

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hamma Lakhdar El-Oued

Faculté de technologie

Département d'hydraulique & de Génie Civil



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vu de l'obtention du Diplôme master (LMD) Professionnel en hydraulique

OPTION : Conception et Diagnostic des systèmes d'AEP et d'assainissement

THEME:

**Elimination de la matière organique
des eaux par infiltration-percolation
dans la région d'Oued Souf (SE Algérien)**

Dirigé par :

Enc: Dr.OUAKOUAK Abdelkader

Co-enc: M.GHEDEIR AMAR Hacem

Présenté par :

- MILOUDI Laid

- BECHE Brahim

Devant les membres de jury

- BOUCHEMAL Fettoum

- GUESSIR Belgacem

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

Dieu merci, tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous donné afin de terminer notre travail.

Je n'oublie de remercier mon père, que Dieu repose son âme, qui a travaillé si dur pour m'éduquer et a planté en moi l'amour de la science.

Mes remerciements et ma gratitude à ma chère mère.

À cette occasion, je remercie sincèrement mon professeur encadré, le Dr OUAKOUBAK Abdelkader Infatigable, qui nous a aidés avec ses conseils et recommandations utiles.

Je remercie également GHEDEIR AMAR Hacem pour sa contribution à l'achèvement de ce mémorandum.

J'offre également ma grande gratitude aux membres du jury pour avoir accepté de superviser l'évaluation de cette offre.

Merci à tous les employés du département d'hydraulique, les enseignants, les administrateurs et les travailleurs.

À tous ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin, merci.

Laid & Brahim

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو معرفة مدى نجاعة تقنية التوغل بالترشيح ، باستعمال أوعية ترشيح معبأة برمل الكثبان و نسب متفاوتة من الفحم الحبيبي النشط ، نزود الأوعية بمياه الصرف الصحي كمياه خام، ثم نقوم بتحليل المياه الناتجة عن الترشيح.

عملية تحليل نتائج المعايير الفيزيوكيميائية و البكتريولوجية للمياه الناتجة عن طريق الترشيح و مقارنتها بالمياه الخام أظهرت تحسن مردودية التصفية ، حيث أثبتت الدراسة فعالية هذه التقنية من خلال نزع الملوثات العضوية و جزء من الملوثات البكتيرية.

إن توفر رمال الكثبان و المساحات الشاسعة في المنطقة يدعونا الى الاهتمام بتقنية الترشيح بالتوغل ، الذي يندرج ضمن تأمين الموارد المائية مع إمكانية إعادة استعمال المياه المصفاة و المحافظة على البيئة.

الكلمات المفتاحية: تقنية الترشيح بالتوغل ، الفحم النشط ، المعايير الفيزيوكيميائية و البكتريولوجية ، إعادة استعمال المياه المصفاة.

Résumé

L'objectif de cette étude est de découvrir l'efficacité de la technique de l'infiltration percolation à travers des filtres à sables de dunes modifiés par des pourcentages de charbon actif granulé, les filtres sont alimentés par eau usée comme eau brute, puis nous analysons l'eau percolé.

Le processus d'analyse des résultats des normes physicochimiques et bactériologiques de l'eau résultant de la filtration et de la comparer à l'eau brute a montré un rendement de filtrage amélioré, comme l'étude a démontré l'efficacité de cette technique en éliminant les polluants organiques et un pourcentage des bactéries.

La disponibilité des sables des dunes et de vastes zones de la région nous invite à prêter attention à la technologie d'infiltration percolation, qui relève de l'évaluation des ressources en eau avec la possibilité de réutiliser l'eau filtrée et de préserver l'environnement.

Mots clés: Technique d'infiltration percolation, charbon actif, normes physicochimiques et bactériologiques, réutilisation de l'eau filtrée.

Abstract

The objective of this study is to discover the effectiveness of the technique of percolating infiltration through sand filters of dunes modified by percentages of activated granulated coal, the filters are fed by wastewater as raw water, and then we analyze the percolated water.

The process of analyzing the results of the water's physical and bacteriological standards resulting from filtration and comparing it with raw water showed improved filtering efficiency, as the study demonstrated the effectiveness of this technique in eliminating organic pollutants and a percentage of bacteria.

The availability of sand dunes and large areas of the region invites us to pay attention to percolating infiltration technology, which is the assessment of water resources with the possibility of reusing filtered water and preserving the environment.

Keywords: Percolating infiltration technique, activated charcoal, physical and bacteriological standards, reuse of filtered water.

Liste des Tableaux

Tab (I-1) : Répartition de la superficie, nombre d'habitant et la densité apparente par commune de la vallée du Souf	06
Tab (I-2): Les unités industrielles de la vallée du Souf	08
Tab (I-3): Les produits agricoles végétales les plus importants de la vallée du Souf	09
Tab (I-4): Les produits agricoles animales de la vallée du Souf	09
Tab (I-5) : Caractéristiques géographiques de station climatique de Guemar	10
Tab (I-6): précipitations moyennes mensuelles durant la période (1978-2017)	11
Tab (I-7): Répartition des moyennes annuelles de précipitation (1978-2017)	12
Tab (I-8): températures moyennes mensuelles durant la période (1978-2017).....	13
Tab (I-9):Répartition des moyennes annuelles de température (1978-2017)	14
Tab (I-10):Répartitions moyennes mensuelles de l'humidité (1978-2017)	16
Tab (I-11):Répartitions moyennes mensuelles de vitesse du vent (1978-2017)	17
Tab (I-12):Répartitions moyennes mensuelles d'insolation (1978-2017)	18
Tab (I-13):Répartitions moyennes mensuelles d'évaporation (1978-2017)	19
Tab (II.01):Valeurs des paramètres des eaux usées mesurés à l'entrée et la sortie de la STEP	27
Tab (III.1):Avantages et inconvénients du traitement physico–chimique	54
Tab (III.2):L'efficacité relative des traitements primaires, physico-chimiques et biologiques pour les principaux paramètres	56
Tab (III.3):Avantages et inconvénients du traitement par lits bactériens.....	59
Tab (III.4):Avantages et inconvénients du traitement par boues activées	61
Tab (III.5):Avantages et inconvénients du traitement par disque biologique	63
Tab (III.6):Avantages et inconvénients du traitement biologique par filtres planté de roseaux	67
Tab (III.7):Avantages et inconvénients du traitement biologique par infiltration-percolation	69
Tab (III.8):Avantages et inconvénients du traitement biologique par lagunage naturel	72
Tab (III.9):Avantages et inconvénients du traitement biologique par lagunage aéré...	74
Tab (V.4) : Variation temporelle du rendement épuratoire de la MES	111
Tab (V.2) : Variation temporelle du rendement épuratoire de la DBO5	112

Tab (V.3) : Variation temporelle du rendement épuratoire de la DCO	114
Tab (V.1) : Variation du rapport DCO/DBO5	115

Liste des figures

Fig.I.1:Situation géographique de la zone d'étude	05
Fig.I.2: Répartitions moyennes mensuelles interannuelles des pluies 1978/2017.....	11
Fig.I.3:Répartitions moyennes annuelles de précipitation (1978-2017)	12
Fig.I.4:Répartitions moyennes mensuelles de la température (1978-2017)	14
Fig.I.5:Répartitions des moyennes annuelles de température (1978-2017)	15
Fig.I.6:Répartitions moyennes mensuelles de l'humidité (1978-2017)	16
Fig.I.7:Répartitions moyennes mensuelles de vitesse du vent (1978-2017)	17
Fig.I.8:Répartitions moyennes mensuelles d'insolation (1978-2017)	18
Fig.I.9:Répartitions moyennes mensuelles d'évaporation (1978-2017)	19
Fig.I.10:Carte du relief de la région du Souf	20
Fig.I.11:Carte topographique de la vallée du Souf	21
Fig.III.1:Les techniques de traitement des effluents	46
Fig.III.2:Mécanisme de l'oxydation biologique aérobie	55
Fig.III.3:Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien	58
Fig.III.4:Schéma d'une station d'épuration à boues activées	60
Fig.III.5:Schéma d'une station d'épuration à disque biologique	62
Fig.III.6:Schéma de principe d'un disque biologique	62
Fig.III.7:Coupe transversale schématique d'un filtre planté de roseaux	65
Fig.III.8:Infiltration-percolation étanchée et drainée	68
Fig.III.9:Les mécanismes des bassins de lagunage naturel	72
Fig.IV.1: les différents composants du substrat des différents filtres	85
Fig (V.1) : variation temporelle d'O2 dissous (mg/l) dans les différents filtres.	103
Fig (V.2) : variation temporelle de la conductivité (ms/cm) dans les différents filtres	104
Fig (V.3) : variation temporelle de la DBO5 (mg/l) dans les différents filtres	105
Fig (V.4) : variation temporelle de la DCO (mg/l) dans les différents filtres	106
Fig (V.5) : variation temporelle de la MES (mg/l) dans les différents filtres	108
Fig (V.6) : variation temporelle de la turbidité (NTU) dans les différents filtres	109

Fig (V.7) : variation temporelle du rapport DCO/DBO5 dans les différents filtres ..	111
Fig (V.8):variation temporelle du rendement épuratoire de la DBO5 dans les différents filtres	113
Fig (V.9):variation temporelle du rendement épuratoire de la DCO dans les différents filtres	114
Fig (V.10):variation temporelle du rendement épuratoire de la MES dans les différents filtres	115

Liste des photos

Photo (III.1): Grille manuelle	47
Photo (III.2): Grille mécanique	47
Photo (III.3): Disques biologiques	62
Photo (III.4): Une station d'épuration à Lagunes aérées	73
Photo (IV.1): Gravier moyen taille	84
Photo (IV.2): Gravier petit taille	84
Photo (IV.3): Sable de dune	84
Photo (IV.4):Charbon actif en grain	84
Photo (IV.5) : Dispositif expérimental des différents filtres	86
Photo (IV.6): Réacteur	87
Photo (IV.7): Spectrophotomètre	87
Photo (IV.8):Réfrigérateur conservant.	89
Photo (IV.9): bouteille Fermé par DBO sensor	89
Photo (IV.10): DBO mètre	89
Photo(IV.11) : Etuve chauffée	90
Photo(IV.12): Dessiccateur	90
Photo (IV.13): Balance électrique (TP-303).	90
Photo (IV.14): Ensemble de filtration	90
Photo (IV.15): Oxy-mètre Hach HQ40d	92
Photo (IV.16) : Oxy-mètre (INOLABO-OXI 730 WTW).	92
Photo (IV.17): Conductimètre Terminal 740.	93
Photo (IV.18) : PH mètre (Sensi ON 1).	94

Liste des abréviations

DSA	Direction des services agricoles
MADR	Ministère de l'agricole et du développement rural
DRE	Direction des ressources en eau
ONS	Office national de statistique
APS	Algérie presse service
ONM	Office national de la Météorologique
ANRH	Agence nationale des ressources hydrauliques
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
AEP	Alimentation en eau potable
JORA	Journal Officielle de la république algérienne
OMS	Organisation mondial de la santé
STEP	Station d'épuration
T	Température
PH	Potentiel d'hydrogène
CE	Conductivité électrique
DBO₅	Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (mg/l)
DCO	demande chimique en oxygène (mg/l)
MO	Matière organique (mg/l)
MES	Matière en suspension (mg/l).
MVS	Matière volatiles en suspension (mg/l)
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nation
JOCE	Journal officiel des Communautés européennes
V	la vitesse ascensionnelle (m/s)
CEMAGREF	Centre d'Étude du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et Forêts Française.
PVC	Polychlorure de vinyle
CAG	charbon actif en grain

Sommaire

Remerciement	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des photos	
Liste des abréviations	
Sommaire	
Introduction générale	
PARTIE I : Bibliographique	
CHAPITRE I : Présentation de la zone d'étude	
I.1. Introduction	03
I.2. Aperçu historique sur la région d'Oued-Souf	03
I.3. Caractéristiques géographiques	05
I.3.1. Situation géographique de la zone d'étude	05
I.3.2. Situation démographique	06
I.3.3. Situation économique	07
I.4. Le Climat	09
I.4.1. Étude des paramètres climatiques	10
I.4.1.1. La pluviométrie	10
I.4.1.2. La température	13
I.4.1.3. L'humidité	15
I.4.1.4. Le vent	16
I.4.1.5. L'insolation	18
I.4.1.6. L'évaporation	18
I.5. Aperçu géomorphologique	19
I.5.1. Le relief	19
I.5.2. Topographie	21
I.6. Conclusion	22

CHAPITRE II : Les eaux usées : origine et impact	
II.1. Introduction	23
II.2. Définition des eaux usées	23
II.2. L'origine des eaux usées	24
II.2.1. Les eaux industrielles	24
II.2.2. Les eaux agricoles	25
II.2.3. Les eaux pluviales	25
II.2.4. Les eaux usées domestiques	26
II.3. Caractéristiques et composition des eaux usées	26
II.3.1. Éléments microbiologiques	28
II.3.1.1. Les bactéries	28
II.3.1.2. Les virus	28
II.3.1.3. Les protozoaires	28
II.3.1.4. Les helminthes	28
II.3.2. Matières en suspension MES	29
II.3.3. Substances nutritifs	29
II.3.3.1. La teneur en azote	30
II.3.3.2. Le phosphore	30
II.3.3.3. Le potassium	30
II.3.3.4. Le Chlore et le Sodium	30
II.3.3.5. Autres nutriments	30
II.3.4. Les micropolluants organiques et non organiques	30
II.3.4.1. Les micro-polluants non organiques	31
II.3.4.2. Les micro-polluants organiques	32
II.4. La pollution : risque et réglementation	32
II.4.1. La pollution par les eaux usées	33
II.4.1.1. Définition	33
II.4.1.2. Origine et type de la pollution par les eaux usées	33
a- Origine de la pollution	33
b- Types de la pollution	33
b.1. La pollution minérale	33
b.2. La pollution microbienne	34
b.2.1. Les virus	34
b.2.2. Les bactéries	34

b.2.3. Les protozoaires	34
b.3.La pollution chimique	35
b.4.La pollution physique	35
b.5.La pollution mécanique	35
b.6.La pollution thermique	35
b.7.La pollution radioactive	35
b.8.La pollution par hydrocarbures	36
II.4.1.3. Les différents paramètres de la pollution	36
a. Les paramètres physiques	36
a.1.La température	36
a.2.La conductivité	36
a.3.Salinité	36
a.4.Les Matières en suspension (MES)	37
a.5.Les matières volatiles sèches (MVS)	37
a.6.La couleur et l'odeur	37
a.7.La turbidité	37
b. Les paramètres chimiques	37
b.1.Le pH (potentiel hydrogène)	37
b.2.Demande biologique en oxygène en 5 jours (DBO5)	37
b.3.Demande chimique en oxygène (DCO)	37
b.4.Relation entre DCO et DBO5	37
c. Eléments toxiques	38
d. Les nutriments (Azote, phosphore)	38
II.4.2. Risques de la pollution par les eaux usées	38
II.4.2.1. Risque sur l'environnement	38
a- Effets sur le sol	38
b- Effets sur les eaux souterraines	39
c- Effet sur les eaux superficielles	39
II.4.2.2. Risque sur la santé humaine	39
II.4.3. La Règlementation	39
II.4.3.1. Les normes de L'OMS	40
II.4.3.2. Les normes Européenne	41
II.4.3.3. Les normes Algérienne	41
II.5. Conclusion	42

CHAPITRE III : Procédés d'épuration des eaux usées	
III.1. Introduction	43
III.2. Procédé d'épuration d'eaux usées:	43
III.2.1. Les déversements d'eaux usées dans le milieu naturel	43
III.2.2. La nécessité de l'épuration	43
III.2.3. Les stations d'épuration (STEP)	44
III.2.4. Critères de choix du procédé d'épuration	44
III.3. Etapes d'épuration des eaux usées	44
III.3.1. Prétraitement	46
III.3.1.1. Dégrillage	46
a)-Grilles manuelles	47
b)-Grilles mécaniques	47
III.3.1.2. Dessablage	48
A. Chambres de décantation	48
A.1. Chambres à extraction mécanique	48
A.2. Chambres à extraction hydraulique	48
B. Dessableurs	49
B.1. Les dessableurs à écoulement lent	49
B.2. Les dessableurs à écoulement rapide	49
III.3.1.3. Déshuilage- dégraissage	51
III.3.2. Traitement primaire	52
III.3.2.1. Décantation primaire	52
a. Décantation classique	53
b. Décantation lamellaire	53
3.2.2. Traitement physico-chimique	53
1- La coagulation	54
2- La floculation	54
3- La neutralisation	54
4- La décantation	54
III.3.3. Traitement secondaire	54
III.3.3.1. Traitement biologique	55
a. Les procédés biologiques intensifs	56
a.1. Lit bactérien	56
a.1.1. Principe de fonctionnement	57

a.1.2. Les lits bactériens Selon la nature de matériau	57
1.Les lits bactériens traditionnels	57
2.Les lits bactériens modernes	57
3.Les lits bactériens composés	57
a.1.2. Les lits bactériens Selon la charge de l'effluent :	58
1.Les lits bactériens à faibles charges :	58
2. Les lits bactériens à moyenne charges :	58
3.Les lits bactériens à hautes (forte) charges :	58
a.2. Procédé de boues activées	59
a.2.1.Principe de fonctionnement	60
a.3. Procédé de disques biologiques	61
a.3.1.Principe de fonctionnement	62
b. Les procédés biologiques extensifs	63
b.a.Les points communs	64
b.b.La palette technique des options	64
b.1. Procédé des filtres plantés de roseaux	64
b.1.a. Principe de fonctionnement	64
b.1.b. Filière de traitement	64
b.2.Procédé des lits d'infiltration-percolation sur sable	64
b.2.a.Principe de fonctionnement	65
b.3. Procédé de lagunage	67
b.3.a. Principe de fonctionnement	67
b.3.1. Le lagunage naturel	68
b.3.2. Le lagunage aéré	73
b.3.3. Le lagunage anaérobie	74
III.3.3.2. Décantation secondaire	75
III.3.4. Traitement tertiaires	76
III.3.4.1. Élimination de l'azote et de phosphore	77
III.3.4.1.1. Élimination de l'azote	77
a. 1. Nitrification-dénitrification	77
a. 2. Résine échangeuses d'ions	78
III.3.4.1.2. Élimination du phosphore	79
III.3.4.2. Adsorption	80
III.3.4.3. Les procédés de désinfection	80
a. La chloration	80

b. L'ozonation	80
c. Les rayons ultraviolets	81
III.4. Conclusion	81
PARTIE II : Expérimentale	
CHAPITRE IV : matériels et méthodes	
IV.1 Introduction	82
IV.2 But Principal	82
IV.3. Principe expérimental et fonctionnement	83
IV.4. Prélèvement et échantillonnage	83
IV.5. Matériels d'étude	84
IV. 5.1 Matériels de l'essai	84
IV.5.2. Les eaux usées	85
IV.6.Méthode d'étude	85
IV.6.1.Dispositif expérimental	85
IV.6.2.Méthode de dosage des paramètres physicochimique	86
IV.6.2.1.Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)	87
IV.6.2.2.Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5)	88
IV.6.2.3.Détermination des matières en suspension (MES)	90
IV.6.2. .Détermination de l'oxygène dissous	91
IV.6.2.5.Détermination de la conductivité électrique	92
IV.6.2.6.Détermination du pH et de la Température	93
IV.6.2.7.Détermination du nitrite (NO ₂ -)	94
IV.6.2.8.Détermination de l'ammonium (NH ₄ ⁺)	95
IV.6.2.9.Détermination du nitrate (NO ₃ ⁻)	95
IV.6.2.10.Métaux lourds	95
IV.6.3.L'analyse bactériologique	96
IV.6.3.1.Les coliformes totaux	98
IV.6.3.2.Escherichia coli	99
IV.7. Conclusion	99
CHAPITRE V : Résultats et Discussions	
V.1. Introduction	100
V.2.Principe du traitement et objectifs	101
V.3.Mécanisme de colmatage	101
V.4. Rendement épuratoire	101

V.5. Résultats et discussions des paramètres analysées	102
V.5.1.Oxygène dissous	102
V.5.2.Conductivité électrique	103
V.5.3.Demande biochimique en oxygène DBO5	105
V.5.4.Demande chimique en oxygène DCO	106
V.5.5.Matières en suspension	107
V.5.6. Turbidité	109
V.5.7.La performance des filtres	110
V.5.7.1.Le rapport de biodégradabilité DCO/DBO ₅	110
V.5.7.2.Discussion du rendement épuratoire des filtres	112
V.5.7.2.a. Rendement de la demande biochimique en oxygène DBO5	112
V.5.7.2.b. Rendement de la demande chimique en oxygène DCO	114
V.5.7.2.c. Rendement de la matière en suspension MES	115
V.6.Conclusion	116
Conclusion générale	
Références bibliographiques	
Annexe	

Introduction générale

L'eau est indispensable à la vie et tous les hommes doivent disposer d'un approvisionnement satisfaisant en eau (suffisant, sûr et accessible). Un meilleur accès à une eau de boisson saine peut se traduire par des bénéfices tangibles pour la santé. Tous les efforts doivent être consentis pour obtenir une eau de boisson aussi saine que possible.

Selon la définition qui en est donnée par les Directives de l'OMS, une eau de boisson saine ne présente aucun risque notable pour la santé d'une personne qui la consommerait sur toute la durée de sa vie, compte tenu des variations de sensibilité éventuelles aux différents stades de la vie.

Depuis les années 1960 l'administration chargée de l'eau de Oued Souf a recouru des eaux souterraines profondes (nappe du Complexe terminal et du Continental intercalaire) pour l'alimentation en eau potable et à l'irrigation, ainsi que celles destinées pour les besoins industriels. Au cours de cette même période, la région a été témoin de l'émergence du phénomène de remontée des eaux.

La vallée du Souf est une unité de ressource en eau, elle est située au Sud-est algérien, elle occupe une superficie de 11.738 km², représentée administrativement par 18 communes, et englobe un nombre de population de 566.245 habitants. L'économie de la région est essentiellement basée sur la phoeniciculture dont une grande partie localisée dans les ghouts qui avoisinent le nombre de 10 000, mais malheureusement nombreux de celles se sont détériorés en raison de l'inondation par le phénomène de la remontée des eaux.

Les eaux usées peuvent concourir non seulement à la destruction de la faune et de la flore mais également à la pollution des nappes aquifères dans lesquelles l'homme puise une part de son eau potable. C'est la raison pour laquelle il est indispensable de traiter les eaux usées. Dans ce cadre l'État a mis en place un programme de construction de trois stations d'épuration des eaux usées résiduaires.

Il existe différents types de procédés de traitement des eaux usées, lequel le plus utilisé est le procédé biologique. Parmi de ces méthodes est l'infiltration percolation qui consiste à faire passer l'effluent à traiter à travers un sol hautement perméable (10 à 30 cm/jour). C'est une méthode non couteuse, simple et fonctionnelle.

Introduction générale

Notre travail pour objectif d'étudier des filtres à sable de dune disponible largement dans la région, modifiées par l'ajout d'une quantité bien déterminé du charbon actif en grains. Les filtres alimentés par des eaux usées, dont le but principal s'articule à la possibilité d'améliorer le pouvoir épuratoire des filtres biologiques par combinaison avec un matériau adsorbant.

Les résultats des eaux traitées par les filtres étudiées seront comparés aux valeurs obtenus en utilisant un filtre témoin. De plus, les résultats sont comparés aux normes algériennes pour les eaux usées épurées.

Pour atteindre les objectifs souhaités de ce mémorandum, nous avons divisé ce travail en cinq chapitres comme suit :

- Présentation de la zone d'étude
- Les eaux usées : Origine et impact
- Procédés d'épuration des eaux usées
- Matériels et méthodes
- Résultats et Discussions.

PARTIE I
Bibliographique

CHAPITRE I

*Présentation de la zone
d'étude*

I.1. Introduction

Il est extrêmement important de concevoir l'étude du milieu comme une étude d'éléments non figés, arrêtés, mais vivants. Le sol vit, les plantes vivent, le climat évolue, les rapports complexes qui naissent de l'exploitation des ressources du milieu par l'homme sont en perpétuelle transformation. L'homme, étudié par la géographie, appartient aussi à l'histoire. L'étude du milieu est donc une étude du vivant. Voilà un principe à ne jamais oublier (GRENIER, 1958).

I.2. Aperçu historique sur la région d'Oued-Souf

Souf est un mot berbère qui à la même signification en arabe que le mot Oued. L'expression "Oued Souf" a donc la particularité de répéter deux fois le même terme mais en 2 dialectes distincts. Ces 2 expressions signifient fleuve en français...

La région ayant une identité spécifique, mais dont l'histoire est très mal connue. Sa population métissée comprend des descendants d'ancêtres nomades de Troud et Adouane venus du Yémen mêlés à des populations Zénètes préexistantes. (KHECHANA, 2007).

Le Souf est un groupe d'oasis comprises dans un triangle dont la base au Nord à environ 25 kilomètres par 33°35' de latitude Nord, et dont la hauteur est à peu près de 37 kilomètres. Toute cette superficie n'est pas cultivée. Les oasis sont discontinues, formant plusieurs groupes séparés par les avancées Nord du Grand Erg oriental. Les deux groupes principaux sont ceux d'El-oued- Guémar et de Zgoum-Béhima*, accompagnés de petites oasis secondaires à l'Est et à l'Ouest (M.Agier, 1949).

Ces oasis semblent se répartir sur les branches plus ou moins divergentes d'une nappe aquifère souterraine, peut être héritière d'un oued superficiel (d'où le nom du chef-lieu). Cette nappe abondante est de plus en plus profonde vers le Sud. Elle est à 7 ou 8 m à Guémar, à 14 ou 15 m à El-Oued et peut se trouver à 20 mètres de profondeur dans les villages au Sud d'El-Oued.(M.Agier,1949). Le souf est aussi le pays des roses des sables, des fennecs et des tapis de haute laine ou en poil de chameau.

El Oued: la ville aux mille coupoles, capitale du Souf, l'architecture s'y distingue de celle des autres villes sahariennes. Au lieu de terrasses, ce sont des coupoles qui coiffent les maisons.

* Behima : ex nomination, aujourd'hui s'appelle Hassani Abdelkrim.

Mais ses efforts ne sont pas vains car le sol riche et l'ensoleillement maximal du Souf joignent leurs vertus à celle du Ghout pour produire des dattes qui, avec celles de la région de Biskra, sont parmi les plus réputées au monde. Nombre de palmeraies jouissant d'une eau douce peuvent se permettre de cultiver la variété "Dégla", exigeante mais lucrative car exportée. La seule connue en Europe est la Déglat-Nour (doigt de lumière) (KHECHANA,2007).

Du milieu de XXème siècle jusqu'aux années 1980, on assistait à « *la mort du paysage agraire* ». Le système ingénieux de Ghout a connu des périodes difficiles qui ont pesé lourdement sur son existence (Côte, 1998 ; Remini, 2006). Des initiatives de renouvellement de patrimoine phoenicicoles et la recréation de ghouts ont été initié par l'Etat par la création de nouveaux périmètres et le financement de plantation, et aussi par les privés qui ont investie dans ce créneau (Côte, 2002).

Durant la dernière décennie dans la région du Souf, et contrairement à certaines régions sahariennes qui souffrent d'un manque d'eau, la région souffre d'un problème de remontée de la nappe phréatique. Les premiers habitants de cette région utilisaient uniquement les eaux de la nappe superficielle, mais avec la croissance démographique et économique qu'a connu cette région, et le développement des techniques des forages, ils ont eu recours à l'exploitation des nappes profondes ces dernières années, parallèlement à cela, on assiste à la remontée des eaux dans les ghout (NECIB, 2000).

Le phénomène a pris des dimensions très alarmantes ces dix dernières années, contribuant au dépérissement des palmiers, dont les conséquences sont très négatives sur le plan économique et social.(BERRAH Said,2001).

Depuis les années 2000, la région de Souf (El Oued) a connu un impressionnant développement agricole. Cette dynamique agricole est liée au développement de cultures maraîchères de pleins champs, pomme de terre avec le début d'essor de la tomate, essentiellement porté sur les terres de mise en valeur agricole relevant formellement du domaine privé de l'Etat.

Le Souf est le premier fournisseur de marché nationale en pomme de terre, à hauteur de 40% (MADR, 2015). Sur une période de quinze ans (1999-2015) la production maraîchère se multiplie par 98 fois, ce qui est faramineuse (DSA, 2015).

L'introduction de ces cultures irriguées dans ces zones a transformé les terres désertiques en un nouvel Eldorado agricole (Ouendeno, 2019).

I.3. Caractéristiques géographiques

I.3.1. Situation géographique de la zone d'étude

El-Oued c'est la région du bas Sahara, il est un petit morceau d'un immense territoire géomorphologique qui constitue le grand Erg oriental, vaste étendue de sable 200.000 km².

La Wilaya d'El-Oued est située au Sud-Est de l'Algérie, 700 km au Sud- Est d'Alger, elle est l'une des collectivités administratives les plus étendues du pays avec une superficie de 44586.80Km².

La wilaya d'El Oued est délimitée :

- Au nord, par les wilayas de Tébessa et Khenchela ;
- Au nord et au nord-ouest par la wilaya de Biskra ;
- Au sud et au sud-est par la wilaya d'Ouargla et l'est par la Tunisie (300 km environ de frontière). (Fig.I.1)

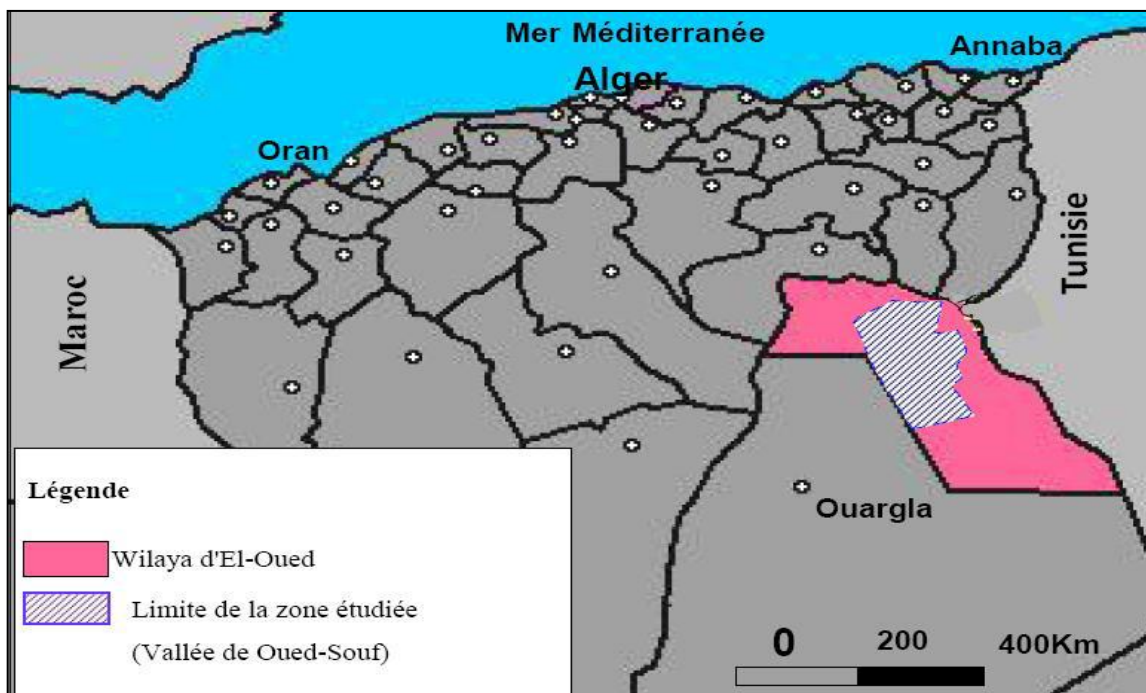


Fig.I.1. Situation géographique de la zone d'étude.

L'aire d'étude représente la vallée du Souf, par :

X1 =06° 32' 03" E et X2 =07° 03' 13 " E,

Y1 =33° 08' 48" N et Y2 =33° 52' 39" N.

La vallée de Souf ce n'est pas un bassin versant mais une unité de ressource en eau qui est délimitée :

- Au Sud par la mer de dunes du grand erg oriental.
- Au l'Est par une série de chotts.
- Au l'Ouest par l'Oued Righ et par la ligne de palmeraie qui court de Biskra à Touggourt (DRE, 2017).

I.3.2. Situation démographique

El Oued devint une commune depuis 1957, une wilaya depuis janvier 1984, ce découpage a pour but de faciliter les conditions de vie sociale, culturelle, professionnelle et de limiter les difficultés dues à l'isolement, aujourd'hui elle se repose sur une superficie égale à 54.573 km² divisé en 30 communes avec une population de 791 000 habitants et une densité de 14.49 hab/km² , le taux d'accroissement de population égale à 3,4 %, selon le recensement de l'ONS de 2017.

Tab (I- 1): Répartition de la superficie, nombre d'habitant et la densité apparente par commune de la vallée du Souf , Wilaya d'El-Oued				
N°	Commune	Population (hab)	Superficie (km²)	Densité (hab/km²)
1	El Oued	163.555	77	2.124,09
2	Kouinine	12.610	116	108,71
3	Réguiba	50.460	1.966	25,67
4	Guemar	49.325	1.264	39,02
5	Taghzout	16.600	539	30,80
6	Ouermés	6.655	443	15,02
7	Débila	30.015	78	384,81
8	Hassani Abdelkrim	28.335	58	488,53
9	Hassi Khelifa	38.235	1.112	34,38
10	Trifaoui	10.120	474	21,35
11	Magrane	28.780	618	46,57
12	Sidi Aoun	14.315	480	29,82
13	Robbah	26.570	499	53,25
14	Nakhla	15.845	700	22,64

15	El Ogla	7465	1.352	5,52
16	Bayadha	38.990	139	280,50
17	Oued el Alenda	7.720	712	10,84
18	Mih Ouensa	20.650	1.111	18,59
Total		566.245	11.738	48,24

(ONS, 2017)

La vallée du Souf occupe une superficie de 11,738 km², représentée administrativement par 18 communes, et englobe un nombre de population de 566,245 habitants, avec une densité de 48,24 hab/km².

I.3.3. Situation économique

Les manifestations de la vie quotidienne traduisent un système d'organisation qui tient compte des possibilités économiques, de la vocation agricole, commerciale et artisanale. Si nous voyons successivement les principales activités, nous donnons un aperçu général sur l'économie du Souf. Celles-ci s'articulent autour de l'agriculture, qui sera étudiée en premier lieu et les activités des transformations et commerciales qui sont traitées par la suite :

I.3.3.1. L'artisanat

El Oued à toujours était un centre artisanal, notamment pour les objets liés à l'ancienne technologie de l'agriculture. On note les activités artisanales, il s'agit des tailleurs, des tapissiers, des maçons, des cordonniers, des menuisiers, des bijoutiers, des forgerons.

