

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE



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

Thème

Étude des performances épuratoires de la station d'épuration
des eaux usées domestiques par filtres plantés de Ksar de
M'raguen (Adrar)

Soutenu le : 23/ 05 /2017

Présenté par :

Mlle. BOUKHECHBA Zoulikha

Mlle. HARROUZ Yasmine

Encadré par : Mr. KALLOUM Slimane

Co-encadré par : Mr. NASSRI Bahaous

Le Président : Mr. HABCHI Abdelmadjid

L'examineur : Mr. SLIMANI Saïd

Année universitaire : 2016-2017

Remerciements

Tout d'abord, merci dieu le tout puissant de nous avoir donné la volonté et le courage d'entamer et de terminer ce travail.

Nous tenons à remercier les directeurs de l'ONA, l'ANRH et l'URER-MS de nous avoir acceptés en tant que stagiaires au sein de leurs établissements.

Nous remercions également Mr. KALLOUM SLIMANE,

Mr. BOUAAFIA BOUALEM, Mr. LOUMANI AKIL pour leur encadrement.

Nous tenons tout particulièrement à remercier nos maîtres de stage Mr. DJABER ABDELKARIM, Mr. MEKNASSI ABDELKADER Mr. NASRI BAHOUS, Mme. SAHRAOUI FATIHA pour leur accueil chaleureux et leur soutien technique.

D'une façon plus générale nous remercions toutes les équipes des laboratoires pour l'intérêt qui nous ont porté tout au long de notre stage ainsi pour leur aide.

Dédicace

Ce travail modeste est dédié

*À mes chers parents, Ceux qui m'ont entourée de leur amour et leur tendresse,
ceux qui n'ont jamais épargné un effort pour mon bien, pour leurs soutiens,
encouragement, la patience et de l'aide continue pendant mes années d'études*

Que Dieu les garde.

À la mémoire de ma grande mère.

À mon cher frère OUSSAMA pour qui je souhaite de grands succès.

*A tous les membres de la famille HARROUZ et la famille KIAR,
Mes aimables amies et à tous les étudiants de la promotion chimie de
l'environnement.*

Yasmine



Dédicace

Je dédie ce mémoire

À mes très chers parents ,

Pour leurs sacrifices, leur amour, leurs prières et leur soutien.

À mon cher frère et mes chères sœurs,

Aucun mot ne pourra décrire vos dévouements et vos sacrifices.

À ma chérie, grande mère,

puisse Dieu lui prêter longue vie et beaucoup de santé et de bonheur .

À ma chère famille,

proche et lointaine.

À tous mes chers amis et mes collègues de l'Université d'Adrar ,

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que

nous avons passés ensemble.

Zoulikha



Résumé

Dans cette étude qui s'est étalée sur une période de six semaines (du 30 janvier au 7 mars 2017), nous nous sommes intéressés à l'évaluation des performances épuratoires d'un système de traitement des eaux usées d'origine domestique par les plantes. Le traitement des eaux usées provenant de 824 habitants de la localité du Ksar de M'raguen est fait par la succession de deux étapes : un prétraitement (dégrillage, déshuilage), et un traitement biologique, est réalisé dans deux filtres fonctionnant en alternance, dans lesquelles ont été plantés les roseaux, chaque filtre est constitué d'une couche de sable, de gravillon, de gravier et de moellons. L'eau évacuée du bassin est utilisée dans l'arrosage des arbres de la station et le reste est rejeté vers le milieu naturel, à 2 km de la station. Nos mesures ont porté sur le pH, la température, la conductivité électrique, la turbidité, les Matières En Suspension (MES), la Matière Organique (MO), la Demande Chimique en Oxygène (DCO), la Demande Biochimique en Oxygène (DBO), les ammoniums, les nitrites, les nitrates, les orthophosphates et les coliformes totaux et fécaux. Ces paramètres sont contrôlés à l'entrée et à la sortie de la station.

Les résultats obtenus montrent des bons rendements pour la pollution particulaire et organique, des taux d'abattement de l'ordre de 91 % pour les matières en suspension (MES), de 62 % pour la matière organique (MO), de 73 % en terme de Demande Chimique en Oxygène (DCO), de 93 % en terme de Demande Biochimique en Oxygène (DBO), de 70 % pour les orthophosphates, ont pu être atteints. On constate une nette progression pour les ammoniums, nitrites et nitrates.

Les résultats montrent aussi une très bonne performance pour l'élimination de la pollution pathogène, avec un taux d'abattement de 95 % des coliformes totaux et de 97 % des coliformes fécaux.

Mots-clés : eaux usées, traitement des eaux usées domestiques, filtres plantés, phytoépuration, roseaux.

Abstract

In this six-week study (from January 30 to March 7, 2017), the interest was in evaluating the performance of the purification treatment system of domestic water. The treatment of wastewater from 824 inhabitants of the Ksar (village) of M'raguen is done by the succession of two stages: pretreatment (screening and degreasing), and biological treatment that consists of two filters working alternately using reeds. Each filter contains a layer of sand, gravel and rubble. The evacuated water from the basin is used in watering the trees of the station and the rest is thrown outside the station 2 km away. The measurements were based on pH, temperature, electrical conductivity, turbidity, Suspended Matter (SM), Organic Matter (OM), Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD), ammoniums, nitrites, nitrates, orthophosphates and total and fecal coliforms. These parameters are checked at the input and output of the station.

The study yielded good results for particulate and organic pollution, abatement rates of 91% for Suspended Matter (SM), 62 % for organic matter (MO), 73 % in terms of Chemical Oxygen Demand (COD), 93% in terms of Biochemical Oxygen Demand (BOD), 70 % for orthophosphates, was achieved. However, there is a clear progression for ammoniums, nitrites and nitrates.

The results also show very good performance for the elimination of pathogenic pollution, with a rate of reduction of 95% of total coliforms and 97% of fecal coliforms.

Keywords: wastewater, domestic wastewater treatment, plant filters, phyto-purification, reeds.

الملخص

الهدف من هذه الدراسة، التي جرت على مدى ستة أسابيع (من 30 يناير إلى 7 مارس 2017)، هو تقييم أداء تنقية نظام معالجة مياه الصرف الصحي لقصر مراقن من خلال النباتات. و تتم المعالجة من خلال مرحلتين متتاليتين: ما قبل المعالجة (إزالة الأجسام كبيرة الحجم و الزيوت) والمعالجة البيولوجية التي تتم في حوضين يعملان بالتناوب مزروعان بالقصب، كل حوض مكون من طبقات من الرمل، الحصى و الحجارة بأبعاد و أحجام مختلفة، يتم استخدام المياه المعالجة في سقي أشجار المحطة و يتم رمي الباقي على بعد 2 كم منها. تمت متابعة الكثير من العوامل عند دخول و خروج الماء من المحطة : الأس الهيدروجيني pH ، درجة الحرارة T، الناقلية الكهربائية CE، العكارة، المواد العالقة (MES)، المواد العضوية (MO)، الطلب الكيميائي للأكسجين (DCO)، الطلب البيوكيميائي للأكسجين (DBO)، الأمونيوم، النترات، النتريت، أرتو فوسفات، بكتيريا القولون الكلية و البرازية.

أظهرت النتائج إزالة جيدة للملوثات الجسيمية و العضوية بالنسب التالية : 91 ٪ من المواد العالقة (MES)، 62 ٪ من المواد العضوية (MO)، 73 ٪ من الطلب الكيميائي للأكسجين (DCO)، 93 ٪ من الطلب البيوكيميائي للأكسجين (DBO)، 70 ٪ من أرتو فوسفات. بالمقابل أظهرت النتائج زيادة في تركيز الملوثات الازوتية في المياه الخارجة من المحطة.

تظهر النتائج أيضا أداء جيد في إزالة بكتيريا القولون، الكلية بنسبة 95٪ و البرازية بنسبة 97٪.

الكلمات المفتاحية : مياه الصرف الصحي، معالجة مياه الصرف الصحي، الاحواض المزروعة، معالجة المياه بالنباتات، القصب.

Sommaire

Sommaire

Sommaire

Liste des figures.....	i
Liste des photos.....	iii
Liste des tableaux.....	v
Liste des abreviations.....	vi
Introduction générale.....	1

Partie I : Partie bibliographique

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées

Introduction.....	3
I.1. Définition des eaux usées.....	3
I.2. Origines des eaux usées.....	3
I.2.1. Les eaux usées domestiques.....	3
I.2.2. Les eaux usées industrielles.....	4
I.2.3. Les eaux usées agricoles.....	5
I.3. Composition des eaux usées.....	5
I.4. Les paramètres de pollution des eaux usées.....	6
I.4.1. Les paramètres physiques.....	6
I.4.1.1. La température.....	6
I.4.1.2. Les matières en suspension (MES).....	6
I.4.2. Les paramètres organoleptiques.....	6
I.4.2.1. La turbidité.....	6
I.4.2.2. La couleur et l'odeur.....	6
I.4.3. Les paramètres chimiques.....	7
I.4.3.1. Le potentiel d'Hydrogène (pH).....	7
I.4.3.2. La conductivité électrique.....	7
I.4.3.3. L'oxygène dissout.....	7
I.4.3.4. La Demande chimique en oxygène (DCO).....	8
I.4.3.5. La Demande Biochimique en oxygène (DBO).....	8
I.4.3.6. La matière organique (MO).....	8

Sommaire

I.4.3.7. L'azote.....	8
I.4.3.8. Le phosphore.....	9
I.4.4. Les paramètres Bactériologiques.....	9
I.5. Le but de traitement des eaux usées.....	10
I.6. Les procédés de l'épuration des eaux usées.....	10
I.6.1. Le prétraitement.....	10
I.6.1.1. Dégrillage.....	11
I.6.1.2. Dessablage.....	11
I.6.1.3. Dégraissage- déshuilage.....	11
I.6.2. Le traitement primaire (traitement physico-chimique)	12
I.6.2.1. La décantation primaire.....	12
I.6.2.2. Traitement physico-chimique.....	12
I.6.3. Le traitement secondaire (traitement biologique)	13
I.6.3.1. Les procédés intensifs.....	13
I.6.3.1.1. Les disques biologiques (culture fixe)	14
I.6.3.1.2. Les lits bactériens (culture fixe)	14
I.6.3.1.3. Les boues activées (culture libre)	15
I.6.3.2. Les procédés extensifs.....	15
I.6.3.2.1. Les procédés extensifs à culture libre.....	16
I.6.3.2.2. Les procédés extensifs à culture fixe.....	17
I.6.4. Le traitement tertiaire.....	19
I.6.4.1. Les mécanismes de l'élimination biologiques des matières azotées.....	19
I.6.4.2. L'élimination du Phosphore.....	20
I.6.4.3. La désinfection.....	20
I.7. Arbre de décision.....	21
Conclusion.....	21
Chapitre II : Traitement des eaux usées par filtres plantés	
Introduction.....	22
II.1. Définition des filtres plantés.....	22
II.2. Principe des filtres plantés.....	22
II.3. Généralités sur les macrophytes.....	23

Sommaire

II.3.1. Définition.....	23
II.3.2. Les plantes épuratrices.....	24
II.4. Généralités sur les roseaux.....	24
II.4.1. Définition des roseaux.....	24
II.4.2. Le rôle des roseaux.....	25
II.5. Le rôle des microorganismes.....	26
II.6. Le rôle des matériaux de remplissage des couches.....	26
I.7. Les types des filtres plantés.....	27
II.7.1. Les filtres plantés à écoulement vertical.....	27
II.7.1.1. Principe de fonctionnement.....	27
II.7.1.2. Ventilation.....	28
II.7.2. Le principe de fonctionnement des filtres plantés à écoulement horizontal.....	29
II.8. Le domaine d'application des filtres plantés.....	31
II.9. Hypothèses de dimensionnement de base.....	31
II.10. L'influence du climat sur les filtres plantés.....	32
II.11. Les mécanismes épuratoires.....	32
II.12. L'entretien de la filière des filtres plantés de roseaux.....	33
Conclusion.....	34

Partie II : Partie expérimentale **Chapitre III : Contexte du stage**

III.1. Période et lieu de stage.....	35
III.2. Présentation de la région d'étude	35
III.3. Situation géographique de la station (STEP-M'raguen)	36
III.4. Description de la station (STEP-M'raguen)	37
III.5. La filière de traitement.....	38
III.6. Fonctionnement de la station d'épuration.....	39
III.6.1. L'arrivée des eaux usées.....	39
III.6.2. Dégrillage.....	39
III.6.3. Égouttage.....	40
III.6.4. Déshuilage.....	40
III.6.5. Fosse réception des eaux usées prétraitées.....	41

Sommaire

III.6.6. Station de relevage.....	41
III.6.7. Les filtres plantés aux roseaux.....	42
III.6.8 L'alimentation des filtres.....	43
III.6.9. Ventilation.....	44
III.6.10. Bassin d'eau épurée.....	44

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Introduction.....	46
IV.1. Prélèvement et échantillonnage.....	47
IV.2. Conditionnement et transport des échantillons.....	48
IV.3. Les paramètres physico-chimiques.....	49
IV.3.1. La température.....	49
IV.3.2. Le pH.....	49
IV.3.3. La conductivité.....	50
IV.3.4. Les matières en suspension (MES)	51
IV.3.5. La turbidité.....	52
IV.3.6. Les nitrates.....	53
IV.3.7. Les nitrites.....	55
IV.3.8. L'ammonium.....	56
IV.3.9. L'orthophosphate (PO_4^{3-}).....	58
IV.3.10. Demande chimique en oxygène (DCO)	60
IV.3.11. Détermination de la demande biologique en oxygène (DBO ₅)	62
IV.3.12. Matières organiques (MO)	64
IV.4. Les paramètres bactériologiques.....	66
IV.4.1. Recherche et dénombrement des Coliformes en milieu liquide.....	66
IV.4.1.1. Test de présomption.....	66
IV.4.1.2. Test de confirmation ou test de Mac Kenzie.....	68

Sommaire

Chapitre V : Résultats et discussions

Introduction.....	71
V.1. Justification du choix du procédé de traitement.....	71
V.2. Résultats et discussions.....	72
V.2.1. L'évolution de la température.....	72
V.2.2. L'évolution de potentiel Hydrogène (pH)	74
V.2.3. L'évolution de la conductivité.....	75
V.2.4. L'évolution des matières en suspension (MES)	76
V.2.6. L'évolution de la turbidité.....	78
V.2.5. L'évolution de la couleur.....	78
V.2.7. L'évolution de la matière organique (MO)	79
V.2.8. L'évolution de la demande chimique en oxygène (DCO)	80
V.2.9. L'évolution de la demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	81
V.2.10. L'évolution de l'ammonium.....	83
V.2.11. L'évolution de nitrite.....	84
V.2.12. L'évolution de nitrate.....	85
V.2.13. L'évolution de l'ortho phosphate.....	87
V.2.14. L'évolution des coliformes (totaux et fécaux)	88
Conclusion.....	89
Conclusion générale.....	90
Références bibliographiques.....	91
Annexe 01.....	95
Annexe 02.....	96
Annexe 03.....	96
Annexe 04.....	97

Liste des figures

Liste des figures

Figures	Titres	Pages
Chapitre I : Généralités sur les eaux usées		
Figure 01	Composition d'une eau usée domestique et les divers états et phases de ses matières	4
Figure 02	Composition d'une eau usée domestique.....	5
Figure 03	Schéma simplifié du fonctionnement d'un déshuileur.....	12
Figure 04	Schéma d'une station d'épuration physico-chimique.....	13
Figure 05	Schéma de principe d'une filière type de disques biologiques.....	14
Figure 06	Schéma de principe des lits bactériens.....	15
Figure 07	Schéma de principe des boues activées.....	15
Figure 08	Les principaux procédés extensifs et intensifs du traitement biologique.....	16
Figure 09	Infiltration-percolation étanchée et drainée.....	18
Figure 10	Arbre de décision.....	21
Chapitre II : Traitement des eaux usées par filtres plantés		
Figure 11	Principe des filtres plantés de roseaux.....	23
Figure 12	Les hélrophytes et les hydrophytes.....	23
Figure 13	Le rôle mécanique des roseaux.	25
Figure 14	Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical.....	28
Figure 15	Schéma représentant le principe de fonctionnement des cheminées d'aérations.....	28
Figure 16	Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal.....	29
Figure 17	Domaine d'application des filtres plantés.....	31
Chapitre III : Contexte du Stage		
Figure 18	Situation géographique d'Adrar.....	35
Figure 19	Implantation de la station.....	38
Figure 20	Coupe longitudinale des filtres à écoulement vertical installé à M'Raguen.....	42
Chapitre IV : Matériels et méthodes		
Figure 21	Les étapes effectuées lors de l'appréciation des performances épuratoires de la STEP	46
Figure 22	Cellule conductimétrique.....	50
Figure 23	Titration de la solution mère de nitrite.....	55

Liste des figures

Figure 24 : Vérification du titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium.....	61
Figure 25 : Les dilutions.....	66

Chapitre V : Résultats et discussions

Figure 26 : La variation des valeurs de la température avant et après le traitement.....	72
Figure 27 : Évolution des valeurs de la température des eaux brutes et traitées.....	73
Figure 28 : Évolution de la température ambiante d'Adrar.....	73
Figure 29 : La variation des valeurs du pH avant et après le traitement.....	74
Figure 30 : La variation des valeurs de la conductivité avant et après le traitement.....	76
Figure 31 : La variation des teneurs en MES avant et après le traitement.....	77
Figure 32 : Évolution des rendements d'élimination des MES.....	77
Figure 33 : La variation des valeurs de la turbidité avant et après le traitement.....	79
Figure 34 : La variation des valeurs de la DCO avant et après le traitement.....	80
Figure 35 : Comparaison des teneurs en DCO avec celles des MO.....	81
Figure 36 : La variation des valeurs de la DBO ₅ avant et après le traitement.....	82
Figure 37 : Comparaison des rendements d'abattement de la DCO avec ceux de la DBO ₅	82
Figure 38 : La variation des teneurs en ammonium avant et après le traitement.....	83
Figure 39 : La variation des teneurs en nitrite avant et après le traitement.....	85
Figure 40 : La variation des teneurs en nitrate avant et après le traitement.....	86
Figure 41 : La variation des teneurs en orthophosphate avant et après le traitement.....	87

Liste des photos

Liste des photos

Photos	Titres	Pages
Chapitre I : généralités sur les eaux usées		
Photo 01	Dégrillage.....	11
Photo 02	Photo de réalisation du lagunage à macrophytes.....	17
Photo 03	Photos de réalisation de filtres plantés de roseaux.....	18
Chapitre II : Traitement des eaux usées par filtres plantés		
Photo 04	Les différentes plantes aquatiques utilisées pour l'épuration des eaux usées.....	24
Photo 05	Les roseaux.....	24
Photo 06	Photo d'une cheminée d'aération sur un filtre vertical dans une STEP.....	28
Chapitre III : Contexte du Stage		
Photo 07	Les lieux où le stage a été effectué.....	35
Photo 08	Le ksar de M'raguene.....	36
Photo 09	Vue aérienne de la STEP de M'raguen.....	36
Photo 10	La station d'épuration du Ksar de M'raguen.....	37
Photo 11	L'arrivée des eaux usées.....	39
Photo 12	Dégrilleur.....	39
Photo 13	Egouttoir.....	40
Photo 14	Bassin d'égouttage.....	40
Photo 15	Déshuilage.....	40
Photo 16	Fosse réception des eaux usées prétraitées.....	41
Photo 17	Station de relevage.....	41
Photo 18	Les deux filtres plantés de roseaux de la station.....	42
Photo 19	L'alimentation du filtre par bâchée.....	43
Photo 20	Les cheminées de ventilation.....	44
Photo 21	bassin d'eau épurée.....	44
Photo 22	L'arrosage des arbres de la station de M'raguen.....	45
Photo 23	Vue du milieu récepteur des eaux traitées venues de la STEP par satellite	45

Liste des photos

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Photo 24 : Le prélèvement.....	47
Photo 25 : Les flacons des prises des échantillons à l'entrée et à la sortie de la station.....	48
Photo 26 : Glacière.....	48
Photo 27 : La mesure de la température.....	49
Photo 28 : La mesure du pH.....	50
Photo 29 : La mesure de la conductivité.....	51
Photo 30 : La filtration.....	52
Photo 31 : Turbidimètre.....	52
Photo 32 : Les solutions étalons de nitrates.....	53
Photo 33 : Le mélange colorant et le mélange réducteur.....	54
Photo 34 : Mesure de la densité optique de l'échantillon.....	54
Photo 35 : Mélange riche en nitrite.....	56
Photo 36 : Mélange presque nul en nitrite.....	56
Photo 37 : Les réactifs.....	57
Photo 38 : Conservation des flacons à l'obscurité.....	57
Photo 39 : Solution molybdate d'ammonium et solution d'acide ascorbique.	58
Photo 40 : Les solutions étalons de l'orthophosphate.	59
Photo 41 : Les étapes de détermination de la teneur des échantillons en orthophosphate.....	59
Photo 42 : Échauffement du mélange (échantillons + réactifs)	61
Photo 43 : Titrage de l'excès de bichromate de potassium.....	62
Photo 44 : Incubation des bouteilles.....	63
Photo 45 : Échauffement du mélange échantillons + réactifs.....	65
Photo 46 : Tubes contenant le milieu (VBL)	66
Photo 47 : Les tubes positifs pour le test de présomption.....	67
Photo 48 : Préparation des tubes pour le test de confirmation.....	68
Photo 59 : Les tubes positifs pour le test de confirmation.....	69

Chapitre V : Résultats et discussions

Photo 50 : La variation de la couleur à l'entrée et à la sortie de la station	78
--	----

Liste des tableaux

Figures	Titres	Pages
Chapitre II : Traitement des eaux usées par filtres plantés		
Tableau 01	Le rôle des différentes couches.....	26
Tableau 02	Avantages et inconvénients des filtres plantés.....	30
Tableau 03	Hypothèses de dimensionnement de base.....	31
Tableau 04	Principaux mécanismes d'élimination des différents types de polluants.....	32
Tableau 05	Fréquence des tâches d'entretien des filtres plantés de roseaux.....	33
Chapitre III : Contexte du Stage		
Tableau 06	Données générales de la STEP M'raguen.....	37
Tableau 07	Les matériaux de remplissage des couches et leurs épaisseurs.....	43
Chapitre IV : Matériels et méthodes		
Tableau 08	Modes de conservation des paramètres physico-chimiques et bactériologiques.....	48
Tableau 09	Table de conversion.....	64
Tableau 10	Les équations correspondantes pour l'oxydation en milieu acide.	65
Tableau 11	Illustration des résultats du test de présomption.....	67
Tableau 12	Illustration des résultats des deux tests.....	70
Chapitre V : Résultats et discussions		
Tableau 13	Type de traitement convenable pour les eaux usées entrant à la STEP.....	71
Tableau 14	La variation des valeurs de la température avant et après le traitement.....	72
Tableau 15	La variation des valeurs du pH avant et après le traitement.....	74
Tableau 16	La variation des valeurs de la conductivité avant et après le traitement.....	75
Tableau 17	La variation des teneurs en MES avant et après le traitement.....	76
Tableau 18	La variation des valeurs de la turbidité avant et après le traitement.....	78
Tableau 19	La variation des teneurs en MO avant et après le traitement.....	79
Tableau 20	La variation des valeurs de la DCO avant et après le traitement.....	80
Tableau 21	La variation des valeurs de la DBO5 avant et après le traitement.....	81
Tableau 22	La variation des teneurs en ammonium avant et après le traitement.....	86
Tableau 23	La variation des teneurs en nitrite avant et après le traitement.....	84
Tableau 24	La variation des teneurs en nitrate avant et après le traitement.....	85
Tableau 25	La variation des teneurs en orthophosphate avant et après le	87
Tableau 26	La variation du nombre le plus probable des coliformes avant et après le traitement.....	88

Liste des abréviations

ANRH :	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
CE :	Conductivité Électrique
CF :	Coliformes Fécaux
CT :	Coliformes Totaux
DBO :	Demande Biochimique en Oxygène
DBO₅ :	Demande Biochimique en Oxygène (05 jours)
DCO :	Demande Chimique en Oxygène
E.D.T. A. :	Éthylène Diamine Tétra-Acétique
E.U :	Eau usée
EH :	Equivalent Habitant
EP :	Eau Physiologique
Max :	Maximale
MES :	Matière En Suspension
Min :	Minimale
MO :	Matière Organique
Moy :	Moyenne
Nbre :	Nombre
NPP :	Nombre le Plus Probable
NTU :	Nephelometric Turbidity Unit
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé
ONA :	Office National d'Assainissement
P.E :	Prise d'Essai
pH :	Potentiel Hydrogène
PVC :	Polychlorure de Vinyle
Q.S.P :	Quantité Suffisante Pour
SM :	Solution Mère
STEP :	Station du Traitement des Eaux Polluées
T :	Température
UV :	Ultraviolet
VBL :	Bouillon Lactosé bilié au Vert Brillant

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est indispensable à l'existence et au développement de la vie des êtres vivants, cet élément est « facilement utilisé donc facilement pollué ». En effet, l'explosion démographique et la demande croissante en eau de deux secteurs stratégiques l'agriculture et l'industrie augmente la quantité des eaux usées qui sont rejetées, le plus souvent, de façon directe dans le milieu naturel, ce qui menace la qualité de l'environnement dans son ensemble. Le traitement de ces rejets s'avère indispensable afin de lutter contre leurs effets nocifs.

La purification des eaux usées domestiques par des procédés intensifs tels que les boues activées a montré sa complexité et ses exigences matérielles et humaine (haute technicité) ; de ce fait, le traitement de ces eaux en Algérie s'oriente depuis quelques années vers des techniques plus économiques et plus soucieuses de la préservation de l'environnement, parmi eux un mode purement naturel « filtres plantés » où les agents actifs sont des macrophytes (plantes supérieures), pour cette technique l'intervention de l'homme est très limitée et l'installation n'est pas trop coûteuse.

Les potentialités épuratoires des systèmes hydrauliques à plantes macrophytes ont été mis en évidence dans des pays tels que l'Italie, la France, la Russie, les Etats unie, le Sénégal, etc.... en 1946 et dans l'Algérie en 2007 aux bordures du Vieux Ksar de Témacine dans la wilaya de Ouargla (**SAGGAI M., 2004**).

Le mode de traitement des effluents par des macrophytes a prouvé son efficacité, dans des étages climatiques différentes, pour le traitement des eaux usées domestiques provenant des petites collectivités, en utilisant de nombreuse espèces (phragmites, tamarix, typha, massette, lentille d'eau...), et vu son importance et sa réussite à l'échelle internationale, ce mode d'épuration est choisi pour la définition d'un thème de recherche.

Le travail mené est purement expérimental pour vérifier la faisabilité de l'installation d'un dispositif d'épuration des eaux usées domestiques à base de macrophytes, en contrôlant le processus d'épuration de ces eaux durant leurs passages dans les filtres plantés, et en faisant un bilan partiel de la composante de l'eau à l'entrée et à la sortie du dispositif. L'espèce utilisé est très répandu dans la région d'Adrar le *Phragmite communis* appelé vulgairement le roseau et en langage jargon Guessab.

Introduction générale

La mise en œuvre de ce mémoire de fin d'études, va être développée en deux parties contenant cinq chapitres.

En effet, la première partie est consacrée à l'étude théorique. Dans le premier chapitre nous exposons des généralités sur les eaux usées (leurs définition, origine, paramètres polluants, procédés du traitement...etc.), et dans le deuxième chapitre nous présentons le procédé du traitement des eaux usées par filtres plantés (définition, principe, types ...etc.).

Une deuxième partie consacrée à l'expérimentation. Dans le troisième chapitre nous décrivons la station de traitement des eaux usées par filtres plantés de M'raguen, le quatrième chapitre contient les matériels et les méthodes utilisés durant la période de stage et dans le cinquième chapitre nous présentons tous les résultats obtenus avec l'interprétation de chacune. Et on termine avec une conclusion générale qui est la synthèse des différents résultats.

Partie I :
Partie bibliographique

Chapitre I :

Généralités sur les eaux usées

Introduction

L'eau est une richesse nécessaire à toutes les activités socio-économiques. Certaines activités sont plus exigeantes en eau et d'autres plus prioritaires, mais le plus souvent l'eau utilisée est dégradée et polluée. Les rejets liquides peuvent nuire l'environnement et la santé publique (TFYECHE L., 2014).

I.1. Définition des eaux usées

Une eau usée, appelée encore eau résiduaire ou effluent est une eau qui a subi une détérioration après usage. La pollution des eaux dans son sens le plus large est définie comme « Tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou physico-chimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines ». (ATTAB S., 2011).

I.2. Origines des eaux usées

Selon l'origine des eaux usées, trois grandes catégories sont distinguées :

- Les eaux usées domestiques ;
- Les eaux usées industrielles ;
- Les eaux usées agricoles.

