République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ahmed DRAIA – ADRAR –

Faculté des sciences et technologies

Département des Sciences de la Matière

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER CHIMIE D'ENVIRONNEMENT

Thème

Epuration des eaux résiduaires domestiques par filtre plantés de roseaux - cas de station de M'raguen – Adrar -

Soutenu le : Juin 2017

Présenté par :

Mr : KEMAMINE Abdelkader

Mr : TAYEBI Abdallah

Membres de jury :

Président : SIDAMAR Ahmed

Univ. ADRAR

Promoteur :

Mr. ABBADA Ahmed
Univ. ADRAR

Examinateurs :

Mr. OUAINI Abderrahmane
Univ. ADRAR

Année universitaire 2016/2017

Dédicace

Nous tenons à dédier ce travail à nos parents, à nos familles, à mes enfants, à nos frères, à nos sœurs, à nos amis et à nos collègues.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier, en premier lieu, notre puissant DIEU de nous avoir tout donné pour réaliser ce modeste travail à savoir : la santé, le savoir, la volonté et le courage, et notre grand salut sur le premier éducateur, notre prophète Mohamed.

*Nous remercions notre promoteur **Mr ABBADA AHMED**, université d'Adrar. Qui nous a aidés, nous la remercient de sa sympathie, sa compréhension, sa soutien et d'avoir accepté de nous encadrer.*

- ***Mr. SIDAMAR AHMED** pour sa gentillesse et d'avoir accepté de présider le jury.*
- ***Mr. OUAINI ABDERRAHMANE** d'avoir accepté d'examiner de près ce travail*

➢ *Notre sincères remerciements s'adressent vivement à :*

- *Monsieur le directeur de l'ONA d'Adrar ; pour son aide bénéfique et son soutien.*
- *Tous les travailleurs de laboratoire de l'INRAH d'Adrar chacun en son nom.*

➢ *Nos remerciements s'adressent à tous les enseignant(e) s du département de science de matière chacun en son nom, particulièrement Chef département **Mr BOUSSAIDE MOHAMED**.*

➢ *En fin nous n'oublions pas dans notre remerciements tous les travailleurs de la bibliothèque et tout ceux et celles qui ont contribué de prés ou de loin sur la réalisation de ce travail.*

الملخص:

في إطار المحافظة على البيئة من طرف الشركات الناشطة في ميدان الصناعة البترولية، أنجزت محطة تصفية على مستوى قصر مراقن تعتمد على طريقة بيولوجية في نظام تصفية المياه المستعملة لهذا القصر.

تعمل محطة التصفية بمراقن بنظام تصفية بزرع القصب و بتدفق عمودي، و تتميز هذه الطريقة بعد التحاليل التي قمنا بها للمياه المستعملة قبل و بعد التصفية بالناجعة الكبيرة خاصة في المناطق الريفية التي تعرف بانخفاض الكثافة السكانية بها، و هذا ما تتميز به معظم قصور ولاية ادرار.

Résumé

Dans le cadre de la protection de l'environnement, les entreprises pétrolières actives dans la région, ont réalisé une station d'épuration des eaux résiduaires domestiques pour le Ksar de M'raguen. De ce fait, les eaux résiduaires dudit K'sar son épurées par la méthode biologique.

La technique d'épuration dont fonctionne la présente station est par filtre plantés de roseaux à écoulement verticale. L'analyse de l'eau avant et après l'épuration au niveau de la station de M'raguen met en exergue la réussite de cette technique au niveau des régions à faible densité de population. Ce qui est le cas pour la majorité des ksours de la wilaya d'Adrar.

Abstract

In the context of the protection of the environment, the oil companies actives in the region, have built a purification station for M'raguen's Ksar domestic waste water. And then the waste water of this Ksar is predicated by biological technical.

The way that works this wastewater treatment plant, is that the waste water flows by gravitation through a plantation of reeds. The water analysis, before and after purification at M'raguen's purification station highlights the success that this technical at the low-density regions. This is the case for the majority of the Ksours of Adrar wilaya.

Liste des figures :

Figure n°01 : Photo de station d'épuration de Ksar M'raguen

Figure n°02 : Regard d'arrivage d'eaux usées

Figure n°03 : Regard de dégrillage

Figure n°04 : Regard de dégraissage et déshuilage

Figure n°05 : Bassin de traitement avant la mise en service

Figure n°06 : Bassin de traitement après la mise en service

Figure n°07 : Schéma générale de station d'épuration de ksar M'raguen

Figure n°08 : Photo des échantillons

Figure n°09 : Photo des analyses

Figure n°10 : Histogramme de PH

Figure n°11 : Histogramme de conductivité

Figure n°12 : Histogramme de DCO

Figure n°13 : Histogramme de DBO5

Liste des tableaux :

Tableau n°01 : Les paramètres physico-chimique des eaux brutes

Tableau n°02 : les paramètres physico-chimique des eaux traitées

Tableau n°03 : PH des eaux de station de M'raguen

Tableau n°04 : Conductivité des eaux de station de M'raguen

Tableau n°05 : DCO des eaux de station de M'raguen

Tableau n°06 : DBO5 des eaux de station de M'raguen

SOMMAIRE

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale 2

PARTIE 1 SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I: LES EAUX RESIDUAIRES

1. Les eaux résiduaires 6

1.1. Définition et origine des eaux résiduaires 6

1.1.1. Les eaux résiduaires urbaines 6

1.1.2. Les eaux résiduaires industrielles 7

1.2.La pollution des eaux 7

1.2.1. Eléments traces et métaux 7

1.2.2. Les composés organiques naturels 8

1.2.3. Les xénobiotiques 8

1.3. Composition des eaux usées 9

1.3.1. Les matières en suspension 9

1.3.1.1 Demande biochimique en oxygène (DBO) 10

1.3.1.2 Demande chimique en oxygène (DCO) 10

1.3.2. Les microorganismes 11

1.3.3. Les micropolluants minéraux ou organiques 13

1.3.3.1. Les micropolluants minéraux 13

1.3.3.2. Les micropolluants organiques 14

1.3.4. Les substances nutritives 14

1.4. Effets des eaux résiduaires sur le milieu récepteur 16

Chapitre II: TRAITEMENT DES EAUX RESIDUAIRES URBAINES

1. Epuration des eaux résiduaires 18

1.1. Les prétraitements 18

1.1.1. Dégrillage 18

1.1.2. Dessablage 19

1.1.3. Déshuilage dégraissage 19

1.2. Epuration physicochimique 20

1.2.1. Particules colloïdales 20

1.2.2. Coagulation Floculation 21

1.2.3. Décantation 27

1.2.3.1. Types de décantation 27

1.2.4. Flottation 28

1.2.4.1. Types des procédés de flottation 29

1.3. Traitements biologiques 29

1.3.1. Les procédés biologiques extensifs 30

1.3.2. Les procédés biologiques intensifs 31

1.3.3. Evolution d'une culture bactérienne 33

1.3.4. Facteur limitant la biodégradabilité 34

1.3.5. Problèmes de décantation des boues 34

1.4. Traitement d'affinage 35

Chapitre III: REUTILISATION ET RECYCLAGE DES EAUX EPUREI

1. Réutilisation et recyclage des eaux épurées 45

1.1. Définition 46

1.2. Catégories de réutilisation des eaux épurées 47

1.2.1. Réutilisation à titre d'eau potable 47

1.2.2. Réutilisations urbaines et récréatives non restreintes et irrigation des cultures vivrières 47

1.2.3. Réutilisations urbaines et récréatives restreintes, irrigation de cultures non vivrières ou de cultures transformées avant consommation 48

1.2.4. Réutilisation et recyclage industriels 48

1.3. Règlements sur la réutilisation de l'eau, critères de qualité et directives 49

PARTIE 2 : ETUDE PRATIQUE

Chapitre IV: Méthode et matériel

1. Présentation du milieu d'étude 52

1.1 Présentation de la wilaya d'Adrar 52

1.2 La climatologie de la wilaya 53

2. La station d'épuration de M'raguen 54

3. Filtres plantés de roseaux 55

3.1 Les filtres à écoulement vertical 55

3.2 Filtres à écoulement horizontal 55

4. Les traitements des eaux usée dans la station de M'raguen 55

5. Les échantillons 59

6. Les analyses 59

Chapitre V: Discussion des résultats :

1. Résultat des analysés 61
   1.1. Caractéristique des eaux brutes 61
   1.1. Caractéristique des eaux traitées 62
2. Discussions du résultat 63
   2.1 PH 63
   2.2 Conductivité 64
   2.3 Demande chimique en oxygène (DCO) 65
   2.4 Demande biologique en oxygène (DBO5) 66
3. Conclusion 67

Conclusion générale 68

Références bibliographiques 71

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'eau est un élément vital et reste en tout temps et en tout lieux une préoccupation majeure. Et cette vitalité on la retrouve plus au Sahara où la répartition et la présence de l'être humain est fonction de l'existence des oasis qui elles mêmes sont conditionnées par la présence de l'eau.

Indispensable pour la majorité des activités humaines l'eau est utilisée comme nettoyant, additif, refroidisseur, liquéfiant, conservateur, nutritif, transporteur, etc… De cette utilisation l'eau porteuse de déchets est rejetée dans la nature.

L'évacuation non contrôlée de ces déchets liquides par manque de stations d'épuration ou par des stations non opérationnelles, aboutit à la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines. Le rejet d'eau usée constitue donc un élément fondamental en matière de pollution car lieu de nombreuses réactions chimiques et de la reproduction de nombreux vecteurs de maladie. Car l'eau transporte les métaux lourds, les insère dans la chaîne alimentaire (végétaux, poissons, etc..). Même si ceux-ci sont le plus souvent présents à l'état de traces dans les rejets industriels et artisanaux, ils n'en restent pas moins très dangereux puisque leur toxicité se développe par bioaccumulation dans l'organisme.

De ce fait, la croissance alarmante de la pollution des eaux par des matières diverses, organiques ou non : pesticides, détergents, métaux lourds et d'autres substances toxiques, représente un réel danger pour la flore et la faune que ce soit terrestre ou aquatiques et cause de sérieux problèmes aux différents écosystèmes.

Actuellement, l'utilisation de l'eau indiquent que son prélèvement croît de plus en plus. Et l'incertitude que soulève l'avenir en matière de besoins en eau accentue ce défi. Surtout dans la zone saharienne où la seule source en d'eau est la nappe. L'une des solutions réside dans la réutilisation de l'eau rejetée, ce qui facilite l'utilisation des effluents urbains traités comme nouvelle source d'approvisionnement.

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.

Dans ce mémoire on va voir un exemple sur l'épuration des eaux résiduaires domestique par la méthode filtre plant qui est les roseaux. L'objectif général de ce travail est d'étudier la qualité de l'eau résiduaire domestique provenant du Ksar de M'raguen.

Pour atteindre cet objectif, ce travail se compose de deux volets. Le premier volet est la partie théorique avec trois chapitres, dont le premier consiste à déterminer les principales causes de pollution des eaux et les paramètres qui décident le type et le taux de pollution ainsi que leurs conséquences sur l'environnement et l'être humain. Le second présente quelques modes d'épuration ou de traitement des eaux usées qui peuvent exister dans les STEP. Enfin le troisième chapitre défini la réutilisation de l'eau et ses diverses voies mêmes les règles de la planification des programmes de recyclage des eaux épurées. Le deuxième volet est la partie expérimentale,

comporte d'une part les résultats de la composition physico-chimique des eaux usées en amont et en aval de la STEP. Pour finir, on conclue sur la possibilité de réutiliser cette eau épuré naturellement par les plants de roseaux en eau d'irrigation de plantation d'espace vert, de plantations forestières et/ou de bosquets.

PARTIE I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I:

LES EAUX RESIDUAIRES

1. Les eaux résiduaires

1.1. Définition et origine des eaux résiduaires

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 ».[Dictionnaire Larousse 2004]

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.

Les eaux résiduaires sont toutes des eaux souillées, chargées de différents éléments du fait qu'elles ont déjà été utilisées dans une activité domestique ou industrielle. On distingue deux grandes catégories d'eaux résiduaires, selon leur origine.

1.1.1. Les eaux résiduaires urbaines

Elles comprennent les eaux résiduaires provenant des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, etc. et en eaux "vannes". Ces dernières sont des rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées ou non et de germes fécaux. Les eaux résiduaires urbaines comprennent aussi une autre catégorie d'eau, elle est formée des eaux de ruissellement,

générées par les eaux pluviales notamment des périodes orageuses, L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus, métaux lourds...). (VAILLANT, 1974)

1.1.2. Les eaux résiduaires industrielles

Elles sont très différentes des eaux résiduaires domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. En raison de leur spécificité, certaines d'entre elles doivent faire 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 stations d'épuration ou du milieu récepteur (BAUMONT et al. 2002) .