I.3.3.2. Le commerce

Tout soufi est commerçant dans l'âme, la ville d'El-Oued compte 7000 registres de commerces, et 10000 l'ensemble du souf. Grâce à la position géographique entre trois pays (Algérie, Tunisie, Libye), le souf a acquis une position stratégique exceptionnelle, on peut dire que la ville d'El Oued est un centre d'échange commercial, très actif, ainsi elle constitue le centre d'achat de toute la région du souf d' où l'importance de son marché. Cette activité commerciale se traduit également par le grand axe commerçant qui, sur plus de 15km, s'allonge le long de la Route Nationale de Kouinine-Robbah où la densité

commerciale y est forte au centre 15 à 20 établissements pour 100 m pour décroître vers les extrémités 4 à 5.

1.3.3.3. L'industrie

Dans la foulée du commerce, un phénomène tout nouveau est apparu à El-Oued, l'industrie, depuis la décennie 1980, de petites unités privées se sont installer. On note des activités industriels dans cinq branches essentiels: les parfums et cosmétique, l'agroalimentaire, les plastique, les matériaux de construction, les boissons. Aujourd'hui plus de 16000 personnes travaillent dans l'industrie (Abidi et Touati, 2018).

Unité	Quantité	Unité	Quantité	Unité	Quantité
Parfums et cosmétique	20	Transformation aluminium	06	déminéralisation d'eau	02
Transformation du plastique	15	Insecticides et détergents	04	Fabrication de peinture	01
Fabrication carrelage	07	Semoulerie, pâtes alimentaire	03	Fabrication des boissons	01

(Abidi et Touati, 2018)

1.3.3.4. L'agriculture

La Wilaya d'El Oued dispose d'une superficie agricole totale égale à 4.458.680 Ha, mais la superficie réellement exploitée est 2.866.811 Ha, la superficie irriguée est égale à 54.534 Ha. L'agriculture est la principale activité dans la région d'El-Oued, comme culture dominante, la Pomme de terre, la tomate, le tabac (Guemar), le Palmier dattier dans les ghouts. (DSA, 2015).

Elle occupe ainsi la deuxième place du pays avec un revenu financier de 132,4 milliards de dinars algériens (MOUSTEFAOUI ,2017).

Tab (I- 3): Les produits agricoles végétales les plus importants de la vallée du Souf , Wilaya d'El-Oued

Produit	Quantité (QX)	Surface (ha)	% de la production nationale
Pomme de terre	15.000.000	40.000	45
Arachide	120.000	4.000	80
Datte	3.000.000	36.335	25
Tomate	750.000	2.500	5
Tabac	70.000	2.500	60
Céréales	446.000	11.100	0.74

(DSA et APS ,2018)

L'élevage est une autre activité qui se répartie comme suit :

Tab (I- 4): Les produits agricoles animales de la vallée du Souf , Wilaya d'El-Oued

Produit	Quantité (tête)	Produit	Quantité
Ovin	500.000	viande rouge	4.700 tonnes/an
Caprin	153.000	viande blanche	2.240 tonnes/an
Camelin	27.300	Œufs	27561270 OŒufs/an
Bovin	4,700	Lait	44.000.000 litres/an

(DSA,2018)

I.4.Le Climat

Au préalable, il faut distinguer la météorologie et la climatologie. La météorologie est l'étude et la prévision des phénomènes atmosphériques sur des périodes courtes et pour des espaces géographiques limités. Les informations traitées sont donc ponctuelles. La climatologie étudie les familles de conditions météorologiques susceptibles d'affecter les différentes régions sur des périodes de temps longues. Elle fait appel aux diverses sciences de la nature : géographie, géologie, physique, chimie...

Sous le nom de climat, on distingue deux notions différentes. La plus classique, celle apprise dans les cours de géographie, résulte d'une approche spatiale : la Terre est découpée en zones climatiques en fonction des conditions météorologiques qui y règnent aux différentes saisons. L'autre acception du mot climat correspond à une approche tempo-

relle globale : on s'intéresse aux modifications des conditions météorologiques intégrées sur l'ensemble du globe et sur le long terme (30 ans). C'est dans ce deuxième sens qu'il faut le prendre dans notre étude, qui a pour objet la compréhension du fonctionnement du climat global. Le climat joue un rôle essentiel dans la morphologie du relief, sur la végétation, la genèse et le type des sols et sur les activités agricoles.

L'objectif principale de toute étude climatologique est l'établissement pour une période donnée un bilan hydrique dont l'état de l'atmosphère peut se caractériser par la mesure des différentes grandeurs physiques comme la température, les précipitations, l'humidité, le vent,.....etc.

Le climat algérien est caractérisé par sa grande variabilité de précipitations et des températures annuelles, cette variation est due essentiellement aux irrégularités topographiques et aux influences opposées de la Méditerranée et du Sahara.

Le climat de la région est de type saharien caractérisé par un été chaud et sec et un hiver doux. Les principales contraintes climatiques restent la fréquence régulière des vents et leur violence connue sous le nom de Sirocco ainsi que des vents de sables durant le printemps.

Pour analyser les paramètres climatiques, on a sélectionné la station Météorologique de l'ONM (Office National Météorologique) de l'aéroport de Guemar qui représente la seule station existante dans la zone d'étude.

Ces données sont choisies durant une période de 40 ans (1978-2017).

Tab (I-5) : Caractéristiques géographiques de station climatique de Guemar				
Caractéristiques	Code A.N.R.H	Altitude	Longitude	Latitude
Station de Guemar	13 04 09	64m	06°47'E	33°30'N

I.4.1. Étude des paramètres climatiques

I.4.1.1. La pluviométrie

La précipitation est un facteur fondamental pour caractériser le climat d'une région. Ce terme précipitation désigne des cristaux de glace ou des gouttelettes d'eau qui, ayant été soumis à des processus de condensation et d'agrégation à l'intérieur des nuages, sont devenus trop lourds pour demeurer en suspension dans l'atmosphère et tombent au sol.

I.4.1.1.a. précipitation moyenne mensuelle

Le Tab (I-6) ci-dessous donne les précipitations moyennes mensuelles observées durant la période (1978-2017) (BEKKARI- S,ZIDI-A,2019).

Tab (I-6): précipitations moyennes mensuelles durant la période (1978-2017)													
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	P cumul
P (mm)	6.02	7.05	7,95	6.36	14.92	5.43	8.41	07,91	4.79	01,55	0,25	01,94	72.58

(O.N.M, 2018)

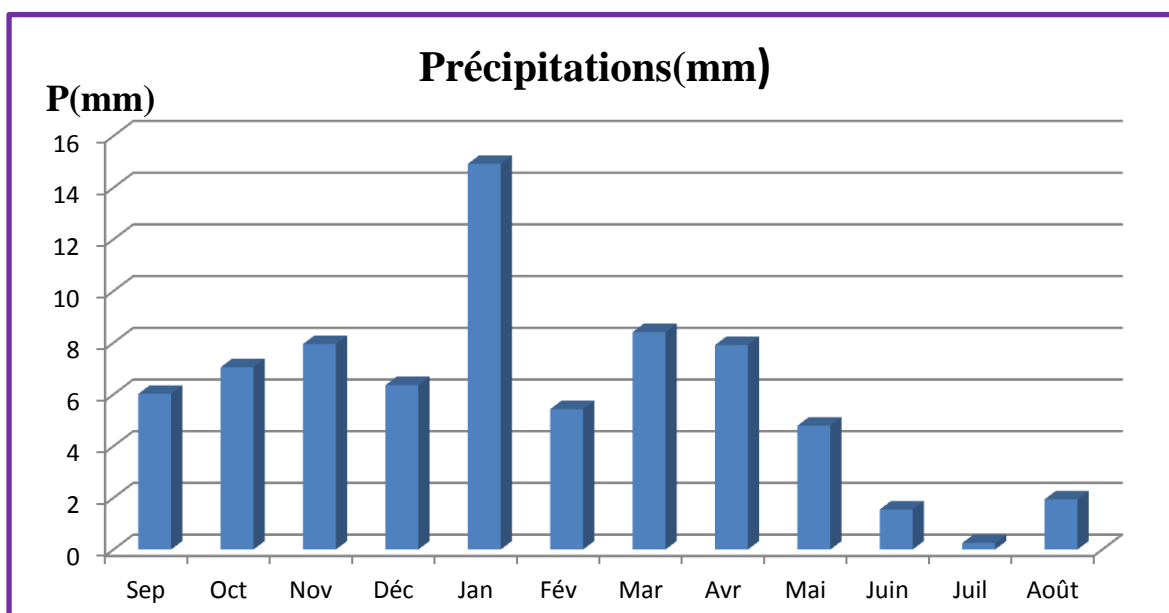


Fig.I.2. Répartitions moyennes mensuelles interannuelles des pluies 1978/2017. (O.N.M,2018)

Ce graphe montre une variabilité des précipitations dans le temps, d'où la pluviométrie maximale est de l'ordre de 14.92 mm enregistré pendant le mois de janvier, et le minimum est de l'ordre de 0.25 mm enregistré pendant le mois de juillet, la précipitation annuelle est 72,58 mm. La pluviométrie est remarquée souvent en grande partie à la fin de l'automne et au début de l'hiver, alors que le reste des saisons est peu pluvieux, à l'exception de quelques gouttelettes inutiles pour la végétation.

I.4.1.1.b. Evaluation moyenne annuelle des pluies : Afin de mieux visualiser l'année la plus pluvieuse durant la période d'observation, nous avons calculé les précipitations moyennes annuelles dont les résultats sont regroupés dans le Tab (I-7) : La répartition moyenne annuelle de précipitation est schématisée en figure Fig.I.2.

Tab (I-7): Répartition des moyennes annuelles de précipitation (1978-2017)

Année	PP	Année	PP	Année	PP	Année	PP
1978	79.1	1988	43.4	1998	76.8	2008	35
1979	97.2	1989	62.5	1999	153.7	2009	196.6
1980	91.5	1990	179.9	2000	79.6	2010	53.3
1981	62.3	1991	75.9	2001	31.1	2011	33.7
1982	64.4	1992	69	2002	52.5	2012	26.6
1983	47.4	1993	38	2003	62.5	2013	35.3
1984	36.4	1994	66.8	2004	115.1	2014	29.7
1985	60.7	1995	27.3	2005	94.7	2015	53
1986	61.4	1996	161.3	2006	124.6	2016	35
1987	73.4	1997	36	2007	68.4	2017	119
moyennes annuelles de précipitation (1978-2017) ----->							72.58

(O.N.M, 2018)

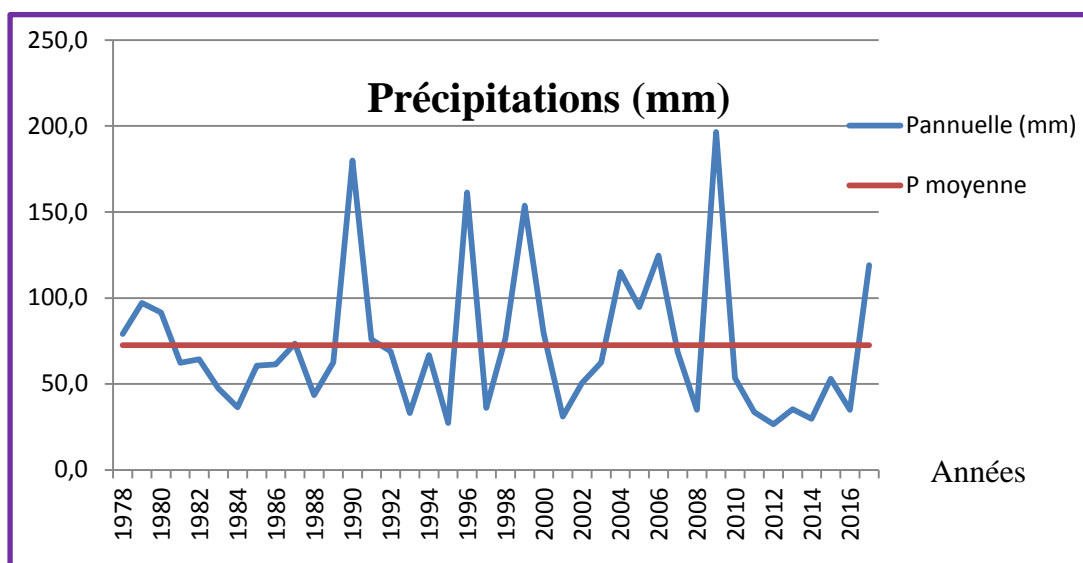


Fig.I.3. Répartitions moyennes annuelles de précipitation (1978-2017).(O.N.M,2018)

L'analyse de la courbe de répartition moyenne annuelle, permet de tirer les particularités suivantes :

Les modules pluviométriques généralement sont faibles, ils varient entre 26.6 mm en 2012 à 196,6 mm en 2009. La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 72.58 mm, la station de Guemar a enregistré 15 années des précipitations supérieures à la moyenne et

25 années au-dessous de la moyenne. L'allure de la courbe de répartition interannuelle est pratiquement identique.

D'après DUBIFE, 1963, les régimes des précipitations sont différents et ce selon les saisons : durant l'été elles sont dues aux dépressions de Mousson, en hiver leur provenance est due aux dépressions accompagnants la migration vers le sud des fronts polaires, alors que pendant la période intermédiaire, ces précipitations sont dues aux dépressions Soudano-Sahariennes du sud vers le nord) KHECHANA, 2014).

I.4.1.2. La température

La température dans cette région est constamment variable. Les écarts entre la nuit et le jour dépassent parfois 21°C. À l'ombre, les minimax de températures progressent régulièrement de 3°C à 25°C, alors que les maxima de 15°C à 40°C et c'est selon la durée de l'ensoleillement. Ces valeurs sont élevées entre le début du mois de Janvier et la fin du mois de Juillet.) (BEKKARIS,ZIDI.A,2019).

I.4.1.2.a. les températures moyennes mensuelles

Tab (I-8): températures moyennes mensuelles durant la période (1978-2017)													
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	T moy
T (°C)	28.66	21.95	15.55	11.13	10.71	13.11	15.81	20.26	25.08	30.03	33.18	32.89	21.53

(O.N.M, 2018)

Ce Tab montre une variabilité de température dans le temps sur une période de 40 ans : La période qui s'étale du mois de Novembre au mois d'Avril correspond à la période froide avec un minimum durant le mois de janvier 10.71°C, alors que la période chaude commence à partir du mois de mai jusqu'au mois de Septembre avec un maximum de température relevé pendant le mois de Août 32.89°C, la moyenne annuelle est de l'ordre de 21.53°C.

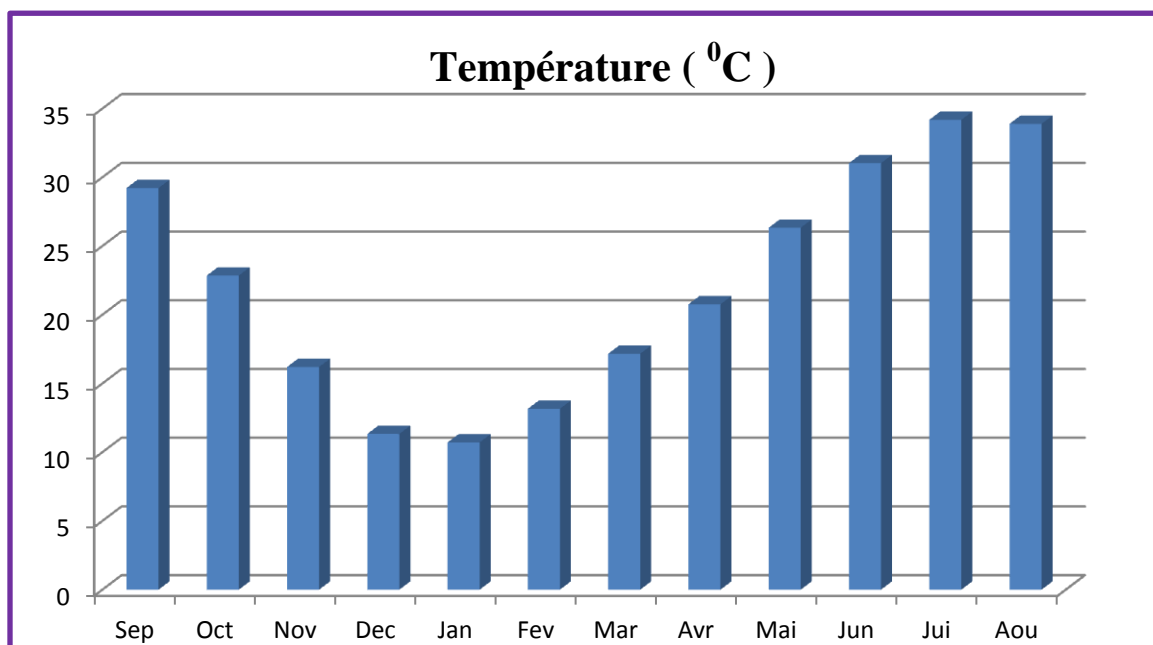


Fig.I.4. Répartitions moyennes mensuelles de la température (1978-2017). (O.N.M, 2018)

I.4.1.2.b. Les températures moyennes annuelles : Le Tab I.9 et la figure I.5 présentent la répartition moyenne annuelle de température sur la même période (1978-2017).

Année	T	Année	T	Année	T	Année	T
1978	20,23	1988	20,64	1998	21,63	2008	22,47
1979	20,55	1989	20,95	1999	21,97	2009	22,30
1980	20,39	1990	20,90	2000	21,92	2010	23,10
1981	20,40	1991	19,93	2001	22,35	2011	22,50
1982	20,48	1992	21,00	2002	22,17	2012	22,40
1983	20,83	1993	21,06	2003	22,10	2013	22,20
1984	20,43	1994	20,97	2004	22,22	2014	23,30
1985	20,01	1995	20,67	2005	22,18	2015	22,20
1986	20,43	1996	21,36	2006	22,43	2016	23,10
1987	20,79	1997	21,83	2007	22,31	2017	22,50
moyenne annuelle				21,53	(ONM, 2018)		

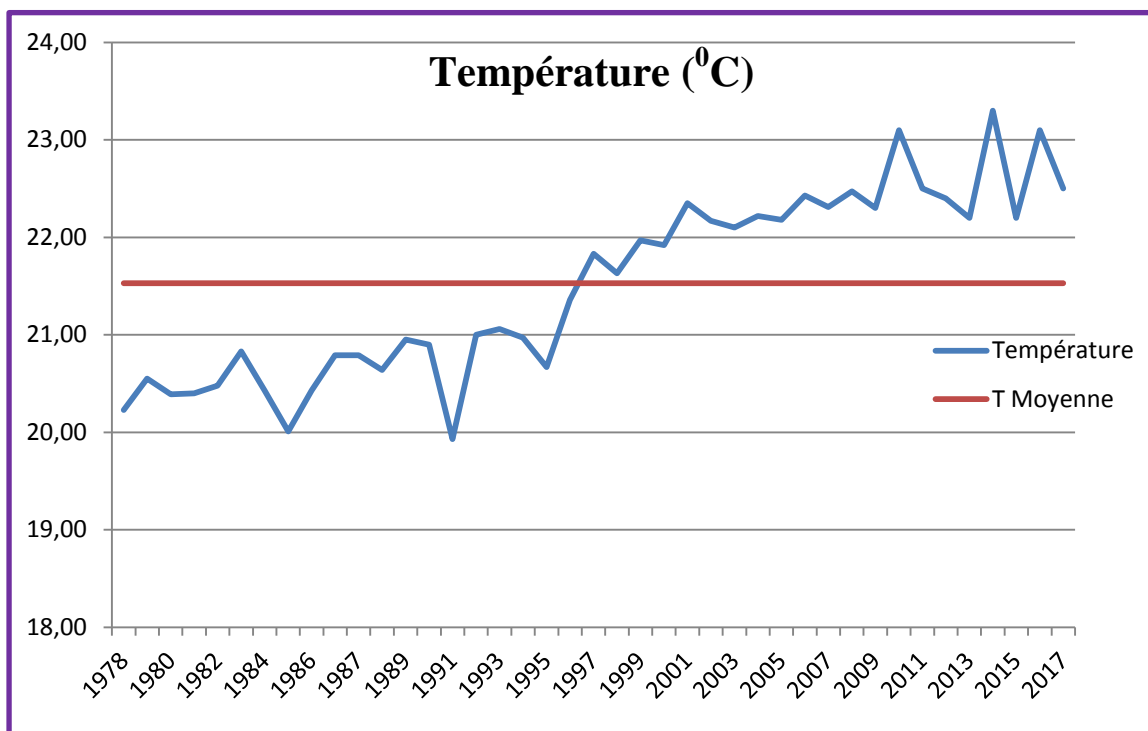


Fig.I.5.Répartitions des moyennes annuelles de température (1978-2017). (ONM, 2018)

Le Tab ci-dessus et la figure I.9 présentent la répartition des températures moyennes annuelles, celle qui montre bien une irrégularité annuelle :

- L'année la plus chaude est 2014 avec une température moyenne $T=23.30^{\circ}\text{C}$.
- l'année la plus froide est l'année 1991 avec une moyenne de température égale à 19.93°C .

I.4.1.3. L'humidité

L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère, elle a des effets sur les altérations chimiques telles que l'oxydation.

L'humidité moyenne de la région représentée dans le Tab ci-dessous, où on remarque un minimum enregistré pendant le mois de juillet avec une valeur de l'ordre de 31.44 %, c'est la saison d'été, et un maximum enregistré pendant le mois de décembre avec une valeur de 66,80 %, c'est la saison d'hiver.

Tab (I-10): Répartitions moyennes mensuelles de l'humidité (1978-2017).													
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Humidité (%)	47,60	53,14	60,42	66,80	65,41	56,04	49,01	43,82	38,69	34,51	31,44	34,99	48,49

(ONM, 2018)

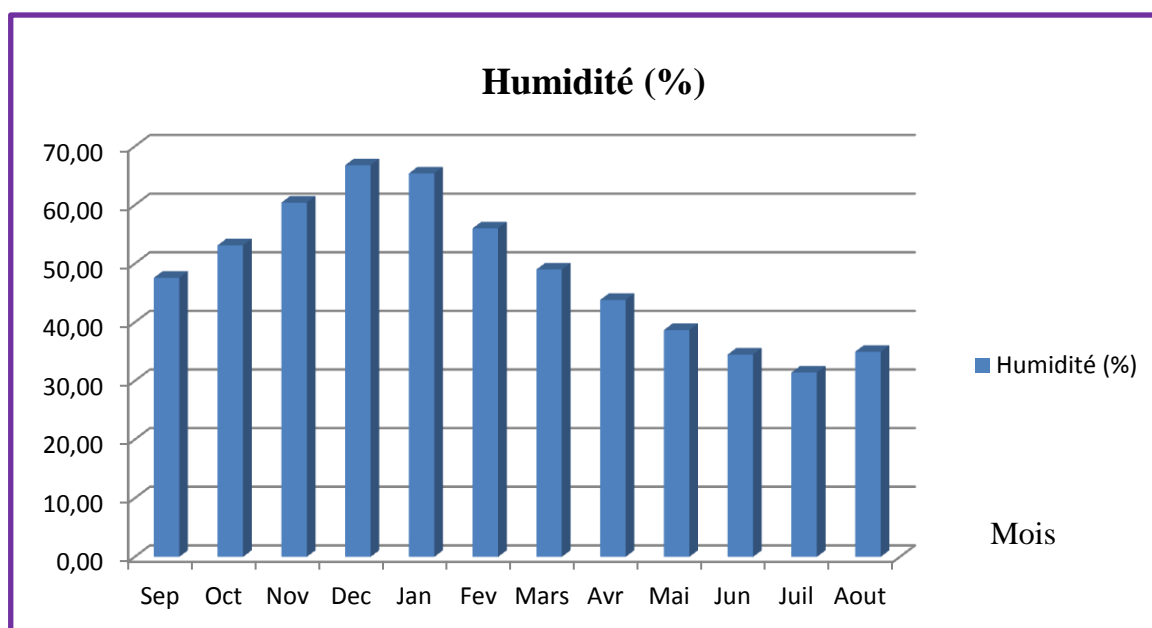


Fig.I.6. Répartitions moyennes mensuelles de l'humidité (1978-2017). (ONM, 2018)

I.4.1.4. Le vent

Trois types de vents caractérisent cette région, le premier qui est prédominant, à une direction E et NE, désigné fréquemment par EL-BAHRI.

L'autre, à degrés moindre, marqué par des vents chauds (SIRROCO) de direction Ouest et Sud-Ouest, appelé localement CH'HILI. Le dernier peut durer jusqu'à trois jours mais avec une vitesse plus élevée (40 à 50 km/h) causant une diminution de la visibilité par suite d'entraînement de grains de sables dans le ciel (VENT DE SABLE). Ces derniers coïncident avec la saison du printemps (période de pollinisation des palmiers), souvent du mois de février au mois de mars (BOULIFA, 2012).

La vitesse moyenne des vents enregistrée pour la période de (1978-2017) est reportée sur le Tab I.11. On remarque qu'au printemps les vents sont les plus forts dominés par le

vent d'Est communément appelé "El-Bahri". Ce dernier souffle principalement pendant la période qui s'étale d'Avril à Juillet. En été, il apporte de la fraîcheur, mais il est peu apprécié au printemps car il donne naissance au vent de sable et retarde la floraison des cultures locales tel que le tabac et le palmier. Ces vents de sable donnent au ciel une couleur jaune et peuvent durer jusqu'à trois jours consécutifs avec une vitesse moyenne de 30 à 40 km/h.

Tab (I-11): Répartitions moyennes mensuelles de vitesse du vent (1978-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	T moy
V (km/h)	8,0	6,3	6,0	5,9	6,8	8,5	10,3	11,1	11,0	10,5	8,9	8,0	8,4

(O.N.M, 2018)

La figure I.7 représente la répartition moyenne mensuelle de vitesse du vent (1978-2017).

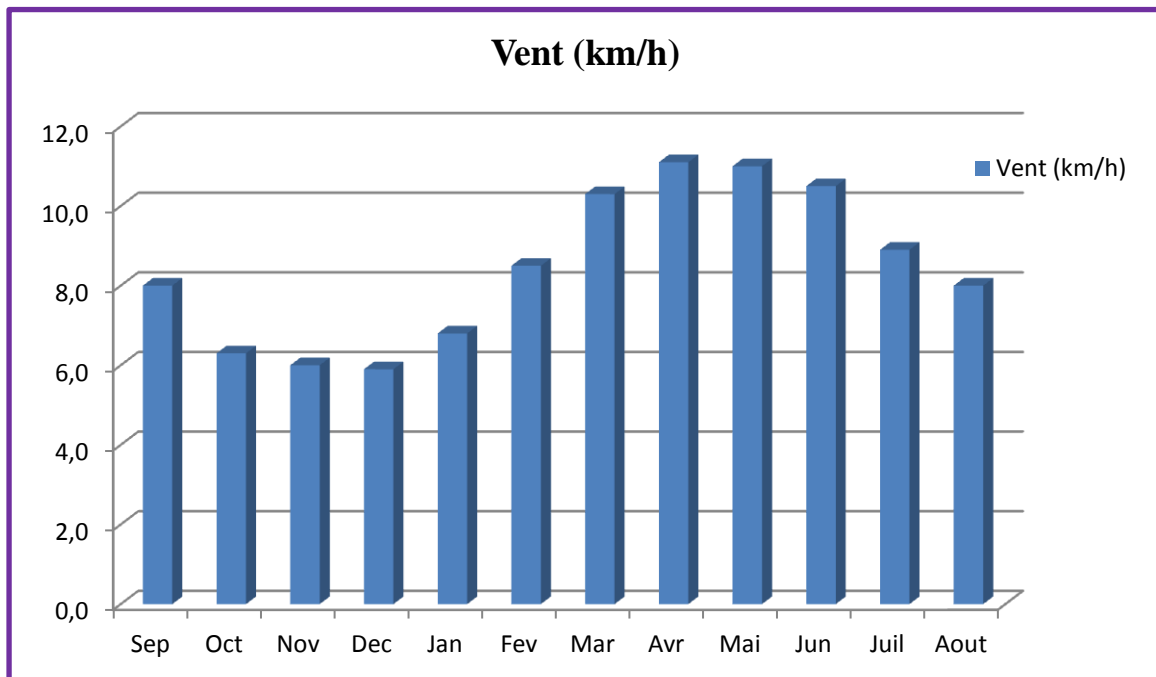


Fig.I.7. Répartitions moyennes mensuelles de vitesse du vent (1978-2017). (O.N.M, 2018)

I.4.1.5. L'insolation

On appelle insolation ou radiation solaire globale la période durant laquelle le soleil peut briller; on la détermine par des mesures directes ou par dépouillement des bandes héliographiques.

Au niveau de la station d'El-Oued (Guemar), nous possédons une série des données de 1978 à 2017.

- la durée moyenne d'insolation annuelle est de 275 heures ;
- le maximum est enregistré en juillet avec 347,9 heures ;
- le minimum apparaît en décembre avec 231,1 heures.

Tab.I.12: Répartitions moyennes mensuelles d'insolation (1978-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Moy
Insol (h)	273,7	261,1	239,1	231,1	241,9	245,9	273,7	287,6	312,8	340,5	347,9	316,7	275,0

(O.N.M, 2018)

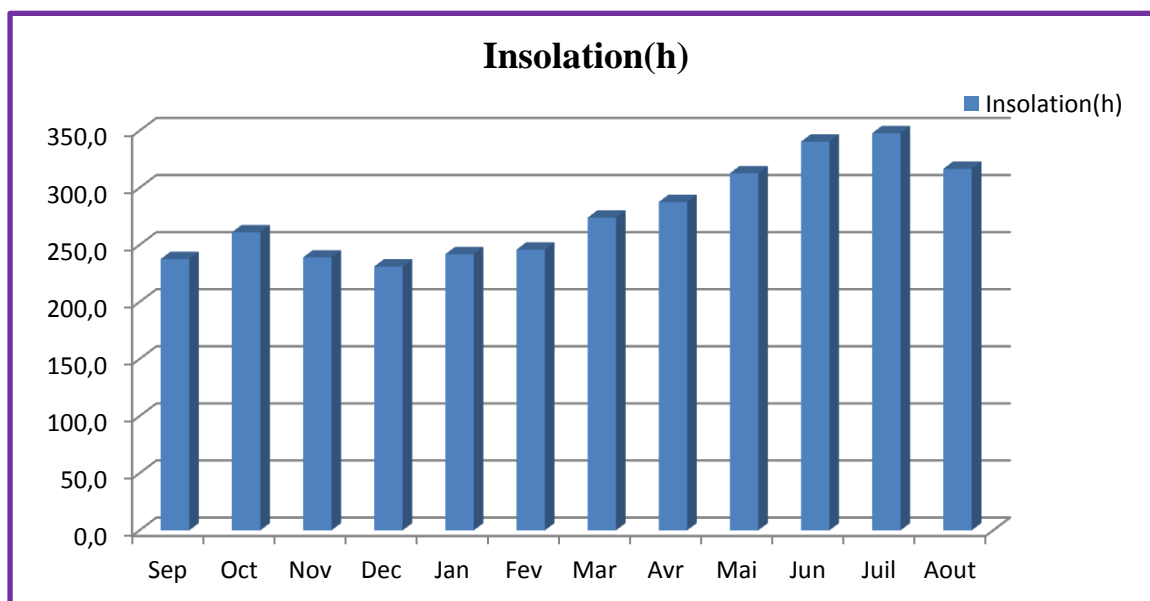


Fig.I.8.Répartitions moyennes mensuelles d'insolation (1978-2018). (O.N.M, 2018)

I.4.1.6.L'évaporation : Le Tab I.13 suivant porte les valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation période (1978-2017). L'évaporation la plus élevée se produit en juin, Juillet et Août, et la plus faible en janvier. En moyenne Elle est de 126.6 mm par an.

Tab.I.13: Répartitions moyennes mensuelles d'évaporation (1978-2017)													
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Moy
Evap (mm)	158.7	97.3	52.6	29.8	27.7	41.4	66.7	97.9	152.1	290.8	264.9	239.7	126.6

(O.N.M, 2018)

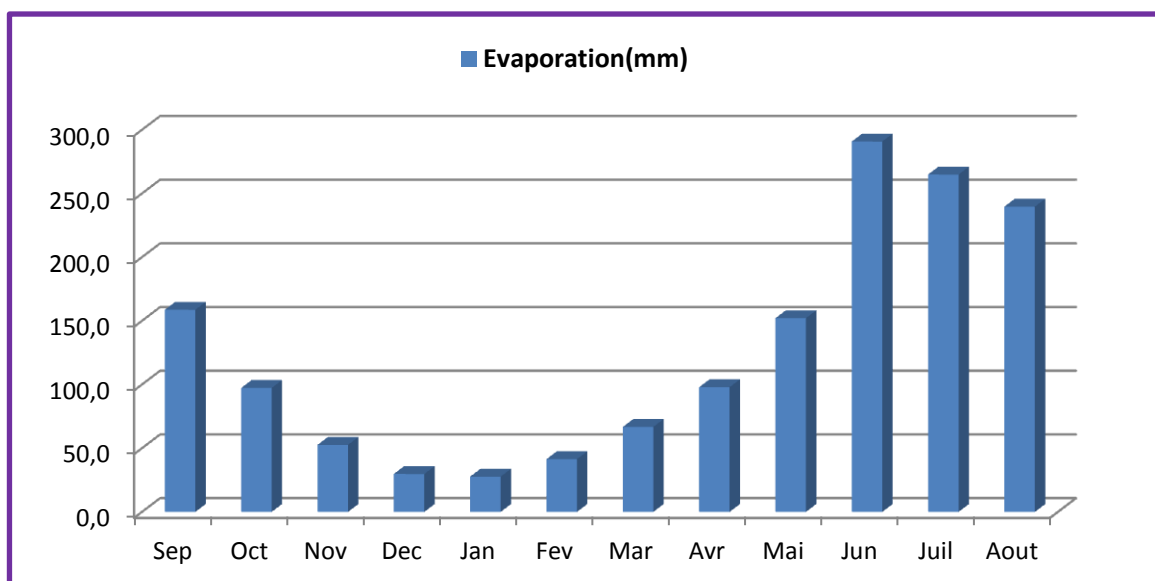


Fig.I.9. Répartitions moyennes mensuelles d'évaporation (1978-2017). (O.N.M, 2018)

Les volumes d'eau perdus par évaporation atteignent leur maximum au mois de Juillet (Figure I.9) avec 329.8 mm contre un minimum de 79.3mm au mois de décembre.

I.5. Aperçu géomorphologique

I.5.1. Le relief

Le relief de la wilaya d'El Oued est caractérisé par l'existence de trois principales formes :

- **Une région sableuse** : se présente sous un double aspect, l'Erg et le Sahane.
- **Une forme de plateaux rocheux**, qui s'étend vers le Sud avec une alternance de dunes et de crêtes rocheuses.
- **Une zone de dépression**, caractérisée par la présence d'une multitude de chotts qui plongent vers l'Est.

