



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche  
scientifique

Université de SAAD DAHLEB – Blida 1 --

Faculté des Technologie

Département de génie des procédés

## PROJET DE FIN D'ETUDES

*En vue d'obtention du diplôme de master 2 en génie des  
procédés*

*Option : Génie chimique*

### THEME

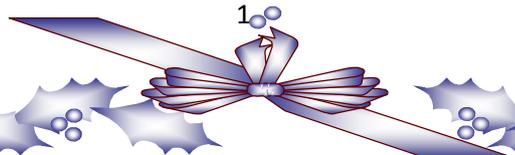
**CONTRIBUTION A L'ELIMINATION DE  
L'AMMONIUM DES EAUX DE FORAGE DE  
L'UNITE DE BETON TRANS CANAL**

**- CENTRE - OUED FODDA**

Présenté par : *BOUTBEL MOHAMED*

Dirigé par : Pr. D.LHADI

Année universitaire 2016/2017



# **REMERCIEMENTS**

*Tout d'abord je remercie **Allah** qui m'a donné la volonté de réaliser ce travail*

*J'exprime mes profondes reconnaissances à mon promoteur Mr. Hadi Djamel*

*pour ses conseils et son aide précieuse*

*Je tiens à exprimer mes profondes et sincères reconnaissances à la personne qui*

*m'a aidé et fortement soutenu pour réaliser ce travail **ma femme***

## Résumé:

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'élaboration d'une technique écologique de traitement des eaux, il s'agit du traitement des eaux par les plantes ou la phyto épuration, qu'elle a été appliqué pour éliminer l'ammoniac dissout dans une eau souterraine par l'usage d'un filtre planté construit localement.

Le travail a été réalisé pour déduire les paramètres optimaux d'une bonne élimination de l'ammonium tels que: le type d'écoulement adéquat, la méthode d'alimentation du filtre planté, la durée d'alimentation et le taux d'application hydraulique

Les résultats obtenus sont limités et ne dépassaient pas 48%, avec un taux d'enlèvement massique de 237,6mg/m<sup>2</sup>.j sous les conditions optimales; sont justifiés par la courte période d'étude ainsi que l'usage d'une seule plante implantée dans 1m<sup>2</sup> de surface.

**Mots clés:** eau, ammonium, phytoépuration, filtre planté, rhizosphère

## Abstract:

This work is part of the development of an ecological technique of water treatment, it is the treatment of water by plants or phyto purification, it was applied to remove ammonia dissolved in groundwater through the use of a locally built planted filter.

The work was done to deduce the optimal parameters of a good ammonium removal such as: the proper flow type, the method of feeding the planted filter, the feeding time and the hydraulic application rate

The results obtained were limited and did not exceed 48%, with a mass removal rate of 237.6 mg / m<sup>2</sup> under optimal conditions; are justified by the short period of study as well as the use of a single plant implanted in 1m<sup>2</sup> of surface.

Key words: water, ammonium, phytoremediation, plant filter, rhizosphere

## ملخص :

هذا العمل هو جزء من تطوير تقنية بيئية

لمعالجة المياه، فمن معالجة المياه بواسطة النباتات أو تنقية النبات، تم تطبيقه لإزالة الأمونيا الذائبة في المياه الجوفية من خلال استخدام فلتر مزروع محليا.

وقد تم العمل لاستنتاج المعلمات المثلى لإزالة الأمونيوم جيدة مثل: نوع التدفق الصحيح، وطريقة تغذية المرشح المزروع، ووقت التغذية ومعدل التطبيق الهيدروليكي

وكانت النتائج التي تم الحصول عليها محدودة ولم تتجاوز 48 %، مع معدل إزالة الشامل من 237.6 ملغ / متر مربع في ظل الظروف المثلى. وهي مبررة من قبل فترة قصيرة من الدراسة، فضلا عن استخدام نبتة واحدة تم زرعها في 1 م<sup>2</sup> من السطح.

الكلمات المفتاحية: الماء، الأمونيوم، تنقية نباتية، فلتر النبات، ريزوسفير

# SOMMAIRE

---

<b>Introduction générale</b> .....	7
<b>Chapitre I: Etude bibliographique</b>	
<b>I.1-Généralité sur l'eau</b> .....	9
I-1.1 Propriétés physico-chimiques .....	9
I-1.2 Cycle de conservation de l'eau (cycle hydraulique).....	12
I-1.3 Classification des eaux.....	12
I.1.3.1 Eaux naturelles .....	13
I.1.3.2 Eaux de consommation.....	13
I.1.3.3 Eaux industrielles.....	14
I.1.3.4 Eaux usées.....	15
I-1.4 Composition générale des eaux.....	16
<b>I.2-Traitement des eaux a usage industrielle</b> .....	18
Introduction.....	18
<b>I.2.1 Traitement physique</b> .....	19
I.2.1.1 Coagulation/floculation.....	19
I.2.1.2 Décantation.....	20
I.2.1.3 Flottation .....	20
I.2.1.3 Filtration.....	21
<b>I.2.2 Traitement chimique</b> .....	21
I.2.2.1 L'échange gaz –liquide .....	21
I.2.2.2 L'oxydation.....	22
I.2.2.3 L'adsorption.....	23
I.2.2.4L'échange ionique.....	23
<b>I.2.3 Traitement biologique</b> .....	25
I.2.3.1 Etude du métabolisme aérobie.....	25

I.2.3.2- Etude du métabolisme anaérobie.....	27
I.2.3.3- Technologie des traitements biologique .....	28
I.2.3.4- Traitement d'élimination de la pollution azoté .....	31
<b>I.3-Traitement des eaux par les plantes .....</b>	<b>33</b>
I.3.1. Principe générale de l'épuration par les plante.....	33
I.3.2. Classification des procédés par phyto épuration.....	33
I.3.3. Les Principales plantes utilisées.....	34
I.3.4. Mécanisme de la phytoépuration.....	35
I.3.5. Rôle des principales composantes du procédé.....	35
6. Les avantage de la technique.....	37
 <b>Chapitre II: Matériels et méthodes</b>	
II.1 Introduction.....	39
II.2 Matériels utilisés.....	39
II.2.1-Le filtre planté.....	39
II.2.2.Méthode d'analyse.....	42
 <b>Chapitre III: Résultats et discussion</b>	
III.1 Détermination du type d'écoulement approprié a l'enlèvement de l'ammoniac .....	48
III.2 Détermination de la méthode d'alimentation.....	52
III.3 Détermination de la durée d'alimentation.....	54
III.4 Détermination du taux d'application hydraulique .....	56
<b>Conclusion.....</b>	<b>60</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>61</b>
<b>Références bibliographique.....</b>	<b>66</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1:</b> les principales propriétés physico-chimiques de l'eau.....	5
<b>Tableau II.1:</b> valeurs constructives de la courbe d'étalonnage de l'ammonium.....	38
<b>Tableau III.1:</b> détermination du type d'écoulement d'élimination de l'ammonium....	44
<b>Tableau III.2:</b> détermination de la méthode d'alimentation(en continu).....	46
<b>Tableau III.3:</b> détermination de la méthode d'alimentation (intermittente).....	47
<b>Tableau III.4:</b> détermination de la durée d'alimentation.....	48
<b>Tableau III.5:</b> détermination de type d'alimentation.....	49

## Liste des figures

<b>Figure I.1:</b> schéma de composition d'une eau usée urbaine.....	9
<b>Figure I.2:</b> principe de fonctionnement du procédé de traitement par boue activée...	23
<b>Figure II.1:</b> schéma descriptif du filtre planté.....	35
<b>Figure II.2</b> courbe d'étalonnage du spectromètre pour l'ammonium.....	39
<b>Figure II.3:</b> logigramme de calibration de l'appareil (HACH DR5000).....	40
<b>Figure III.1.a:</b> unité d'écoulement vertical.....	42
<b>Figure III.1.b:</b> unité a écoulement horizontal sous surface.....	43
<b>Figure III.1.c:</b> unité a écoulement sur la surface avec plantes flottantes.....	43
<b>Figure III.1.d:</b> unité a écoulement sur la surface avec plantes émergentes.....	43
<b>Figure III.2:</b> détermination du type d'écoulement favorisent l'élimination de l'ammonium.....	45
<b>Figure III.3.a:</b> effet de l'alimentation continus sur l'élimination de l'ammonium.....	46
<b>Figure III.3.b:</b> effet de l'alimentation intermittente sur l'élimination de l'ammonium.....	47
<b>Figure III.4.a:</b> rendement de l'alimentation continus a faible débit.....	49
<b>Figure III.4.b:</b> rendement de l'alimentation en vagues.....	50
<b>Figure III.5:</b> détermination du débit optimal de fonctionnement.....	51

## **Introduction Générale:**

Depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, les techniques mises en œuvre pour améliorer la qualité des eaux sont passées d'un niveau d'un art à celui d'une science car le besoin de contrôler la pollution des eaux se fait de plus en plus sentir.

Alors, depuis cette époque jusqu'à nos jours une infinité de recherches ont été établies et permis de mettre au point des méthodes nouvelles et perfectionnées de traitement des eaux selon son usage.

Généralement, ces méthodes de traitement sont des méthodes de pointe qui nécessitent une spécialisation croissante et des moyens technico-financiers avancés ainsi qu'elle pose des problèmes d'entretien et de durabilité et même des problèmes qui affectent l'environnement tels que les problèmes de rejet des régénérations des supports de traitement (surtout pour les pays en voie de développement) .

De ce fait la et vers la fin du siècle passé; les recherches ont été dirigées vers la mise en œuvre de nouvelles techniques de traitement simples, écologiques et économiques afin de rendre le traitement des eaux plus efficace et moins polluant .

Dans ce cadre-là s'inscrit le présent travail qui expose une technique récente, simple et écologique (la phytoépuration) et son test pour le traitement d'une eau souterraine destinée pour l'usage comme eau de process, afin d'éliminer un nutriment dissous qui est l'ion ammonium.

On a englobé notre travail en trois parties :

- une étude bibliographique qui comprend des généralités sur l'eau et les techniques utilisées pour son traitement.
- une description des méthodes et des instruments utilisés pour réaliser l'élimination de l'ammonium.
- une détermination de quelques paramètres influents cette élimination et la discussion des résultats obtenus.

# *Chapitre I*

## Etude bibliographique

## **I.1- Généralités sur l'eau**

De toutes les substances existantes sur notre planète, l'eau est de loin la substance la plus abondante et familière, elle recouvre plus de 70% de la surface du globe terrestre et constitue 60-65% de notre corps humain et de toute être vivant connus[1] et elle est si familière que l'on oublie parfois son importance et on n'accorde qu'un peu d'attention à son origine ou à sa composition et on oublie que malgré c'est une source de vie, elle peut être la source de la mort (milieu de croissance des Virus et microbe) .

C'est quoi l'eau ?

*L'eau comme corps pure* est une substance chimique incolore inodore à l'état standard qui se trouve sous trois (03) états de la matière (glace, liquide et vapeur), elle est constituée à l'échelle moléculaire de deux (02) atomes d'hydrogène liés à un atome d'oxygène par une liaison électrostatique ,dite "liaison hydrogène".

### **I.1.1 propriété physico-chimique:**

À l'état standard de pression et de température l'eau est un fluide qui peut dissoudre une infinité de substances pour former des solutions ; ainsi qu'elle repousse presque toutes les substances organiques pour former des émulsions, et lors du refroidissement du fluide, elle augmente de volume [8].

Les propriétés marquantes de l'eau résident dans les liaisons que les molécules d'eau peuvent former avec ses voisins ,les extrémités proches de l'atome d'hydrogène développent des charges positives et celles proches des atomes d'oxygène développent des charges négatives et là, une liaison hydrogène peut s'établir entre l'atome d'hydrogène d'une molécule d'eau et l'atome d'oxygène d'une autre molécule d'eau voisine et cela conduit aux trois (03) propriétés importantes de l'eau[1]:

**a. Les trois états physiques:**

Ils sont Traduits comme suit:

- Un état gazeux qui réside du braisage des liaisons hydrogène sous l'action de la chaleur ou la lumière.
- Un état liquide qui est dû à la stabilité de la liaison hydrogène à température ambiante et comme elle plus fragile que la liaison covalente la formation et le braisage instantané ( $10^{-12}$ S) se déroule sans cesse ce qui permet aux molécules d'eau de se rapproché un peu plus [1].
- Un état solide qui représente la formation totale de la liaison hydrogène.

**b. Le pouvoir dissolvants:**

La succession de la formation et le braisage des liaisons hydrogène crée un déséquilibre électrique qui est responsable du grand pouvoir dissolvant de l'eau.

Dans le cas des cristaux ioniques (prenons par exemple le sel de table NaCl sous l'action de l'eau, l'attraction électrique appliquée par elle sur les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  est plus importante que celle qui relie les ions entre eux. La structure cristalline est ainsi détruite et les ions sont mis en solution).

**c. La tension superficielle:**

Elle est expliquée par la résistance qu'exerce les liaisons hydrogène entre les molécules d'eau: l'existence de ces liaisons explique aussi la tendance de l'eau qui "s'accroche" à la paroi du récipient et la forme ronde des gouttes d'eau, cependant la tension superficielle s'oppose à la pénétration des autres corps qui sont soit surnagent soit tombent au fond du récipient

Le tableau **I.1** illustre les principales propriétés physiques de l'eau:

**Tableau I.1** les principales propriétés physiques de l'eau [6].

<b>Eau liquide</b>	
* température d'ébullition sous 760mmHg....	100°C
* capacité thermique massique (à 15°C)	4.1868 J.g <sup>-1</sup>
* $\Delta H$ vaporisation à 100°C	2252.5 J.g <sup>-1</sup>
* Conductivité thermique a20°C	5.98mw.cm <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
* résistivité à 20°C	23.8 $\Omega$ .cm
*Permittivité relative $\epsilon$ à 20°C	80
Indice de réfraction pour la Val D a 10°C	1.333
*Masse volumique à 4°C	1g.cm <sup>-3</sup>
<b>Eau solide</b>	
* température de fusion	0°C (par définition)
* capacité thermique massique	2.0934 J.g <sup>-1</sup>
* $\Delta H$ de fusion sous 760mmHg	333.27 J.g <sup>-1</sup>
* tension de vapeur à 0°C	877.129 Pa
* permittivité relative $\epsilon$	326
* indice de réfraction pour le val D	1.309
*Masse volumique	0.91649gcm <sup>-3</sup>
<b>Eau vapeur</b>	
* Conductivité thermique a100°C	0.23mw.cm <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
Densité par apport a l'air	0.62337
* indice de réfraction du val D à 100°C	1.00259

### **I.1.2 Cycle de Conservation de l'eau: (cycle hydraulique)**

Les quantités d'eau qui existent sur notre planète sont assez énormes que les chiffres sont à l'échelle astronomique; elle est estimée à :

$1,35 \cdot 10^9 \text{ Km}^3$  d'eau superficielle (océans, mer, lacs, fleuves,..)

$13 \cdot 10^6 \text{ Km}^3$  d'eau atmosphérique (humidité, nuage, vapeur...)

$08 \cdot 10^6 \text{ Km}^3$  d'eau souterraine [6].

La conservation, et le transport de ces quantités énorme sont assurés par un phénomène naturel appelé "*cycle hydraulique*".