1.3.La pollution des eaux

1.2.1. Eléments traces et métaux

Les sources de métaux pour les milieux aquatiques sont multiples. On différencie principalement les sources d'origine naturelle et anthropique. Les principaux phénomènes naturels conduisant à la dissémination des métaux dans les compartiments environnementaux y compris les milieux aquatiques sont l'activité volcanique et l'érosion des roches (DOELSCH et al. 2006).

En plus des sources naturelles, les milieux aquatiques sont enrichis en métaux par les activités humaines. Les métaux sont utilisés par l'homme comme matériaux mais également comme réactifs dans l'industrie (traitement de surface, intermédiaire réactionnel, etc.) et l'agriculture (phytosanitaires). Les activités industrielles, ainsi que le trafic automobile émettent de fines particules métalliques dans l'atmosphère, principalement dans les zones urbaines (AZIMI,

2005). Les métaux ainsi disséminés se déposent dans les divers compartiments environnementaux tels que les plans d'eau et les sols. Les métaux déposés sur les sols peuvent cependant atteindre les cours d'eau par ruissellement au cours des évènements pluvieux. En effet les eaux résiduaires urbaines sont une des principales voies d'apport de métaux vers les écosystèmes aquatiques (BUZIER et al 2006). A l'entrée des stations d'épuration, une large partie des métaux contenue dans les eaux résiduaires se trouve complexée avec la matière organique dissoute. Les métaux qui peuvent être présents dans les eaux résiduaires sont : cadmium (Cd), cuivre (Cu), molybdène (Mo), nickel (Ni) et zinc (Zn) (KUNZ 2000).

1.2.2. Les composés organiques naturels

Ce sont en générale des composés complètement biodégradables, au moins dans des conditions favorables. Il faut, toutefois, les considérer comme polluants lorsque leur concentration est anormalement élevée, et engendre un stress important dans la biocénose des milieux aquatiques, ce qui peut conduire à l'inactivation des mécanismes potentiels de la biodégradation. C'est le cas, par exemple, des huiles ou des graisses qui, à des concentrations plus ou moins élevées, engendrent la formation de films superficiels qui peuvent s'opposer à l'accès de l'oxygène dans les cours d'eau et provoquer des effets d'intoxication sur les microorganismes et les poissons (VINCENT 2003) .

1.2.3. Les xénobiotiques

Ce sont des composés artificiels, inventés par l'homme, différents de par leurs structures chimiques des composés synthétisés par les organismes vivants. On distingue entre autres :

- Des composés inertes, non biodégradables, non toxiques et qui n'interagissent pas avec les organismes vivants. Ces le cas de la plupart des plastiques.

- Des composés plus ou moins dégradables, pouvant traverser la barrière cellulaire des organismes vivants, se concentrer le long de la chaîne alimentaire et causer des dommages physiologiques considérables, de graves intoxications, voir la mort (PERRY et al. 2004).

Les phénols et leurs dérivées tels que les chlorophénols (mono-, di-, tri-, tétra- et penta-), les nitrophénols, les crésols et les diméthylphénols, font partie de cette catégorie des xénobiotiques plus ou moins dégradables. Ils sont utilisés dans l'industrie des matières plastiques, l'industrie pharmaceutique ainsi que dans la fabrication de nombreux produits : adhésifs, explosifs, engrais, gaz d'éclairage, peinture, caoutchouc, parfums, agents de préservation du bois et des textiles. Ils servent aussi à la fabrication des détergents, des colorants, des pesticides (notamment les chlorophénols) (BOUCHESEICHE et al. 2002).

1.3. Composition des eaux usées

La composition des eaux usées, est extrêmement variable en fonction de leur origine. Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux microorganismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en quatre groupes **: les matières en suspension, les micro-organismes, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives** (BAUMONT et al. 2002).

1.3.1. Les matières en suspension

Ce sont les matières non dissoutes contenues dans l'eau. Elles comportent à la fois des éléments minéraux et organiques. Les matières en suspension (MES) sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation

des cultures (FABY et al. 1997). Les matières en suspension sont exprimées en mg/l. La MES d'une eau usée urbaine ne dépasse guère 200-300 mg/l (PELMONT 2005) . La teneur des eaux résiduaires en MES s'analyse par le biais de diverses mesures chimiques et biologiques. Les analyses les plus fréquentes sont la demande biochimique en oxygène (DBO) et la demande chimique en oxygène (DCO).

Paramètres de mesure

1.3.1.1 Demande biochimique en oxygène (DBO)

Sa détermination consiste à mesurer la quantité totale de l'oxygène consommé, par des processus biochimiques, au cours de l'oxydation des matières organiques dans un échantillon donné. La DBO a été standardisée en DBO5, mesurée au bout de 5 jours, considérée comme une période significative du processus global de biodégradation qui prend des semaines. Des appareils automatisés, tels que le Micro-Oxymax (Columbus), permettent de mesurer la DBO5 ainsi que la production de CO2. Ces mesures sont souvent utilisées pour vérifier le caractère biodégradable d'un composé. Elles permettent aussi d'avoir indirectement une idée de la contamination organique globale d'un effluent. Une eau potable doit avoir une DBO5 pratiquement nulle. Les eaux résiduaires urbaines ont une DBO5 pouvant varié de 150 à 350 mg/L. Des valeurs bien plus élevées sont enregistrées à la sortie des laiteries, abattoirs, et surtout des distilleries (vinasses), pouvant parfois s'élever à plus de 30 000 mg/L. (PELMONT 2005)

1.3.1.2 Demande chimique en oxygène (DCO)

C'est la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation de l'ensemble des matières minérales et organiques biodégradables ou non, présentes dans un milieu. Soit donc à la fois les matières oxydables par les processus purement chimique et celles oxydables par les processus biochimiques (BOUSSEBOUA 2005) . La DCO est obtenue à l'aide d'un agent oxydant puissant comme le dichromate de

potassium ($K_2Cr_2O_7$). La valeur de la DCO est toujours plus élevée que celle de la DBO_5, car de nombreuses substances organiques peuvent être oxydées chimiquement mais ne peuvent s'oxyder biologiquement (METICHE 2004) . La DCO est également évaluée en mg et même en kg dans les eaux résiduaires industrielles (PELMONT 2005) .

1.3.2. Les microorganismes

Les eaux résiduaires 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 : les bactéries, les protozoaires, les virus et les helminthes.

1.3.2.1 Les bactéries : Les bactéries sont les microorganismes les plus communément rencontrés dans les eaux résiduaires. Les eaux résiduaires urbaines contiennent environ 10^6 à 10^7 bactéries/100 ml dont la plupart sont des *Proteus* et des entérobactéries, 10^3 à 10^4 des Streptocoques et de 10^2 à 10^3 des C*lostridium*. La concentration en bactéries pathogènes est très variable et peut atteindre 10^4 germes par litre. Parmi pathogènes les plus détectées, les Salmonelles, dont celles responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Les coliformes thermotolérants sont des germes témoins de contamination fécale communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau. (TOZE 1999)

En plus de ces germes les eaux résiduaires d'une station d'épuration contient des espèces autochtones considérées comme acteurs majeurs des biodégradations telles que : *Pseudomonas, Alcaligenes, Micrococcus, Flavobacterium* et d'autres. (PELMONT 2005)

1.3.2.2 Les protozoaires : Au cours de leur cycle vital, les protozoaires passent par une forme de résistance, les kystes, qui peuvent être véhiculés par les eaux résiduaires. Ces parasites sont très persistants. Ainsi, selon les conditions du milieu, ils peuvent survivre plusieurs semaines, voire même plusieurs années (CAMPOS 2008) . Plusieurs protozoaires pathogènes ont été identifiés dans les eaux résiduaires (GENNACARO et al. 2003) . Parmi les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne, *Giardia lamblia* et *Cryptosporidium parvum* (TOZE 2006) . Il est considéré que seulement 10 à 30 kystes forment une dose suffisante pour causer des troubles sanitaires (CAMPOS 2008) .

1.3.2.3 Les virus : Les virus sont des parasites intracellulaires obligatoires qui ne peuvent se multiplier que dans leur cellule hôte. Leur concentration estimée dans les eaux résiduaires urbaines est comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux résiduaires 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, les rotavirus, 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, du fait qu'au cours de processus de traitement des eaux résiduaires les virus sont plus difficiles à éliminer que les bactéries classiques couramment utilisées comme indicateurs de la qualité bactériologique des eaux (TOZE 2006) .

1.3.2.4 Les helminthes : Les helminthes sont des parasites intestinaux, fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires. Dans les eaux résiduaires urbaines, le nombre d'oeufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et 10^3 germes/l. Beaucoup de ces helminthes ont des cycles de vie complexes

comprenant un passage obligatoire par un hôte intermédiaire (AULICINO et al. 1996) . Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les oeufs. Les oeufs 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. Les helminthes pathogènes rencontrés le plus fréquemment dans les eaux résiduaires sont : *Ascaris lumbricades, Oxyuris vermicularis, Trichuris trichuria, Taenia saginata.* (CAMPOS 2008)

1.3.3. Les micropolluants minéraux ou organiques

Les micropolluants appelés aussi éléments traces sont des éléments présents en quantité infinitésimale dans les eaux résiduaires. La voie de contamination principale, dans le cas d'une réutilisation des eaux résiduaires épurées, est l'ingestion. C'est la contamination par voie indirecte qui est généralement préoccupante. Ainsi, certains micropolluants, comme les métaux lourds ou les pesticides, peuvent s'accumuler dans les tissus des êtres vivants, et notamment dans les plantes cultivées ou même dans les poissons. Il peut donc y avoir une contamination de la chaîne alimentaire et une concentration de ces polluants dans les organismes.

1.3.3.1. Les micropolluants minéraux

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux ; les plus abondants (de l'ordre de quelques µg/l) sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Alors que les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) Sont présents à l'état de traces. (CAUCHI 1996).

Certains éléments traces, peu nombreux, sont reconnus nécessaires, en très

faibles quantités, au développement des végétaux : le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène. L'utilisation des eaux résiduaires comme eau d'irrigation, va apporter ces éléments.

1.3.3.2. Les micropolluants organiques

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

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

Dans le sol, ces micropolluants restent liés à la matière organique ou adsorbés sur les particules du sol. Cependant, quelques composés ioniques (pesticides organochlorés, solvants chlorés) peuvent être entraînés en profondeur.

En fin les pesticides sont les éléments traces les plus à surveiller, et une étude d'impact et de métabolisme est obligatoire avant leur mise sur le marché. Par contre, le danger représenté par tous les autres polluants organiques est encore mal apprécié actuellement.

1.3.4. Les substances nutritives

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

2 de 16 à 62 kg d'azote,

3 de 2 à 69 kg de potassium,

4 de 4 à 24 kg de phosphore,

5 de 18 à 208 kg de calcium,

6 de 9 à 100 kg de magnésium,

7 de 27 à 182 kg de sodium (FABY et al. 1997).

L'azote :

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

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

- N organique à NH_4^+ : ammonification
- NH_4^+ NO_2^- : nitratation par *Nitrosomonas*
- NO_2^- NO_3^- : nitratation par *Nitrobacter* (CHELLE et al. 2005).

Le phosphore :

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

Le potassium (K^+) :

Le potassium est présent dans les effluents secondaires à hauteur de 10 à 30 mg/l (12 à 36 mg/l de K_2O) et permet donc de répondre partiellement aux besoins (FABY et al. 1997).

Chlore et sodium :

Leur origine est :

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

Les chlorures et le sodium peuvent également poser problème, notamment en bord de mer, quand les réseaux d'égout drainent des eaux phréatiques saumâtres (FABY et al. 1997)

1.4. Effets des eaux résiduaires sur le milieu récepteur

Les eaux résiduaires contiennent des composés chimiques toxiques très persistants et qui ont une grande lipophylicité. Parmi ces composés, on peut citer les hydrocarbures polycycliques, les alkyl-phénols, chlorophénols, phtalates, les pesticides et les résidus pharmaceutiques actifs. Certains composés ont un pouvoir de perturber le système endocrinien tel que les hydrocarbures polycycliques aromatiques et les alkylphénols (BELGIORNO et al. 2007) . En effet plusieurs environnements aquatiques ont été pollués par ces composés, notamment les mers et les rivières où on observe des marées noires qui causent la mort des poissons, suite à l'intoxication due à ces composés en plus des autres substances pharmaceutiques dont les principales sources sont les eaux résiduaires et les rejets industriels (KIMURA 2004) . Ainsi, en 1975, le déversement de Cyanure dans la Moselle détruit 40 tonnes de poissons, alors que le rejet dans le Rhin d'un insecticide entraîna la mort de 50% des poissons (VINCENT 2003).