La différence fondamentale à faire dans le relief du Souf est celle qui existe entre l'Erg et le Sahane :

- **l'Erg** est une région où le sable s'accumule en dunes; c'est la partie la plus importante, elle occupe 3/4 de la surface totale, est relativement épaisse, toujours de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres, les forages récents de puits ont montré une épaisseur un peu plus grande qu'on ne le pensait 70-80m dans la partie sud de Souf, 60m à l'endroit d'El-Oued, il s'amincit progressivement vers le Nord du Souf à 30m, et n'est plus qu'une couverture au niveau des sebkhas. Il repose sur un substratum argileux imperméable du Pliocène.

- **Le Sahane** est une région plate et déprimée, parfois caillouteuse, formant les dépressions fermées, entourées par les dunes, au fond desquelles, quelques rares végétaux poussent sur une croûte gypseuse. D'autre part, Le relief du Souf est presque tout entier compris entre trois lignes principales orientées Est-Ouest :

- La première ligne au Sud est la courbe de 100m, passe par El-Ogla, Amiche, Oued Ziten et Oued El Alanda.

- La seconde au milieu est la courbe de 75m, passe par Z'goum, Guemar et Taghzout.

- La troisième au Nord est la courbe de 50m, passe par Hassi Khalifa, Magrane et Reguiba. (Beggas Med.S,2016).

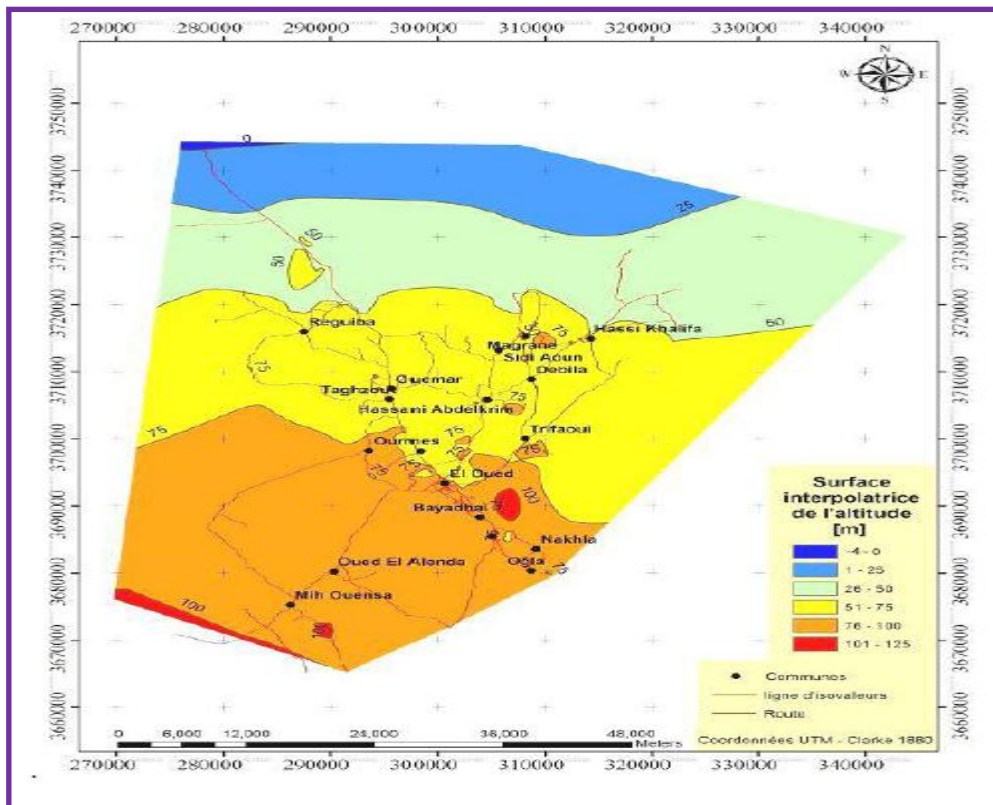


Fig.I.10. Carte du relief de la région du Souf .

(ANRH, 2005)

I.5.2.Topographie

La région d'El-Oued appelée aussi région du Bas-Sahara à cause de la faible altitude et sa situation au Sud-Est du pays. Le point le plus haut se trouve à la cote 125m à la commune de Bayadha (Essoualah) , alors que le point le plus bas se trouve à la cote 29m à la commune de Réguiba (Foulia). L'altitude moyenne de la région est de 80 m et dénonce une diminution du Sud vers le Nord pour être de 25 m au-dessous du niveau de la mer dans la zone des Chotts (ANRH, 2005).

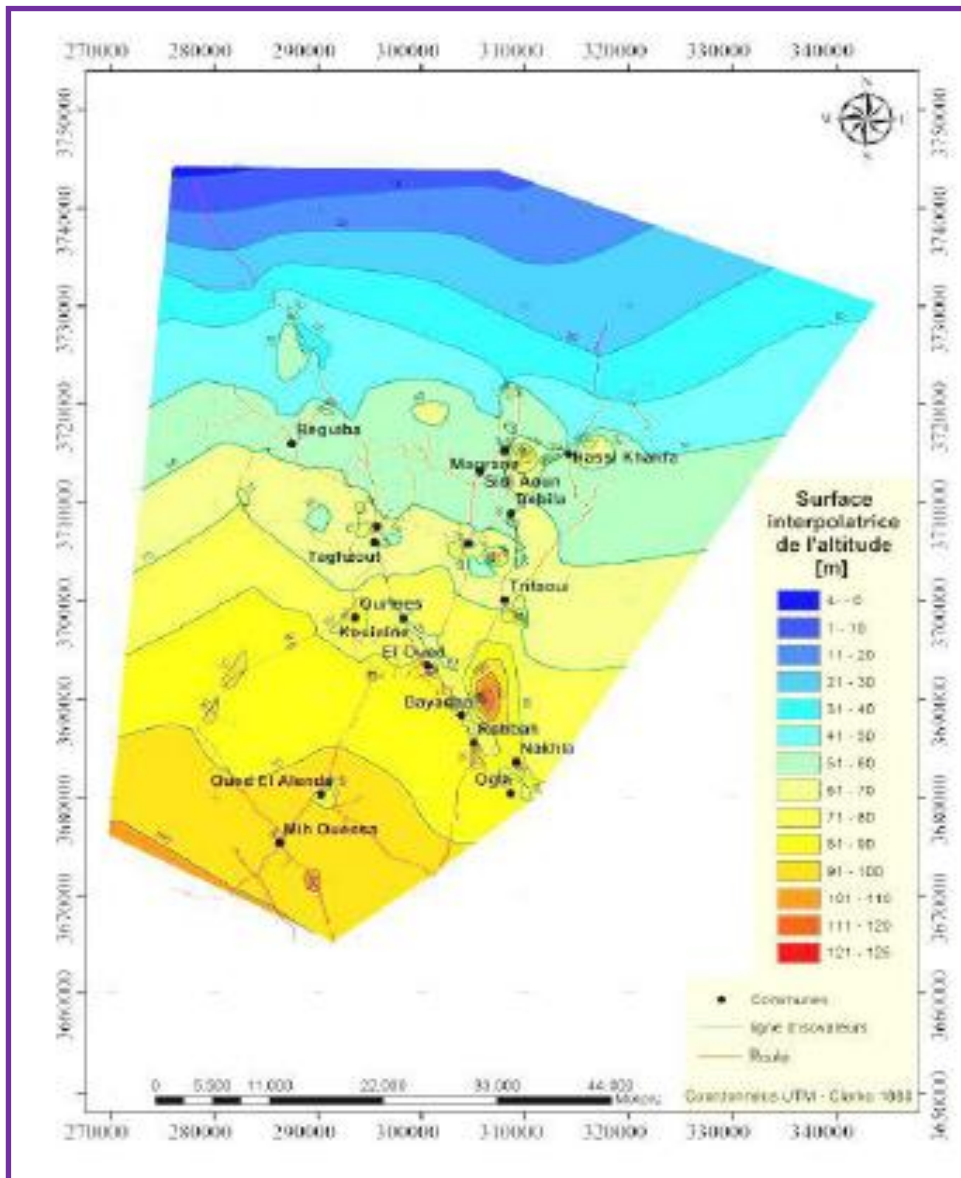


Fig.I.11.Carte topographique de la vallée du Souf. (ANRH, 2005)

I.6. Conclusion

La vallée de l'Oued Souf est située dans le Sahara algérien, au nord-est du Grand Erg Oriental. Elle s'étend sur une superficie approximative de 350.000 hectares et occupe une superficie de 11.738 km², représentée administrativement par 18 communes. Le climat est de type saharien, caractérisé par un été chaud et sec et un hiver plutôt doux. La moyenne annuelle de la température est de l'ordre de 21,53°C.

La région du Souf est caractérisée par l'irrégularité et la faiblesse de ses précipitations, les précipitations moyennes annuelles pour la période (1978-2017) sont de 72,58 mm.

CHAPITRE II

*Les eaux usées : origine
et impact*

II.1. Introduction

L'eau est la matière première la plus importante sur notre planète, pour les êtres humains, les animaux, les plantes et les microorganismes. Pratiquement tous les phénomènes vitaux de la biosphère sont liés à la disponibilité de l'eau. La pollution de l'eau qui affecte les rivières, les mers, les nappes phréatiques et les lacs, est le résultat du rejet des eaux usées sans traitement ou avec un niveau de traitement insuffisant : cela provoque une dégradation de l'écosystème. Le problème est encore plus grave dans le cas des effluents industriels qui présentent un caractère toxique beaucoup plus prononcé.

II.2. Définition des eaux usées

Les eaux usées, également désignées comme « eaux usagées » ou « effluents », sont définies de différentes façons. Ainsi, il n'existe pas une définition universellement acceptée du terme. Par exemple, les eaux usées ont été définies comme « les eaux qui ont été utilisées et qui contiennent des matières résiduelles dissoutes ou en suspension » (US EPA, s.d.a.), ou « des eaux dont la qualité a été négativement affectée par les activités humaines ».

L'expression « eaux usées » est généralement assimilée aux eaux d'égout, ce qui limite la définition aux eaux usagées (provenant de sources domestiques, industrielles ou institutionnelles) s'écoulant dans les égouts, excluant donc les eaux de ruissellement non collectées provenant des implantations urbaines et des systèmes agricoles. Toutefois, étant donné que les eaux de ruissellement urbain et agricole peuvent être fortement polluées (et éventuellement être mélangées avec d'autres flux d'eaux usées), elles constituent également des éléments importants du cycle de gestion des eaux usées. UNISCO 2017

D'après le rapport de l'UNISCO 2017 sur la mise en valeur des ressources en eau adopte une définition large et inclusive des eaux usées, adaptée de Raschid-Sally et Jayakody (2008), qui est utilisée précisément dans le document « L'eau malade » produit par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et le Programme des Nations Unies pour les établissements humains (ONU-Habitat) (Corcoran et al., 2010) et l'Exposé analytique d'ONU-Eau sur la gestion des eaux usées (ONU-Eau, 2015a) :

Les eaux usées sont perçues comme une combinaison d'un ou de plusieurs des éléments suivants : les effluents domestiques constitués d'eaux-vannes (excréments, urine,

boues fécales) et d'eaux grises (eaux usagées provenant du lavage, de la lessive et du bain) ; les eaux provenant des commerces et institutions, y compris les hôpitaux ; les effluents industriels, les eaux pluviales et autres eaux de ruissellement urbain ; les eaux de ruissellement agricole, horticole et aquacole (Raschid-Sally et Jayakody, 2008).

II.2. L'origine des eaux usées

D'après RODIER et al (2005), on peut classer comme eaux usées, les eaux d'origine urbaine constituées par les eaux ménagères (lavage corporel et du linge, lavage des locaux, eaux de cuisine) et les eaux vannes chargées de fèces et d'urines. Toute cette masse d'effluents est plus ou moins diluée par les eaux de lavage de la voirie et les eaux pluviales. Peuvent s'y ajouter suivant les cas les eaux d'origine industrielle et agricole. L'eau, ainsi collectée dans un réseau d'égout, apparaît comme un liquide trouble, généralement grisâtre, contenant des matières en suspension d'origine minérale et organique à des teneurs extrêmement variables.

Selon GROSCLAUDE (1999), une eau usée est une eau rejetée après usage industriel, domestique ou agricole.

II.2.1. Les eaux industrielles

Les déchets et les effluents industriels définissent largement la qualité et le taux de pollution de ces eaux usées. Les établissements industriels utilisent une quantité importante d'eau qui tout en restant nécessaire à leur bonne marche, n'est réellement consommée qu'en très faible partie le reste est rejeté. On peut néanmoins, faire un classement des principaux rejets industriels suivant la nature des inconvénients qu'ils déversent :

- Pollution due aux matières en suspension minérales (Lavage de charbon, carrière, tamisage du sable et gravier, industries productrices d'engrais phosphatés....) ;
- Pollution due aux matières en solution minérales (usine de décapage, galvanisation...) ;
- Pollution due aux matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, équarrissages, pâte à papier...) ;
- Pollution due aux rejets hydrocarbonés et chimiques divers (raffineries de pétrole, porcherie, produits pharmaceutiques.....) ;
- Pollution due aux rejets toxiques (déchets radioactifs non traités, effluents radioactifs des industries nucléaires....).

Les eaux résiduaires d'origine industrielle ont généralement une composition plus spécifique et directement liée au type d'industrie considérée. Indépendamment de la charge de la pollution organique ou minérale, de leur caractère putrescible ou non, elles peuvent présenter des caractéristiques de toxicité propres liées aux produits chimiques transportés.

(RODIER, 2005).

II.2.2. Les eaux 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 déjections animales produites ou non sur l'exploitation) ;
- Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides,...).(GROSCLAUDE, 1999).

Donc ces eaux sont l'issus :

- Des apports directs dus aux traitements des milieux aquatiques et semiaquatiques tels que le désherbage des plans d'eau, des zones inondables.

(Faucardage chimique) et des fossés, ainsi que la démolition des plans d'eau et des zones inondables (étangs et marais).

- Des apports indirects dus en particulier à l'entraînement par ruissellement, aux eaux de rinçage des appareils de traitement, aux résidus présents dans des emballages non correctement rincés ou détruits, aux eaux résiduaires des usines de fabrication et de conditionnement (ABIBSI Nadjjet, 2011).

II.2.3. Les eaux pluviales

Les eaux de pluie ne sont pas exemptes de pollution : au contact de l'air, elles se chargent d'impuretés comme les fumées industrielles et les résidus de pesticides. En ruisselant, les eaux pluviales se chargent également des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus, métaux lourds...).

II.2.4. Les eaux usées domestiques

Les effluents domestiques sont un mélange d'eaux contenant des déjections humaines : urines, fèces (eaux vannes) et eaux de toilette et de nettoyage des sols et des aliments (eaux ménagères).

Ces eaux sont généralement constituées de matières organiques dégradables et de matières minérales, ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension. Elles se composent essentiellement par des eaux de vanne d'évacuation de toilette. Et des eaux ménagères d'évacuation des cuisines, salles de bains.

Elles proviennent essentiellement :

- 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 du produit détergent utilisé pour le lavage de la vaisselle et ayant pour effet la solubilisation des graisses ;
- Des eaux de buanderie contenant principalement des détergents ;
- Des eaux de salle de bain chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées ;
- Des eaux de vannes qui proviennent des sanitaires (w.c), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphatés et microorganisme. (ABIBSI Nadjat, 2011).

II.3. Caractéristiques et composition des eaux usées

Les eaux usées contiennent une quantité de déchets composés entre autres de matière organique d'origine animale ou végétale. Pour un traitement efficace des eaux usées, cette matière organique a besoin d'être stabilisée ou convertie en une forme non polluante. Les déchets solides inorganiques doivent aussi être extraits afin que les eaux usées soient traitées correctement. Les eaux usées contiennent aussi beaucoup de bactéries. Même si certaines de ces bactéries peuvent être pathogènes, la plupart sont en fait inoffensives. Ces bactéries non pathogènes sont très utiles parce qu'elles décomposent les matières organiques contenues dans les eaux usées.

Il s'ensuit que les bactéries non pathogènes sont à la base de tous les procédés de traitement biologique des eaux usées (Benkhalifa A , DERKII I , 2019) .

Les normes de rejet des eaux usées fixent des indicateurs de qualité physicochimique

et biologique. Ce potentiel de pollution généralement exprimé en mg/l est quantifié et apprécié par une série d'analyses. Certains de ces paramètres sont indicateurs de modifications que cette eau sera susceptible d'apporter aux milieux naturels récepteurs.

Pour les effluents domestiques, industriels et naturels, on peut retenir les analyses suivantes : (BENKADI O, LEZOUL S , 2017).

Le tableau (Tab.II.01) ci-dessous représente les valeurs moyennes des paramètres mesurés et les normes d'interprétation requises pour l'irrigation de l'OMS, du MFE (ministère français de l'environnement) et du JORA (Journal Officiel de la république Algérienne) , représente les valeurs moyennes des paramètres mesurés et les normes d'interprétation requises pour l'irrigation de l'OMS, du MFE (ministère français de l'environnement).

Tab.II.01 : Valeurs des paramètres des eaux usées mesurés à l'entrée et la sortie de la STEP			
Paramètres	Effluent brut	Effluent traité (moyenne)	Norme de qualité d'eau d'irrigation
T (°C)	22,71	22,79	* 30
pH	7,7	8,27	* 6,5 à 8,5
CE (ms/cm)	4,14	3,83	* < 3
Salinité (g/l)	2,34	2,19	Pas de norme
O ₂ dissous (mg/l)	3,2	6,22	* < 5
DBO ₅ (mg/l)	151	31	** < 30
DCO (mg/l)	373,3	204,7 **	< 90
NT (mg/l)	40,9	33,47	** < 50
NH ₄₊ (mg/l)	17,94	24,05 *	< 2
NO ₂ -(mg/l)	0,29	0,3 *	< 1
NO ₃ - (mg/l)	1,86	0,41	** < 30
PT (mg/l)	4,3	3,8	* < 0,94
CT (N/100ml)	431,67 .10 ⁵	42766,7 ***	< 50 000
CF (N/100ml)	15,67 .10 ⁶	3966,67 ***	< 20 000

(OMS ,JORA,MFE,2012)

II.3.1. Éléments microbiologiques

Les eaux usées contiennent tous les microbiologiques excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes.

L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes : les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes.

II.3.1.1. *Les bactéries*

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau, leur taille est comprise entre 0,1 et 10 µm. Elles se multiplient dans les eaux usées et les boues résiduaires. L'exposition à celles-ci provient surtout de l'inhalation des aérosols qu'elles utilisent comme vecteurs leur transport ou encore, de la contamination du système gastro-intestinal par le contact des mains à la bouche (Djeddi, 2007).

II.3.1.2. *Les virus*

Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte. Certains virus se multiplient dans le système digestif humain ou animal et sont excrétés dans les matières fécales lors d'une infection. Ils ne se reproduisent pas une fois à l'extérieur du corps. On peut retrouver plus de 150 types de virus dans les eaux usées. L'hépatite A est une maladie causée par un virus.

II.3.1.3. *Les protozoaires*

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte.

Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, **Giardia lamblia**. Au cours de leur cycle vital, les protozoaires passent par une forme de résistance, les kystes qui peuvent être véhiculés par les eaux résiduaires (Faby et al, 1997).

II.3.1.4. *Les helminthes*

Les helminthes sont des vers multicellulaires. Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites.

Une grande variété de ces vers parasites et leurs œufs peuvent se retrouver dans les eaux usées et dans les boues sanitaires. Ils peuvent être la cause de vers intestinaux chez les humains exposés (Djeddi, 2007).

II.3.2. Matières en suspension MES

Les matières en suspension sont les matières non dissoutes contenues dans l'eau et sont exprimées en mg/l. Elles comportent à la fois des éléments minéraux et organiques et sont en majeure partie de nature biodégradable [FAO, 2003]. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures [BAUMONT et al, 2004]. Les particules en suspension, plus lourdes que l'eau, sont éliminées par décantation.

Toutefois, un traitement beaucoup plus poussé est généralement requis pour faire face aux risques sanitaires. Une présence excessive de matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que le bouchage des systèmes d'irrigation.

La présence de **matière organique** dans les eaux usées ne constitue pas, sauf cas très particulier, un obstacle à la réutilisation de ces eaux. Bien au contraire, elle contribue à la fertilité des sols. Cependant, l'expérience montre que le maintien d'une concentration importante en matière organique dans les eaux usées gêne considérablement l'efficacité des traitements destinés à éliminer les germes pathogènes. Enfin, les concentrations significatives en matière organique peuvent aussi entraîner des odeurs désagréables, notamment si les eaux stagnent à la surface du sol [BOUTIN et al, 2009].(Khelif Safia, 2018).

II.3.3. Substances nutritifs

L'azote, le phosphore, le potassium et les oligo-éléments indispensables à la vie des végétaux, se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables par rapport aux besoins de la végétation, dans les eaux usées traitées ou non. D'une façon générale, un volume d'eau usée traitée et réutilisée de 1 000 m³, soit un apport d'une lame d'eau résiduaire de 100 mm à l'hectare, peut apporter d'après (Faby, 1997) :

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

La concentration en macronutriments des eaux usées présente une variabilité journalière et saisonnière. Elle est également dépendante de la nature et du traitement

appliqué. Dans certaines circonstances, ces éléments peuvent être en excès par rapport aux besoins de la plante et provoquer des effets négatifs, aussi bien au niveau de la culture que des sols. Un contrôle périodique de la quantité de nutriments présents dans l'effluent est nécessaire afin d'en tenir compte lors du calcul des besoins en fertilisants des cultures irriguées (BOUTIN et al, 2009).

II.3.3.1. La teneur en azote

L'eau usée urbaine après traitement secondaire varie de 20 à 60 mg/l. L'azote dans l'eau usée traitée peut dépasser les besoins des cultures. La connaissance de la concentration en N dans l'eau usée et la gestion appropriée de la charge en NPK sont essentielles pour surmonter les problèmes associés à une éventuelle concentration élevée en N (FAO, 2003).

II.3.3.2. Le phosphore

Dans l'eau usée après traitement secondaire varie de 6 à 15 mg/l (15-35 mg/l P₂O₅) à moins qu'un traitement tertiaire l'élimine. Cette quantité est en général trop faible pour modifier le rendement, et en cas d'excès, les phosphates se fixent dans le sol. L'évaluation de P dans l'eau usée traitée devrait être réalisée en concomitance avec les analyses de sol pour les conseils de fumure (FAO, 2003).

II.3.3.3. Le potassium

Contenu dans l'eau usée n'occasionne pas d'effet nuisible sur les plantes ou l'environnement. C'est un macronutriment essentiel qui affecte favorablement la fertilité du sol, le rendement des cultures et leur qualité. La concentration en K dans l'eau usée traitée secondaire varie de 10 à 30 mg/l (12-36 mg/l K₂O). Cette quantité doit être prise en compte pour préparer le programme de fertilisation en fonction des besoins des cultures (FAO, 2003).

II.3.3.4. Le Chlore et le Sodium

Parmi les éléments entrants en jeu dans la salinité des eaux usées réutilisées, on peut citer le sodium et le chlore qui sont responsables, en grande partie, de la salinisation des sols et le bore dans une moindre mesure (abordé précédemment). Le sodium étant sujet à une accumulation significative sur les sols (sodisation), il fera l'objet d'une attention toute particulière dans cette partie (BOUTIN et al, 2009).

II.3.3.5. Autres nutriments

La plupart des eaux usées contiennent habituellement des concentrations adéquates en soufre, zinc, cuivre et autres micronutriments. Une attention particulière doit être portée au bore. L'eau usée traitée contient assez de bore pour corriger toutes les déficiences en cet élément. Cependant, lorsque cet élément se trouve en excès, il peut provoquer des problèmes de phytotoxicité (FAO, 2003).

II.3.4. Les micropolluants organiques et non organiques

Selon leur origine et le type de traitement, les eaux usées traitées peuvent contenir des substances toxiques telles que les éléments traces métalliques (ETM) regroupant les métaux lourds et d'autres composés inorganiques non biodégradables. Ces éléments sont principalement d'origine agricole, industrielle et, dans une moindre mesure, domestique. (Khelif Safia, 2018).

II.3.4.1. Les micro-polluants non organiques

Les micropolluants non organiques que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux ; les plus abondants (de l'ordre de quelques $\mu\text{g/l}$) sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.). Sont présents à l'état de traces. Leur origine est multiple : ils proviennent des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels raccordés au réseau. Même en l'absence de rejets industriels, les effluents urbains peuvent contenir des micropolluants minéraux en quantité variable (Khelif Safia, 2018).

Les éléments cités dans la littérature comme étant les plus dangereux sont le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le nickel (Ni) et l'arsenic (As). Les quatre premiers faisant partie des 33 substances classées comme dangereuses prioritaires dans l'arrêté de la directive cadre européenne sur l'eau (VILAGINES, 2003). Parmi les éléments traces se trouvant dans les eaux usées, certains, dits oligo-éléments, sont indispensables à la croissance des plantes. Citons entre autres le manganèse, le fer, le cuivre, le molybdène ou encore le zinc. Ils peuvent trouver un intérêt en cas de réutilisation agricole.

II.3.4.2. Les micro-polluants organiques

Les micro-polluants d'origine organique sont extrêmement **nombreux** et **variés**, ce qui rend difficile l'appréciation de leur dangerosité. Leur concentration totale moyenne dans les eaux usées est de l'ordre du microgramme par litre (de 1 à 10 µg/l) (FABY et BRISSAUD, 1997).

La nature et le niveau de concentration de ces micro-polluants organiques dans les eaux usées dépendent des types d'effluents collectés. Ils proviennent de l'utilisation domestique de détergents, pesticides, solvants, et également des eaux pluviales : eaux de ruissellement sur les terres agricoles, sur le réseau routier, etc. Ils peuvent aussi provenir de rejets industriels quand ceux-ci sont déversés dans les égouts ou même des traitements de désinfections des effluents par le chlore (haloformes). Parmi les micropolluants organiques les plus connus, on peut citer les PCB (PolyChloroBiphényles), les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), les OHV (Organo Halogénés Volatils) ou les produits phytosanitaires (pesticides par exemple).

La plupart de ces éléments traces sont peu solubles, et les traitements des eaux usées par décantation sont efficaces pour les éliminer. On les retrouve donc plutôt dans les boues que dans les eaux épurées. Les concentrations infimes dans les effluents d'origine urbaine et leur transfert limité vers les végétaux rendent très faible le risque sanitaire dans le cas d'une réutilisation **agricole**, même si certains s'accumulent dans les racines comme le PCB, ou dans les graines de soja pour certains pesticides. Dans le pire des cas, ils ne vont constituer qu'une surcharge au système de détoxification des hommes et des animaux (FABY et BRISSAUD, 1997).

Concernant les **pesticides**, c'est l'incertitude relative à leur dangerosité chronique qui soulève des inquiétudes. Si en général on connaît les effets d'une intoxication aiguë, la toxicité à long terme et à faible dose est très mal connue. Certaines molécules sont classées comme perturbateurs endocriniens ou cancérogènes possibles par le CIRC. D'autre part, ils ont une forte capacité de **rémanence** (20 ans pour certains) et leur dégradation naturelle produit parfois des métabolites dont les effets sanitaires sont inconnus.

II.4. La pollution : risque et réglementation

L'intensification des activités industrielles et agricoles associée à l'urbanisation très rapide des agglomérations a abouti à une nette augmentation de la demande en eau, accompagnée d'une pollution importante (Nadjla Bentekhici et al , 2018).

II.4.1. La pollution par les eaux usées

La pollution de l'eau est actuellement placée en tête des problèmes de l'environnement car l'eau est une interface entre l'air et le sol (BENZIANE F.Z , 2016).

II.4.1.1. Définition

On appelle pollution de l'eau, toute modification chimique, physique ou biologique de la qualité de l'eau qui a un effet nocif sur les êtres vivants qui la consomment. Quand les êtres humains consomment de l'eau polluée ou l'utilisent (en irrigation par exemple), il y a en général des conséquences sérieuses pour leur santé (Haouti, 2005).

Une eau est dite polluée lorsque son équilibre est modifié de façon durable par l'apport en quantités très importantes des substances plus ou moins toxiques, d'origines naturelles ou issues d'activités humaines. L'activité humaine, qu'elle soit industrielle, urbaine ou agricole, produit une quantité de substances polluantes de toute nature qui sont à l'origine de différents types de pollution qui peuvent être permanents (rejets domestiques d'une grande ville par exemple), périodiques ou encore accidentelles ou aiguës, à la suite du déversement intempestif des produits toxiques d'origine industrielle ou agricole, ou de lessivage des sols urbains lors de fortes pluies. (RODIER J, 2005).

II.4.1.2. Origine et type de la pollution par les eaux usées

a- Origine de la pollution

La pollution de l'eau peut être d'origine naturelle, ou provenir d'activités humaines. Suivant l'origine des substances polluantes on distingue : la pollution d'origine domestique, industrielle, agricole et pluviale. (BENZIANE F.Z , 2016).

b- Types de la pollution

Il y a plusieurs types de pollution parmi lesquelles on distingue:(BENZIANE F.Z , 2016).

b.1. La pollution minérale

La pollution minérale des eaux peut provoquer le dérèglement de la croissance végétale ou trouble physiologique chez les animaux. Le polluant minéral ce sont principalement les métaux lourds et les éléments minéraux nutritifs.

b.2. La pollution microbienne

Les eaux usées contiennent une multitude de microorganismes vivants, des virus, des bactéries, des protozoaires, voire même des parasites. La grande majorité de ces microorganismes nocifs, susceptibles d'engendrer des infections humaines redoutables, diffuse dans l'environnement hydrique par l'intermédiaire de souillures fécales humaines ou animales.

b.2.1. Les virus

Les virus sont des parasites intracellulaires obligatoires qui ne peuvent se multiplier que dans leur cellule hôte. Leur concentration estimée dans les eaux usées urbaines est comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées restent difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous-estimation de leur nombre réel. Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal. Parmi les virus entériques humains les plus nombreux il faut citer les entérovirus, les rotavirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A. Il semble que les virus soient plus résistants dans l'environnement que les bactéries, du fait qu'au cours du processus de traitement des eaux les virus sont plus difficiles à éliminer que les bactéries classiques couramment utilisées comme indicateurs de la qualité bactériologique des eaux.

b.2.2. Les bactéries

Les bactéries sont les microorganismes les plus communément rencontrés dans les eaux usées. Les eaux usées urbaines contiennent environ 10^6 et 10^7 bactéries/100 ml dont la plupart sont des *proteus* et des entérobactéries, 10^3 et 10^4 streptocoques et de 10^2 à 10^3 de *clostridium*. La concentration en bactéries pathogènes est très variable et peut atteindre 10^4 germes par litre. Parmi les pathogènes les plus détectés, les salmonelles, dont celles responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Les coliformes thermo tolérants sont des germes témoins de contamination fécale communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau.

b.2.3. Les protozoaires

Au cours de leur cycle vital, les protozoaires passent par une forme de résistance, les kystes, qui peuvent être véhiculés par les eaux résiduaires. Ces parasites sont très persistants. Ainsi, selon les conditions du milieu, ils peuvent survivre plusieurs semaines,

voire même plusieurs années. Plusieurs protozoaires pathogènes ont été identifiés dans les eaux usées. Parmi les importants du point de vue sanitaire, il faut citer *entamoeba histolytica*. Responsable de la dysenterie amibienne. *Giardia lamblia* et *cryptosporidium parvum*. Il est considéré que seulement 10 à 30 kystes forment une dose suffisante pour causer des troubles sanitaires.

b.3. La pollution chimique

Il s'agit de différentes substances dissoutes dans l'eau (notamment nitrates, phosphates ou micropolluants), provenant des activités humaines. Les micropolluants sont des polluants susceptibles d'être toxiques à très faible concentration (de l'ordre du microgramme par litre).

b.4. La pollution physique

Résultat de la présence dans l'eau de particules ou de déchets, en suspension, capables de colmater le lit d'un cours d'eau (cas des eaux provenant par exemple des mines, d'usines de défilage de bois, de tanneries).

b.5. La pollution mécanique

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

b.6. La pollution thermique

Ce sont les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries...). L'élévation de température qu'elles induisent diminue la teneur en oxygène dissous. Elle accélère la biodégradation et la prolifération des germes. Il se trouve qu'à charge égale, un accroissement de température favorise les effets néfastes de la pollution.

b.7. La pollution radioactive

La pollution des eaux par des substances radioactives pose un problème de plus en plus grave, elle a un effet direct sur les peuplements aquatiques en raison de la toxicité propre de ses éléments et des propriétés cancérogènes et mutagènes de ses rayonnements.

b.8.La pollution par hydrocarbures

La pollution par les hydrocarbures résulte de plusieurs activités liées à l'extraction du pétrole, à son transport et en aval à l'utilisation de produits finis (carburants et lubrifiants), ainsi qu'aux rejets effectués par les navires (marées noires) (Dengou, 2018).

II.4.1.3. Les différents paramètres de la pollution

La première manifestation de la pollution par les eaux usées est due aux matières organiques, qui provoquent un prélèvement important de l'oxygène dissous par les micro-organismes qui prolifèrent dans les milieux pollués.

a. Les paramètres physiques

a.1.La température

La température est un paramètre important pour le bon fonctionnement des systèmes d'épuration dans la mesure où il peut influencer de différentes manières sur la solubilité des sels et des gaz. Il est établi que la solubilité d'un gaz diminue avec l'augmentation de la température.

Ce phénomène est particulièrement important dans le cas de l'oxygène dissous. Aussi, plus l'eau est chaude, plus la concentration de saturation de l'oxygène devra diminuer, ce qui conduit à la diminution de la réserve d'oxygène mis à la disposition des micro-organismes intervenants dans les processus d'auto-épuration, la multiplication des micro-organismes.

a.2.La conductivité

La conductivité donne une idée sur la salinité de l'eau. Des variations de cette dernière peuvent influencer le traitement biologique et la décantation, elle s'exprime en ms/cm (Dengou, 2018).

a.3.Salinité

La salinité désigne la quantité de sels dissous dans un liquide, notamment l'eau qui est un puissant solvant pour de nombreux minéraux. Il ne faut pas confondre la salinité avec la dureté de l'eau qui est relative à son dosage en calcium et magnésium. Ces derniers officiellement mesurée à partir de la conductivité électrique. La salinité n'est plus présentée comme un rapport de masse (Faby, 1997).

a.4. Les Matières en suspension (MES)

Elles représentent la partie solide de la pollution, les matières en suspension est la pollution non dissoute, la plus facile à éliminer.

a.5. Les matières volatiles sèches (MVS)

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension, elles constituent environ 70-80 % des matières en suspension.

a.6. La couleur et l'odeur

Dans les eaux usées brutes la couleur est due à la présence de matières organiques dissoutes ou colloïdes et par des composés chimiques solubles qui sont colorés. L'odeur est due à une fermentation des matières organiques.

a.7. La turbidité

La turbidité tient compte de la présence plus ou moins importante des matières en suspension d'origine minérale ou organique.

b. Les paramètres chimiques**b.1. Le pH (potentiel hydrogène)**

Le pH joue un rôle capital dans le traitement biologique, il exprime le degré d'acidité ou d'alcalinité des eaux usées. Ce paramètre joue un rôle primordial :

- Dans les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité) ;
- Dans les processus biologiques, dont certains exigent des limites de pH très étroites se situant entre 6,5 et 8,5.

b.2. Demande biologique en oxygène en 5 jours (DBO5)

C'est la quantité d'oxygène consommée en 5 jours par les micro-organismes. La valeur obtenue, représente environ 80% de la pollution biodégradable total.

b.3. Demande chimique en oxygène (DCO)

Elle traduit la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les matières organiques contenues dans l'effluent, elle s'exprime en mg/l.

b.4. Relation entre DCO et DBO5

Le rapport DCO / DBO5 donne une estimation de la biodégradabilité des eaux usées. La notion de la biodégradabilité représente la capacité d'une substance ou son aptitude à être décomposée par les micro-organismes (bactéries, champignons,). selon le rapport, on a

- Si $DCO / DBO5 < \text{ou} = 2$: Le traitement se fait biologiquement.
- Si $2 < DCO / DBO5 < 3$: Traitement biologique avec adaptation de souches.