Sous l'action de l'énergie solaire, l'eau et dans un mouvement incessant, elle s'évapore des sources superficielle surtout les océans et les mers, cette évaporation annule l'effet de la gravité sur les molécules isolés et dispersés de l'eau qui migre sous l'action du vent jusqu'à la rencontre d'une zone de condensation ou les molécules se regroupe pour former des nuages puis retombe sous forme de pluies, neige ou grêle.

Elle ruisselle ou s'infiltré et après un temps de séjour plus ou moins long (tel que le stockage dans la matière vivante, les sols, les nappes souterraines, les glaciers, les cours d'eaux ...); Elle rejoint l'océan qui présente une énorme surface d'évaporation ( $362 \text{ millions Km}^2$ ) et le cycle se répète sans cesse. Ce processus conduit à deux conséquences importantes:

- L'inégalité de la distribution de l'eau dans les continents.
- la variation de la composition des eaux selon leur origine et environnement.

### **I.1.3 Classification des eaux :**

La classification des eaux diffère d'une référence à une autre; quelques unes les classifient suivant l'origine, d'autre classification selon la composition ainsi que certaines autres s'intéressent à l'utilisation des eaux.

Généralement on peut regrouper les eaux en quatre (04) classes [3]:

### **I.1.3.1- Eaux naturelles :**

Elle se présente sous trois types:

#### **a. Eau souterraine**

De point de vue hydraulique les couches aquifères se divisent en:

##### **- *Nappe phréatique ou alluviale:***

Qui est généralement peu profonde et alimentée directement par des précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus (cours d'eau).

##### **- *Nappe captive :***

Qui est plus profonde que la première et séparée de la surface par une couche imperméable. L'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leur bordure.

La nature des terrains sous lesquels se trouvent ces eaux détermine leur composition chimique; cependant elles sont appelées aussi "*Eaux propres*", car elles répondent en général aux normes de potabilité sauf quelques exceptions tels que les eaux dures, et malgré que ces eaux sont moins sensibles à la pollution accidentelle, elles perdent totalement leur pureté originale dans le cas d'une contamination par des polluants [6].

#### **b. Eaux de surface**

Ce type d'eau englobe toutes les eaux circulantes ou stockées aux surfaces des continents (rivières, lacs, étangs, barrages...). La composition chimique de ce type d'eaux dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leur parcours ou dans l'ensemble des bassins versants; ces eaux sont le siège dans la plupart des cas d'un développement d'une vie microbienne à cause de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur, et généralement ces eaux sont rarement potables.

#### **. c. Eaux de mer et océans**

Les mers et les océans constituant d'énormes réservoirs d'eau; Elle représente près de (97.4%) du volume d'eau existant actuellement sur notre planète. Ce type d'eaux est caractérisé par sa grande salinité (de 13g/L de la mer noire à 275g/L de la mer morte); elles sont dénommées aussi *eaux saumâtres* ce qui rend leur utilisation difficile et notamment augmente leur coût de traitement [3].

### **I.1.3.2 - Les eaux de consommation**

Ce sont les eaux destinées à la consommation domestique. Elles ont connu une énorme croissance suite au développement démographique et à l'amélioration des conditions de vie des populations. La consommation en eau varie de quelques litres /jour dans les pays sans adduction publique et à faible confort ménager, jusqu'à plusieurs centaines de litres/jour dans les pays très développés même si ce n'est qu'une petite quantité qui va être bu. Ces eaux ne peuvent pas être distribuées sans traitement. Trois (03) facteurs déterminent le choix d'un traitement:

- **La quantité:** la source doit couvrir la demande en toute circonstance.
- **La qualité:** la qualité de l'eau brute dont on dispose doit être compatible avec la législation en vigueur.
- **L'économie :** le facteur déterminant et décisif du choix d'un traitement est le coût d'investissement et de fonctionnement du procédé de ce traitement.

La conformité des eaux à la norme est assurée par les établissements distributeurs des eaux de consommation [3].

### **I.1.3.3- Les eaux industrielles**

L'eau est une substance qui possède des propriétés universelles, d'où son emploi industriel varié en tant que matière première, réactant, solvant, agent caloporteur ... etc. [8].

L'eau sert de réactif dans la fabrication des acides et des bases minérales, dans celle des produits organiques: alcool, aldéhyde, cétone...etc., et dans de nombreuses autres réactions d'hydratation ou hydrolyse.

L'industrie s'en sert largement comme un solvant bon marché, accessible et ininflammable pour solvater une grande variété des corps solides liquides ou gazeux (préparation des solutions, épuration des gazes...).

En qualité d'agent caloporteur l'eau est employé dans divers systèmes d'échange de chaleur dans les processus endos et exothermiques à cause de la grande importance de la chaleur de transition liquide-vapeur par rapport à d'autres corps c'est pourquoi la vapeur d'eau condensable est le fluide caloporteur le plus répandu. La vapeur d'eau et l'eau chaude présente de grands avantages par rapport à des autres porteurs de chaleur telle que la bonne capacité calorifique, la bonne stabilité thermique... [8].

L'eau est également utilisée comme agent frigorifique pour évacuer la chaleur dans les réactions exothermiques, Cette grande diversité de l'usage des eaux dans l'industrie implique une grande variation de sa qualité et sa quantité selon le type et la taille de l'unité industrielle. Une eau d'alimentation d'une chaudière est moins exigeante que l'eau utilisée dans l'industrie électronique [3].

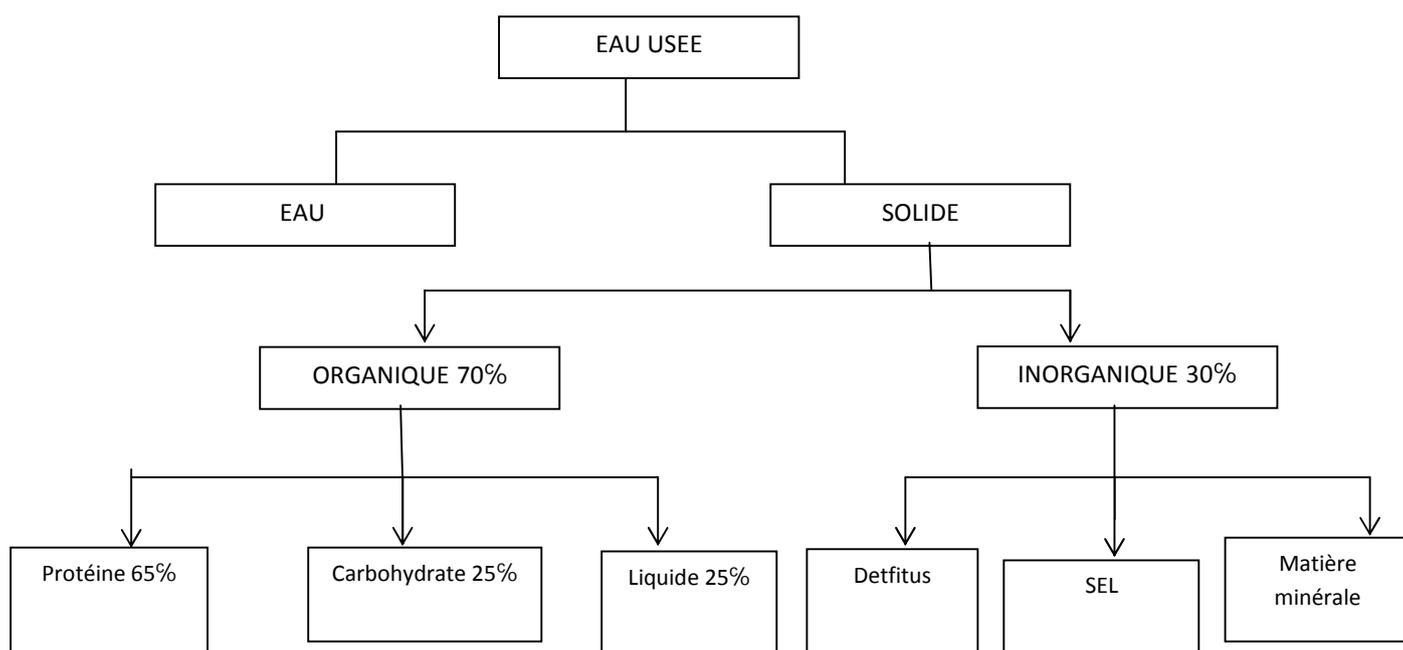
### I.1.3.4 - Les eaux usées

L'utilisation de l'eau engendre un nouveau produit dit : *Effluent* ou eau usée qui se divise en deux grandes catégories [3]:

- Eau résiduaire urbaine.
- Eau résiduaire industrielle.

#### a. Eau résiduaire urbaine:

Elle regroupe les eaux ménagers et les eaux de ruissellement et renferme une composition et des caractéristiques qui diffèrent selon la densité démographique et le niveau de vie des populations. D'une façon générale, on peut schématiser la composition d'une eau usée urbaine comme suit :



**Fig. I.1 schéma de la composition d'une eau usée urbaine**

### ***b. Eau usée industrielle***

Elle provienne de l'activité industrielle et présente un volume très important. Ses caractéristiques subissent des grandes variations liées au type de l'industrie.

Ce type d'eaux présente un risque de dysfonctionnement structural et fonctionnel sur les réseaux d'assainissement et les appareils de traitement ainsi que l'organisme vivant

Les principaux polluants transitant dans l'eau usée d'origine industrielle sont:

- les métaux toxiques
- les toxines organiques
- les matières colorées
- les huiles et les graisses
- les sels
- les polluants organiques [3].

### **I.1.4 - Composition générale des eaux:**

La composition de l'eau est une propriété liée directement à l'origine de cette eau.

Les eaux naturelles contiennent diverses impuretés d'origine minérale ou organique ainsi que les micro organismes présents dans la nature.

Les impuretés minérales sont : les gaz  $\{N_2, O_2, CO_2, H_2S, CH_4, NH_3\}$ , les sels, les acides et les bases dissous dans l'eau, sont dans la plupart des cas dissociés en cation et anion tels que  $\{Na^+, K^+, NH_4^+, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Fe^{+2}, Mn^{+2}, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{-2}, HSiO_3^-, F^-, NO_3^-, CO_3^{-2}\}$ .

Les impuretés organiques sont constituées des particules colloïdales de matière protéique et d'acides humiques. La composition et la quantité des impuretés dépend essentiellement de l'origine de l'eau qui peut être atmosphérique superficielle ou souterraine [8].

Les eaux météoriques ou de précipitations (pluies, neige, grêle) renferment peu d'impuretés, on y trouve surtout des gaz dissous, alors que les sels dissous sont presque totalement absents.

Pour les eaux de jour (superficielle) telles que les eaux des rivières, fleuves, lacs, mers elles se caractérisent par une teneur variable des impuretés ou l'on trouve : des gaz, sels, acides, bases; l'eau de mer renferme le plus de substance minérales (plus de 10g/Kg d'eau).

L'eau souterraine (puits, sources, geysers) présente une teneur variable en sels dissous qui dépend de la composition et de la structure des sols et des roches; normalement, on n'y trouve pas d'impuretés organiques.

Pour les eaux à usage ou d'origine humaine (les eaux de consommation et les eaux industrielles, et les eaux usées), la composition est variable selon l'usage et la direction:

Les eaux de consommation sont peut minéralisée et ne renferme pas des impuretés organique.

Les eaux industrielles sont généralement pures à cause des exigences techniques de l'usage de l'eau qu'elle soit réactant ou solvant ou agent caloporteur.

Les eaux usées ont une composition très variable parce qu'elles renferment des impuretés minérales, organiques, et même vivantes qui sont généralement des matériaux polluants (métaux lourds, résine organique, microbes, virus ...)

De ce fait et par l'effet, de l'augmentation de l'utilisation de l'eau les besoin d'avoir une eau de composition bien définie a exigé l'usage de certaines techniques et opérations destinées pour contrôler la qualité de l'eau

L'ensemble de ces opérations et technique font l'objet du sujet suivant.

## **I.2- TRAITEMENT DES EAUX A USAGE INDUSTRIELLE**

### **Introduction**

L'histoire du développement industriel s'est construite en partenariat avec l'eau.

Les usines sont toujours implantées au bord de l'eau (rivière, canal ou mer) pour des raisons telles que [4]:

- Les commodités de transport des matières premières et produits finis.
- Les commodités de rejet des sous-produits ou des déchets générés au cours des opérations de fabrication, et;
- La raison la plus importante est la possibilité de faire accomplir à l'eau des tâches industrielle différentes à cause de l'ensemble exceptionnelles des propriétés physico-chimiques de l'eau ce qui explique pourquoi l'eau est impliquée dans toutes les grandes activités industrielles. Cette diversité d'usage fait introduire une notion très importante qui est "*la qualité d'eau*" ce qui fait appel à une autre section industrielle très sensible qui est la section de "*traitement des eaux*" l'objet développée dans cette partie ,c'est quoi la qualité d'une eau? Et comment l'on obtiendra?

### ***Qualité d'une eau***

C'est l'ensemble des propriétés physiques et chimiques qui distinguent une eau donnée du corps pure *l'eau* ces propriétés sans soit sensibles tels que la couleur, l'odeur, le gout ou la température soit mesurables tels que la salinité totale, l'oxydabilité, la dureté, le PH...etc.[8].

L'ensemble de ces propriétés témoignent de la présence ou l'absence de telle ou telle impureté.

La correction de ces propriétés pour les approché de celle du corps pure eau est appeler "*traitement des eaux*"

### ***Traitement de l'eau***

C'est l'ensemble des opérations et des technique assurant l'élimination des impuretés nocives a l'état dissous colloïdale ou suspendu existant dans l'eau

Ces techniques sont divisez en trois(03) catégorie à savoir [8]:

- traitements physiques
- traitements chimiques
- Traitements biologiques

## **I.2.1 - Traitements physiques**

C'est l'ensemble des techniques qui sert à l'élimination de tous les constituants insolubles (aussi dits particulaire) contenus dans les eaux superficielles et certaines eaux souterraines.

L'ensemble de ces traitements est généralement désigné sous le nom de "*clarification*" car leur objectif est d'obtenir une eau claire par l'élimination des matières en suspension, des matière colloïdales et des macro molécule susceptible de communiquer à l'eau une "*turbidité*" ou une couleur indésirable, Il s'agit de matière organique aussi bien que minérale y compris les micro-organismes vivants (phytoplancton)[4].

On peut distinguer deux catégories de procédés de clarification:

### **\* Procédés physiques:**

Ils sont appelés aussi "traitements préalables" et elles sont appliqués lorsqu'il s'agit d'une simple séparation mécanique des solide sans introduction des réactifs tels que:

Dégrillage, tamisage, dessablage, déshuilage.

### **\* Procédés physico chimiques:**

Ils sont nécessaires pour clarifier les eaux contenant des colloïdes, c'est à dire la quasi-totalité des eaux superficielles et certaines eaux souterraines issues des terrains karstiques. Dans ce cas, la clarification divisera en trois étapes:

- coagulation/ floculation.
- séparation des phases liquide et solide par décantation/flottation.
- filtration.