Chapitre II:

TRAITEMENT DES EAUX RESIDUAIRES URBAINES

1. Epuration des eaux résiduaires

L'épuration des eaux résiduaires a pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent, afin de rendre au milieu aquatique qui est le milieu récepteur une eau de qualité, respectueuse des équilibres naturels et de ses usages futurs. Dans une STEP l'épuration des eaux passe par différentes étapes **(CHELLE et al. 2005)**; dont on va les présenter ci- dessous : les prétraitements suivis des traitements physicochimiques puis les traitements biologiques et enfin les traitements d'affinage.

1.1. Les prétraitements

Les prétraitements constituent l'ensemble des opérations physique et mécanique: dégrillage, dessablage et dégraissage-déshuilage. Ils dépendent de la nature et des caractéristiques des rejets industriels et de la ligne d'épuration prévue en aval.

1.1.1. Dégrillage

Il permet de filtrer les objets ou les détritus 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 **(PRONOST 2002)**. 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.

1.1.2. 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 contenaire d'évacuation.

1.1.3. Déshuilage dégraissage

Le déshuilage est une extraction liquide-liquide tendit 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…). 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:

- Prédéshuilage, 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 supérieurs à 50µm). Il est réalisé dans différent 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 **(BAAR et al. 2005)**.

1.2. Epuration physicochimique

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. 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.

1.2.1. 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.

La formation de cette pseudo solution s'explique par le fait que la taille de ces macromolécules est plus grande que celle des " vides " offerts dans le maillage des molécules d'eau, vides qui accueillent les petites molécules dont on dit qu'elles sont dissoutes dès lors qu'elles sont " cachées " dans ce maillage . Ce sont également des entités assez petites pour ne pas sédimenter en l'absence d'agrégation pendant un laps de temps assez long. Leur taille est fixée le plus souvent de manière arbitraire entre 1 nm et 1 µm. Dans le milieu aqueux, les micelles colloïdales sont animées de mouvements de types browniens. Ces mouvements sont dues, au moins en partie, au fait que les colloïdes adsorbent des charges électriques négatives ou positives qui entraînent des mouvements de répulsion entre les micelles.

Structure des colloïdes

Les colloïdes portent des charges négatives situées à leur surface. Ces charges négatives attirent les ions positifs en solution dans l'eau. Ceux-ci sont étroitement collés au colloïde et forment la couche liée ou de STERN. Elle attire

à son tour des anions accompagnés d'une faible quantité de cations : c'est la couche diffuse ou de GOUY. Il y a donc formation d'une double couche ionique, l'une accompagnant la particule lors de ces déplacements (couche liée), l'autre se déplaçant indépendamment ou avec un certain retard (couche diffuse)

Le potentiel Zéta se situe à la limite extérieure de la couche liée. C'est ce potentiel qui persiste lorsque la particule se déplace. Le potentiel Zéta est important car il définit le comportement électrocinétique des particules et par voie de conséquence leur stabilité dans la solution. L'annulation du potentiel Zéta est l'objectif de la coagulation. Cela permet de déstabiliser les particules et de favoriser leurs agglomérations **(CITEAU 2004).** En déduit donc que l'élimination des colloïdes passe par l'annulation du potentiel zêta afin d'annuler les forces de répulsion.

1.2.2. Coagulation Floculation

L'opération de coagulation-floculation a pour but la croissance des particules (qui sont essentiellement colloïdales) par leur déstabilisation puis formation de flocs par absorption et agrégation. Les flocs ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite **(CARDEAU 1999)**.

Le mot coagulation vient du latin coagulare qui signifie « agglomérer ». La coagulation consiste à ajouter à l'eau un réactif permettant la déstabilisation des particules en suspension par la neutralisation de leurs charges négatives qui sont à l'origine du maintien en suspension stable c'est-à-dire à l'annulation du potentiel zêta. Il faut noter que la coagulation n'est correcte qu'à l'intérieur d'une zone de pH bien déterminée (un pH supérieur à 4 pour les chlorure de fer et un pH compris entre 6 et 7 pour le sulfate d'aluminium); elle demande aussi une dispersion immédiate du coagulant dans l'eau afin que les charges électriques des colloïdes soient déchargés uniformément**,** cela permet aux particules de s'agglomérer et de décanter plus rapidement **(ERNEST 1985)**. Quatre mécanismes sont proposés pour expliquer la déstabilisation des particules et leur

agglomération :

- Compression de la double couche: coagulation non spécifique ou électrostatique par diminution des forces de répulsion électrostatique, provoquée par des électrolytes quelconques, qui compriment le nuage ionique autour des particules.
- Adsorption et neutralisation des charges: coagulation par adsorption d'ions de signe contraire fortement chargés, qui diminuent le potentiel à la limite de la couche de STREN.
- Emprisonnement des particules dans un précipité : coagulation par entraînement "Sweep coagulation", pour les suspensions diluées dont les particules sont captées et entraînées dans un précipité de formation rapide.
- Adsorption et pontage entre les particules: floculation ou adsorption de macromolécules ou de poly électrolytes, susceptibles de former des ponts inter particulaires. **(FUCHS 1934)**.

1.2.2.1 Coagulant et processus de coagulation

L'efficacité de la clarification dépend d'abord du coagulant utilisé. Les plus efficaces sont des sels de métaux, à base d'aluminium ou de fer.

La mise en solution d'un coagulant se déroule en deux étapes: (le cas du sulfate d'aluminium est très significatif). La réaction est présentée de la façon suivante:

$Al_2(SO_4)_3$ étape 1 $\xrightarrow{}$ $Al_x(OH)_y(SO_4)_z$ étapes 2 $\xrightarrow{}$ $Al(OH)_3$

Intermédiaires précipité Poly chargés

L'étape 1 est une phase d'hydrolyse. Des intermédiaires poly chargés positifs se forment pour neutraliser la charge primaire négative des colloïdes. C'est la véritable forme coagulante qui déstabilise les particules chargées négativement.

L'étape 1 dépend de la température et nécessite un pH compatible avec l'existence de ces intermédiaires poly chargés. Le temps de formation de ces composés est de l'ordre de 0,5 *s*.

L'étape 2 permet la formation du précipité *Al (OH) 3*. Elle dépend de l'agitation

du milieu. Ce précipité est l'élément qui assure le pontage et la coalescence entre les colloïdes déstabilisés : c'est la forme floculante.

Les sels d'aluminium ou de fer réagissent avec l'alcalinité de l'eau et produisent des hydroxydes insolubles.

1.2.2.2 Paramètres influençant le bon fonctionnement du procédé de coagulation.

a. Influence du pH

L'ajout d'un coagulant modifie souvent le pH de l'eau. En effet, une coagulation réalisée à un pH non optimal peut entraîner une augmentation significative du temps de coagulation **(AMIRTHARAJAH 1990)**.

b. Influence de la dose du coagulant

Une dose de coagulant excessive entraîne une augmentation du coût d'exploitation, tandis qu'un dosage insuffisant conduit à une qualité de l'eau traitée insuffisante **(ERNEST 1985)**.

c. Influence de la température

Une basse température, entraînant une augmentation de la viscosité de l'eau, alors le floc se décante plus difficilement et a tendance à pénétrer plus profondément dans les filtres. La coagulation et la décantation du floc sont ralenties et la plage du pH optimal diminue. Pour éviter ces difficultés, une solution consiste à changer de coagulant en fonction des saisons. **(ERNEST 1985)**.

d. Influence de la turbidité

Dans une certaine plage de turbidité, l'augmentation de la concentration en particules doit être suivie d'une augmentation de la dose de coagulant.

Quand la turbidité de l'eau est trop faible, on peut augmenter la concentration en particules par addition d'argile ou de la silice activée **(ERNEST 1985)**.

e. Influence des sels dissous

Dans la coagulation et la floculation, les sels dissous dans une eau modifient la plage de pH optimale, le temps requis pour la floculation, la quantité de coagulant requis et la quantité résiduelle de coagulant dans l'effluent **(TCHOBANOGLOUS 1987)**.

f. Influence du mélange

Au cours du mélange des produits chimiques lors de la coagulation et de la floculation, on procède au; mélange rapide énergique et de courte durée (120 s) pour disperser les produits dans la totalité du volume d'eau **(TCHOBANOGLOUS 1987)** et au mélange relativement lent afin de favoriser la rencontre et l'agrégation des colloïdes mais sans détruire les flocs déjà formés

g. Influence de l'alcalinité

L'alcalinité naturelle de l'eau réagit avec l'alun pour former le précipité d'hydroxyde d'aluminium. Il faut donc un minimum d'alcalinité pour que l'alun agisse correctement et pour stabiliser le pH dans la plage optimale au cours de la coagulation dans les eaux de faibles alcalinités **(CITEAU 2004)**.

1.2.2.3 Floculation

La floculation est le processus de grossissement et d'uniformisation des petits flocons formés lors de l'introduction du coagulant. Elle a pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules colloïdales déstabilisées et leur agglomération, pour accroître son volume, sa masse et sa cohésion. Une bonne floculation est favorisée par:

- Une coagulation préalable aussi parfaite que possible;
- Une augmentation de la quantité du floc dans l'eau;
- Un brassage homogène et lent pour tout le volume d'eau;
- L'emploi de certains produits appelés floculants ou adjuvants de coagulation. **(BEADRY 1984)**.

On distingue trois types de floculation selon le type de mouvement qui anime les

particules dans la suspension:

a. **Floculation rapide ou pré cinétique** (mouvement brownien**):**

Les contacts entre les particules sont causés par le mouvement aléatoire de celles-ci, dit mouvement brownien qui est fonction de la température de l'eau **(TCHOBANOGLOUS 1987)**.

b. **Floculation lente ou ortho cinétique** (brassage mécanique)**:**

C'est la floculation provoquée par l'agitation de l'eau. Elle est donc causée par le brassage de l'eau qui permet d'augmenter les chances de contacts entre les particules **(CITEAU 2004)**.

c. **Floculation par entraînement**

Elle se produit dans une solution qui décante quand les grosses particules, tombant plus vite, entraînant les plus petites avec eux **(AMIRTHARAJAH 1990)**.

1.2.2.4 Floculants (adjuvants de coagulation) et processus de floculation

On injecte les floculants à la suite du coagulant. Leur rôle est d'accélérer la floculation ou d'améliorer la consistance et la densité des flocons.

Les adjuvants les plus communément utilisés sont: floculants minéraux (la silice) ou des floculants organiques (polymères à haut poids moléculaires) naturels tel que l'alginate extrait des algues marines ou synthétiques (polyélectrolytes anioniques, cationiques ou non ioniques). Ils se définissent par leur poids moléculaire qui est caractéristique de polymères à longue chaîne, et également par leur densité de charge **(BEADRY 1984)**.

1.2.2.5 Mécanisme d'action des polyélectrolytes

Les réactifs polymériques, selon leur composition chimique et le caractère ionique de leurs groupements actifs, font intervenir dans la floculation deux mécanismes très différents:

a. Floculation par neutralisation de charge: (annulation du potentiel zêta)

Les polyélectrolytes cationiques, provoquent la décharge électrique des colloïdes, en venant s'adsorber a l'interface solide/liquide, selon une réaction irréversible très voisine de celle mise en jeu dans la coagulation par les électrolytes minéraux. L'agglomération des particules adjacentes contiguës interviendra par une agitation modérée du milieu réactionnel **(LENGO 1994)**.

b. Floculation par adsorption physicochimique des polymères (Phénomène de Réticulation)

Les polymères anioniques et non ioniques, ne peuvent occasionner la floculation par simple neutralisation. Leur mode d'action ne peut s'expliquer qu'en faisant intervenir un processus d'adsorption d'une fraction de la chaîne polymérique sur un emplacement déterminé de la surface des particules, conformément, en première approximation, a une loi du type isotherme de Langmuir **(LENGO 1994)**.

Le pH et la salinité du milieu réactionnel peuvent également jouer un rôle. En général, l'efficacité floculante des polymères anioniques se manifeste surtout en milieu basique, au contraire des polyélectrolytes cationiques, actifs en milieu acide, tandis que les polymères non ioniques possèdent une efficacité indépendante du pH.

Enfin on peut déduire que l'épuration par coagulation floculation suivie d'une décantation lente permet d'éliminer jusqu'à 90% des MES 70% du phosphore total et 40 à 65% de la DBO5 des eaux résiduaires **(TARDAT-HENRY 1989)**.

Par précision le but de l'épuration physicochimique des effluents liquides d'une raffinerie de pétrole permet:

- D'abord d'éliminer les hydrocarbures insolubles jusqu'à des teneurs résiduelles de 2 à 20 mg/l ;
- Ensuite assurer plusieurs opérations importantes, conjointes et nécessaires

soit pour un rejet direct, soit pour alimenter l'épuration biologique:

- Neutralisation du pH;
- Précipitation des métaux lourds toxiques;
- Oxydation ou précipitation des sulfures en excès par un sel de fer;
- Clarification des eaux **(KAEDING et al. 1992)**.

Après l'étape de la coagulation floculation on passe soit à la décantation si les flocs formés sont de grosses tailles soit à la flottation si les flocs formés sont de petites tailles.

