, une eau traitée par UV ne contient pas une dose résiduelle de produit désinfectant :
 - On peut donc craindre une dégradation de la qualité microbiologique des eaux en aval du traitement dans le réseau de distribution,
 - Ce procédé ne peut être utilisé que pour des réseaux en bon état et régulièrement entretenus (nettoyage des réservoirs, purges...), ou comme désinfection primaire ;
 - Le coût d'investissement est plus important que celui de la chloration ;
 - Aucune analyse d'exploitation immédiate sur le réseau ne permet de vérifier le bon fonctionnement de l'installation (GODART., 2011).

IV-5. La filtration

Est un procédé physique qui permet de retenir les microorganismes par rétention à l'aide d'un filtre. Qu'elle soit réalisée sur sable ou sur membrane, cette technique exige une épuration secondaire préalable garantissant une élimination assez poussée des matières en suspension (CSHPF., 1995).

L'élimination des virus, des bactéries et des protozoaires 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 (FABY et BRISSAUD., 1997).

IV-5.1. Lagunes de finition

Le lagunage naturel "tertiaire" assure l'exposition des microorganismes pathogènes au rayonnement solaire. Ce rayonnement provoque une destruction des germes d'autant plus

efficace que le temps de séjour des eaux traitées dans la lagune est élevé. Cependant, l'efficacité de ce traitement s'amointrit lorsque l'exposition aux rayons du soleil se réduit. (CORSIN *et* LE STRAT., 2007). Les eaux usées bénéficiant d'un traitement tertiaire contiennent si peu de nutriments qu'elles ne peuvent permettre une forte croissance microbienne. Le traitement tertiaire est la méthode la plus complète pour traiter les eaux d'égouts, mais elle n'a été généralisée en raison de son coût (MADIGAN *et* MARTINKO., 2007).

5-1-1-La biomasse épuratrice

Les systèmes de traitement des eaux usées urbaines utilisent la dégradation microbienne comme principal moyen pour dégrader les matières organiques (PERRY *et al.*, 2004). Cette biodégradabilité est un phénomène complexe qui concerne toutes les transformations des polluants dans les eaux sous l'action de microorganismes (OUALI., 2001).

5-1-2- Les processus métaboliques

La connaissance de ces processus est essentielle car elle permet d'expliquer les phénomènes observés d'un point de vue macroscopique. L'activité métabolique de la cellule bactérienne se divise en trois processus.

- Le catabolisme correspondant au processus de fragmentation des substances nutritives en éléments plus simples (pyruvates). Il représente l'ensemble des réactions d'oxydation et de dégradation enzymatique. C'est une activité exothermique qui libère l'énergie qui servira à la croissance cellulaire et à l'entretien de la cellule (BASSOMPIERRE., 2007).

- L'anabolisme représentant l'ensemble des réactions de synthèse des constituants cellulaires. C'est une activité endothermique qui utilise l'énergie libérée par les processus de catabolisme pour développer la croissance cellulaire et la division cellulaire ;

- La respiration endogène représentant l'étape d'oxydation des composés cellulaires.

Leur dissociation en produits résidus (matières carbonées, azotées) permet de satisfaire les besoins des cellules vivantes en cas de carence en substrat. Les réactions de catabolisme et d'anabolisme sont très générales et sont, en fait, constituées de plusieurs réactions élémentaires (BASSOMPIERRE., 2007).

5-1-3- Les microorganismes associés à l'épuration

5-1-3-1- Les bactéries épuratrices

Dans la biomasse épuratrice, les bactéries constituent le groupe le plus important, qui est en même temps l'acteur principal de l'élimination de la pollution (DEGREMONT., 2005). Les bactéries peuvent se présenter sous différentes formes :

- * Bactéries libres : peu abondantes du fait de la prédation par d'autres microorganismes;

* Bactéries filamenteuses : présentes normalement en petite quantité, elles entravent la décantation par le phénomène de foisonnement (DEGREMONT., 2005), parmi ces bactéries indésirables : *Sphaerotilus natans* et *Thiothrix nivea* (PERRY *et al.*, 2004).