I.2.1. Les eaux usées domestiques

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers. Lorsque les habitations sont en zone d'assainissement collectif, les eaux domestiques se retrouvent dans les égouts (BAUMONT S., 2006).

Les eaux usées domestiques sont constituées :

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

- **Des eaux de salle de bains** : chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement de matières grasses hydrocarbonées ;
- **Des eaux de vannes** : qui proviennent des sanitaires, très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphorés et en microorganismes (ATTAB S., 2011).

Les eaux usées domestiques contiennent des matières minérales et organiques dans les trois états physiques de la matière : solide, liquide et gazeuse et dans les cinq états de dispersion : débris grossiers, suspensions (émulsions), colloïdes, molécules dissoutes dissociées ou non. Les eaux usées véhiculent aussi microorganismes pathogènes ou saprophytes et virus (OUALI M., 2001).

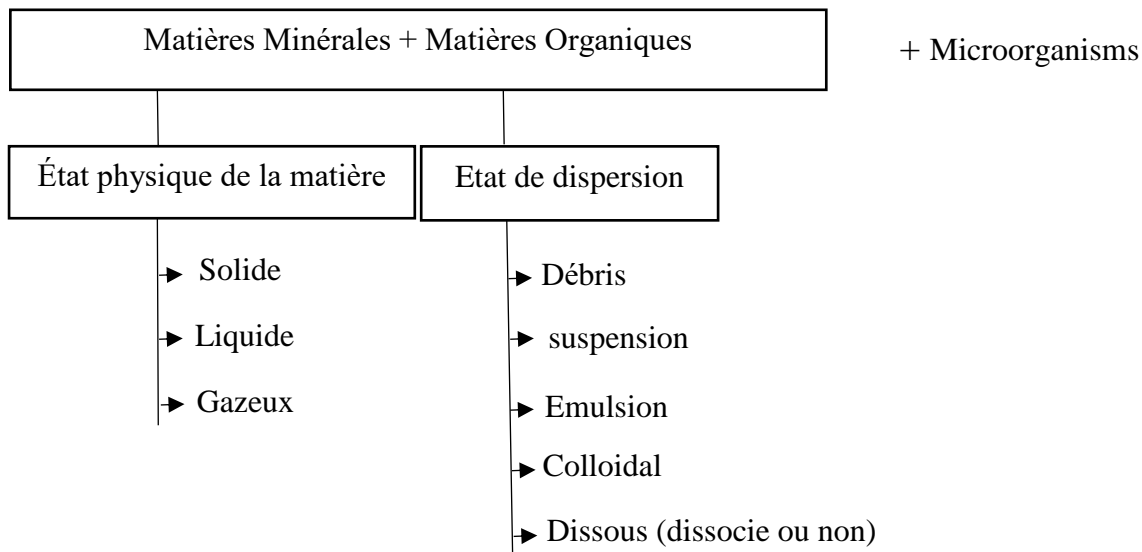


Figure 01 : Composition d'une eau usée domestique et les divers états et phases de ses matières (OUALI M., 2001).

I.2.2. Les eaux usées industrielles

Toutes les unités industrielles utilisent les eaux dans leurs processus de production, par conséquence elles ont des rejets assez considérables. Il apparaît difficile de classifier les eaux usées industrielles en raison de la diversité des activités industrielles ainsi que la grande différence qui existe entre les rejets d'eaux usées de même activité (TFYECHE L., 2014).

I.2.3. Les eaux usées agricoles

Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole dont certains présentent ou peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux.

Il s'agit principalement :

- Des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déchets animales) ;
- Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides, ...) (ABIBSI N., 2011).

I.3. Composition des eaux usées

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique...etc.). Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute (**figure 02**), ainsi que de nombreux micro-organismes (BACHI O., 2010).

La figure ci-dessous illustre les plus importants composants solides des eaux usées domestiques.

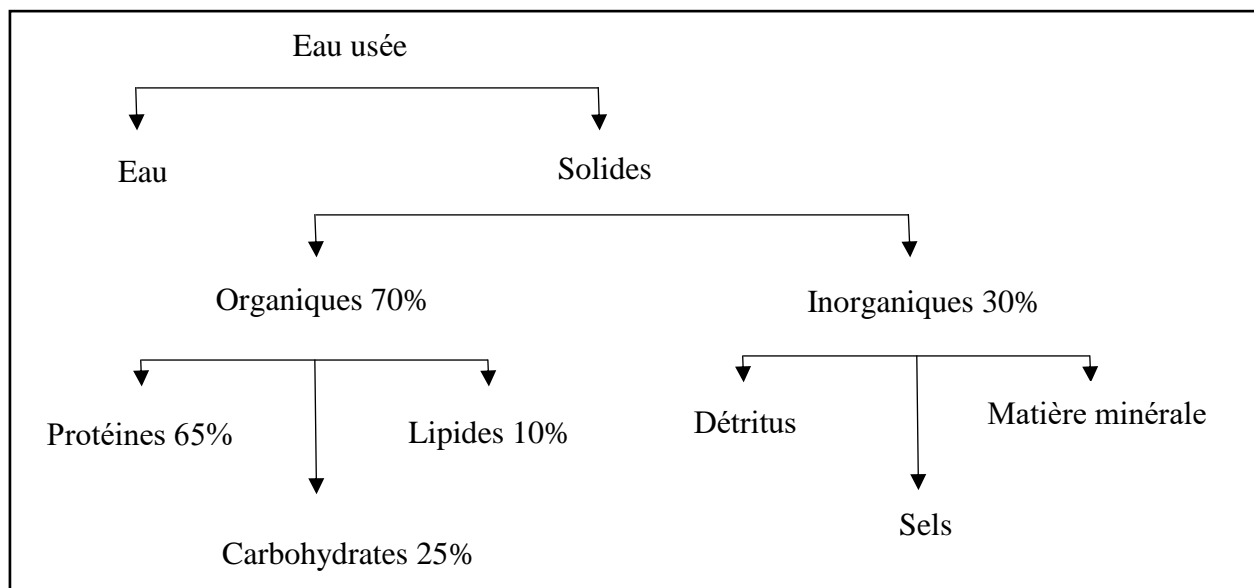


Figure 02 : Composition d'une eau usée domestique (BACHI O., 2010)

I.4. Les paramètres de pollution des eaux usées

Les principaux paramètres physicochimiques analysés au cours de la partie expérimentale ainsi que les paramètres bactériologiques les plus rencontrés dans les eaux usées sont les suivants:

I.4.1. Les paramètres physiques

I.4.1.1. La température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels donc sur la conductivité électrique et pour la détermination du pH (ABIBSI N., 2011). Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau (SALGHI R.,2015).

I.4.1.2. Les matières en suspension (MES)

Il s'agit de matières non solubilisées. Elles comportent des matières organiques et des matières minérales. Elles peuvent également être des microorganismes vivants (TFYECHE L., 2014). Elles donnent à l'eau une apparence trouble et une mauvaise odeur.

I.4.2. Les paramètres organoleptiques

I.4.2.1. La turbidité

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale (ABIBSI N., 2011).

I.4.2.2. La couleur et l'odeur

La couleur et l'odeur des eaux usées renseignent sur l'âge des déchets liquides. Une eau usée domestique fraîche a un aspect grisâtre et dégage des odeurs plutôt tolérables, ce qui n'est pas le cas des eaux plus vieilles. Ceci est dû à la formation de gaz ou à la prolifération de certains micro-organismes.

I.4.3. Les paramètres chimiques

I.4.3.1. Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH mesure la concentration des ions H^+ dans l'eau. La valeur du pH altère la croissance et la reproduction des micro-organismes existants dans une eau, la plupart des bactéries peuvent croître dans une gamme de pH comprise entre 5 et 9, l'optimum est situé entre 6,5 et 8,5, des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent la croissance et la survie des micro-organismes aquatiques selon l'organisation mondiale de la santé (OMS) (SALGHI R.,2015).

I.4.3.2. La conductivité électrique

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu des ions qui sont mobiles dans un champ électrique.

Elle dépend de la nature des ions dissous et de leurs concentrations. La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 .

L'unité de la conductivité est le siemens par mètre (S/m) (ABIBSI N., 2011).

I.4.3.3. L'oxygène dissous

La concentration en oxygène dissous d'une eau est fonction de plusieurs facteurs, à savoir : la température, la pression atmosphérique et la salinité ou alors de l'intensité de l'activité photosynthétique. En effet, l'oxygène dissous provient soit de l'atmosphère par diffusion, soit de la photosynthèse des organismes autotrophes.

Il est consommé lors de la respiration des végétaux présents dans l'eau, de la décomposition des matières organiques par les micro-organismes aérobies et de l'oxydation de certaines substances chimiques (EL HACHEMI O., 2012).

C'est un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'autoépuration d'un cours d'eau. Sa teneur est exprimée en mg/l (MAKHOUKH M. et al.,2011).

I.4.3.4. La demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) c'est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant, le bichromate de potassium. Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complète des matières oxydables présentes dans l'échantillon.

Elle est exprimée en mg O₂/l. Généralement la DCO est 1,5 à 2 fois la DBO₅ pour les eaux usées urbaines et de 1 à 10 pour tout l'ensemble des eaux résiduaires industrielles (SALGHI R.,2015).

I.4.3.5. La demande biochimique en oxygène (DBO)

La demande biochimique en oxygène (DBO), c'est la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement des micro-organismes, pendant 5 jours à 20 °C (DBO₅).

Elle est très utilisée pour le suivi des effluents urbains. Elle est exprimée en mg O₂/l (SALGHI R.,2015).

I.4.3.6. La matière organique (MO)

Les rejets résiduaires des égouts des agglomérations, apportent de très grandes quantités de matières organiques (MO). Cette pollution organique rejetée dans le milieu récepteur, sans traitement préalable, entrainerait, du fait de sa dégradation par les organismes vivants du milieu (biodégradation), une diminution de la teneur en oxygène dissous, une modification et parfois une disparition de la faune existante : c'est le phénomène d'eutrophisation des milieux aquatiques.

I.4.3.7. L'azote

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations.

Quant à l'azote minéral (ammoniac, nitrate, nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total (ABIBSI N., 2011).

I.4.3.8. Le phosphore

Le phosphore présent dans les eaux usées est presque exclusivement sous la forme phosphate. Il existe plusieurs catégories de phosphates qui peuvent être classifiées en trois groupes principaux :

- Les orthophosphates (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$) ;
- Les phosphates condensés, où deux ou plusieurs atomes de phosphore sont réunis par des liaisons P-O-P, comme les métaphosphates ($P_2O_6^{2-}$, $P_3O_9^{3-}$...etc.), les pyrophosphates ($P_2O_7^{4-}$), etc...
- Les phosphates organiques où les liaisons P-O-C sont présentes, comme les phosphoprotéines, les phosphoglucosides et les phospholipides.

Le phosphore contenu dans les eaux résiduaires à dominante urbaines provient pour l'essentiel des rejets métaboliques (urines, fèces). Les autres apports de phosphore proviennent des détergents pour lave-vaisselle, des eaux de vaisselle, des détergents lessiviels ménagers (STRICKER A. et al.,2010).

I.4.4. Les paramètres Bactériologiques

Les eaux résiduaires urbaines transportent de nombreux microorganismes dont certains sont pathogènes. Les germes les plus fréquemment rencontrés sont les coliformes totaux et fécaux, *Escherichia coli* ...etc.

• Les coliformes totaux

Les coliformes totaux constituent un groupe de bactéries qui se trouvent fréquemment dans l'environnement, ainsi que dans les intestins des mammifères, dont les êtres humains.

Elles sont capables de se développer à 37 °C, elles n'entraînent en général aucune maladie, mais leur présence indique que l'eau peut être contaminée par des micro-organismes plus nuisibles (RODIER J. et al.,2009).

- **Les coliformes fécaux**

Les coliformes fécaux ou "coliformes thermotolérants" sont un sous-groupe des coliformes totaux, renferme toutes les espèces bactériennes faisant partie de la famille des Enterobacteriaceae qui sont aérobies ou anaérobies facultatives, à Gram négatif, en forme de bâtonnet, sont capables de se développer à 44 °C (RODIER J. et al.,2009).

Les coliformes fécaux constituent un bon test de contamination des eaux par les matières fécales humaine ou animale. L'espèce caractéristique et principale des coliformes fécaux est Escherichia coli.

I.5. Le but de traitement des eaux usées

L'épuration consiste à éliminer les matières minérales et organiques en suspension et en solution, ainsi qu'un certain nombre de déchets divers afin d'obtenir une eau épurée, conforme aux normes de rejets (voir annexes). L'épuration des eaux usées a pour objectif de rejeter dans le milieu naturel des eaux d'une qualité suffisante pour altérer le moins possible le milieu récepteur (KHEMICI Y.,2014).

I.6. Les procédés d'épuration des eaux usées

Pour recycler les eaux usées dans le milieu naturel et les rendre propres et sécuritaires, l'épuration des eaux usées s'avère une nécessité primordiale. Elle est effectuée au niveau des stations d'épuration où les eaux usées subissent des prétraitements, et différents types de traitement : physiques, biologiques et physico-chimiques (BELAHMADI M.,2011).

Les stations d'épuration des eaux usées des agglomérations urbaines importantes comportent une chaîne de traitement dont la complexité dépend du degré d'épuration jugé nécessaire (OUALI M., 2001).

I.6.1. Le prétraitement

Avant leur traitement, les eaux brutes doivent subir un prétraitement qui a pour objectif d'extraire la plus grande quantité possible de matières pouvant gêner les traitements ultérieurs.

De nature physique, le prétraitement regroupe les opérations suivantes : dégrillage, dessablage, dégraissage- déshuilage (OUALI M., 2001).

I.6.1.1. Dégrillage

Il s'agit d'éliminer les éléments de grandes dimensions qui se trouvent dans l'eau d'égout brute (chiffons, matières plastiques... etc.) et qui pourraient perturber le fonctionnement de la station d'épuration. Pour ce faire, on intercale une grille, dont les barreaux ont un écartement de l'ordre du centimètre (BELAHMADI M.,2011). L'espacement entre les barreaux permet de fixer la taille des déchets à éliminer. En fonction de la taille des débris à éliminer, trois types de dégrillage sont distingués :

- 3 à 10 cm : prédégrillage.
- 1 à 3 cm : dégrillage moyen.
- 0,3 à 1 cm : dégrillage fin.



Photo 01 : Dégrillage (BOUTIN C. et al.,2015).

I.6.1.2. Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts intempestifs dans les canaux et conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et éviter de surcharger les stades de traitements (YOUB O.,2008).

I.6.1.3. Dégraissage- déshuilage

Les eaux usées urbaines contiennent souvent des matières flottantes qui passent à travers les grilles (huiles, hydrocarbures, débris de graisses...etc.) les huiles et hydrocarbures forment une couche mince en surface et gênent ainsi le processus d'aération (BELAHMADI M.,2011). Il est donc nécessaire de piéger ces substances au niveau du prétraitement. L'opération de dégraissage-déshuilage permet de séparer les huiles et les graisses et les entraîner sur des déversoirs pour les évacuer (BACHI O., 2010).

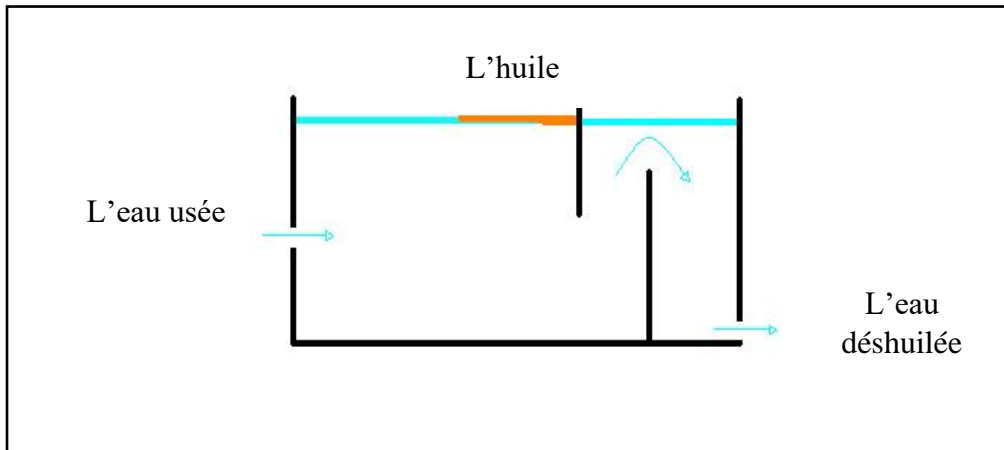


Figure 03 : Schéma simplifié du fonctionnement d'un déshuileur.

I.6.2. Le traitement primaire (traitement physico-chimique)

Les traitements primaires regroupent les procédés physiques ou physico-chimiques visant à éliminer par décantation une forte proportion de matières minérales ou organiques en suspension.

I.6.2.1. La décantation primaire

La décantation « primaire » s'effectue dans des bassins, le plus souvent de forme cyclonique, mais il existe bien d'autres types de décanteurs. Elle permet d'éliminer 70 % environ des matières minérales et organiques en suspension qui se déposent au fond du bassin où elles constituent les boues dites « primaires ».

Les performances de la décantation peuvent être améliorées par l'adjonction de produits chimiques (les coagulants et flocculants). Cette technique qu'on appelle « coagulation- flocculation » permet de capter 90 % des matières en suspension (AUSSEL H. et al., 2004).

I.6.2.2. Traitement physico-chimique

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin et elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour les éliminer, il est nécessaire d'utiliser les procédés de coagulation et de flocculation.

La coagulation a pour but principale de déstabiliser les particules en suspension, c'est à dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques : sels minéraux cationiques (sels de fer ou d'aluminium).

La floculation a pour objectif de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par les procédés de décantation et de filtration.

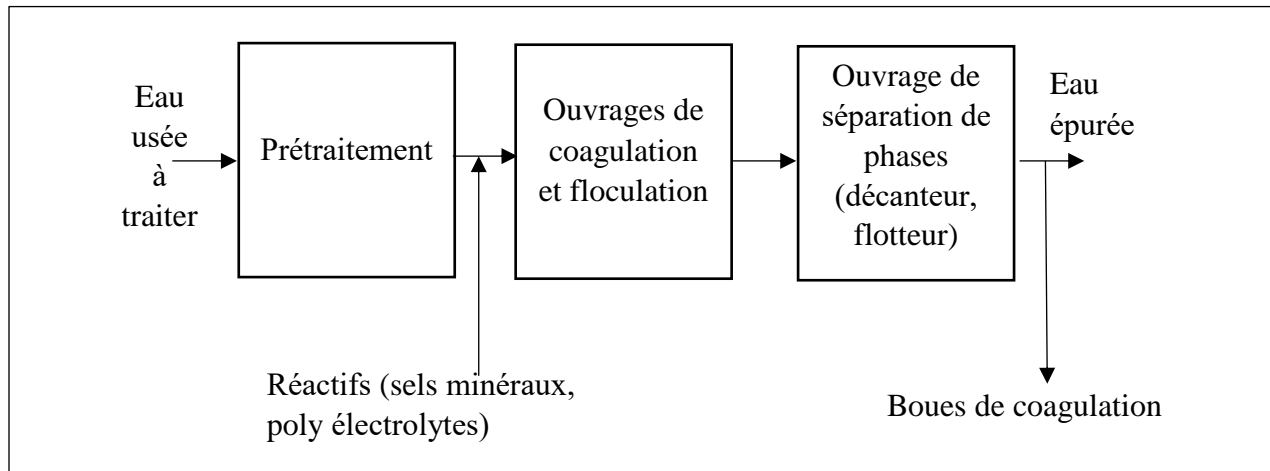


Figure 04 : schéma d'une station d'épuration physico-chimique (MEOT B. et ALAMY Z.,1990).

I.6.3. Le traitement secondaire (traitement biologique)

Le traitement biologique des eaux usées est une technique qui utilise au cours de son processus des organismes vivants. Ces derniers contribuent à la décomposition de la matière organique et l'assimilation de certains éléments toxiques.

Les procédés biologiques utilisés sont les procédés extensifs et les procédés intensifs.

I.6.3.1. Les procédés 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 (BENELMOUAZ A.,2015). Parmi les procédés intensifs : les disques biologiques, les lits bactériens et les boues activées.

I.6.3.1.1. Les disques biologiques (culture fixe)

Les disques biologiques ou bio-disques sont des disques enfilés parallèlement sur un axe horizontal tournant. Ces disques plongent dans une auge, où circule l'eau à épurer ayant subi une décantation. Pendant une partie de leur rotation ils se chargent de substrat puis ils émergent dans l'air le reste du temps (pour absorber de l'oxygène). Les disques sont recouverts par un bio-film sur les deux faces. Ils ont un diamètre de 1 à 3 m, sont espacés de 20 mm et tournent à une vitesse de 1 à 2 tr mn⁻¹. Les boues en excès se détachent du disque et sont récupérées dans un clarificateur secondaire avant rejet dans le milieu naturel (**BENELMOUAZ A.,2015**).

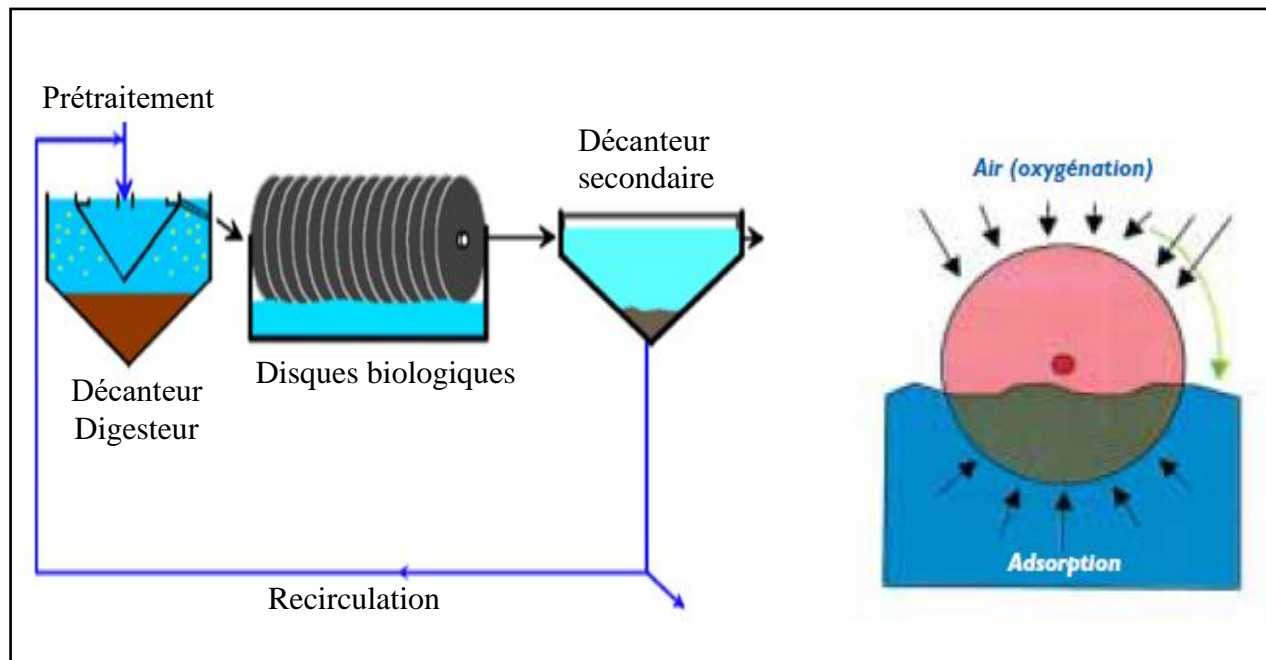


Figure 05 : Schéma de principe d'une filière type de disques biologiques (**BENELMOUAZ A.,2015**).

I.6.3.1.2. Les lits bactériens (culture fixe)

Un lit bactérien est un réacteur biologique à culture fixée qui fonctionne dans des conditions principalement aérobies. Les eaux usées préalablement décantées sont continuellement répandues par aspersion sur le filtre. Lorsque l'eau traverse les pores du filtre, le biofilm qui recouvre le matériau filtrant dégrade les matières organiques (**TILLEY E. et al.,2014**).

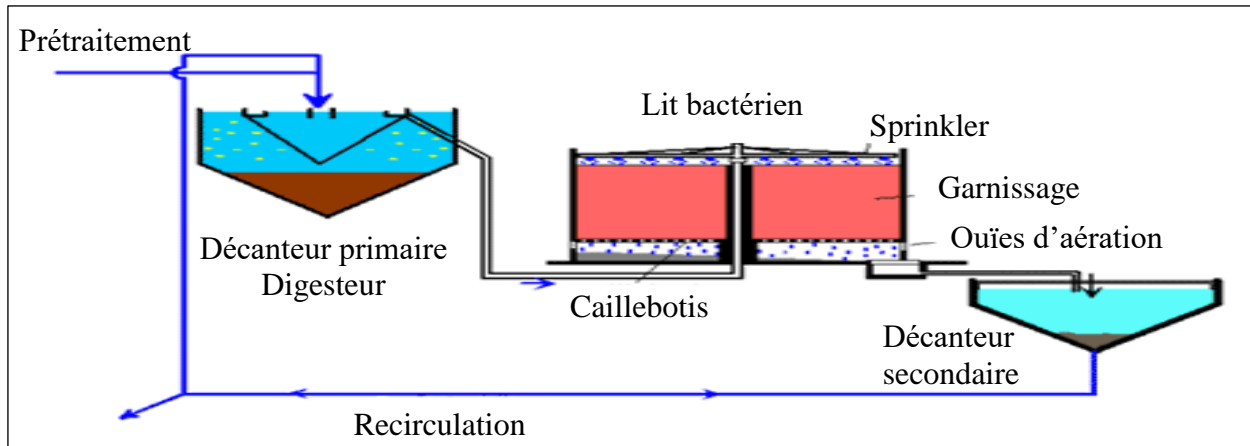


Figure 06 : Schéma de principe des lits bactériens (BENELMOUAZ A.,2015).

I.6.3.1.3. Les boues activées (culture libre)

C'est un traitement très largement utilisé. Il s'agit d'un réacteur qui contient les eaux à traiter, dans lequel est injectée une boue chargée de bactéries. Les bactéries consomment la matière organique et contribuent à l'élimination de l'azote et du phosphate. A la sortie du réacteur, l'effluent passe dans un clarificateur. La boue décantée est séparée en deux flux : l'un rejoint le réacteur (ensemencement) et l'autre est évacué vers la filière des boues (BELAHMADI M.,2011).

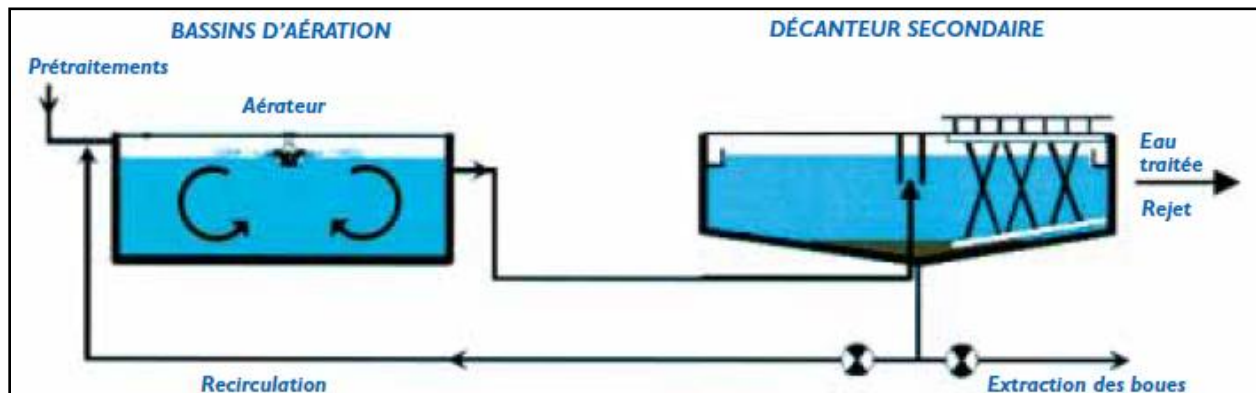


Figure 07 : Schéma de principe des boues activées (BERLAND J. et al.,2001).

I.6.3.2. Les procédés extensifs

Ils reposent sur les phénomènes de l'auto-épuration naturelle et ils demandent une faible énergie mais nécessitent, en revanche, de grandes superficies et de longs séjours des eaux usées. Du point de vue économique, ils sont moins coûteux (BENELMOUAZ A.,2015).

❖ **Les procédés extensifs à culture libre**

- Lagunage naturel
- Lagunage à macrophytes
- Lagunage aéré

❖ **Les procédés extensifs à culture fixe**

- Les filtres plantés à écoulement horizontal.
- Les filtres plantés à écoulement vertical.
- L'infiltration percolation.