1.2.3. Décantation

La décantation est utilisée dans pratiquement toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux, c'est un procédé de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc dont la densité est supérieure à celle de l'eau ; elle s'effectue selon un processus dynamique, en assurant la séparation des deux phases solide-liquide de façon continue. Les particules décantées s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée. Elle est dirigée vers un autre stade d'épuration. La décantation à un rôle épuratoire non négligeable **(DESJARDINS 1999)**. Il apparaît néanmoins vis-à-vis des MES, DCO et DBO5 .

1.2.3.1. Types de décantation

Le phénomène de sédimentation peut se manifester différemment selon la concentration de la suspension, les caractéristiques propres des particules et les interactions possibles entre elles. On distingue quatre types de décantation :

a. Décantation de particules discrètes

Elle est caractérisée par le fait que les particules conservent leurs propriétés physiques initiales (forme, dimension et densité) au cours de leur chute.

b. Décantation de particules floculantes

Elle est caractérisée par l'agglomération des particules au cours de leur chute.

Leurs propriétés physiques sont donc modifiées pendant le processus.

c. Décantation freinée

Ce processus de sédimentation se produit pour des concentrations en matières solides floculées supérieures à 500 mg/1 par suite d'interférence mutuelle entre les particules et la vitesse ascensionnelle du fluide déplacé au cours de la décantation. Ce qui entraîne la formation d'une couche de particules et par conséquent, l'apparition d'une démarcation nette entre les solides décantés et le liquide surnageant.

d. Décantation en compression de boues

Dans ce type de décantation, les particules entrent en contacte les unes avec les autres et reposent sur les couches inférieures. Dans cette zone, le phénomène de consolidation est relativement lent. On retrouve ce type de décantation dans les épaississeurs de boues gravité **(DESJARDINS 1999)**.

1.2.4. Flottation

Une technique qui peut remplacer la sédimentation est la flottation. C'est un procédé de séparation liquide-solide basé sur la formation d'un ensemble appelé attelage, formé des particules à éliminer, plus léger que l'eau. Cette technique convient principalement pour éliminer les particules de diamètre compris entre 1 et 400 μm. Les solides sont transportés à la surface, fixés à des bulles, et sont ensuite écumés. Cette méthode permet d'éliminer des particules plus petites qu'avec la sédimentation. Elle convient davantage aux eaux présentant une haute teneur en algues, une faible turbidité naturelle ou une forte coloration.

La flottation n'est pas aussi efficace que la sédimentation pour éliminer les particules et réduire la turbidité. Ce procédé est sensible à la température et affiche un piètre (négligeable) rendement par temps très froid **(BACHOC et al. 1992)**.

1.2.4.1. Types des procédés de flottation

On distingue quelques types de flottation, parmi les quels on cite :

a. **Flottation naturelle :** lorsque la masse volumique des particules à éliminer est inférieure à celle de l'eau.

b. **Flottation mécanique :** consiste en une dispersion mécanique de bulles d'air de 0,1 à 1 mm de diamètre. Il est surtout utilisé pour la séparation et la concentration par moussage des minerais.

c. **Flottation par insufflation d'air :** c'est une flottation naturelle améliorée par l'insufflation au sein de la masse liquide de bulles d'air de quelques diamètres, on utilise pour cela des pompes poreuses.

d. **Flottation par air dissous ou aéro flottation** : on produit des microbulles au sein du liquide de 40 à 70 microns de diamètre, à détendre ensuite brutalement cette eau, par retour à la pression atmosphérique pour provoquer l'apparition spontanée d'un véritable "lait de micro bulles", qui, mélangé aux matières en suspension préalablement coagulées ou floculées provoquera leur flottation.

e. **Electroflottation** : c'est une technique de séparation analogue à l'aéro flottation, mais à la différence que les micros bulle sont produites par électrolyse de l'eau à traiter au moyen d'électrodes appropriées. Ce procédé présente l'intérêt d'assurer l'homogénéité du flux tant du point de vue de la dimension (100 microns) des bulles que de leur répartition spatiale **(BACHOC et al. 1992)**.

1.3. Traitements biologiques

Les traitements biologiques reproduisent, artificiellement ou non, les phénomènes d'autoépuration existant dans la nature. Elle regroupe l'ensemble des processus par lesquels un milieu aquatique parvient à retrouver sa qualité d'origine après une pollution.

Son principe est de provoquer une prolifération de micro-organismes aux dépens

des matières organiques apportées par l'effluent, en présence ou non d'oxygène. Il s'agit en fait d'un véritable transfert d'une forme non préhensible (matières colloïdales et dissoutes) en un élément manipulable (suspension de micro-organismes). Le résultat de cette dégradation est un accroissement de la masse épuratrice, et le rejet de déchets dans l'eau.

Mat. Organique + micro-organisme + O_2 + N + P -> micro- organisme + CO_2 + H_2O + résidu soluble non biodégradable

Selon que l'oxydation se produit grâce au gaz oxygène dissous dans l'eau (processus aérobie) ou qu'au contraire le processus se fasse sans oxygène (processus anaérobie), la nature des déchets sera différente : CO_2, H_2O, NH_3 ou NO_3 en aérobie, CO_2, CH_4 et acides gras en anaérobie.

Le moteur de décomposition (aérobie ou anaérobie) des substances organiques est constitué par des enzymes catalyseurs organiques sécrétés par les organismes. On distingue les enzymes extracellulaires qui provoquent la destruction des structures moléculaires trop complexes pour pénétrer au sein de la cellule, les enzymes intracellulaires qui assurent l'assimilation et, par conséquent, sont à l'origine des phénomènes vitaux provoquant la prolifération des cellules. Les traitements biologiques sont bien adaptés pour éliminer la pollution carbonée, mais également les pollutions azotées et phosphorées **(LAVIGNE DELVILLE 1994)**.

En traitement biologique on distingue des procédés extensifs et d'autres intensifs

1.3.1. Les procédés biologiques extensifs

Une lagune aérée utilise le même principe que le lagunage simple dans lequel, l'apport d'oxygène est augmenté par la mise en place d'aérateurs mécaniques. Une lagune aérée est assimilée à un vaste bassin aérobie. Il existe deux types de lagunes aérées :

- Les lagunes aérobies dans laquelle on maintient une concentration en oxygène dissous dans tout le bassin.

- Les lagunes facultatives dans laquelle l'oxygène n'est maintenu que dans la partie supérieure du bassin. Une zone anaérobie est donc présente au fond du bassin.

Ce mode d'épuration permet d'éliminer 80 % à 90 % de la DBO, 20 % à 30 % de l'azote et contribue à une réduction très importante des germes. Il a cependant l'inconvénient d'utiliser des surfaces importantes et de ne pas offrir des rendements constants durant l'année **(BRODART et al. 1989)**.

1.3.2. Les procédés biologiques intensifs

Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs.

Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel. Deux types d'installation sont utilisés :

- **Les installations à "cultures fixées",** d'où on distingue différents types de supports pour les cultures bactériennes : les disques biologiques et lits bactériens.

a. Disques biologiques

C'est une technique faisant appel aux cultures fixées est constituée par les disques biologiques tournants où se développent les micro-organismes et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques étant semi immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée.

b. Lits bactériens

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs.

Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon

état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux. Le rendement maximum de cette technique est de 80 % d'élimination de la DBO5 **(GAID 1984)**.

- **Les installations à "cultures libres", ou par boues activées.**

Les procédés par boues activées comportent essentiellement une phase de mise en contact de l'eau à épurer avec un floc bactérien en présence d'oxygène (aération) suivie par une phase de séparation de ce floc (clarification). Ils sont en fait une intensification de ce qui se passe dans le milieu naturel.

La différence provient d'une plus grande concentration en micro-organismes et par conséquent, d'une demande volumique en oxygène plus importante. De plus, pour maintenir en suspension la masse bactérienne, une agitation artificielle est nécessaire.

La boue activée apparaît ainsi comme une suspension de particules floconneuses de quelque 1/10 de mm à quelques mm de diamètre, ou floc, constitué de bactéries, de matières organiques inertes ou minérales, maintenues par une substance mucilagineuse produit de l'activité bactérienne. Une boue activée normale contient également une microflore, une microfaune abondante de Protozoaires et petits Métazoaires.

Les populations microbiennes des boues activées sont complexes et ne peuvent se définir qu'au moyen des principaux groupes suivants : bactéries, champignons, protozoaires et métazoaires.

L'essentiel de l'épuration est dû à la microflore peut constituer 10^{11} à 10^{12} bactéries par gramme de matières sèches.

La nature de la microfaune est sujette à divers facteurs tels que la composition chimique de l'effluent, la proportion d'azote présente, la charge massique et le

temps de séjours.

Alors l'examen de la microfaune, prédatrice est très révélateur de l'état d'une boue activée et il constitue pour un biologiste le plus sûr moyen de diagnostiquer le fonctionnement d'un bassin de boues activées et de connaître les éventuelles solutions à apporter en cas de mauvais fonctionnement **(ZEROUALI 2000)**.

1.3.3. Evolution d'une culture bactérienne

Après ensemencement, une culture bactérienne se développe jusqu'à épuisement du milieu nutritif si l'environnement est favorable. Si on suive l'évolution d'une culture bactérienne en fonction du temps, on remarque la succession de plusieurs phases se succèdent :

- Phase de latence ou d'acclimatation des micro-organismes au milieu de culture (phase d'adaptation) ;
- Phase exponentielle de croissance : Cette phase est obtenue quand le taux de reproduction cellulaire atteint son maximum et reste constant ;
- Phase de ralentissement : Elle correspond à l'épuisement du milieu de culture avec disparition de un ou plusieurs éléments nécessaires à la croissance bactérienne ;
- Phase stationnaire : La croissance s'arrête, même si les cellules conservent une certaine activité métabolique ;
- Phase de décroissance (ou encore phase de respiration endogène) : Pendant cette période les micro-organismes ne sont plus alimentés, une partie d'entre eux disparaît par auto-oxydation.

Ces différentes phases et les équations qui les régissent sont valables en milieu aérobie ou anaérobie.

1.3.4. Facteur limitant la biodégradabilité

a. Détergents : ils posent le problème d'une biodégradabilité imparfaite en diminuant le taux de transfert de l'oxygène.

b. Métaux lourds et composés chimiques : De nombreux métaux et métalloïdes font l'objet de cycles biologiques. Ces biotransformations peuvent conduire à l'apparition de composés plus ou moins toxiques qui s'accumulent dans l'environnement.

Quant aux composés chimiques, ils sont plus ou moins rapidement biodégradables, leur décomposition dépendant notamment du pouvoir d'adaptation des souches bactériennes.

c. Pesticides : Les pesticides sont essentiellement à la source de la pollution des eaux de ruissellement et d'infiltration. Ils sont difficilement biodégradables.

d. Les autres facteurs limitants (pH, température, salinité) : Le développement bactérien est possible dans un intervalle de pH assez large : 5 à 9. Cependant, des pH compris entre 6 et 8 optimisent le phénomène.

La température est un facteur clé de l'activité biologique. En fonction des températures optimales, les bactéries sont dites :

- Psychrophiles : organismes pouvant vivre jusqu'à des températures de 0°C,
- Mésophiles : organismes dont la croissance est favorisée entre 25 et 40°C,
- Thermophiles : organismes dont la croissance est favorisée à des températures égales ou supérieures à 50°C.

La concentration en sels dissous peut être un élément limitant de la croissance bactérienne et donc de la biodégradabilité d'un effluent.

1.3.5. Problèmes de décantation des boues

L'indice de Mohlman est le rapport entre le volume de boues décantées en 1/2 heure, et la masse de matières en suspension contenue dans ce volume :

IM = V / M.

Il caractérisait une boue par son aptitude à la décantation. Lorsque celui-ci était élevé, il indiquait une mauvaise décantation de la boue.

a. Floc dispersé : La boue activée ne se sépare pas de l'effluent traité. On observe un mélange trouble qui ne se clarifie quelques fois qu'après plusieurs heures de repos. La DBO5 de l'effluent traité est alors très élevée. Ce cas peut être observé pendant la période de construction de la flore microbienne. Il peut conduire à une défloculation des boues.

b. Boues flottantes : Ce phénomène s'observe aussi bien en éprouvette que dans les installations. On observe des remontées de boues en bloc ou par fractions. Diverse causes peuvent impliquer ce phénomène. La plus courante est celle relative à un dégagement de gaz par dénitrification ou par fermentation anaérobie **(LAVIGNE DELVILLE 1994)**.

1.4. Traitement d'affinage

1.4.1 Filtration sur sable

La filtration est un procédé destiné à clarifier un liquide qui contient des MES en le faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire. La plus ou moins grande facilité de fixation dépend étroitement des conditions d'exploitation des filtres et du type de matériau utilisé. L'espace inter granulaire définit la capacité de rétention du filtre. Au fur et à mesure du passage de l'eau, cet espace se réduit, le filtre se colmate. Les pertes de charge augmentent fortement. Il faut alors déclencher le rétro lavage.