* Bactéries floculées : plus intéressantes dans le procédé d'épuration car elles permettent une bonne séparation entre la biomasse épuratrice et l'eau épurée (FRANCK., 2002), les genres les plus fréquents de bactéries floculantes sont : *Pseudomonas*, *Actrobacter*, *Arthrobacter*, *Alcaligenes*, *Zooglea*, *Citromonas*, *Flaviobacterium*, et *Arthromobacter* (DEGREMONT., 2005).

La nature des composés organiques qui constituent la pollution et les conditions du milieu (pH, température, oxygène dissous), influent sur la nature des germes dominants.

Ainsi, un rejet riche en matières protéiques, favorise le développement des germes : *Alcaligenes*, *Bacillus* ou *Flavobacterium*; tandis qu'une eau résiduaire riche en glucides ou en hydrocarbures conduit à la prédominance du germe *Pseudomonas*. La présence de soufre réducteur se répercute par le développement des genres *Thiothrix* et *Microthrix*. (DEGREMONT., 1989).

5-1-3-2- La microflore

Des algues benthiques se développent à la périphérie des installations. Des cellules sont entraînées dans les boues et dans les fibres nitrifiantes par abrasion du bio film, on peut mettre en évidence au microscope des frustules de diatomées (HASLAY et LECLERC., 1993). Toutefois, elles ne jouent pas de rôle en épuration par les procédés de boues activées ou bio filtration, contrairement au cas du lagunage. Les espèces les plus courantes sont des algues planctoniques unicellulaires de petite taille, dont des algues vertes, des algues brunes, des phytoflagellés et des diatomées (DEGREMONT., 2005).

5-1-3-3- La microfaune

La microfaune des boues activées et des bios films des cultures fixées est très importante en quantité, de l'ordre de 10^6 à 10^8 cellules par litre de boues activées. Elle intervient comme prédatrice des bactéries isolées et des cadavres de bactéries et participe ainsi à la clarification de l'effluent (FRANCK., 2002); comme elle est particulièrement sensible aux variations du milieu. Elle renseigne sur le niveau d'adaptation de la biomasse et est révélatrice des stress auxquels elle est soumise (DEGREMONT., 2005). Selon l'organisation cellulaire des microorganismes, on distingue deux familles d'individus : les protozoaires et les métazoaires (FRANCK., 2002).

IV-6.Particules colloïdales

Les colloïdes sont des macromolécules organiques ou minérales qui, placées dans l'eau, ne forment pas une solution, mais forment une suspension colloïdale.

IV-7.Traitement des odeurs

Les premières phases du traitement, le dégrillage, le dessablage/déshuilage et la phase anaérobie du traitement biologique sont généralement confinée dans des bâtiments plus ou moins étanchées afin que les mauvaises odeurs ne se répandant pas dans l'environnement de la station. Ce qui provoquerait des nuisances olfactives inacceptables par les riverains. Cet air nauséabond est collecté et traité. Il passe par trois tours de lavage.

IV-8.Normes de rejet

Les quantités maximales de matières polluantes qui pourront être rejetées dans un milieu récepteur donné, appelées normes de rejet, répondent à des lois nationales qui peuvent être adaptées localement par arrêté préfectoral. Plusieurs textes législatifs et réglementaires ont défini ces normes de rejet dans le Tableau suivant (HOMCI et ZIDANE., 2012)

Tableau 7: Norme physico-chimiques de rejets de l'OMS (O.M.S., 1989).