### **I.2.1.1 coagulation/floculation**

C'est un traitement qui a pour but de faire précipiter les matières en suspension par l'ajout d'un réactif chimique qui assure l'agglomération des petites particules (colloïde) afin de leur précipitation. On distingue:

#### **a- La coagulation:**

c'est l'opération de déstabilisation des charges portées par les matière en suspension qui existe dans l'eau sous forme de colloïde (très petite particule) chargée négativement, ce qui implique une charge répulsive qui l'empêche de se précipiter ou flotter.

Cette déstabilisation s'effectue par l'ajout d'un électrolyte qui permet la neutralisation des charges négatives (qui stabilise la suspension); généralement, les électrolytes utilisés sont de sels des métaux trivalents ( $\text{Fe}^{+3}$  et  $\text{Al}^{+3}$ ) et les plus utilisés sont:

- le sulfate aluminium ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$ ), Aluminat de sodium  $\text{NaAlO}_2$ .
- le chlorure ferrique ( $\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$ ).
- le sulfate ferreux ( $\text{FeSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$ )/sulfate ferrique [ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3, 9\text{H}_2\text{O}$ ] [4].

### ***b- La floculation***

C'est l'opération d'agglomération des hydroxydes métalliques formés par l'action des produits de coagulation sur les matières en suspension. Ces hydroxydes métalliques sont soit  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ou  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  qui alourdis les matières solides et facilite leur décantation et filtration[4].

#### **I.2.1.2 La décantation**

C'est le procédé physique de la séparation solide –liquide qui permettra d'obtenir une eau clarifié d'un côté et une boue sédimentaire (MES initial+ floc) de l'autre côté par l'action de la pesanteur sur les particules en suspension cette opération s'effectuent dans un appareil appelé "*décanteur*" et selon l'importance et le type de matière décantable on distingue plusieurs type de décanteur tel que :

- Décanteur statique (simple ou lamellaire)
- Décanteur a circulation des boues
- Décanteur a floc lesté [4]

#### **I.2.1.3 Flottation :**

Elle est utilisé lors de traitement de certaines eaux (lacs et barrage en particulier) qui sont relativement claire mais colorer ou riche en algue. Dans ce cas l'addition des coagulants ne conduise pas à l'alourdissement du floc ce qui rend la décantation difficile et couteuse ce qui nécessite un autre traitement que la décantation, c'est la flottation.

Elle consiste à faire flotter les matières en suspension par l'introduction de l'aire (aération) l'opération s'effectue dans un dispositif qui assure la saturation d'une fraction d'eau (eau pressurisée) a l'aide d'un compresseur puis elle est introduisez sous pression (4 à 5 bar) dans le compartiment de l'eau a traité ,la détente de l'eau pressuriser entraine l'apparition de fine bulle d'air qui se fixent sur les matières en suspension et diminuent leur masse volumique au-dessous de celle de l'eau ce qui faciliter le surnagement des floes sur la surface de l'eau et assure une eau claire dans le bas du dispositif [4].

#### **I.2.1.4 la filtration :**

C'est le procédé physique qui assure le débarrassèrent des matières solide et l'obtention d'une eau claire.

La filtration consiste à faire passer le mélange des deux (02) phases (liquides et solides) à travers un support poreux qui retient les particules solide et laisser l'eau passer ce qui assure la séparation entre la phase liquide et la phase solide (Le gâteau) [4] .

#### **Remarque:**

On note que le traitement de clarification malgré qu'il fournit une l'eau claire mais il affect des sous-produits nuisant à l'environnement tel que les boues et les gâteaux des filtre, ainsi qu'il nécessite a d'autres traitements complémentaires tel que:

#### **I.2.2 Traitement chimique :**

Il à pour but d'éliminer les matières dissous dans l'eau tel que les gaz et les sels minérales dissous et les micros polluants organique. En utilisent des procéder chimique tel que [4]:

##### **I.2.2.1- L'échange gaz-liquide:**

C'est un procédés utilisé soit pour apporter à l'eau des gaz tels que l'aération et l'introduction d'oxygène dissous; ou pour chasser des gaz indésirables tels que le CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>, les techniques utilisées sont basez sur l'équilibre gaz liquide tel que:

- L'absorption ou le lavage utilisé pour éliminer le H<sub>2</sub>S et le CH<sub>4</sub>.
- Le dégazage thermique pour éliminer l'O<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub> résiduelle dans les eaux de chauffage.
- Le dégazage sous vide lorsque la nécessité exige une eau froide [4].

### **I.2.2.2- L'oxydation**

C'est un traitement essentiel pour deux raisons:

#### ***a- La désinfection***

Qui est le débrassement des germes ou bactéries pathogènes, virus, parasite, et toute forme de vie aquatique nocive.

#### ***b- L'oxydation chimique des composés minéraux***

Qui sont présent à l'état réduit tel que le fer, manganèse, ammonium...etc. Ainsi que certaine matière organique dissoute responsable sur le gout ou la couleur ou l'odeur de l'eau [4].

L'oxydation est également utiliser pour améliorer une clarification préalable imparfaite, ou pour lutter contre la prolifération d'organisme (algue fixé ou plancton) qui ne sont pas pathogène mais qui nuise le bon fonctionnement des appareils de traitement tel que les filtres et les décanteurs.

L'oxydation s'effectue par l'ajout des agents chimiques oxydants tel que:

- l'oxygène introduit par aération.
- les composés chlorés tel que le chlorure  $\text{Cl}_2$ , hypochlorite de sodium  $\text{NaClO}$  (eau javel), le dioxyde de chlore ( $\text{ClO}_2$ )
- l'ozone  $\text{O}_3$
- permanganate de potassium  $\text{KMnO}_4$
- l'eau oxygène  $\text{H}_2\text{O}_2$

En note que dans les dix(10) dernier années (depuis le congrès de Kyoto 1997) l'usage des composés chlorés est diminué sensiblement face à l'usage d'autre oxydant tel que l'ozone et l'eau oxygénée

### I.2.2.3- L'adsorption

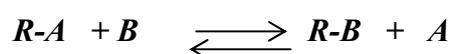
C'est une technique qui utilise la propriété de certains matériaux de fixer à leur surface des molécules extraites de la phase fluide (liquide ou gaz) dans lequel ils sont immergés

Cette technique est essentiellement utilisée pour la décoloration de l'eau ainsi que l'élimination de certains éléments dissous (ions métalliques ou composés organiques dissous) les principaux adsorbants sont :

- le charbon activé: qui est le plus utilisé, fournie en poudre ou en granulat.
- les argiles activées : tels que le kaolin, la bentonite, les smectite.
- les zéolithes synthétiques.
- les résines macroporeuses organiques telles que (styrène, di vinyle benzénique).

### I.2.2.4-l'échange ionique

C'est un procédé effectué pour réaliser une déminéralisation total ou partiel en utilisons des matériaux spéciale appeler "*les échangeurs d'ions* " qui sont des substances solide insoluble dans l'eau et qui ont la propriété de retenir des ions excédents une quantité équivalent d'autre type d'ion de même signe selon le schéma réactionnel:



Une tel réaction est une permutation qui ne modifier ni l'aspect ni la structure ni le caractère insoluble de l'échangeur d'ion

Les échangeurs d'ions ont été d'abord des terre naturelle et puis des composés synthétique minéraux (silice, alginate, aluminat) et finalement des composés organiques qui devient presque exclusivement utiliser actuellement sous le nom de résine échangeur d'ion qui sont des particule sphérique d'un diamètre[0,3-1,2]mm.

En distingue deux (02) types de résine échangeur d'ions:

- **Résine cationique**

Qui sont des polystyrènes ou polyacrylates soit fortement acide (porteuse d'une tête sulfonique R-SO<sub>3</sub>H) ou faiblement acide (porteuse d'une tête carboxylique R-COOH ou sulfo-sodique R-SO<sub>3</sub> Na)

- **Résine anionique**

Qui sont de même des polystyrènes ou polyacrylate soit fortement basique (porteuse de OH<sup>-</sup>) soit faiblement basique (porteuse d'amine I<sup>o</sup>, II<sup>o</sup> ou III<sup>o</sup>).

La propriété la plus importante des résine échangeuse d'ions est le pouvoir de récupérer ces propriétés d'échange par une opération dite "*régénération*"

Les trois (03) principales applications de la théorie d'échange d'ions sont:

a. **L'adoucissement**

Un traitement destiné éliminer la dureté de l'eau due à la présence des sels alcalino-terreux dissout, il s'effectue par le passage de l'eau à travers un échangeur cationique et régénérer avec NaCl selon une réaction dite "*permutation sodique*"

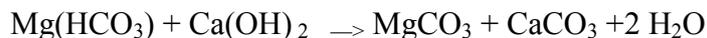
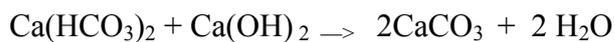
b. **La décarbonatation**

Qui est un procédé d'élimination des bicarbonates dissouts dans l'eau, elle est réalisée suivant deux méthodes:

- par addition des acides forts (sulfuriques ou chlorhydriques) qui transforme les

Bicarbonate en CO<sub>2</sub> et les cations en sulfates et chlorures.

- par passage sur un lit de chaux vif Ca(OH)<sub>2</sub> selon les réactions:



c. **La déminéralisation**

C'est un procédé d'élimination totale de tous les sels dissouts dans l'eau, elle s'effectue par le passage d'eau à travers un échangeur cationique (résine cationique forte) et puis un échangeur anionique (résine anionique) afin d'obtenir une eau totalement débarrasser des sels minéraux.

**Remarque**

Les techniques citées au-dessus sont des techniques destinés à épurer les eaux continentales (souterraines et superficielle) et non pas les eaux saumâtres (eaux des océanes et des mers) (pour cela les procédés de leur épuration (les procédés membranaire) ne sont pas cités).

### **I.2.3 - Traitements Biologiques**

Les procédés cités au paravent sont généralement utilisés pour éliminer les matériaux minéraux, cependant l'élimination des matières organiques dissous ou colloïdales de l'eau nécessite un autre type de traitement dit *traitement biologique* qui est dans ce cas un traitement tertiaire de finition basé sur l'usage de microorganisme vivants dans l'eau (bactéries) qui se développent spontanément dans les eaux riches en matière organique biodégradable.

Le moteur de la dégradation des substances organiques est constitué par des enzymes secrétés par les bactéries qui sont des catalyseurs organiques transformés et régénérés au cours des processus mis en œuvre et selon le type de consommation de l'oxygène dissous dans l'eau par les bactéries, on distingue deux grandes catégories de processus:

- soit par combustion intracellulaire ou oxydation (processus aérobie)
- soit par transfert de l'hydrogène libéré par le combustible brûlé à un récepteur d'hydrogène (processus anaérobie)

L'opération de traitement s'effectue dans des réacteurs dits "réacteurs biologiques"[5].

#### **I.2.3.1 Etude du métabolisme aérobie**

##### **a- Elimination de substance organique carbonée**

Elle s'effectue dans des réacteurs où l'on met en contact les microorganismes épurateurs avec l'eau à épurer.

Si la masse bactérienne est une suspension dans un bassin aéré, on parlera de procédé de type "*boue activées*", si la biomasse est fixée ou retenue sur un support solide on parlera de procédé de type "*lit bactérien*" ou bio filtre.

Le processus aérobie s'effectue en trois (03) étapes successives [5]

1- Adsorption ou absorption des matières organiques solubles ou colloïdales par les cellules bactérienne.

2- Oxydation biochimique et dégradation enzymatique des matières ainsi fixées ce qui fournit l'énergie au microorganisme (catabolisme) qui est nécessaire à la synthèse cellulaire et à la multiplication des microorganismes (anabolisme) qui conduit à l'accroissement de la masse bactérienne totale.

3- Autodestruction de la matière cellulaire (respiration endogène).

Le principe de l'épuration est schématisé comme suit:

***Réaction d'anabolisme:***



***Réaction de catabolisme:***



***Oxydation biomasse (respiration endogène):***



$\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$  est la formule qui décrit la composition élémentaire de la matière vivante des bactéries [5].

**b- Elimination de substance organique azoté**

La dégradation bactérienne de la pollution azotée s'effectue en quatre étapes à savoir :

**- L'ammonification:**

Qui est la transformation de l'azote organique (azote lié à un radical carboné) en azote ammoniacale réalisée par des réactions de type hydrolyse; déamination oxydative ou réductive.

**- L'assimilation:**

Il s'agit de l'utilisation d'une partie de l'azote ammoniacal pour la synthèse cellulaire (élément constructif de la biomasse).

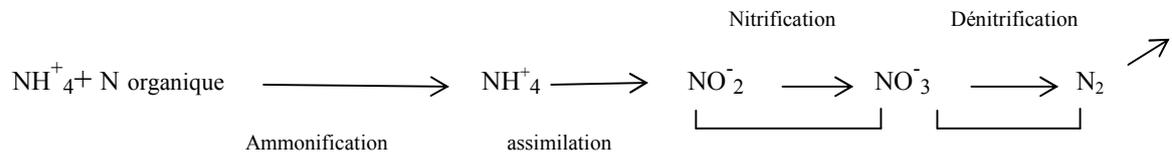
**- La nitrification:**

Cette réaction réalise l'oxydation par voie biologique de l'azote ammoniacal en nitrite puis en nitrate en faisant intervenir le microorganisme strictement aérobie caractérisé par un métabolisme autotrophe vis-à-vis du carbone c'est à dire. qu'il synthétise leur matière vivante à partir du carbone minérale (carbonate)

**- La dénitrification:**

C'est la réaction de réduction biologique des nitrates en azote gazeux qui retourne ainsi sans sa forme primitive dans l'atmosphère

Les étapes citées peuvent être englobées dans le schéma suivant [5]:



### I.2.3.2 Etude de métabolisme anaérobie:

La dégradation de la matière organique en milieu anaérobie (appelé fermentation méthanique) s'effectue en deux étapes principales [5]:

- 1- Une phase acide de liquéfaction (hydrolyse) des composants organiques aboutissant à la formation des acides gras volatiles (AGV)
- 2- Une phase de gazéification ou méthanogène dont les produits finaux sont les gaz  $\text{CH}_4$  et  $\text{CO}_2$ .

A chaque phase de fermentation intervient un groupe spécifique de micro-organismes tel que :

- Les bactéries fermentatives responsables de l'hydrolyse des matières organiques par leur dégradation en AGV (acide acétique, propénoïque, butyrique) en alcool, en  $\text{H}_2$  et en  $\text{CO}_2$ .
- Les bactéries acidogène qui produisant les  $\text{H}^+$  en utilisant les substances précédente pour produire des acétates,  $\text{H}_2$ , et parfois le  $\text{CO}_2$ .
- Les bactéries méthanogènes qui produisent les biogaz ( $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ) à partir des substrats élaborés dans les phases précédentes et pour réaliser une fermentation méthanique optimale il faut vérifier les conditions suivantes
  - Des potentiel variant de - 490mv à - 550 mV
  - Une température voisine de 35°C
  - $\text{P}^{\text{H}}$  entre 6.8 et 7.4
  - Une alcalinité assurant un pouvoir tampon du milieu

- L'absence des inhibiteurs ou des toxiques (salinité très élevés, métaux lourds Cu, Ni, Co)

### **I.2.3.3 Technologies des traitements biologiques:**

#### **a. Méthode de traitement par culture bactérienne libre**

Il s'agit de processus biologique d'épuration dérivé des processus naturels d'autoépuration des cours d'eau [5].