La filtration, habituellement précédée des traitements de coagulation, de floculation et de décantation, permet une élimination correcte des bactéries, de la couleur, de la turbidité et indirectement de certains goûts et odeurs.

1.4.1.1 Caractéristiques des matériaux filtrants

Les matériaux utilisés sont des granulés libres non adhérents les uns aux autres, insolubles, inattaquables par le liquide filtré ni par les solides retenus, chimiquement inerte vis-à-vis des eaux agressives et apte à subir, sans s'effriter, le frottement intense que provoque les lavages. Dans les cas des premiers étages de filtration, le choix se porte sur le sable quartz rond, la pierre pence ou l'hydro anthracite pour les filtres bicouches. La pouzzolane est réservée à la déferrisation sous pression. Le charbon actif en grains est utilisé en deuxième étage afin d'améliorer les qualités organoleptiques ou d'éliminer les micropolluants.

La filtration a lieu soit en surface, soit en profondeur, selon les caractéristiques granulométriques du matériau filtrant et selon la grosseur et la cohésion des solides en suspension. Les principales caractéristiques d'un matériau filtrant sont:

- **Diamètre effectif :** correspond à la grosseur des mailles du tamis qui laisse passer 10% de la masse de l'échantillon ;
- **Coefficient d'uniformité :** est le rapport entre le diamètre qui laisse passer 60% des particules et celui qui en laisse passer 10% ;
- **Densité relative du sable** : on peut calculer expérimentalement la densité relative du sable, en divisant sa masse par celle de l'eau qu'il déplace ;
- **Masse unitaire sèche** : est la masse de matériau filtrant par unité de volume, masse qui varie du degré du compactage du matériau ;
- **Porosité :** on la calcule en divisant le volume des vides dans ce matériau par le volume total du matériau.

Il existe d'autres caractéristiques, beaucoup plus difficiles à mesurer, comme la forme des grains et la surface spécifique.

1.4.1.2 Constitution d'un filtre

Tout filtre est composé de trois parties. On retrouve le fond, le gravier support et le matériau filtrant. Le premier élément doit être solide pour supporter le poids de l'eau, du sable et du gravier. Il doit permettre la collecte et l'évacuation de l'eau filtrée, le plus souvent par des buselures incorporées, et la réparation uniforme de l'eau de lavage. Le gravier a pour rôle de retenir le sable et d'améliorer la distribution de l'eau de lavage dans le filtre.

1.4.1.3 Mécanismes de filtration

L'arrêt des particules que transporte l'eau à filtrer peut s'effectuer de diverses façons selon la taille de ces saletés, de leur fragilité, de leur potentiel zêta et de leur nature chimique. La filtration se déroule dans le volume des vides du matériau. Trois mécanismes sont possibles :

- La capture caractérisée par l'interception de la particule par frottement grâce à son inertie et sa décantation ;
- La fixation due aux forces d'adsorption de type VAN DER WALLS et facilitée par une faible vitesse de l'eau ;
- Le détachement sous l'influence de la vitesse de l'eau lors du lavage.

Les plus grosses particules subissent un arrêt purement mécanique dans l'espace inter granulaire qui diminue avec l'accumulation des MES et le passage de l'eau se réduit : c'est le colmatage. Ce phénomène provoque une perte de charge. D'autre part, le lit filtrant retient des particules beaucoup plus fines que les capillaires eux-mêmes par des mécanismes d'adsorption et par emprisonnement dans des pores devenus stagnante.

1.4.1.4 Type de filtres sur sable

a. Filtre à sable rapide

La vitesse est de 4 à 25 m/h, c'est le type de filtre le plus utilisé dans le traitement des eaux. Le matériau filtrant est maintenu par gravité et l'écoulement

de l'eau à lieu de haut en bas. Les principaux éléments d'un filtre rapide sont le fond du filtre, le gravier de support et le milieu filtrant. Les matériaux les plus utilisés sont le sable et l'anthracite. Il en existe deux catégories :

- Les filtres ouverts ou filtres rapides gravitaires où la couche d'eau à filtrer est de 0,5 m ;
- Les filtres sous pression, ils fonctionnent selon les mêmes principes que les filtres à sable rapides, sauf que leurs couches de sable et de gravier, ainsi que leur réseau de drainage, sont situés dans des cylindres horizontaux ou verticaux.

b. Filtre à sable lent

Il possède une vitesse de 1 à 2 m/h, il doit être construit de telle sorte que l'eau traverse lentement une couche de sable fin et que les particules les plus grosses soient arrêtées près de la surface du sable. Ces particules forment une couche poreuse très fine, dont la surface totale de veinules ou de pores est très grande, ce qui facilite l'absorption des impuretés par cette couche ou par le sable sous jacent. Cette couche poreuse est constituée de bactéries, d'algues et de protozoaires. La filtration lente combine donc les effets de processus physique et de processus biologique.

1.4.1.5 Lavage des filtres à sable

Le lavage d'un filtre à sable peut être déclenché lorsqu'une consigne de perte de charge maximale est atteinte, ou en cas de dégradation de la qualité de l'eau filtrée. Les différentes phases habituelles d'un lavage sont:

- **l ère phase** : injection d'air à contre courant, dans le but de détasser le lit de matériau ;
- **2ème phase** : lavage, on injecte simultanément, de l'air et de l'eau. L'eau entraîne les impuretés vers les goulottes de lavage alors que l'air assure le brassage suffisant pour décoller ces impuretés ;

- **3ème phase** : rinçage, on lave le filtre en injectant un courant d'eau circulant dans le sens contraire de la filtration destinée à détacher les impuretés **(DESJARDINS 1997)**.

1.4.2 Adsorption sur charbon actif

Le charbon actif fait partie d'une gamme de substance présentant une très grande porosité et une surface spécifique importante de l'ordre de 500 à 1500 m2 par gramme de charbon. Ces qualités confèrent au charbon actif un grand pouvoir d'adsorption. Ce processus physico chimique est utilisé dans les filières d'eau pour fixer les substances difficile à éliminer par un traitement classique et pour éliminer les substances humiques (responsable de la couleur), les goûts, les odeurs, les phénols, et les crésols, ainsi que plusieurs substances toxiques non biodégradables **(LAURENT 1994)**. Les composés retenus sont les adsorbats et le charbon actif est l'adsorbant.

1.4.2.1 Texture du charbon actif

La texture du charbon actif est voisine à celle du graphite. Elle se représente sous forme d'un empilement de couches planes d'atomes de carbone ordonnés en hexagones réguliers. Cette structure définie des pores à l'intérieur de la particule de charbon.

Les macropores n'ont aucun rôle dans le processus d'adsorption tandis que les micropores représentent 95% de la surface totale du charbon, donc ils sont les lieux d'adsorption.

1.4.2.2 Caractéristiques du charbon activé

Le charbon activé élimine les impuretés de l'eau en les fixant et en les faisant s'accumuler à sa surface. C'est pourquoi une grande surface par unité de volume et forme poreuse constituent des caractéristiques essentielles d'un bon adsorbant. La qualité d'un effluent traité par adsorption dépend de la qualité des

eaux à traiter et des caractéristiques du charbon activé utilisé.

1.4.2.3 Cinétique et processus d'adsorption

Il s'agit d'un transfert d'une phase liquide contenant l'adsorbat vers une phase solide avec rétention des solutés à la surface du charbon actif dénommé adsorbant. **Etape 1** : Très rapide : Transfert de la particule de la couche externe d'hydratation vers l'interne :

Etape 2 : Rapide : déplacement de l'eau liée jusqu'au contact de l'adsorbant ;

Etape 3 : Lente : Diffusion à l'intérieur de l'adsorbant sous l'influence du gradient de concentration ;

Etape 4 : Très rapide : Adsorption dans un micropore.

Selon la force de l'interaction, tous les processus d'adsorption peuvent être classés en physisorption ou chimisorption.

L'adsorption chimique

Dans certains cas, l'interaction entre les atomes du solide et les molécules de gaz (liquide) conduit à la formation de liaisons chimiques (covalente ou ionique). Il s'agit alors de chimisorption. C'est un phénomène irréversible.

La chimisorption est nécessairement restreinte, au plus, à une monocouche d'adsorbât liée à la surface. Un autre facteur important en chimisorption est que les molécules adsorbées ont une localisation précise sur la surface. À cause de la formation d'un lien chimique entre la molécule d'adsorbât et un site spécifique sur la surface, l'adsorbât n'est plus libre de migrer sur la surface. Ceci permet de déterminer le nombre de sites actifs sur la surface de l'adsorbant.

L'adsorption physique

L'autre catégorie, la physisorption, réversible, offre des caractéristiques tout à fait intéressantes :

- la physisorption s'accompagne de faibles chaleurs d'adsorption sans changement violent ou structurel sur la surface.

- Contrairement à la chimisorption, la physisorption peut conduire à une couverture de la surface par plus d'une couche.
- L'équilibre d'adsorption physique est rapidement atteint puisqu'il n'y a pas d'énergie d'activation comme c'est le cas en chimisorption.
- La physisorption est entièrement réversible ce qui permet d'étudier à la fois l'adsorption et la désorption.
- Les molécules ainsi adsorbées ne sont pas limitées à des sites particuliers et sont libres de couvrir toute la surface.
- Les forces de physisorption sont de trois types :
    - Les forces de dispersion (Van der Waals, London) toujours présentes.
    - Les forces polaires résultant de la présence de champ électrique dans les micropores.
    - Les liaisons hydrogènes dues aux groupements hydroxyle ou amine

1.4.2.4 Facteurs influençant l'adsorption

L'équilibre d'adsorption entre un adsorbant et un adsorbât dépend de nombreux facteurs dont voici les principaux et qui sont :

- *Température* : l'adsorption est un processus exothermique et par conséquent son déroulement doit être favorisé par un abaissement de température.
- *Concentration* : l'adsorption d'une substance croit avec l'augmentation de sa concentration dans la solution. Toute fois, cet accroissement n'est pas proportionnel car il se produit lentement.
- Pour qu'il ait une bonne adsorption il faut qu'il ait une affinité entre le solide et le soluté. En règle générale, les solides polaires adsorbent préférentiellement d'autres corps polaires. Par contre les solides non polaires adsorbent préférentiellement des substances non polaires.

- Si les dimensions des pores de l'adsorbant sont inférieures aux diamètres des molécules de l'adsorbât, l'adsorption de ce composé ne se fait pas même si la surface de l'adsorbant a une grande affinité pour ce composé.
- *Surface spécifique* : Par définition, la surface spécifique d'un adsorbant est une surface par unité de masse. Elle est généralement exprimée en nie/g. Son estimation est conventionnellement fondée sur des mesures de la capacité d'adsorption de l'adsorbant en question, correspondant à un adsorbât donné ; la molécule adsorbée doit la capacité de la monocouche à partir de l'isotherme d'adsorption.

1.4.2.5 Formes et régénération du charbon actif

Les charbons actifs sont commercialisés sous la forme de granulé de 0,5 à 4 mm ou sous la forme d'une poudre. Les granulés sont destinés à être utilisés en lis fixes, tandis que la poudre sera utilisée en dispersion dans un liquide. Elle sera ensuite récupérée par filtration.

La régénération du charbon actif (de même que les adsorbants artificiels) est un produit coûteux. Il serait, la plupart du temps, prohibitif de remplacer le charbon saturé qu'il faut donc pouvoir régénérer; à cet effet, trois méthodes ont été développées:

1. *Régénération à la vapeur*: cette méthode est limitée à la régénération de charbon n'ayant fixé que quelques produits très volatils ;
2. *Régénération thermique*: par pyrolyse et combustion des substances organiques adsorbées. Le chauffage vers 800°C sous atmosphère contrôlée évité d'enflammer le charbon ;
3. *Régénération chimique*: DEGREMONT a développé un procédé basé sur l'action d'un solvant utilisé à une température voisine de 100°C, et à pH élevé.

1.4.3 Lavage des filtres

Lorsque la perte de charge, la turbidité, ou les deux, atteignent leurs valeurs maximales, on lave les filtres en injectant l'eau à contre courant, c'est-à-dire si lors du traitement à filtres l'eau passe de bas en haut, donc le lavage s'effectue de haut en bas. Le lavage peut se faire avec de l'eau seulement, ou par l'eau et à l'air en même temps. **(DESJARDINS 1997)**.

Chapitre III:

REUTILISATION ET RECYCLAGE DES EAUX EPUREES

1. Réutilisation et recyclage des eaux épurées

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

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

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

public, réalisable sur le plan économique et appuyée par un cadre réglementaire **(ANDERSON et al. 2001)**.