Les paramètres	Les normes
T°	30C°
Ph	5,5 à 8,5
O ₂	5mg/l
DBO ₅	40mg/l
DCO	120mg/l
MES	30mg/l
Zinc	5 mg/l
Chrome ³⁺	3mg/l
Cuivre	3mg/l
Phosphates	2mg/l
Aluminium	8mg/l
Manganèse	1mg/l
Plomb	20mg/l

Conclusion générale

La réutilisation des eaux usées est une technique en pleine expansion principalement associée à l'agriculture, cette réutilisation a pour objectif principal la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques et de trouver des sources d'eau alternatives pour l'irrigation vu la rareté croissante de l'eau. En revanche l'irrigation continue et incontrôlée par des eaux d'égouts pose de sérieux risques pour la santé, du fait que les eaux d'égouts contiennent une charge polluante chimique toxique, et sont porteuses d'excrétas pathogènes (bactéries, virus, protozoaires, œufs d'helminthe, vers...etc.) responsables des infections gastro-intestinales chez les humains, aussi cette irrigation peut causer des problèmes sur l'environnement

D'autre part, l'impact, surtout sanitaire, de cette réutilisation passe via les mécanismes de formation des eaux usées (domestique, industrielle,...) ce qui nous permet de savoir la composition biologique, chimique et physique de cette eau. L'étude des formes de réutilisation, nous permettent de détecter les différentes formes de danger (microbiologique, chimique,...etc.) menaçant la santé humaine.

Par ailleurs, des problèmes sérieux sont imposés, on doit donc agir et trouver des solutions immédiates et efficaces pour éviter toute menace. Il est donc indispensable de respecter les normes de rejet (réutilisations O.M.S. 1989), et opter pour des procédés de traitement efficaces des eaux usées, avant leur réutilisation.

Références bibliographiques

1. AIT MELLOUL A., 1999- Etude épidémiologique de *Salmonella* chez les enfants de la zone d'El Azzouzia en comparaison avec les enfants d'une zone témoin (Sidi moussa). Étude de l'antibiorésistance. Diplôme de Doctorat Es-Sciences Fac. Sc. Sem., (U.C.A), Marrakech, 14 -15, 29-30 p.
2. ALTMAYER N, ABADIA G, SCHMITT S et LEPRINCE A., 1990-Risques microbiologiques et travail dans les stations d'épuration des eaux usées. Document pour le médecin du travail, n°44, pp 374-377
3. ANDREOZZI R., RAFFELE M., NICKLAS P., 2003-Pharmaceuticals in STP effluents and solar photo dégration in aquatic environment. Chemosphere. 50. (1-3)19–1330.
4. ANONYME 1., La position géographique d'Oued Souf .pdf. consulter le 23/03/2015.
5. ANONYME 2., 2012. consulter le 14/12/2014.
6. ANONYME 3., 2003. consulter le 10/12/2014.
7. ANONYME 4., 2015. consulter le 11/01/2015.
8. ASANO T., 1998-Wastewater reclamation and reuse. Water quality management library.1475p.
9. ATTAB S., 2011-Amélioration de la qualité Microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration Haoud Berkaoui par l'utilisation d'un filtre a sable local. thèse MAGISTER. U.K.M.O. p107.
10. BASSOMPIERRE C., 2007. procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote à la validation de modèles. Thèse Doctorat Institut National Polytechnique De Grenoble, pp 25-42.
11. BAUMONT S., CAMARDE J-P., LEFRANC A., FRAVCONIE A., 2004-Réutilisation des eaux usées. risque sanitaire et faisabilité en ile-de-France.rapport.pp220.
12. BELAID N., 2010-Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques. thèse DOCTORAT. ÉNIS. 183p.
13. BELGIORNO V., LUIGI R., DESPO F., CLAUDIO D R., GIUSY L., NIKOLAOU A., VINCENZO N., and SUREYYA M., 2007- Review on