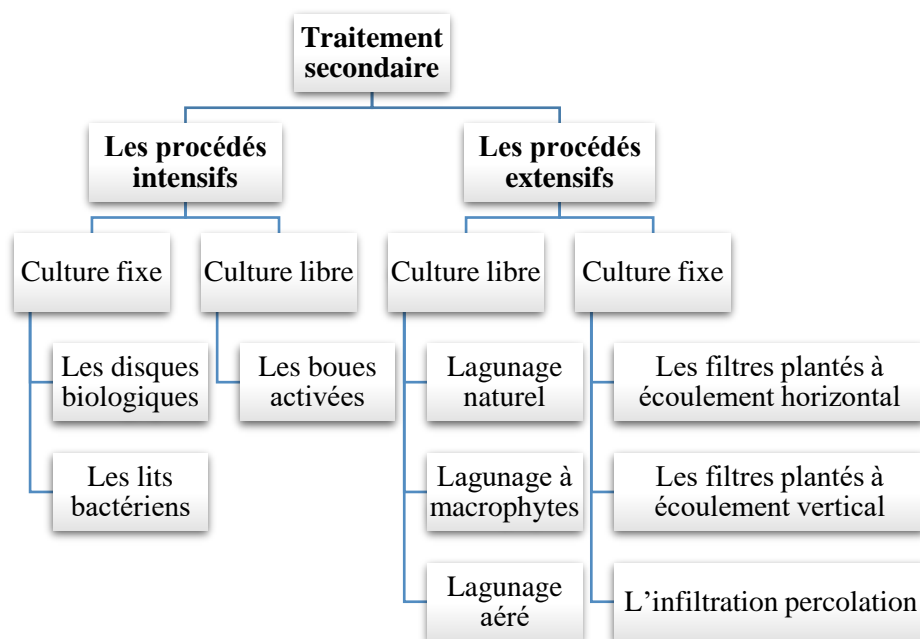


Figure 08 : Les principaux procédés extensifs et intensifs du traitement biologique.

I.6.3.2.1. Les procédés extensifs à culture libre

- **Lagunage naturel**

L'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour, dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassin le plus communément rencontré est de 3. Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière. Ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et maintien des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique (BERLAND J. et al.,2001).

- **Lagunage à macrophytes**

Les lagunes à macrophytes reproduisent des zones humides naturelles comportant une tranche d'eau libre (BERLAND J. et al.,2001), Il est constitué de plantes telles que les roseaux et les massettes. Les bassins sont généralement de plus faible surface et moins profonds 0,6 à 0,8 m où la charge polluante est plus faible. L'effet épuratoire est dû principalement à la faculté de ces plantes d'extraire les éléments nutritifs de la colonne d'eau (BOUHANNA A.,2014).



Photo 02 : Photo de réalisation du lagunage à macrophytes (DUPONT D.,2008).

- **Le lagunage aéré**

Une lagune aérée utilise le même principe que le lagunage naturel dans lequel, l'apport d'oxygène est augmenté par la mise en place d'aérateurs mécaniques (BACHI O., 2010). Le principe ne se différencie des boues activées que par l'absence de système de recyclage des boues ou d'extraction des boues en continu (BERLAND J. et al.,2001).

I.6.3.2.2. Les procédés extensifs à culture fixe

- **Les filtres plantés**

Contrairement à la technique de lagunage consommatrice d'espace, les systèmes de filtres plantés permettent de réduire énormément les emprises nécessaires à l'installation des équipements. Une station d'épuration par filtres plantés fonctionne comme un marais naturel.

Les eaux brutes (eaux grises et eaux vannes) passent à travers des bassins remplis d'un substrat minéral (graviers plus ou moins grossiers) où sont plantés différents végétaux sub-aquatiques (roseaux, massettes, joncs, iris, scirpes...). Ces plantes et plus particulièrement les roseaux ont la particularité de développer un tissu racinaire et un réseau de galeries qui drainent, oxygènent et servent de support aux bactéries épuratrices (aérobies) (DUPONT D.,2008).



Photo 03 : Photos de réalisation de filtres plantés de roseaux (DUPONT D.,2008).

- **L'infiltration percolation**

L'infiltration-percolation d'eaux usées est un procédé d'épuration par filtration biologique aérobie sur un milieu granulaire fin. L'eau est successivement distribuée sur plusieurs unités d'infiltration et uniformément répartie à la surface du filtre qui n'est pas recouvert.

La filtration sur sable permet principalement une oxydation de la matière organique, une nitrification de l'azote ammoniacal, une réduction des germes pathogènes et l'élimination des MES persistant au prétraitement (BERLAND J. et al.,2001).

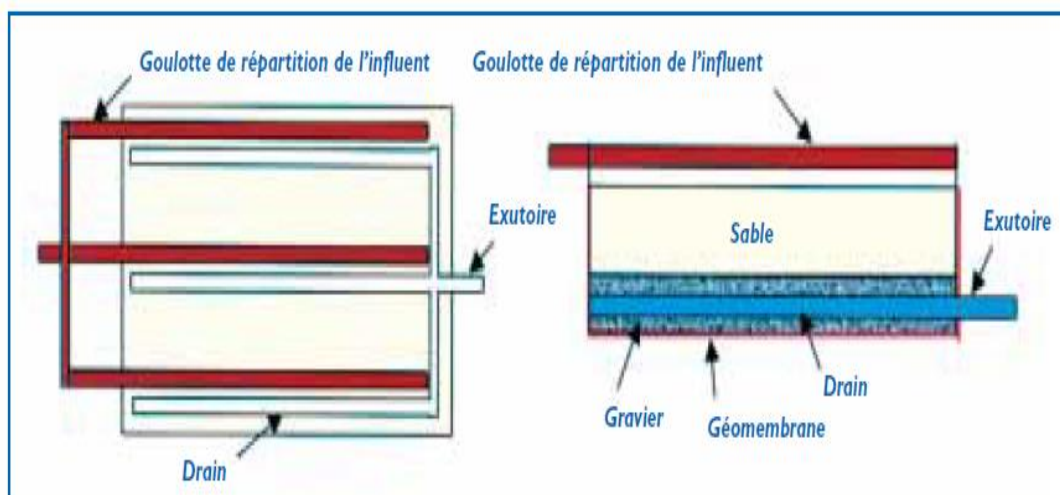


Figure 09 : Infiltration-percolation étanchée et drainée (BERLAND J. et al.,2001).

I.6.4. Le traitement tertiaire

Certains rejets d'eaux traitées sont soumis à des réglementations spécifiques concernant l'élimination d'azote, de phosphore ou des germes pathogènes, qui nécessitent la mise en œuvre de traitements tertiaires (BENELMOUAZ A.,2015).

Parmi les différents traitements tertiaires possibles pour atteindre à un objectif de qualité prédéfini :

- L'élimination de l'azote et du phosphore ;
- La désinfection.

I.6.4.1. Les mécanismes de l'élimination biologiques des matières azotées

L'élimination de l'azote est indispensable surtout pour les zones sensibles à l'eutrophisation. Le traitement biologique de l'azote met en jeu plusieurs processus. Ces derniers font appel à plusieurs espèces bactériennes qui n'ont pas les mêmes métabolismes.

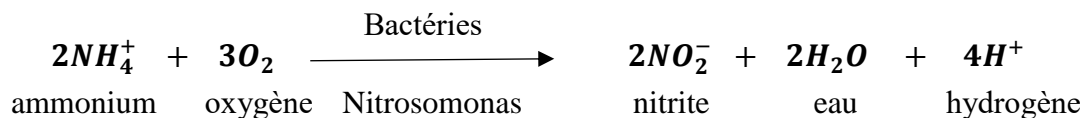
Les principaux processus sont les suivants :

a) La nitrification biologique (BETTACH A., 2013)

La nitrification est un processus contrôlé par l'action de certains micro-organismes spécifiques, qui conduit à la transformation de l'ammonium en nitrate, c'est à dire la conversion biologique de la forme réduite NH_4^+ en la forme oxydée NO_3^- . Cette transformation est effectuée par les bactéries autotrophes nitrifiantes, en présence d'oxygène, est se divise en deux étapes.

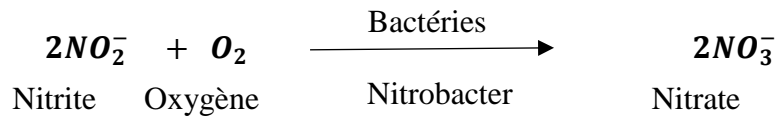
- **Nitritation** : c'est l'oxydation de l'ammonium en nitrites, elle est réalisée par des bactéries nitreuses, Nitrosomonas en particulier, mais également Nitrosococcus et Nitrospira.

La réaction de Nitritation est décrite par l'équation suivante :



- **Nitratation** : c'est l'oxydation de nitrite en nitrate, elle se fait par des bactéries nitriques du genre Nitrobacter.

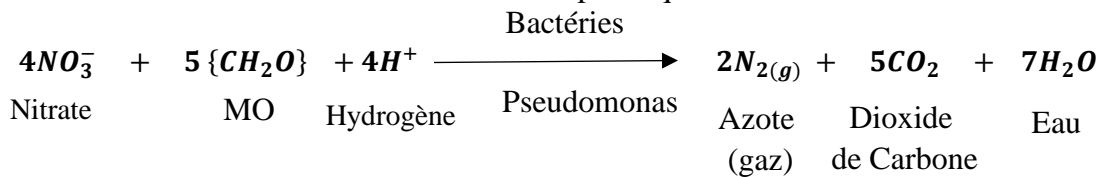
La réaction de Nitratisation est décrite par l'équation suivante :



b) La dénitrification biologique

Cette étape doit être faite en anaérobie, c'est-à-dire dans un milieu où l'oxygène manque. Les bactéries responsables de ce phénomène sont : Pseudomonas (ANICET T. et al., 2015).

La réaction de dénitrification est décrite par l'équation suivante :



I.6.4.2. L'élimination du Phosphore

Le phosphore contenu dans les eaux usées domestiques constitue un élément nutritif susceptible d'entraîner une croissance excessive des algues et causer l'eutrophisation du milieu récepteur.

Il existe différentes méthodes pour éliminer le phosphore des eaux usées. Les deux principales voies utilisées sont la voie physico-chimique et la voie biologique.

L'élimination du phosphore des eaux usées se fait essentiellement par précipitation chimique (sulfate d'alumine, chlorure ferrique, sulfate ferreux, chlorure ferreux, aluminat de sodium) ou par voie biologique (assimilation par les plantes)

I.6.4.3. La désinfection

La désinfection vise à réduire la concentration des germes pathogènes dans les effluents avant de les rejeter dans l'environnement.

Les moyens de désinfection des eaux usées les plus couramment utilisés, pour les eaux à utilisation spécifique, dans le monde sont la chloration, l'ozonation, les rayons ultraviolets ...etc.

I.7. Arbre de décision

Le diagramme présenté dans la figure suivante permet de choisir le mode du traitement. Ce diagramme pris en considération les paramètres suivants :

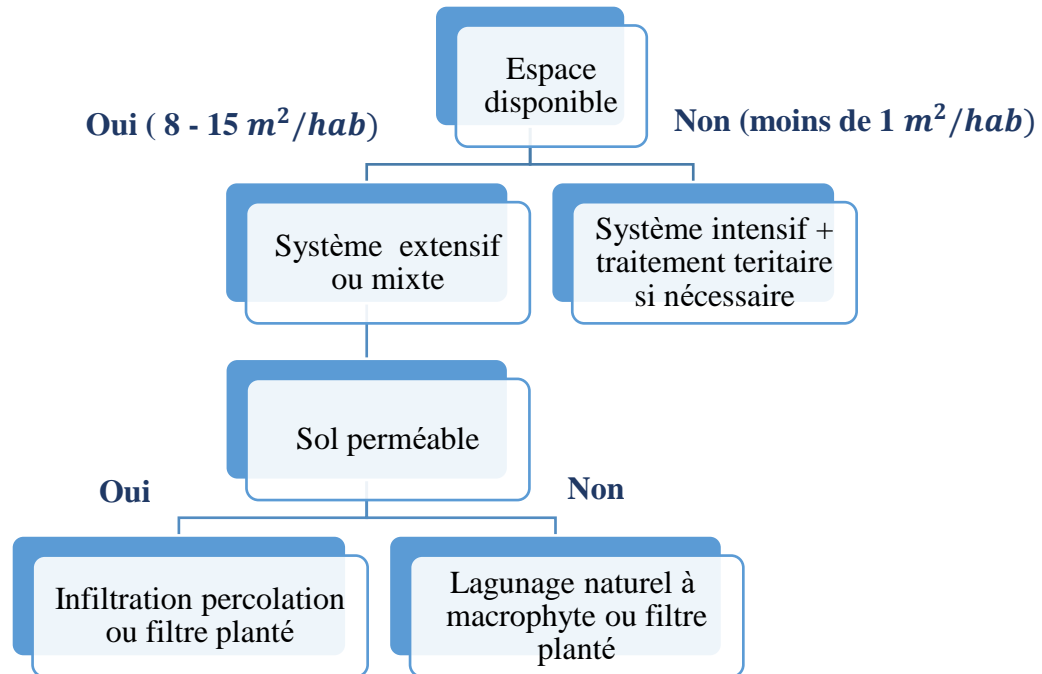


Figure 10 : Arbre de décision (BERLAND J. et al.,2001).

Conclusion

Le traitement des eaux usées est un processus très important pour la vie quotidienne des habitants des villes et du monde rural. L'épuration des eaux usées est effectuée non seulement pour protéger la santé de la population et éviter les maladies contagieuses, mais aussi pour protéger l'environnement. Aujourd'hui, ce dernier but devient de plus en plus important et les techniques de traitement et les stations d'épuration évoluent continuellement (MOULIN S. et al.,2013).

Afin de montrer l'intérêt de leur épuration, il est présenté dans ce chapitre d'une part, les origines et caractéristiques des eaux usées, et d'autre part, les différentes méthodes utilisées pour leur épuration. L'intérêt consiste à trouver la méthode la moins coûteuse et celle qui présente une basse nuisance auditive et olfactive, ce qui est le cas des méthodes quasi-naturelles telles que les « Filtres plantés de roseaux ».

Chapitre II :

Traitement des eaux usées par filtres plantés

Introduction

Le traitement des eaux usées par filtres plantés est une technique naturelle qui a l'avantage d'être écologique, ne nécessitant pas de lourds investissements, facile dans sa mise en œuvre, propre, non polluante qui repose sur des écosystèmes dans lesquels les végétaux ainsi que l'utilisation des énergies renouvelables prennent une place importante et qui peuvent être adaptées aux conditions climatiques de chaque région.

La première unité pilote utilisant le pouvoir épurateur des plantes en Algérie fut réalisée en 2007, aux bordures du Vieux Ksar de Témacine dans la wilaya de Ouargla (**HAMMADI B. et al., 2015**).

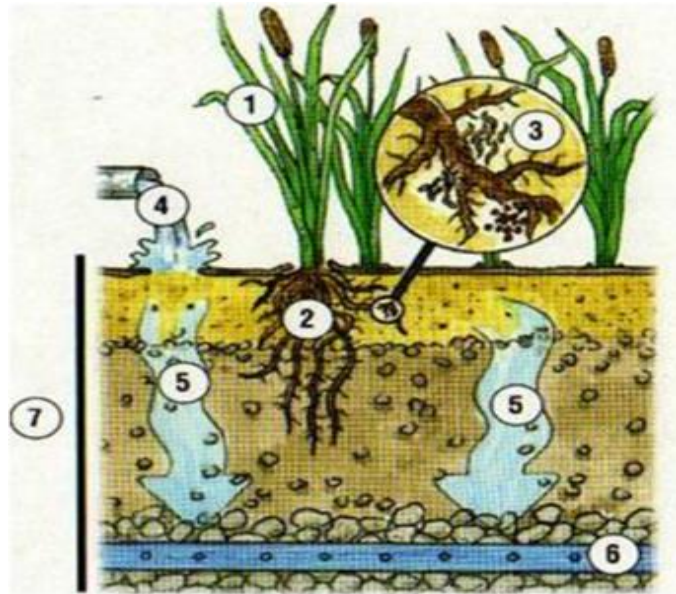
II.1. Définition des filtres plantés

Les filtres plantés consistent à faire circuler des eaux usées au travers des racines de végétaux qui, en association avec le sol et les microorganismes, sont capables d'absorber les éléments minéraux issus de la décomposition de la matière organique, mais aussi d'autres catégories de polluants (**BAILLY A. et GAUTRY J.,2012**).

II.2. Principe des filtres plantés

Les filtres plantés sont réalisés grâce à des bassins étanches et remplis d'un substrat minéral (sable, graviers et moellons) et plantés de diverses espèces aquatiques, appelées macrophytes, (roseaux, joncs, iris, phragmites, massette, salicaire). Ces macrophytes ont un rôle de structuration et d'aération du massif, tout en servant de support aux bactéries qui font l'essentiel du travail.

Le substrat de granulométrie croissante en évoluant vers la profondeur, permet la filtration mécanique des eaux usées. Les végétaux fixent les colonies de bactéries sur la base de leurs tiges et leurs rhizomes, ce qui améliore les performances des organismes épurateurs. Par ailleurs, ils absorbent par leurs racines une partie (environ 10 %) des sels minéraux – nitrates et phosphates – issus de la décomposition de la matière organique présente dans les eaux usées. La plupart des macrophytes sont capable d'assimiler les métaux lourds présents dans les eaux usées et qui sont nocifs pour l'environnement (**ALLOUCHE N.,2006**).



- 1) Roseaux (phragmites Communis)
- 2) Systèmes racinaires des Roseaux, riches en micro-organismes.
- 3) Rhizosphère
- 4) Eaux brutes, à épurer.
- 5) Filtration, épuration, à travers sables et graviers.
- 6) Drain de collecte des eaux épurées (cas d'un massif étanche).
- 7) Massif filtrant.

Figure 11 : Principe des filtres plantés de roseaux (MEDJDOUB T.,2014).

II.3. Généralités sur les macrophytes

II.3.1. Définition

Les macrophytes sont des végétaux aquatiques visibles à l'œil nu. Elles se divisent en deux groupes :

- **Les hélrophytes** : Végétaux dotées d'un rhizome ou de racines enfouies dans l'eau et d'un appareil végétatif aérien : « les pieds dans l'eau, la tête au soleil »
- **Les hydrophytes** : Végétaux dont la totalité de l'appareil végétatif est sous l'eau ou à sa surface (BENAMAR S.,2012).

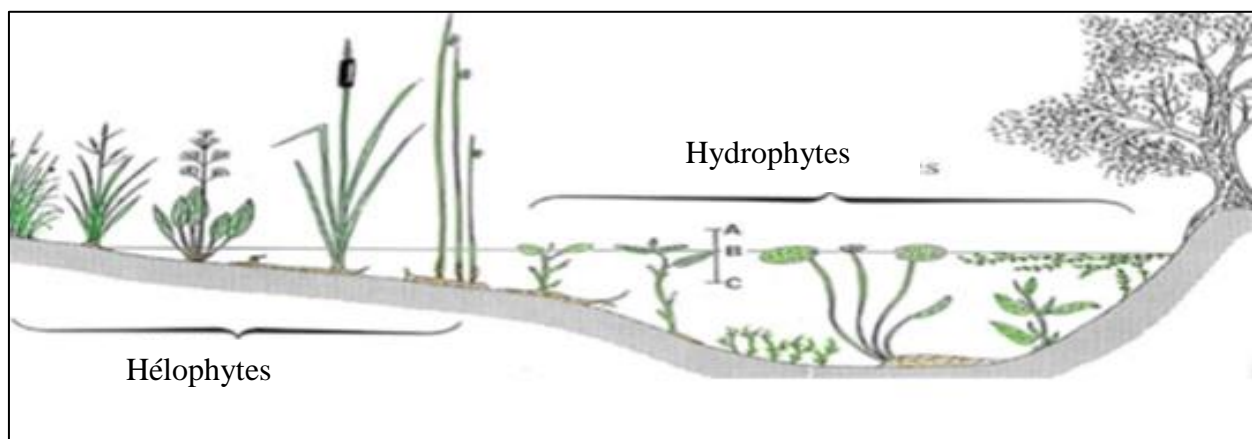


Figure 12 : Les hélrophytes et les hydrophytes (BENAMAR S.,2012).

II.3.2. Les plantes épuratrices

Les plantes souvent utilisées pour filtrer les eaux usées domestiques sont des plantes de type héliophyte, telles que les scirpes (*Scirpus*), massettes (*Typha*), roseaux communs (*Phragmites*) et les joncs (*Juncus*).



Scirpes



Massettes



Roseaux



Joncs

Photo 04 : Les différentes plantes aquatiques utilisées pour l'épuration des eaux usées.

II.4. Généralités sur les roseaux

II.4.1. Définition des roseaux

Le roseau commun (*phragmite Communis*) est une plante vivace à rhizomes qui peut être trouvée dans les milieux humides.

- **Hauteur :** généralement 150 à 250 cm.
- **Tige :** dressée et rigide (1 cm de diamètre).
- **Feuilles :** longues et planes.
- **Fleurs :** en forme de plume de 12 à 40 cm, d'abord pourpre puis brun foncé à maturité. La floraison s'étend d'août à septembre.
- **Racines :** rhizomes qui s'étendent sur plusieurs mètres (**GODMAIRE H. et COTE S.,2006**).



Photo 05 : Les roseaux.

II.4.2. Le rôle des roseaux

Les roseaux ont un système racinaire très développé. Ses racines, spécialisées dans l'absorption de l'eau et des sels minéraux contenus dans le sol, accumulent des réserves et permettent à la plante de se fixer au substrat.

Au cours des processus d'absorption, les racines libèrent des enzymes, utilisables par les micro-organismes. L'intense réseau racinaire favorise donc la fixation des bactéries épuratrices sur les rhizomes. Elles abritent donc une flore bactérienne importante, qui dégrade la matière organique.

Cette partie du sol où des organismes vivants sont associés, est appelée la rhizosphère. L'activité microbienne au niveau de cette rhizosphère dépend de différents facteurs, comme la teneur en eau et en oxygène. Les bactéries fixées au niveau de cette rhizosphère sont aérobies : elles ont besoin d'oxygène pour dégrader la matière organique (MEDJDOUB T.,2014).

Les oscillations des roseaux, sous l'action des vents, entraînent un mouvement des tiges et racines dans la masse des boues et au sein du massif. Ainsi, les boues ne risquent pas de colmater les lits filtrants (CHOUIKH T.,2014).

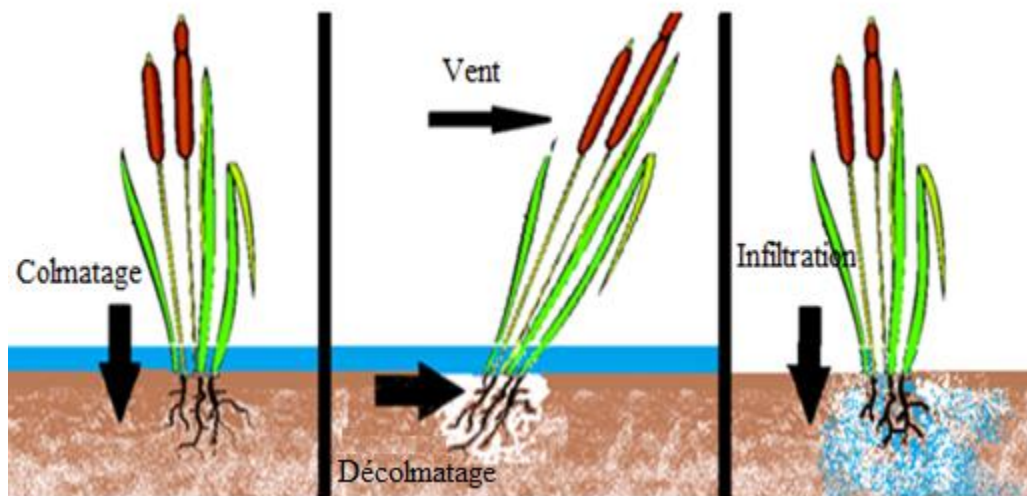


Figure 13 : Le rôle mécanique des roseaux.

II.5. Le rôle des microorganismes

Le principal rôle des micro-organismes est, comme dans tout procédé de traitement biologique, la dégradation de la matière organique. Ce sont eux qui assurent les différents processus d'oxydation et de réduction. Ils génèrent grâce à la dégradation de la matière organique l'énergie nécessaire à la biosynthèse. Ils minéralisent les composés azotés et phosphorés, et les rendent ainsi assimilables par les plantes. Ils assurent également les réactions de nitrification/dénitrification **(BENSABER I. et OUALI G.,2014).**

Ils ont besoin d'un support de fixation pour se développer et ne pas être entraînés par les eaux usées ; celui-ci est assuré par les plantes (surtout leurs organes souterrains) et les matériaux de remplissage.

II.6. Le rôle des matériaux de remplissage des couches

Les filtres sont constitués des couches superposées de granulométrie croissante avec la profondeur. **(MEDJDOUB T.,2014).**

Tableau 01 : Le rôle des différentes couches.

	Le rôle
La couche filtrante (Sable)	<ul style="list-style-type: none"> • Support à la vie épuratoire (aération du substrat). • Retenir les matières en suspension (MES) formant des boues.
La couche de transition (Membrane)	<ul style="list-style-type: none"> • Eviter la migration du sable vers la couche inférieure.
La couche drainante (Gravillon, gravier, moellons)	<ul style="list-style-type: none"> • Drainage et évacuation de l'eau traitée

II.7. Les types des filtres plantés

Deux types de filtres plantés sont distingués :

- Les filtres à écoulement vertical.
- Les filtres à écoulement horizontal.

Ils diffèrent par leur mode d'alimentation, par le sens de l'écoulement de l'eau et par les conditions aérobies de traitement.

Les stations de filtres plantés sont souvent des combinaisons de lits à écoulement vertical et/ou horizontal, en parallèle et/ou en série (systèmes hybrides) qui permettent d'assurer le traitement des eaux usées (MEDJDOUB T.,2014).

II.7.1. Les filtres plantés à écoulement vertical

II.7.1.1. Principe de fonctionnement

Les eaux usées brutes sont déversées en surface du filtre et percolent gravitairement au travers le substrat. Une grande partie des matières solides en suspension est retenue en surface du filtre par la filtration mécanique.

Les matières organiques sont dégradées et minéralisées par les microorganismes. Une partie de substances solubles et nutriments sont assimilées par les plantes pour constituer de la biomasse. La présence de plantes renforce la filtration mécanique du substrat via un système racinaire dense, et stimule les activités de biodégradation.

Les eaux issues du filtre vertical ont des teneurs en matières solides (MES) et organiques (DCO, DBO₅) significativement réduites (RECYCL'EAU, 2014).

L'aération est assurée par deux processus, tant il est difficile de pouvoir la quantifier avec précision :

- La diffusion de l'air qui provient à la fois de la surface des filtres dès lors qu'ils ne sont pas recouverts par une lame d'eau et par le dispositif d'aération de la couche drainante ;
- Les apports excrétés par les racines des plantes.

Les filtres verticaux sont donc de type aérobie. L'oxygénation plus importante que dans les filtres horizontaux assure l'élimination des matières organiques dissoutes donc une bonne nitrification, les processus anaérobies y sont pratiquement absents et il n'y a donc pas de mauvaises odeurs générées. Ce type des filtres est utilisé pour traiter des eaux plus concentrées que les filtres horizontaux car les matières en suspension s'accumulent en surface et ne colmatent donc pas l'intérieur du filtre (**Grison C., 1999**).