1.1. Définition

Ces dernières années, la terminologie employée dans le domaine de la réutilisation de l'eau s'est quelque peu normalisée et les termes courants qui suivent ont été extrapolés d'après :

- **La récupération des eaux usées** concerne le traitement de l'eau pour obtenir une qualité prédéterminée qui facilite sa réutilisation. Dans ce contexte, l'expression eaux usées est employée au sens large et englobe les eaux usées municipales (résidences, commerces, établissements et usines) et les apports permis d'eau pluviale ou d'eau de ruissellement.
- **La réutilisation de l'eau** consiste en l'utilisation d'eau traitée à des fins utiles, notamment l'irrigation agricole et le refroidissement dans le secteur industriel.
- L'eau récupérée est un effluent traité pour obtenir une qualité conforme à un usage précis. La réutilisation directe fait référence à un système de réutilisation dans lequel l'eau récupérée est transportée jusqu'aux points où elle est réutilisée. La réutilisation indirecte concerne l'évacuation dans des eaux réceptrices (eaux de surface ou nappe souterraine) d'un effluent qui est ensuite assimilé puis prélevé en aval, ce qui ne correspond pas à une réutilisation directe planifiée de l'eau.
- **Le recyclage de l'eau,** fait référence à des systèmes industriels dans lesquels l'effluent récupéré est Les pratiques de réutilisation peuvent être classées en quatre catégories dans un ordre décroissant, en commençant par celles qui nécessitent le plus haut degré de traitement.

1.2. Catégories de réutilisation des eaux épurées

1.2.1. Réutilisation à titre d'eau potable

La réutilisation directe à titre d'eau potable, soit l'acheminement direct d'une eau récupérée à un système d'approvisionnement en eau potable.

La réutilisation indirecte à titre d'eau potable fait référence à l'augmentation des sources d'approvisionnement en eau potable à partir d'eaux récupérées hautement traitées.

1.2.2. Réutilisations urbaines et récréatives non restreintes et irrigation des cultures vivrières

Cette catégorie de réutilisation exige une qualité d'eau assez élevée et représente actuellement le plus haut degré de réutilisation pratiquée de façon courante. Entre autres exemples typiques d'utilisation non restreinte en milieu urbain à des fins agricoles ou récréatives, mentionnons :

- Utilisation en milieu urbain : irrigation des parcs, terrains de jeu et cours de récréation; protection contre les incendies; fontaines et bassins ornementaux; chasse d'eau de toilette et climatisation des édifices.
- Utilisation non restreinte à des fins récréatives : applications où il n'y a aucune restriction de contact avec le corps, notamment l'alimentation des lacs et des étendues d'eau où l'on peut nager; fabrication de neige.
- Irrigation agricole des cultures vivrières destinées à la consommation humaine sans cuisson.

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

1.2.3. Réutilisations urbaines et récréatives restreintes, irrigation de cultures non vivrières ou de cultures transformées avant consommation

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

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

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

1.2.4. Réutilisation et recyclage industriels

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 **(ASANO 1998)**.

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

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

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

- Contrôle environnemental et conséquences de la récupération de l'eau : l'utilisation de l'eau récupérée pour la préservation des terres humides, dont on prévoit qu'elle s'accroîtra, l'augmentation des écoulements fluviaux et l'alimentation des nappes souterraines démontre la nécessité de faire davantage de recherche dans ce domaine **(CROOK 1998)**.

PARTIE II :
ETUDE PRATIQUE

Chapitre IV :
Méthode et matériel

1. Présentation du milieu d'étude :

1.1 Présentation de la Wilaya d'ADRAR :

La wilaya d'Adrar crée par découpage Administratif de 1974, s'étend sur la partie du Sud Ouest Algérien et couvre une superficie globale de 427.968 KM² soit 17,98 % du territoire National, pour une population estimée à 432.265 habitants au 31.12.2011. La densité est de 1,01 habitant /km². Elle a Composé de 11 Daïras regroupant 28 communes et 294 ksour éparpillés sur son vaste territoire (tout au long de l'Oued Messaoud et en bordure de la Grande Sebkha de Timimoun), tous occupés.

La wilaya d'Adrar caractérisé par quatre grandes zones:

- Le GOURARA : région de Timimoun
- Le TOUAT : région d'Adrar
- Le TIDIKELT : région d'Aoulèf.
- Le TANEZROUFT : région de Bordj Badji- Mokhtar

Elle est limitée:

- Au Nord : La Wilaya d'EL-BAYADH
- Au Nord Ouest : La Wilaya de BECHAR
- A l'Ouest : La Wilaya de TINDOUF
- Au Sud : Le MALI
- Au Sud Ouest : La MAURITANIE
- Au Sud Est : La Wilaya de TAMANRASSET
- Au Nord Est : La Wilaya de GHARDAIA

1.2 La Climatologie da la Wilaya:

Le climat de la wilaya d'Adrar est composé de 02 zones climatiques distinctes :

-Une zone semi désertiques qui part de Timimoune vers Béchar.

-Une zone désertique partant de Timimoune vers Timioauine.

1.2.1 Les Températures :

La wilaya d'Adrar enregistre des écarts de températures considérables. En été les températures sont maximales jusqu'à 45°C (juin-juillet – août) .

En hiver les températures peuvent atteindre parfois les 0°C en décembre et janvier.

1.2.2 Les Vents :

La fréquence des vents est très grande durant toute l'année, notamment le sirocco dont la vitesse peut atteindre les 100KM/H.

Généralement, la saison du printemps (mars-avril), connaît une fréquence plus grande de vents de sable.

1.2.3 La Pluviométrie :

Extrêmement faible, à l'exception de la région de Timimoune, qui enregistre parfois de fortes chutes de pluie, dues essentiellement à sa situation géographique limitrophe avec la wilaya de Béchar. Pluviométrie annuelle moins de 100 mm.

1.2.4 L'Hydrologie :

La quasi-totalité des besoins en eau de la wilaya sont satisfaits grâce à l'existence de la nappe du continental intercalaire et le mio-pliocène. L'eau est puisée dans les nappes par foggara ou forages.

2. La station d'épuration de M'raguen :

La station d'épuration de Ksar M'raguen a été réalisée dans le cadre des projets de protection de l'environnement financier par les entreprises étrangères actives dans le domaine du pétroler en Algérie.

Figure n°01 : Photo de station d'épuration de Ksar M'raguen

- Fiche technique de station :
  - Intitulée de l'opération : Projet pilote d'une station d'épuration écologique dans le Ksar M'raguen-Adrar.
  - Localité : la station se trouvée à 300 métre ouest de Ksar M'raguen à 12 Km a chef lieu de la wilaya.
  - Maître d'ouvrage : G.D.F SUEZ
  - Suivi technique : le maître d'ouvrage et les services de la direction des ressources en eau d'Adrar.
  - Période de réalisation : 2015-2016
  - Surface : 1000 m^2
  - Source d'eau usée : réseaux d'assainissement de Ksar M'raguen.

- Système de fonctionnement : Ecoulement vertical (02 bassins semi enterée).

3. Filtres plantes de roseaux :

Filtre plantes de roseaux est un des modes de traitement biologique des eaux résiduaires domestique, ce procéder consiste à faire circuler gravitairement les effluents domestiques sur fil de bassins aménagés.

Il y a deux types de filtres plantes suivant le sans de l'écoulement :

3.1 Les filtres à écoulement vertical :

La station d'épuration à filtres plantés de roseaux à écoulement vertical est constituée au minimum de deux étages et de deux ou trois bassins en parallèle fonctionnant en alternance. (Groupe macrophytes et traitement des eaux, 2005)

3.2 filtres à écoulement horizontal :

La station d'épuration à filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal est complètement saturée en eau par un système de siphon en sortie permettant de régler la hauteur d'eau dans le bassin. Elle est nécessairement alimentée par des eaux préalablement débarrassés de leurs matières en suspension. (Groupe macrophytes et traitement des eaux, 2005)

4. Les traitements des eaux usée dans la station d'épuration de M'raguen :

Les eaux usée de Ksar M'raguen passée par deux étapes de traitement au niveau de la station d'épuration de M'raguen:

1ére étape : Prétraitement

- **L'arrivage des eaux usées:**

Le premier point des eaux usées dans la station est le regard d'arrivée des eaux usées

Figure n°02 : Regard d'arrivage d'eaux usées

- **Dégrillage :**

Le dégrillage constitue la première étape du traitement. Il a pour objet de retenir les éléments les plus grossiers susceptibles d'être véhiculés par le réseau d'assainissement, pour protéger les différents équipements et la file boues.

Figure n°03 : Regard de dégrillage

- **Dégraissage-déshuilage:**

dans cette étape fait régulièrement le retrait des graisses et huiles accumulée au surface, et effectuée dans le même bassin l'étape de dessablage.

Figure n°04 : Regard de dégraissage et déshuilage

2^{éme} étape : Traitement :

- **Première étage :**

L'alimentation du premier étage du lit de réseaux par les eaux brutes est assuré par pompe émergée, afin d'assurer une bonne répartition des eaux brutes sur la surface du lit de bassin fonctionné.

Le premier étage joue le rôle de rétention des matières en suspension (MES) à la surface des 1^{ér} étage et aussi l'accumulation de boues.

- **Deuxième étage :**

Dans le 2^{éme} étage il y a le traitement des matières organiques dissoute par la dégradation biologique, cette dernière dégradation réalisée par la biomasse bactérienne aérobie, elle assure un traitement tertiaire de finition.

Figure n°05 : Bassin de traitement avant la mise en service

Figure n°06 : Bassin de traitement après de mise en service

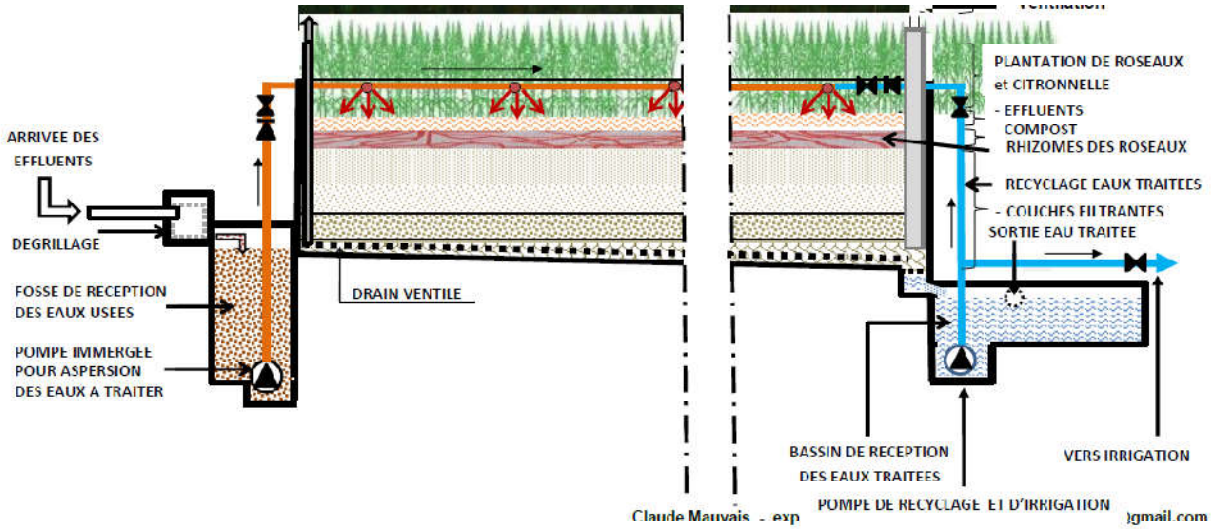

Figure n°07 : Schéma générale de station d'épuration de Ksar M'raguen (Claude, 2016)

5. Les échantillons :

Les échantillons prennent à partir de station d'épuration de M'raguen en date du 16/04/2017 à 09 heurs comme suite :

- Un échantillon en amont
- Deux échantillons en aval (un pour chaque bassin).

Figure n°08 : Photo des échantillons

6. Les analyses :

Les analyses sont faites au niveau de laboratoire du Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) antenne régionale sud ouest à ADRAR.

Figure n°09 : Photos des analyses

Chapitre V :

Résultat et discussion

1. Résultat des analysés :

1.1 Caractéristique des eaux brutes :

Tableau n°01 : Les paramètres physico-chimiques des eaux brutes

N°	paramètres	résultats	Normes de potabilité
01	PH	7.02	≥ 6.5 et ≤ 9
02	Conductivité ms/cm	2.85	2.80
03	Turbidité eau brute NTU	20.45	5.00
04	Résidu sec à 110°c mg/l	1800.00	1500.00
05	Ammonium NH4+ mg/l	0.119	25.00
06	Nitrite NO2- mg/l	0.304	0.50
07	O.phasphate PO4- mg/l	19.536	0.20
08	Mat. Ox. (mil. Ac.) mg/l O2	30.00	0.50
09	DCO en mg/l O2	268.80	5.00
10	Calcium ca^{++} mg/l	116	200.00
11	Magnes. Mg^{++} mg/l	55	150.00
12	Sodium Na^{+} mg/l	420	200.00
13	Potass. K^{+} mg/l	45	12.00
14	Chlorure Cl^{-} mg/l	300	500.00
15	Sulfate $SO4^{--}$ mg/l	490	400.00
16	Bicarbon $HCO3^{-}$ mg/l	616	-
17	Carbonate $CO3^{--}$ mg/l	0	-
18	Minéralisation mg/l	1767	-
19	Somme des ions mg/l	2047	-
20	DBO5 en mg/l O2	180.00	-

On remarque que l'eau brute de station d'épuration de ksar M'raguen est fortement minéralisée et de qualité physico-chimique mauvaise.