- endocrine disrupting emerging compounds in urban wastewater: occurrence and removal by photo catalysis and ultrasonic irradiation for wastewater reuse. *Desalination* 215. pp 166–176.
14. BIXIO D., DE HEYDER B., CHIKUREL H., MUSTON M., MISKA V., JOKSIMOVIC D., SCHÄFER A I., RAVAZZINI A., AHARONI A., SAVIC D., and THOEYE C., 2005-Municipal wastewater reclamation: where do we stand. An overview of treatment technology and management practice. *Wat. Sci.*, 5(1). pp 77–85.
 15. BLUMENTHAL U.J., MARA D.D., PEASEY A., Ruiz-PALACIOS G., STOTT R., 2000- Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *Bull. World Health Organ.* 78(9): .pp16-104.
 16. CAMPOS C., 2008-New perspectives on microbiological water control for wastewater reuse. *Desalination.* 218. pp 34–42.
 17. CARDOT C., 1999-Les traitements de l'eau – Procédés physico-chimiques et biologiques. Ellipses, Paris : pp 247.
 18. CATHERINE H., ALAIN H., HELMER J.M., 2009- Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT). Convention de partenariat ONEMA-Cemagref. Vol 28.100p.
 19. CAUCHI., HYVRARD., NAKACHE., SCHWARTZBROD., ZAGURY., BARON., CARRE., COURTOIS., DENIS., DERNAT., LARBAIGT., DERANGERE., MARTIGNE et SEGURET., 1996-Dossier : la réutilisation des eaux usées après épuration. *Techniques, Sciences et Méthodes.* 2 : 81-118. Cinquantenaire, Paris, pp 109-599.
 20. CHELLE F., DELLALE M., DEWACHTER M., MAPAKOU F., VERMEY L., 2005-L'épuration des eaux : pourquoi et comment épurer Office international de l'eau.15p.
 21. CORSIN P et LE STRAT P, GLS., 2007-Réutilisation des eaux usées. Les effluents des stations d'épuration : comment les rendre aptes à une seconde vie. *L'eau, l'industrie, les nuisances* 299. pp38-39.
 22. CROOK J., MACDONALD J A., TRUSSELL R R., 1999- Potable use of reclaimed water. *Journal of the American water work association*, 1999, 91(8) : 40-49.

23. CSHPF, Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France.,1995-
Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines
Section des eaux. 22 p.
24. DEGREMONT., 1989-Mémento technique de l'eau : vol. 1, 9ème édition. Edition
Technique et Documentation Lavoisier, pp 592.
25. DEGREMONT., 2005-Mémento technique de l'eau. Tome 1, 2^{ème} édition
Cinquantenaire, Paris, pp 109-599.
26. DESJARDINS R., 1997-Le traitement des eaux. 2^{ème} édition. Ed école
polytechnique.
27. DEVAUX I., 1999-Intérêts et limites de la mise en place d'un suivi sanitaire dans
le cadre de la réutilisation agricole des eaux usées traitées de l'agglomération
clermontoise. Thèse Doctorat « Sciences de la Vie et de la Santé », U.J.F,
Grenoble, 257p.
28. E.P. Algérienne des Eaux. 2015.
29. EFFEBI K R., 2009-Lagunage anaérobie : modélisation combinant la décantation
primaire et la dégradation anaérobie. Thèse Doctorat. Université de Liège Campus
d'ARLON, pp 7-9.
30. ENYCLOPEDIA., 1995-Industrial chemistry, water in Ull man's, wiley-VCH
Verlags, vol 8. Epuration. Techniques, sciences et méthodes. 2-81-118p.
31. FABY J.A et BRISSAUD F., 1997-L'utilisation des eaux usées épurées en
irrigation. Office International de l'Eau. pp76.
32. FAO., 2002- Crops and drops: making the best use of water for agriculture. Rome.
Food and Agriculture Organization of the United Nations.
33. FAO., 2003-L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. FAO
irrigation and drainage paper.65p.
34. FEACHEM R.G., BRADLEY D.G., GARRELICK H. et MARA D.D., 1983-
Sanitation and diseases: Health aspects of exceta and wastewater management.
World bank in water supply's and sanitation 3.chichester , john wiley , 51p.
35. FRANCK.R., 2002-Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques.
Edition Scérén CRDP AQUITAINE. Bordeaux, pp165-239.
36. GALAF F ., GALAF S., GHANNA M.,2003-Contribution à l'élaboration d'un
manuel et d'un site web sur la pollution du milieu marin. Mémoire d'ingénieur
d'état.