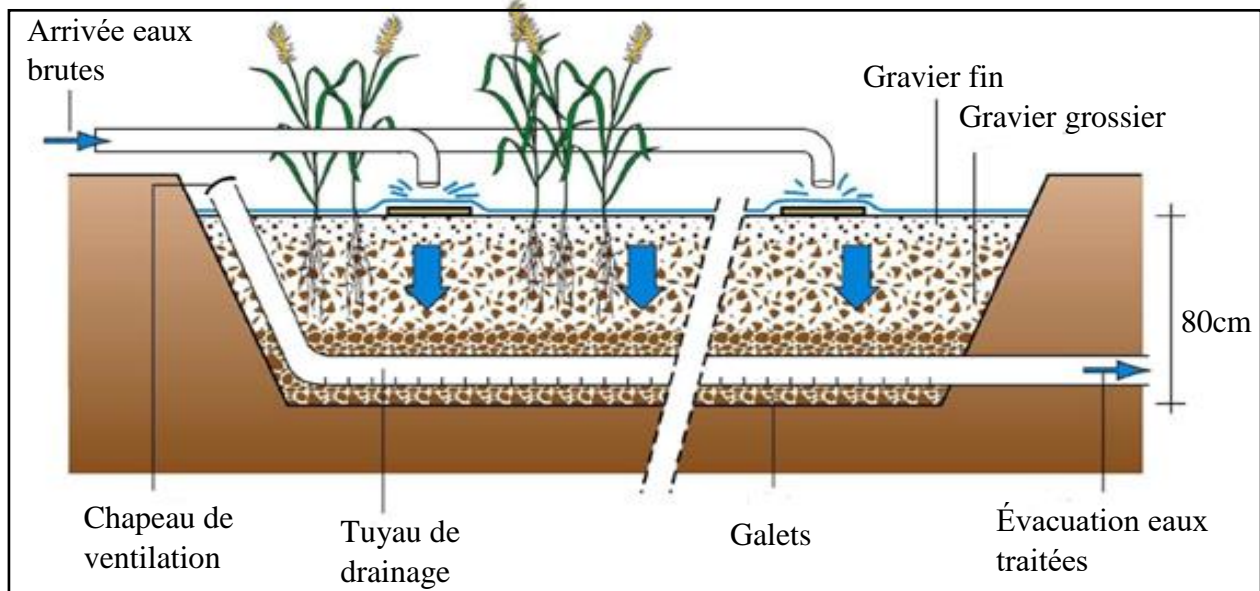


Figure 14 : Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical (**IWEMA A. et al., 2005**).

II.7.1.2. Ventilation

Des cheminées d'aération sont posées verticalement dans le substrat en reliant le tuyau de collecte au fond du lit à la surface. Ils permettent d'aérer le fond du substrat (**RECYCL'EAU, 2014**).

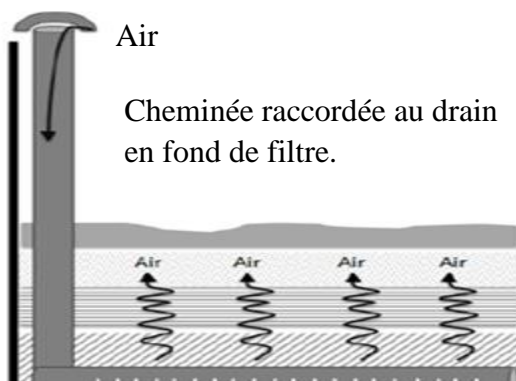


Figure 15 : Schéma représentant le principe de fonctionnement des cheminées d'aérations.



Photo 06 : Photo d'une cheminée d'aération sur un filtre vertical dans une STEP.

II.7.2. Le principe de fonctionnement des filtres plantés à écoulement horizontal

Les filtres horizontaux ne sont pas alimentés par la surface, comme les filtres verticaux. Les eaux usées entrent, via un gabion d'alimentation, directement dans le massif filtrant. Il est donc nécessaire de débarrasser l'effluent, au préalable, des matières en suspension, soit par l'intermédiaire d'un décanteur placé en amont, soit par un premier étage de filtration verticale.

Les matières dissoutes sont dégradées dans le massif de filtration par la biomasse bactérienne fixée sur le support (POULET J.B. et al., 2004). Le niveau d'eau est réglé initialement par un système de siphon en sortie, par conséquent, la couche inférieure du substrat est en permanence saturée en eau. Des zones anaérobies (parties profondes du filtre) et aérobies (couches superficielles non inondées, rhizosphères) y sont simultanément en action. Les zones anaérobies sont largement majoritaires qui sont favorables à la dénitrification. Par conséquent, la réduction de la charge azotée est très importante.

Le temps de séjour des eaux est plus important que celui de filtre vertical, ce qui permet une interaction prolongée entre les polluants, les microorganismes et les racines des plantes. La dégradation microbienne et l'assimilation végétale sont ainsi plus complètes dans ce type des filtres (RECYCL'EAU, 2014).

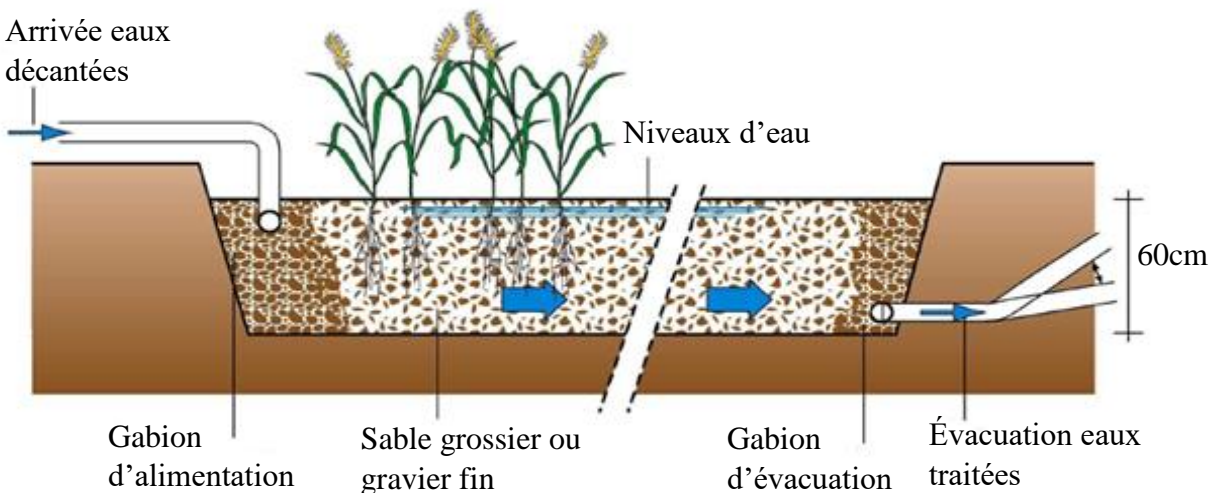


Figure 16 : Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal (IWEMA A. et al.,2005).

Tableau 02 : Avantages et inconvénients des filtres plantés.

	Avantages	Inconvénients
Les filtres plantés	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Facilité et faible coût d'exploitation ; ➤ Faible consommation énergétique ; ➤ Possibilité de traiter des eaux usées domestiques brutes. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Grande surface nécessaire ; ➤ Efficacité dépendante du climat ; ➤ Un prétraitement reste nécessaire (dégrillage, déshuilage) ; ➤ Les coûts d'investissement peuvent parfois être importants selon le terrain.
Filtres plantés à écoulement vertical	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Permet de traiter des eaux plus concentrées que les filtres horizontaux ; ➤ Oxygénation importante, donc une bonne nitrification ; ➤ Ne nécessite pas une décantation préalable ; ➤ La rétention de MES en surface permet de ne pas colmater l'intérieur du filtre ; ➤ Absence d'odeur. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Faible dénitrification.
Filtres plantés à écoulement horizontal	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Le temps de séjour des eaux est plus important ; ➤ La dégradation microbienne et l'assimilation végétale sont ainsi plus complètes ; ➤ Favorables à la dénitrification. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mauvaises odeurs ; ➤ Risques de colmatage ; ➤ Nécessite une décantation préalable.

II.8. Le domaine d'application des filtres plantés

Les filtres plantés ont été spécialement conçues pour le traitement des eaux usées de nature domestique. Tous les effluents autres que domestiques, notamment ceux issues des activités professionnelles, ne sont pas admissibles.

Les filtres plantes de roseaux sont mis en œuvre dans une gamme de capacité ne dépassant pas quelques milliers d'habitants environs (généralement inférieur à 2000 EH). (**BERLAND J. et al.,2001**).

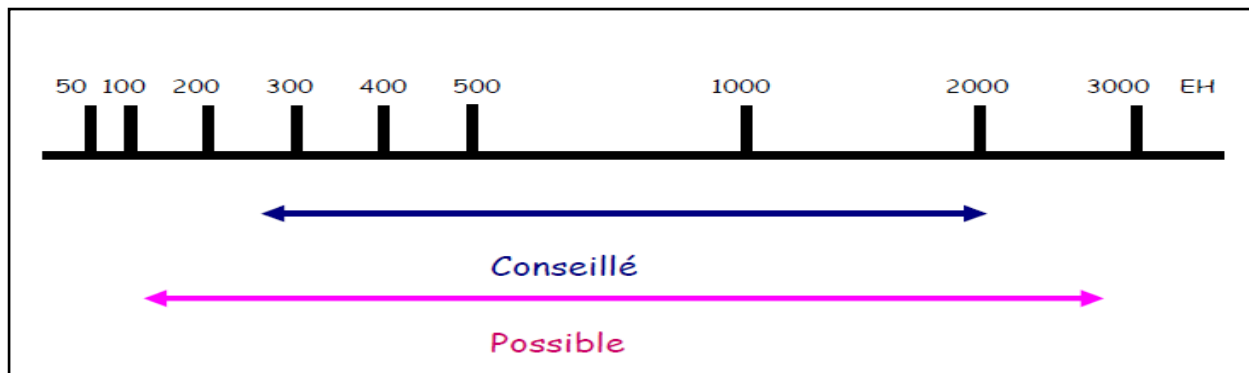


Figure 17 : Domaine d'application des filtres plantés.

II.9. Hypothèses de dimensionnement de base

Les stations de traitement des eaux usées par filtres plantés de roseaux sont le plus souvent constituées au minimum de deux étages en série :

- Le premier étage est constitué d'au moins 3 filtres en parallèle ;
- Le deuxième étage est constitué de 2 filtres eux aussi en parallèle (**MOLLE P.,2012**).

Tableau 03 : Hypothèses de dimensionnement de base.

Les étages	Nombre de filtres	dimensionnement
1 ^{er} étage	3	1.2 m ² /EH
2 ^{ème} étage	2	0.8 m ² /EH

II.10. L'influence du climat sur les filtres plantés

Les études sur l'impact des conditions climatiques sur le dimensionnement et le fonctionnement des filtres sont limités. Toutefois, les points suivants peuvent être cités :

Les performances épuratoires sont différentes au cours d'une année : les meilleurs abattements sont enregistrés en période chaude où la production de biomasse est favorisée par la température et l'ensoleillement, et où les besoins de la plante en azote et en phosphore s'accroissent en période de croissance (printemps et été). En effet, les conditions climatiques semblent avoir un impact sur l'élimination des germes pathogènes, et notamment les coliformes fécaux. Une disparité d'élimination de ces micro-organismes est observée entre l'hiver et l'été : les fortes températures sont défavorables au développement des germes pathogènes (SNIDE,2004).

Les filtres horizontaux sont compatibles avec les climats rigoureux. Les filtres verticaux, du fait de l'arrivée de l'eau à la surface, sont plus sensibles au froid (MEDJDOUB T.,2014).

II.11. Les mécanismes épuratoires

Les mécanismes d'élimination sont régis par les processus physiques, chimiques, physicochimiques ou encore biologiques qui sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 04 : Principaux mécanismes d'élimination des différents types de polluants (MEDJDOUB T.,2014).

Polluants	Mécanismes d'élimination
Matières en suspension	Filtration
Matières organiques	Dégradation microbienne aérobie
Composés azotés	Ammonification suivie d'une nitrification et d'une dénitrification microbienne
	Volatilisation de l'ammoniac
	Assimilation végétal
Phosphore	Assimilation végétale
Micro-organismes	Filtration
	Mort naturelle
	Prédation
	Sécrétion d'antibiotique par les racines des macrophytes

II.12. L'entretien de la filière des filtres plantés de roseaux

Le tableau ci-dessous résume toutes les tâches d'entretien que doit effectuer l'agent d'exploitation ainsi que leur fréquence (BOUTIN C. et al.,2015).

Tableau 05 : Fréquence des tâches d'entretien des filtres plantés de roseaux (BOUTIN C. et al.,2015).

	Fréquence	Entretien à réaliser
Poste de relevage	A chaque visite	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier que le poste n'est pas en charge ; • Nettoyer le panier dégrilleur.
	Tous les mois	<ul style="list-style-type: none"> • Manœuvrer les vannes pour éviter leur grippage.
	Dès que nécessaire	<ul style="list-style-type: none"> • Retirer les graisses.
	1 à 2 fois/an	<ul style="list-style-type: none"> • Vidanger les regards de collecte.
Système de bâchées	1 fois par mois	<ul style="list-style-type: none"> • nettoyer les ouvrages de bâchées.
Dispositif d'alternance	2 fois par semaine	<ul style="list-style-type: none"> • Alternner l'alimentation des lits.
Massifs filtrant	1 fois/semaine	<ul style="list-style-type: none"> • Désherber manuellement les lits.
	2 fois par semaine	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier le bon fonctionnement des filtres (roseaux bien développés, répartition homogène des boues) ; • Contrôler visuellement la bonne répartition de l'eau lors de l'alimentation.
	1 à 2 fois par an	<ul style="list-style-type: none"> • Prévoir un curage des boues (20 cm maximum tous les 10 à 15 ans) ; • Nettoyer les drains d'aération (avec de l'eau sous pression, renvoyée ensuite en tête de station) ; • faucarder les roseaux.
les abords de la station	1 fois par mois	<ul style="list-style-type: none"> • Désherber les abords de la station et élaguer les arbres.

Conclusion

La technologie des filtres plantés de macrophytes pour le traitement des eaux usées domestiques est une technique au cours de développement. Il s'agit d'une technologie fiable, simple d'exploitation, facilitant grandement la gestion des boues d'épuration et qui, de surcroît, est bien acceptée par les habitants en raison de sa bonne aptitude à l'intégration paysagère. Ainsi, elle s'avère fortement recommandée pour les petites collectivités et les pays à faibles ressources financières.

Partie II :
Partie expérimentale

Chapitre III :

Contexte du stage

III.1. Période et lieu de stage

Le stage a été réalisé entre le mois de janvier et mars (à raison de 4 – 5 fois par semaine) dans la STEP-M'raguen, l'Office National d'Assainissement (ONA), l'Agence Nationale des Ressource Hydrauliques (ANRH) et l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien (URER.MS)



Photo 07 : Les lieux où le stage a été effectué.

III.2. Présentation de la région d'étude

La wilaya d'Adrar (préfecture) est située dans le sud-ouest du pays, à 1450 km d'Alger. Majoritairement occupée par le Sahara, elle est peu peuplée, au regard de sa superficie. Elle est délimitée au nord par les wilayas d'El Bayedh et de Ghardaïa, à l'ouest par les wilayas de Béchar et de Tindouf, à l'est par la wilaya de Tamanrasset et au sud par la Mauritanie et le Mali.



Figure 18 : Situation géographique d'Adrar.

La wilaya d'Adrar (préfecture)

- ❖ Superficie : 427.968 Km².
- ❖ Population : 410.000 habitants.
- ❖ Densité : 0,89 habitant /km².
- ❖ Organisations administratives :
 - ❖ 294 ksars (villages).
 - ❖ Secteurs porteurs : Agriculture, Tourisme, Energies et Mines.



Photo 08 : Le ksar de M'raguen.

Le ksar de M'raguen (hameau)

- ❖ Situation : 12 km au Nord du chef-lieu de la Wilaya
- ❖ Population : 824 habitants
- ❖ Nombre de familles : 198
- ❖ Taux de croissance : 1,8 %

III.3. Situation géographique de la station (STEP-M'raguen)

La station d'épuration du Ksar de M'raguen a été réalisée par la société française « gaz de France », mise en service le 10 novembre 2015, gérée et exploitée actuellement par l'Office National de l'Assainissement (ONA). Elle se situe au nord du chef-lieu de la Wilaya d'adrar, au ouest de la route nationale N°6.

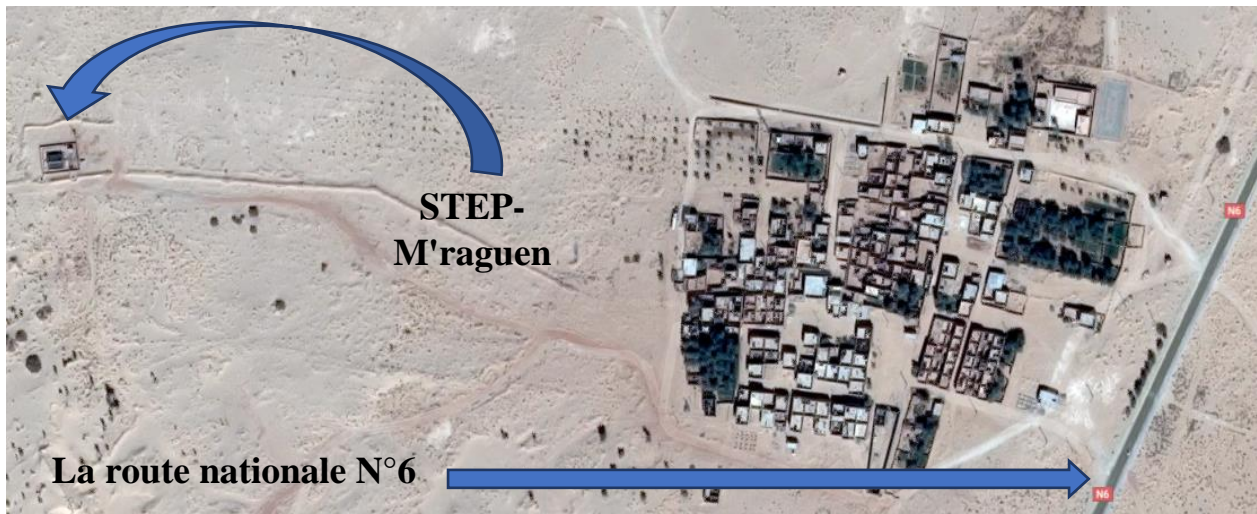


Photo 09 : Vue aérienne de la situation de la STEP.

III.4. Description de la station (STEP-M'raguen)

La station d'épuration du Ksar de M'raguen est conçue pour une population de 850 EH, d'une capacité de 20 à 60 m³/j. Elle fonctionne sur le principe « filtres plantés de roseaux à écoulement vertical » pour le traitement des eaux usées domestiques.



Photo 10 : La station d'épuration du Ksar de M'raguen

Tableau 06 : Données générales de la STEP M'raguen.

Nom de la station	Station d'épuration à filtres plantés de roseaux ksar M'RAGUEN	
Commune	ADRAR	
Wilaya	ADRAR	
Localités concernées par le traitement	Ksar M'Raguen	
Superficie de l'assiette	- Surface utile 600m ² - Assiette réservée=1000m ²	
Milieu récepteur	Milieu naturel	
Procédé d'épuration	Filtres à écoulement vertical plantés de roseaux	
Capacité de la station	850 EH	20/60 m ³ /j.
Nature des eaux brutes	Domestiques	
Type du dispositif d'assainissement du ksar	Collectif	
Alimentation en eau usée	Réseau d'assainissement du ksar	
Groupement de réalisation - Génie civil - Equipements	Entreprise Saïd Amer Samir	
Date de mise en service de la station	10/11/2015	
Date de transfert de la station à l'ONA	11/01/2016	

III.5. La filière de traitement

La filière de traitement est composée des étapes suivantes :

- 1- Dégrillage ;
- 2- Déshuilage ;
- 3- Un dispositif d'alimentation et de distribution par bâchée ;
- 4- Deux filtres verticaux plantés de roseaux alimentés en alternance.

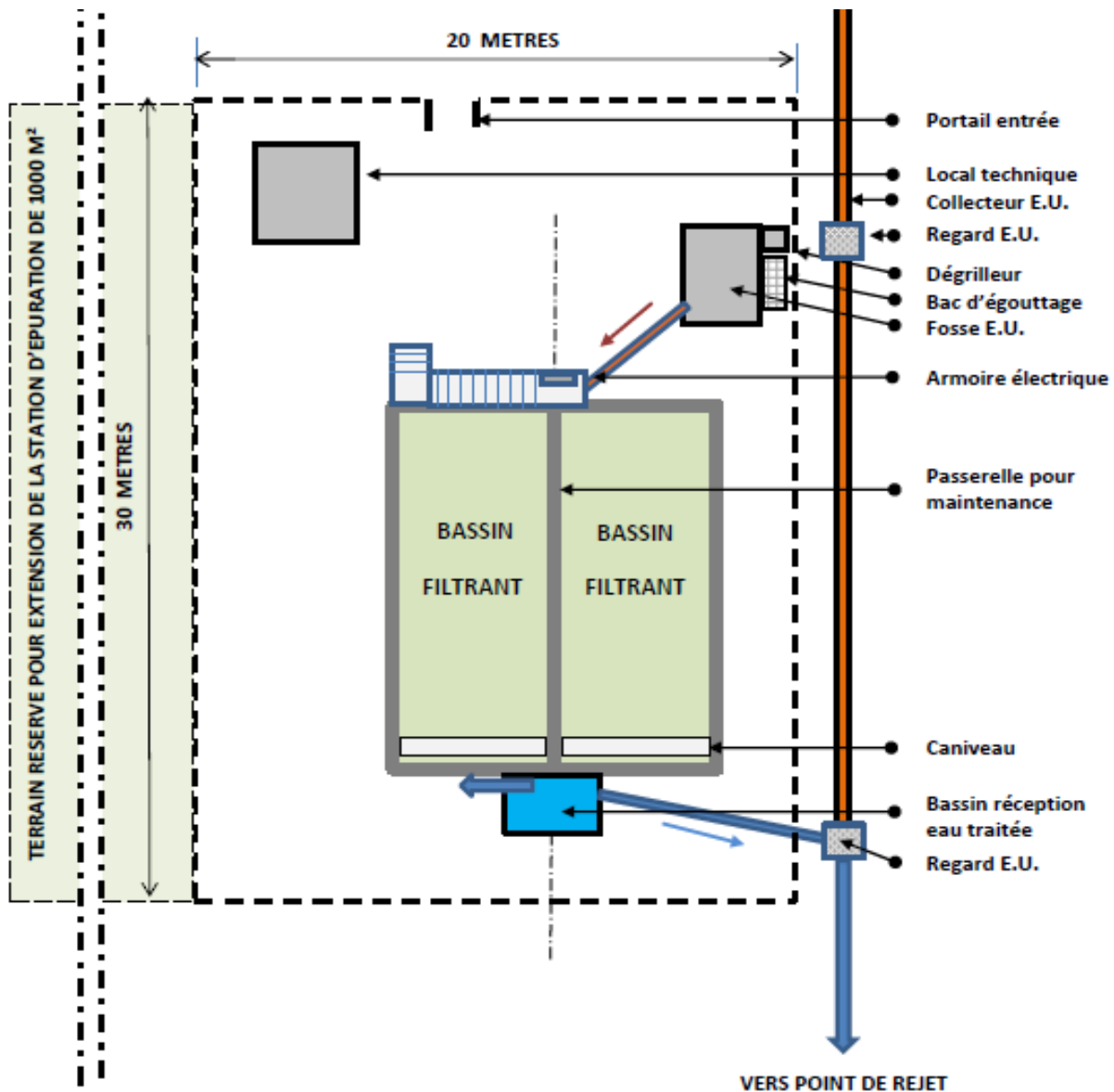


Figure 19 : Implantation de la station.

III.6. Fonctionnement de la station d'épuration

III.6.1. L'arrivée des eaux usées

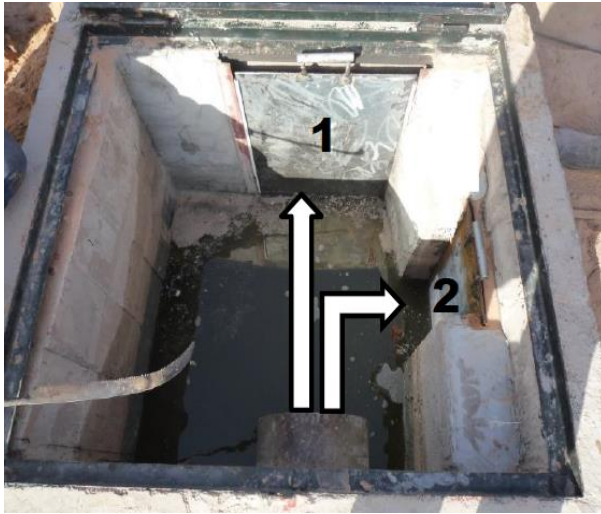


Photo 11 : L'arrivée des eaux usées.

- 1- Vanne batardeau pour eaux usées vers rejet dans le désert ;
- 2- Vanne batardeau pour eaux usées vers dégrillage.

III.6.2. Dégrillage

Le dégrillage constitue la première étape du traitement. Il est assuré par le passage des eaux brutes à travers d'une simple grille. Il a pour objet de retenir les éléments les plus grossiers susceptibles d'être véhiculés par le réseau, afin de protéger les divers équipements tels que le système d'alimentation par bâchées, les rampes d'alimentation et les pompes de relevage. Le dégrilleur utilisé dans cette station est de type : dégrilleurs à nettoyage manuel.



Photo 12 : Dégrilleur.

(Vanne batardeau 2 ouverte)

- 1- Arrivée des eaux usées ;
- 2- Panier de dégrillage ;
- 3- Envoi des eaux dégrillées vers fosse de réception des eaux usées avec grille de retenue de corps étrangers éventuels.

III.6.3. Égouttage

Après la saturation de dégrilleur par les déchets, il doit être enlevé et mis dans un bassin d'égouttage.



Photo 13 : Égouttoir.



Photo 14 : Bassin d'égouttage.

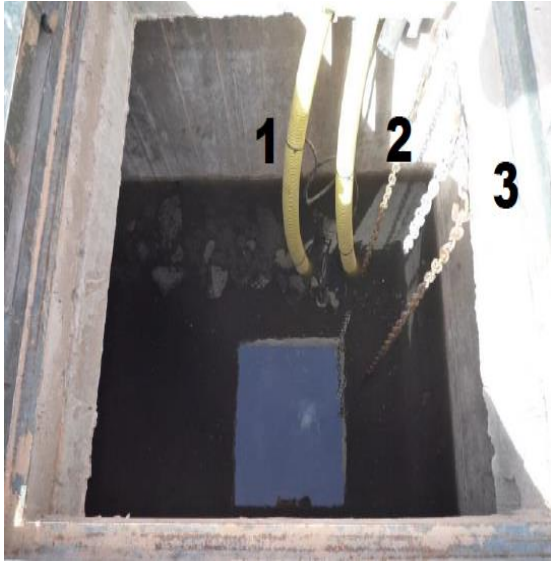
III.6.4. Déshuilage



Photo 15 : Déshuileur.

- Accumulation en surface, des graisses présentes dans les eaux usées.
- Ces graisses doivent être retirées manuellement régulièrement.

III.6.5. Fosse de réception des eaux usées prétraitées



Pompage des eaux usées vers le réseau d'aspersion.

- 1- Pompe 1 du réseau d'aspersion des bassins filtrants ;
- 2- Pompe 2 du réseau d'aspersion ;
- 3- Chaînes de sortie des pompes pour maintenance.

Photo 16 : Fosse de réception des eaux usées prétraitées.

III.6.6. Station de relevage



Bassin d'égouttage

Bassin de dégrillage

Siphon de décantation des graisses

Fosse de réception des eaux usées prétraitées avec pompes d'aspersion des bassins de filtration

Photo 17 : Station de relevage.

III.6.7. Les filtres plantés de roseaux

La station d'épuration comporte deux filtres fonctionnant en alternance, dans lesquelles ont été plantés les roseaux. Chaque filtre est constitué d'une couche filtrante (sable), couche de transition (membrane) et une couche drainante (gravillon, gravier et moellons).



Photo 18 : Les deux filtres plantés de roseaux de la station.