-Si DCO / DBO5 > 3 : Traitement physico-chimique. L'eau est pratiquement non traitable par voie biologique.

c. Eléments toxiques

La présence des métaux lourds (plomb, mercure, ...) et des substances toxiques (phénols) dans l'eau usée peut la rendre toxique, ils sont évalués par les tests biologiques.

d. Les nutriments (Azote, phosphore)

Le phosphore est présent dans les eaux usées sous forme de sels minéraux (ortho et poly phosphates) provenant surtout des poudres à lessives, et sous forme organique provenant des matières fécales.

II.4.2. Risques de la pollution par les eaux usées

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et perturbe l'écosystème aquatique et l'environnement. Elle peut concerner les eaux superficielles ou souterraines, aussi il est risqué sur la santé publique.

II.4.2.1. Risque sur l'environnement

- Diminution de la teneur en oxygène dissous.
- Présence de produits toxiques.
- Prolifération d'algues.
- Modification physique du milieu récepteur.
- Présence de bactéries ou virus dangereux.

a- Effets sur le sol

Ces impacts sont d'importance particulière pour les agriculteurs puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres. Le sol doit rester à un bon niveau de fertilité, afin de permettre une utilisation durable à long terme et une agriculture rentable. Les problèmes prévus au niveau du sol sont :

- La salinisation,
- L'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol,
- L'accumulation d'éléments potentiellement toxiques,
- L'accumulation de nutriments.

b- Effets sur les eaux souterraines

Dans certaines conditions, les effets sur les eaux souterraines sont plus importants que les effets sur le sol. La pollution des eaux souterraines avec des constituants de l'eau usée est possible par l'infiltration de ces dernières. (FAO, 2003).

c- Effet sur les eaux superficielles

Les rejets directs des eaux non épurées posent des problèmes d'eutrophisation des cours d'eau, de qualité de l'eau destinée à la production d'eau potable et de contamination microbiologique des zones de conchyliculture .

II.4.2.2. Risque sur la santé humaine

Les eaux usées peuvent contenir des pesticides, des micro-organismes pathogènes (virus, bactéries, parasites), et des éléments toxiques. Ils sont dangereux pour la santé humaine.

L'organisation mondiale de la santé (OMS) considère que 80% des maladies qui affectent la population mondiale sont directement véhiculées par l'eau : des dizaines, voire des centaines de millions de personnes sont atteintes en permanence de gastro-entérites, 160 millions de paludisme et 30 millions d'onchocercose. Malgré les apparences, la transmission des maladies par une eau polluée n'est pas l'apanage des pays en voie de développement, et l'élaboration des normes sur les eaux de consommation vise à fournir aux consommateurs une eau qui ne constitue par un risque pour la santé (OMS, 2005).

II.4.3. La Règlementation

" L'Assemblée générale des Nations Unies de 2000 a adopté les objectifs du Millénaire pour le développement (OMD) le 8 septembre 2000. Les OMD les plus directement liés à l'utilisation d'eaux usées en agriculture sont les objectifs N° 1 « Réduire l'extrême pauvreté et la faim » et N° 7 « Assurer un environnement durable ». L'utilisation d'eaux usées en agriculture peut aider les communautés à produire davantage de cultures alimentaires et à tirer parti de ressources précieuses en eau et en nutriments. Cette utilisation doit cependant s'effectuer sans risque afin que ses bénéfices pour la santé publique et L'environnement soient les plus importants possibles.

Pour protéger la santé publique et faciliter un usage rationnel des eaux usées et des excréta en agriculture et en aquaculture, l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) a

publié en 1973 des recommandations concernant l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture sous le titre *La réutilisation des effluents : méthodes de traitement des eaux usées et mesures de protection sanitaire* (OMS, 1973) " (OMS ,2012).

La réglementation exige des niveaux de qualité pour les eaux usées épurées, déterminés par les taux de concentration des divers composants de ces eaux.

II.4.3.1. Les normes de L'OMS

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) est considérée comme la plus haute autorité dans le domaine de la santé et donne des recommandations au niveau mondial en 1989. Elle propose des normes sanitaires depuis des décennies et elle est en passe de les modifier pour les rendre plus sévères et diminuer les risques sanitaires. Pourtant, ces normes sont aujourd'hui extrêmement loin d'être appliquées en monde.

Les normes concernent uniquement les quantités de micro-organismes. Les protozoaires ne sont pas inclus directement car il est considéré qu'ils sont éliminés en même proportion que les helminthes. Les virus ne sont pas considérés non plus, leur présence étant difficile à détecter lors des contrôles de routine. Ces normes sont destinées à une utilisation internationale, et sont donc adaptées aux pays en voie de développement.

Pour protéger la santé publique et faciliter un usage rationnel des eaux usées et des excréta en agriculture et en aquaculture, l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) a publié en 1973 des recommandations concernant l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture sous le titre *La réutilisation des effluents : méthodes de traitement des eaux usées et mesures de protection sanitaire* (OMS, 1973). À l'issue d'une revue approfondie d'études épidémiologiques et d'autres informations, ces recommandations ont été actualisées en 1989 sous le titre *Guide pour l'utilisation sans risque des eaux résiduaires et des excréta en agriculture et aquaculture – Mesures pour la protection de la santé publique* (OMS, 1991). Ces recommandations ont eu une grande influence et de nombreux pays les ont adoptées pour les appliquer ou les adapter à leurs pratiques en matière d'utilisation des eaux usées et des excréta.

L'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères en agriculture est de plus en plus considérée comme une méthode associant recyclage de l'eau et des nutriments, renforcement de la sécurité alimentaire des ménages et amélioration de l'alimentation des ménages pauvres. L'intérêt pour l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture est motivé par la rareté de l'eau, le manque de disponibilité

des nutriments et les préoccupations concernant les effets sur la santé et l'environnement de cette utilisation. (OMS, 2012).

L'ANNEXE II résume les normes de l'OMS des eaux rejeté.

II.4.3.2. Les normes Européenne

La directive européenne du 19 mars 1991, relative au traitement des eaux résiduaires, impose la collecte et le traitement de la globalité des eaux urbaines résiduaires dans des délais qui s'échelonnent entre fin 1998 et fin 2005.

Le traitement correspond à un traitement biologique : (JOCE.1991)

- **DBO5**: 25 mg/L ou 70 à 90 % de réduction
- **DCO** : 125 mg/L ou 75 % de réduction
- **MES** : 35 mg/L ou 90 % de réduction.

Les niveaux de rejet ou les pourcentages de réduction sont à respecter 95 % du temps. La transcription de cette directive européenne en droit français a été prise en compte dans les arrêtés du 22 décembre 1994 et du 12 mai 1995.

L'ANNEXE III résume les normes européennes des eaux rejeté.

II.4.3.3. Les normes Algérienne

La réglementation algérienne est assez succincte concernant des eaux usées épurées. Les caractéristiques techniques des systèmes d'épuration des eaux usées sont fixées par voie réglementaire en prenant en compte notamment les critères relatifs aux agglomérations, aux possibilité d'utilisation des eaux épurées, aux risques de contamination et de pollution.

Le décret exécutif n° 07-149 de 20 mai 2007 publié dans le Journal Officiel de la République Algérienne n° 35, 23 mai 2007, fixe les modalités d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation sous forme de concession ainsi que le cahier des charges-type y afférent (JORA, 2007). Ce décret règle tous les processus d'utilisation des eaux usées épurées par les stations d'épurations, par une demande adressée par un concessionnaire au Wali (premier responsable de la Wilaya ou département) de la région, cette demande comporte une convention avec la station d'épuration qui fournit les eaux usées épurées. L'ANNEXE IV résume les normes algériennes des eaux usées rejeté.

Le contrôle technique, la gestion des périmètres irriguées et le contrôle sanitaire ainsi que la qualité de l'eau épurée et des produits agricoles est assurée par les directions

territoriales de chaque wilaya sous tutelle de différents ministères : ressources en eau, agriculture, santé, environnement et commerce (HANNACHI et al , 2013)

L'eau est le fluide vital de la vie sur terre et constitue un aliment fondamental, assez rare dans notre pays, qu'il faut protéger contre toute forme de pollution. La préservation de ce facteur exige un contrôle continu pour le comparer avec les normes nationales.

II.5. Conclusion

Le rejet direct d'eaux usées dans le milieu naturel est interdit : les eaux usées doivent impérativement faire l'objet d'un traitement pour éliminer les polluants qu'elles contiennent. Les quantités résiduelles après traitement doivent être suffisamment faibles pour être éliminées par l'autoépuration du milieu (chott). Néanmoins, les eaux usées présentent des risques pour l'environnement. Pour cela on est appelé à préciser des normes de rejet pour protéger l'environnement contre impacts négative.

La connaissance de la composition des eaux résiduaires et leur paramètre essentiel pour assurer la pertinence du choix et du dimensionnement des filières de traitement appropriées. Bien que les gammes de concentrations des paramètres typiques des eaux usées soient globalement connues. Le traitement des eaux usées à des degrés variables peut réduire notablement les concentrations de certains contaminants (des agents pathogènes provenant des excréta et de certains produits chimiques, par exemple) et ainsi le risque de transmission de maladies.

CHAPITRE III

Procédés d'épuration des eaux usées

III.1. Introduction

La station de traitement des eaux usées permet d'éliminer la pollution de l'eau (domestique, industrielle ou pluviale) afin de pouvoir la rejeter en milieu naturel (Chott, lac, rivière, mer) ou de la réutiliser. La vocation d'une STEP est de « mettre à niveau » la qualité de l'eau afin qu'elle respecte les normes environnementales en vigueur. Dans une station d'épuration, le traitement des eaux usées est réalisé en trois étapes distinctes, et ce, avant rejet en milieu naturel. Il s'agit des prétraitements, traitements primaires et traitements secondaires et éventuellement un traitement tertiaire.

III.2. Procédé d'épuration d'eaux usées

III.2.1. Les déversements d'eaux usées dans le milieu naturel

Le rejet direct des eaux usées domestiques dans le milieu naturel perturbe l'équilibre aquatique en transformant les rivières en égouts à ciel ouvert. Cette pollution peut aller jusqu'à la disparition de toute vie. Il faut retirer des eaux usées un maximum de déchets, avant de les rejeter dans l'environnement, pour que leur incidence sur la qualité de l'eau, en tant que milieu naturel aquatique, soit la plus faible possible (Chellé *et al*, 2005).

Quand les eaux usées ou les eaux résiduaires industrielles ne sont pas épurées avant rejet dans le milieu naturel, l'altération de ce dernier et les déséquilibres qui s'y produisent ont non seulement des effets immédiats sur les utilisations de l'eau, mais aussi des effets à long terme, parfois irréversibles dans le domaine de la vie humaine. (Djeddi, 2007).

III.2.2. La nécessité de l'épuration

Ce qui précède démontre la nécessité de l'épuration des eaux usées et des eaux résiduaires industrielles. Les caractéristiques d'une station d'épuration et le degré de traitement doivent être tels que l'effluent n'altère pas l'état du milieu récepteur dans une mesure incompatible avec les exigences de l'hygiène et de la salubrité publique et, d'une façon générale, avec les exigences des diverses utilisations ou activités (alimentation en eau des hommes et des animaux, utilisation agricole ou industrielles, production piscicole ou production de coquillages, navigation, baignades et autres activités sportives) (Djeddi, 2007).

III.2.3. Les stations d'épuration (STEP)

Elles constituent une autre voie d'élimination des eaux usées dans la mesure où celles-ci y subissent toute une batterie de traitements avant leur déversement dans le milieu naturel. Une STEP, généralement placée à l'extrémité aval d'un réseau est conçue pour épurer les eaux usées et limiter l'apport en excès de matière organique et dans certains cas, de substances minérales telles les nitrates et les phosphates dans les milieux récepteurs. Sachant que certaines substances contenues dans un effluent, à partir d'une certaine concentration, peuvent constituer un danger pour la communauté aquatique, l'épuration des eaux usées diminue l'impact sur les écosystèmes aquatiques. (Dekhil S.W, 2012).

III.2.4. Critères de choix du procédé d'épuration

Chaque procédé possède des avantages et des inconvénients qu'il faut ensuite opposer aux contraintes particulières de chaque projet.

- Nature physico-chimique des eaux usées à traiter.
- Contraintes sur la qualité de l'effluent rejeté.
- Taille, topologie et nature géotechnique du terrain disponible.
- Possibilité technique d'évacuer les boues.
- Possibilité de valoriser tel ou tel sous-produit d'épuration.
- Nature des matériaux de construction disponibles.
- Adaptabilité du procédé au climat.
- Connaissances techniques disponibles.
- Coût de revient et d'exploitation.
- Autorisations des instances compétentes.

Le choix du procédé nécessite une étude approfondie du contexte du projet.

(<https://www.palvamar.net/station.html>)

III.3. Etapes d'épuration des eaux usées

L'objectif principal du traitement est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement.

À cet égard, le traitement des eaux résiduaires le plus approprié est celui qui fournit, avec certitude, des effluents de qualité chimique et microbiologique exigée pour un certain usage spécifique, à bas prix et des besoins d'opération et d'entretien minimaux.

Les stations d'épuration des eaux résiduaires, indépendamment du type de traitement,

réduisent la charge organique et les solides en suspension et enlèvent les constituants chimiques des eaux usées qui peuvent être toxiques aux récoltes ainsi que les constituants biologiques (microbes pathogènes) qui concernent la santé publique en général.

Les différents degrés de traitements conventionnels sont :

- **Le traitement préliminaire.** Enlèvement des solides grossiers et d'autres grands fragments de l'eau usée brute (FAO, 2003).
- **Le traitement primaire.** Enlèvement des solides organiques et inorganiques sédimentables ainsi que les matériaux flottants (FAO, 2003). Les procédés de traitement primaire sont physiques (par exemple, décantation plus au moins poussée) ou éventuellement physico-chimiques, et produisent des boues primaires. (Djeddi, 2007).
- **Le traitement secondaire.** Enlèvement des matières organiques solubles et des matières en suspension des eaux usées traitées primaires (FAO, 2003). Les procédés d'épuration secondaire (ou biologique) comprennent des procédés biologiques, naturels ou artificiels, faisant intervenir des microorganismes aérobies pour décomposer les matières organiques dissoutes ou finement dispersées. Dans certains cas, un traitement faisant intervenir des microorganismes anaérobies (digestion anaérobie des boues résiduelles) est annexé au traitement secondaire (Djeddi, 2007).
- **Le traitement tertiaire et/ou avancé.** Enlèvement de constituants spécifiques de l'eau usée tels que les nutriments et les métaux lourds, qui ne sont pas enlevés par le traitement secondaire.

Ce sont des traitements complémentaires, dénommés parfois traitements avancés (coagulation physico-chimique, filtration sur sable, chloration, ozonation, traitement par le charbon actif, etc.) (Djeddi, 2007).

La désinfection, habituellement avec du chlore, est employée pour réduire les constituants microbiologiques (FAO, 2002).

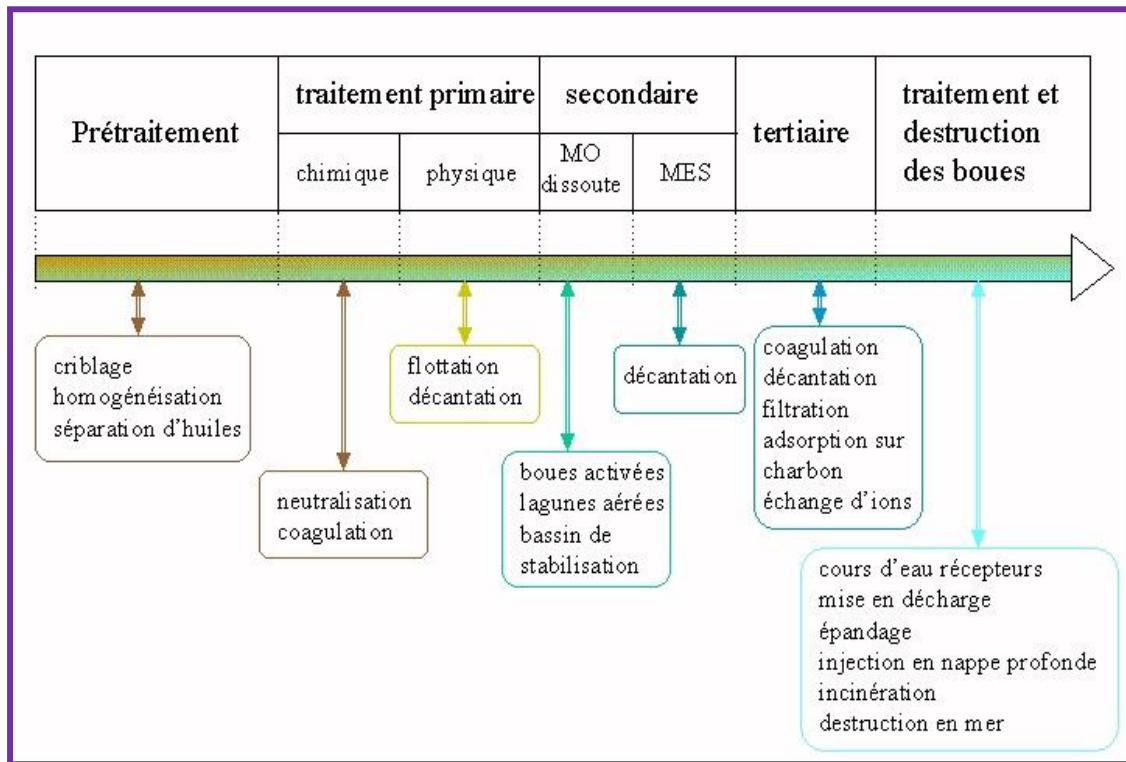


Fig.III.1. Les techniques de traitement des effluents

III.3.1.Prétraitement

Tout traitement de dépollution doit comporter ce qu'il est convenu d'appeler un « Prétraitement » qui consiste en un certain nombre d'opérations mécaniques ou physiques destinées à extraire le maximum d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne ultérieurement. Ces opérations sont : le dégrillage, le dessablage et le déshuilage.

III.3.1.1. Dégrillage

L'eau brute passe à travers des grilles composées de barreaux placés verticalement ou inclinés de 60 à 80° sur l'horizontale. L'espacement des barreaux varie de 6 à 100 mm. La vitesse moyenne de passage entre les barreaux est comprise entre 0,6 et 1 m/s. Le nettoyage de la grille est généralement mécanique. Il est réalisé par un râteau solidaire d'un chariot qui se déplace de bas en haut le long d'une crémaillère ou entraîné par deux câbles. Le fonctionnement du dispositif de nettoyage peut être commandé par une temporisation ou/et à partir d'un indicateur de perte de charge différentiel. Les matériaux de dégrillage constituent un produit gênant qui est composté ou évacué par camions.

Selon l'espacement entre les barreaux de la grille on distingue :

- **Un pré dégrillage:** l'espacement des barreaux varie de 30 à 100mm.
- **Un dégrillage moyen:** l'espacement des barreaux varie de 10 à 25mm.

- **Un dégrillage fin:** l'espacement des barreaux varie de 3 à 10mm.

Il existe différents types de grilles selon la conception des fabricants, la nature de l'effluent à traiter et le mode de nettoyage des grilles .On cité :

a)-Grilles manuelles

Grilles manuelles composées par de barreaux droits en acier. Elles peuvent être verticales mais le plus souvent inclinées de 60 à 80° sur l'horizontale. Dans les petites stations d'épuration rurales, les grilles sont quelquefois remplacées par des paniers perforés relevables, lorsque les collecteurs d'arrivée sont très enterrés (Laurent, 1994). Elles sont réservées à la petite station.

b)-Grilles mécaniques

Cette mécanisation est indispensable afin d'éviter un colmatage rapide des canalisations.

Elles se classent en deux catégories :

- **Grille droite:** elle est inclinées à 80° sur l'horizontale, et qui sont conçues avec différents dispositifs de nettoyage tels que : râteau alternatif à commande par crémaillère pour hauteur moyenne de relèvement des détritrus, râteau ou 5 grappin alternatif, à commande par câbles. Permettant d'obtenir une grande hauteur de relèvement des détritrus, brosses montées sur chaînes sans fin. pour dégrillage fin (Laurent, 1994).
- **Grille courbes:** Ce type de grille est très bien adapté aux stations de petite ou moyenne importance. Ces grilles très robustes sont installées sur des collecteurs peu enterrés, prévues pour des profondeurs d'installation inférieures à 2 m par rapport au sol, leur largeur peut atteindre jusqu'à 3 m (Laurent, 1994).



Photo (III.1):Grille manuelle



Photo (III.2):Grille mécanique

III.3.1.2. Dessablage

Nous appellerons *dessablage* l'extraction des matériaux transportés par suspension il l'entrée des prises d'eau, mais pouvant décanter sous l'effet du ralentissement de l'écoulement ou de la diminution de la turbulence.

Il s'agit, en pratique, d'éléments dont le diamètre varie de quelques centièmes de mm à quelques millimètres, les éléments inférieurs à quelques centièmes de mm relevant du *délimonage*, tandis que les éléments supérieurs à quelques millimètres relèvent du *dégravement*. Le dégravement se distingue en outre du dessablage par le lieu où ces opérations peuvent être réalisées dans un aménagement moderne : alors que l'essentiel du dégravement peut être obtenu dans le lit du cours d'eau avant les grilles de prise, le dessablage s'effectue principalement dans une partie des ouvrages d'amenée aménagée à cet effet, sauf dans le cas des retenues de dimensions notables. Quant au délimonage, il n'a lieu que dans les retenues ou réservoirs de grandes dimensions.

Le dessablage comporte deux phases :

- la décantation des matériaux en suspension,
- leur évacuation à l'extérieur des ouvrages.

Il y a deux types d'ouvrages :

- **Chambres de décantation** : ouvrages dans lesquels la décantation et l'extraction des dépôts sont des opérations successives.
- **Dessableurs** : ouvrages dans lesquels ces deux opérations sont simultanées.

Le fonctionnement des chambres de décantation implique des interruptions de la marche normale des ouvrages, à la différence de celui des dessableurs.

A. Chambres de décantation

A.1. Chambres à extraction mécanique

Nous citons seulement pour mémoire ce type d'ouvrage, aujourd'hui abandonné;

A.2. Chambres à extraction hydraulique

Les anciens ouvrages de ce type étaient, en général, à fond plat et comportaient une vanne de chasse de dimensions exigües, et souvent placée latéralement.

Pour ces trois raisons, l'évacuation des dépôts ne pouvait se faire correctement.

Les ouvrages plus modernes comportent une pente longitudinale de 3 à 5 %, parfois une section transversale en tréuilie, des vannes de chasse de dimensions moyennes (0,70 m à 1 m).

Dans certains cas (prise de haute montagne où le bassin de décantation sert également de dégraveur), les sections de vannes de chasse sont beaucoup plus élevées, leur largeur pouvant égaler celle du bassin; les pentes longitudinales, très variables, vont parfois jusqu'à 10 ou 20 %' Ces ouvrages simples et rustiques, dont le moyenne importance. Il est en effet difficile, sinon impossible, de rejeter brutalement en rivière, lors des chasses, des débits dépassant une dizaine de m³/s.

B. Dessableurs

Dans ces ouvrages, il est possible, par le soutirage d'un certain débit liquide, d'extraire les dépôts d'une manière continue durant la marche normale des ouvrages de prises.

Il convient de distinguer deux catégories de dessableurs en fonction de leur vitesse d'écoulement:

B.1. Les dessableurs à écoulement lent

Dans ces ouvrages, la faible vitesse empêche tout charriage de fond sensible. Les matériaux décantés doivent donc être captés, au point même où ils se sont déposés, par des orifices de purge convenablement répartis.

Vitesse d'écoulement comprise entre 0,20 m/s et 0,50 m/s; Orifices de purge répartis sur toute la longueur du bassin; Section transversale des bassins en général en forme de trémie.

La faible vitesse d'écoulement, et donc la faible turbulence, permettent d'obtenir la décantation des éléments de quelques dixièmes de mm, voire de 1/10^e de mm dans certains cas.

L'absence du charriage de fond permet un certain stockage des dépôts dans les bassins, d'où une souplesse d'exploitation intéressante, l'exploitation pouvant se faire par purge continue ou discontinue.

Toutefois, le nombre élevé d'orifices de purge conduit à une consommation d'eau importante dans le cas de purge continue, et le volume des ouvrages conduit à un coût de construction élevé.

B.2. Les dessableurs à écoulement rapide

Ces ouvrages sont constitués par un canal rectiligne à l'extrémité aval duquel sont disposés quelques orifices de purge.

Les vitesses d'écoulement, notablement plus élevées que dans le cas précédent, doivent à la fois être suffisantes pour que les matériaux déposés soient entraînés par

charriage jusque vers l'orifice de purge, et rester cependant inférieures à une certaine limite pour que la décantation puisse se produire. Les vitesses adoptées, en pratique, varient entre 1 m/s et 1,50 m/s, soit le triple environ des vitesses d'écoulement des dessableurs lents.

Ce type de dessableur permet une économie certaine à la construction, les vitesses d'écoulement plus élevées permettant une section transversale plus réduite que précédemment, voire l'utilisation pure et simple du canal d'amenée dans certains cas; ce dernier avantage est assez séduisant lorsqu'on veut placer un dessableur dans un aménagement existant.

La consommation d'eau est, en principe, réduite par le petit nombre d'orifices de purge; elle est, en fait, difficile à chiffrer et semble comprise entre 2 et 10 % du débit dérivé.

Par contre, ces ouvrages ont l'inconvénient de n'avoir un fonctionnement correct que dans une gamme de vitesses limitée: l'existence d'une vitesse limite inférieure restreint les possibilités d'épuration aux sables moyens (de l'ordre de 5/10 de mm en général, de 2 ou 3/10 de mm dans les cas très favorables), toute marche à vitesse trop réduite provoquant l'ensablement de l'ouvrage par arrêt du charriage de fond. Le seul mode d'exploitation possible, en marche normale, est la purge continue en raison du charriage de fond permanent; le nettoyage hydraulique des ouvrages par vidange et rincage, c'est-à-dire l'exploitation en bassin de décantation, est impossible en raison de l'absence de vanne de dimensions suffisantes et du fond plat des ouvrages, calé au niveau du radier du canal d'amenée. (R.Maitre, 1958).

Les types des dessableurs à prévoir pour obtenir une vitesse d'écoulement de 0,30 m/s sont :

- **Les dessableurs couloirs**, dont la vitesse d'écoulement est variable ou constante.
- **Les dessableurs circulaires**, à alimentation tangentielle ou à brassage mécanique ou à insufflation d'air.
- **Les dessableurs rectangulaires** à insufflation d'air. L'insuffle de l'air provoque une rotation de liquide et crée une vitesse constante de balayage du fond, perpendiculaire à la vitesse du transit. (Dengou, 2018).

Le sable est extrait soit mécaniquement par raclage vers un poste de réception, puis repris par pompage, soit directement par pompe suceuse montée sur pont roulant.

III.3.1.3. Déshuilage- dégraissage

Les problèmes de déshuilage et de dégraissage en prétraitement des eaux urbaines sont très complexes.

En effet ces deux opérations sont réalisées ensemble bien que correspondant à deux phénomènes physiques différents. Le déshuilage correspond à une opération de séparation liquide-liquide, le dégraissage correspond à une opération de séparation solide liquide (à condition que la température de l'eau soit suffisamment basse pour permettre le figeage des graisses. ce qui est le cas général sous nos latitudes).

En fait, en station d'épuration d'eaux urbaines, on parle essentiellement de dégraissage. Ainsi, dans une station d'épuration, le décanteur primaire sépare obligatoirement les graisses, qui se rassemblent en surface, mais est en général mal équipé pour la reprise de celles-ci dès que leur volume devient important, et il s'ensuit des difficultés d'exploitation.

Pour minimiser ces dernières, il est important de noter qu'un dégraissage des effluents avant rejet à l'égout est toujours recommandé. Ce prétraitement à la "source" et souvent imposé à de nombreuses entreprises artisanales (industrie de la viande) et aussi aux restaurants.

Des séparateurs de graisse (ou boîtes à graisse) standardisés sont fabriqués en série pour des débits allant jusqu'à 20 ou 30 litres par seconde. Ces appareils sont calculés par un temps de séjour de 3 à 5 minutes et une vitesse ascensionnelle de 15 m/h environ.

Bien exploités, ils peuvent retenir de l'ordre de 80 à 90 % des matières grasses figées, à condition que la température des eaux soit inférieure à 30 °C à la sortie de l'appareil et que l'enlèvement des matières soit effectué systématiquement par des curages réguliers. (Laurent, 1994)

Le Dégraisseur

Cet ouvrage permet la récupération des graisses contenues dans l'effluent, les graisses non retenues pouvant engendrer un certain nombre de difficultés sur l'installation de traitement comme :

- le colmatage des conduites ou de certains supports de culture fixée (lit bactérien, biofiltre) ;
- des anomalies de fonctionnement de certains organes (voies de niveau) ;

- des risques de moussage biologique en raison du substrat préférentiel de certaines bactéries filamenteuses.

Il existe différents dispositifs de déshuilage-dégraissage conçus suivant la nature de l'eau à traiter parmi lesquels :

- **Dégraisseur-déshuileur aéré:** Ce type d'ouvrage comprend une zone aérée (avec insufflation par le bas) suivi d'un compartiment de sédimentation latéral calculé pour une vitesse ascensionnelle de 15 à 20m/h.
- **Déshuileur longitudinal:** C'est un bassin de forme rectangulaire équipé de racleur de surface de fond.

L'ouvrage est calculé pour : - vitesse d'écoulement horizontal de 20 à 50 m/h;
- une longueur de 2 à 6 m; - une hauteur d'eau de 1 à 3 m.

Le plus souvent, les fonctions de dessablage et de déshuilage sont combinées dans un même ouvrage qui met en oeuvre les principes de fonctionnement cités précédemment.

Le rendement de ces ouvrages, exprimé en lipides, est en général de l'ordre de 10 % pour les dégraisseurs statiques et peut atteindre 20 % pour les dégraisseurs aérés bien conçus. Précisons que la quantité de graisse éliminée sur cet ouvrage n'est pas retenue uniquement en surface mais aussi par décantation en raison de l'adsorption des lipides sur les matières décantables.

Un habitant rejetant en moyenne 3 à 7 kfg de lipides par an, le dégraisseur collecte en surface, avec 20 % d'élimination dont 10 % en surface, 0,3 à 0,7 kg de lipide/eH/an ou 4,2 à 10 l de lipide/eH/an (avec une concentration en lipide de 70 g/l).(Canler, Perret , 2004).

III.3.2. Traitement primaire

III.3.2.1. Décantation primaire

La décantation primaire a pour objet de parfaire la qualité des prétraitements notamment par la capture des matières en suspension 'MES' naturellement décantables et par élimination poussée des flottants (huile et graisse).

Elle consiste en une séparation des éléments liquides et des éléments solides sous l'effet de la pesanteur, les matières solides se déposent dans le fond d'un ouvrage appelé **décanteur** pour former les boues primaire.

En moyenne elle élimine jusqu' à 80% de MES et 30% à 40% de la DBO5.

La décantation primaire s'impose généralement pour les stations d'épuration des grandes agglomérations.

Pour avoir une bonne qualité d'eau décantée, une sédimentation efficace et un épaissement correct des boues, différentes zones horizontales de l'ouvrage sont déterminées : la zone d'eau claire est comprise entre 0,5 et 1 m de haut, la zone de sédimentation entre 1,5 et 2,5 m et enfin la zone d'épaissement entre 0,5 et 1,5 m.

Il y a plusieurs types de décantation parmi lesquels on distingue :

a. Décantation classique

Le paramètre de dimensionnement pour les ouvrages de décantation classique est essentiellement la vitesse ascensionnelle V (m/s). Il existe de nombreux types de décanteurs classiques, selon le sens d'écoulement des eaux et, d'après les dispositions adoptées pour l'évacuation des boues on trouve :

- décanteur horizontal avec raclage des boues ;
- décanteur cylindro-conique ordinaire ;
- décanteur circulaire avec raclage des boues.

b. Décantation lamellaire

De conception plus moderne, le principe de la décantation lamellaire consiste à utiliser des plaques proches les unes des autres pour accroître la surface de décantation disponible par volume d'ouvrage. Afin d'assurer l'évacuation des boues, les plaques sont inclinées d'un angle par rapport à l'horizontale.

3.2.2. Traitement physico-chimique

Dans certains cas, afin d'améliorer le rendement de la sédimentation, un traitement physicochimique est également réalisé.

Le traitement physico-chimique a pour objectif d'éliminer en plus des matières en suspension une fraction importante de la pollution colloïdale. Ils mettent en oeuvre une coagulation- floculation par adjonction de réactifs minéraux et organiques suivie d'une décantation ou une flottation permettant d'éliminer une fraction importante des matières en suspension et colloïdales. Ces procédés assurent un rendement épuratoire variant de 50 à 70 % de la DBO5 et 80 à 90 % de MES (D'ornano et Mehaignerie, 1979) .

Ce traitement consiste à enlever leur stabilité aux matières colloïdales présentes dans l'eau en provoquant la neutralisation de leurs charges électriques superficielles et l'agglomération de ces particules pour former un flocon volumineux décantable appelé flocc.

Le traitement se déroule en 4 phases sont:

- 1- La coagulation :** qui consiste en un ajout de coagulant (chlorure ferrique, sulfate ferreux, ...) annulant les forces de répulsion entre les matières colloïdales, c'est la déstabilisation des particules colloïdales ;
- 2- La floculation :** qui consiste en un ajout de polymère qui permet agglomération les particules déstabilisées ;
- 3- La neutralisation :** , qui consiste à optimiser le pH des réactions précédentes par ajout d'une base ou d'un acide ;
- 4- La décantation :** qui permet la séparation des phases solide/liquide.

Une coagulation-floculation, suivie d'une décantation appliquée sur une eau domestique, permet d'éliminer jusqu'à plus de 90 % des matières en suspension et de 40 à 65 % de la DBO5. Ce traitement est indispensable dans l'épuration des eaux résiduaires industrielles.