1.2 Caractéristique des eaux traitées :

Tableau n°02 : Les paramètres physico-chimiques des eaux traitées

N°	paramètres	résultats		Normes de potabilité
		Bassin 1	Bassin 2	
01	PH	7.23	7.27	≥ 6.5 et ≤ 9
02	Conductivité ms/cm	2.71	2.72	2.80
03	Turbidité eau brute NTU	2.06	1.95	5.00
04	Résidu sec à 110°c mg/l	1700.00	1700.00	1500.00
05	Ammonium NH4+ mg/l	6.940	6.380	25.00
06	Nitrite NO2- mg/l	1.114	0.840	0.50
07	O.phasphate PO4- mg/l	8.834	9.964	0.20
08	Mat. Ox. (mil. Ac.) mg/l O2	24.00	19.00	0.50
09	DCO en mg/l O2	30.00	29.00	5.00
10	Calcium ca^{++} mg/l	180	180	200.00
11	Magnes. Mg^{++} mg/l	45	58	150.00
12	Sodium Na^{+} mg/l	310	312	200.00
13	Potass. K^{+} mg/l	41	41	12.00
14	Chlorure Cl^{-} mg/l	388	438	500.00
15	Sulfate $SO4^{--}$ mg/l	490	490	400.00
16	Bicarbon $HCO3^{-}$ mg/l	305	302	-
17	Carbonate $CO3^{--}$ mg/l	0	0	-
18	Minéralisation mg/l	1680	1686	-
19	Somme des ions mg/l	1858	1936	-
20	DBO5 en mg/l O2	28.00	18.00	-

On observer que l'eau traitée de station d'épuration de ksar M'raguen est moyennement minéralisée et de qualité physico-chimique moyenne.

2. Discussions du résultat :

2.1 PH :

Tableau n°03 : PH des eaux de station de M'raguen

paramètres	résultats			Normes de potabilité
	Eau usée	Bassin 1	Bassin 2	
PH	7.02	7.23	7.27	≥ 6.5 et ≤ 9

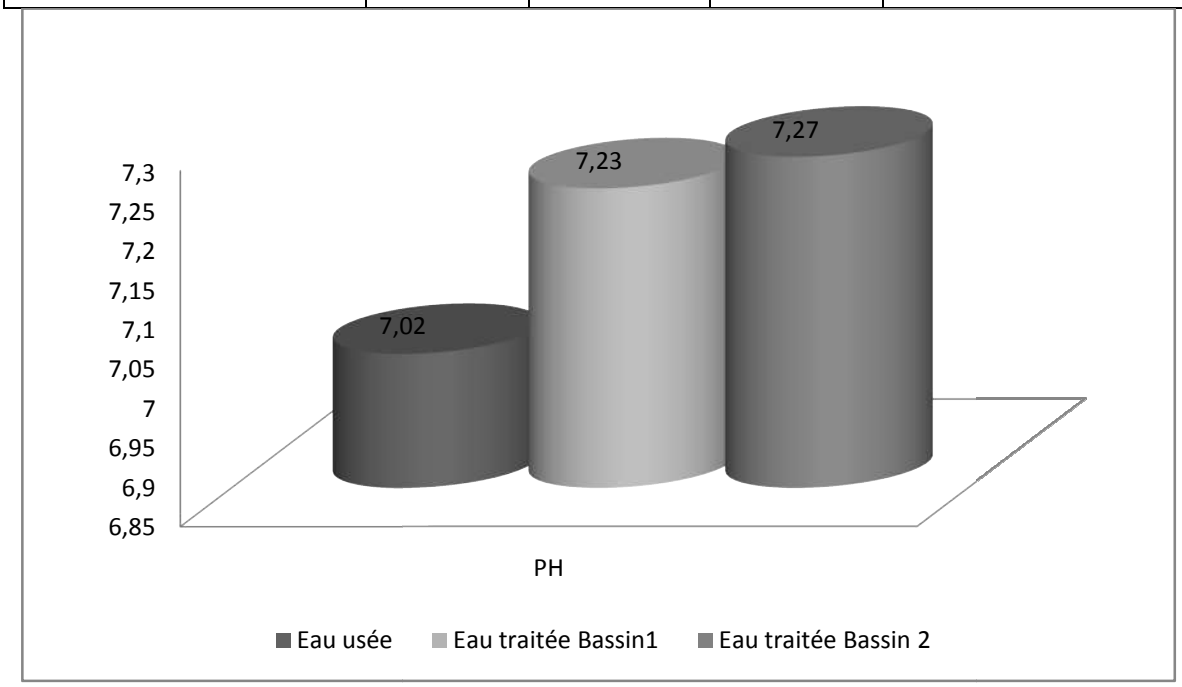

Figure n°10 : Histogramme de PH

Interprétation :

L'eau usée de station de M'raguen est presque neutre, mais l'eau traité est faiblement basique.

2.2 Conductivité :

Tableau n° 04 : Conductivité des eaux de station de M'raguen

paramètres	résultats			Normes de potabilité
	Eau usée	Bassin 1	Bassin 2	
Conductivité ms/cm	2.85	2.71	2.72	2.80

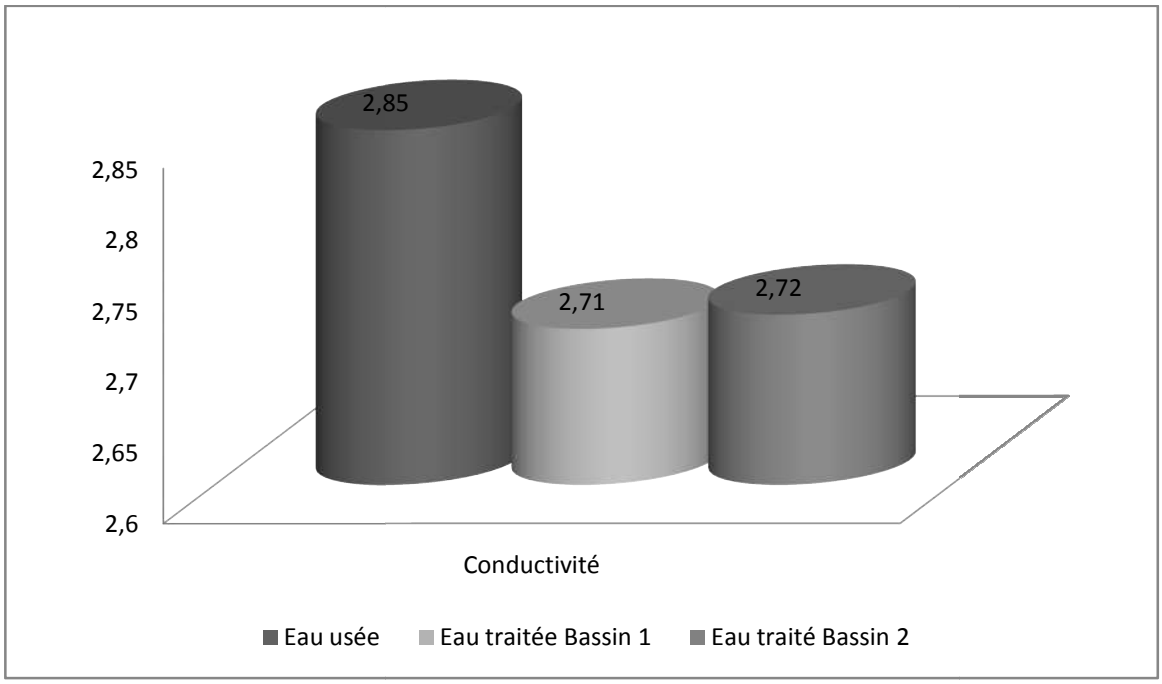

Figure n°11 : Histogramme de conductivité

Interprétation :

L'eau usée de station de M'raguen est faiblement salée, et la salinité diminue après le traitement à niveau inferieur à la norme d'eau potable.

2.3 Demande chimique en Oxygène (DCO) :

Tableau n°05 : DCO des eaux de station M'raguen

paramètres	résultats			Normes de potabilité
	Eau usée	Bassin 1	Bassin 2	
DCO en mg/l O2	268.80	30.00	29.00	

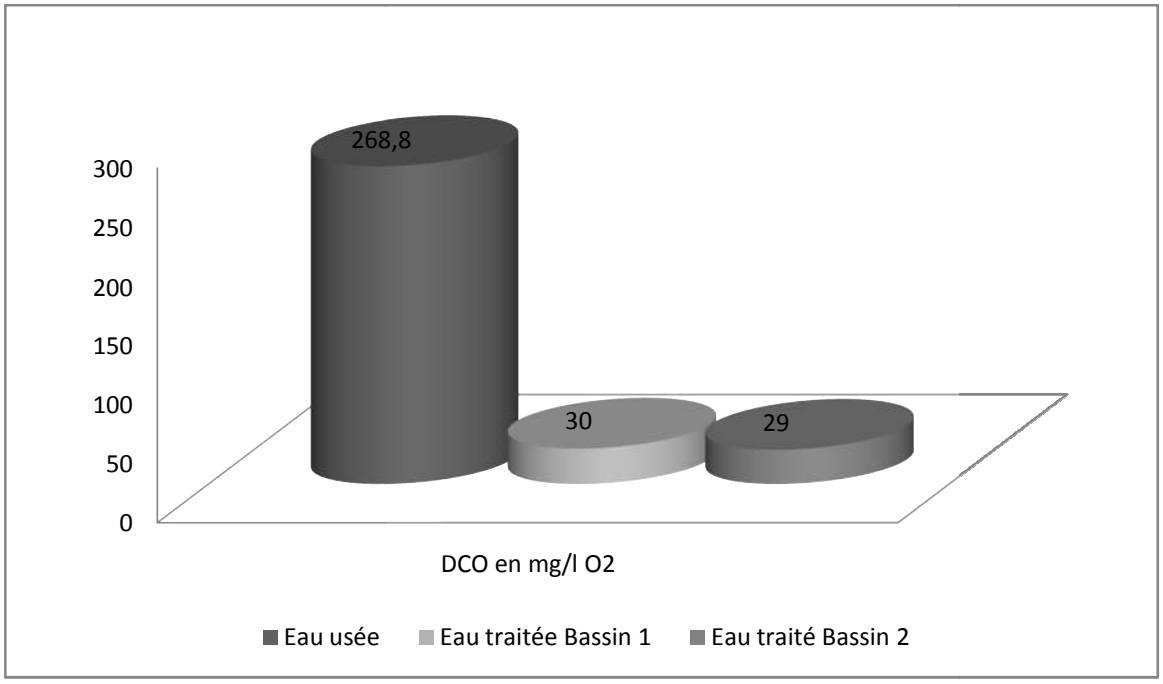

Figure n°12 : Histogramme de DCO

Interprétation :

Il y a un grand abattement environ 90% entre l'entrée et la sortie, c'est un témoigne de l'efficacité du traitement.