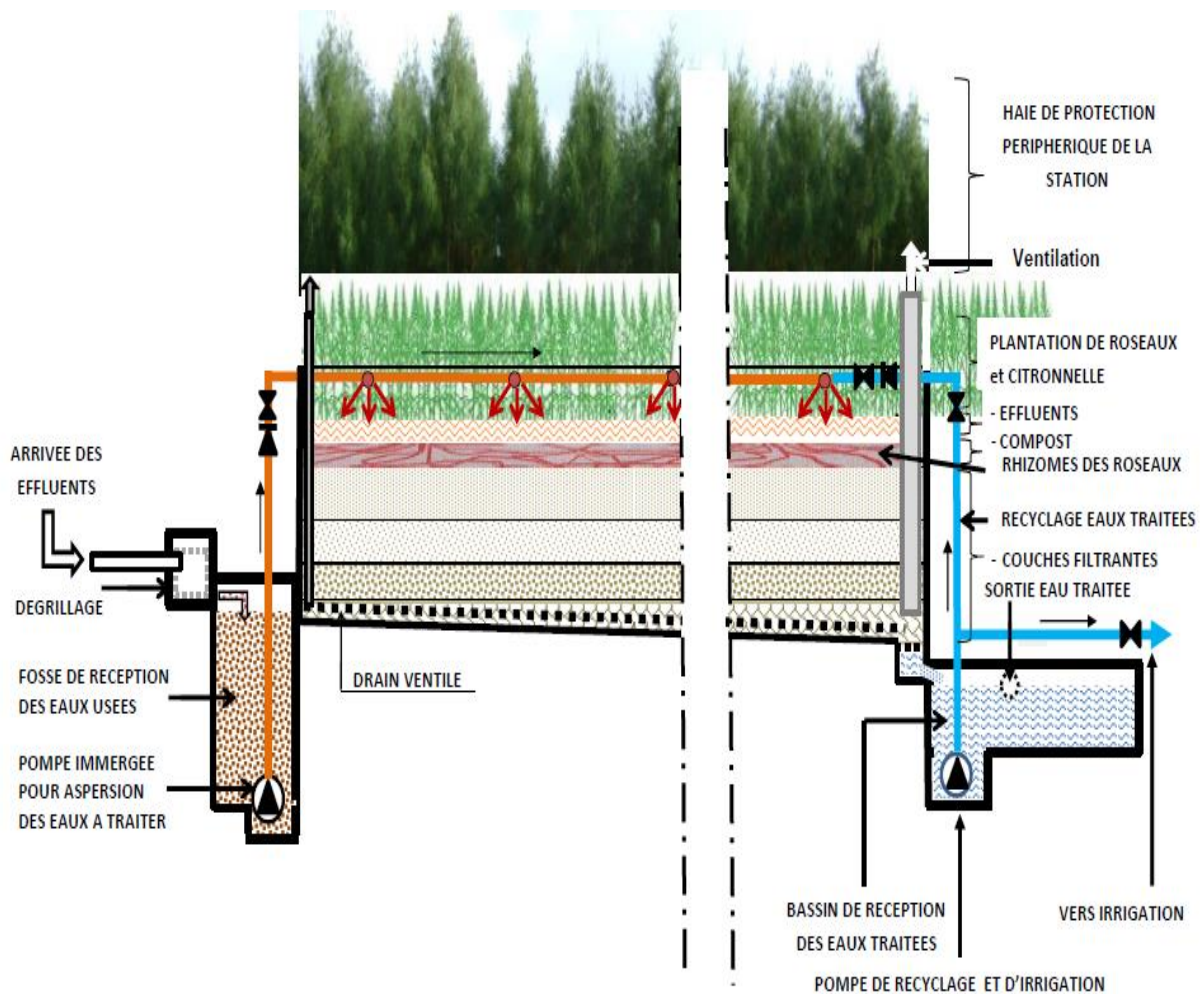


Figure 20 : Coupe longitudinale des filtres à écoulement vertical installé à M'Raguen.

Le fond des filtres est légèrement en pente pour faciliter l'évacuation des eaux traitées.

Tableau 07 : Les matériaux de remplissage des couches et leurs épaisseurs.

Les épaisseurs des couches	
1- Boues (épaisseur variable)	4- 20 cm gravillon roulé 3,5
2- 15 cm sable 0.4	5- 25 cm gravier roulé 10/15
3- 20 cm sable 1.2	6- 30 cm moellons

III.6.8. L'alimentation des filtres

Le système de bâchée a un rôle purement hydraulique. Son but étant de fournir suffisamment d'eau afin de recouvrir toute la surface du filtre par une lame d'eau. Cette dernière est uniformément réparties dans le filtre grâce au system d'aspersion. Le débit d'alimentation doit être suffisant pour permettre l'auto curage des conduites.

L'alternance doit être obligatoirement réalisé deux fois par semaine afin de laisser le temps aux micro-organismes de dégrader la pollution.



Photo 19 : L'alimentation du filtre par bâchée.

III.6.9. Ventilation

Des cheminées d'aération sont posées verticalement dans le substrat en reliant les drains d'aération et d'évacuation des eaux traitées au fond du lit à la surface.

Ces drains sont réalisés en PVC pour les parties enterrées. Les parties en surface sont réalisées en un autre matériau (Inox ou aluminium) pour les protéger de l'ensoleillement (les UV entraînent un vieillissement précoce du PVC).

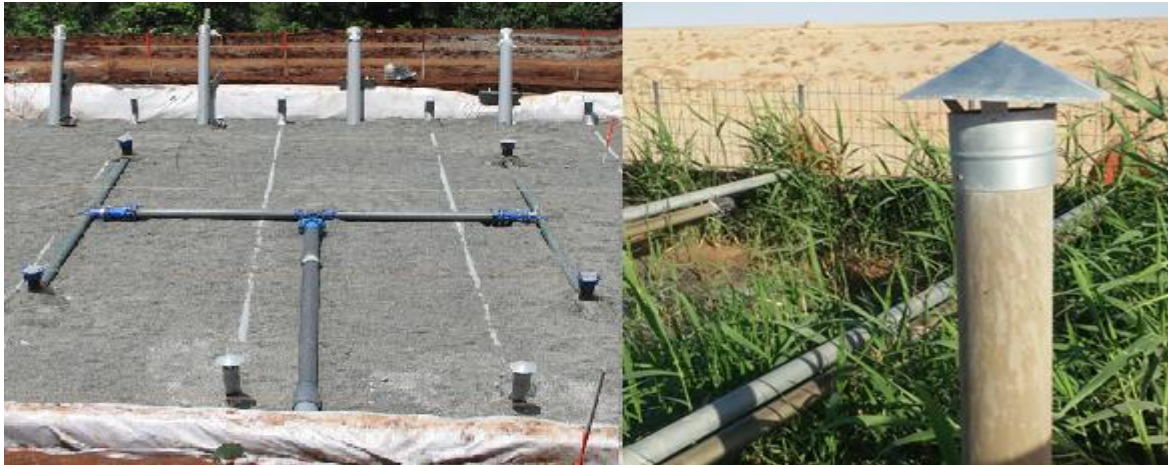


Photo 20 : Les cheminées de ventilation.

III.6.10. Bassin d'eau épurée

L'eau traitée se rassemble dans un deuxième bassin dans l'attente de sa réutilisation.



Bassin d'eau épurée

Photo 21 : Bassin d'eau épurée.

Une partie de l'eau traitée est réutilisée dans l'arrosage des arbres de la station et le reste est rejeté vers le milieu naturel, à 2 km de la station.



Photo 22 : L'arrosage des arbres de la station de M'raguen.



Photo 23 : Vue du milieu récepteur des eaux traitées venues de la STEP par satellite.

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Introduction

L'épuration des eaux usées a pour but d'obtenir une eau épurée qui satisfait aux normes de rejets édictés par la législation, et pouvant par suite être évacuée sans danger du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement.

Au cours de ce chapitre nous nous sommes intéressés d'évaluer le rendement d'élimination des polluants pour donner une bonne appréciation des performances épuratoires de la STEP, pour cela nous avons effectué des analyses de l'eau brute à l'entrée et de l'eau traitée à la sortie de la station.

Les paramètres suivis sont : T° , pH , CE , turbidité, MO , DBO_5 , DCO , MES , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ et PO_4^{3-} .

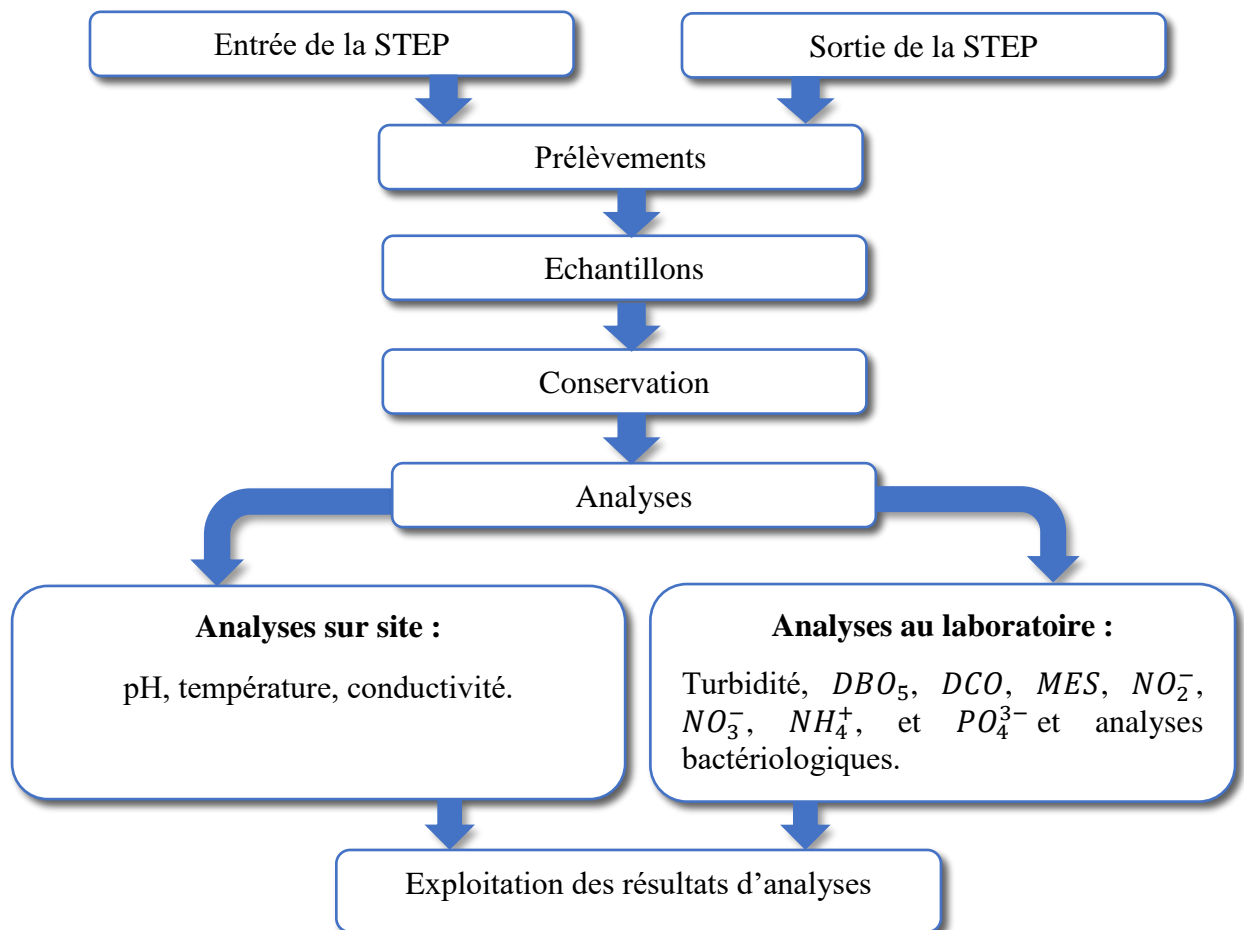


Figure 21 : Les étapes effectuées lors de l'appréciation des performances épuratoires de la STEP.

IV.1. Prélèvement et échantillonnage

L'échantillonnage est primordial car il influence directement sur la qualité des résultats analytiques obtenus. Des précautions doivent être prises pour minimiser la contamination de l'échantillon par le préleveur afin d'obtenir un échantillon représentatif et de permettre le maintien de l'intégrité des échantillons.

Les échantillons d'eau doivent être prélevés dans des récipients propres, rincés plusieurs fois avec l'eau à analyser et fermés hermétiquement sans laisser des bulles d'air dans le flacon. Ces derniers peuvent être en verre ou en polyéthylène.

Les prélèvements pour les analyses bactériologiques sont impérativement prélevés en flacons stériles.



Photo 24 : Le prélèvement.

IV.2. Conditionnement et transport des échantillons

Afin d'éviter que la teneur initiale en germes des eaux ne risque de subir des modifications dans le flacon, toutes les analyses sont effectuées le plus rapidement possible.

Les flacons ont été immédiatement étiquetés pour éviter tout risque de confusion sur l'identité des échantillons (origine, la nature de l'eau et la date de prélèvement) puis sont transportés au laboratoire dans une glacière propre où ils sont conservés à environ 4 °C jusqu'à l'analyse.



Photo 25 : Les flacons des prises des échantillons à l'entrée et à la sortie de la STEP.



Photo 26 : Glacière.

Tableau 08 : Les modes de conservation des paramètres physico-chimiques et bactériologiques.

Paramètres	Conditions de conservation
Température	Analyse sur site
pH	Analyse sur site
MES, NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} et la couleur.	Réfrigération à 4 °C
DCO	H_2SO_4 Q.S.P pH < 2 ou réfrigération à 4 °C
DBO	Réfrigération 4 °C
Bactériologie	Flacons stériles Réfrigération à 4 °C impérative

IV.3. Les paramètres physico-chimiques

IV.3.1. La température

La mesure de la température de l'eau doit être effectuée directement sur site à l'aide d'un thermomètre.

❖ Mode opératoire

Pour mesurer la température de l'eau : on prélève un échantillon d'eau dans une bouteille en verre ou en polyéthylène à large ouverture, puis on plonge un thermomètre dans l'échantillon. Nous lisons la valeur de la température après sa stabilisation.



Photo 27 : La mesure de la température.

IV.3.2. Le pH

La mesure du pH a été effectuée à l'aide d'un pH-mètre muni d'une électrode préalablement étalonnée avec des solutions tampon pH = 4 puis pH = 7. La méthode consiste à plonger l'électrode dans l'échantillon contenu dans un bêcher. Après la stabilisation de l'affichage sur le cadran du pH-mètre, la valeur du pH sera notée (RODIER J. et al.,2009).

❖ Mode opératoire

Tout d'abord on rince le bêcher et l'électrode avec l'eau distillée puis avec l'eau à analyser, ensuite on remplit le bêcher avec l'échantillon et on immerge l'électrode puis on agite. Nous lisons directement le pH lorsque sa valeur se stabilise.



Photo 28 : La mesure du pH.

IV.3.3. La conductivité

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm . Elle est l'inverse de la résistivité électrique (ρ) (RODIER J. et al.,2009).

$$\gamma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{R} \cdot \frac{L}{S} \quad \dots\dots\dots (01)$$

γ : conductivité (en $\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ou $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$).

ρ : résistivité (en $\Omega \cdot \text{m}$).

R : résistance (en Ω).

L : distance entre les deux électrodes (en m).

S : surface de chaque électrode (en m^2).

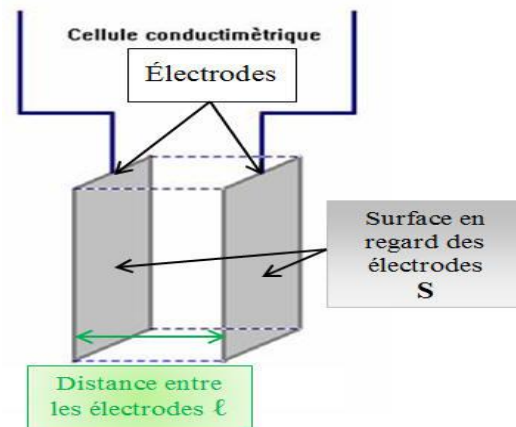


Figure 22 : Cellule conductimétrique.

❖ Mode opératoire

En premier, on rince plusieurs fois la cellule à conductivité, avec de l'eau distillée puis avec l'eau à analyser. Ensuite, on plonge l'électrode complètement dans un récipient contenant l'eau à analyser, on agite l'échantillon afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique à celle du liquide. Enfin, on note la valeur finale affichée dans le conductimètre.



Photo 29 : La mesure de la conductivité.

❖ Expression des résultats

Le résultat est donné directement en mS/cm.

IV.3.4. Les matières en suspension (MES)

Pour la détermination des matières en suspension (MES), la méthode de filtration a été utilisée sur un disque filtrant de $0.45 \mu\text{m}$. Cette méthode repose sur la séparation des matières en suspension de l'échantillon d'eau (RODIER J. et al.,2009).

❖ Mode opératoire

Tout d'abord, on sèche la membrane à $105 \text{ }^\circ\text{C}$ jusqu'à la stabilisation de sa masse, puis on pèse la membrane après refroidissement et on note sa masse à vide M_0 . On place la membrane dans un entonnoir. L'échantillon doit être bien agité. Ensuite, On prélève un volume de 100 ml de l'échantillon et on le transvide sur la membrane. Après la filtration, on récupère la membrane, puis on la place à l'étuve à $105 \text{ }^\circ\text{C}$ pendant 1 h 30 mn pour enlever l'excès d'eau. On pèse de nouveau la membrane, après séchage, puis on note sa masse M_1 .



Photo 30 : La filtration.

❖ Expression des résultats

Le taux des matières en suspension exprimé en milligramme par litre (mg/l) est donné par l'expression :

$$C_{MES} = \frac{(M_1 - M_0) \times 1000}{V} \dots\dots\dots (02)$$

C_{MES} : concentration de MES en mg/l ;

M_0 : masse de la membrane avant filtration en mg ;

M_1 : masse de la membrane après filtration en mg ;

V : volume d'échantillon filtré en ml.

IV.3.5. La turbidité


❖ Principe

La turbidité mesure une propriété optique de l'eau qui résulte de l'absorption de la lumière par les particules de matières en suspension présentes dans l'eau (RODIER J. et al.,2009).



Photo 31 : Turbidimètre.

❖ Mode opératoire

On met l'appareil sous tension et on rince 3 fois la cuvette par l'échantillon à mesurer. Après agitation de l'échantillon, on remplit la cuvette avec ce dernier. On place la prise d'essai et on appuie sur  et le résultat s'affiche en NTU.

IV.3.6. Les nitrates

❖ Principe

Les nitrates sont réduits en nitrites par une solution d'hydrazine en milieu alcalin et en présence de sulfate de cuivre comme catalyseur. Les nitrites obtenus sont alors dosés par colorimétrie : diazotation avec l'acide sulfanilique et capulation avec l' α - Naphtylamine. On mesure la densité du colorant ainsi formé à 520 nm (RODIER J. et al.,2009).

❖ Réactifs

- Solution mère de nitrate à 1000 mg/l :

Dissoudre 1,631 g de Nitrate de Potassium préalablement séché au dessiccateur et compléter à 1000 ml par de l'eau distillée.

- Solutions étalons :

Prendre successivement : 0,25, 0,5, 1, 2, 3, 4, 5 et 7,5 ml de la solution mère de nitrate et compléter chaque prélèvement à 50 ml avec l'eau distillée. On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement : 5, 10, 20, 40, 60, 80 ,100 et 150 mg/l de nitrates.



Photo 32 : Les solutions étalons des nitrates.

- Mélange réducteur à préparer au moment de l'emploi :
 - 5 ml de la solution de Sulfate de Cuivre ;
 - 5 ml de la solution d'hydrazine ;
 - Eau distillée Q.S.P 200 ml.
- Solution de soude à 0,05 M.
- Mélange colorant (conserver en flacon brun) :
 - 20 ml d'acide sulfanilique ;
 - 20 ml d'E.D.T. A ;
 - 20 ml d'acétate de sodium ;
 - 20 ml d' α -Naphthylamine ;
 - Eau distillée Q.S.P 1000 ml.



Photo 33 : Le mélange colorant et le mélange réducteur.

❖ Mode opératoire

On réalise le mélange en introduisant dans le flacon 1 ml de prise d'essai, 5 ml de solution de soude à 0,05 M et on agite. Puis on ajoute 5 ml de mélange réducteur en agitant. Après une heure, on ajoute 40 ml du mélange colorant. On laisse la coloration se développer dans l'obscurité pendant $\frac{1}{4}$ heure. Enfin, on mesure sa densité à 520 nm.

Remarque : Effectuer le dosage dans des flacons bruns de préférence et essayer de ne les pas exposer à la lumière avant leur passage au colorimètre



Photo 34 : Mesure de la densité optique de l'échantillon.

❖ Expression des résultats

L'appareil donne directement les teneurs en nitrates des échantillons en mg/l en traçant la courbe d'étalonnage.

IV.3.7. Les nitrites

❖ Principe

Par diazotation des nitrites avec l'acide sulfanilique à pH 2,5 et par copulation du composé formé avec l' α -Naphthylamine (réactif de Griess), on obtient un colorant azoïque rose-violet stable au moins 12 heures dont on mesure l'intensité à 520 nm (RODIER J. et al.,2009).

❖ Réactifs

- Solution d'acide sulfanilique ;
- Solution d' α -naphthylamine ;
- Solution tampon d'acétate de sodium ;
- Solution d'E.D.T. A à 5 g/l ;
- Solution mère étalon des nitrites à 100 mg/l :
 - 150 mg de nitrite de sodium.
 - On les conserve en y ajoutant 1 ml de chloroforme.
 - Eau distillée Q.S.P 1000ml

❖ Titrage de la solution mère étalon de nitrite

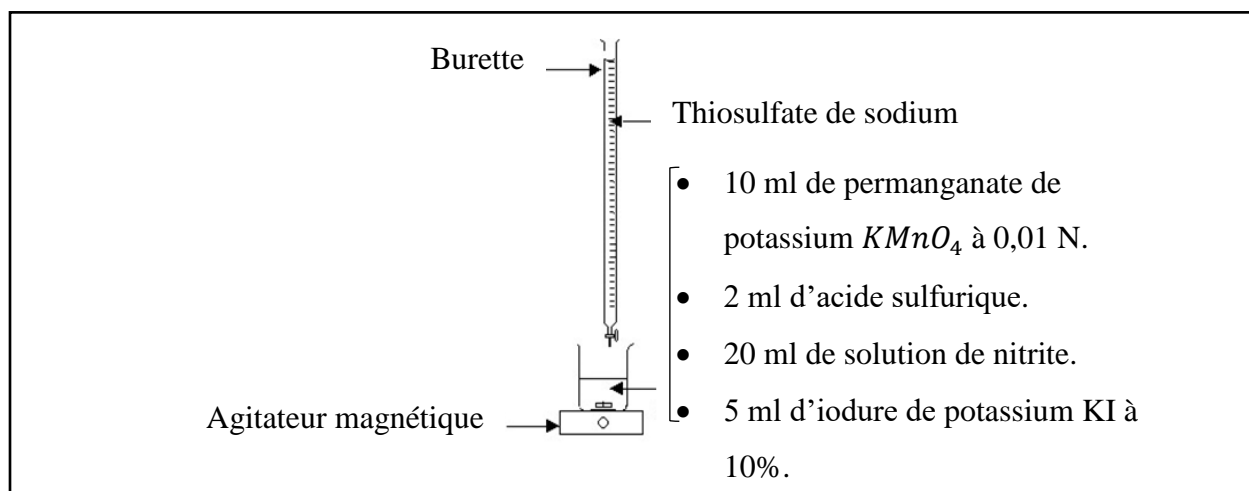


Figure 23 : Titrage de la solution mère de nitrite.

La concentration de la solution mère étalon de nitrite en mg/l :

$$[NO_2^-] \text{ en mg/l} = \frac{(\text{Titre du thiosulfate de sodium} \times (V_0 - V) \times 23000)}{P.E} \dots\dots (03)$$

V_0 : volume de thiosulfate de sodium nécessaire à l'essai à blanc (ml) ;

V : volume de thiosulfate de sodium nécessaire au dosage (ml) ;

T : titre de thiosulfate de sodium (mol/l) ; $P.E$: volume de la prise d'essai (ml).

A partir de la solution mère étalon de nitrite, on prépare une solution à 1 mg/l de NO_2^- .

➤ Solutions étalons :

Prendre successivement 1, 2, 4, 6, 8, 10 ml de la solution à 1 mg/l de NO_2^- et compléter par l'eau distillée à 50 ml. On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement 0,02, 0,04, 0,08, 0,12, 0,16 et 0,20 mg/l de NO_2^- .

❖ Mode opératoire

On réalise le mélange en introduisant dans un flacon : 50 ml de prise d'essai, 1 ml de solution d'E.D.T. A, 1 ml d'acide sulfanilique. On agite et on attend 10 mn puis on ajoute 1 ml d' α -Naphtylamine, 1 ml de la solution de tampon acétate puis on agite et on attend 30 mn. Enfin, on effectue la mesure colorimétrique à 520 nm.



Photo 35 : Mélange riche en nitrite.



Photo 36 : Mélange presque nul en nitrite.

❖ Expression des résultats

L'appareil donne directement les teneurs en nitrites des échantillons en mg/l en traçant la courbe d'étalonnage.

IV.3.8. L'ammonium

❖ Principe

L'ammonium, en milieu alcalin et en présence d'hypochlorite de sodium donne avec le phénol une coloration bleue d'indophénol (réaction de Berthelot). On utilise du nitroprussiate de sodium comme catalyseur (RODIER J. et al.,2009).

❖ Réactifs

- Solution mère d'ammonium à 1 g/l (NH_4^+) :

Peser 2,972 g de chlorure d'ammonium NH_4Cl préalablement séché et refroidi au dessiccateur. Dissoudre dans de l'eau distillée et compléter à 1000 ml.

- Solution d'ammonium à 10 mg/l (NH_4^+) :

Prendre 2 ml de la solution mère à 1g/l et compléter à 200 ml par de l'eau distillée.

- Solutions étalons :

Prendre successivement : 0,5, 1, 2,5, 5, 10, 15 et 20 ml de la solution à 10 mg/l et compléter à 100 ml par de l'eau distillée. On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement : 0,05, 0,1, 0,25, 0,5, 1, 1,5 et 2 mg/l de NH_4^+ .

- Solution d'hypochlorite de sodium à 2° chlorométrique ;

- Mélange des réactifs :

On mélange les 3 premiers réactifs dans les proportions suivantes :

- 200 ml de la solution tampon et complexante ;
- 25 ml de la solution de phénate de sodium ;
- 10 ml de la solution de nitroprussiate de sodium.

❖ Mode opératoire

La réaction colorimétrique s'effectue en opérant le mélange suivant : 20 ml de P.E (l'échantillon ou l'eau distillée), 2 ml du réactif mélangé, 0,5 ml d'Hypochlorite à 2° Cl.

On laisse les flacons à l'obscurité pendant une heure et demie « La coloration reste stable plusieurs heures » puis on effectue la mesure colorimétrique à 625 nm.



Photo 37 : Les réactifs.



Photo 38 : Conservation des flacons à l'obscurité.

❖ Expression des résultats

L'appareil donne directement les teneurs en ammonium des échantillons en mg/l en traçant la courbe d'étalonnage.

IV.3.9. L'orthophosphate (PO_4^{3-})

❖ Principe

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium $Mo_7(NH_4)4H_2O$, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique. Sa réduction avec l'acide ascorbique développe une coloration bleue pouvant être dosée colorimétriquement à une longueur d'onde de 710 nm (RODIER J. et al.,2009).

❖ Réactifs

- Solution d'acide ascorbique à 10 g/l ;
- Solution molybdate d'ammonium ;

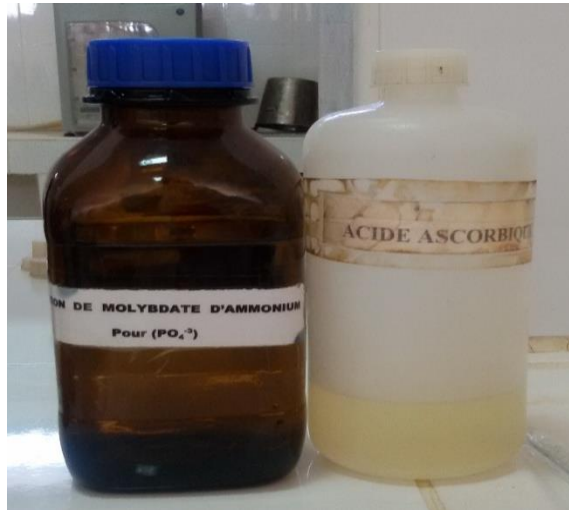


Photo 39 : Solution molybdate d'ammonium et solution d'acide ascorbique.

- Solution mère de l'orthophosphate (PO_4^{3-}) à 1g/l :
Dissoudre 1,432 mg de phosphate dihydrogénopotassique (KH_2PO_4) dans 1000 ml d'eau distillée.
- Solution de PO_4^{3-} à 10 mg/l :
Placer dans une fiole jaugée de 1000 ml, 10 ml de la solution mère et compléter par de l'eau distillée jusqu'à atteindre le trait de jauge.

➤ Solutions étalons :

Prendre successivement les volumes de 0,5, 1, 2,5, 5, 10, 15 et 20 ml de la solution à 10 mg/l et compléter à 100 ml avec l'eau distillée. On obtient des solutions étalons contenant respectivement les concentrations suivantes : 0,05, 0,1, 0,25, 0,5, 1, 1,5 et 2 mg/l.



Photo 40 : Les solutions étalons de l'orthophosphate.

❖ **Mode opératoire**

Dans des tubes à essai on introduit 20 ml prise d'essai et 5 ml des réactifs mélangés (3 volumes de la solution molybdique, 1 volume de la solution de l'acide ascorbique).

On les porte à l'étuve à 80°C durant 20 mn. Après, on les laisse refroidir puis on mesure l'absorption à une longueur d'onde de 825 nm.



Photo 41 : Les étapes de détermination de la teneur des échantillons en orthophosphate.

❖ **Expression des résultats**

L'appareil donne directement les teneurs en orthophosphates des échantillons en mg/l en traçant la courbe d'étalonnage.