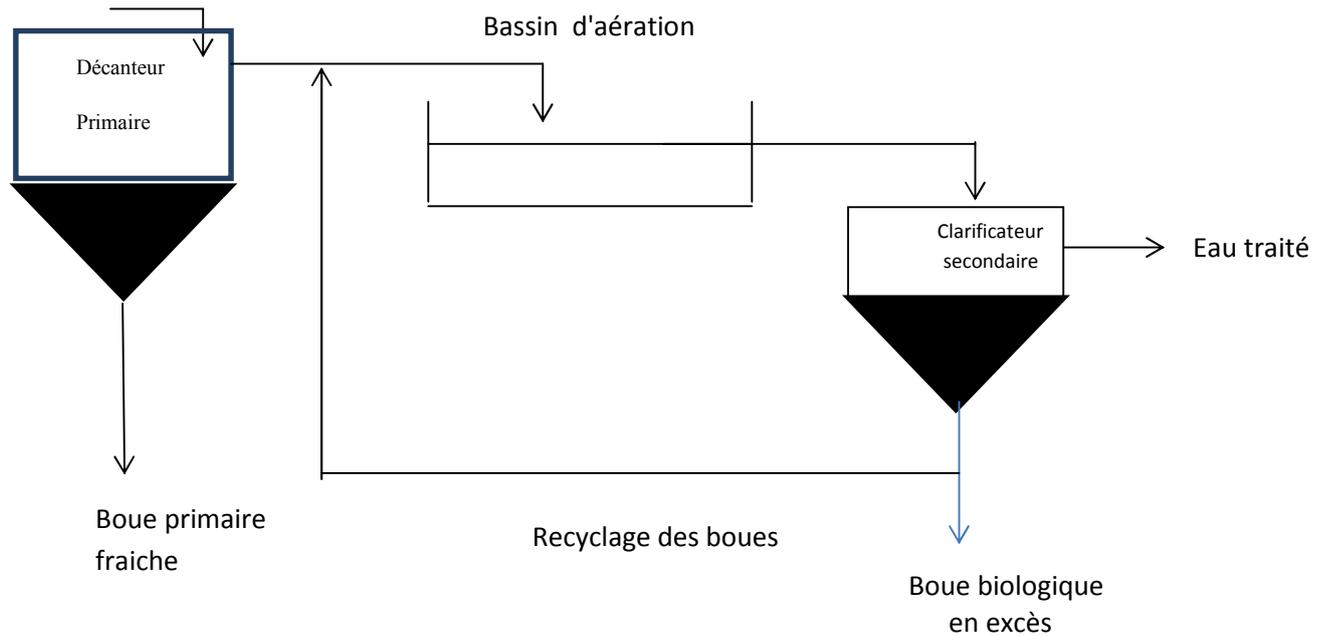
Les principaux procédés basés sur cette méthode sont:

- **procédé de traitement par boue activées**

Il est basé sur le principe du développement progressif des flores bactériennes épuratives sous l'action du barbotage par l'air d'une eau chargée (aération); et dans des conditions d'aération idéale, ces microorganismes se multiplient et s'agglomèrent en petits flocons (floc bactérien) qui se déposent lorsque on arrête l'aération.

Si, après vidange de l'eau épurée on recommence l'opération avec une nouvelle quantité d'eau chargée en conservant la boue formée précédemment, l'épuration se révèle plus rapidement, d'où l'idée du recyclage des boues au cours d'un traitement en continu. Ces boues recyclées sont appelées "*boue activées*".

Les procédés à boues activées consistent donc à provoquer le développement d'un floc bactérien dans un bassin alimenté en eau à traiter (bassin d'activation ou d'aération), en brassant suffisamment la masse bactérienne pour éviter la décantation des flocons et en lui fournissant l'oxygène nécessaire à la prolifération microorganismes. La conception du procédé est traduite par la figure I.2



**Fig. I.2. Principe de fonctionnement du procédé de traitement par boues activées**

**- procédés de traitement par lagunage:**

Basé sur l'utilisation des étangs naturel ou artificielle comme milieu récepteur d'effluent en distinguant (02) type de lagunage:

***Le Lagunage naturel:***

Qui consiste à stocker l'eau à épurer dans des bassins à faible profondeur (0.8-1m) exposer au soleil pour obtenir une épuration aérobie grâce au développement bactérien actif qui utilisent la charge organique contenus dans l'eau comme nourriture et aboutissent à la formation des boues activée disperser ,l'oxygène nécessaire est fournie par l'activité photosynthétique des algues vertes développée abondamment dans un tel milieu [17].

Cependant un équilibre biologique s'établit où les bactéries transforment les matières organiques en  $\text{CO}_2$  et en sels minéraux (nitrates, phosphates) utilisés par les algues pour synthétiser leur matière vivante et produire l'oxygène (photosynthèse). Ce procédé est long (semaine ou mois) et nécessite de grandes surfaces ainsi qu'il est influé par les conditions climatiques (faible ensoleillement  $\rightarrow$  faible quantité d'oxygène produite  $\rightarrow$  mauvaise épuration).

### ***Le lagunage aéré:***

Utiliser pour améliorer le rendement du lagunage naturelle par l'usage des lagunes aérées qui sont des bassins vaste alimentées de l'extérieur par insufflation de l'aire ou oxygénation au moyen d'aérateur de surface ce qui maintien les conditions aérobie des bactéries épuratrice [17].

### **b. Méthodes de traitement par culture bactérienne fixées:**

Les procédés biologiques a culture bactérienne fixées est dériver d'une intensification des processus naturels d'épuration et de filtration par le sol. On distingue deux (02) type de procédés basés sur cette méthode [5]:

#### ***Les lits bactériens :***

Baser sur le ruissèlement de l'eau à traiter à travers un garnissage poreux ou caverneux accumulé sur une hauteur convenable et qui sert de support au microorganisme épurateur qui se développe sur la surface du support sous forme de pellicule membraneuse riche en colonie microbienne.

La matière contenus dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent à travers le filme biologique jusqu'au microorganisme épurateur.

Le film biologique (mucilage) comporte des bactéries hétérotrophe généralement proche de la surface et autotrophe (bactérie nitrifiante) près du support. Dans les couches supérieur il existe les champignons et en surface les algues.

#### ***Les bios filtres :***

C'est une technique qui consiste à réaliser simultanément une réaction biologique de dégradation de la pollution par la biomasse épuratrice et la clarification par filtration de l'effluent à traité dans un même ouvrage qui se présente comme un filtre garnie en matériaux de granulométrie suffisamment faible pour obtenir un effet de filtration efficace' le matériau sert simultanément de support à la biomasse type fixe que l'on maintient dans des conditions aérobie dans le filtre.

Dans un tel système, l'accroissement de la biomasse et la matière en suspension de l'effluent a traiter retenu dans le matériau filtrant provoque le colmatage progressive du lit ce qui nécessite des lavages cycliques du lit à contre-courant ou par détassage à l'air. La remise en service du lit après un lavage correctement effectué se fait généralement de façon quasi simultané grâce à la propriété du support

utilisé dans lequel reste une population bactérienne suffisante pour permettre immédiatement une épuration efficace.

### **I.2.3.4 Traitement d'élimination de la pollution azotée:**

#### **a. Nuisances de l'azote :**

L'azote se présente dans l'eau sous plusieurs formes (azote organique lié à un radical carbonisé, des nitrates et nitrite, des sels minéraux, ammoniac), leur présence dans l'eau provoque:

- L'augmentation de la demande en oxygène (l'oxydation de 1mg de  $\text{NH}_4^+$  nécessite 4.6mg d' $\text{O}_2$ ).
- L'eutrophisation des lacs et des cours d'eau à débit assez lent c'est à dire le développement et l'accroissement sur abondant des algues par suite d'un apport excessif d'azote
- La toxicité élevée de l'ammoniacale comparable à certains poisons

Nous rappellerons que dans le métabolisme de l'azote on considère que l'élimination par voie biologique de la pollution azotée s'effectue en trois étapes:

- **Assimilation**: qui est l'utilisation d'une partie de l'azote ammoniacal et organique pour la synthèse bactérienne
- **Nitrification**: qui est une oxydation de l'azote ammoniacale en nitrate et nitrite
- **Dénitrification**: qui est une réduction dissimilaire des nitrates en azote gazeux qui retourne ainsi sous sa forme primitive dès que l'atmosphère de cette réaction font intervenir des populations bactériennes très déférentes qui vont se développer dans des conditions bien définie et comme les méthodes d'élimination de la pollution organique, l'élimination biologique de l'azote peut s'effectue dans des réacteurs qui utilisant soit une biomasse bactérienne fixée sur support (type bio filtre) ou libre (boue activées)

L'élimination de l'azote ammoniacal fait l'objet de ce présent travail pour cela en va discuter un peu sur l'ammoniac.

**b. Généralités sur l'ammoniac:**

L'ammoniac est un gaz incolore, a odeur piquante irritant rapidement les yeux et les vois respiratoire il est connus depuis longtemps extrait naturellement de l'urine

Sa masse molaire est  $M = 17\text{g/mol}$  qui représente dans les conditions normal une masse de 17g pour 22.4L soit une masse volumique  $0.76\text{kg/m}^3$ , sa densité para port a l'air est de 0.52 c'est que signifier que c'est un gaz plus léger que l'air, leur solubilité dans l'eau est très marquante car il est le gaz le plus soluble dans l'eau (à  $0^\circ\text{C}$  1L d'eau dissout 1170L d'ammoniac et a  $20^\circ\text{C}$  800L)

Sa réaction avec l'eau est exothermique ( $\Delta H_r = 2.05\text{kJ/g}$ ) et donne naissance a l'ion ammonium  $\text{NH}_4^+$  qui est très utilisé comme engrais grâce à leur pouvoir fertilisant

Mais qu'il présente un danger sur l'homme et les équipements

***Danger sur l'homme:***

Leur effet sur l'homme varie de larmoiement à des faibles doses ( $\leq 20 \text{ p.p.m}$ ) au décès par œdème pulmonaire (doses  $> 10000 \text{ Ppm}$ )

***Danger sur le matériel:***

L'ion ammonium altère rapidement les métaux tel que le cuivre et le zinc et beaucoup d'autre alliage, il peu même formé de composés explosifs si il agit sur l'or, l'argent ou le mercure

Une comparaisons entre les fiches d'analyses (annexe) montre que sa concentration a augmenté à 10 fois dans l'eau de forage de l'unité trans-canal [oued fouda] dans les quatre dernières années (0.023mg/l en2013 à 0.32mg/l en2017)

Pour cela en a tester de l'éliminer par un procédé biologique, ce qui va détailler dans ce qui suit

## **I.3 TRAITEMENT DES EAUX PAR LES PLANTES**

On a vu dans l'unité précédente que l'existence de l'ammoniac dissout dans une eau est indice de pollution de cette eau, et on a mentionné que leur élimination s'effectue par deux (02) méthodes :

- les boues activées.
- les lits bactériens fixes.

Mais il existe une troisième façon basée sur l'utilisation des végétaux aquatiques, c'est la *phytoépuration* qui est une technique très répandue dans l'occident depuis la fin des années 1970 [11].

### **I.3.1 Principe générale de l'épuration par les plantes**

La filière d'épuration par les plantes s'appuie sur le pouvoir épurateur des végétaux aquatiques : algues, hydrophytes (les plantes d'eau libre) et les héliophytes (les plantes du bord des eaux). La technique d'épuration consiste à faire séjourner l'eau à traiter dans des bassins à ciel ouvert peuplés de végétaux [18], et selon la nature d'alimentation et d'écoulement (vertical ou horizontal) à travers ces bassins on distingue trois (03) procédés utilisés dans cette filière [10]:

### **I.3.2 Classification des procédés par phytoépuration**

Les principaux procédés de traitement peuvent être subdivisés en trois (03) branches principales :

#### **a. système a écoulement horizontal sous la surface H.S.S**

Ce système fut introduit en Allemagne par "KICKUTH" en 1974; il utilise un mélange de sol organique, de sable et d'argile dont la perméabilité est relativement faible [10].

Ce mélange est sélectionné afin de favoriser la croissance des plantes et d'augmenter la capacité du sol en vue principalement d'enlever le phosphore **P**. La capacité hydraulique est maintenue par les réseaux de racine, et de rhizomes des plantes qui croissent et qui meurent .Les principales plantes utilisées sont "*les phragmites*"

#### **b. système de traitement a écoulement horizontal en surface H.E.S**

Ce système opérant avec des plantes flottantes. Il a été principalement implanté aux U.S.A.et sert au traitement tertiaire. Les plantes utilisées sont : la jacinthe d'eau (*Eichornia crassipe*) et la lenticule (*lemmasp*)

Ce système est limité dans les zones à climat chaud car la manipulation s'effectue à environ (05°C), ce système est utilisé principalement pour enlever le phosphore (P) et l'azote (N) [10].

### **c. les systèmes hybrides:**

Ce procédé regroupe les systèmes composés de plusieurs unités différentes sur plusieurs étages. Ce type de procédé est appelé "*Max Planck institut procès*" ou procédé "Krefeld"[10]

Il comprend normalement 4 à 5 étages avec un dégrillage préalable; l'alimentation du premier étage de traitement est intermittente sur des périodes d'alimentation. Ce premier étage est planté par les roseaux communs (*phragmite australis*) ou de glycéries (*glycéria aquatica*) et opère à écoulement vertical

Cet étage est suivi de deux étages à écoulement horizontal sous la surface dans un milieu sableux planté avec des scirpes, iris, jonc des chaisiers, rubaniers les quenouilles, et le dernier étage est à écoulement horizontal

### **I.3.3 Principales plantes utilisées:**

#### **A - *Les phragmites Australie :***

C'est une plante sociale aquatique de la famille des poacées, elle a une tige lisse et droite ordinairement creuse et remplie de moelle

Elle comprend:

- les roseaux à balais
- les balais de silence
- les cannes à balais
- le grand jonc
- le jonc à balais

#### **B - *Les scirpes :***

C'est une plante monocotylédone qui affectionne les lieux humides, elle appartient à la famille des cypéracées.

**C - La glycérie :**

Elle appartient aussi à la famille des poacées, c'est une plante qui comprend seize espèces vivaces

**D - La quenouille :**

C'est une plante de la famille des typhacées plus précisément la massette à large feuille (*Typha latifolia*) et à feuille étroites (*Typha angustifolia*) [10].

### **I.3.4 Mécanisme de la phyto- épuration:**

La phyto- épuration est une technique basée sur l'effet épuratoire de la " Rhizosphère" qui présente une zone artificielle humide qui combine les différentes composantes d'un milieu de vie constitué de végétaux supérieurs (la plante), de micro-organisme (bactéries) et leur support (substrat). Cette zone constitue le filtre planté [18].

Généralement, la plante la plus utilisée est le roseaux commun qui développe autour de ces racines une croissance de grande population de bactéries de genre aérobie et anaérobie qui se nourrissent de la matière dissoute dans l'eau chargée. Ces bactéries présentent des "ciseaux biologiques" qui transforment les molécules gênantes (Azote et phosphaté) en molécules inoffensives (gaz d'azote  $N_2$  ou phosphore pure  $P_n$ ) [9].