37. GARCIA-ARMISEN T., 2006-Etude de la dynamique des Escherichia coli dans les rivières du bassin de la Seine. Thèse Doctorat, Université Libre de Bruxelles, pp 15-16
38. GAUJOUS., 1995
39. GERMAIN E., BANCROFT L., DAWSON A., HINRICHS C., FRICKER L. et PEARCE P., 2007- Evaluation of hybrid processes for nitrification by comparing MBBR/AS and IFAS configurations. Water Sci. Technol 55. pp 8-9.
40. GODART H., 2011-Eau de distribution. Objet des traitements. Techniques de l'ingénieur, traité construction.
41. HAMODA M.F., 2004-Water strategies and potential of water reuse in the south Mediterranean countries. Desalination 165. pp 31-41.
42. HARTANI T., 2004-La réutilisation des eaux usées en irrigation : cas de la Mitidja en Algérie. Institut national agronomique. Alger. Algérie. 3p.
43. HASLAY.C et LECLERC. H., 1993. Microbiologie des eaux d'alimentation. Edition Techniques et documentations, Paris, pp 309-347.
44. HOMCI M et ZIDANE Z., 2012-Etude des paramètres chimiques et biochimiques des eaux usées à la station d'épuration STEP 01 KOUININE en lagunage aérée. Mémoire de licence.CUE. 36p.
45. Institut National de Santé Publique du Québec (INSPQ)., 2003- Personnes vulnérables aux infections microbiennes. Groupe scientifique sur l'eau, 11 p
46. KALOGO Y et VERSTRAETE W., 1999-Development of anaerobic sludge bed (ASB) reactor technologies for domestic waste water treatment: motives and perspectives. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 15, pp 523-534.
47. KAY M., 2001- Smallholder irrigation technology: prospects for sub-Saharan Africa. Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations. International Programmer for Technology and Research in Irrigation and Drainage.
48. KESSIRA M., 2013-Sécurité d'utilisation des eaux usées en agriculture. Politiques de soutien et cadres institutionnels. pp1-2.
49. KHECHANA S, DERRADJI F, DEROUICHE A., 2010-La gestion intégrée des ressources en eaux la vallée D'oued-Souf (se Algérien): enjeux d'adaptation d'une nouvelle stratégie. Journal of Fundamentals and applied sciences. vol 2(2) ,22-36.pp24-25.