IV.3.10. Demande chimique en oxygène (DCO)

❖ Principe

La détermination de la DCO comprend deux étapes :

ETAPE 1 : Oxydation chimique de la matière organique réductrice contenue dans l'eau, par un excès de dichromate de potassium. ($K_2Cr_2O_7$). Cette oxydation se réalise en milieu acide (H_2SO_4), en présence de sulfate d'argent comme catalyseur (Ag_2SO_4) et de sulfate de mercure ($HgSO_4$) pour limiter l'interférence des chlorures, le mélange est porté à l'ébullition à reflux pendant 2 h.

ETAPE 2 : Dosage de l'excès de dichromate de potassium par le sel de Mohr (RODIER J. et al.,2009).

❖ Réactifs

- Solution d'acide sulfurique ;
- Solution de sulfate d'argent à 10 g/l ;
- Solution de dichromate de potassium 0,04 mol/l, contenant du sulfate de mercure (II) ;
- Solution de sulfate de fer et d'ammonium à 0,12 mol/l ;
- Solution de ferroïne.

❖ Vérification du titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium (sel de Mohr)

Dans un erlenmeyer, On met 5 ml de bichromate de potassium à 0,04 mol/l, on ajoute environ 100 ml de la solution d'acide sulfurique (H_2SO_4); enfin, on ajoute quelques gouttes d'indicateur ferroïne. On remplit la burette avec le sulfate de fer et d'ammonium $FeSO_4 (NH_4)_2SO_4 6H_2O$ à 0,12 mol/l. On titre jusqu'à la coloration devient rouge.

La concentration (en mol/l) de la solution sulfate de fer et d'ammonium est donnée par la formule ci-dessous ou les volumes exprimés en ml :

$$C_{(mol/l)} = \frac{V_{dichromate} \times 0,04}{V_{sulfate\ de\ fer}} \times 6 = \frac{1,2}{V_{sulfate\ de\ fer}} \dots\dots\dots (04)$$

C : La concentration de la solution de sulfate de fer et d'ammonium (mol/l) ;

$V_{sulfate\ de\ fer}$: Le volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage (ml) ;

$V_{dichromate}$: volume de bichromate de potassium (ml).

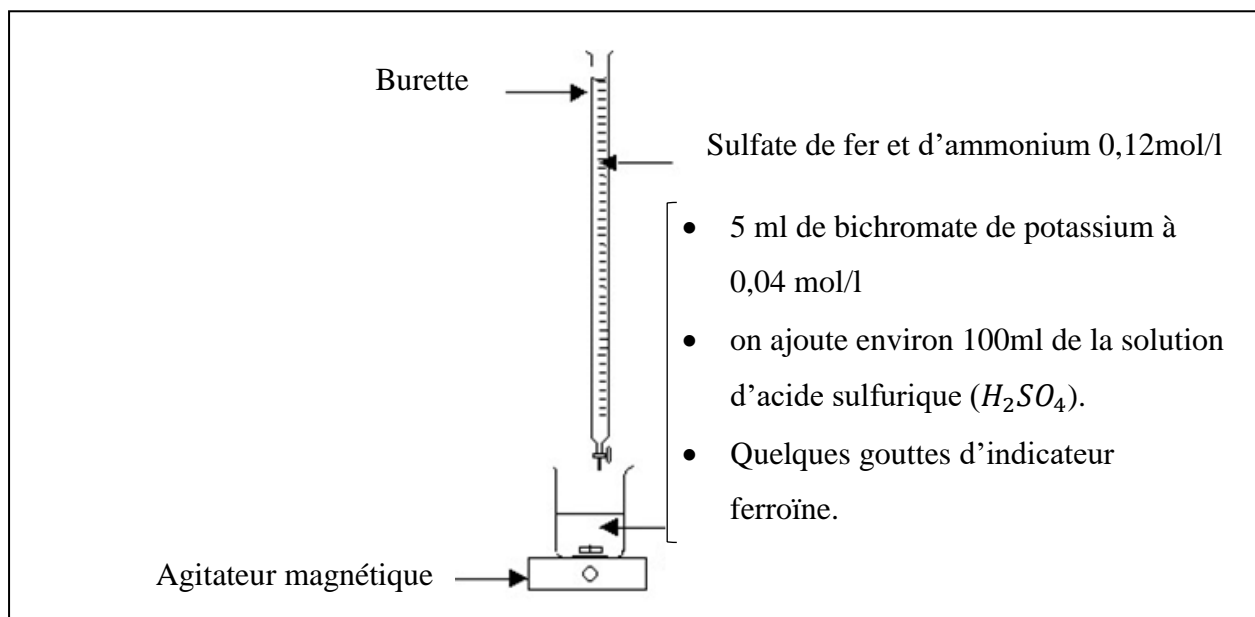


Figure 24 : Vérification du titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium.

❖ Mode opératoire

Dans le tube en introduit 10 ml d'échantillon, 5 ml dichromate $K_2Cr_2O_7$ 0,04 mol, et on ajoute quelques billes régulatrices d'ébullition, 15 ml d'acide sulfurique contenant sulfate d'argent puis on agite soigneusement le tube. On met 1 ou 2 gouttes d'acide sulfurique sur le col rode. Le mélange est porté à l'ébullition pendant 2 heures.



Photo 42 : Échauffement du mélange (échantillons + réactifs).

On retire les tubes et on les laisse refroidir.

On transvide le contenu du tube dans un erlenmeyer de 250 ml, puis on rince et on dilue avec environ 75 ml d'eau distillée. On titre l'excès de bichromate de potassium avec la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium en présence d'une ou deux gouttes de ferroïne.



Photo 43 : Titrage de l'excès de bichromate de potassium.

❖ Expression des résultats

La demande chimique en oxygène (DCO) exprimée en milligrammes d'oxygène par litre est égale à :

$$DCO = \left(\frac{V_b - V_E}{P.E} \right) \times 8000 \times T \text{ mg/l d'O}_2 \dots\dots\dots (05)$$

V_E : volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage (ml) ;

V_b : volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire à l'essai à blanc (ml) ;

T : titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium (mol/l) ;

P.E : volume de la prise d'essai (ml).

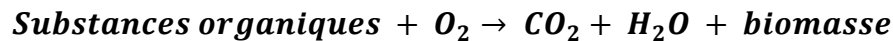
IV.3.11. Détermination de la demande biologique en oxygène (DBO₅)

❖ Principe

La détermination de la valeur de la DBO₅ se fait par l'introduction dans une bouteille d'incubation un volume de l'échantillon et que cette dernière doit être fermée avec un bouchon muni d'un capteur de pression (manomètre). Le volume choisi est en fonction des valeurs de la DCO précédemment calculer (voir le tableau 09). L'appareil de mesure est placé dans un réfrigérateur maintenu à 20°C, pendant 5 jours.

La consommation d'oxygène se traduit par une diminution de la pression d'air. On procède enfin à la correction de la mesure par un facteur correctif qui dépend de la quantité d'échantillon prélevée.

L'oxydation des matières organiques provoque la formation de CO_2 qui sera piégé par une solution de NaOH (RODIER J. et al.,2009).



❖ Mode opératoire

Pour mesurer la DBO_5 , on introduit les pastilles d'hydroxyde de sodium (pour absorber le CO_2 dégagé par les microorganismes). On visse la tête de mesure sur les bouteilles (bruns de 510 ml). On appuie simultanément sur les touches (S+M) durant 2 secondes jusqu'à l'apparition du message (00). On les met au réfrigérant à $20^\circ C$ pendant cinq jours. Enfin, nous lisons la valeur affichée.



Photo 44 : Incubation des bouteilles.

❖ Expression des résultats

La valeur de la DBO_5 est calculée par l'expression suivante :

$$DBO_5 \text{ mg}_{O_2}/l = \textit{Lecture} \times \textit{Facteur} \dots\dots\dots (06)$$

Tableau 09 : Table de conversion.

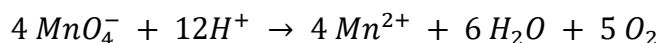
Plage de mesure DCO (mg O ₂ /l)	Volume de l'échantillon (ml)	Facteur
0 - 40	432	1
0 - 80	365	2
0 - 200	250	5
0 - 400	164	10
0 - 800	97	20
0 - 2000	43.5	50
0 - 4000	22.7	100

IV.3.12. Matières organiques (MO) par oxydabilité au permanganate

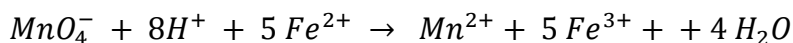
❖ Principe (Oxydation en milieu acide)

La détermination de la matière organique comporte 3 étapes :

Etape 1 : Un échantillon d'eau est oxydé en milieu acide, pendant 10 minutes à ébullition, par une solution de permanganate de potassium en excès.



Etape 2 : L'excès d'ions permanganate est entièrement réduit par une solution de sulfate ferreux ammoniacal en excès.



Etape 3 : L'excès d'ions de fer est à nouveau dosé par la solution de permanganate de potassium (RODIER J. et al.,2009).

❖ Réactifs

- Solution d'acide sulfurique.
- Solution de permanganate de potassium N/20.
 - 1,58 g de permanganate de potassium(KMnO_4).
 - Eau distillée Q.S.P 1000ml.
- Solution de permanganate de potassium N/80
- Solution de sulfate ferreux ou sel de MOHR N/80.
 - 4,9 g de sulfate ferreux $\text{FeSO}_4 (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 6\text{H}_2\text{O}$.
 - 5 ml d'acide sulfurique concentré.
 - Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

❖ Mode opératoire (Milieu acide)

Dans un erlenmeyer, on met 100 ml d'eau à analyser, 10 ml d'acide sulfurique, puis on porte le mélange à ébullition pendant 10 minutes, on ajoute dans le mélange bouillant 5 ml de la solution de $KMnO_4$ précédemment diluée N/80.



Photo 45 : Échauffement du mélange échantillons + réactifs.

On refroidit rapidement et on ajoute 20 ml de sulfate ferreux ammoniacal N/80. On dose l'excès de sulfate ferreux par du permanganate.

❖ Expression des résultats

Tableau 10 : Les équations correspondantes pour l'oxydation en milieu acide.

	Oxydant	Réducteur	Equation correspondante
Dans l'échantillon	5 ml de $KMnO_4$ N/20 + V_1 ml de $KMnO_4$ N/80.	100 ml d'échantillon de titre x en matières réductrices + 20 ml de sulfate ferreux N/80.	$(5 \times 1/20) + (V_1 \times 1/80) = (100 \times X) + (20 \times 1/80)$
Dans le témoin	5 ml de $KMnO_4$ N/20 + V_2 ml de $KMnO_4$ N/80.	100 ml d'eau distillée + 20 ml de sulfate ferreux N/80.	$(5 \times 1/20) + (V_2 \times 1/80) = 20 \times 1/80$

Au point équivalent :

$$(20 \times 1/80) = (5 \times 1/20) + (V_1 \times 1/80) - (100 \times X) = (5 \times 1/20) + (V_2 \times 1/80)$$

$$X = \frac{1}{8000} (V_1 - V_2)$$

Comme un équivalent gramme d'oxygène = 8000 mg d'oxygène :

$$O_2 \text{ mg/l} = V_1 - V_2 \dots\dots\dots (07)$$

V_1 : Le volume de $KMnO_4$ N/80 nécessaire au dosage de l'échantillon.

V_2 : Le volume de $KMnO_4$ N/80 nécessaire au dosage de témoin.

IV.4. Les paramètres bactériologiques

IV.4.1. Recherche et dénombrement des Coliformes en milieu liquide

Les coliformes sont dénombrés en milieu liquide par la technique du NPP (Nombre le Plus Probable). Cette technique fait appel à deux tests consécutifs à savoir :

- Le test de présomption : réservé à la recherche des coliformes totaux ;
- Le test de confirmation : appelé encore test de Mac Kenzie est réservé à la recherche des coliformes fécaux à partir des tubes positifs du test de présomption.

IV.4.1.1. Test de présomption

Préparer dans un portoir une série de tubes contenant 10 ml du milieu VBL (bouillon lactosé bilié au vert brillant) à raison de trois tubes par dilution, chaque tube doit porter une cloche de Durham.



Photo 46 : Tubes contenant le milieu (VBL).

Des dilutions décimales de 10^{-1} à 10^{-3} sont préparées à partir de la solution mère comme l'indique la figure 24.

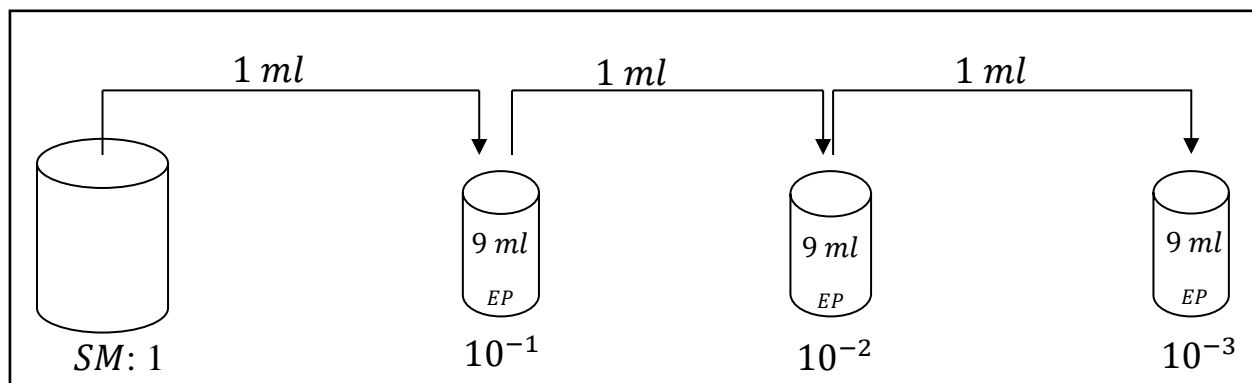


Figure 25 : Les dilutions.

A partir des dilutions décimales 10^{-1} à 10^{-3} , on porte aseptiquement 1 ml dans chacun des trois tubes correspondant à une dilution donnée.

Chassez le gaz présent éventuellement dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum.

❖ Incubation

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

❖ Lecture

Sont considérés comme positifs les tubes présentant à la fois :

- Un dégagement gazeux (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche) ;
- Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu).

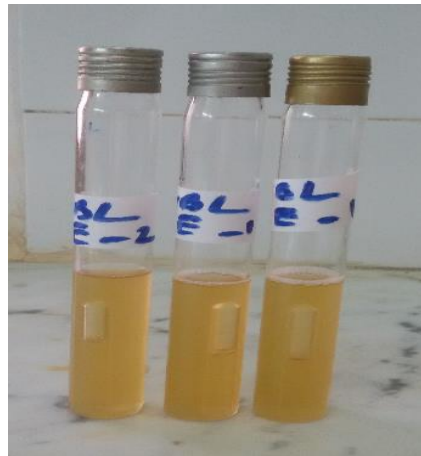


Photo 47 : Les tubes positifs pour le test de présomption.

La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de Mac Grady qui se trouve en annexe.

❖ Illustration

Tableau 11 : Illustration des résultats du test de présomption.

Inoculum	V B L Test de Présomption			Nbre Caractéristique
10^{-1}	+	+	+	3
10^{-2}	+	+	+	3
10^{-3}	+	+	+	3

Le nombre caractéristique est donc « 333 » ; ce qui correspond sur la table de Mac Grady au nombre 140.

On considère alors qu'il y a 140 coliformes par millilitre de produit à la dilution 10^{-1} .

Pour obtenir le nombre réel de coliformes totaux, il suffit de multiplier ce nombre par l'inverse de la première dilution pour revenir à 1 soit :

$140 \times 10 = 1400$ coliformes totaux par ml de produit à analyser.

IV.4.1.2. Test de confirmation ou test de Mac Kenzie

Les tubes de VBL trouvés positifs lors du dénombrement des coliformes totaux feront l'objet d'un repiquage à l'aide d'une pipette de Pasteur dans un tube de VBL muni d'une cloche.

Chasser le gaz présent éventuellement dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum.



Photo 48 : Préparation des tubes pour le test de confirmation.

❖ Incubation

L'incubation se fait cette fois-ci à l'étuve à 44°C pendant 24 heures.

❖ Lecture

Sont considérés comme positifs, les tubes présentant un dégagement gazeux dans les tubes de VBL.

La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table de Mac Grady.

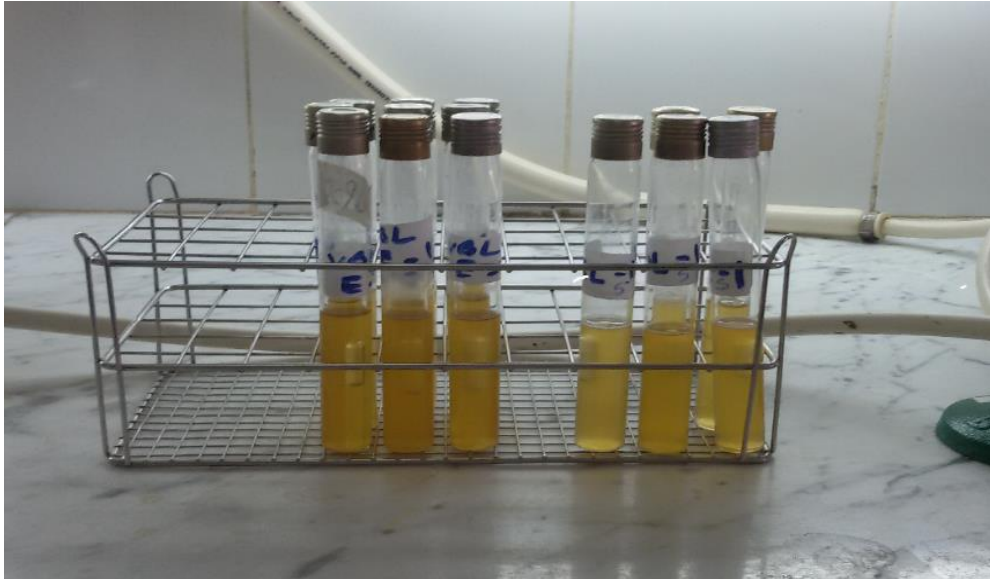


Photo 49 : Les tubes positifs pour le test de confirmation.

❖ Illustration

En reprenant l'exemple précédent relatif au dénombrement des coliformes totaux, cela suppose que nous avons 6 tubes à repiquer à savoir :

- 3 tubes de la dilution 10^{-1} ;
- 3 tubes de la dilution 10^{-2} ;
- 3 tube de la dilution 10^{-3} .

❖ **Tableau récapitulatif****Tableau 12** : Illustration des résultats des deux tests.

Inoculum	Test de Présomption VBL.37 ° C	Nbre Caractéristique	Test de Confirmation	Nbre Caractéristique
			VBL.44°C	
10 ⁻¹	+	3	+	3
	+		+	
	+		+	
10 ⁻²	+	3	+	2
	+		-	
	+		+	
10 ⁻³	+	3	-	0
	+		-	
	+		-	

Le nombre caractéristique relatif au dénombrement des coliformes fécaux est donc « 320 », ce qui correspond sur la table de Mac Grady à 9,5 à la dilution 10⁻¹.

Mais pour revenir à 1, il faut multiplier ce nombre par l'inverse de la première dilution à savoir : $9,5 \times 10 = 95$ coliformes fécaux par millilitre de produit à analyser.

Le résultat final sera donc de :

1400 Coliformes totaux / ml de produit

95 Coliformes fécaux / ml de produit

Remarque

Etant donné que les coliformes fécaux font partie des coliformes totaux, il est pratiquement impossible de trouver plus de coliformes fécaux que de coliformes totaux.

Chapitre V :

Résultats et discussions

Introduction

Après avoir présenté les outils méthodologiques nécessaires pour la réalisation de notre travail, dans ce chapitre nous procéderons à l'interprétation et à la discussion des résultats de notre étude. A travers ces résultats, nous essayerons de déterminer les performances épuratoires de la STEP de M'raguen en comparant ces résultats avec les normes des rejets.

V.1. Justification du choix du procédé de traitement

Évaluer l'aptitude d'une eau usée à se biodégrader présente un intérêt primordial pour le traitement des eaux résiduaires. C'est en effet cette plus ou moins grande aptitude à la biodégradation qui va conditionner le choix du procédé de traitement (traitement de type biologique ou physicochimique).

La combinaison des deux paramètres globaux de pollution DCO et DBO₅ permet une bonne approche de la biodégradabilité, en calculant le rapport DCO/DBO₅.

Les règles suivantes étant généralement retenues :

- $DCO/DBO_5 < 3$: effluent facilement biodégradable ;
- $3 < DCO/DBO_5 < 5$: effluent moyennement biodégradable ;
- $DCO/DBO_5 > 5$: effluent difficilement biodégradable, voire non biodégradable.

Cet indice de biodégradabilité (DCO/DBO_5) s'avère également très utile pour le suivi de l'efficacité de traitements biologiques (RODIER J. et al.,2009).

Tableau 13 : Type de traitement convenable pour les eaux usées entrant à la STEP.

Les dates des prélèvements	DCO/DBO_5
30/01/2017	1,02
05/02/2017	1,67
13/02/2017	2,4
20/02/2017	1,61
28/02/2017	1,12
07/03/2017	1,20

D'après les résultats du tableau 13, il apparaît clairement que les eaux usées de ksar de M'raguen sont facilement biodégradables, de ce fait le choix favorable est le traitement biologique.

V.2. Résultats et discussions

Les résultats globaux que nous avons obtenus sont les suivants :

V.2.1. L'évolution de la température

Les valeurs de la température sont illustrées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 14 : La variation des valeurs de la température avant et après le traitement.

	La température en °C	
	Entrée	Sortie
30/01/2017	17,3	13,1
05/02/2017	20	14,9
13/02/2017	20,3	16,3
20/02/2017	20,4	17,2
28/02/2017	21,8	17,4
07/03/2017	22,8	20,6
Valeur maximale	22,8	20,6
Valeur minimale	17,3	13,1
Valeur moyenne	20,43	16,58

Les valeurs de la température des eaux brutes variaient selon le tableau 14 de 17,3 à 22,8 °C, avec une moyenne de 20,43 °C, et entre 13,1 et 20,6 °C pour les eaux épurées, avec une moyenne de 16,58 °C.

Les valeurs de température durant notre expérimentation, ont tendance à baisser en s'orientant vers la sortie de la station, la représentation graphique des températures (figure 26) nous permet de confirmer ce constat.

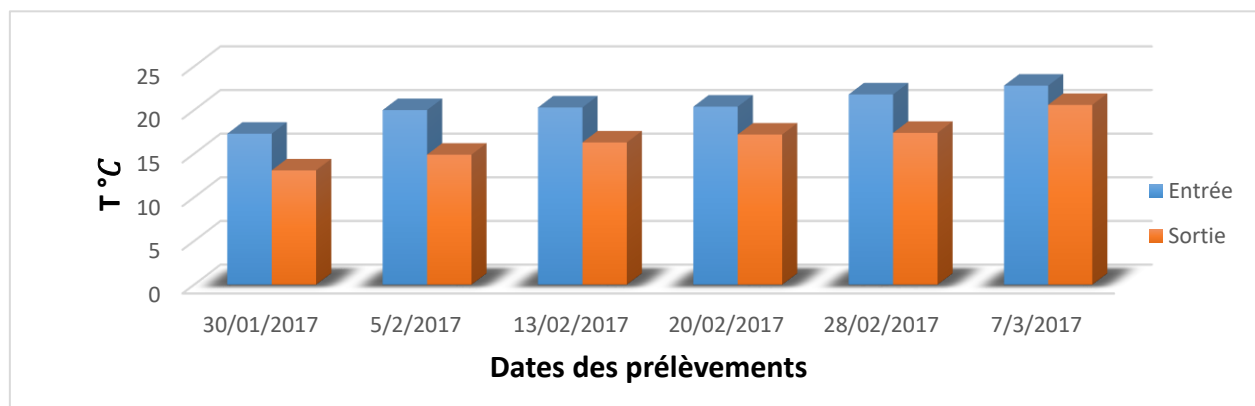


Figure 26 : La variation des valeurs de la température avant et après le traitement.

D'après la figure 26, nous remarquons une diminution des valeurs de la température entre l'entrée et la sortie de la station, cette diminution est due à la stagnation des eaux traitées dans les bassins.

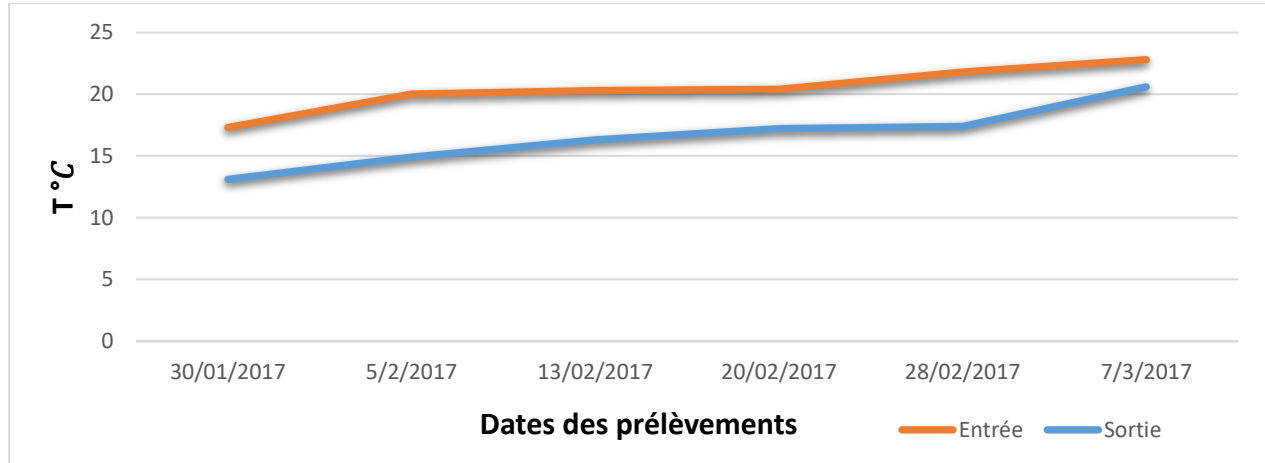


Figure 27 : Évolution des valeurs de la température des eaux brutes et traitées.

D'après la Figure 27, nous remarquons une augmentation des températures des eaux brutes et traitées, d'une semaine à une autre, cette dernière est liée à la variation thermique ambiante au cours des saisons, et aux conditions climatiques de la zone d'étude, cela est confirmé d'après la figure 28.

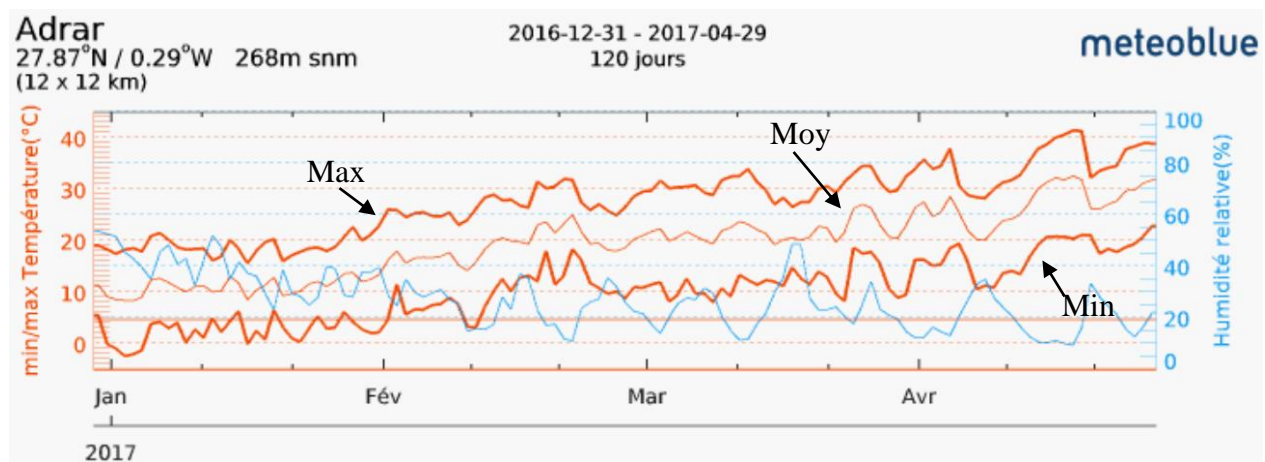


Figure 28 : Évolution de la température ambiante d'Adrar (METEOBLUE, 2017).

La valeur maximale de la température à la sortie était de l'ordre de 20,6 °C et cela conforme aux normes Algériennes de rejet (< 30 °C) (voir annexe).

V.2.2. L'évolution de potentiel Hydrogène (pH)

Le tableau suivant présente les différentes valeurs du pH des eaux usées et traitées de la station.