Tab. III.1: Avantages et inconvénients du traitement physico-chimique.	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - compacité de l'installation (temps de séjour réduit, bonne intégration dans le site) - souplesse d'utilisation (réponse immédiate et à pleine efficacité pour les différents débits, fonctionnement intermittent possible). - rendement meilleur qu'une simple décantation. - efficacité sur les colloïdes, les MES et le phosphore. 	<ul style="list-style-type: none"> - consommation de réactifs (stockage des réactifs). - Elimination incomplète de la pollution organique et de l'azote. - coûts de fonctionnement élevés. - importante production de boues.

(E. ADLER , 2005)

III.3.3. Traitement secondaire

Les traitements secondaires regroupent tous les procédés d'épuration biologiques. Ces procédés biologiques impliquent la présence de micro-organismes qui dégradent et transforment la pollution organique dissoute et colloïdale contenue dans les eaux usées. Pour ce fait, les micro-organismes ont besoin d'oxygène. Dans la plupart des procédés, cet oxygène est fourni artificiellement par un système d'aération.

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

III.3.3.1. Traitement biologique

L'utilité des traitements biologiques est essentiellement de réaliser l'élimination des composés organiques oxydables et de l'azote ammoniacal. Certains procédés particuliers permettent également l'élimination de l'azote nitrique et même du phosphore.

Le traitement par voie biologique de la pollution organique dissoute constitue le mode de traitement secondaire des effluents urbains et de certaines eaux usées industrielles le plus couramment utilisé en raison de son efficacité et de sa relative universalité. (Laurent ,1994).

Les techniques d'épuration biologique utilisent l'activité des bactéries dans l'eau, qui dégradent la matière organique. Ces techniques peuvent être anaérobies, c'est-à-dire se déroulant en absence d'oxygène, ou aérobies c'est à dire nécessitant un apport oxygène .Parmi les traitements biologiques, on distingue les procédés biologiques extensifs et les procédés biologiques intensifs (Sifi Kada, Berrahal , 2014).

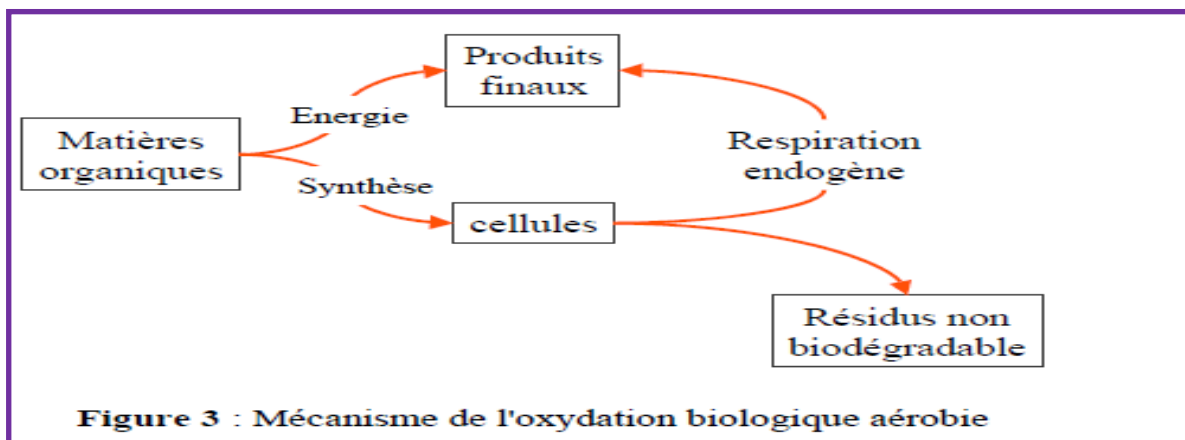


Fig.III.2.Mécanisme de l'oxydation biologique aérobie. (Dhaouadi,2008)

Le traitement consiste à dégrader les impuretés grâce à l'action d'une biomasse épuratrice, à laquelle doit être fourni l'oxygène nécessaire à son développement. En simplifiant, on peut décrire ce processus par l'équation :

Eau résiduaire + biomasse épuratrice + O₂ → eau purifiée + accroissement de biomasse + gaz résiduaire (CO₂...).

Le tableau ci-après met en évidence l'efficacité relative des traitements primaires, physico-chimiques et biologiques pour les principaux paramètres décrivant la pollution d'origine domestique.

Tab.III.2. L'efficacité relative des traitements primaires, physico-chimiques et biologiques pour les principaux paramètres.

Paramètres Procédés	Matières décantables	MES	DCO	N	P	Coliformes fécaux
Décantation primaire	90	50	20-30	10-15	< 10	< 90
Traitements physico-chimiques	100	80-90	SO-70	15-20	> 90	90
Traitement biologique	100	> 90	SO-90	25(90)*	30(90)*	90-99

(*) Applications particulière, cf chapitres consacrés à l'élimination de l'azote et du phosphore.

(Laurent ,1994)

a. Les procédés biologiques intensifs

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

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

Trois grands types de procédés sont utilisés :

- les lits bactériens et disques biologiques ;
- les boues activées ;
- les techniques de biofiltration ou filtration biologique accélérée.

a.1.Lit bactérien

Sur la base de sols reconstitués en laboratoire, Müller à Berlin (1865) et Franklin, à Londres (1868) imaginent le procédé aujourd'hui connu sous le nom de lit bactérien, un premier prototype est réalisé (4000 m² pour 15 000 hab). En 1890, Hazen conduit des travaux sur un filtre à gravier qui deviendront célèbres à la station de Lawrence (Mass.,

USA). En France, le Dr Calmette et l'ingénieur Bezault proposent des procédés similaires. En France, Serge Winogradsky fait d'importantes découvertes sur la nitrification et l'autotrophie, les lits bactériens nitrifiant très bien.

a.1.1.Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs (Fig.III.3 ci-dessous).

Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre-courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux (P.PERERA, B.BAUDOT,2001).

Une épuration sur lit bactérien est plus efficace qu'un traitement à boues activées car elle élimine non seulement virus et bactéries (respectivement 30 à 40 % et 50 à 95 %) mais aussi les œufs d'helminthes (20 à 90 %) et les kystes de protozoaires (83 à 99 % des kystes d'Entamoeba histolytica) (Faby, 1997).

La difficulté consiste à trouver la bonne vitesse du flux d'eau, qui ne doit pas être trop rapide (pour permettre la dégradation bactérienne) ni trop lente (pour une bonne évacuation de MES en excès).

a.1.2. Les lits bactériens Selon la nature de matériau

on distingue : (Maaliou 2012/2013)

1.Les lits bactériens traditionnels : on utilise comme remplissage minéral (la pouzzolane, du coke et des cailloux siliceux)

2.Les lits bactériens modernes : à remplissage organiques dits plastique (anneaux de rachi, PVC, polystyrène...) qui sont utilisés en modèle ou en vrac.

3.Les lits bactériens composés : à remplissage ne dépassent jamais les 5 m de hauteur.

A cause de ces garnissages, les lits bactériens peuvent atteindre une hauteur de 12 à 15m.

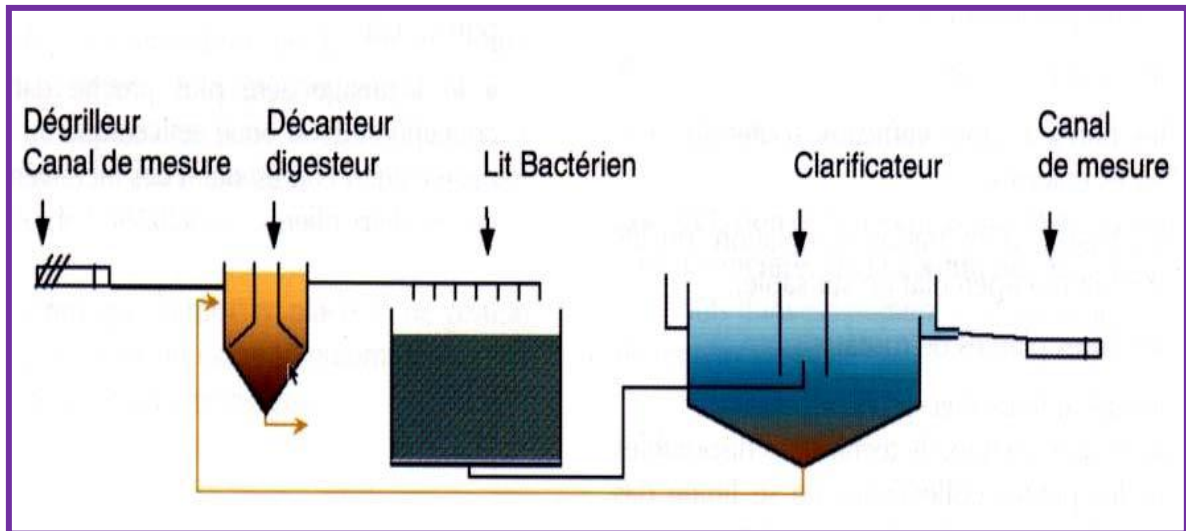


Fig.III.3.Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien. (Cemagref).

Différents types de matériaux sont utilisés : pouzzolane (taille comprise entre 40 – 80 mm), silex concassés, plastique divers, qui sont arrosés par un dispositif répartiteur en général mobile (sprinkler) sur le principe des tourniquets hydrauliques (sprinklers).

L'alimentation en air se fait en général naturellement. Les garnissages plastiques développent des surfaces élevées de l'ordre de 150 à 200 m²/m³ avec des indices de vides de l'ordre de 95 % (contre 50 % pour les matériaux traditionnels). Ces nouveaux procédés acceptent d'importantes variations de charges avec des risques réduits de colmatage. En outre, de nouveaux sprinklers motorisés assurent des vitesses plus faibles de rotation et, en relation avec un recyclage des effluents, permettent d'atteindre des rendements supérieurs. (E. Adler, 2005).

a.1.2. Les lits bactériens Selon la charge de l'effluent :

on distingue :

1. Les lits bactériens à faibles charges :

- Le rendement épuratoire est très élevé et atteint 95% .

2. Les lits bactériens à moyenne charges :

- Le rendement épuratoire est très élevé et atteint 90%

3. Les lits bactériens à hautes (forte) charges :

- Le rendement épuratoire est très élevé et atteint 80%

Tab. III.3: Avantages et inconvénients du traitement par lits bactériens.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - faible consommation d'énergie ; - fonctionnement simple demandant moins d'entretien et de contrôle que la technique des boues activées ; - bonne décantabilité des boues ; - plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées ; - généralement adaptés pour les petites collectivités ; - résistance au froid (les disques sont toujours protégés par des capots ou par un petit bâtiment). 	<ul style="list-style-type: none"> - performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées, Un dimensionnement plus réaliste doit permettre d'atteindre des qualités d'eau traitée satisfaisantes ; - coûts d'investissement assez élevés (peuvent être supérieurs d'environ 20 % par rapport à une boue activée) ; - nécessité de prétraitements efficaces ; - sensibilité au colmatage ; - ouvrages de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés.

a.2. Procédé de boues activées

Sur la base d'essais de dilution d'eaux d'égouts avec de l'eau de mer en 1893 à New York (épidémie de choléra en 1892), Fowler, Directeur des eaux de Manchester avance l'hypothèse que l'épuration est l'œuvre de bactéries et que l'oxygénation est due aux algues. L'expérience suivante est réalisée :

- saturation eau d'égout à l'air (oxygénation)
- décantation des suspensions
- extraction du surnageant
- mélange de la "boue" avec de l'eau d'égout
- resaturation à l'air etc...
- l'eau extraite est purifiée"

En 1914, les chimistes Adern et Locket de Manchester déposent le 1er brevet sur "les boues activées". En 1920, Jones et Atwood, industriels anglais commanditaires de Adern et Locket mettent au point les premières turbines de surface et définissent le procédé nommé "simplex", qui opère en "continu" et non plus en mode séquentiel.

Ce système met en œuvre une aération par turbine de surface et une décantation dans des zones tranquillisées par déflecteur (ancêtre des bassins-combinés et du SBR). (E. ADLER, 2005).

a.2.1.Principe de fonctionnement

Le procédé à boues activées a été découvert en 1914 à Manchester et repose sur la constatation suivante: (Fig.III.4 ci-dessous).

" Une eau d'égout aérée permet le développement rapide d'une flore bactérienne capable de dégrader des matières organiques polluantes. Dans les conditions idéales d'aération, les micro-organismes d'une eau usée se développent et s'agglomèrent en floes. Au repos, ces derniers se séparent très bien de la phase liquide par décantation ".

C'est dans le clarificateur que cette séparation entre la boue et l'eau clarifiée a lieu. Une partie des boues est renvoyée dans l'aérateur pour le réensemencement permanent ou réinjectée en tête de station, l'autre en excès, est éliminée et doit faire l'objet d'un traitement séparé.

Le principe du procédé à boues activées consiste donc à provoquer le développement d'un floc bactérien dans un bassin alimenté en eau usée à traiter (bassin d'activation). Afin d'éviter la décantation des floes dans ce bassin, un brassage vigoureux est nécessaire. La prolifération des micro-organismes nécessite aussi une oxygénation suffisante. (Dhaouadi,2008)

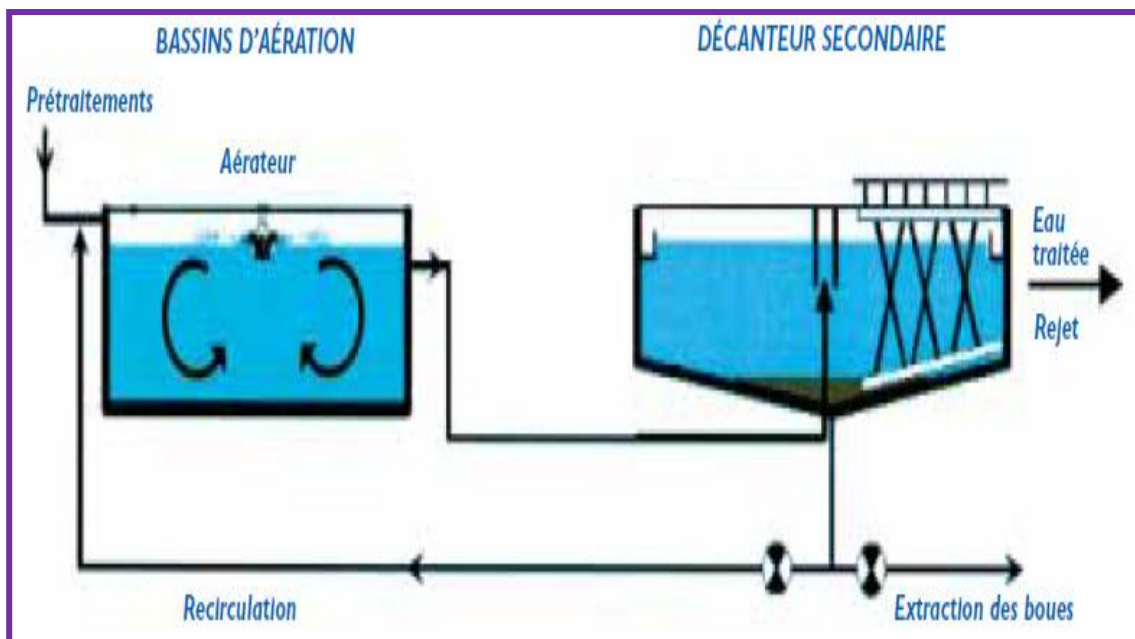


Fig.III.4.Schéma d'une station d'épuration à boues activées. (Perera et Baudot, 1991).

Le bassin d'activation peut être précédé d'un décanteur primaire dans le but d'éliminer les matières décantables et suivi d'un clarificateur pour la séparation de l'effluent épuré et des boues. Plusieurs configurations de bassins d'aération dans le cas du procédé par boues activées peuvent être mis en œuvre : - Conventionnel (le plus fréquemment utilisé) ,

- Contact stabilisation, - Alimentation étagée, - Mélange intégral (complet).

Tab. III.4: Avantages et inconvénients du traitement par boues activées.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites) ; - bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (MES,DCO,DBO5, N par nitrification et dénitrification) ; - adapté pour la protection de milieux récepteurs sensibles ; - boues légèrement stabilisées ; - facilité de mise en œuvre d'une déphosphatation simultanée. 	<ul style="list-style-type: none"> - coûts d'investissement assez importants ; - consommation énergétique importante ; - nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière ; - sensibilité aux surcharges hydrauliques ; - - décantabilité des boues pas toujours aisée à maîtriser ; - forte production de boues qu'il faut concentrer.

a.3. Procédé de disques biologiques

Le procédé de traitement des eaux résiduaires urbaines par Disques Biologiques (DB) constitue l'un des modes de traitement biologique aérobie par cultures fixées sur support grossier. Cette filière d'épuration est adaptée aux petites et moyennes collectivités.

Elle permet d'obtenir des performances épuratoires élevées en ce qui concerne l'élimination de la pollution carbonée et des matières en suspension. L'oxydation des formes réduites de l'azote, varie en fonction du dimensionnement. Par ailleurs, il s'agit d'une filière résistante aux climats froids (couverture aisée). (Fig.III.5). (C.Boutin ,2016).

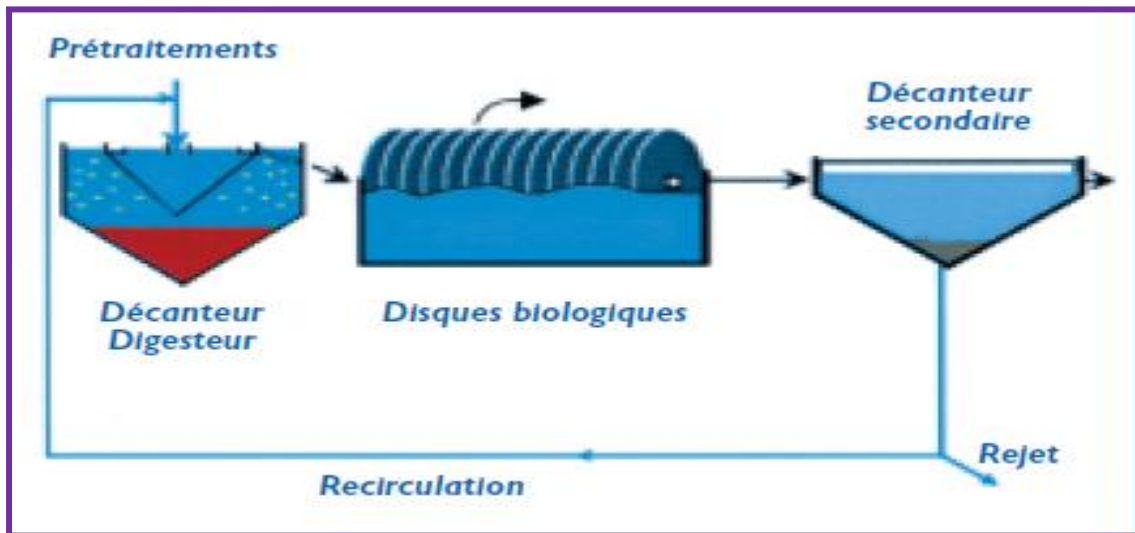


Fig.III.5.Schéma d'une station d'épuration à disque biologique.
(Perera et Baudot, 1991)

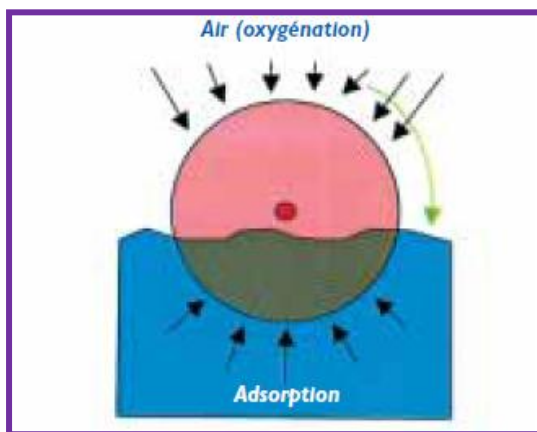


Fig.III.6.Schéma de principe d'un
disque biologique

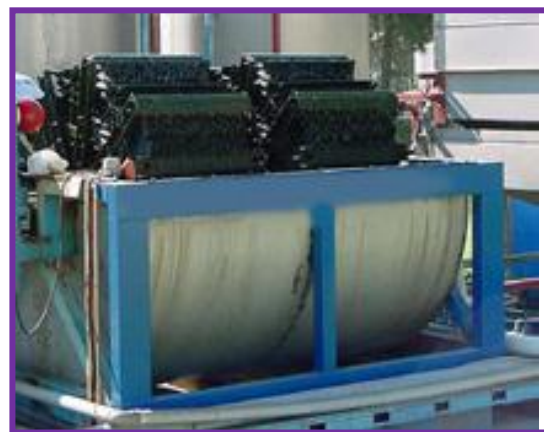


Photo (III.3):Disques biologiques

a.3.1.Principe de fonctionnement

Le procédé consiste à développer une biomasse épuratrice fixée dans des conditions aérobies sur des disques supports maintenus en rotation. Enfin, un ouvrage assure la séparation entre l'eau traitée et la biomasse décrochée des DB (boues d'épuration).

Les disques biologiques ou biodisques 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 biofilm sur les deux faces (C.Boutin , 2016).

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 . (Dhaouadi,2008).

La filière « classique » est constituée d'un ou plusieurs prétraitements, d'une ou plusieurs batteries de disques ainsi que d'un ou plusieurs clarificateurs.

Il existe des variantes à cette filière «classique» :

- un décanteur-digester peut être remplacé par un dessableur-dégraisseur et/ou un tamis rotatif et/ou une fosse toutes eaux ;
- un clarificateur peut être remplacé par un décanteur lamellaire ou par des lits de clarification-séchage plantés de roseaux.

Tab. III.5: Avantages et inconvénients du traitement par disque biologique.	
Avantages	Inconvénients
-Résistance au froid (les disques sont - toujours protégés par des capots ou par un petit bâtiment). -L'exploitation de ce procédé est relativement simple ne nécessitant pas de recyclage. -Généralement adaptés pour les petites collectivités. -Faible consommation d'énergie	-Très sensibles à la qualité des eaux à traiter. -La sensibilité au gel et aux huiles et graisses. -Coûts d'investissement assez élevés. -Ce procédé pose des problèmes dans la Construction.

b. Les procédés biologiques extensifs

On distingue couramment les techniques dites intensives des techniques dites extensives.

Du côté des techniques extensives, on reconstitue des écosystèmes artificiels simplifiés. Il s'agit de faire intervenir l'ensemble des processus de dégradation présents naturellement dans un écosystème. Avec les techniques extensives, on reproduit le principe de l'auto-épuration, mais dans des écosystèmes artificiels optimisés, de façon à protéger l'écosystème naturel. L'appellation « extensive » provient du fait que ces techniques nécessitent de grandes surfaces pour être pratiquées. Les charges appliquées par unité de surface sont par conséquent très faibles. La surface minimale requise est de 3 à 5 m²/EH.

L'extensive offre des techniques d'épuration qui sont des solutions tout à fait adaptées aux collectivités rurales (moins de 2000 EH) et aux zones d'habitat dispersé (assainissement autonome).

Il existe différents procédés extensifs d'épuration qui ont en commun une série de principes de fonctionnement et qui combinent différents éléments techniques.

b.a. Les points communs

- bassins étanches
- écoulement gravitaire unidirectionnel
- consommation énergétique nulle ou faible
- rusticité – robustesse – facilité d'entretien (pas d'opérations techniques complexes)
- conception unique site par site, visant une intégration optimale.

b.b. La palette technique des options

- écoulement horizontal ou vertical - alimentation continue ou par bâchée
- substrat minéral ou eau libre - présence ou absence de plantes
- diversité des substrats : sable, graviers (calcaire concassé), cailloux roulés siliceux

Parmi les combinaisons possibles de ces éléments, on distinguera :

- les filtres à sable à écoulement vertical
- les filtres plantés à écoulement vertical
- les filtres plantés à écoulement horizontal
- les lagunes d'eau libre
- les lagunes plantées (Hélène Peeters , 2014).

Parmi ces procédés on distingue :

b.1. Procédé des filtres plantés de roseaux

Les filtres sont des excavations, étanchées du sol, remplies de couches successives de gravier ou de sable de granulométrie variable selon la qualité des eaux usées à traiter.

Contrairement à l'infiltration-percolation, l'influent brut est réparti directement, sans décantation préalable, à la surface du filtre. Il s'écoule en son sein en subissant un traitement physique (filtration), chimique (adsorption, complexation...) et biologique (biomasse fixée sur support fin). Les eaux épurées sont drainées. Les filtres sont alimentés en eaux usées brutes par bâchées. Pour un même étage, la surface de filtration est séparée en plusieurs unités permettant d'instaurer des périodes d'alimentation et de repos.

b.1.a. Principe de fonctionnement

Le principe épuratoire repose sur le développement d'une biomasse aérobie fixée sur un sol reconstitué. L'oxygène est apporté par convection et diffusion. L'apport d'oxygène

par les racines des plantes est, ici, négligeable par rapport aux besoins. (Perera et Baudot, 1991).

Le traitement des effluents et des eaux usées sur « filtres plantés de roseaux » consiste à faire circuler gravitairement les effluents sur deux bassins successifs remplis de granulats implantés de roseaux, créant ainsi un milieu favorable à l'activité épuratoire des micro-organismes (Fig.III.7).

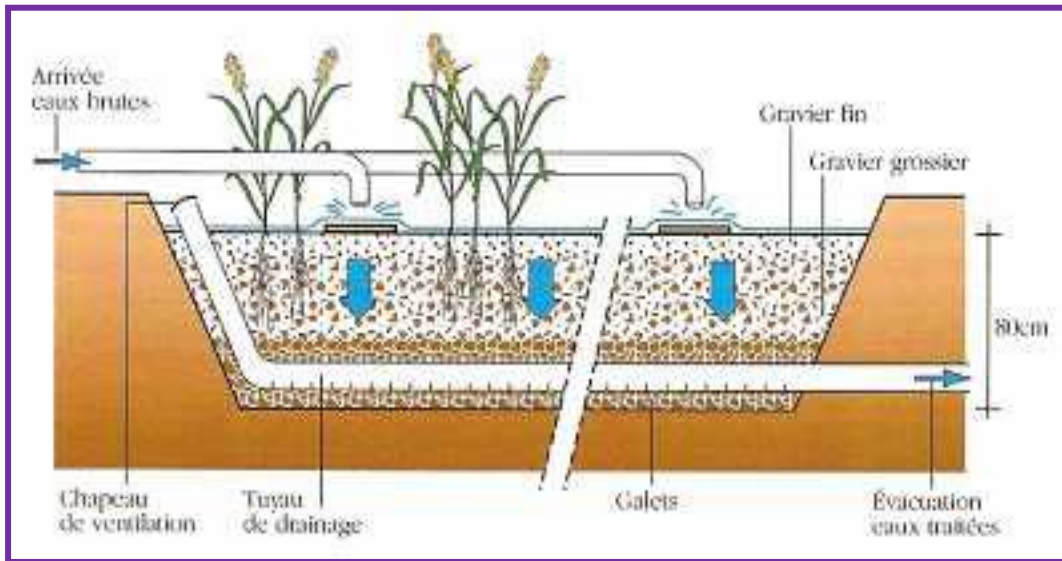


Fig.III.7. Coupe transversale schématique d'un filtre planté de roseaux.

(Morbihan, 2009)

Toutefois, un traitement primaire (décantation, flottation) reste nécessaire en début de filière d'épuration. Le fonctionnement par gravité permet de ne pas utiliser d'énergie extérieure.

La filière se compose :

- d'un dégrillage ;
- d'un premier étage de filtres verticaux ;
- d'un second étage de filtres verticaux.

Le dimensionnement pour les filtres verticaux est de 4 à 8 m²/EH (surface nécessaire à l'implantation de l'ensemble de la station), dont la surface utile est de 2 à 2,5 m²/EH pour les filtres. On distingue deux types de filtres plantés : filtres à écoulement vertical et filtres à écoulement horizontal. Le principe de fonctionnement du filtre à écoulement horizontal ne sera donc pas abordé. Les filtres à écoulement vertical sont alimentés en surface avec

des eaux usées brutes, ayant subi un dégrillage grossier puis l'effluent percole verticalement à travers le massif filtrant.

Cette première filtration permet la rétention physique des matières en suspension à la surface des filtres du 1er étage, d'où une accumulation de boues théorique d'environ 15 mm par an, à capacité nominale.

La dégradation biologique des matières dissoutes est réalisée par la biomasse bactérienne aérobie fixée sur le support filtrant ainsi que sur la couche de dépôt accumulée en surface.

Le 1er étage contribue essentiellement à la dégradation de la pollution carbonée avec un début de nitrification.

Le 2ème étage permet d'affiner l'élimination de la fraction carbonée et complète la nitrification en fonction des conditions d'oxygénation, de température et de pH.

L'oxygénation est assurée grâce à une alimentation par bâchée (alimentation non continue), à la diffusion gazeuse par la surface des filtres et grâce à la connexion des drains en fond de filtre à l'atmosphère.

Les filtres plantés à écoulement vertical sont constitués de deux étages en série. Chaque étage comporte 2 ou 3 lits en parallèles, alimentés en alternance.

Les périodes de repos sont fondamentales, elles permettent de :

- réguler la croissance de la biomasse fixée,
- de maintenir les conditions aérobies dans le massif filtrant ainsi que
- de minéraliser les dépôts organiques provenant des matières en suspension des eaux brutes retenues en surface.

L'ensemble de ces phénomènes permettent de minimiser le colmatage du filtre.

Le rôle des roseaux est principalement mécanique ; les tiges de roseaux et les rhizomes (tiges souterraines) perforent la couche de boues superficielles. Ils créent alors des cheminements se prolongeant jusqu'au système racinaire et vers la couche drainante, cela permet l'oxygénation et évite le colmatage. Les roseaux permettent la couverture foliaire qui préserve la surface des filtres d'une éventuelle dessiccation estivale. Cela assure de l'ombre aux bactéries, leur permettant un bon développement.

L'évapotranspiration estivale conduit à une forte diminution du volume sortant. En hiver, la couverture des roseaux permet de limiter l'impact des faibles températures (gel).

Le rôle des roseaux pour l'élimination directe de la pollution (carbone, azote, phosphore) est extrêmement faible. Ce sont les micro-organismes, se développant dans le support filtrant, qui assurent l'épuration biologique.

Théoriquement, plusieurs espèces de plantes peuvent être utilisées, mais les roseaux (de type *Phragmites australis*), par leur résistance aux conditions rencontrées, et la rapide croissance du chevelu de racines et rhizomes, sont les plus souvent utilisés dans les climats tempérés (Perera et Baudot, 1991).

b.1.b. Filière de traitement

La filière traditionnelle de filtres plantés de roseaux est composée de :

- Dégrilleur
- 1^{er} ouvrage d'alimentation par bâchée
- 1^{er} étage de filtre planté de roseaux drainé
- 2^{ème} ouvrage d'alimentation par bâchée
- 2^{ème} étage de filtre planté de roseaux drainé ou non
- Canal de mesure pour les filtres drainés

Tab. III.6: Avantages et inconvénients du traitement biologique par filtres planté de roseaux.	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -Facilité et faible coût d'exploitation. -Aucune consommation énergétique si la topographie est suffisant. -Possibilité de traiter des eaux usées domestiques brutes. -Gestion réduite au minimum des boues. -Bonne adaptation aux variations saisonnières de population. 	<ul style="list-style-type: none"> -Très sensibles à la qualité des eaux à traiter. -La sensibilité au gel et aux huiles et graisses. -Coûts d'investissement assez élevés. -Ce procédé pose des problèmes dans la Construction.

b.2.Procédé des lits d'infiltration-percolation sur sable

Les systèmes d'infiltration-percolation depuis longtemps utilisés dans des régions arides, notamment en U.S.A. (Flushing Meadows en Arizona et Whittier Narrows en Californie), pour affiner des effluents secondaires destinés à la recharge de nappes ou à divers usages tels que l'irrigation ou l'alimentation de lacs récréatifs. Mais à Antofagasta,

l'approche est un peu différente car d'une part, c'est l'infiltration des eaux usées brutes qui est envisagée afin de tirer profit de la totalité des éléments fertilisants contenus dans les rejets, et d'autre part, l'eau percolée est susceptible d'être réutilisée sur le sol utilisé pour l'épuration. L'infiltration-percolation pour objectif d'étudier les réactions et transformations initiales du sol et la qualité de l'eau percolée, dans le but de fournir les premières indications relatives à l'efficacité, à la mise en œuvre et à la gestion du système. (Nathalie RAHAINGOMANANA , 1993).

b.2.a.Principe de fonctionnement

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. Les charges hydrauliques sont de plusieurs centaines de litres par mètre carré de massif filtrant et par jour. L'eau à traiter est uniformément répartie à la surface du filtre qui n'est pas recouvert. La plage de distribution des eaux est maintenue à l'air libre et visible. (Perera et Baudot, 1991).

Les phénomènes physiques, chimiques et biologiques mis en jeu pour l'épuration sont :

- la filtration et la sédimentation des particules au niveau des pores du sol ;
- l'échange ionique, l'adsorption et la précipitation de sels dissous ;
- la biodégradation de la matière organique.

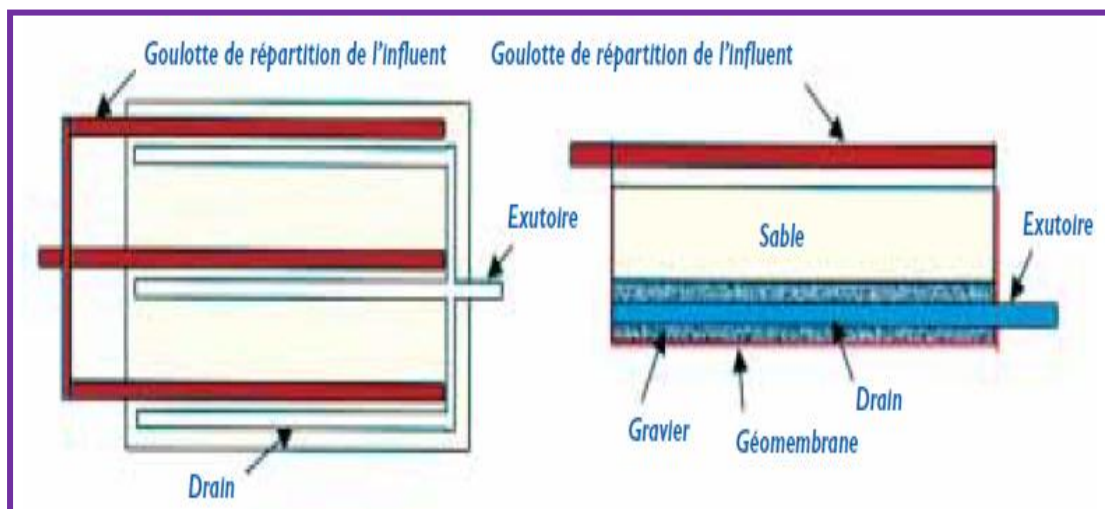


Fig.III.8.Infiltration-percolation étanchée et drainée.(Perera et Baudot, 1991).