### **I.3.5 Rôle des principales composantes du procédé**

**- Le roseau :**

Ces plantes disposent d'un système racinaire très dense qui améliore l'oxygénation des filtres ce qui améliore le développement des micro-organismes, il poursuit leur croissance même en hiver ou les rhizomes assurent le fonctionnement permanent du filtre, enfin, les oscillations des roseaux (sous l'action du vent) entraînent un mouvement des tiges et des racines dans la masse des boues ce qui évite le colmatage du lit filtrant [11].

**- Le sol:**

Le passage des eaux chargées à travers le média filtrant permet l'enlèvement des matières en suspension et si ce média a une bonne capacité d'adsorption il pourra permettre l'accumulation de certains éléments tels que le phosphore et l'azote [10].

- ***Les micro-organismes:***

Les micro-organismes ont un rôle essentiel dans tous les procédés de traitement des eaux par les plantes, qu'ils soient aérobies ou anaérobies ce sont eux qui font la grande partie du traitement.

Lorsqu'il est possible de maintenir les conditions séquentielles aérobies et anaérobies, les bactéries nitrifiantes vont transformer l'azote ammoniacal en nitrates et nitrites dans les zones aérobies et les bactéries dinitrifiantes vont permettre la transformation des nitrates et nitrites en azote gazeux dans les zones anaérobies [9].

Les micro-organismes génèrent aussi des floques biologiques qui facilitent la sédimentation des particules et donc, jouent un grand rôle dans l'enlèvement des matières en suspension [11].

- ***Le complexe plantes- sol:***

Le rôle de chacune des composantes est souvent plus important dans un contexte synergique avec les autres composantes que prise individuellement. En effet, le sol est essentiel pour supporter la croissance des plantes émergentes et fournit une partie de la nourriture nécessaire à la croissance de ces dernières.

Dans les systèmes de traitement qui nécessitent le passage de l'eau chargée à travers le sol, les rhizomes et racines des plantes émergentes jouent un rôle très importants dans le maintien de la capacité hydraulique du sol [12]. En effet leur activité mécanique permet de déplacer le sol et de briser les tapis comatants.

La mort des racines favorise le développement de tunnels qui facilite l'écoulement à long terme [10].

- ***Le complexe plantes- micro-organisme:***

Tel que précisé précédemment les plantes par leur apport en oxygène peuvent favoriser la croissance de certains micro-organismes aérobie à la proximité de leur rhizome et racines. Elles offrent un support physique pour la croissance des bactéries. Les micro-organismes dégradent la matière organique et favorisent sa minéralisation pour rendre disponible ces minéraux pour la consommation des plantes [9], [10].

- ***Le complexe sol –micro-organisme:***

Les bactéries croissent sur le média filtrant dans les systèmes à écoulement dans le sol et ce dernier permet d'augmenter la concentration en micro-organisme, et, ainsi améliorer le rendement du système par superficie unitaire [10]. Les micro-organismes aérobie auront tendance, à long terme, à diminuer la capacité hydraulique du sol mais ne sont pas responsables du colmatage

Comme on le peut constater, les différentes composantes du procédé opèrent en symbiose, et il n'est pas possible de différencier indépendamment le rôle de chacune. La sélection du média filtrant peut avoir un impact non négligeable sur la croissance des plantes. Bien que ces systèmes soient simples à concevoir et à opérer, l'écosystème responsable du traitement est très complexe et les phénomènes biologiques et chimiques impliqués sont très variables et interdépendants [19].

### **I.3.6 Les avantages de la technique :**

L'avantage majeur de cette technique est qu'elle est une technique écologique qui ne pose aucune nuisance olfactive ainsi qu'elle produit très peu de boue ( $\sim 1\text{cm/an}$ ), et elle fonctionne d'une manière rustique et requiert peu d'énergie.

D'autre part leur exploitation est simple avec un entretien réduit, les filtres plantés nécessitent un minimum d'installation électromécanique (une pompe d'alimentation), le seul entretien annuel nécessaire est une fauche de lit par faucardage ce qui évite le pourrissement des roseaux et rélargit la boue formée.

Et finalement c'est une technique qui peut être exploitée en climat chaud ainsi qu'en climat froid donc elle peut être employée dans une grande partie de la planète.

Cette technique est largement utilisée pour traiter des eaux usées, Dans ce travail on va essayer sa mise en œuvre pour traiter une eau naturelle contaminée [12].

## *Chapitre II*

# Matériels et méthodes

## II.1 Introduction:

Le présent travail est effectué au sein de l'unité de béton "trans- canal centre oued fouda" qui utilise une eau de forage interne pour réaliser trois opérations différentes:

- 1- l'eau est utilisée comme matière première pour le gâchage du béton.
- 2- l'eau est utilisée comme agent caloporteur pour accélérer la prise du béton (étuvage).
- 3- l'eau est utilisée comme stabilisateur des tensions internes par immersion.

Les caractéristiques physicochimiques de cette eau sont illustrées dans le document (I) (fiche technique) qui indique le caractère de non potabilité de cette eau, ainsi que l'existence de l'ammoniac dissout dans l'eau (0,23mg/L). Notre but est d'éliminer cette quantité d'ammoniac par l'usage d'un filtre planté réalisé localement dans l'unité

## II.2 Matériels utilisés :

### II.2.1 - Le filtre planté

Le corps du filtre planté est un ancien filtre de sable récupéré et préparé pour effectuer ce travail

L'usage de ce filtre est justifié par le pouvoir de tester les trois (03) types d'écoulements (vertical, sur surface, sous surface) ainsi que le pouvoir de réaliser le lavage du filtre à contre courants (de bas en haut), (voir figure II.1)

Ce filtre est de **1m** de hauteur et **1.1m** de diamètre et est élevé de **50cm** de la terre pour assurer l'écoulement par gravité à la sortie du filtre.

Le corps métallique est constitué d'une tôle de **8mm** d'épaisseur avec deux sorties l'une d'évacuation de **110mm** de diamètre et l'autre de régénération de **60mm** de diamètre

Le filtre est rempli comme suit:

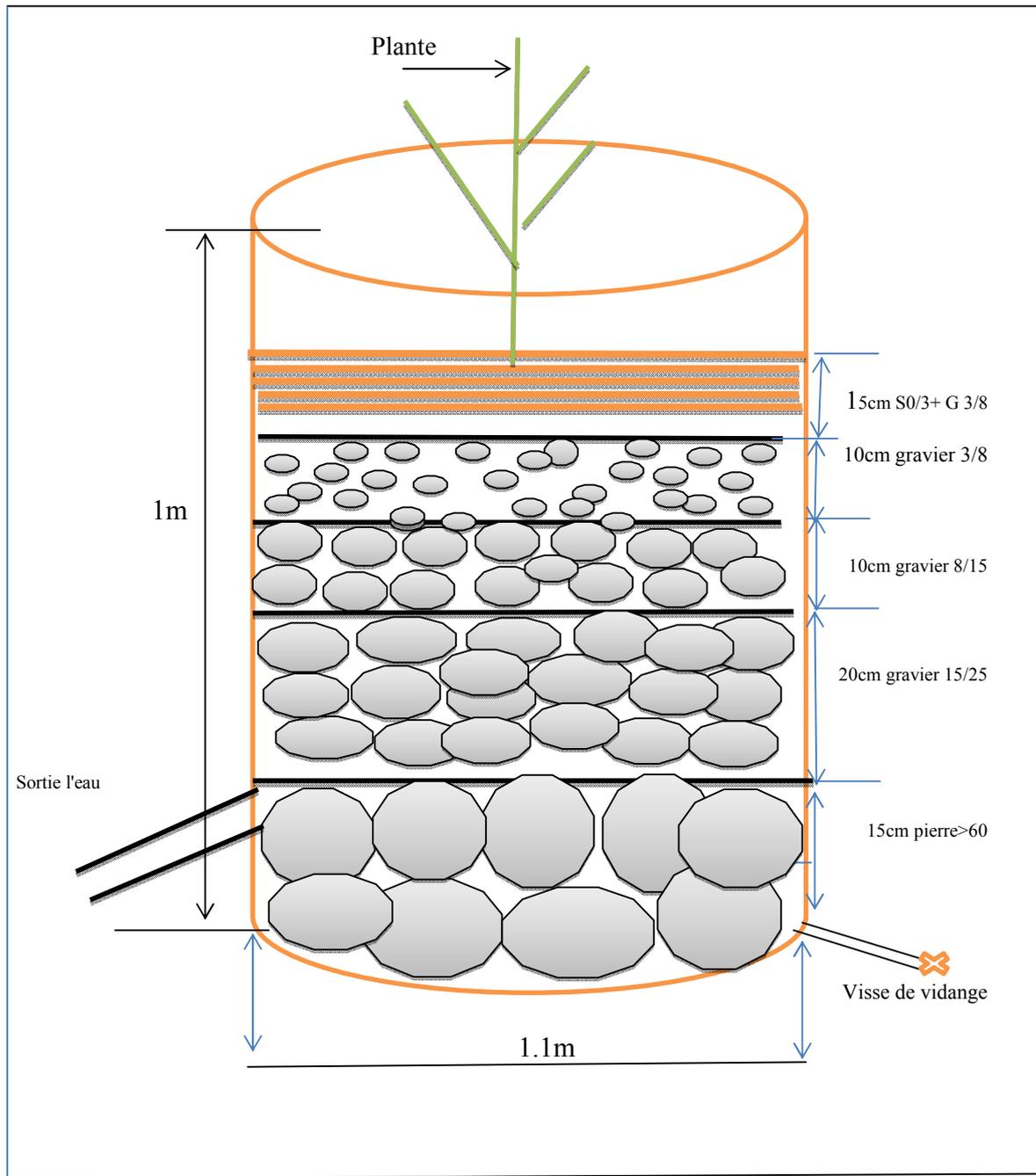
- 15 cm de grosses pierres ( $d > 60\text{mm}$ ) en bas
- 20 cm de gravier naturel ( $d = 15/30$ )
- 10 cm de gravier naturel ( $d = 8/15$ )
- 10 cm de gravier ( $d = 3/8$ )
- 15 cm de sable +gravier ( $d = 3/8$ )

Dans la partie supérieure du filtre (sable+ gravier 3/8), on a préparé une seule racine de roseaux pour tester l'efficacité d'un seul étage constitué d'une seule plante comme indique la figure (3):

L'alimentation en eau est assurée par un tuyau flexible de (15/21) mm de diamètre et on a fait écouler l'eau continuellement à faible débit (0.5L/mn) durant 01mois pour favoriser le développement de la rhizosphère [11].

Le débit est contrôlé et fixé à l'aide d'un régulateur de débit intégré dans la commande de l'adoucisseur de l'unité

Les échantillons d'analyse son pris dans des flacons en verre d'un litre de capacité et ils sont analysés après moins d'une heure de leur prélèvement, (le laboratoire se situe à plus de 20km de l'unité de travail)



**Fig. II.1 Schéma descriptif du filtre planté**

### **II.2.1 méthode d'analyse**

Dans cette partie on va essayer de déterminer les paramètres optimaux de fonctionnement du filtre planté afin de déterminer la meilleure façon de le mettre en service

Les prélèvements sont pris directement de la sortie du filtre et les analyses sont effectuées au sein du laboratoire d'analyse physico - chimique de la société "ALGERIENNE DES EAUX" a CHLEF

Les paramètres étudiés sont:

- le type d'écoulement
- la méthode d'alimentation
- Le débit d'alimentation

Le protocole suivant résume le mode opératoire utilisé pour l'analyse

### **II.3.1 Domaine d'application :**

Ce protocole décrit une méthode d'analyse par spectrométrie d'absorption moléculaire pour le dosage d'ammonium dans les eaux potable, eaux brutes, et eaux résiduaires. [22]

Cette méthode est applicable à toutes les eaux sauf les eaux de mer. Les teneurs en ammonium peuvent être déterminées sans dilution pour des échantillons dont les concentrations se situent entre 0,02 et 1 mg/l d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ).

### **II.3.2 Référence :**

- Norme ISO 7150/1
- NORMES ISO 5667 :2004 (F) qualité de l'eau –échantillonnage.

### **II.3.3 Principe :**

Le principe de la méthode est basé sur la Mesure spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroferrocyanate de sodium.

Les ions hypochlorite sont générés in situ par hydrolyse alcaline du sel de sodium du dichloroisocyanurate de sodium.

## II.3.4 Réactifs

### *Réactif coloré*

On dissout 130g de salicylate de sodium et 130g de citrate tri sodique di hydrate dans l'eau contenue dans une fiole de 1000ml, ajouter 0,97g de nitroprusiate de sodium et compléter à 1000ml avec de l'eau distillée.

Cette solution est conservée dans un flacon en verre brun et est stable au moins deux semaines.

### *Solution de Dichloroisocyanurate de sodium*

Dissoudre 32g d'hydroxyde de sodium dans 500ml d'eau et laisser refroidir à température ambiante, ajouter 2 g de Dichloroisocyanurate di-hydraté, compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée.

Cette solution est conservée dans un flacon en verre brun et est stable au moins deux semaines.

### *Solution mère étalon d'ammonium 100 mg/l*

Dissoudre 0,297g de chlorure d'ammonium (séché à 105°C pendant au moins 2h) dans 1000 ml d'eau distillée.

Cette solution est conservée dans un flacon en verre et est stable au moins un mois.

### *Solution fille étalon d'ammonium 1mg/l*

Prélever à l'aide une pipette 1ml de la solution étalon d'ammonium de 100mg/l. Verser dans une fiole de 100 ml et compléter au volume avec de l'eau distillée.

Préparer cette solution le jour de l'emploi. La durée de conservation ne dépasse pas 24h.

### *Solutions de lavage*

Dissoudre 100g d'hydroxyde de potassium dans 100 ml d'eau distillée.

Refroidir la solution et ajouter 900 ml d'éthanol 95%.

Conservé dans un récipient en polyéthylène.

## II.3.5 Appareillage

- Matériel courant de laboratoire : verrerie (fioles et pipettes)
- Spectrophotomètre HACH DR-5000 U ou spectrophotomètre UV/VIS Jasco V-530

### *Préparation et conservation des échantillons :*

Prélever les échantillons dans des flacons en verre ou en polyéthylène, conserver entre 2 et 5°C et analyser dans les 24 h.