Tableau 15 : La variation des valeurs du pH avant et après le traitement.

	Le pH	
	Entrée	Sortie
30/01/2017	8,17	6,95
05/02/2017	7,34	6,90
13/02/2017	7,77	7,28
20/02/2017	8,24	7,37
28/02/2017	7,58	7,19
07/03/2017	7,33	7,65
Valeur maximale	8,24	7,65
Valeur minimale	7,33	6,90
Valeur moyenne	7,73	7,22

Nous remarquons d'après les valeurs du tableau 15 que les pH mesurés durant notre période d'étude oscillent pour les eaux brutes entre 7,22 et 7,73, avec une valeur moyenne de 7,47, alors que les eaux épurées ont un pH compris entre 7,65 et 6,90 avec une moyenne de 7,22.

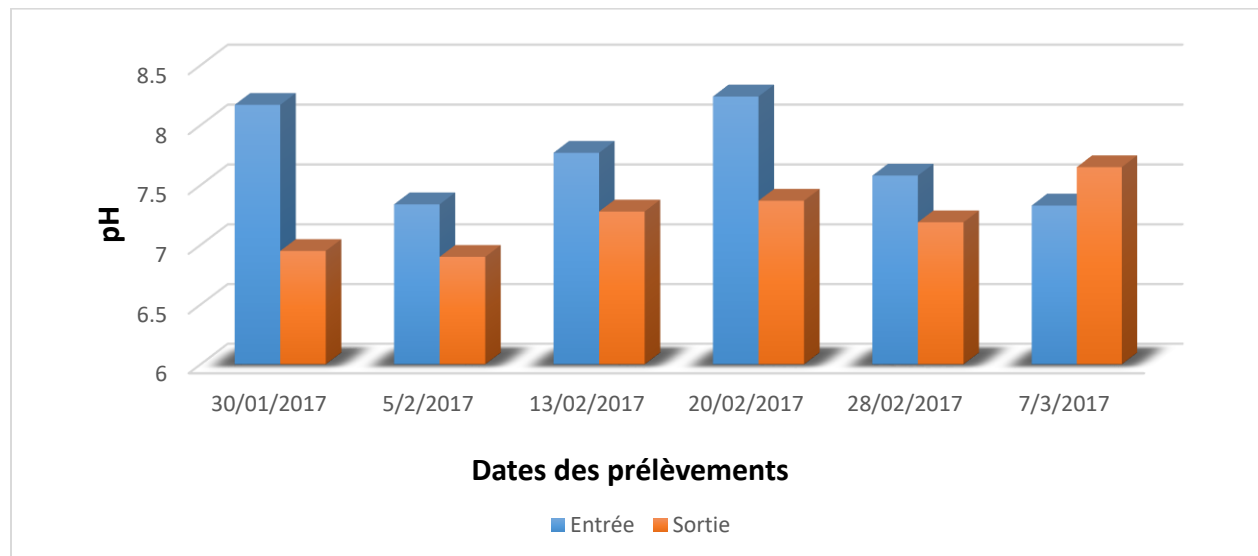
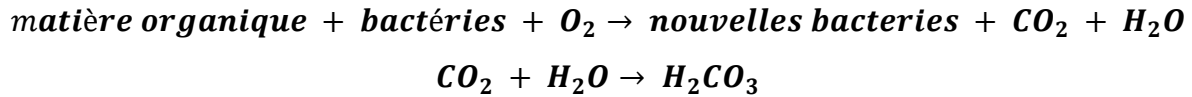


Figure 29 : La variation des valeurs du pH avant et après le traitement.

D'après la figure 29, nous constatons que les valeurs du pH diminuent pour l'eau traitée par rapport à l'eau brute. Le pH de l'eau devient plus acide à la sortie du bassin, ceci est le fruit du concours de plusieurs facteurs :

- L'oxydation de la MO produit du dioxyde de carbone (CO_2) qui acidifie le milieu.



- La nitrification (oxydation de NH_4^+) entraîne une acidification des filtrats par la production de H^+ .



- La libération des exsudats racinaires par les héliophytes qui sont surtout des acides organiques et aminés, lesquels peuvent entraîner une acidification du milieu.

La valeur maximale du pH à la sortie est 7,65 et cela conforme aux normes Algériennes de rejet ($6,5 < PH < 8,5$).

V.2.3. L'évolution de la conductivité

Les valeurs de la conductivité sont illustrées dans le tableau et la figure ci-dessous.

Tableau 16 : La variation des valeurs de la conductivité avant et après le traitement.

	La conductivité en mS/cm	
	Entrée	Sortie
30/01/2017	2,86	5,43
05/02/2017	2,41	27,06
13/02/2017	2,71	3,30
20/02/2017	2,94	3,09
28/02/2017	2,82	3,42
07/03/2017	2,36	2,17
Valeur maximale	2,94	27,06
Valeur minimale	2,36	2,17
Valeur moyenne	2,68	7,41

D'après le tableau 16 et la figure 30, les valeurs de la conductivité électrique (CE) oscillent entre 2,36 et 2,94 mS/cm pour les eaux usées brutes, avec une valeur moyenne de 2,68 mS/cm, et entre 2,17 et 27,06 mS/cm pour les eaux traitées avec une valeur moyenne de 7,41 mS/cm.

Selon Abissy et Mandi (1999), il est probable que l'augmentation de la conductivité des eaux est liée à des processus comme le lessivage des minéraux du sol et la minéralisation de la matière organique. Comme elle peut être aussi liée au phénomène d'évaporation des eaux usées des filtres à cause de l'élévation des températures saisonnières.

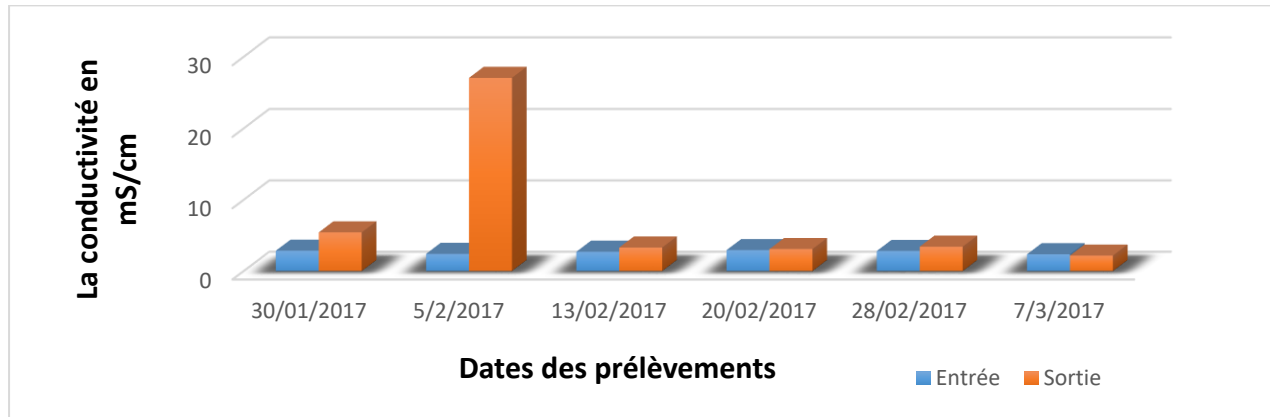


Figure 30 : La variation des valeurs de la conductivité en avant et après le traitement.

V.2.4. L'évolution des matières en suspension (MES)

Le tableau suivant illustre les teneurs obtenues en matières en suspension.

Tableau 17 : La variation des teneurs en MES avant et après le traitement.

	La teneur en MES (mg/l)	
	Entrée	Sortie
30/01/2017	95	9
05/02/2017	60	7
13/02/2017	15	2
20/02/2017	85	5
28/02/2017	52	2
07/03/2017	80	2
Valeur maximale	95	30
Valeur minimale	15	2
Valeur moyenne	64.5	9.16

D'après les résultats du tableau 17, nous observons que les teneurs en MES varient dans un intervalle qui va d'un minimum de 15 mg/l à un maximum de 95 mg/l pour les eaux brutes et de 2 mg/l à 30 mg/l pour les eaux traitées.

D'après la figure 31 nous remarquons que dans tous les prélèvements, les teneurs en MES diminuent. Cette diminution est expliquée par la rétention des matières solides en suspension sur la surface du filtre par la filtration mécanique du substrat due aux matériaux de remplissage (sable et gravier). La présence de plantes renforce la filtration mécanique du substrat via un système racinaire dense.

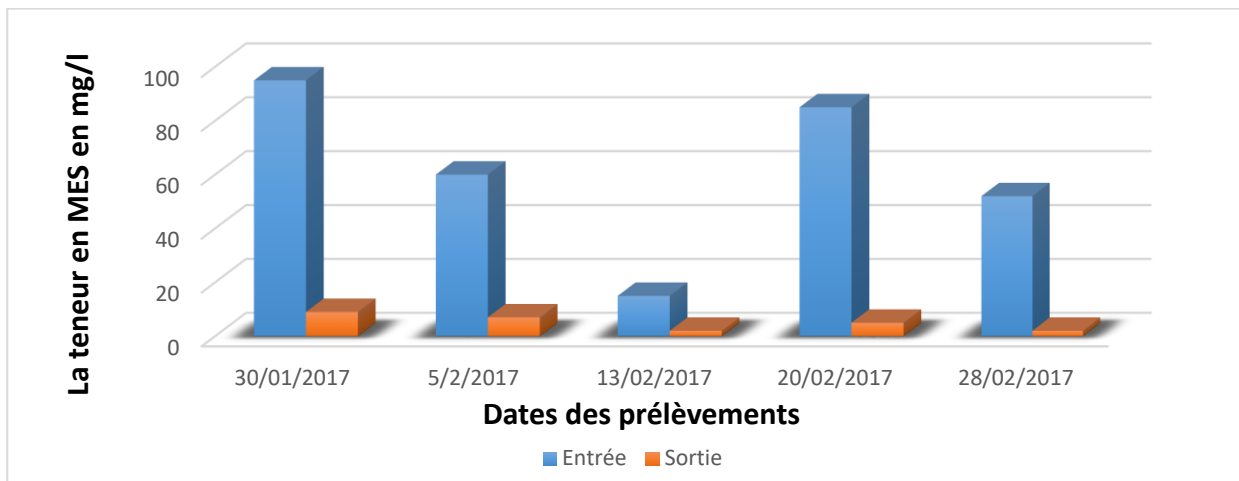


Figure 31 : La variation des teneurs en MES avant et après le traitement.

Le rendement moyen d'après la figure 31 était de 91% pour les six semaines. Ce qui explique l'efficacité de ce genre de procédé d'épuration. Les résultats obtenus au niveau de la sortie sont conformes aux normes Algériennes de rejet (35 mg/l).

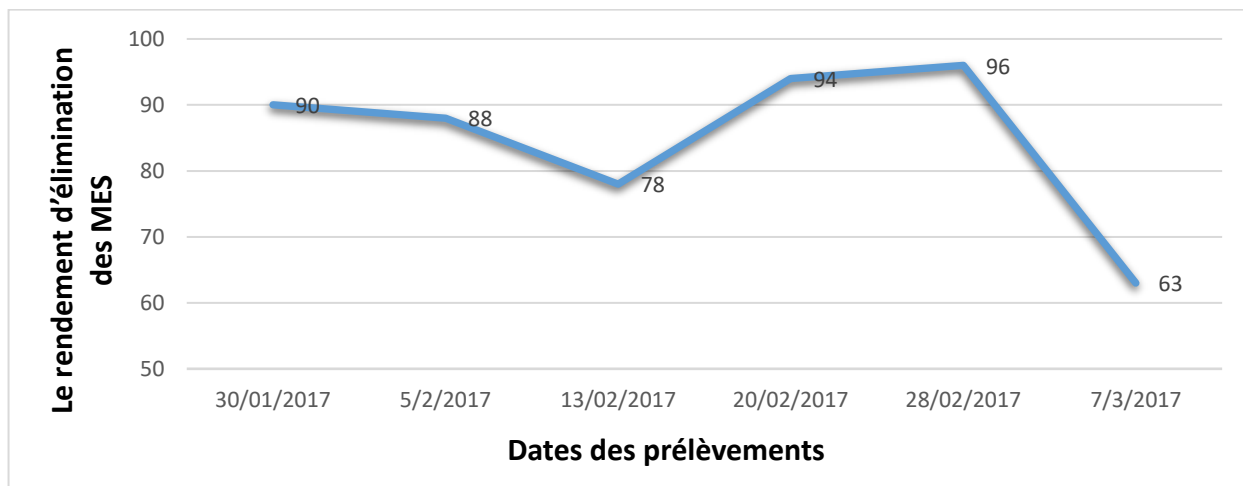


Figure 32 : L'évolution des rendements d'élimination des MES.

V.2.5. L'évolution de la couleur

D'après une simple observation à l'œil nu, il est remarqué que l'eau à la sortie est plus claire par rapport à celle de l'entrée due à une diminution de MES. Cela conforme aux normes Algériennes de rejet (incolore).



Photo 50 : La variation de la couleur à l'entrée et à la sortie de la station.

V.2.6. L'évolution de la turbidité

Le tableau suivant présente les différentes valeurs de la turbidité de la station à l'entrée et à la sortie de la station.

Tableau 18 : La variation des valeurs de la turbidité avant et après le traitement.

	La turbidité en NTU	
	Entrée	Sortie
30/01/2017	20	8
05/02/2017	18,43	3,86
13/02/2017	14,28	2,69
20/02/2017	23,56	0,94
28/02/2017	12,95	0,95
07/03/2017	24,13	5,6
Valeur maximale	24,13	8
Valeur minimale	12,95	0,94
Valeur moyenne	18,89	3,67

Nous apercevons d'après le tableau 18 que les valeurs de la turbidité mesurées durant notre période d'étude varient pour les eaux brutes entre 12,95 et 24,13, avec une valeur moyenne de 18,89, alors que les eaux épurées ont une turbidité comprise entre 0,94 et 8 avec une moyenne de 3,67.

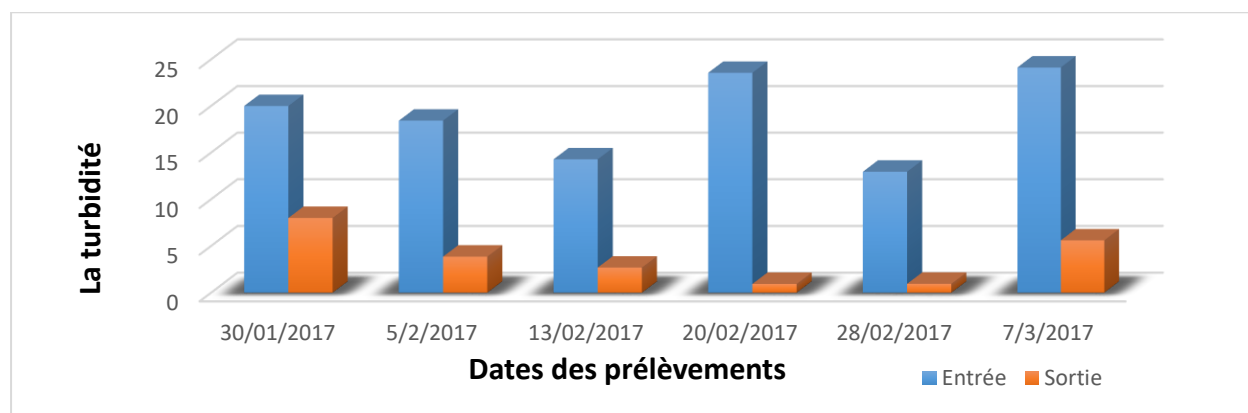


Figure 33 : La variation des valeurs de la turbidité avant et après le traitement.

La variation des valeurs de la turbidité est généralement liée à la variation de la couleur. Nous observons d'après la figure 33 un abaissement remarquable des valeurs de la turbidité de l'entrée vers la sortie, cet abaissement peut être causée par la rétention de matières en suspension (MES) plus fines comme les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes.

V.2.7. L'évolution de la matière organique (MO)

Les teneurs en matière organique sont données dans le tableau ci-dessous.

Tableau 19 : La variation des teneurs en MO avant et après le traitement.

	La MO en mg/1 d'O ₂	
	Entrée	Sortie
30/01/2017	41	7,83
05/02/2017	43	19
13/02/2017	41	24
20/02/2017	58	14
28/02/2017	52	28
07/03/2017	100	31
Valeur maximale	100	31
Valeur minimale	41	14
Valeur moyenne	55,83	22,06

Les valeurs de la MO des eaux usées varient dans un intervalle qui va d'un minimum de 41 mg/1 d'O₂ à un maximum de 100 mg/1 d'O₂ et entre 14 et 31 mg/1 d'O₂ pour les eaux traitées comme l'indique le tableau 19, avec un rendement moyen d'abattement de 62%.

Cette diminution indique qu'il y a une minéralisation de la matière organique par les bactéries, ce phénomène est accéléré avec l'existence des plantes.

V.2.8. L'évolution de la Demande Chimique en Oxygène (DCO)

Les valeurs de la DCO sont illustrées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 20 : La variation des valeurs de la DCO avant et après le traitement.

	La DCO en mg/l d'O ₂	
	Entrée	Sortie
30/01/2017	151,4	9,44
05/02/2017	217,12	113,28
13/02/2017	336	96
20/02/2017	307,2	19,2
28/02/2017	201,6	115,2
07/03/2017	506	64,4
Valeur maximale	506	115,2
Valeur minimale	151,4	9,44
Valeur moyenne	286,55	69,58

D'après les résultats du tableau 20, nous observons que les valeurs de la DCO varient dans un intervalle qui va d'un minimum de 151,4 mg/l d'O₂ à un maximum de 506 mg/l d'O₂ pour les eaux brutes et entre 9,44 mg/l d'O₂ et 115,2 mg/l d'O₂ pour les eaux traitées.

La maximale valeur de la sortie était 115,2 mg/l d'O₂, cette dernière est inférieure aux normes Algériennes admises aux rejets (120 mg/l d'O₂).

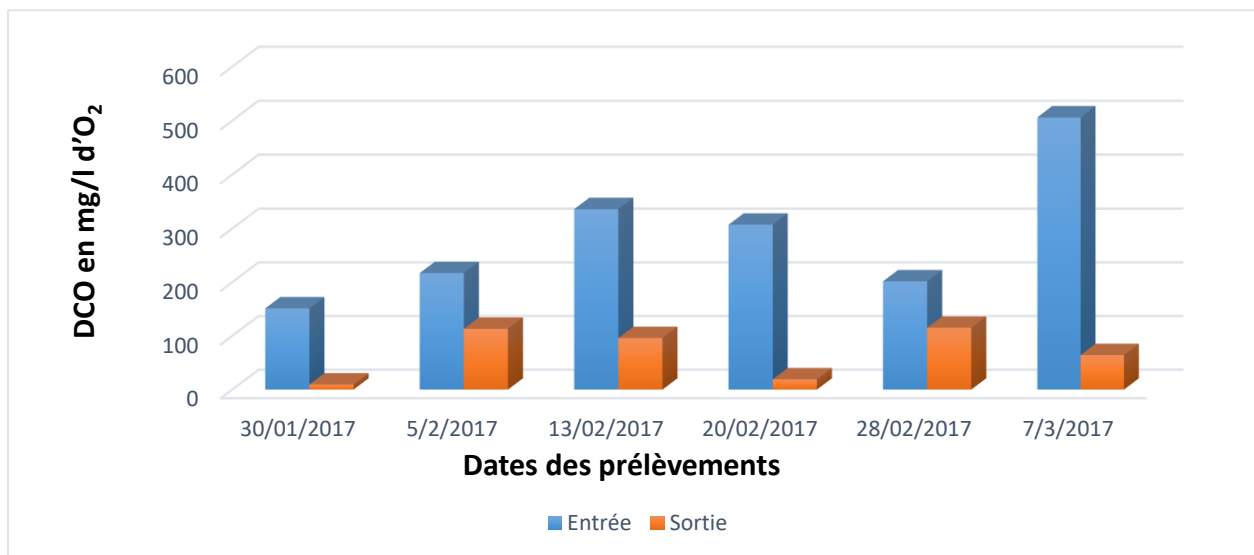


Figure 34 : La variation des valeurs de la DCO avant et après le traitement.

D'après la figure 34 nous remarquons une diminution des valeurs de la DCO de l'entrée vers la sortie, cela peut être expliqué par la diminution de la charge organique dans l'effluent (figure 35) due à l'activité bactérienne.

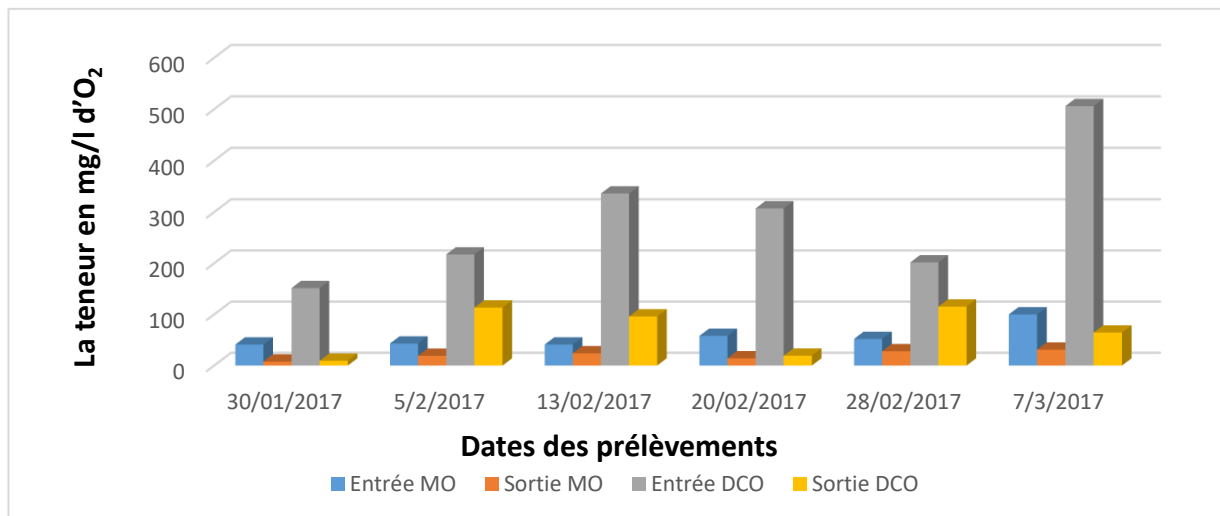


Figure 35 : Comparaison des teneurs en DCO avec celles des MO.

V.2.9. L'évolution de la demande biochimique en oxygène (DBO₅)

Les valeurs de la DBO₅ sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 21 : La variation des valeurs de la DBO₅ avant et après le traitement.

	La DBO ₅ en mg/l d'O ₂	
	Entrée	Sortie
30/01/2017	148	7
05/02/2017	130	20
13/02/2017	140	14
20/02/2017	190	6
28/02/2017	180	5
07/03/2017	420	30
Valeur maximale	420	30
Valeur minimale	130	5
Valeur moyenne	201,33	13,66

La charge organique moyenne que reçoit la station est 201 mg/L d'O₂ (tableau 21). La station assure une élimination satisfaisante de la matière organique (figure 36), atteignant un rendement moyen de 93% et maximum de 97%.

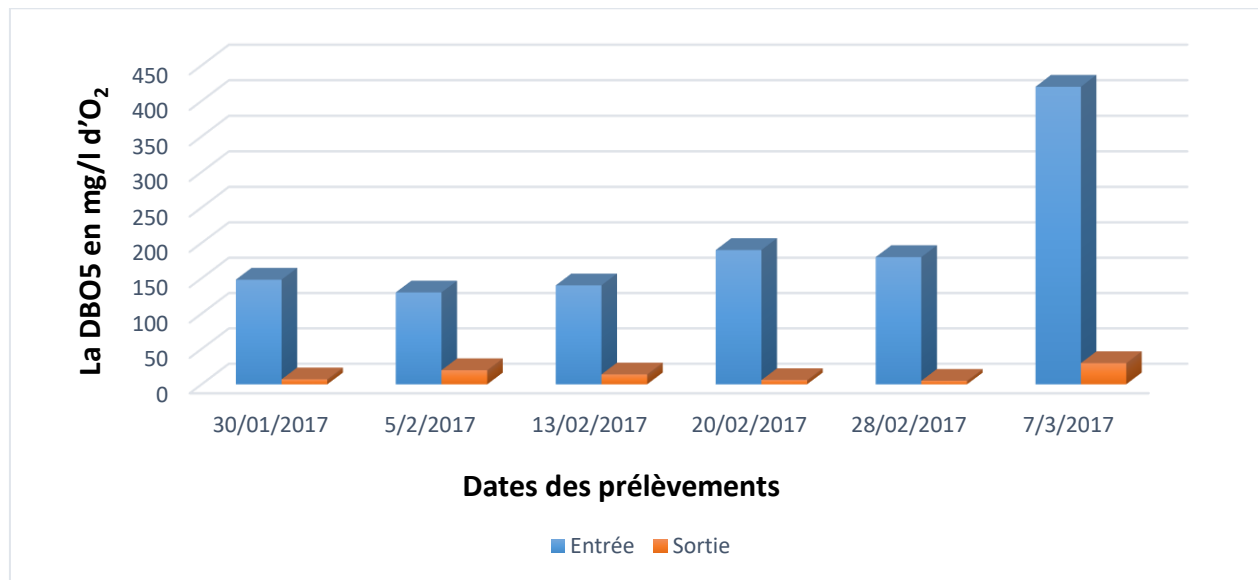


Figure 36 : La variation des valeurs de la DBO₅ avant et après le traitement.

D'après la figure 37, les rendements de la DBO₅ sont plus importants que ceux de la DCO, puisque le système d'épuration par filtres plantés réduit principalement la partie biodégradable.

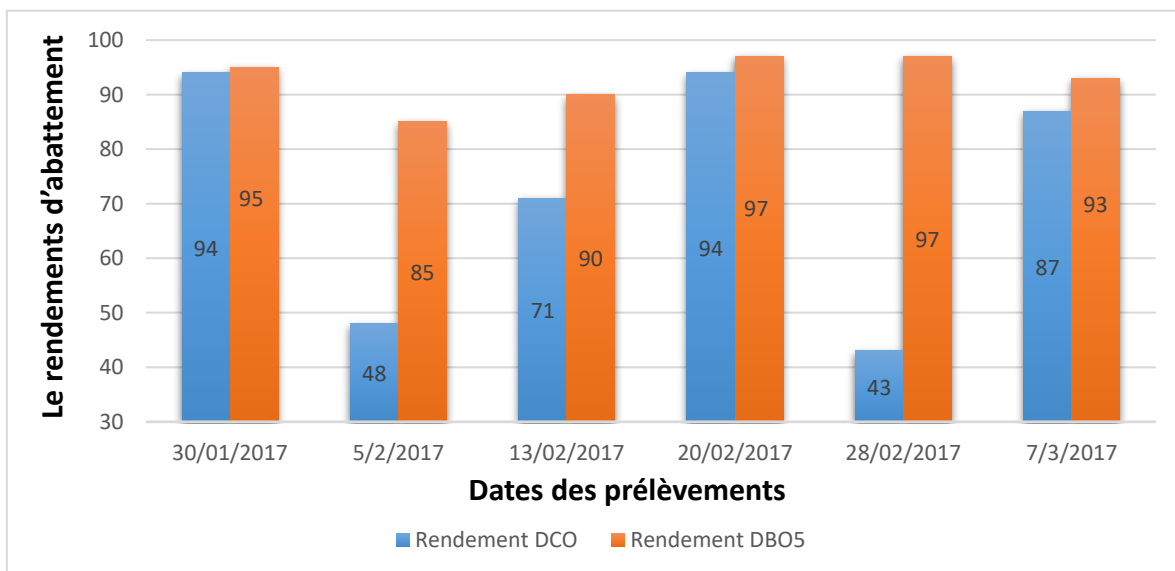


Figure 37 : Comparaison des rendements d'abattement de la DCO avec ceux de la DBO₅.

La valeur maximale de la DBO₅ à la sortie était 30 mg/l d'O₂ et cela conforme aux normes Algériennes de rejet (< 35 mg/l d'O₂).

V.2.10. L'évolution de l'ammonium

Le tableau suivant illustre les teneurs en ammonium à l'entrée et à la sortie de la station.

Tableau 22 : La variation des teneurs en ammonium avant et après le traitement.

	La teneur en ammonium(mg/l)	
	Entrée	Sortie
30/01/2017	2,51	4,4
05/02/2017	0,88	0,89
13/02/2017	00	5,9
20/02/2017	00	5,58
28/02/2017	0,23	6,26
07/03/2017	0,09	3,59
Valeur maximale	2,51	6,26
Valeur minimale	00	0,89
Valeur moyenne	0,61	3,60

Nous remarquons que les teneurs en ammonium mesurées durant notre période d'étude varient pour les eaux brutes entre 00 et 2,51 mg/l, avec une valeur moyenne de 0,61 mg/l, alors que les eaux épurées ont des teneurs en ammonium comprises entre 0,89 et 6,26 mg/l, avec une moyenne de 3,60 mg/l (tableau 22).