Après sa percolation à travers quelques mètres de sol dans lesquelles s'opère le traitement, l'eau épurée peut être récupérée par drainage ou bien par pompage si elle rejoint un système aquifère sous-jacent (recharge de nappes). (N.RAHAINGOMANANA , 1993).

Le fonctionnement du système est basé sur la succession de périodes d'inondation et de dessiccation, ces dernières étant destinées à éviter la prolifération d'algues et à maintenir des conditions aérobies dans le sol pour permettre l'oxydation de la matière organique et entretenir une capacité d'infiltration élevée. En effet, les dépôts accumulés dans les pores, entravant l'aération du sol et favorisant la prolifération de bactéries anaérobies, peuvent entraîner un colmatage limitant fortement le fonctionnement du système.

D'excellents résultats d'élimination (en concentrations) sont obtenus par ce système :

- DBO5 inférieure à 25mg/l ;
- DCO inférieure à 90mg/l;
- MES inférieure à 30mg/l ;
- Nitrification quasi-complète ;
- Dénitrification limitée sur ce type d'installation. Dans sa version "assainissement autonome" l'épuration par le sol peut permettre une certaine élimination de l'azote.

Des études en 1993 a permis de constater que l'on pouvait éliminer 40% de l'azote à l'aide d'un filtre à sable vertical. Cet abattement peut aller jusqu'à 50% si on utilise un filtre à sable horizontal ;

- Phosphore : abattement fort pendant 3-4 ans (60-70%), puis faible puis négatif après 8-10 ans ;
- Possibilité d'élimination des germes témoins de contamination fécale sous réserve de disposer d'une hauteur de matériau suffisante et d'un fonctionnement hydraulique sans cheminement préférentiel (abattement microbien > 1000).(Perera et Baudot, 1991).

Tab. III.7: Avantages et inconvénients du traitement biologique par infiltration-percolation.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Excellents résultats sur la DBO5, la DCO, les MES ; - Nitrification poussée ; - Superficie nécessaire bien moindre que pour un lagunage naturel ; 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'un ouvrage de décantation primaire efficace ; - Risque de colmatage à gérer (d'où l'importance de l'emploi d'un sable "lavé" et de bonne granulométrie) ;

- Capacité de décontamination intéressante.	- Nécessité d'avoir à disposition de grandes quantités de sable, ce qui peut engendrer des investissements importants s'il n'y en a pas de disponible à proximité ; - Adaptation limitée aux surcharges hydrauliques.
---	--

b.3. Procédé de lagunage

L'utilisation d'étangs naturels ou artificiels, comme milieu récepteur d'effluents bruts ou traités, remonte à des temps anciens. Les premiers exemples récents du lagunage datent du début du 20^{ème} siècle.

Le procédé d'épuration des eaux usées par lagunage a été créé aux Etats-Unis en 1901. Dès 1920 le lagunage s'est développé aux USA, Canada, Suède et France. (Benkhalifa, Derki , 2019) .

On distingue deux types de lagunes :

- 1- les lagunes naturelles, anaérobies, facultatives ou aérobies qui peuvent recevoir des effluents bruts ou prétraités. Alimentés d'effluents traités, les lagunes naturelles sont nommées "étangs de stabilisation",
- 2- les lagunes aérées (avec aérateurs artificiels) qui constituent un dispositif très proche du procédé des boues activées à faible charge. (Laurent, 1994).

b.3.a. Principe de fonctionnement

Le lagunage est un procédé d'épuration qui consiste à faire circuler des effluents dans une série de bassins pendant un temps suffisamment long pour réaliser les processus naturels de l'autoépuration. Il est pratiqué dans les régions très ensoleillées, dans des bassins de faible profondeur.

Le principe général consiste à recréer, dans des bassins, des chaînes alimentaires aquatiques (Fig.III.9). Le rayonnement solaire est la source d'énergie qui permet la production de matières vivantes par les chaînes trophiques. Les substances nutritives sont apportées par l'effluent alors que les végétaux sont les producteurs du système en matière consommables et en oxygène.

Les bactéries assurent la part prépondérante de l'épuration et la microfaune contribue à l'éclaircissement du milieu par ingestion directe des populations algales et des bactéries.

Ce procédé simple demande des surfaces importantes car les temps de réactions sont très longs. Pour que le lagunage s'effectue dans les meilleures conditions d'aérobiose, tout en évitant les odeurs et la prolifération des insectes, il faut prévoir une décantation primaire des effluents. On empêche, ainsi, un colmatage rapide des bassins. Selon les régions, on peut traiter par ce procédé de 25 à 50 kg de DBO5 par hectare et par jour.

L'inconvénient majeur de ce type de procédé est le dépôt qui se produit à la longue et qui reste en phase anaérobie.

Ce traitement demande des surfaces importantes avec des temps de séjour de l'ordre de 30 à 60 jours et une profondeur des bassins de 0.5 à 1.2 m. (Dhaouadi,2008).

b.3.1. Le lagunage naturel

Dans les pays ensoleillés, lorsqu'on stocke l'eau à épurer dans des bassins de faible profondeur (0.8 à 1 m), on peut obtenir une épuration du type aérobie grâce à un développement bactérien actif utilisant la pollution comme source de nourriture et aboutissant à la formation d'une boue activée dispersée. L'oxygène nécessaire est alors fourni par l'activité Photosynthétique des algues vertes qui se développent abondamment dans un tel milieu. Le fond de la lagune, où se déposent les matières décantées, reste cependant en phase anaérobie.

Un équilibre biologique se crée, les bactéries transforment la matière organique en CO₂ et en sels minéraux (nitrates, phosphates) utilisés par les algues pour synthétiser leur matière vivante et produire de l'oxygène (phénomène de Photosynthèse).

Un tel traitement en étang est évidemment long (plusieurs semaines voire plusieurs mois) et, par suite, nécessite de grandes superficies. De bonnes conditions climatiques sont essentielles, les périodes de faible ensoleillement se traduisant par de faibles productions d'oxygène et par une mauvaise épuration.

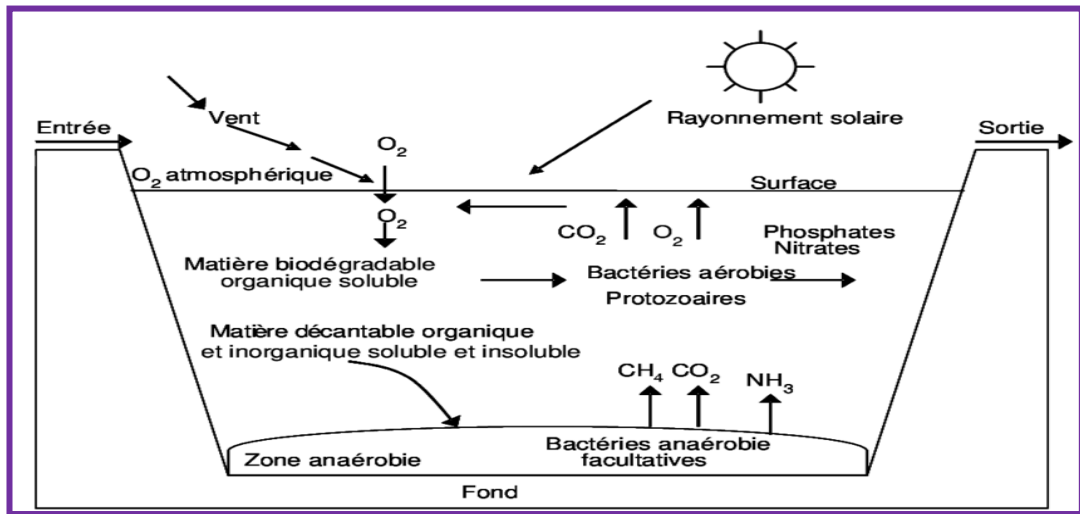


Fig.III.9. Les mécanismes des bassins de lagunage naturel. (Zerouqi,2015).

Le lagunage naturel est généralement réalisé dans plusieurs bassins en série dans lesquels les effluents à traiter sont soumis aux processus biochimiques naturels de l'autoépuration.

On opère en pratique avec trois types de lagunes :

- **une lagune profonde**, fonctionnant en anaérobiose,
- **une lagune de faible profondeur** ou bassin mixte dit "étang de stabilisation". Il s'agit d'un bassin de grande surface dans lequel la flore bactérienne, essentiellement aérobie, assure la métabolisation de la pollution grâce à l'oxygène qui lui est fourni d'une part par les algues vertes et d'autre part par les échanges gazeux air-eau à la surface liquide,
- **une lagune de finition** en complément de traitement fonctionnant principalement en aérobie. (Laurent, 1994).

Tab. III.8: Avantages et inconvénients du traitement biologique par lagunage naturel.	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Excellente élimination de la pollution microbiologique. - Faibles coûts d'investissement et de fonctionnement. - Aucune source d'énergie. - Bonne élimination de l'azote (70 %) et du phosphore (60 %). 	<ul style="list-style-type: none"> - Difficultés d'extraction des boues. - Surface nécessaire très importante. - Rendement faible au climat froid.

b.3.2. Le lagunage aéré

Une variante du procédé de lagunage naturel peut être obtenue en utilisant des lagunes aérées. Ce sont de vastes bassins, où l'on effectue une épuration biologique bactérienne comme celle qui se pratique naturellement dans un étang, en apportant de l'extérieur par insufflation d'air ou brassage au moyen d'aérateurs de surface, l'oxygène nécessaire au maintien des conditions aérobies.

Un avantage en découle : on peut opérer dans des bassins plus profonds que dans le lagunage naturel, car on n'est pas limité par la pénétration restreinte de la lumière dans le milieu. Une lagune naturelle, pour bien épurer, ne doit pas dépasser 0,8 à 1 m de profondeur. Le lagunage aéré s'effectue dans des bassins dont la profondeur varie de 2 à 4 m, ce qui permet de réduire considérablement les surfaces utilisées.

Un autre avantage : l'utilisation d'un matériel d'aération bien adapté devrait permettre d'assurer un brassage suffisant de l'ensemble, pour éviter les dépôts et le passage en phase anaérobie du fond du bassin.

En réalité, de telles lagunes sont économiquement irréalisables, car l'énergie nécessaire au brassage (10 Watts/m³ au minimum) est bien supérieure à celle nécessaire à la fourniture de l'oxygène (4 Watts/m³ en moyenne).

On peut considérer néanmoins que le lagunage aéré est, du point de vue biologique, un cas particulier de l'aération prolongée, sans retour de boues activées.

Dans le lagunage, où les colonies bactériennes sont en équilibre avec la charge polluante, la concentration en biomasse est faible (de l'ordre de 0,2 g/l).

L'aération est généralement pratiquée par des aérateurs de surface, montés sur équipement flottant. Photo (III.4).



Photo (III.4): Une station d'épuration à Lagunes aérées. (Dhaouadi,2008)

Bien que théoriquement elle ne s'impose pas, une recirculation de l'eau traitée et parfois des boues biologiques en tête de lagune est souvent pratiquée. Elle permet d'améliorer le mélange complet et d'assurer une meilleure répartition de la biomasse. Il est rare, en raison de la concentration relativement élevée en matières en suspension, que l'on puisse rejeter directement l'effluent traité à l'exutoire sans décantation finale. Une simple lagune non aérée peut faire office de clarificateur, la stabilisation des boues étant assurée par voie anaérobie. Une solution plus ingénieuse consiste à utiliser deux lagunes équipées d'aérateurs, alternativement en aération et clarification.

Tab. III.9: Avantages et inconvénients du traitement biologique par lagunage aéré.	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Traitement conjoints d'effluents domestiques et industriels biodégradables. - Tolérant aux variations de charges hydrauliques et/ou organiques importantes - Bonne intégration paysagère - Boues stabilisées. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rejet d'une qualité moyenne sur tous les paramètres. - Présence de matériels électromécaniques nécessitant l'entretien par un agent spécialisé - Nuisances sonores liées à la présence de système d'aération. - Forte consommation énergétique.

b.3.3. Le lagunage anaérobie

Le traitement anaérobie : Ce traitement s'effectue en condition d'anaérobiose c'est-à-dire en absence d'oxygène. Les bactéries anaérobies assurent la décomposition métabolique des composés biodégradables par des processus de fermentation. (Bakiri, 2015)

Les temps de séjour sont souvent supérieurs à 50 jours. Les charges organiques appliquées sont de l'ordre de $0.01 \text{ Kg}_{\text{DBO5}}\text{-m}^3\text{.j}^{-1}$. Une profondeur importante (5 à 6 m) est en principe un élément favorable au processus.

Dans la réalité, la classification aéro-anaérobie des lagunes n'est pas superflue, car dans les zones amont ou profondes des lagunes aérobie, on observe souvent un fort déficit

en oxygène. Un curage des bassins tous les 10 ans est nécessaire du fait de la production des boues.

La lagune anaérobie peut être utilisée pour traiter les effluents résiduaires urbains ou industriels. La pollution décantable des effluents urbains forme des boues qui sont peu à peu digérées par voie anaérobie (minéralisation de la matière organique et dégagement de CO₂, CH₄ et H₂S). Il est utilisé en traitement primaire pour éliminer la partie organique décantable des effluents urbains et la pollution organique soluble facilement assimilable des effluents résiduaires industriels (surtout agro-alimentaire).(<https://www.suez.com/fr>)

Il n'est applicable que sur des effluents très concentrés et, le plus souvent comme prétraitement avant un étage aérobie. La couverture de ces lagunes et le traitement des gaz produits sont nécessaires vu les risques de nuisances élevés (odeurs).(Dhaouadi,2008).

Du fait des processus de fermentation anaérobie mis en jeu, ce procédé n'est applicable que pour des effluents relativement concentrés (domestiques et industriels) et n'est efficace qu'à partir d'une température de 15 °C et optimale au-delà de 25 °C.

Les risques de nuisances olfactives existent dès que les concentrations en sulfates dépassent quelques dizaines de mg·L⁻¹ (une concentration de 100 mg·L⁻¹ doit être considérée comme haute). Des solutions de couverture des bassins avec ou sans récupération du biogaz sont développées pour éliminer ces nuisances.

Le lagunage anaérobie est envisageable dans des sites suffisamment isolées et sous des conditions climatiques favorables de type méditerranéennes à tropicales.

(<https://www.suez.com/fr>).

III.3.3.2. Décantation secondaire

Le rôle de la décantation secondaire est d'assurer une séparation satisfaisante de la biomasse de l'eau traitée (dont la qualité devra correspondre au niveau et de permettre par ailleurs un premier épaissement des boues biologiques décantées.

Les clarificateurs ou décanteurs secondaires doivent avoir une grande efficacité. Recevant une liqueur mixte de boues activées à une concentration voisine de 3 à 4 g/l en matières en suspension, ils doivent restituer une eau clarifiée n'en contenant plus que 30 mg/l au maximum, soit un rendement de 99 %. Dans le cas des procédés par aération prolongée où la concentration des boues biologiques peut atteindre 6 à 8 g/l, le rendement doit être encore meilleur supérieur à 99.5 %.

On cherchera toujours en outre réaliser des clarificateurs dans lesquels les boues séjournent le moins longtemps possible, de façon à éviter l'anoxie, voire l'anaérobiose des boues biologiques décantées qui doivent être recyclées le plus rapidement possible dans le bassin d'aération.

Le temps de séjour des boues dépend d'une part de leur vitesse de sédimentation et d'autre part du mode de collecte qui doit être particulièrement bien étudié.(Laurent, 1994).

Quelle que soit la filière retenue, la finalité du traitement des eaux consiste précisément à séparer les boues de l'eau, d'où le nom de "clarificateur", si on s'intéresse à l'eau traitée, et "décanteur" si on s'intéresse au devenir des boues et plus précisément à leur épaissement. Notons qu'en aération prolongée le rendement demandé au décanteur secondaire est élevé. En effet, pour une concentration à l'entrée de 3 à 4 g/l en moyenne, on exige une concentration en sortie inférieure à 30 mg/l; soit un rendement supérieur à 99 %. (Bakiri,2015).

III.3.4. Traitement tertiaires

Les traitements tertiaires souvent considérés comme facultatif ou complémentaire permettent d'affiner ou d'améliorer le traitement secondaire. De telles opérations sont nécessaires pour assurer une protection complémentaire de l'environnement récepteur ou une réutilisation de l'effluent en agriculture ou en industrie. Les traitements tertiaires visent à améliorer la qualité générale de l'eau. Leur utilisation s'impose lorsque la nature des milieux récepteurs recevant l'eau dépolluée l'exige. On y distingue généralement les opérations de dénitrification et déphosphatation ainsi que la désinfection.

Selon l'objectif final prévu pour les eaux usées traitées, les critères de qualité ne sont pas les mêmes que lors d'un rejet direct en sortie de STEP. Ainsi, il y a une obligation de mettre en place un traitement tertiaire et de choisir le ou les procédés qui sont les plus adaptés vis-à-vis de la réutilisation désirée et de la qualité de l'effluent en sortie de station.

Les traitements tertiaires permettent donc d'éliminer les substances non voulues pour répondre à un objectif de qualité prédéfini. Par exemple, lors d'une réutilisation en irrigation maraichère (production de fruits et légumes sans traitement thermique industriel) il faut éliminer en priorité les pathogènes et garder des éléments nutritifs, alors que lors d'une réutilisation en milieu urbain ou pour une recharge de nappe, l'azote et le phosphore doivent être éliminés afin d'éviter tout risque d'eutrophisation. Dans la plupart des cas, la qualité d'eau requise pour une réutilisation des eaux usées traitées, est le niveau de qualité.

C'est en partant de ce niveau de qualité à respecter, qui est le plus contraignant, qu'une liste des différents traitements tertiaires possibles va être établie dans la suite de ce rapport.

III.3.4.1. Élimination de l'azote et de phosphore

L'élimination poussée des nutriments comme le phosphore et l'azote doit seulement être mise en place pour certaines réutilisations. En effet, lors d'une réutilisation des eaux traitées pour l'irrigation, il est judicieux de conserver les éléments nutritifs présents dans les eaux usées. Le concept alliant irrigation et fertilisation, nommé « fertirrigation », prend actuellement de plus en plus d'ampleur. Le principe de réutilisation participe grandement à son développement.

Cependant, pour les autres utilisations (nettoyage des voiries par exemple), l'élimination de la pollution azotée et phosphorée est indispensable afin d'éviter tout risque d'eutrophisation. Evidemment, il est nécessaire que les étapes de traitement en amont soient fiables afin que les traitements tertiaires optimisent l'élimination de la pollution.

III.3.4.1.1. Élimination de l'azote

Parfois, l'élimination souhaitée en azote n'est pas obtenue en sortie de station. Une étape de nitrification et/ou dénitrification avec apport de substrat carboné peut alors être ajoutée dans la filière de traitement ou par échange d'ions (traitements physico-chimiques).. Cette étape placée généralement après le traitement biologique secondaire est appelée traitement tertiaire de l'azote. Les procédés associant traitement biologique et filtrant comme les biofiltres (Biofor de Degremont, Biostyr de Veolia) sont particulièrement efficace pour éliminer la pollution azotée résiduelle. Ils sont généralement utilisés pour une nitrification tertiaire.

Pour une dénitrification tertiaire, un ajout de carbone soluble (méthanol ou acétate) est effectué pour apporter une source de carbone organique aux bactéries dénitrifiantes car elles sont hétérotrophes. Ce type de traitement permet d'abaisser au maximum la concentration en azote des eaux usées. L'élimination de l'azote (BOURBON et al, 2015).

a. Nitrification-dénitrification

➤ **Nitrification** : en milieu oxygéné ;

La nitrification consiste en la transformation de l'ammoniaque en nitrate, elle est réalisée de façon biologique par les bactéries nitrifiantes. Or, ces bactéries ont une faible croissance, le temps de rétention des eaux dans le bassin d'aération doit donc être assez

long. La nitrification ne se produit donc pas dans le traitement secondaire, mais bien par un traitement aérobie tertiaire, plus long.

La nitrification s'effectue en deux stades par micro-organismes autotrophes :

- Nitritation: Oxydation de (NH_4^+) en (NO_2^-) par les bactéries des germes Nitrosomonas.
- Nitratation: Oxydation de (NO_2^-) en (NO_3^-) par les bactéries aux germes Nitrobacter.

➤ **Dénitrification** : en milieu pauvre en oxygène ;

Le nitrate ainsi produit est éliminé par la dénitrification⁷ biologique. La dénitrification est le processus par lequel les bactéries dénitrifiantes anaérobies convertissent le nitrate en azote gazeux (N_2). Cette relation est réalisée par le fait que, en absence d'oxygène, ces bactéries sont capables d'utiliser immédiatement l'oxygène des nitrates comme un oxydant. Le donneur d'électrons sera de préférence du carbone organique. La source de substrat carboné est donc très importante. En pratique, cette étape sera réalisée grâce à un bassin tertiaire anaérobie. Dans certains cas, les quantités de carbone organique apportées par l'effluent peuvent être insuffisantes pour obtenir une dénitrification poussée.

En pratique, les stations d'épuration réalisent le processus complet ou non selon le cas :

- La phase de nitrification uniquement : le but de cette phase est de produire un effluent contenant exclusivement de l'azote sous forme de nitrate, cette forme d'azote ne consommera donc plus d'oxygène lorsqu'il sera rejeté en milieu naturel, contrairement à l'ammoniaque.

- La nitrification suivie d'une dénitrification : l'effluent ne contient presque plus d'azote, le processus complet ayant été réalisé.(S.Vandermeersch , 2006).

b.Résine échangeuses d'ions

Cette technique s'applique aux formes minérales de l'azote et du phosphore, et la présence de M.O dans l'eau rend complexe l'utilisation des résines. En effet une partie de ces résines tend à se fixée irréversiblement sur les résines et à diminuer progressivement leur capacité d'adsorption, il importe donc de les éliminer avant le passage de l'effluent sur les résines.(BELAID.Z , AOUADI.H , 2018).

III.3.4.1.2. Élimination du phosphore

La déphosphatation est une étape clé dans les traitements tertiaires. En effet, l'utilisation massive et grandissante de phosphates dans les produits d'entretien et en agriculture pose de réels problèmes dans le milieu aquatique. (BOURBON et al, 2015).

Comme cité précédemment, le phosphore est un élément important dans les phénomènes d'eutrophisation des lacs, étangs et rivières. Or, une grande source de phosphore provient de l'eau urbaine. Il est donc primordial dans certains cas d'assurer un traitement tertiaire de déphosphatation.

Il existe différentes façon d'éliminer le phosphore des eaux : biologiquement ou chimiquement.

a. Biologiquement

Le principe de la déphosphatation biologique consiste en une accumulation de phosphore dans la biomasse microbienne, essentiellement par les bactéries accumulatrices de polyphosphate (poly-P), en vue de réaliser des réserves d'énergie ou des réserves en phosphore.

Cette déphosphatation demande une alternance de séquences anaérobies/aérobies : l'alternance de ces séquences a pour but de modifier l'équilibre enzymatique régulant la synthèse du poly-P en phase anaérobie.

- **Phase anaérobie** : des bactéries acétogènes, anaérobies facultatives, utilisent le carbone organique mis à leur disposition pour produire de l'acétate. Ces micro-organismes vont accumuler progressivement du phosphore jusqu'à des valeurs pouvant atteindre 10 à 11 % de leur poids sec.

- **Phase aérobie** : l'acétate produit est réutilisé par des bactéries du groupe *Acinetobacter/ Moraxella*. Ce sont des bactéries aérobies strictes qui ne peuvent utiliser qu'une gamme de substrats plutôt limitée. (S.Vandermeersch , 2006).

b. Chimiquement :

C'est la voie d'élimination du phosphore la plus pratiquée. Il s'agit d'une précipitation des phosphates par des sels de fer ou d'aluminium, ou encore par de la chaux. L'injection des réactifs peut s'opérer de plusieurs manières. Facilement mise en œuvre et ne nécessitant pas de surveillance particulière, la déphosphoration physico-chimique est une technique fiable et les rendements obtenus sont supérieurs à 80 % (BELAID.Z , AOUADI.H ,2018).

III.3.4.2. Adsorption

L'adsorption est le processus où des molécules d'une espèce appelée adsorbat (gaz ou liquide) viennent se fixer sur la surface d'un solide, appelé adsorbant.

L'adsorption est largement utilisée pour la dépollution et la purification dans des domaines très variés, par exemple les industries pétrolières, pétrochimiques et chimiques, aux applications environnementales et pharmaceutiques.

Le charbon actif est souvent utilisé comme adsorbant, c'est un matériau obtenu par pyrolyse du bois, noix de coco, charbon, lignine, et en général tout composé organique. L'utilisation de filtres à charbon actif en grains dans les installations de traitement à été mis en œuvre dans le but de retenir, par adsorption, une partie de la pollution organique qui n'a pas pu être éliminée par les premières étapes de traitement. (Dengou , 2018).

III.3.4.3. Les procédés de désinfection

Pour les zones sensibles, il est primordial de rejeter une eau épurée ne contenant pas de concentration élevée en pathogènes. C'est pourquoi un traitement supplémentaire est parfois réalisé : la désinfection. Cette dernière peut s'effectuer par différentes méthodes, notamment par la chloration, les UV et l'ozonation.

a. La chloration

Le chlore est un oxydant puissant, il est très actif dans l'élimination des micro-organismes. Cependant, suite aux réactions avec la matière organique et/ou les ammonium, il y aura formation de composés secondaires organo-chlorés et/ou chloramines très cancérigènes. Etant donné le caractère cancérigène des sous-produits de la chloration, le chlore est de moins en moins utilisé et même interdit dans certains pays. Je ne l'étudierai donc pas dans ce travail.

b. L'ozonation

L'ozone est un procédé de désinfection utilisé aux États-Unis, en Afrique du Sud et au Moyen-Orient essentiellement. Il est très efficace dans l'élimination des micro-organismes.

Une installation d'ozonation comprend 4 parties :

- Le traitement de l'air utilisé pour la production d'oxygène : l'air utilisé pour la production d'ozone doit être sec et propre ; d'où son traitement préalable,
- Le générateur électrique d'ozone appelé ozoneur : l'ozone est produit en soumettant cet air sec à une décharge électrique ou à une irradiation UV,

- Le transfert de l'ozone dans l'eau par turbinage, hydro-injection ou diffusion,
- Le système de récupération et traitement des événements ozonés : les événements chargés en ozone sont récupérés et éventuellement réutilisés pour une étape de pré-ozonation de l'eau en tête de traitement. L'excès d'ozone est éliminé par destruction thermique ou catalytique.

c. Les rayons ultraviolets

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

Le principe d'action des UV repose sur le fait que les rayons ultraviolets sont des ondes électromagnétiques qui correspondent à une gamme de longueur d'onde comprise entre 100 et 400 nm. L'absorption de ces rayons par les micro-organismes provoque une modification de leur ADN qui bloque toute réplication du matériel génétique et engendre leur mort.

A côté de ces procédés, le traitement tertiaire pouvant comporter autres procédés pour éliminer et traiter les boues finales (mise en décharge, valorisation) et les odeurs (La technique la plus souvent appliquée utilise l'absorption gazeuse liquide). (S.Vandermeersch, 2006).

III.4. Conclusion

L'épuration des eaux usées a pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent, afin de rendre au milieu aquatique qui est le milieu récepteur une eau de qualité, respectueuse des équilibres naturels et de ses usages futurs. Dans une STEP l'épuration des eaux usées passe par différentes étapes : les prétraitements suivis des traitements physicochimiques puis les traitements biologiques et enfin les traitements d'affinage.

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

En traitement biologique on distingue des procédés extensifs et d'autres intensifs. Le choix d'un procédé biologique de traitement des eaux usées se base sur des conditions de fonctionnement afin d'atteindre les objectifs considérés.

PARTIE II

Expérimentale

CHAPITRE IV :

Matériels et méthodes

IV.1 Introduction

L'objectif de notre étude consiste à effectuer des analyses physico-chimiques des eaux usées brutes, afin de vérifier la performance des filtres à sable utilisées, en tenant compte du changement du taux du charbon actif.

L'eau brute utilisée au cours de notre étude expérimentale sont lesquelles les eaux usées, où des échantillons ont été prélevés dans les puits d'égout du canal principal avant d'atteindre les quatre stations d'épuration distribuées à travers les 18 communes de la zone d'étude avant les rejetées au niveau de l'exutoire du Chott Hallouf.

Les filtres ont été alimentés pendant tous la période des essais les mêmes eaux usées suivant un mode de 3/2/3. (3 jours d'alimentation- 2 jours de report- 03 jours d'alimentation).

Cela pour éviter la formation d'une couche de boue qui peut empêcher la filtration (colmatage) et la pénétration d'O₂.

La réalisation d'une série d'analyses au laboratoire des eaux usées est faite avant et après l'alimentation des filtres au niveau du laboratoire.

Les paramètres physico-chimiques mesurés sont les suivants : Cond, MES, DCO, DBO₅, O₂, Turbidité,.

Les analyses ont été réalisées au sein du laboratoire.

IV.2 But Principal

Le but principal de ces essais est de suivre l'évolution des performances des filtres c'est-à-dire l'efficacité des supports fine composés essentiellement du sable de dune modifiés par d'autre matière dépolluants (charbon actif), l'objectif principal de ce travail est de mettre en évidence les potentialités des filtres pour éliminer la pollution surtout d'organique des eaux usée résiduaire.

L'épuration de ces eaux est assurée à travers un substrat de sable et grâce à la prolifération des bactéries soient se trouvant au niveaux des eaux usées ou bien dans le massif filtrant.

Nous allons présenter également dans ce travail les analyses des eaux usées brutes à travers desquels on testera le pouvoir épuratoire des filtres étudiés. Les résultats obtenus après filtration seront discutés avec un examen de leur conformité vis-à-vis de différentes normes de rejet.

IV.3. Principe expérimental et fonctionnement

Il s'agit d'appliquer aux sols sableux de dune de la zone d'étude (Oued Souf) le principe de l'infiltration-percolation, à partir des **eaux** usées brutes avant d'atteindre les 04 stations d'épuration (STEP). L'objectif recherché est d'une part la production d'une eau de percolation apte éventuellement à la réutilisation à l'irrigation ou autre domaine d'exploitation et d'autre part, l'amélioration des qualités des eaux épurées et la richesse du sol.

Ceci fait l'originalité de cette expérience puisque ce sont des eaux usées quasiment brutes qui sont appliquées sur un lit filtrant susceptible de devenir lui-même le support des cultures irriguées. L'essai d'infiltration-percolation qui fait l'objet de ce mémoire a donc tout spécialement été réalisé en vue de connaître l'évolution du sol et la qualité de l'eau de percolation obtenue par ce procédé, selon une perspective essentiellement agricole.

IV.4. Prélèvement et échantillonnage

L'échantillonnage consiste à retenir une fraction du prélèvement sur laquelle sera effectuée l'analyse.

C'est une opération très délicate à laquelle un grand soin doit être apporté. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modification des caractéristiques de l'eau.

La température de l'eau et de l'air sont toujours mesurés au moment du prélèvement, au même endroit et la lecture se fait à l'aide d'un thermomètre à mercure gradué ou un dixième.

Pour le prélèvement à partir d'un robinet, il est indispensable d'attendre que l'eau en stagnation soit éliminée. En pratique, il convient d'ouvrir le robinet à débit maximum pendant 5 à 10 secondes puis de le ramener à un débit moyen pendant 2 minutes pour ensuite remplir la bouteille sans la refermer.

Pour le prélèvement à partir d'un oued on a réalisé deux échantillons soit deux (2) bouteilles de plastique de 1,5 litre, rincées plusieurs fois avec l'eau à analyser, puis fermées hermétiquement sans bulles d'air dans les bouteilles.

Dans tous les cas, cette étape doit être respecter leurs objectifs, notamment :

- Assurer la représentativité de l'échantillonnage,
- Préserver l'intégrité de l'échantillon et éviter les contaminations,
- Assurer la fiabilité de l'opération et réduire les aléas,
- Assurer la comparabilité des résultats dans le temps et l'espace,
- Diminuer au maximum les erreurs et les incertitudes.

IV.5. Matériels d'étude

Dans ces expériences nous avons utilisé les matériels suivants :

IV. 5.1 Matériels de l'essai

- **Tubes en PVC** : Nous avons utilisée 4 tubes en PVC de 110 mm de diamètre d'une hauteur de 2m.
- **Robinets** : des robinets en plastiques à 4 cm du fond de la conduite pour l'évacuation de l'eau épurée.
- **Les filtres** : on utilise
 - Gravier de moyen et petit tailles après leur lavage.
 - Sable des dunes.
 - Charbon actif.



Photo (IV.1):Gravier moyen taille



Photo (IV.2):Gravier petit taille



Photo (IV.3):Sable de dune



Photo (IV.4):Charbon actif en grain

Dispositif expérimental (Photo original)

IV.5.2. Les eaux usées

Les eaux usées d'origine domestiques utilisées dans cette expérience proviennent d'un puits d'égout de la conduite principale avant d'atteindre la station d'épuration.