### II.3.6 Application :

#### *Préparation des solutions étalons et courbe d'étalonnage*

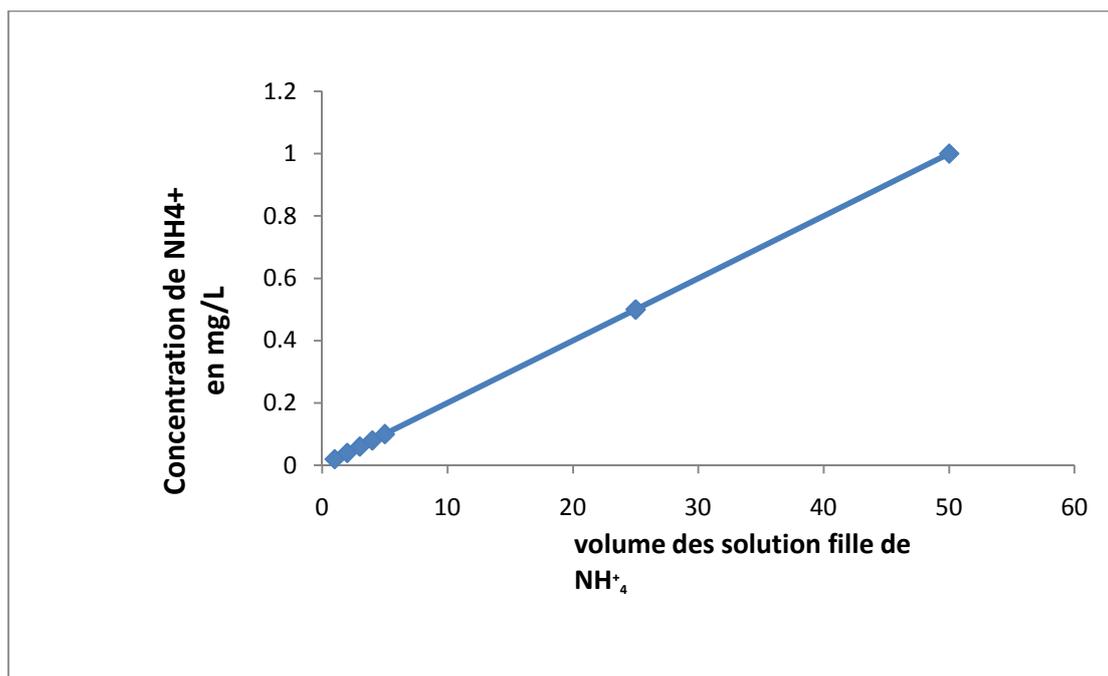
L'étalonnage du spectrophotomètre est réalisé une fois par mois à l'aide de solutions étalons.

Pour l'ammonium le domaine de travail est de 0,02 mg/ à 1 mg/l.

Les 8 étalons suivants sont préparés :

**Tableau II.1: valeur constructives de la courbe d'étalonnage**

Volume de solution fille d'ammonium en ml	Concentration de $\text{NH}_4^+$ en mg/l	Volume de la fiole en ml
eau distillée	0,00	50
1	0.02	50
2	0.04	50
3	0.06	50
4	0.08	50
5	0.1	50
25	0.5	50
50	1	50



**Fig. II.2: Courbe d'étalonnages du spectrophotomètre pour l'ammonium**

On Prélève 40ml de chacune des solutions obtenues, et on ajoute dans l'ordre :

- 4 ml du réactif coloré homogénéisé ;
- 4 ml du réactif de Dichloroisocyanurate de sodium, et homogénéiser.

Après au moins 60 mn, attendre le développement de la couleur. Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 655nm.

.

***Dosage et mesure :***

Prélever 40 ml d'échantillon à analyser, ajouter dans l'ordre :

- 4 ml du réactif coloré homogénéisé ;
- 4 ml du réactif de Dichloroisocyanurate de sodium, et homogénéiser.

Après au moins 60 mn, attendre le développement de la couleur. Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 655nm comme nous avons procédé pour la gamme d'étalonnage.

### **Détermination de la concentration en $NH_4^+$**

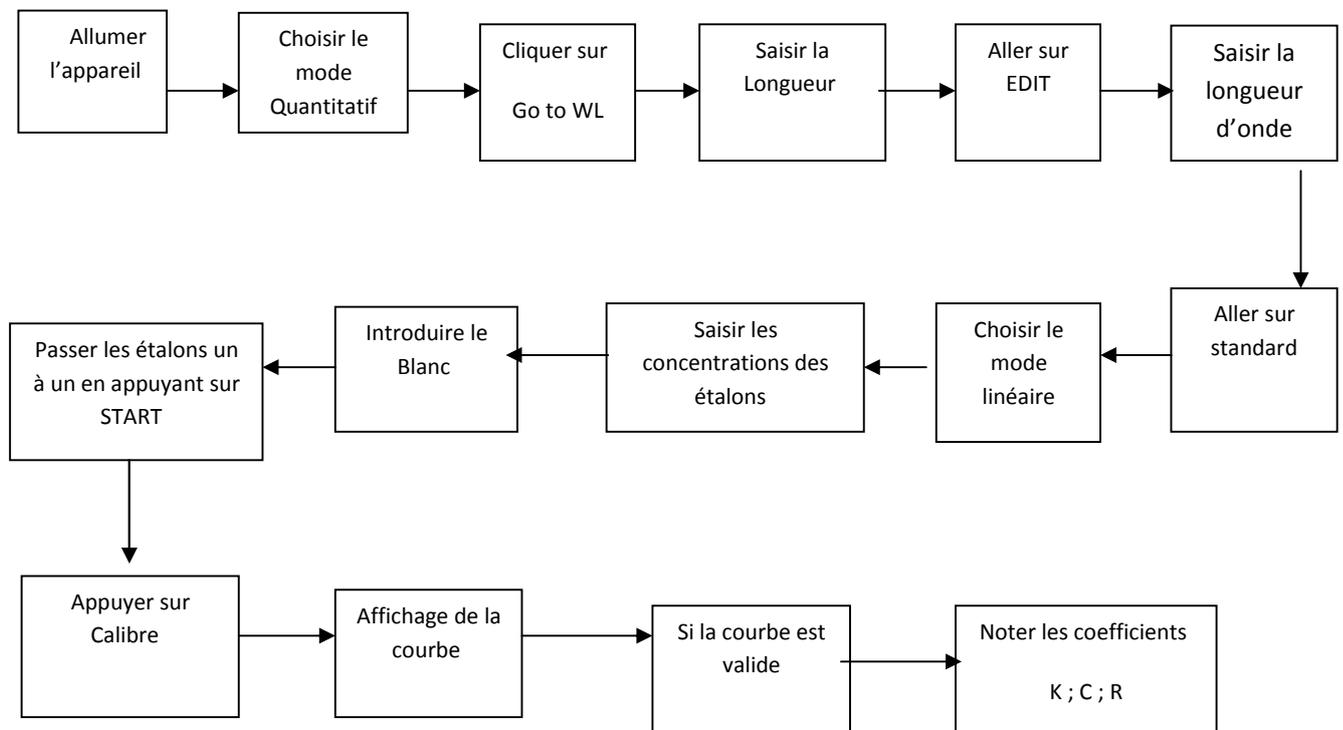
La détermination de la teneur en  $NH_4^+$  se fait de la manière suivante :

- Cas du spectrophotomètre DR 5000U
  - Allumer l'appareil.
  - Appuyer sur « programme utilisé ».
  - introduire le numéro du programme de  $NH_4^+$
  - Insérer la cuve avec le blanc (eau distillée), et appuyer sur « zéro ».
  - remplir la cuve avec l'échantillon à analyser et appuyer sur « lire ».
  - La concentration en  $NH_4^+$  est affichée sur l'écran en mg/l.

### **Expression des résultats :**

La concentration en Ammonium est exprimée en milligramme par litre.

Les résultats sont reportés dans un « cahier de poste FR.DT.LabC.14 » puis dans une « trame » informatique.



**Fig. II.3 Logigramme de calibration (HACH DR5000)**

*Chapitre III*

Résultats et  
discussion

### III.1 - Détermination du type d'écoulement approprié à l'enlèvement de l'ammoniac

Dans la littérature; Il existe 03 types d'écoulement à savoir (voir figure 4.a, b, c1, c2):

#### - l'écoulement vertical:

Dans ce type d'écoulement, l'eau à traiter est acheminée à la surface de l'unité de traitement et elle percole de façon verticale à travers le média filtrant jusqu'au fond ou une conduite récolte l'eau traitée, comme l'indique la figure III.1.a:

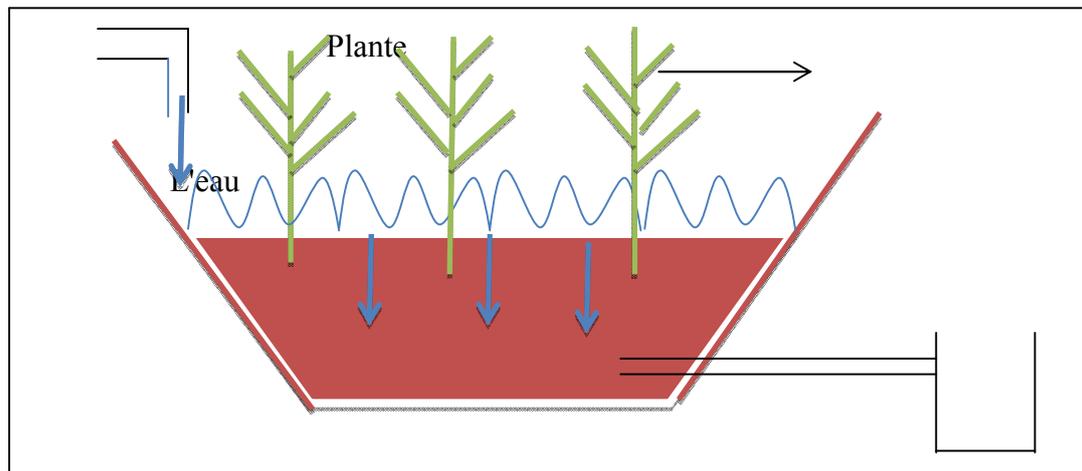
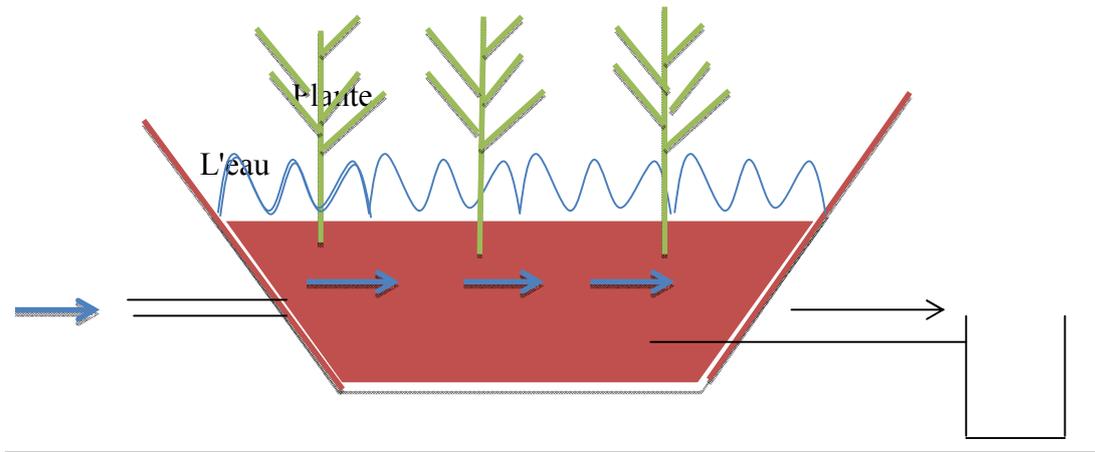


Fig. III.1.a Unité à écoulement vertical

#### - l'écoulement horizontal sous la surface:

Dans ce cas les eaux brutes sont acheminées à une extrémité du lit planté où elles s'écoulent sous la surface ou très près de cette dernière de façon horizontale pour être captée à l'autre extrémité du lit comme l'indique la figure III.1.b:



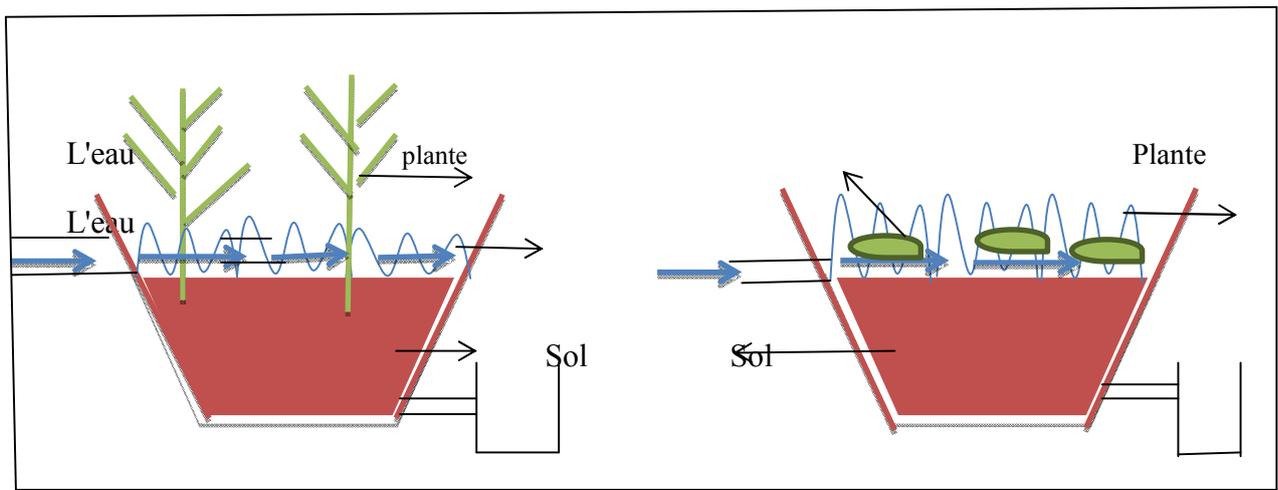
**Fig. III.1.b Unité à écoulement horizontal sous surface**

**- l'écoulement horizontal sur la surface:**

C'est le troisième type d'écoulement où aucun média filtrant n'est utilisé, l'eau à traiter s'écoule en surface dans des canaux plus ou moins allongés ou des lagunes

Il est divisé selon les plantes utilisées en deux sous-catégories:

- écoulement en surface avec plante émergentes comme l'indique la figure III.1.C:
- écoulement en surface avec plantes flottantes comme l'indique la figure III.1 d:



**Fig.III.1.c: Unité à écoulement sur la surface avec**

**Plante émergentes**

**fig.III.1.d Unité à écoulement sur la surface**

**Plante flottante**

Dans ce présent travail on a testé les 03 types d'écoulement pour déterminer celui qui donne le meilleur rendement d'élimination d'ammoniac

Les expériences se sont déroulées comme suit:

- On à alimenté le filtre pendant une heure avec un débit de 4L/mn jusqu'à entrainement.
- On a laissé reposer durant une heure par le bouchage de la sortie du filtre/
- On ouvre la sortie et en fait écouler l'eau durant un quart d'heure.
- On prélève 1 litre à la sortie du filtre.
- On à testé les 03 types d'écoulement avec une période d'arrêt de (03) jours entre les essais des écoulements, les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau III.I et présentés sur la figure.III.2

**Tableau III.1: Détermination du type d'écoulement**

type d'écoulement	Taux d'élimination %N-NH <sub>3</sub>
E vertical	36
H.S.S	17
H.E.S	15

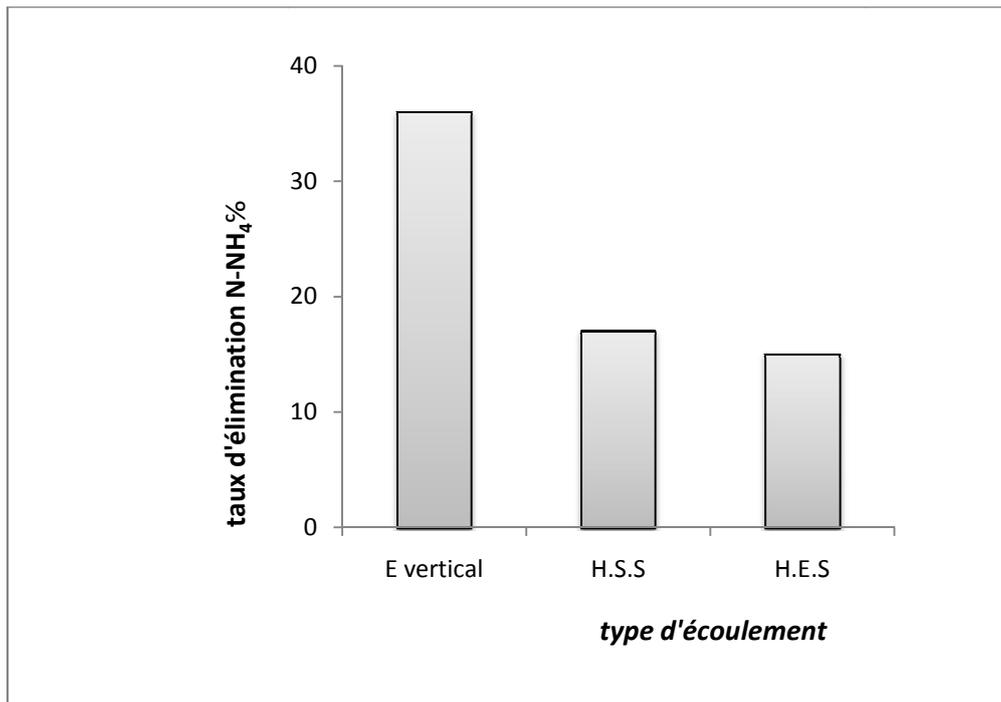
**N.B:**

***Légende des abréviations:***

**E.V**= écoulement vertical

**H.S.S**= écoulement horizontal sous la surface

**H.E.S**= écoulement horizontal sur surface



**fig.III.2 Détermination du type d'écoulement qui favorise l'élimination de N-NH<sub>4</sub>**

D'après la figure on voit bien que le taux d'enlèvement de l'ammoniac est plus important en écoulement vertical (36%) qu'en écoulement sous surface (17%) ou sur surface (15%) la différence est plus que le double.