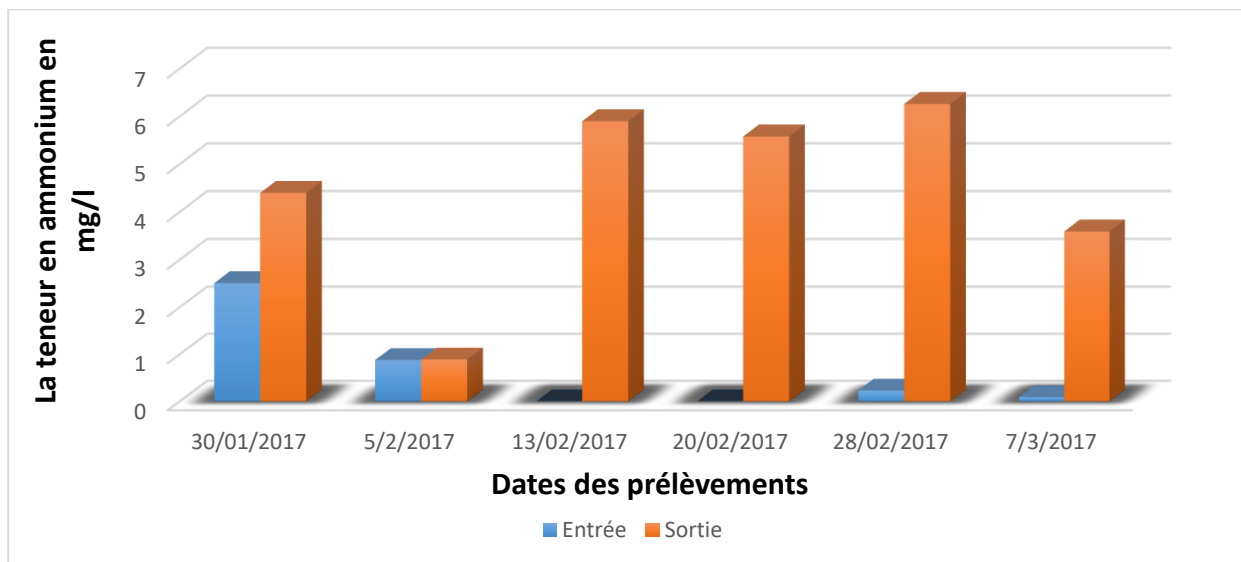


Figure 38 : La variation des teneurs en ammonium avant et après le traitement.

Selon la figure 38, la teneur en ammonium dans les eaux usées brutes est inférieure à celle des eaux traitées. On peut expliquer cette augmentation par la décomposition de la matière organique azotée qui donne de l'ammonium.

Ainsi qu'elle peut avoir comme origine probable la réduction des nitrates et des nitrites dans le bassin d'eau épurées à cause du manque d'oxygène car le bassin est profond et fermé.

La teneur maximale en ammonium à la sortie était de 6,26 mg/l, cette valeur dépasse les normes internationales de rejet (< 0,5 mg/l).

V.2.11. L'évolution de nitrite

Le tableau suivant présente les différents teneurs en nitrite de la station.

Tableau 23 : La variation des teneurs en nitrite avant et après le traitement.

	La teneur en nitrite (mg/l)	
	Entrée	Sortie
30/01/2017	0,45	12,32
05/02/2017	0,07	0,98
13/02/2017	0,08	0,69
20/02/2017	0,10	0,72
28/02/2017	0,22	1,37
07/03/2017	0,82	1,2
Valeur maximale	0,82	12,32
Valeur minimale	0,07	0,69
Valeur moyenne	0,29	2,88

Nous remarquons d'après le tableau 23 que les teneurs en nitrite oscillent pour les eaux brutes entre 0,07 et 0,82 mg/l, avec une valeur moyenne de 0,29 mg/l, et pour les eaux épurées entre 0,69 et 12,32 mg/l avec une valeur moyenne de 2,88 mg/l.

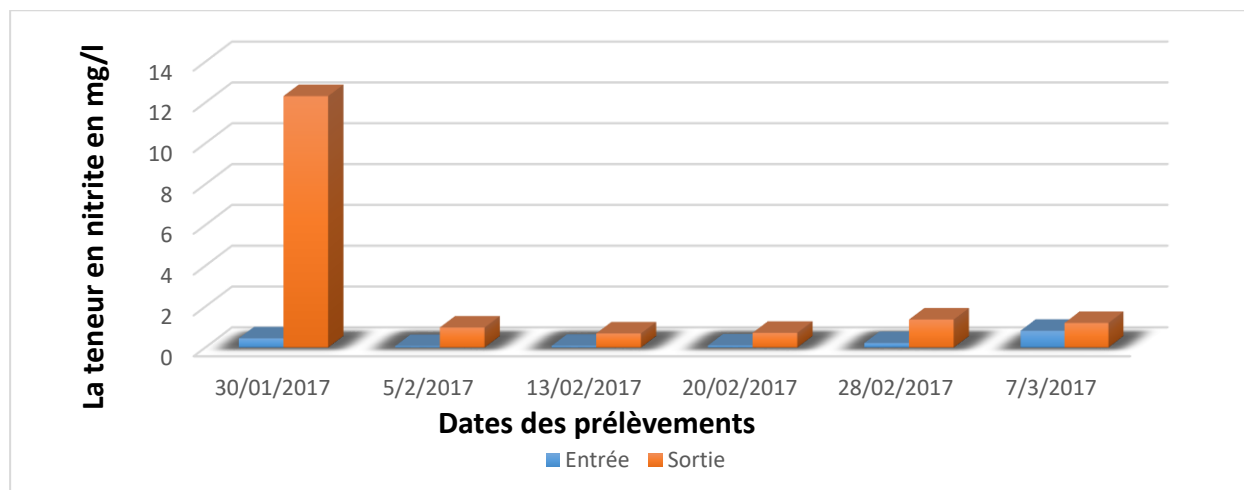


Figure 39 : La variation des teneurs en nitrite avant et après le traitement.

L'augmentation observée des teneurs en nitrite dans la figure 39 peut être due à la réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante causée par l'insuffisance d'oxygène (bassin de sortie fermé). Selon Abissy et Mandi (1999), les formes oxydées de l'azote sont généralement à des concentrations très faibles dans les eaux usées brutes, par contre elles apparaissent à des concentrations élevées à la sortie.

La teneur maximale en nitrite à la sortie était 12,32 mg/l et cela dépasse les normes internationales de rejet (< 1 mg/l).

V.2.12. L'évolution de nitrate

Les teneurs en nitrate sont données dans le tableau ci-dessous.

Tableau 24 : La variation des teneurs en nitrate avant et après le traitement.

	La teneur en nitrate (mg/l)	
	Entrée	Sortie
30/01/2017	4,94	179,75
05/02/2017	2,23	134,18
13/02/2017	00	284,18
20/02/2017	0,62	108,27
28/02/2017	00	132,3
07/03/2017	18,8	48,52
Valeur maximale	134,18	284,18
Valeur minimale	00	2,23
Valeur moyenne	26,42	125,87

D'après les résultats du tableau 24, nous observons que les teneurs en nitrate entrent avec un minimum de 00 mg/l à un maximum de 134,18 mg/l, et sortent avec un minimum de 2,23 mg/l à un maximum de 284,18 mg/l, dont la teneur moyenne pour les eaux brute est 26,42 mg/l, et pour les eaux traitées est 125,87 mg/l.

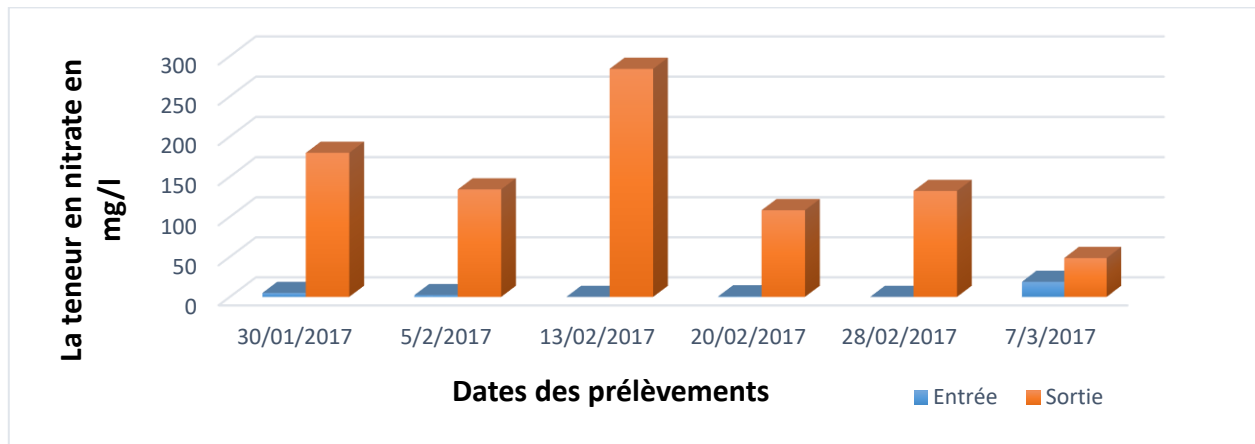


Figure 40 : La variation des teneurs en nitrate avant et après le traitement.

Les faibles teneurs en nitrates au niveau des eaux brutes sont probablement dues au fait que l'azote contenu dans les eaux résiduaires domestiques a essentiellement une origine humaine.

La concentration de nitrates est en augmentation dans tous les prélèvements dans l'eau traitée par rapport à l'eau brute (figure 40), cela peut être due selon l'étude faite par Rahmani A. (2015) au type de filtre (filtre à écoulement vertical) qui favorise la nitrification (bonne oxygénation du milieu) et au lessivage des minéraux du sol.

La teneur maximale en nitrate à la sortie était 284,18 mg/l et cela dépasse les normes internationales de rejet (< 1 mg/l).

V.2.13. L'évolution de l'orthophosphate

Le tableau 28 présente les teneurs en orthophosphate à l'entrée et à la sortie de la station.

Tableau 25 : La variation des teneurs en orthophosphate avant et après le traitement.

	La teneur en orthophosphate (mg/l)	
	Entrée	Sortie
30/01/2017	37,64	7,83
05/02/2017	14,08	10,89
13/02/2017	55,68	22,34
20/02/2017	15,54	6,18
28/02/2017	27,63	00
07/03/2017	27,63	00
Valeur maximale	55,68	22,34
Valeur minimale	14,08	00
Valeur moyenne	29,67	7,87

Nous observons d'après le tableau 25 que les teneurs en orthophosphate mesurées durant notre période d'étude varient pour les eaux brutes entre 14,08 et 55,68 mg/l avec une valeur moyenne de 29,67 mg/l, alors que les eaux traitées ont des teneurs comprises entre 00 et 22,34 mg/l avec une valeur moyenne de 7,87 mg/l.

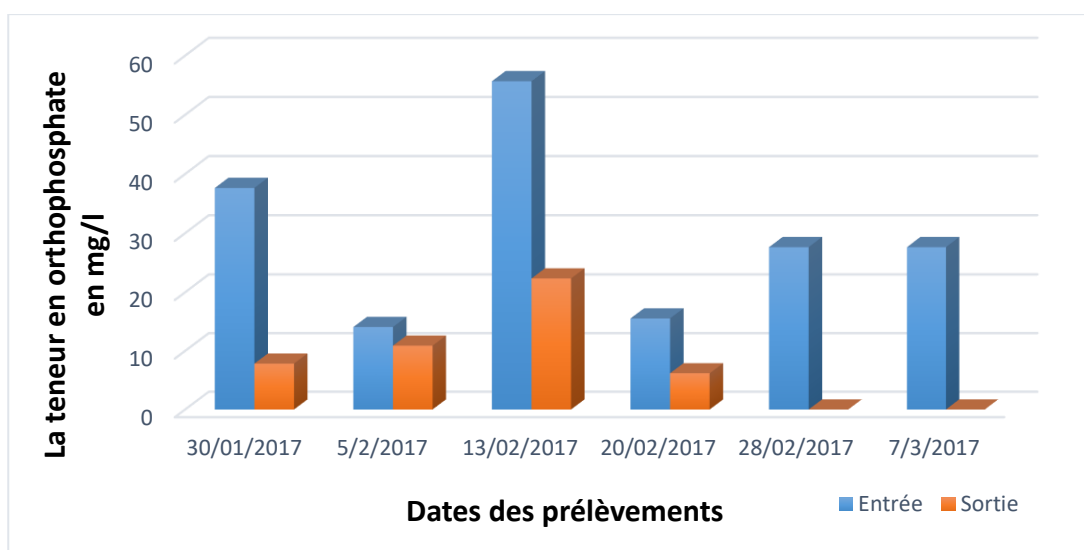


Figure 41 : La variation des teneurs en orthophosphate avant et après le traitement.

Les orthophosphates subissent un abattement important (Figure 41), qui a pu atteindre un rendement moyen de 70 %, cela peut être expliqué par l'assimilation du phosphore par les rhizomes et les racines des plantes.

La teneur maximale en orthophosphate à la sortie était 22,34 mg/l et cela dépasse les normes Algériennes de rejet (< 2 mg/l).

V.2.14. L'évolution des coliformes (totaux et fécaux)

Le tableau 26 présente le nombre le plus probable des coliformes.

Tableau 26 : La variation du nombre le plus probable des coliformes avant et après le traitement.

	Coliformes totaux		Coliformes fécaux	
	CT/ ml		CF/ ml	
	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
20/02/2017	1400	65	450	15
28/02/2017	1400	95	300	6
07/03/2017	1100	45	250	11

Le rendement d'élimination des coliformes totaux et fécaux a pu atteindre le taux de 97%. Cela montre bien que les bassins plantés peuvent également jouer un rôle important dans l'élimination des germes pathogènes.

Cet abattement des coliformes totaux et fécaux peut être due à une rétention physique (filtration) et/ou adsorption des germes pathogènes dans les lits plantés. Cet abattement pourrait aussi provenir de l'action des exsudats secrétés par les plantes. Les micro-organismes peuvent aussi être détruits soit par prédation, soit par des biocides émis par les racines des plantes, soit par mort naturelle, et enfin éliminés par la même manière que la matière organique.

Conclusion

Cette étude a permis d'évaluer les performances épuratoires d'un système de traitement des eaux usées par filtres plantés dans le ksar de M'raguen. Notre travail montre que les roseaux sont bien adaptés à la charge polluante appliquée. Les résultats obtenus sont très encourageants avec des taux d'abattement de l'ordre de 91% pour les matières en suspension (MES), de 62% pour la matière organique (MO), de 73% en terme de Demande Chimique en Oxygène (DCO), de 93% en terme de Demande Biochimique en Oxygène (DBO), de 70 % pour les orthophosphates sont pu être atteint. On constate une nette progression pour les ammoniums, nitrites et nitrates.

Les résultats montrent aussi une très bonne performance pour l'élimination de la pollution pathogène, avec un taux d'abattement de 95 % des coliformes totaux et de 97 % des coliformes fécaux.

Les performances obtenues montrent bien que le procédé constitue une alternative efficace pour l'épuration des eaux usées domestiques.

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'objectif de cette étude était de mettre en évidence les potentialités des filtres plantés de roseaux à épurer les eaux usées domestique, de Ksar de M'raguen, sous un régime d'écoulement vertical. L'intérêt est porté plus particulièrement sur le pouvoir de rejeter les eaux traitées dans le milieu naturel sans l'altérer.

Les résultats obtenus permettent de distinguer une grande différence entre les valeurs de pollution des eaux brutes et celles des eaux traitées, ceci dénote que le procédé de traitement par filtres plantés est très adapté pour l'épuration des eaux usées domestiques, dont l'abattement de la charge particulaire et organique s'effectue avec des rendements satisfaisants, où nous avons enregistré des taux d'éliminations de 91 % pour les matières en suspension (MES), de 62%, 73%, 93% respectivement pour la matière organique (MO), la Demande Chimique en Oxygène (DCO) et la Demande Biochimique en Oxygène (DBO). La dépollution des orthophosphates était de l'ordre de 70%. Le traitement a permis aussi une réduction des coliformes totaux et fécaux. Par contre, on constate une nette progression pour les ammoniums, nitrites et nitrates.

On conclut de ces résultats que la station de traitement des eaux usées par filtres plantés de Ksar de M'raguen assure une élimination importante de la charge particulaire et organique. L'application de tel système dans le traitement des eaux usées permet également d'éliminer les mauvaises odeurs et fournit des eaux claires et limpides. Néanmoins, elle produit une grande quantité de la pollution azotée.

A partir de cette étude il est recommandé de proposer des solutions complémentaires pour résoudre le problème de la pollution azoté par l'ajout d'un deuxième filtre à écoulement horizontal.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Abibsi, N. (2011). Réutilisation des eaux usées épurées par filtres plantes (phytoépuration) pour l'irrigation des espaces verts application à un quartier de la ville de Biskra. Mémoire de magister, université de Mohamed Khider, Biskra.

Abissy, M. et Mandi L. (1999). Utilisation des plantes aquatiques enracinées pour le traitement des eaux usées urbaines : cas du roseau. Revue des Sciences de l'eau.

Allouche, N. (2006). La Phytoremédiation pour la Dépollution des Eaux Usées. Bulletin des Energies Renouvelables N°10. Algerie.

Anicet, T., Cretin, L. et Gaspar, D. (2015). La Phytoépuration.

[https:// tpephytoepuration.wordpress.com/2015/01/14/problematique-pourquoi-a-t-on-recours-a-la-phytoepuration-et-comment-fonctionne-t-elle/](https://tpephytoepuration.wordpress.com/2015/01/14/problematique-pourquoi-a-t-on-recours-a-la-phytoepuration-et-comment-fonctionne-t-elle/).

Attab, S. (2011). Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration Haoud Berkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local. Mémoire de magister, université de Kasdi Merbah, Ouargla.

Aussel, H., Le Bâcle, C. et Dornier, G. (2004). Le traitement des eaux usées. L'institut national de recherche et de sécurité INRS. Éd 5026. Toulouse.

Bachi, O. (2010). Diagnostic sur la valorisation de quelques plantes du jardin d'épuration de la station du vieux Ksar de Témachine. Mémoire de magister, université de Kasdi Merbah, Ouargla.

Bailly, A. et Gautry, J. (2012). Phytoremédiation et phytoépuration : de nouvelles perspectives pour les taillis à courtes rotations. Institut technologique FCBA. France.

Baumont, S. (2006). Réutilisation des eaux usées épurées: risques et faisabilité en Ile de France. Rapport de stage. ENSAT. Toulouse.

Belahmadi, M. (2011). Étude de la biodégradation du 2, 4-dichlorophénol par le microbiote des effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d'ibn Ziad. Benelmouaz. Mémoire de magister, université de Mentouri, Constantine.

Références bibliographiques

Benamar, S. (2012). Les macrophytes : Bioindicateurs de la qualité écologique des eaux de rivière du bassin hydraulique du Sebou au Maroc. 10ème conférence européenne sur l'application de la directive cadre sur l'eau. Istanbul - Turquie.

Benelmouaz, A. (2015). Performances épuratoires d'une station d'épuration de Maghnia. Mémoire de master en hydraulique, Université de Abou Bekr BELkaid, Tlemcen.

Bensaber, I. et Ouali, G. (2014). La conception et le dimensionnement des filtres plantés de roseaux. Mémoire de licence, université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fès, Maroc.

Berland, J., Boutin, C. Molle, P. et Cooper, P. (2001). Guide des procédés épuratoires extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites collectivités. OIEau - Cemagref. France.

Bettach, A. (2013). Traitement des eaux usées domestique par bio dénitrification : effet du nitrate. Mémoire de fin d'études, université de Chouaib Doukkali, El jadida.

Bouhanna, A. (2014). Gestion des produits d'épuration des eaux usées de la cuvette de Ouargla et perspectives de leurs valorisations en agronomie saharienne. Mémoire de magister, Université de Kasdi Merbah, Ouargla.

Boutin, C., Caquel, O., Dimastromatteo, N., Dumaine, J., Fernandes, G., Claudia, C., Parotin, S., Prost boucle, S., Tschertter, C. (2015). Ouvrages de traitement par filtres plantés de roseaux. Guide d'exploitation. L'Office national de l'eau et des milieux aquatiques, Lyon.

Chouikh, A. (2011). STEP de N'Goussa une station 100% verte. Rapport Intervenant. L'ONA. Alger.

Dupont, D. (2008). L'assainissement écologique des eaux usées domestiques. Mémoire formation environnementale, ENSAL. Lyon.

El hachemi, O. (2012). Traitement des eaux usées par lagunage naturel en milieu désertique (oasis de figuig) : performances épuratoires et aspect phytoplanctonique. Thèse de doctorat, Université de Mohammed Premier Oujda, Maroc.

Godmaire, H. et Coté, S. (2006). Connaissez- vous cette espèce exotique envahissante ?. http://www.copernicinfo.qc.ca/Fiche_myriophylle_epi.pdf (Page consultée le 8 novembre 2013).

Références bibliographiques

Grison, C. (1999). Épuration des eaux usées par des filtres plantes de macrophytes. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse. France.

Hammadi, B., Bebbi, A., Hafouda, L. (2015). Jardins de filtres plantés de macrophytes, performances épuratoires dans un climat aride : Cas de la station pilote de Témacine. ElWahat pour les Recherches et les Etudes Vol.8 n°2. Ouargla.

Iwem, a A., Raby, D., Lesavre, J., Boutin, C., Dodane, P., Liénard, A., Molle, P., Merlin, G., Dap, S., Ohresser, C., Poulet, J., Reeb, G., Werckmann, M., Esser D. (2005). Épuration des eaux usées domestiques par filtres plantes de macrophytes. Agence de l'eau. Rhône.

Khemici, Y. (2014). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique d'une eau usée épurée par un lit de plantes. Mémoire de master, Université de Kasdi Merbah, Ouargla.

Makhoukh, M., Sbaa, M., Berrahou, A. et Clooster M. VAN. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued moulouya (maroc oriental). Larhyss Journal.

Medjdoub, T. (2014). Étude, Conception et dimensionnement d'une STEP par filtres plantés de roseaux des eaux usées des zones éparses de la commune de Terny. Mémoire de master en Hydraulique, Université de Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.

Méot, B. et Alamy, Z. (1990). Les eaux usées urbaines. Bureau de Recherches Géologiques et Minières. France.

Meteoblue (2017). Récupérée le 29 avril 2017, de https://www.meteoblue.com/fr/meteo/prevision/archive/adrar_alg%C3%A9rie_2508813?fcstlength=1y&year=2017&month=4.

Molle, P. (2012) Les filtres plantés de roseaux : Évolution de la recherche et tendances actuelles. Sciences Eaux and Territoires : la Revue du IRSTEA. France.

Moulin S., Rozen-rechels, D., Stankovic, M. (2013). Centre d'Enseignement et de Recherches sur l'Environnement et la Société. France.

Ouali, M. (2001). Cours de processus unitaires biologiques et traitement des eaux- 2^e éd. OPU.

Poulet, J.B., Terfous, A., DAP, S. et Ghenaim, A. (2004). Stations d'épuration à lits filtrants plantes de macrophytes. Courrier du Savoir – N°05. France.

Références bibliographiques

Rahmani, A. (2015). Épuration des eaux usées de la région de N'goussa (Ouargla) par des végétaux performances épuratoires. Mémoire de master, université Kasdi Merbah, Ouargla.

RECYCL'EAU (2014). Dispositif de traitement des eaux usées domestiques. Guide de l'usager. France.

Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., et Brunet, R. (2009). L'analyse de l'eau-9e éd. : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod.

Saggai, M. (2004). Contribution à l'étude d'un système d'épuration à plantes Macrophytes pour les eaux usées de La Ville de Ouargla. Mémoire de magister, Université de Ouargla.

Salghi, R. (2015). Chimie des eaux. École nationales des sciences appliquées. Agadir.

Snide (2004). Les techniques d'épuration naturelle. Service National d'Information et de Documentation sur l'Eau. France.

Stricker, A., Héduit, A. et Garnaud, S. (2010). Phosphore des eaux usées : nouvelles données, conséquences pour l'épuration. Office national de l'eau et des milieux aquatiques, France.

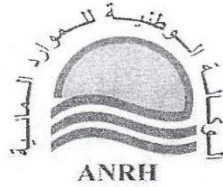
Tfyeche, L. (2014). Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées de Ouargla au cours de leur traitement. Mémoire de master professionnel, Université de Kasdi Merbah, Ouargla.

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, Ph., Schertenleib, R. et Zurbrügg, C. (2014). Compendium des systèmes et technologies d'assainissement. 2e Éd Revised Edition. Département Eau, Dübendorf. Suisse.

Youb, O. (2008). Épuration des eaux usées par lagunage naturel : Etude de la performance du Dispositif de traitement des eaux usées par Lagunage Naturel de Ain Ouarka Wilaya de Naama. Mémoire de magister, université d'Oran.

Annexes

Annexe 01 : Modèle des bulletins d'analyses des paramètres polluants des eaux à l'entrée et à la sortie de la STEP de M'ragurne.



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة الموارد المائية
MINISTÈRE DES RESSOURCES EN EAU
الوكالة الوطنية للموارد المائية
AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES
Créée par décret N° 81 / 167 du 25 juillet 1981 - Compte Trésorerie d'Alger N° 0019800065 clé 59
الفرع الجهوي للجنوب الغربي

Antenne Régionale Sud Ouest

NOM DU DEMANDEUR	ETUDIANT
ANALYSE DEMANDEE	A. POLLUTION
DATE DE RECEPTION	30-01-2017
DATE DE PRELEVEMENT	30-01-2017
N° DE LABORATOIRE	4465
DESIGNATION	EAU ENTREE 01 JARDIN FILTRANT MEREQUENE

RESULTATS D'ANALYSES

PARAMETRES PHYSICO - CHIMIQUE	RESULTATS	Minéralisation globales	Resultats
PH	8.17	Calcium mg/l	
Conductivité (ms/cm)	2.86	Magnesium mg/l	
Temperature Terrain °C	17.30	Sodium mg/l	
Turbidité eau brute Terrain (NTU)	20.00	Potassium mg/l	
Turbidité eau déc. (NTU)	-	Chlorure mg/l	-
Résidu sec à 110° (mg/l)	-	Sulfate mg/l	
MES (mg/l)	95	Bicarbonates mg/l	

PARAMETRES DE POLLUTION	RESULTATS	Minéralisation globales	Resultats
Ammonium NH4+ (mg/l)	2.51	TH (° FR)	-
Nitrite NO2- (mg/l)	0.45	TAC (° FR)	-
Nitrate NO3- (mg/l)	4.94	Minéralisat. (mg/l)	1773.20
O.Phosphates PO4 --- (mg/l)	37.64	Somme ions (mg/l)	-
Fluorure F-	-	SiO2 (mg/l)	-
Matières Organiques(mg/l O2)	41.00		
DCO (mg/l O2)	151.04		
DBO5 (mg/l O2)	148.00		

CHEF DU LABORATOIRE

Annexes

Annexe 02 : Les normes Algérienne de rejet des eaux usées.

Paramètre	Unité	Valeur limite
Température	°C	30
pH	-	6,5 à 8,5
MES	mg/l	35
DBO_5	mg _{O₂} /l	35
DCO	mg _{O₂} /l	120
PO_4^{3-}	mg/l	< 2
Couleur	-	Incolore
Odeur	-	Inodore

Source : (Journal officiel de la république Algérienne, 2006).

Annexe 03 : Les normes internationales de rejet des eaux usées selon l'organisation mondiale de la santé.

Paramètre	Unité	Valeur limite
NH_4^+	mg/l	0,5 mg/l
Nitrate NO_3^-	mg/l	< 1
Nitrite NO_2^-	mg/l	1

Source : (OMS, 1976).

Annexe 04 : Table de Mac-Grady.

Nombre Caractéristique	Nombre de Micro-organismes
000	0,0
001	0,3
010	0,3
011	0,6
020	0,6
100	0,4
101	0,7
102	1,1
110	0,7
111	1,1
120	1,1
121	1,5
130	1,6
200	0,9
201	1,4
202	2,0
210	1,5
211	2,0
212	3,0
220	2,0
221	3,0
222	3,5
223	4,0
230	3,0
231	3,5
232	4,0
300	2,5
301	4,0
302	6,5
310	4,5
311	7,5
312	11,5
313	16,0
320	9,5
321	15,0
322	20,0
323	30,0
330	25,0
331	45,0
332	110,0
333	140,0