50. KHECHANA S., 2007-Etude de la gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée d'oued-souf (SE algérien).Mémoire de Magister. université d'Annaba. 133p.
51. LAZAROVA V et BRISSAUD F., 2007-Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France. L'eau, l'industrie, les nuisances N° 299. 11 p.
52. LAZAROVA V., GAID A., RODRIGUEZ-GONZALES J., ALDAY ANSOLA J., 2003-L'intérêt de la réutilisation des eaux usées : analyses d'exemples mondiaux. Techniques. Sciences et Méthodes 9. pp 64-85.
53. LE HYARIC R., 2009-Caractérisation, traitabilité et valorisation des refus de dégrillage des stations d'épurations. Thèse Doctorat l'Institut National des Sciences appliquées de Lyon, pp 30-34.
54. LUNN M., 2001- The deliberate indirect wastewater reuse scheme at Essex & Suffolk Water. Colloque de Noirmoutier.4p.
55. MADIGAN M et MARTINKO J., 2007-Biologie des microorganismes. 11ème édition, Pearson/éducation, Paris, pp 918-932.
56. MARA D.D et CAIRNCROSS S., 1991- Appréhension des risques sanitaires liés à la réutilisation des eaux résiduaires et des excréta en agriculture et aquaculture. OMS et PNUE. Genève.202p.
57. MARA D.D. et CAIRNCROSS S., 1989- Guideline for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture; OMS et PNUE, Genève, 202p.
58. MARTIN G., 1979-Le problème de l'azote dans les eaux usées. Ed technique et documentation. Paris.279p.
59. MAYET J., 1994-La pratique de l'eau, traitements aux points d'utilisation, le moniteur .2^{ème} édition. Paris. 382p.
60. MEKHALIF F., 2009- Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement. Mémoire de Magister., l'Université du 20 Août 1955 SKIKDA. 133p.
61. MRE., 2003-Synthèse sur la situation de l'assainissement et évaluation des besoins en station de traitement et d'épuration en vue de protéger les ressources en eau. Séminaire sur le secteur de l'eau en Algérie. Ministère des Ressources en eau. Alger. Algérie. 11p.
62. Natural Resource Management Ministerial Council (NRMMC)., 2005-National guidelines for water recycling – Managing health and environmental risks. Draft

- for public consultation. A publication of the Environment Protection and Heritage Council and Natural Resource Management Ministerial Council, Australia, 353 p
63. OMS., 1979-Les virus humaines dans l'eau, l'eau usée et le sol .Rapport d'un groupe scientifique de l'OMS. Ed I.S.B.N.Genève.32p.
 64. OMS., 1989-L'utilisation des eaux usées en agriculture et aquiculture : recommandation avisées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé. Genève. pp 17-60.
 65. OMS., 2012-l'utilisation sans risque des eaux usées. des excreta et des eaux ménagères. Vol II Utilisation des eaux usées en agriculture. 254p.
 66. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD),. 2005-Emerging risks to water supplies. Best practice for improved management and preparedness to protect public health – Report of an OECD expert meeting, 37 p.
 67. OUALI M.S., 2001-Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux. Office des Publications Universitaires Alger. pp12-31.
 68. POSTEL S., 2001-Growing more food with less water. Scientific American.pp34–37.
 69. PRESCOTT, HARLEY et KLEIN. , 2007-Microbiologie. 2ème Edition de Boeck, Paris, pp 837-855.
 70. RHAZI O et HABIB R., 2007- Impact sanitaire de réutilisation les eaux usées a Marrakech. Project de Fin d'études de Licence .UCA.28p.
 71. SCHWARTZBROD L., 2000-Virus humains et santé publique : conséquences de l'utilisation des eaux usées et des boues en agriculture et conchyliculture. Centre collaborateur OMS pour les micro-organismes dans les eaux usées, Université de Nancy, France, 292 p
 72. TOZE S., 1999-PCR and the detection of microbial pathogens in water and wastewaters. Water Res 33, pp 3545–3556.
 73. TRAD RAÏS M., XANTHOULIS D., 1999-Amélioration de la qualité microbiologique des effluents secondaires par stockage en bassins Biotechnol. Agron, Soc. Environ. pp149–157.
 74. US Environmental Protection Agency (US EPA),. 2004.-Guidelines for water reuse. Municipal Support Division, Office of Wastewater Management, Office of Water, Washington, DC and Technology Transfer and Support Division, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, Cincinnati, OH. US Agency for International Développement, Washington, DC.

75. VILAGINES R., 2003-Eau environnement et santé publique. introduction à l'hydraulique. 2ème édition. Edition Tec et Doc, Paris. pp198.
76. XANTHOULIS D., 1993-Valorisation agronomique des eaux usées des industries agro-alimentaires.
77. ZEGHOUD M., 2013-Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra. thèse master .UE. 71p.
78. <http://classekaouah.eklablog.com>. consulter le 14/01/2015.
79. <http://www.consommer-responsable.fr>. consulter le 17/02/2015.