Selon *Wittgren* [20], l'écoulement vertical assure des zones aérobies qui alimentent le micro-organisme par l'oxygène nécessaire à la nitrification et assure le jet direct sur la zone de développement des racines ce qui augmente le taux d'enlèvement par la consommation de la plante en azote nécessaire à sa croissance.

Dans le cas de l'écoulement sur surface, les zones aérobies sont plus importantes que celles existant en écoulement vertical car a un certain niveau l'alimentation en eau sera non oxygénée (sous le niveau d'eau ce qui réduit la croissance des bactéries nitrifiantes/dénitrifiantes, chose qui influés sur le taux d'élimination de l'azote ammoniacal [20].

Quand on a l'écoulement sous surface qui s'effectué sans contact avec l'air (la source d'oxygène) le rendement est plus faible et cela est dû à la même raison (faible oxygénation conduit à la faible production des bactéries nitrifiantes / dénitrifiantes).

### III.2 Détermination de la Méthode d'alimentation

On a effectué cette étude qui a pris la plus longue période du temps (50jours) après le test de l'alimentation continu avec un faible débit au-delà du deuxième jour

On a remarqué que le rendement d'élimination de l'azote ammoniacal diminue considérablement dès le 3<sup>ème</sup> jour de travail comme indique le tableau III.2 qui est représenté sur la figure III.3.a

Tableau.III.2 : Déterminations de la méthode d'alimentation (alimentation continue)

temp de Marche(jour)	1	2	3	4	5
Taux d'élimination %N-NH <sub>4</sub>	5	8	3	0	0

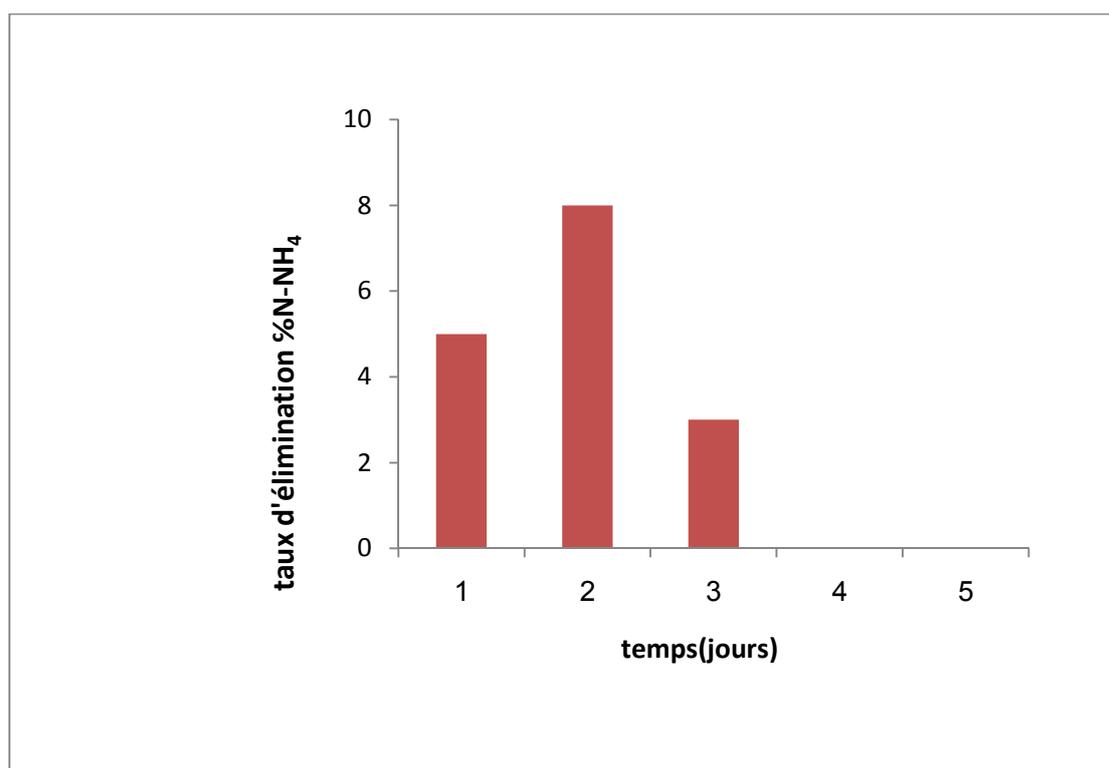


Fig.III.3.a: Effet de l'alimentation continue sur le taux d'élimination de N-NH<sub>4</sub>

A cet effet on a testé de faire marcher le filtre par période de marche et d'arrêt comme L'indique le tableau III.4. Les essais sont effectués avec un écoulement vertical avec un faible débit (1L/mn) et les prélèvements sont pris dans le deuxième jour de la période de marche.

Temps de service/repos	2s/1R	2S/2R	2S/3R	2S/4R	2S/5R	2S/6R	2S/7R	2S/8R	2S/9R
Taux d'élimination %N-NH <sub>4</sub>	7	11	15	18	19	22	28	19	10

Tableau III .4: Déterminations de la méthode d'alimentation (méthode intermittente)

Le tableau III.4 est présenté dans la figure (III.3.b)

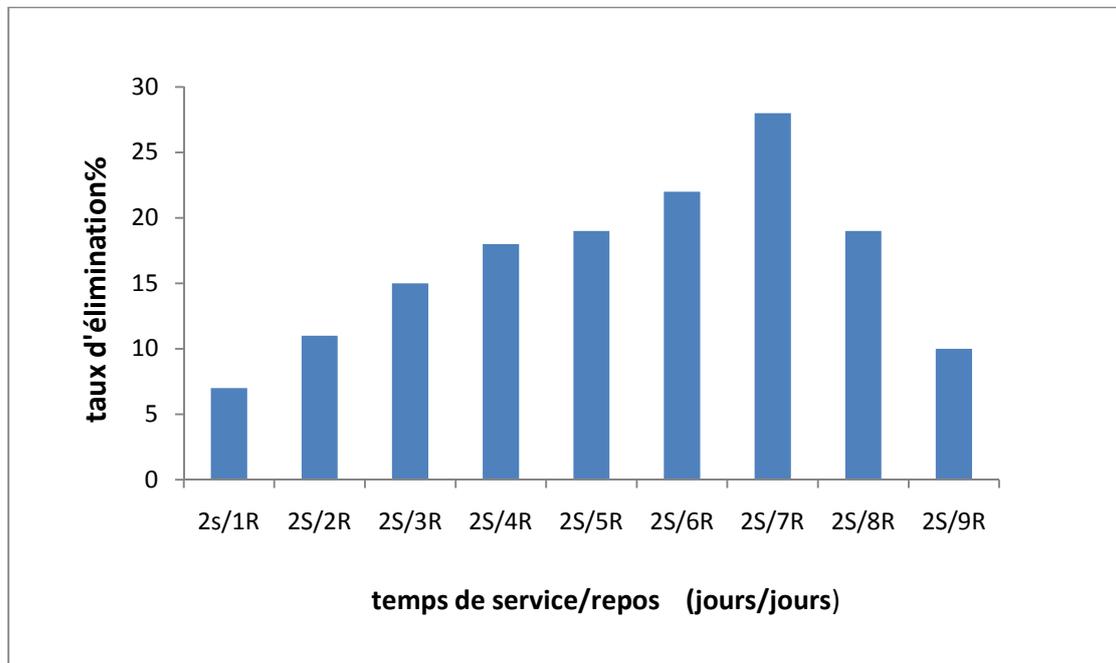


Fig.III.3.b: Effet de l'alimentation intermittente sur le taux d'élimination de N-NH<sub>4</sub>

D'après la figure on voit que le taux d'élimination de l'azote ammoniacal accroît avec l'accroissement de la période de repos jusqu'à un maximum marqué pour **2jours marche/7jours repos** .au-delà de cette période de repos, le rendement du filtre planté commence à diminuer.

Les périodes du repos doivent être plus longue pour assurer un bon assèchement de la couche de sable de la surface et évité qu'elle ne soit colmatée par des bactéries anaérobie [21], ainsi qu'elle permet de drainer le gravier et assure un apport d'air dans le média [10].

L'abaissement du taux d'enlèvement de l'azote au-delà de huit jours de repos est dû à la sécheresse qui provoque la mort d'une partie du micro-organisme et peut même tuer la plante.

A cet effet on a conclu que notre filtre planté ne peut pas être alimenté d'une façon continue, il doit être alimenté de façon intermittente

### III.3 Détermination de la durée d'alimentation

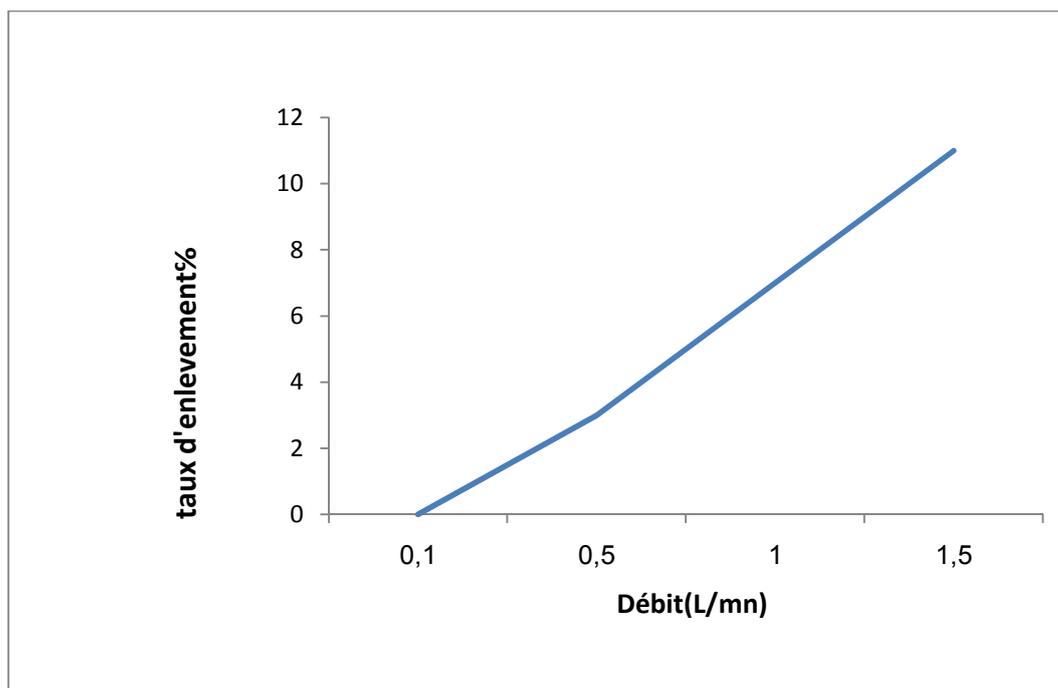
Pour déterminer le débit optimal de la marche, on a rencontré deux problèmes:

- l'entraînement de l'eau (inondation) par le haut du filtre.
- le faible taux d'enlèvement a faible débit qui n'entraîne pas l'eau en dehors du filtre comme indique Le tableau III.5:

**Tableau III.5 Determination du type d'alimentation**

Debit L/mn	0,1	0,5	1	1,5
Taux d'élimination%N-NH <sub>4</sub>	0	3	7	11

Et représenté sur la figure III.4.a:

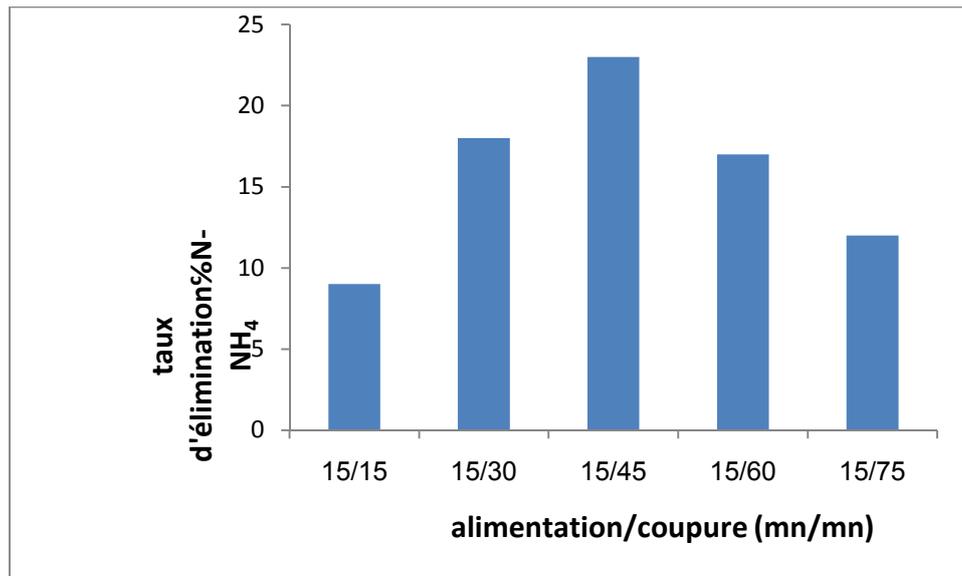


**Fig.III.4.a: Rendement de l'alimentation continue a faible débit**

A de-là de 2L/min on peut pas opérer en continu donc il faut avoir des périodes d'alimentation et des périodes de repos; Pour cela on a testé d'alimenter l'équipement par des périodes d'alimentation et interruption (par vague), on a effectué les essais suivants avec un écoulement vertical, et les prélèvements sont pris dans les deuxième jours de fonctionnement. Les résultats sont obtenus en fixant le débit 10L/min ce qui fait inonder le filtre après 15mn d'alimentation et on varie le temps de coupure d'alimentation les résultats sont illustrés dans le tableau III.6 et présentés dans la le figure III.4.b:

**Tableau III.6: Determination du type d'alimentation**

alimentation/fermeture (mn)	15/15	15/30	15/45	15/60	15/75
Taux d'élimination % N-NH <sub>4</sub>	9	18	23	17	12



**Fig.III.4.b Rendement de l'alimentation en vague**

On remarque d'après la figure que le taux d'enlèvement s'accroît avec l'accroissement du temps de coupure d'alimentation mais pas trop le rendement optimal est marqué par un rapport de 15/45 (15minute alimentation /45mn coupure d'alimentation) au delà de cet rapport, le rendement baisse.