IV.6. Méthode d'étude

IV.6.1. Dispositif expérimental : Le dispositif utilisé pour nos essais basé sur une série de conduite en PVC de 110 mm comportant une filtre comme suit : (figure IV.1)

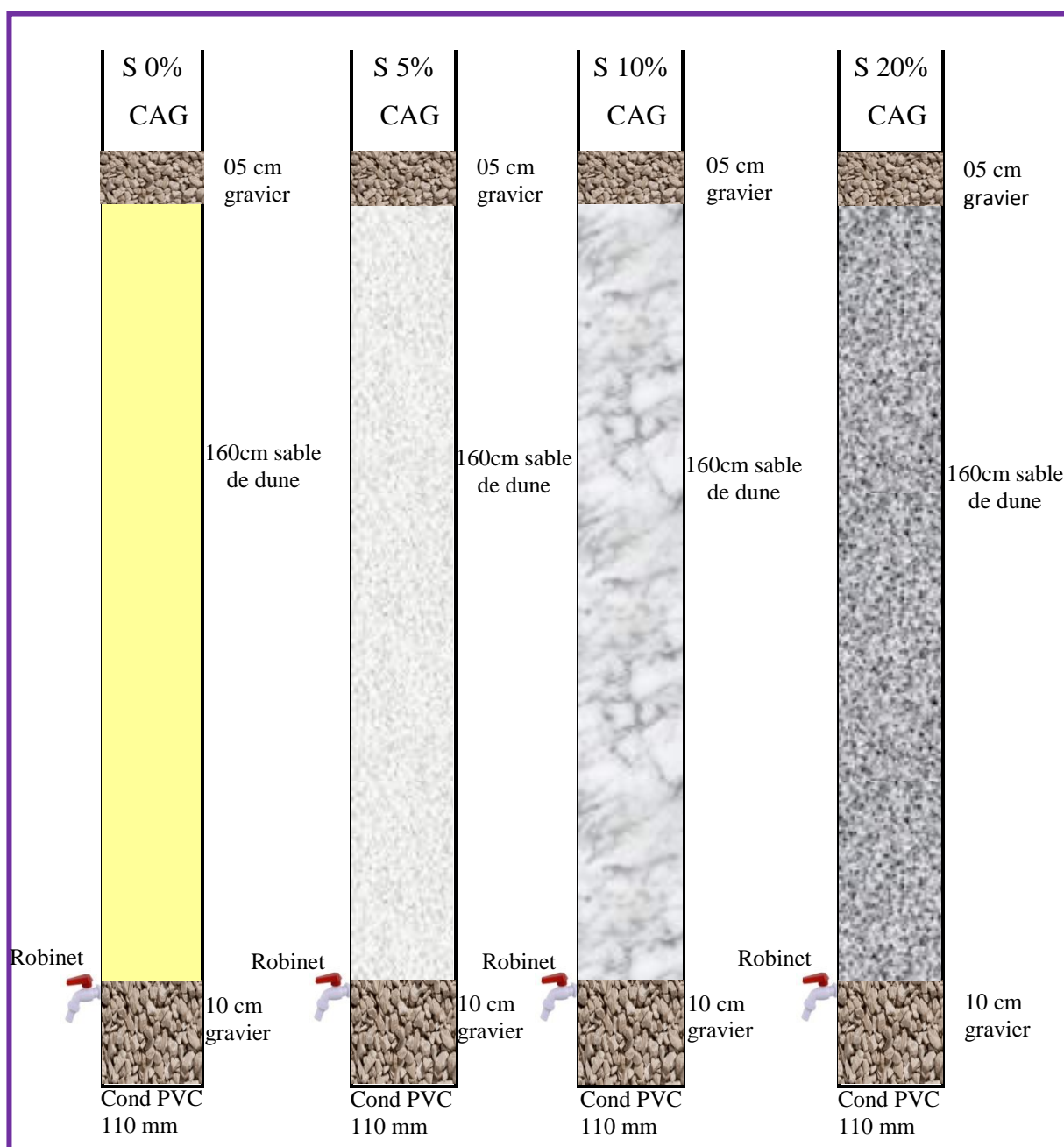


Fig (IV.1) : Les différents composants du substrat des différents filtres

- **filtre1**: 10 cm gravier au fond du tube, 160cm sable et 0% (volume) charbon actif en grain.
- **filtre2**: 10 cm gravier au fond du tube, 160cm sable et 5% (volume) charbon actif en grain.
- **filtre3**: 10 cm gravier au fond du tube, 160cm sable et 10% (volume) charbon actif en grain
- **filtre4**: 10 cm gravier au fond du tube, 160cm sable et 20% (volume) charbon actif en grain



Photo (IV.5) : Dispositif expérimental des différents filtres

Les filtres ont été alimentés pendant toute la période des essais par les mêmes eaux usées suivant un mode 3/2/3 (3 jours d'alimentation- 2 jours de report- 03 jours d'alimentation).

Cela pour éviter la formation d'une couche de boue. Trop épaisse qui peut empêcher la filtration (colmatage) et pénétration de O₂.

- L'alimentation de ces filtres a été faite à partir de 7 :00 à 13 :00 (temps de séjour 6 heures).
- Cette opération a été effectuée quotidiennement 8 jours y compris 02 jours repos.

IV.6.2 Méthode de dosage des paramètres physicochimique

Afin de déterminer la qualité des effluents à traiter, des analyses seront effectuées avant et après la filtration, les paramètres considérés sont les suivants :

- ✓ turbidité
- ✓ Température et le potentiel hydrique (pH) de l'eau.
- ✓ La conductivité électrique.
- ✓ Salinité (SAL%)
- ✓ L'oxygène dissous (O₂).
- ✓ Les matières en suspension (MES).

- ✓ Demande biochimique en oxygène (DBO₅).
- ✓ Demande chimique en oxygène (DCO).
- ✓ L'ammonium (NH₄)
- ✓ Nitrate (NO₃)
- ✓ Nitrite (NO₂)
- ✓ Cyanure (CN⁻)
- ✓ Nickel (NI)

IV.6.2.1 Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

a. Principe

Dans des conditions définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par de dichromate de potassium, (K₂Cr₂O₇) en milieu acide et en présence de sulfate d'argent (Ag⁺) comme catalyseurs d'oxydation et de sulfate de mercure (Hg₂⁺) permettant de complexer les ions chlorures. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de Fer et d'ammonium car la quantité de matière oxydable est proportionnelle à la quantité de dichromate réduit.

La matière oxydable contenue dans un échantillon est oxydée par chauffage à reflux en milieu fortement acide avec une quantité connue de bichromate de potassium dans une éprouvette fermée.

La matière oxydable dans l'échantillon qui réagit avec le bichromate de potassium provoque un changement de couleur dont l'absorbance est proportionnelle à la quantité de bichromate de potassium réduit et se mesure en équivalent d'oxygène.

b. Matériel utilisé

- Thermo réacteur (CR 2200).
- Spectrophotomètre.
- Réactifs: Produit chimie de la DCO sur une bouteille (tube de réactif DCO).



Photo (IV.6): Réacteur



Photo (IV.7): Spectrophotomètre

c. Mode opératoire

- Agiter le tube à essai pour amener le résidu en suspension.
- Ajouter 2 ml d'échantillon en tube de réactif DCO.
- Boucher hermétiquement le tube avec le bouchon fileté.
- Mélanger énergiquement le contenu de tube. Toujours saisir le tube par son bouchon.
- Chauffer le tube pendant 120 minutes à 148°C dans le thermo réacteur portoir.
- Retirer le tube brulant du thermo réacteur et le laisser refroidir dans un portoir.
- Au but de 10 minutes, agiter le tube et le remettre dans le portoir jusqu'à refroidissement à température ambiante (temps de refroidissement au moins 30 minutes).
- Ne pas refroidir à l'eau froide.

IV.6.2.2 Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO₅)**a. Principe**

La demande biochimique en oxygène (DBO) est une expression pour indiquer la quantité d'oxygène qui est utilisée pour la destruction de matières organiques décomposables par des processus biochimiques. La détermination de la DBO sert à évaluer la concentration des polluants organiques dans les entrées et sorties de station d'épuration biologique, c'est-à-dire à mesurer le rendement.

La mesure de la DBO₅ est faite selon la méthode manométrique basée sur le principe du respiromètre de WARBURG au cours duquel la respiration de la biomasse est directement mesurée par un appareil. Un volume d'échantillon est placé dans des flacons à bouchon rodé.

b. Matériel utilise

- Réfrigérateur conservant à une température de 20C°.
- Flacons d'incubation à bouchons rodés de 510ml.
- Barrou-magnétique.
- Pastilles de KOH.



Photo (IV.8): Réfrigérateur conservant



Photo (IV.9): bouteille Fermé par
DBO sensor



Photo (IV.10): DBO mètre

c. Mode opératoire

- Mettre le Barrou-magnétique dans la bouteille de DBO.
- Mettre le volume (V) dans la bouteille de DBO.
- Mettre le support d'alcalin (caoutchoute) sur la bouteille.
- Ajouté 3 ou 4 pastilles de KOH sur le support d'alcalin en évitant la chute d'une masse de KOH dans l'eau a analysée.
- Fermé bien la bouteille par DBO sensor. Régler la DBO sensor à partir de la gamme.
- Appuyer sur le bouton (A) et (B) au même temps pour changer le programme.
- Appuyer sur le bouton (A) pour régler la gamme.
- Appuyer sur bouton (B) jusqu'à l'affichage de (00).

d. Expression des résultats: Lecteur de la valeur après 5 jours.

- DBO_5 (mg/l) = Lecteur \times Facteur.

IV.6.2.3 Détermination des matières en suspension (MES)

a. Principe

Les matières en suspension (MES) constituent l'ensemble des particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée.

La détermination des matières en suspension (MES) est un indicateur de pollution concernant la charge en matières solides. L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par une pesée différentielle après un séchage à 105 °C.

b. Matériel utilisé

- Papier filtre en verre diamètre 47 mm ;
- Rampe de filtration sous vide ;
- Pompe à vide ;
- Etuve chauffé (105°C) ;
- Balance (0.001 g de précision);
- Le dessiccateur.



Photo(IV.11) : Etuve chauffée



Photo(IV.12) : Dessiccateur



Photo (IV.13) : Balance électrique (TP-303)



Photo (IV.14) : Ensemble de filtration

c. Mode opératoire

- Mouiller le filtre avec de l'eau distillée ;
- Mettre le filtre pendant quelque minute dans l'étuve chauffée à 105°C préalablement;
- Laisser refroidir les filtres dans dessiccateur quelque minute après l'étape précédent ;
- Peser le filtre sur la balance (soit P0 en mg) ;
- Placer le filtre dans la rampe de filtration et la connecter à pompe à vide;
- Filtrer un volume (V ml) de l'échantillon, puis rincer l'éprouvette graduée avec environ 20 ml d'eau distillée, et rincer les parois internes de l'entonnoir avec un autre volume de 20 ml d'eau distillée ;
- Retirer avec précaution le filtre de l'entonnoir à l'aide de pinces à extrémités plates si nécessaire. Le filtre peut être pile ;
- Placer le filtre dans l'étuve à (105±2) °C pendant 2 heures ;
- Laisser s'équilibrer à température ambiante dans le dessiccateur sans le contaminer et le peser comme précédemment (soit Pi en mg).

d. Expression des résultats:

On calcule la teneur de la Matière En Suspension d'après l'expression :

$$\text{MES (mg/l)} = (\text{Pi}-\text{P0}/\text{V}) * 1000$$

Ou:

P0: Poids du filtre sec avant filtration (en mg).

Pi: Poids du filtre sec après filtration (en mg).

Pi-P0 : Poids de la matière retenue par le filtre sec.

V : Volume de la prise d'eau en (ml).

IV.6.2.4 Détermination de l'oxygène dissous**a. Principe**

La concentration réelle en oxygène dépend en outre de la température, de la pression de l'air, à des processus microbiologique de décomposition ou une production d'oxygène, par exemple, les algues. Actuellement, la mesure électrochimique est la méthode reconnue par les différentes normes pour déterminer la concentration en oxygène des eaux.

b. L'appareil utilisé : Oxy-mètre INOLABO-OXI 730 WTW.



Photo (IV.15): Oxy-mètre Hach HQ40d



Photo (IV.16) : Oxy-mètre (INOLABO-OXI 730 WTW).

c. Mode opératoire

- Allumer l'oxymétrie;
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée;
- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser;
- Tremper l'électrode dans le bécher;
- Laisser stabiliser un moment;
- Lire la concentration de l'oxygène dissous;
- Rincer bien l'électrode après chaque usage avec l'eau distillée.

d. Expression des résultats: Le résultat est donné directement en mg/l.

IV.6.2.5 Détermination de conductivité électrique

a. Principe

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 d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique, elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations.

La température et la viscosité influent également sur la conductivité car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité. La conductivité électrique d'une eau s'exprime généralement en micro-siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

b. L'appareil utilisé : Conductimètre terminal 740 WTW.



Photo (IV.17): Conductimètre Terminal 740

c. Mode opératoire

- Vérifier le calibrage de l'appareil suivant la procédure ci-jointe;
- Plonger l'électrode dans la solution à analyser;
- Lire la conductivité et la salinité et la température des stabilise de celle-ci;
- Bien rincer l'électrode après chaque usage et conserve l'électrode toujours dans l'eau déminéralisée.

d. Expression des résultats : La valeur est lire directement sur l'écran de l'appareil en milli-siemens par centimètre (mS/cm).

IV.6.2.6 Détermination du pH et de la Température

a. Principe

La température influence sur la décomposition de la matière organique, le développement des parasites responsables de certaines maladies, et la prolifération d'algues bleues qui libèrent des toxines.

Le potentiel hydrogéné (pH) est en relation avec la concentration des ions hydrogéné présent dans l'eau ou les solutions.

b. L'appareil utilisé : PH mètre(Sensi ON 1).

Photo (IV.18) : PH mètre (Sensi ON 1).

c. Mode Opérateur

- Pendre environ = 100 ml d'eau à analyser.
- Allumer le pH mètre.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
- Tremper l'électrode de pile dans la solution tampon pH=7.
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage du standard.
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée.

Etalonner dans la même manière avec les solutions tampon pH =10 ou pH = 4.

d. Expression des résultants : La valeur est lire directement sur l'écran de l'appareil.

IV.6.2.7 Détermination de le nitrite (NO₂-)**Appareil**

- Spectrophotomètre HACK (R5000 mg)
- Pipetes 2 ml

Réactifs

- Réactifs nitrite (LCK 341) gamme (2 à 20 mg/l) pour les faibles concentrations.
- Réactifs nitrite (LCK 142) gamme (0.05 à 2.0 mg/l) pour les fortes concentrations.

Expression des résultants : Les résultats sont donnés directement en mg/l.

IV.6.2.8 Détermination de l'ammonium (NH₄⁺)

Appareil

- Spectrophotomètre HACK
- Pipetes 2 ml

Réactifs

- Réactifs ammonium (LCK 302) gamme (60 à 167 mg/l) pour les faibles concentrations.
- Réactifs ammonium (LCK 303) gamme (2.5 à 60.0 mg/l) pour les fortes concentrations.

Expression des résultats : Les résultats sont donnés directement en mg/l.

IV.5.2.9. Détermination de la nitrate (NO₃⁻)

Appareil

- Spectrophotomètre HACK
- Pipete

Réactifs

- Réactifs nitrate (LCK 339) gamme (1 à 60 mg/l).

Expression des résultats : Les résultats sont donnés directement en mg/l.

IV.6.2.10 Métaux lourds

▪ Cyanure (CN) : unité : µg/l de cyanures totaux

Les cyanures sont libérés dans l'environnement aquatique avec les effluents de l'industrie des produits chimiques organiques et de l'industrie de l'extraction et de la concentration de l'or, ainsi qu'avec les effluents de procédés industriels (usines de gaz, fours à coke, épuration des gaz dans les usines sidérurgiques,

nettoyage des métaux et électro-placage). Le cyanure présent dans l'environnement aquatique peut aussi provenir de sources non ponctuelles, dont le ruissellement découlant de l'application sur le sol et dans l'eau de sels contenant des composés du cyanure utilisés comme anti-agglomérants.

Après libération des cyanures totaux sous forme de HCN par digestion sous UV et une distillation en ligne à chaud en milieu acide, la quantité d'ions CN contenue dans le distillat est ensuite déterminée par colorimétrie.

- **Nickel (Ni) : unité : (mg/l):**

après une oxydation des ions de Ni par de l'iode, puis une transformation par diméthylglyoxime dans une solution ammoniacale en **un complexe** rouge brun, nous avons dosé cet élément par photométrie selon la méthode **appliquée pour** cette analyse qui est analogue à US standard méthodes 3500-NiE.

IV.6.3 Analyses Bactériologique

L'analyse bactériologique a pour but de mettre en évidence la présence de bactéries qui modifient l'aptitude d'une eau à une utilisation donnée, elle consiste en la recherche et la numération des germes de la flore totale de l'eau .

Cette flore est composée de micro-organismes banaux et de germes pathogènes. Ces derniers sont d'origine fécale dont le dénombrement est facilité par l'utilisation de germes indicateurs de pollution. Ceux ci sont régis par quatre facteurs : la spécificité, la sensibilité et l'importance quantitative ainsi que la résistance.

Un examen bactériologique ne peut être valablement interprété que s'il est effectué sur un échantillon correctement prélevé dans un récipient stérilisé, selon un mode opératoire précis évitant toute contamination accidentelle, correctement transporté au laboratoire et analysé sans délai ou après une courte durée de conservation dans des conditions satisfaisantes.

Dans la plus part des examens usuels, l'analyse bactériologique n'est pas seulement qualitative mais aussi quantitative. Dans ce cas, pour donner lieu à une interprétation satisfaisante des résultats.

❖ Recherche des germes de contamination fécale

Dans le cas des rejets domestiques, d'une masse importante de matières organiques.

La mise en évidence d'une telle pollution implique une contamination fécale certaine, cette contamination est caractérisée par une charge microbienne importante. Ce sont surtout des bactéries vivants normalement dans l'intestin de l'homme et des animaux.

Toute présence de ces micro-organismes impliquerait dans certains cas la présence de germes pathogènes plus dangereux.

Parmi les micro-organismes recherchés, on distingue :

- Les coliformes, les coliformes fécaux (E.Coli) :

Sous la dénomination des coliformes est regroupé un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant à la famille des Enterobacteriaceae.

Certains coliformes sont des hôtes habituels du sol et des eaux mais d'autres ne peuvent vivre que dans le seul habitat fécal. Escherichia-coli est un coliforme d'habitat fécal. Sa présence dans l'eau témoigne d'une pollution récente par la matière fécale.

- Les Streptocoques fécaux :

Les Streptocoques fécaux presque au même titre que E-coli sont des témoins de contamination fécale et ça quelque soit: l'espèce mise en évidence.

Les Streptocoques appartiennent à la famille des Lactobactériaceae qui sont des bactéries Gram-négatif, aérobies ou anaérobies facultatifs. La méthode utilisée est la numération indirecte après culture sur milieu liquide ou sur milieu solide.

- Les Clostridium sulfito-réducteurs :

En dehors des Streptocoques fécaux et E-coli qui sont des indices de contamination fécale récente, du fait que leur survie dans l'eau peut être très courte, les clostridium sulfito-réducteurs représentent l'indice d'une contamination fécale ancienne.

Ils sont -résistants aux conditions défavorables grâce à la sporulation. Ils sont des bactéries anaérobies strictes, sporulés, Gram+positif, réduisent les sulfites en sulfures et dont la plus part des espèces est mobile.

Clostridium perfringens est un germe très résistant aux sulfites et dont l'activité Sulfito -réductrice est la plus forte. Il peut être d'origine fécale et aussi d'origine tellurique et sa présence dans une eau ne constitue pas à elle seule une preuve de contamination fécale, tout au plus elle permet d'envisager la possibilité.

❖ Recherche des germes pathogènes :

Certaines maladies infectieuses sont transmises à l'homme par absorption d'eau ou d'aliments pollués par une eau contenant des micro-organismes pathogènes.

Les plus redoutables d'entre eux sont les salmonelles, responsables de la fièvre typhoïde, et le vibron cholérique, responsable du choléra.

- Salmonelles :

Les salmonelles sont des microorganismes de la famille des Enterobacteriaceae, dont les principales caractéristiques sont :

- Anaérobies facultatifs,

- Bacilles Gram négatif,
- Réduisent les nitrates en nitrites.
- Catalase + et oxydase - , Lactose -

Ce sont des bactéries parasites et pathogènes de l'intestin de l'homme et des animaux. Elles se trouvent également dans le sol et dans les eaux contaminées par des excréments, surtout de sujets malades. Ce sont surtout les *Salmonella typhi*, qui sont responsables de la fièvre typhoïde.

Ces bactéries pathogènes provoquent des maladies consécutives à un manque d'hygiène générale ou à une contamination alimentaire. Ces germes sont recherchés dans l'eau lorsqu'une épidémie est à craindre par la suite d'une infiltration d'eau usées.

La méthode utilisée pour le dénombrement est celle de la numération indirecte en milieu liquide.

– **Vibrion cholérique**

Le vibrion cholérique appartient à la famille des Vibrionaceae qui sont des bâtonnets Gram négatif. Ce sont des germes d'habitat fécale, on distingue deux variétés responsables du choléra, il s'agit de *Vibrio cholerae* et *Vibrio parvulus*, Agent causal du choléra, le vibrion cholérique est souvent recherché lors d'épidémies. La recherche du point de vue pratique des vibrions, consiste en l'enrichissement et l'isolement de ces germes pathogènes sur des milieux sélectifs.

Transformation par diméthyl-glyoxime dans une solution ammoniacale en un complexe rouge brun, nous avons dosé cet élément par photométrie selon la méthode appliquée pour cette analyse qui est analogue à US standard méthodes 35 - iE.

IV.6.3.1. Coliforme totaux

• **Mode opératoire**

On prélève 10 ml de l'eau épurée de chaque plante, puis on pose dans tube épreuve, il contient un solution bouillon pourpre de bromocresol (BCPL D/C), laisser a durée 48 h.

• **Composition de réactif**

Solution bouillon pourpre de bromocresol BCLP S/C (10 ml + cloche /tube) Bouillon lactose au pourpre de bromocresol milieu non sélectif, utilisée pour la détection de bactéries coliforme dans l'eau.

• **Expression des résultats**

Flotté de cloche donc il y a coliforme totaux.

IV.5.3.2. Escherichia coli

- **Mode opératoire**

On prend 1 ml des échantillons qui mesurée déjà dans coliforme totaux pour chaque plante puis passer au étuve à 44°, laisser à durer 24 Puis on ajoute quelques gouttes de Kovacs, et agiter jusqu' à l'apparition du cercle :

- Si jaune donc, elle indique la présence des coliformes totaux.
- Si rouge donc, elle indique la présence d'Escherichia coli.

- **Expression des résultats**

Si un cercle rouge apparaît donc, ceci indique la présence d'Escherichia coli.

IV.7. Conclusion

Ce chapitre consiste à présenter les matériels et méthode permettant l'analyse expérimentale du pouvoir épurative des quatre tubes des filtres, ces celles sont composée du substrat du gravier et sable des dunes modifier par le taux du charbon actif, l'étude a été effectuée pour 8 jour (3 jours d'alimentation- 2 jours de repos- 03 jours d'alimentation).

La maîtrise de suivre des paramètres physico-chimiques et les méthodes des analyses constitue une préoccupation pour les personnels de prélèvement des échantillons. L'objectif principal du suivi des filtres est de vérifier si les exigences de rejet établies pour cette expérience expérimentale sont respectées.

Le choix de prélèvement des échantillons et leur conservation dans les conditions idéales jouent un rôle important dans les analyses pour obtenir des bons résultats. Donc, les analyses des paramètres polluantes sont nécessaires pour connaître le degré de pollution et son risque à l'aide des appareils à technologie moderne.

Ce présent chapitre constitue un vu pour le suivi des performances épuratoires des filtres et pour le contrôle de la qualité (norme) de l'effluent à la sortie des filtres après le traitement. Il présente les différents paramètres analysés ainsi que les méthodes de détermination de ces paramètres.

CHAPITRE V :

Résultats et Discussions

V.1. Introduction

L'infiltration-percolation d'eaux usées fait partie de la famille des processus d'épuration biologique par le sol. Elle consiste à infiltrer les eaux usées issues de traitement primaire ou secondaire dans des massifs sableux. La pollution est éliminée par filtration mécanique et par dégradation par les micro-organismes fixés sur le substrat. (KASSOUK Zeineb.2002).

Ce système d'infiltration n'est utilisé que pour des traitements complémentaires (traitement tertiaire), en sortie de station d'épuration ou de lagunage, afin de réduire la pollution résiduelle et limiter la pollution des eaux de surface engendrée par les rejets des stations. (Asma Ben Rajeb, 2013).

L'eau épurée poursuit son infiltration dans le sol en place, jusqu'à rejoindre la nappe phréatique ou bien elle est drainée sous le sable, rejetée au ruisseau ou récupérée.

Ce procédé d'épuration représente des avantages et des inconvénients :

Avantages

- Adapté aux petites collectivités ;
- Rusticité du procédé : pas d'obligation de fourniture d'énergie si la topographie des lieux le permet ;
- Bonne qualité de l'eau traitée par rapport au lagunage ;
- Elimination importante de l'azote ammoniacal par nitrification ;
- Elimination possible de pathogènes (désinfection) pour de grande hauteur du massif filtrant (sable) ;
- Emprise au sol limitée par rapport au lagunage ;
- Faibles contraintes et coûts d'exploitation : exploitation simple et de durée limitée ;
- Bonne intégration dans l'environnement : possibilité de couvrir le lit avec de la terre végétale ;

Inconvénients

- Risque de colmatage ;
- Risque de mauvaise intégration dans l'environnement : odeur, visuel ;
- Faible élimination de l'azote par dénitrification ;
- Peu adapté sur les réseaux unitaires (surcharges hydrauliques).

V.2.Principe du traitement et objectifs

Les eaux usées, après un traitement préalable de décantation qui retient 20 à 30 % de la pollution, sont épurées à travers des filtres de sable modifiées par des pourcentages précis de charbon actif granulé. Le traitement est réalisé par filtration mécanique et par dégradation par la biomasse présente dans les filtres.

Cette technique a ainsi pour objectifs l'élimination de la matière en suspension par filtration, l'oxydation de la matière organique et de l'azote organique et ammoniacal par l'oxygène contenu dans la phase gazeuse du massif filtrant et l'abattement des germes pathogènes par les processus de filtration mécanique, d'adsorption et de dégradation microbienne.

L'efficacité de la dépollution dépend, dans une très large mesure, des caractéristiques du massif filtrant et de la gestion des filtres.

V.3.Mécanisme de colmatage

Le colmatage a été défini par l'occlusion progressive des interstices du matériau filtrant par les divers débris organiques, les floccs bactériens, etc. qui vont s'accumuler, à long terme, pour former une couche noirâtre de perméabilité régressive, appelée couche "colmatante".

Le phénomène de colmatage des filtres d'infiltration est étroitement lié à la matière en suspension et à la charge polluante de l'effluent qui détermine le type de colmatage. Il existe une triple origine pour ce processus : physique, chimique et biologique. (Asma Ben Rajeb, 2013).

V.4. Rendement épuratoire

L'évaluation du pouvoir épuratoire des filtres étudiés et l'interprétation des résultats obtenus sont basés essentiellement sur l'évaluation des paramètres physico-chimiques et sur le calcul du rendement d'élimination de la charge polluante. Le pourcentage d'abattement de la pollution (R %) est donné par la relation suivante :

$$R\% = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \times 100$$

Avec :

C_0 : Concentration du paramètre considéré dans l'eau usée brute (à l'entrée du filtre).

C_f : Concentration du paramètre considéré dans l'eau traitée (eau sortante du filtre).

V.5. Résultats et discussions des paramètres analysés

Le suivi des paramètres physico-chimiques de l'épuration est important car ils sont intimement liés aux paramètres bactériologiques. Ils déterminent le rendement épuratoire de notre système. Les analyses sont faites sur les paramètres suivants :

DBO₅, DCO, O₂, MES, Conductivité, Turbidité et le rapport DCO/DBO₅.

V.5.1. Oxygène dissous

Les résultats des analyses des filtres sont représentées dans l'annexe I.

Les concentrations en oxygène dissous constituent, avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique.

L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments.

On remarque que les valeurs des concentrations en oxygène dissous des eaux traitées des filtres sont nettement supérieures à celles des eaux brutes, ceci est dû à une bonne aération des eaux au niveau des filtres, nécessaire pour le développement des microorganismes aérobies assurant l'oxydation des matières organiques. On note aussi les concentrations élevées des filtres modifiées par le CAG par rapport du filtre témoin, ce qui indique le rôle important du CAG dans le processus de l'épuration de l'eau usée.

Les résultats sont représentés dans la figure (V.1).

Nous pouvons également marquer une augmentation de la teneur en oxygène dans tous les filtres après deux jours de repos (03jours d'alimentation- 02 jours de repos - 03jours d'alimentation) des filtres.

Nous concluons également que les résultats sauf le filtre témoin sont conformes aux normes algériennes pour le rejet les eaux usées épurées. Et cela prouve l'efficacité de l'essai, et donc les filtres à CAG.

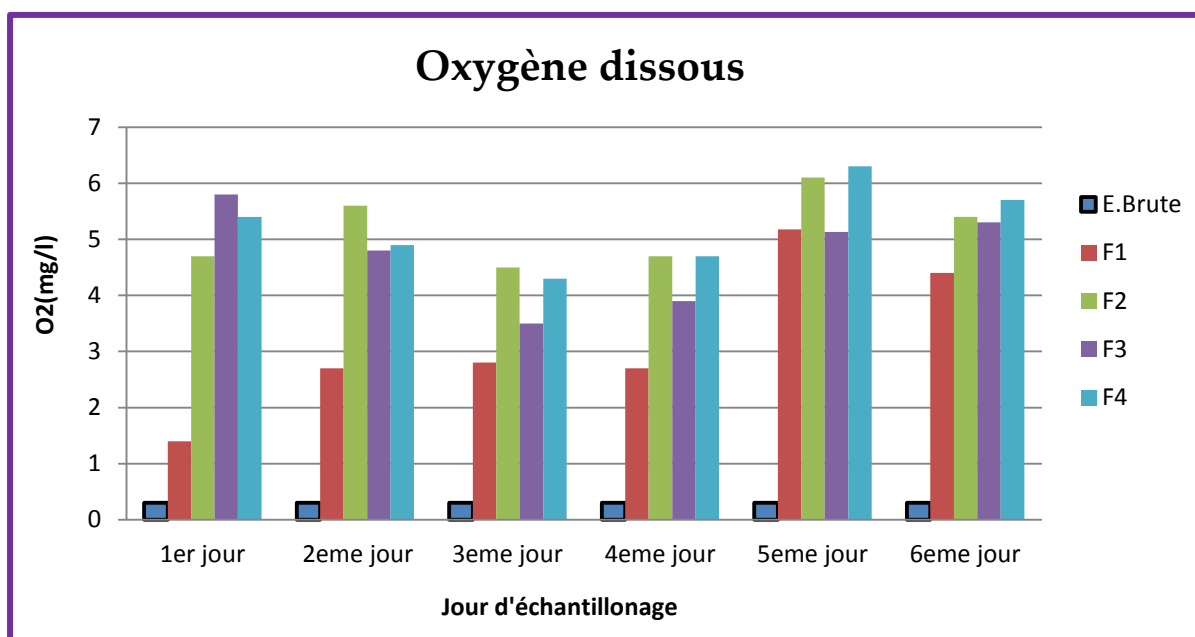


Fig (V.1) : variation temporelle d'O₂ dissous (mg/l) dans les différents filtres.

on remarque que les teneurs en oxygène dissous de l'eau brute est de 0,3 mg/l tandis que ; au niveau de le filtre témoin S0%CAG oscillent entre 1,4 mg/l et 4,4 mg/l, et entre 4,7 mg/l et 5,4 mg/l pour le filtre S5%CAG , et entre 5,8 mg/l et 5,3 mg/l pour le filtre S10%CAG , enfin pour le filtre S20%CAG entre 5,4 mg/l et 5,7 mg/l.

V.5.2. Conductivité électrique

La conductivité électrique (CE) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en milli-siemens par mètre (ms/m) à 20 °C. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 μ S/cm.

L'estimation de la quantité totale de matières dissoutes peut être obtenue par la multiplication de la valeur de la conductivité par un facteur empirique dépendant de la nature des sels dissous et de la température de l'eau.

La conductivité varie en fonction de la concentration de l'impureté. Sa détermination est nécessaire car au-delà d'une salinité limite, la biodégradation de la matière organique peut se trouver freinée et les rendements d'épuration affectés. La mesure de la conductivité de l'eau nous permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium...). Elle est plus importante lorsque la température de l'eau augmente.

Les résultats obtenus montrent une très forte minéralisation des eaux brutes (jusqu'au 5,5 ms/cm). L'augmentation de la conductivité pourrait être due à la concentration des eaux en sels minéraux par évaporation et l'augmentation de l'alcalinité

Les résultats relatifs à la variation de la conductivité sont représentés sur la figure V.2.

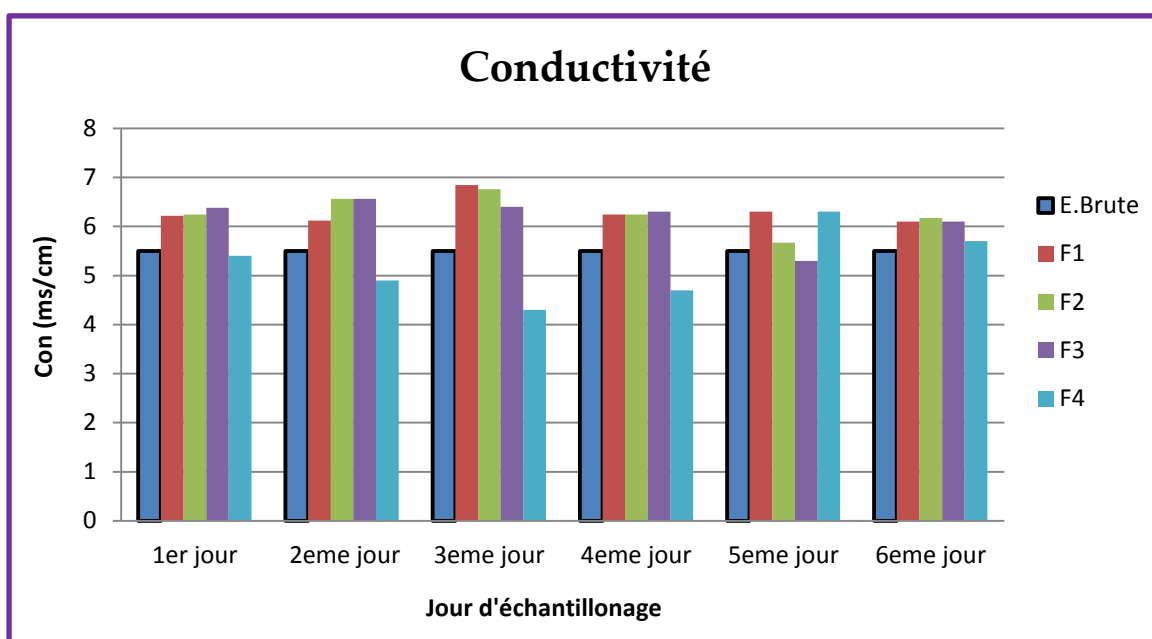


Fig (V.2) : variation temporelle de la conductivité (ms/cm) dans les différents filtres.

Nous avons constaté que la conductivité électrique des eaux usées récupérées des filtres suit une légère évolution croissante de filtre S0%CAG vers le filtre S20%CAG durant la période de nos essais, dont on registre 6,1 ms/cm au niveau des S0%CAG, S10%CAG et S20%CAG, mais on remarque un peu d'augmentation de la conductivité pour le filtre S5%CAG qui atteint 6,17 ms/cm. Comme nous signalons la diminution de la conductivité surtout dans les filtre1, filtre2 et filtre3 après les deux jours de repos. Finalement on observe qu'il n'y a pas aucune différence remarquable des résultats concernant la conductivité entre le filtre témoin et les autres filtres modifiés par le CAG.

La comparaison des valeurs de la conductivité électrique des eaux usées analysées avec la qualité des eaux destinées à l'irrigation permet de déduire que ces eaux usées ne peuvent pas être utilisées pour l'irrigation, et ne sont pas conformes aux normes nationales spécifiques.