2.4 Demande biologique en Oxygène (DBO5) :

Tableau n°06 : DBO5 des eaux de station M'raguen

paramètres	résultats			Normes de potabilité
	Eau usée	Bassin 1	Bassin 2	
DBO5 en mg/l O2	180.00	28.00	18.00	

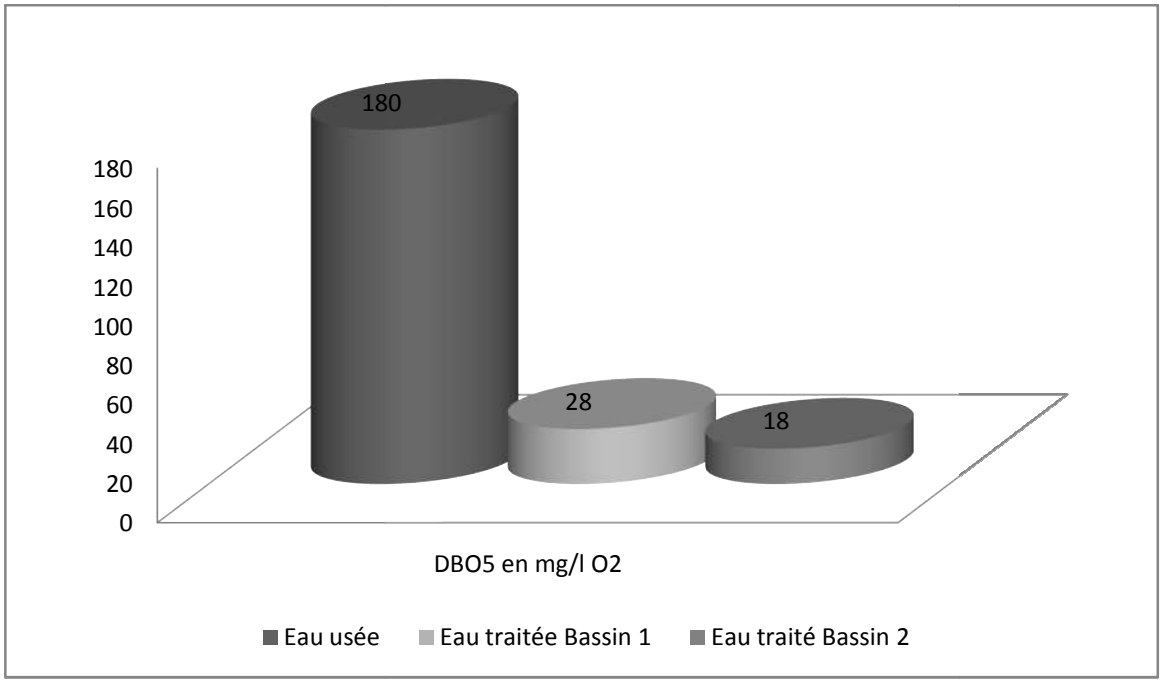

Figure n°13 : Histogramme de DBO5

Interprétation :

Il y a un grand abattement environ 74% entre l'entrée et la sortie, c'est un témoigne de l'efficacité du traitement.

3. Conclusion :

L'objectif de la station d'épuration de ksar M'raguen par filtre plantés de roseaux n'est pas de l'eau potable, mais l'eau acceptable pour la nature, donc d'après cette objectif et les résultats des analyses des eaux usées avant et après le traitement, nous pouvons conclure que ce station est efficace et bien épurées.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale:

La réutilisation des eaux résiduaires après leur épuration à des fins domestiques, agricoles ou industrielles est devenue l'une des solutions qui peut répondre aux problèmes de pénurie de l'eau dans le monde, et les besoins croissants en cette matière.

Dans ce contexte cette étude a pour objectif principal l'étude de la qualité des eaux résiduaires en amont et en aval au niveau de la station d'épuration du ksar de M'raguen dans le but de leur possible réutilisation comme eau d'irrigation pour les espaces verts, de plantation forestières et/ou de bosquets.

L'eau à sa sortie doit répondre à certaines normes pour ne pas êtres néfaste ni à la nature ni aux futures plantains. Pour répondre à cette problématique, cette étude a été développée comme suit:

- Etude de la qualité physicochimique des eaux résiduaires :
    - à leur entrée en amont de la station ;
    - à leur sortie en aval de la station

Après avoir examiner l'état des lieux et recensé toutes les données de la région et l'analyse des échantillons prélevés en amont et en aval effectuée à l'échelle du laboratoire et portant sur plusieurs paramètres nous a permis de constater que l'eau présente une grande différence entre les deux niveaux. En effet, le diagnostic de l'eau résiduaire nous a amené à relever un constat sur la qualité de l'eau qui est devenue remarquablement et nettement saine à sa sortie par rapport à son entrée.

Après épuration, l'eau présente un caractère propre, ce qui un avantage pour la nature d'une part et pour l''environnement du K'sar d'autre part. À cela s'ajoute que le système d'épuration par filtre plantés de roseaux est d'une grande simplicité car il y a :

- Une très bonne épuration des eaux usées ;
- Une bonne système pour la protection de la nature ;
- Une bonne adaptation aux fortes variations de charge ;
- Une bonne intégration paysagère de la station par la présence de flore ;
- Une simplicité de fonctionnement par système gravitaire qui fait circuler de l'eau à épurer lentement dans les bassins ;
- Un faible cout de fonctionnement et d'entretien.

De ce qui précède, l'utilisation des eaux résiduaires épurées par la méthode filtre plantés de roseaux comme eau d'irrigation pour les espaces verts, les plantations forestières et/ou bosquets peut être favorisée par les communautés locales. Et ce pour réduire la consommation abusive de l'eau dans ce domaine d'irrigation et pour accroitre le stock d'eau qui est réellement destiné aux ménages. Surtout dans cette zone saharienne où l'eau est soustraite à la nappe. Pour ce qui de son utilisation dans l'irrigation des plantations vivrières, cette eau épurée doit faire l'objet de contrôle plus accentuée et d'une réglementation stricte et adéquate.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- AMIRTHARAJAH, A., O'MELLA, C.R (1990). Coagulation Processes: Destabilization, Mixing, and Flocculation.
- ASANO, T. (1998). Wastewater reclamation and reuse. CRC Press. vol. 10. États-Unis.
- AULICINO E. A., MASTRANTONIO A., ORSINI E, BELLUCCI C., MUSCILLO M. & LAROSA G., (1996). Enteric viruses in a wastewater treatment plant in Rome. Water, Air, and Soil Pollution.
- AZIMI S., ROCHER V., MULLER M., MOILLERON R. & THEVENOT D.R., (2005). Sources, distribution and variability of hydrocarbons and metals in atmospheric deposition in an urban area. Science of the Total Environment.
- BACHOC A., CHEBBO G. (1992. Caractérisation des solides en suspension dans les rejets pluviaux urbains. Journée des Sciences et Techniques de l'Environnement, Paris.
- BAUMONT S., CAMARD J.P., LEFRANC A. & FRANCON A., (2002). Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaire et faisabilité en Ile-de France, Paris.
- BEAUDRY J.P. (1984). Traitement des eaux. Les éditions le griffon d'argile. Québec. Canada.
- BELGIORNO V., RIZZO L., FATTA D., DELLA ROCCA C., LOFRANOA G., NIKOLAOU A., NADDEO V. & MERIC S., (2007). Review on endocrine disruptingemerging compounds in urban wastewater: occurrence and removal by photocatalysis and ultrasonic irradiation for wastewater reuse. Desalination.
- BELAHMADI M.S.O. (2011). Etude de la biodégradation du 2,4-dichlorophénol par la microbiote des effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d'Ibn Ziad. Université Constantine.
- BERNE F. Traitements des eaux usées, épuration des eaux résiduaire de raffinage.
- BOUCHESEICHE C., CREMILLE E., PELTET T. & PROJER K., (2002). Pollution toxique et écotoxicologique. Notion de base. Guide technique N°7. Agence de l'eau Rhône-méditerranée et Corse. Montpellier (France).
- BOUHAMDI M. (2015). La réutilisation des eaux usées industrielles de la raffinerie de Sbaa Adrar. Université Adrar.
- BOUSSEBOUA H., (2005). Eléments de microbiologie. 2ème édition, Campus-Club, Constantine, Algérie.

- BRODART E et al. (1989). Modélisation statistique d'une usine de traitement de l'eau potable. Rencontres Internationales Eau et Technologies Avancées. Montpellier.
- BUZIER R., TUSSEAU-VUILLEMIN M.H. & MOUCHEL J.M., (2006). Evaluation of DGT as a metal speciation tool in wastewater. Science of the Total Environment.
- CAMILLE BAAR, VIRGINE LETEBVRE et al (2005). Traitement des eaux usées. Université libre de Bruxelles.
- CAMPOS C., (2008). New perspectives on microbiological water control for wastewater use désalination.
- CARDOT C. (1999). Génie de l'environnement, les traitements de l'eau. Edition Ellipses. Paris.
- Claude Mouvais, (2016). Station d'épuration des eaux usées Ksar M'raguen-Adrar-Algérie.
- CHELLE F. et DELLALE M.. (2005). Festival des sciences de la ville. Séminaire. France.
- CHITOUR C.E. (1981). Introduction de la catalyse, 2eme édition, Alger.
- CITEAU L. (2004). Etude des colloïdes naturels présents dans les eaux gravitaires des sols contaminés. Unité de science du sol. Versailles.
- CROOK, J. (1998). Water reclamation and reuse criteria. États- Unis.
- DESJARDINS R. (1997. Le traitement des eaux. 2 eme édition. Montréal.
- DESJARDINS C. (1999). Simulation et étude en laboratoire de la floculation lestée. Mémoire de maîtrise des sciences appliquées. École polytechnique de Montreal.
- DOELSCH E., SAINT H., VIRGINIE M. & KERCHOVE V., (2006). Sources of very high heavy metal content in soils of volcanic island (La Réunion). Journal of Geochemical Exploration.
- ERNEST M.H. (1985) fundamental problems instatistical mechanics. Ed. Cohen. Noeth Holland Publishing Company. Amsterdam.
- F.A.O., (2003). L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation.
- FAZAZ C., SOUILAH N. (2004. Etude de l'adsorption du cuivre sur charbon actif et la terre décolorante. SKIKDA.
- GAID A. (1984). Epuration Biologique Des Eaux Usées Urbaines "Tome 1 et 2".O.P.U. Alger.
- GENNACCARO A.L., MCLAUGHLIN M.R., QUINTERO-BETANCOURT W., HUFFMAN D.E. & ROSE J.B., (2003). Infectious Cryptosporidium parvum oocysts in final reclaimed effluent. Applied and Environmental Microbiology.

- Groupe Macrophytes et Traitement, (2005). Epuration des eaux uséees domestiques par filters de macrophytes, Version n° 1.
- KAEDING, U. et al. (1992). Direct comparison between sulphate and polyaluminum chloride as coagulants in a water treatment plant. Water SuppZy,
- KIMURA K., TOSHIMA S., AMY G., WATANABE Y., (2004). Rejection of neutral endocrine disrupting compounds (EDCs) and pharmaceutical active compounds (PhACs) by R.O.M. Journal of Membrane Science.
- KLIMPEL (1994). et HOGG R. (1991). Colloids surface.
- KUNZ A. & JARDIM W.F., (2000). Complexation and adsorption of copper in raw sewage Water Resources.
- LAURENT J.L. (1994). L'assainissement des agglomérations techniques d'épuration actuelles et évolutions. Les agences de l'eau et le ministère de l'environnement. France.
- LAVIGNE DELVILLE J.-C. (1994). Dépolluer les eaux pluviales. Collection OTV.
- LENGO, K.M. (1994). Effets comparés de divers coagulants sur l'enlèvement de la matière organique des eaux à potabilité. École Polytechnique de Montréal.
- MARTIN G. (1979). Le problème de l'azote dans les eaux. Ed technique et documentation, Paris.
- MEKHALIF F. (2009). Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement. Université Skikda.
- MERLE J.-P. (1999). Synthèse de l'efficacité des ouvrages de traitement des eaux pluviales routières. Rapport d'études, ASFA.
- METCALF AND EDDY. (1991). Waste water engineering, treatment, disposal and reuse.
- METICHE M., (2004). Environnement : phénomènes de pollution et techniques de protection. Centre Universitaire de Bechar.
- MOUSSA MOUMOUNI DJERMAKOYE H. (2005). Les eaux résiduaires des tanneries et des teintureries : caractéristiques physicochimiques, bactériologiques et impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines. Université Bamako.
- ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE. (1989). L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquiculture. Technical Report Series 778.Genève.
- OUALI M.S. (2001). Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux. O.P.U. Alger.
- PELMONT J., (2005). Biodégradations et métabolismes : Les bactéries pour les technologies de l'environnement. EDP Sciences Editions.

- PERRY J.J., STALEY J.T. & LORY S., (2004). Microbiologie. Ed. Dunod. France.
- PRONOST J., et al (2002). Office internationale de l'eau.
- SBAI D., AMIRA A. (2015). Caractérisation des eaux usées industrielles de la raffinerie de Sbaa Adrar. Université Adrar.
- SLASLI M.A. (2002). Modélisation de l'adsorption par charbons microporeux. Thèse de doctorat. Université de Neuchâtel.
- TARDAT-HENRY, M. (1989). Évolution des dérivés de l'aluminium utilisés comme agents de coagulants. Sciences et Techniques de l'Eau.
- TCHOBANOGLOUS, G., SOEDER, E.D. (1987). Water Quality.
- TOZE S., (1999). PCR and the detection of microbial pathogens in water and wastewaters.
- TOZE S., (2006). Reuse of effluent water-benefits and risks, Agricultural Water Management.
- VAILLANT J.R., (1974). Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires. Edition Eyrolles, Paris.
- VINCENT M., (2003). Aquaculture environnement, institut français de l'environnement.
- WALLER, D.H. SALAH M.N.. (1999). Case studies of potential applications of innovative residential water and wastewater technologies.
- XANTHOULIS D. (1993). Valorisation agronomique des eaux usées des industries agro- alimentaires.
- ZEGHOUD M.S. (2014). Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village Méghibra. Université d'El Oued.
- ZEROUALI D. (2000). Traitement des eaux résiduaires. Centre inter- entreprises de formation industrielle. Séminaire.