Résumé

Les pratiques de réutilisation peuvent être classées en différentes catégories dans un ordre décroissant : La réutilisation domestique, soit directe à titre d'eau potable, soit indirecte dans plusieurs activités urbaines ; la réutilisation agricole pour l'irrigation des cultures vivrières, non vivrières ou de cultures transformées avant consommation. Enfin la réutilisation et le recyclage industriels pour le lavage, nettoyage et l'alimentation des circuits de refroidissement. Il existe à l'heure actuelle une vaste gamme de technologies de traitement pouvant servir à la récupération et à la réutilisation des eaux usées. Un grand nombre de ces technologies, ont été mises au point et appliquées. Ils sont implantés avec les stations d'épurations afin d'avoir une qualité d'eau épurée bien déterminé vu l'usage souhaité. Les incertitudes que soulève l'avenir des ressources en eau accentuent ce défi en raison d'épisodes climatiques extrêmes et des changements du climat, d'une concurrence accrue pour l'accès à des ressources limitées en eau à l'échelle mondiale et d'une demande croissante pour ce qui est d'un meilleur contrôle de la pollution des eaux usées à l'appui d'une meilleure utilisation des eaux réceptrices. L'une des solutions réside dans la réutilisation de l'eau, ce qui facilite l'utilisation des effluents municipaux traités comme nouvelle source d'approvisionnement tout en réduisant l'évacuation d'effluents pollués dans les eaux réceptrices. Dans certains cas, la réutilisation de l'eau peut présenter des avantages économiques sur l'expansion des infrastructures d'approvisionnement en eau et de traitement des eaux usées.

Les mots clés : eau usées, épurations, La réutilisation domestique, les eaux réceptrices.

المخلص

يمكن تصنيف ممارسات إعادة الاستخدام إلى فئات مختلفة من أجل : إعادة الاستخدام المنزلي اما مباشرة من مياه الشرب او بشكل غير مباشر في عدد من الانشطة الحضرية ، اعاد استخدامها لأغراض الري الزراعي للمحاصيل الغذائية و غير الغذائية او معالجة قبل الاستهلاك. اخيرا اعادة استخدامها للصناعة و اعادة التدوير. لا يوجد حاليا مجموعة واسعة من تقنيات المعالجة و العديد من هذه التقنيات وضعت قيد التطبيق مع محطات معالجة مياه الصرف الصحي من أجل الحصول على مياه نقية ذات جودة عالية للاستخدام المطلوب. الامدادات الكافية من المياه ذات النوعية الجيدة ، امر ضروري لعملية التطوير الجارية في أي مجتمع. احدث البيانات عن استخدام المياه الاجمالي تشير الى ان مجموع سحب المياه ينمو باطراد. الشكوك التي اثارها مستقبل الموارد المائية لإبراز هذا التحدي بسبب احداث الطقس المتطرفة ، تغير المناخ ، زيادة المنافسة للحصول على الموارد المائية المحدودة على الصعيد العالمي و الطلب المتزايد من حيث تحسين السيطرة على تلوث مياه الصرف الصحي دعما لتحسين استخدام المياه المستقبلية. حل واحد يكمن في اعادة استخدام المياه ، مما يسهل استخدام مياه الصرف الصحي بعامل امدادات جديدة مع الحد من تصريف النفايات السائلة الملوثة في المياه المستقبلية. في بعض الحالات ، اعادة استخدام المياه يمكن ان تقدم فوائد اقتصادية ناتجة جزئيا عن توفير في التكاليف و على التوسع في البنية التحتية لإمدادات المياه و معالجة مياه الصرف الصحي.

الكلمات المفتاحية : مياه الصرف الصحي ، التطهير ، إعادة الاستخدام المنزلي ، المياه المستقبلية.