La période d'alimentation à fort débit assure la couverture de toute la surface du filtre en eau et la période d'arrêt assure l'infiltration d'eau brute dans le médium filtrant et fournit un temps de séjour qui assure l'action des autres composants du filtre (plante + bactérie) ce qui favorise l'enlèvement de l'ion ammonium. Cette alternance assure une bonne répartition des charges hydrauliques sur toute la surface de l'unité de traitement [10].

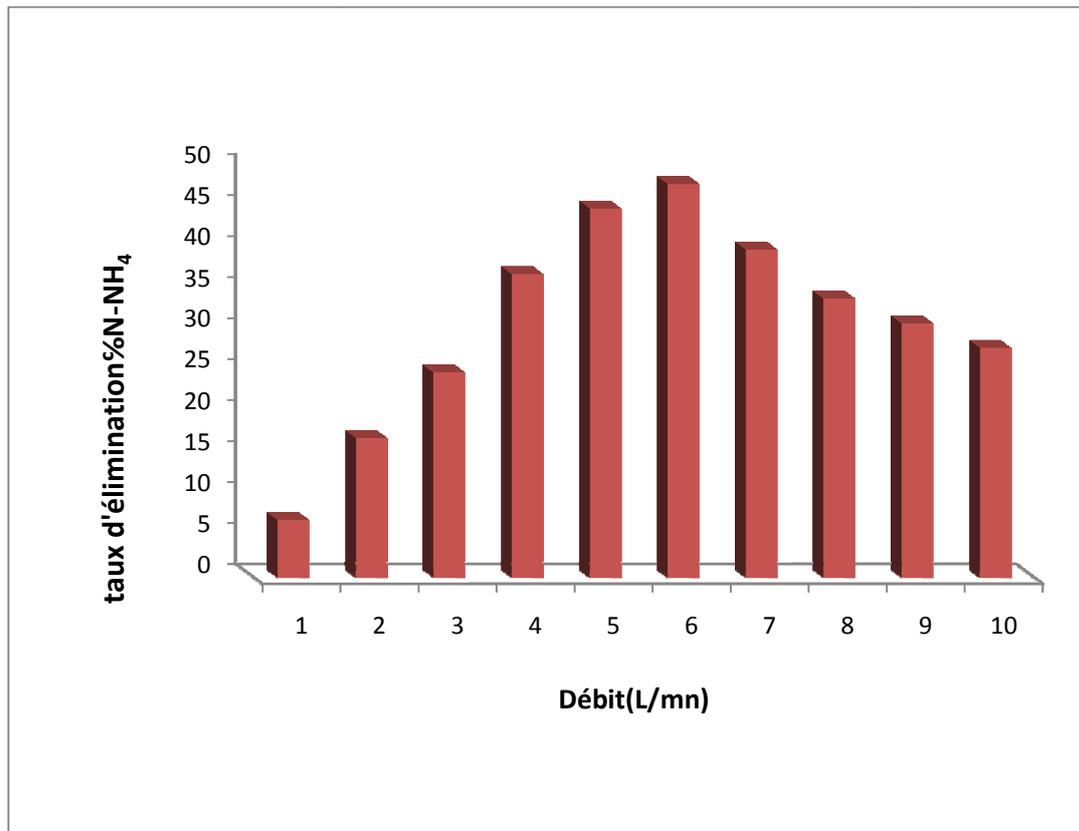
### **III.4 - Détermination du taux d'application hydraulique**

Le taux d'application hydraulique représente la quantité totale d'eau appliquée au système de traitement par unité de surface durant un jour; il est donc calculé par la répartition du débit moyen sur la surface totale de l'unité [10].

L'importance de ce paramètre provient du fait que c'est lui qui indique la capacité d'échange du système de traitement, et à partir de ce paramètre on peut calculer le taux d'application massique moyenne qui représente la quantité moyenne de nutriment qui traverse la surface de l'unité de traitement par jour.

Pour déterminer ce paramètre on a fait varier le débit d'alimentation à l'aide d'un régulateur de débit industriel (régulateur du débit c'est la tête de la commande de l'adoucisseur de l'unité)

A chaque période de service (2jours), on fixe un débit constant durant (02) jours par alternance d'alimentation/coupure puis on prélève, les résultats obtenus sont illustrés sur la figure III.5



**Fig.III.5 Détermination du débit optimal de fonctionnement**

D'après la figure. On remarque que le débit qui donne le meilleur rendement d'enlèvement est 6L/mn et cela correspond au taux d'application hydraulique optimal qui va être calculé par la somme des débits journaliers divisé par la section d'échange s.

**-Calcul du taux d'application hydraulique T.A.H:**

$$T.A.H = D/S$$

$$\text{En a } S = \pi/4 \cdot \Phi^2 = \pi/4 \cdot (1.1)^2 = 1\text{m}^2$$

**S** est la surface d'échange du filtre

**Φ** est le diamètre du filtre

**D**=la somme des débits d'alimentation

On sait que l'alimentation est discontinu, donc le volume passé en une heure correspond à  $V = 6\text{L}/\text{min} * 15\text{min} = 90\text{L}$

$$V = 90\text{L}$$

Ce volume peut être considéré comme étant le débit par heure (90L/h) et par jour en multipliant par 24heures on

$$90 \times 24 = 2160\text{L}/\text{jour}$$

**Le débit journalier D = 2.16 m<sup>3</sup>/J**

Donc le taux d'application hydraulique est

$$TAH = 2.16\text{m}^3/\text{j} / 1\text{m}^3 = 2.16\text{m}^3/\text{m}^2.\text{j}$$

$$\mathbf{T.A.H = 2.16\text{m}^3/\text{m}^2.\text{j}}$$

Cette valeur correspond au volume traiter par l'équipement par jour donc l'équipement peut traiter  $2.16 \times 2 = 4.32\text{m}^3$  a chaque période de service

**-Calcul du taux d'application massique T.A.M :**

Le taux d'application massique représente la quantité du nutriment (l'ammoniac) qui traverse la surface durant un jour donc

$$T.A.M = C_{\text{NH}_4} \times T.A.H$$

$$C_{\text{NH}_4} = 0.23\text{mg}/\text{l}$$

$$\text{Donc } TAM = 0.23\text{mg}/\text{l} \times 2160\text{ l}/\text{m}^2.\text{j}$$

$$\text{Dou } \mathbf{TAM = 496.8\text{mg}/\text{m}^2.\text{j}}$$

***-Calcul du taux d'enlèvement massique T.E.M :***

Le taux d'enlèvement massique est déterminé par le produit du taux d'application massique par le rendement d'enlèvement soit 0.4782

$$\text{T.E.M} = 0.4782 \times 496.8$$

$$\text{T.E.M} = 237.6\text{mg/m}^2\text{j}$$

Donc notre équipement enlève 237.6mg d'ammoniac par jour et soit 475.1mg durant la période de service (2jours).

## CONCLUSION:

D'après ce qu'on a vu dans ce présent travail, l'élimination de l'ammoniac dissous dans l'eau par phyto épuration est limité par beaucoup de paramètres que l'on n'a pas entamée tous par raison de la limitation du temps. En ce travail, on a pu déterminer le type d'écoulement qui favorise le meilleur taux d'enlèvement de l'azote ammoniacal, ainsi qu'on a déterminé le type d'alimentation et de fonctionnement de l'équipement de traitement

On a constaté qu'une unité similaire ne peut pas fonctionner en continu à cause des périodes de repos obligatoires ainsi qu'on a estimé le taux d'application massique optimal pour un fonctionnement meilleur

Les rendements sont relativement réduits pour beaucoup de raisons tels que

- la jeunesse de la plante (implanté au mois d'avril 2017)
- l'existence d'une seule plante avec le minimum de racine
- l'utilisation d'un seul étage de traitement
- la limitation de la surface d'échange ( $0.8\text{m}^2$ )

C'est pourquoi, dans un futur travail peut s'étaler sur d'autres paramètres tels que l'influence de la température, le climat ainsi que l'ajout d'autre étage

En fin en espère qu'elle soit une contribution utile dans le cadre de la chimie verte

# ANNEXE

## ANNEXE 1: Détermination de l'écoulement optimal (l'écoulement vertical)



**E.P. ALGERIENNE DES EAUX**  
**ZONE DE CHLEF**  
**UNITE DE CHLEF**

الجزائرية للمياه  
 منطقة الشلف  
 وحدة الشلف

### Laboratoire

Date de prélèvement :	Date de passage Date de lecture :	Nom de préleveur : agent TRANSCANAL
-----------------------	--------------------------------------	--

Code	Lieu du prélèvement	Paramètres	Méthode	Résultats	Unités	V.I
01	Eau brute Transcanal oued Fodda	Ammonium	ISO 7150		mg/L	0,5
02	Eau traitée Transcanal oued Fodda	Ammonium	ISO 7150		mg/L	0,5



## ANNEXE 2: déterminations de la méthode d'alimentation



E.P. ALGERIENNE DES EAUX  
ZONE DE CHLEF  
UNITE DE CHLEF

الجزائرية للمياه  
منطقة الشلف  
وحدة الشلف

### Laboratoire

Date de prélèvement :	Date de passage Date de lecture :	Nom de préleveur : agent TRANSCANAL
-----------------------	--------------------------------------	--

Code	Lieu du prélèvement	Paramètres	Méthode	Résultats	Unités	V.I
01	Eau brute Transcanal oued Fodda	Ammonium	ISO 7150		mg/L	0,5
02	Eau traitée Transcanal oued Fodda	Ammonium	ISO 7150		mg/L	0,5



### ANNEXE 3: Détermination de type d'alimentation (par vagues)



**E.P. ALGERIENNE DES EAUX**  
**ZONE DE CHLEF**  
**UNITE DE CHLEF**

الجزائرية للمياه  
 منطقة الشلف  
 وحدة الشلف

Laboratoire

Date de prélèvement :	Date de passage Date de lecture :	Nom de préleveur : agent TRANSCANAL
-----------------------	--------------------------------------	--

Code	Lieu du prélèvement	Paramètres	Méthode	Résultats	Unités	V.I
01	Eau brute Transcanal oued Fodda	Ammonium	ISO 7150		mg/L	0,5
02	Eau traitée Transcanal oued Fodda	Ammonium	ISO 7150		mg/L	0,5



## ANNEXE 4: Détermination du débit optimal (6L/mn)



**E.P. ALGERIENNE DES EAUX**  
**ZONE DE CHLEF**  
**UNITE DE CHLEF**

الجزائرية للمياه  
 منطقة الشلف  
 وحدة الشلف

### Laboratoire

Date de prélèvement :	Date de passage Date de lecture :	Nom de préleveur : agent TRANSCANAL
-----------------------	--------------------------------------	--

Code	Lieu du prélèvement	Paramètres	Méthode	Résultats	Unités	V.I
01	Eau brute Transcanal oued Fodda	Ammonium	ISO 7150		mg/L	0,5
02	Eau traitée Transcanal oued Fodda	Ammonium	ISO 7150		mg/L	0,5



## Référence bibliographique

- [1]- **Damien laage** «Propriété physique- chimique et biologique de l'eau» UMR CNRS-ENS-UPMC8640"PASTEUR" l'école supérieure normal, paris 2014 **www.Damien laage @ ens.fr** p.5-6
- [2]- **Karine Desboeufs** « chimie analytique appliquée a l'environnement» Université paris Diderot, Lisa2009 <http://ww.lisa.univ-paris12.fr/~des boeufs/> P.65
- [3]- **Rachid Salghi**(2004) « support de cours de chimie des eaux»  
L'école national des sciences appliqué ibn zohr Agadir P.(2 – 6)
- [4]- **Pierre Mouchet** « traitement des eaux avant utilisation matière particulière/substance dissoutes» technique de l'ingénieur G1170-G1171 P. (5-14) / P. (3-13)
- [5]- **Jean Claude Boeglin** « traitement biologique des eaux résiduaire» technique de l'ingénieur J3942 P.2-4-7-18-25
- [6]- **Jean Claude Boeglin** « Propriétés des eaux naturels» technique de l'ingénieur G1110 P.4-6
- [7]- **Helene de Gautard**(2014) « analyse d'eau de la lutrive» chimie de l'environnement publication d'Université de Lausanne P.16
- [8] - **Marie Dominique Loye**(2014) « chimie des eaux douce origine naturel et pollution» CERES-Erti université paris 12 P.24
- [9]- **Ivan Moukhlenov**(1986) « principe de la technologie chimique»  
Edition MIR MOSCOW P.18-38
- [10]- **Société québécoise d'assainissement des eaux**  
« système de traitement des eaux usées par marais artificiel» Québec 1993 P.31-117
- [11]- **A.Liénard, P. Molle, Boutin** « traitement des eaux usées par marais artificiel Action des plantes et développement de la technique en France» TMS numéro nov. 2005 P.45-53
- [12]- **Pierre Nogués** (2010) « la station d'épuration des eaux usées a lit planté de roseau» <http://www.strasbourg.aeroport.fr> P.2 - 6

- [13] - **Marc Barra** (2012) « la phytoépuration les plantes pour traiter les eaux usées» Natureparif victoire édition P.4-7
- [14] « évaluation de l'état des eaux douces de surface du métropole» **Guide technique** [www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr) P.48
- [15]- **CEMAGREF** (centre français de machinisme agricole du génie rural des eaux et des forêts) 1985 « Les lits a macrophytes; état actuel de connaissances» P.1-15
- [16]- **CEMAGREF** 1990 « Les filtres plantés de roseaux» P. 1-8
- [17]- **Fiche technique UNISCO** 2008 « traitement des eaux usées par lagunage» P.6
- [18]- **J. Chaib/AREHN** 2002 « épuration des eaux usées par les plantes»  
Publication "connaitre pour agir" P.1-4
- [19]- **Michel Radoux** 1989« épuration des eaux par hydrosére»  
Fondation universitaire luxembourgeoise P. 243-250
- [20]- **Wittgren & Sundblad** 1990 « removal of wastewater nitrogen in an infiltration wetland» P.16
- [21]- **Burka & Lawrence** 1990 « A new community aproach to waste treatment with higher water plantes» P.157-160
- [22]- **Y. Toutaoui & L. abdoun** 2014 « Dosage de L'ammonium Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire laboratoire» ADE CHLEF P. 1-8