V.5.3. Demande biochimique en oxygène DBO₅

La DBO₅ est une expression de la quantité d'oxygène consommée par les microorganismes lors de la décomposition (oxydation et dégradation) de la matière organique par les processus biochimiques (en aérobie). Les résultats montrent clairement la diminution considérable des valeurs de DBO₅ pour tous les filtres, dont la DBO₅ de l'eau usée brute est de l'ordre de 360 mg/l. La variation en fonction du temps affirme la performance épuratrice du massif filtrant en termes d'abattement de la DBO₅. De plus, nous avons pu remarquer une nette amélioration du taux réduction de DBO₅ dans les filtres à CAG comparativement au filtre témoin (S0% CA).

Les résultats relatifs à la variation de la DBO₅ sont représentés sur la figure V.3.

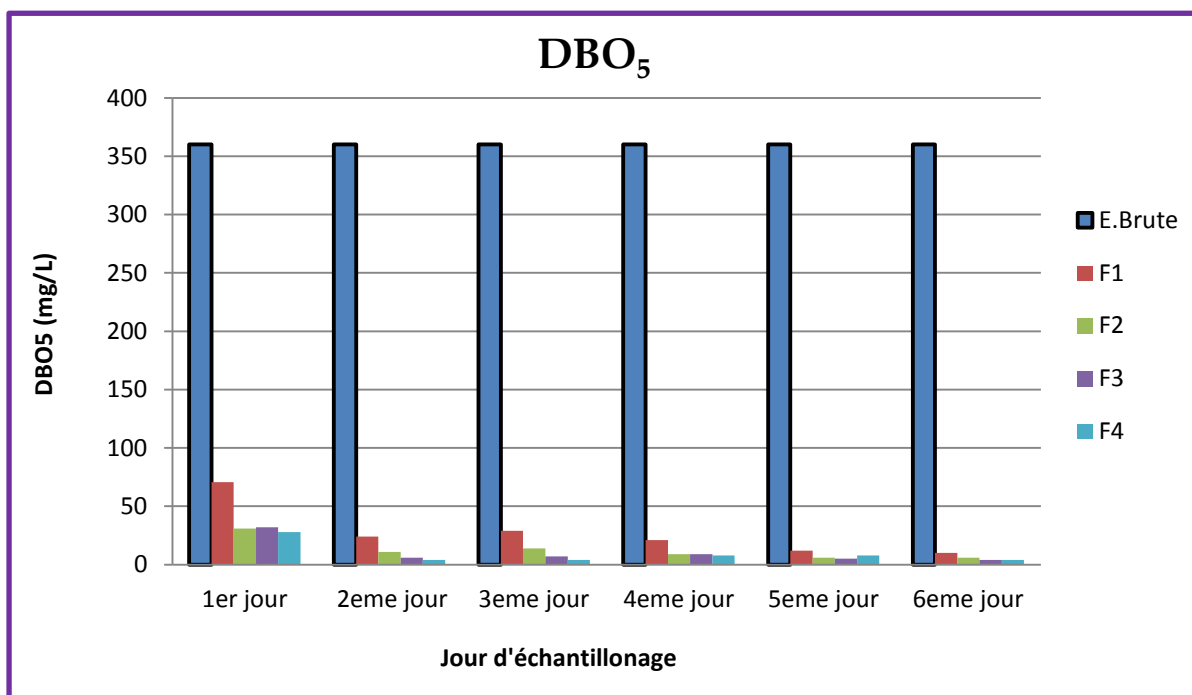


Fig (V.3) : variation temporelle de la DBO₅ (mg/l) dans les différents filtres.

D'après la figure on remarque l'abattement successif de la DBO₅, soit temporelle qui signifie la dégradation de la matière organique, ou soit par le pourcentage du CAG contenant au niveau des filtres, dont les teneurs en DBO₅ des filtre sont comme suit : au niveau de le filtre témoin S0% CAG oscillent entre 70,6 mg/l et 10 mg/l, et entre 31 mg/l et 6 mg/l pour le filtre S5% CAG, et entre 32 mg/l et 4 mg/l pour le filtre S10% CAG, enfin pour le filtre S20% CAG entre 28 mg/l et 4 mg/l.

Tous les résultats sont conformes aux normes nationales de rejet de la (DBO₅) < 30 mg/l.

Donc les filtres assurent un rendement élevé du procédé de l'infiltration –percolation par le sable de dunes doté par le charbon actif en grains permet une réduction quasi totale de la DBO5. Les processus de dégradation de la matière organique pourraient s'effectuer via trois différents processus :

- Séparation physique (filtration par le sable)
- Dégradation biologique de la matière organique biodégradable par les bactéries.
- Adsorption d'une fraction des molécules de composés organiques par adsorption sur le charbon actif en grains.

V.5.4. Demande chimique en oxygène DCO

La demande Chimique en Oxygène (DCO) : elle correspond à la quantité d'O₂ nécessaire pour oxyder chimiquement la matière organique, c'est un indice global de la pollution carbonée.

Nos résultats indiquent que les valeurs de la DCO pour les eaux brutes sont à l'ordre de 710 mg/l. Les valeurs de DCO après filtration ont montré une très bonne diminution de la charge organique totale (biodégradable et non biodégradable) pour la totalité des filtres, s'explique essentiellement par l'élimination d'une grande quantité de la matière organique.

Les résultats relatifs à la variation de la DCO sont représentés sur la figure V.4.

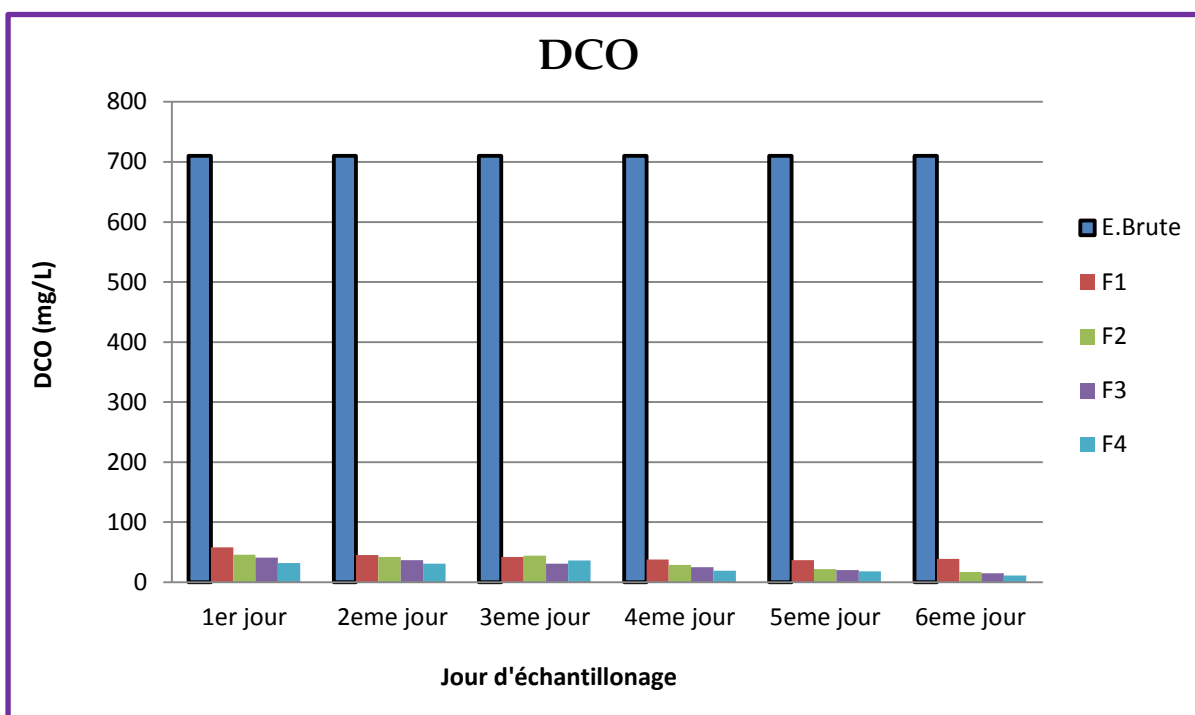


Fig (V.4) : variation temporelle de la DCO (mg/l) dans les différents filtres.

Nous pouvons constater que les filtres modifiés par le CAG donnent de meilleurs résultats par rapport au filtre témoin. De plus, l'efficacité du traitement est améliorée avec l'augmentation du taux de CAG, les meilleurs résultats ont été obtenus après les deux jours de repos des filtres.

Les résultats donnent très bon avis vis-à-vis l'efficacité des filtres c'est-à-dire donc de l'importance de l'infiltration percolation par sables de dunes modifiés par le CAG.

On résume, selon la figure Fig (V.4) les teneurs en DCO à la fin d'essai sont comme suit:

- Le filtre S0%CAG à l'ordre de 39 mg/l.
- Le filtre S5%CAG à l'ordre de 17 mg/l.
- Le filtre S10%CAG à l'ordre de 15 mg/l.
- Le filtre S20%CAG à l'ordre de 11 mg/l.

Tous les résultats sont conformes aux normes nationales de rejet de la (DCO) < 90 mg/l .

V.5.5.Matières en suspension

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau.

La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux.

Les analyses de la matière en suspension de l'eau brute est de l'ordre de 320 mg/l, ceci indique que l'effluent est chargé en MES.

Les matières en suspensions (MES) sont arrêtées à la surface du massif filtrant et, avec elles, une partie de la pollution organique (la DCO particulaire), une part des microorganismes pathogènes sont aussi retenues à ce niveau. L'accumulation des MES entraîne un processus de colmatage superficiel qui doit être géré pour maintenir les capacités d'infiltration et d'oxydation du filtre.

Ainsi les MES s'accumulent sur les plages d'infiltration et forment à plus ou moins long terme, une couche à perméabilité réduite appelée « couche colmatante ». Cette couche contribue à améliorer l'efficacité de l'épuration en augmentant les temps de passage des effluents dans le massif filtrant, mais le maintien prolongé d'une lame d'eau sur la plage d'infiltration entraîne une dégradation rapide de ces capacités épuratrices et un développement accru du colmatage.

Nous observons clairement une bonne diminution de la quantité de matière en suspension MES en ordre décroissant dans les quatre filtres, que se montre le rôle efficace d'infiltration par le sable de dunes, on résulte l'importance de la période de repos du système d'infiltration-percolation. Où l'efficacité de la purification était deux ou trois fois supérieure au niveau des filtres à partir de la troisième jour d'alimentation des filtres, dont les teneurs en MES au niveau du filtre témoin S0%CAG diminuent de 48 mg/l à 22 mg/l, et de 19 mg/l à 4 mg/l pour le filtre S5%CAG, et de 11 mg/l à 2 mg/l pour le filtre S10%CAG, enfin pour le filtre S20%CAG de 70,6 mg/l à 10 mg/l.

Les résultats des analyses de la MES sont représentés dans la figure (V.5)

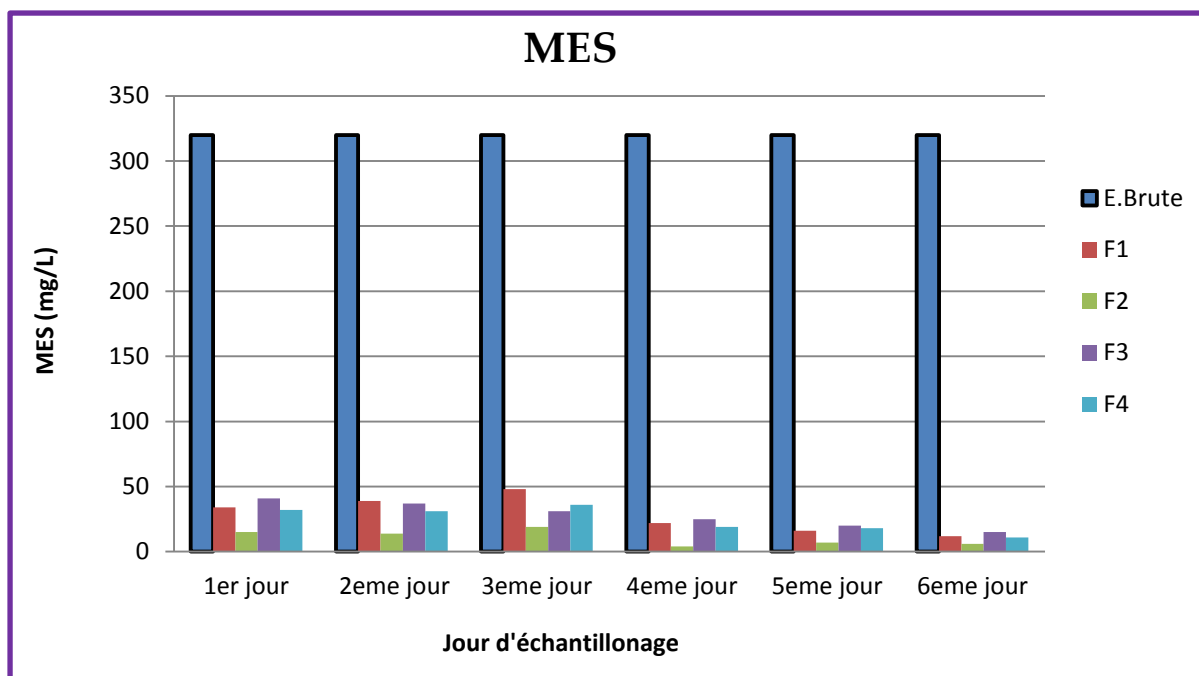


Fig (V.5) : variation temporelle de la MES (mg/l) dans les différents filtres.

Selon la figure au dessus, Les résultats au cours de l'essai pour les eaux percolées caractérisées par la diminution des teneurs en MES successivement par les filtres S0%CAG, S5%CAG, S10%CAG et enfin S20%CAG à l'ordre de 34 mg/l à 12 mg/l, de 15 mg/l à 6 mg/l, de 12 mg/l à 8 mg/l, et de 10 mg/l à 4 mg/l

Nous constatons également la nette préférence des filtres modifiant par des pourcentages variables de charbon actif granulaire en termes d'élimination des matières en suspension, en comparaison avec celle du filtre témoin.

Les résultats sont conformes aux normes nationales de rejet de la (MES) ≤ 30 mg/l.

V.5.6. 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 matière non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence des matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les grains de silice et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence des matières colloïdales d'origine organiques ou minérale.

La mesure de la turbidité permet de donner les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...).

En général, la classification de la turbidité à l'échelle internationale renvoyant au paramètre optique se donne comme suit :

- < 5 eau claire voire « incolore »
- 5 - 30 eau légèrement trouble ou légèrement colorée
- > 50 eau trouble ou colorée
- > 200 La plupart des eaux de surface en Afrique atteignent ce niveau de turbidité appelé aussi eau de surface « africaine »

L'eau brute étudiée a une turbidité élevée à l'ordre de 190 NTU.

Les résultats des analyses de la turbidité sont représentés dans la figure (V.6).

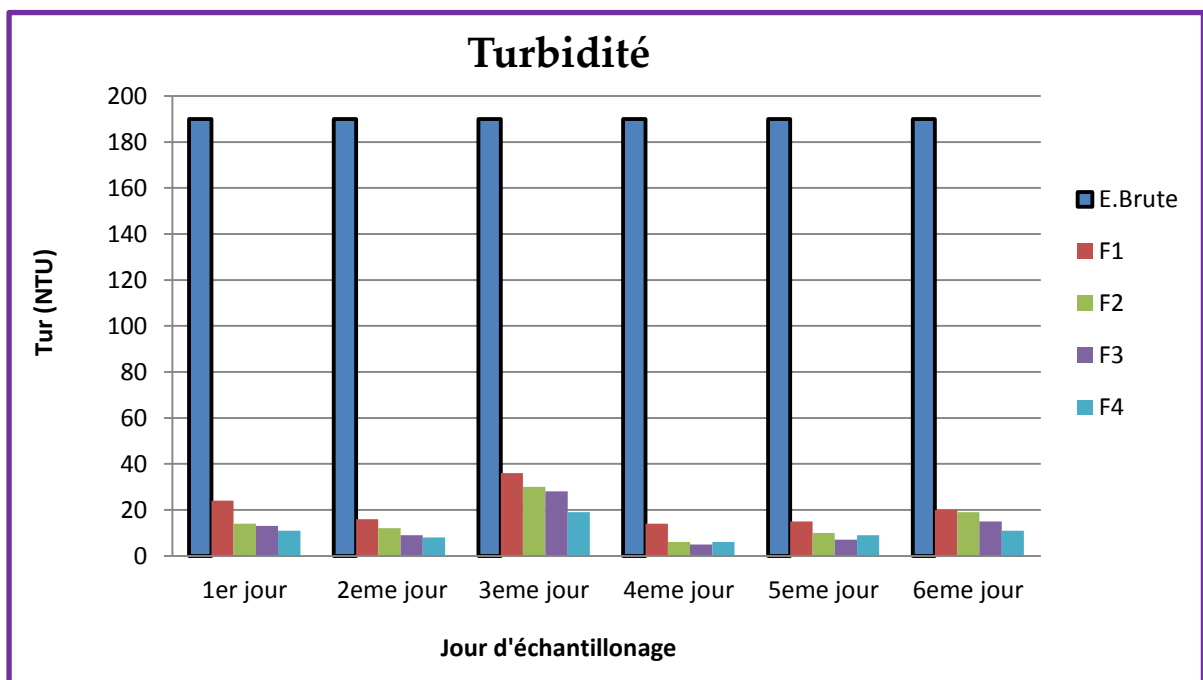


Fig (V.6) : variation temporelle de la turbidité (NTU) dans les différents filtres.

L'analyse de ce paramètre au niveau des filtres illustre de bons résultats. Concernant l'amélioration du niveau de la turbidité de l'eau filtrée, on observe la capacité des filtres avec CAG d'atteindre le double rendement de l'élimination de la turbidité surtout après la période de repos. Au niveau du filtre témoin S0% CAG la teneur en turbidité est à l'ordre de 20 NTU, S5% CAG à l'ordre de 19 NTU, S10% CAG à l'ordre de 15 NTU, et enfin le filtre S20% CAG qui a une valeur de 11 NTU.

D'une façon générale, nous pouvons dire que les valeurs de la turbidité sont largement conformes aux normes des eaux usées épurées (20 NTU).

V.5.7. La performance des filtres

À travers les résultats des analyses précédentes des différents filtres, il vaut la peine de dire que l'expérience a atteint une efficacité remarquable, et afin de consolider le succès de ce processus, nous calculons le rendement des différents paramètres précédents.

V.5.7.1. Le rapport de biodégradabilité DCO/DBO₅

Le rapport DCO/DBO₅ a une importance pour la définition de la chaîne d'épuration d'un effluent. En effet, une valeur faible du rapport DCO/DBO₅ implique la présence d'une grande proportion de matières biodégradables et permet d'envisager un traitement biologique.

Inversement, une valeur importante de ce rapport indique qu'une grande partie de la matière organique n'est pas biodégradable et, dans ce cas, il est préférable d'envisager un traitement physico-chimique.

Selon la valeur de cet indice, on peut distinguer en générale :

- Le rapport $DCO/DBO_5 < 2$: Effluent est facilement biodégradable.
- Le rapport $2 < DCO/DBO_5 < 3$: Effluent est moyennement biodégradable.
- Le rapport $DCO/DBO_5 > 3$: Effluent est difficilement biodégradable.

Les résultats du rapport de biodégradabilité de l'eau brute et les différents filtres lors de l'essai sont récapitulés dans le tableau suivant:

Tab (V.1) : Variation du rapport DCO/DBO₅

Jours Filtres	1 ^{ere} jours	2 ^{eme} jours	3 ^{eme} jours	2 j repos	6 ^{eme} jours	7 ^{eme} jours	8 ^{eme} jours
Eau brute	1,97	1,97	1,97		1,97	1,97	1,97
Filtre1 S0% CAG	0,82	1,88	1,45		1,81	3,08	3,90
Filtre2 S5% CAG	1,48	3,81	3,14		3,22	3,67	2,83
Filtre3 S10% CAG	1,28	6,17	4,43		2,78	4,00	3,75
Filtre4 S20% CAG	1,14	7,75	9,00		2,38	2,25	2,75

Les données sont représentées dans l'histogramme suivant fig (V.7).

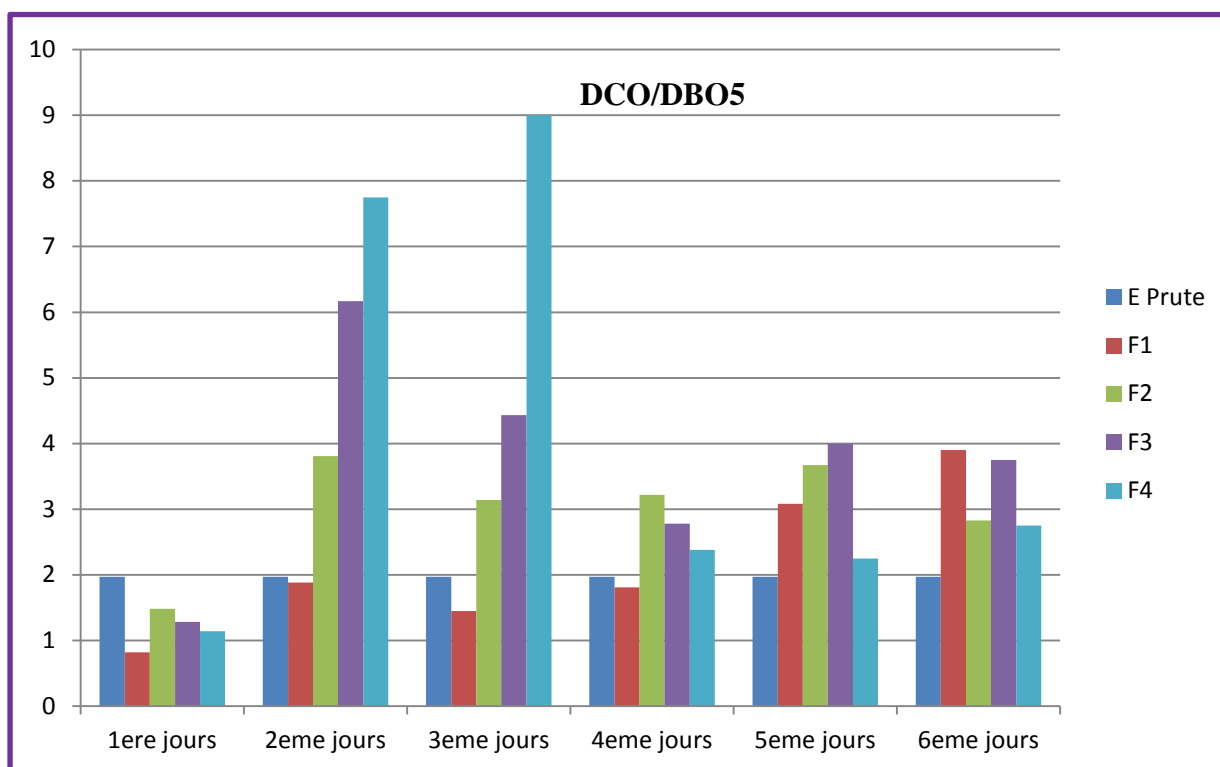


Fig (V.7) : variation temporelle du rapport DCO/DBO5 dans les différents filtres.

Selon les données du rapport de biodégradabilité de filtres, nous constatons que l'eau brute a un rapport de DCO/DBO₅ égale à 1,97 c'est à dire l'effluent est facilement biodégradable. Au cours de l'essai on observe l'augmentation du rapport à travers tous les filtres, qui sont classés de manière croissant selon le pourcentage du CAG.

Quand le rapport du filtre témoin oscille entre 0,82 et 1,45 durant la première alimentation, le Filtre2 S5%CAG leur rapport oscille de 1,48 à 3,14, et de 1,28 à 4,43 pour le filtre3 S10%CAG, et de 1,14 à 9 au niveau du filtre4 S20%CAG. L'augmentation du rapport de biodégradabilité dû à la dégradation de la matière organique par les micro-organismes constituant les filtres, d'autre façon s'explique d'un part de l'abattement de la DBO₅ au cours de filtration d'effluents, et d'autre part le moindre abattement de la DCO.

On note que les filtres contenant du charbon actif ont atteint un rapport élevé, ce qui est dû à l'obtention de niveaux avancés d'épuration. A l'exception du filtre4, les autres filtres ont connu une baisse du rapport en raison du manque d'efficacité des microorganismes pour éliminer les polluants, en particulier les matières organiques dégradables. Et c'est parce que le phénomène de colmatage conduit à un manque de pénétration d'oxygène, ce qui est nécessaire au travail des micro-organismes. Ce qui explique le recours à la période de repos des filtres.

Après la période de repos et au cours de la deuxième alimentation, on remarque que le rapport a progressivement augmenté pour atteindre le stade de stabilisation des filtres, dont le filtre1 témoin atteindre 3,90, et le filtre2 à l'ordre de 2,83, le filtre3 à l'ordre de 3,75, et le filtre4 à l'ordre de 2,75.

V.5.7.2. Discussion du rendement épuratoire des filtres

L'analyse des résultats des paramètres précédents, prouve le succès des expériences sur les filtres, où il a atteint une bonne efficacité de purification.

Pour mettre en évidence l'importance de cet essai, on calcule le rendement épuratoire des trois paramètres essentielles suivants : DBO₅, DCO, MES.

V.5.7.2.a. Rendement de la demande biochimique en oxygène DBO₅

Les données sont représentées dans le tableau (V.2) ci-dessous.

Jours Filtres	1 ^{ere} jours	2 ^{eme} jours	3 ^{eme} jours	2 j repos	6 ^{eme} jours	7 ^{eme} jours	8 ^{eme} jours
Filtre1 S0%CAG	80,39	93,33	91,94		94,17	96,67	97,22
Filtre2 S5%CAG	91,39	96,94	96,11		97,50	98,33	98,33
Filtre3 S10%CAG	91,11	98,33	98,06		97,50	98,61	98,89
Filtre4 S20%CAG	92,22	98,89	98,89		97,78	97,78	98,89

Les données sont représentées dans l'histogramme suivant fig.(V.8).

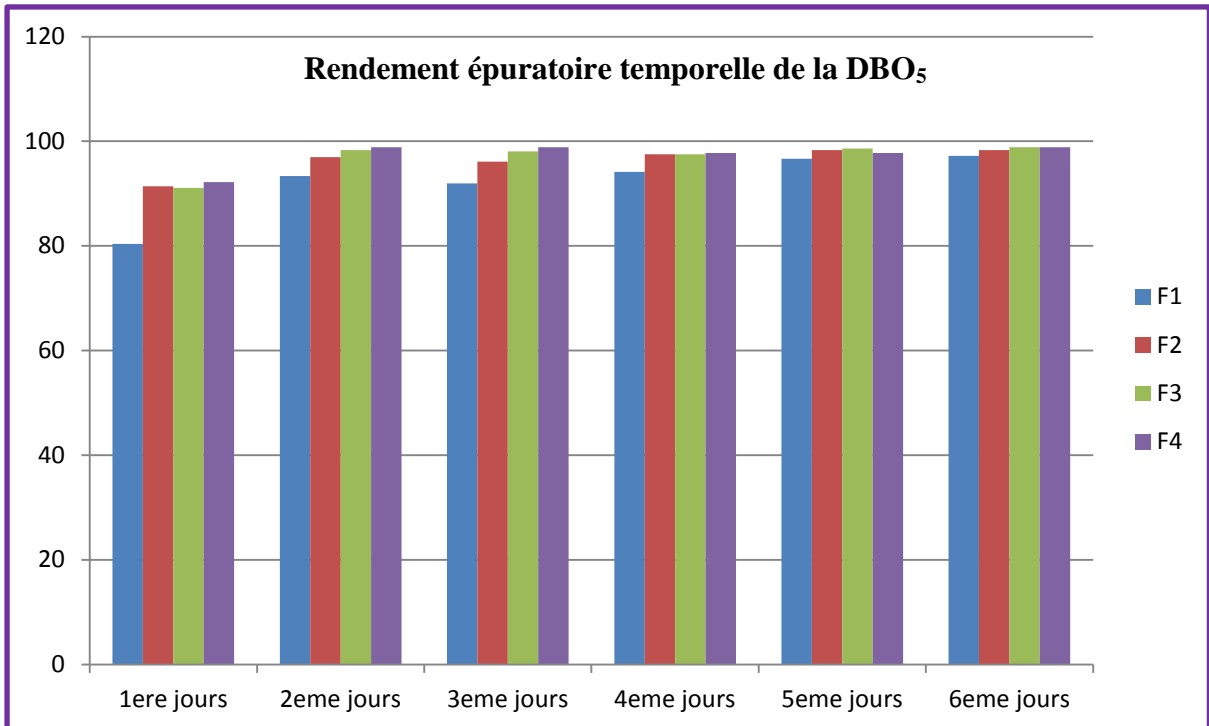


Fig (V.8):variation temporelle du rendement épuratoire de la DBO₅ dans les différents filtres.

Les données que nous obtenons au cours de cette étude prouvent l'efficacité de la technologie de l'infiltration percolation du rabattement de la DBO₅ des eaux usées brute grâce à des filtres à sable des dunes.

L'analyse des résultats donne un regard clair sur le rendement épuratoire des filtres, dont on peut distinguer trois étapes de l'infiltration :

- La première étape consiste à rabattre la DBO₅ au cours du premier cycle d'infiltration (trois jours d'alimentation), dont on observe l'augmentation du rendement épuratoire de la DBO₅ au niveau tous les filtres. Nous enregistrons des rendements qui atteignent 93,33% de DBO₅ pour le filtre témoin, et 96,94%, 98,33%, 98,89% de DBO₅ successivement pour les filtre2, filtre3 et filtre4.
- La deuxième étape caractérisée par la diminution du rendement épuratoire à partir du troisième jour qui peut être interprété par le phénomène de colmatage qui empêche la pénétration d'oxygène dans le massif filtrant, et donc le rôle de microorganismes, on registre 91,94% de DBO₅ pour le filtre témoin, et 96,11%, 98,06%, 98,89% de DBO₅ successivement pour les filtre2, filtre3 et filtre4.

- La troisième étape consiste à atteindre le rendement final des filtres qui s'explique par les limites de capacité épuratoire du massif filtrant, dont les résultats du rendement de la DBO5 calculés sont : 97,22% pour le filtre témoin, et 98,33%, 98,89%, 98,89% successivement pour les filtre2, filtre3 et filtre4.

Selon tous ces résultats, nous avons marqué que le système d'infiltration -percolation par le sable de dunes doté par le charbon actif en grains permet une réduction quasi totale de la DBO5.

V.5.7.2.b. Rendement de la demande chimique en oxygène DCO

Les données sont représentées dans le tableau (V.3) ci-dessous.

Jours / Filtres	1 ^{ere} jours	2 ^{eme} jours	3 ^{eme} jours	2 j repos	6 ^{eme} jours	7 ^{eme} jours	8 ^{eme} jours
Filtre1 S0% CAG	91,83	93,66	94,08		94,65	94,79	94,51
Filtre2 S5% CAG	93,52	94,08	93,80		95,92	96,90	97,61
Filtre3 S10% CAG	94,23	94,79	95,63		96,48	97,18	97,89
Filtre4 S20% CAG	95,49	95,63	94,93		97,32	97,46	98,45

Les données sont représentées dans l'histogramme suivant fig (V.9).

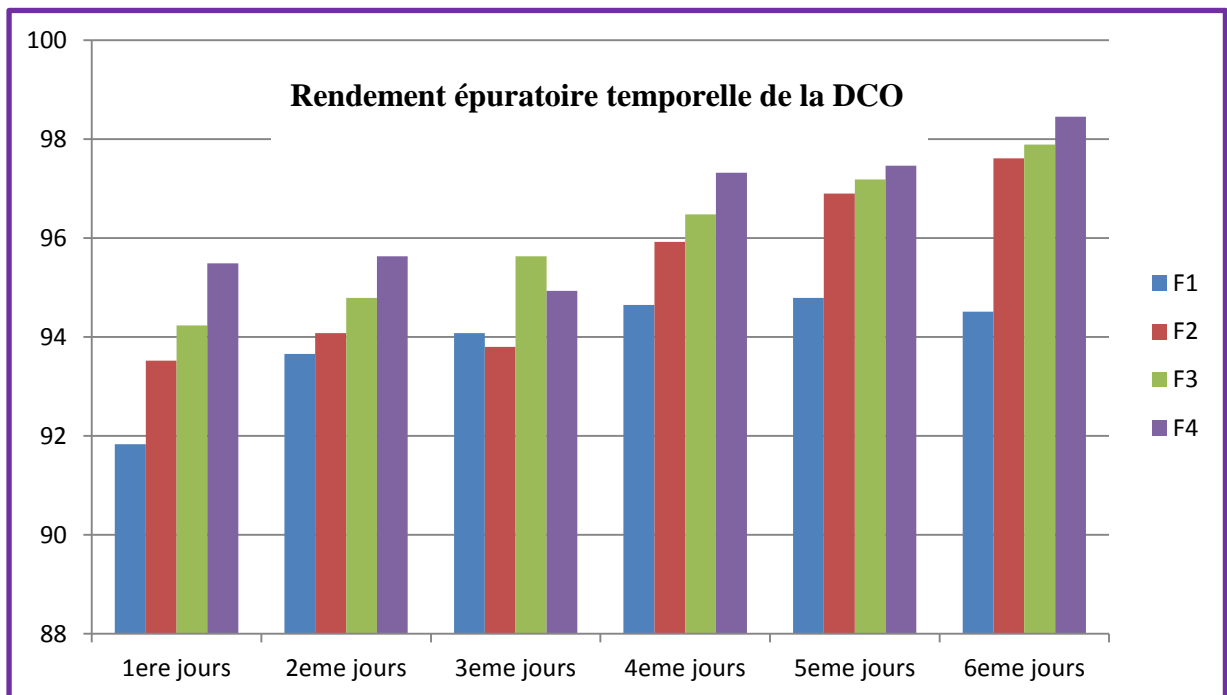


Fig (V.9):variation temporelle du rendement épuratoire de la DCO dans les différents filtres.

Le rendement de la DCO atteint des bons résultats au niveau tous les filtres, nous signalons que le déroulement de rabattre de la DCO et celle de rendement se passe par les trois étapes précitées, on calcule : 94,51% pour le filtre témoin, et 97,61%, 97,89%, 98,45% successivement pour les filtre2, filtre3 et filtre4. Le valeur ajouté du charbon actif granulé est claire concernant l'efficacité épuratoire du massif filtrant.

V.5.7.2.c. Rendement de la matière en suspension MES

Les données sont représentées dans le tableau (V.4) ci-dessous.

Jours / Filtres	1 ^{ere} jours	2 ^{eme} jours	3 ^{eme} jours	2 j repos	6 ^{eme} jours	7 ^{eme} jours	8 ^{eme} jours
Filtre1 S0%CAG	89,38	87,81	85,00		93,13	95,00	96,25
Filtre2 S5%CAG	95,31	95,63	94,06		98,75	97,81	98,13
Filtre3 S10%CAG	96,25	97,50	96,56		99,38	98,13	97,50
Filtre4 S20%CAG	96,88	97,81	96,56		98,75	98,44	98,75

Les données sont représentées dans l'histogramme suivant fig (V.10).

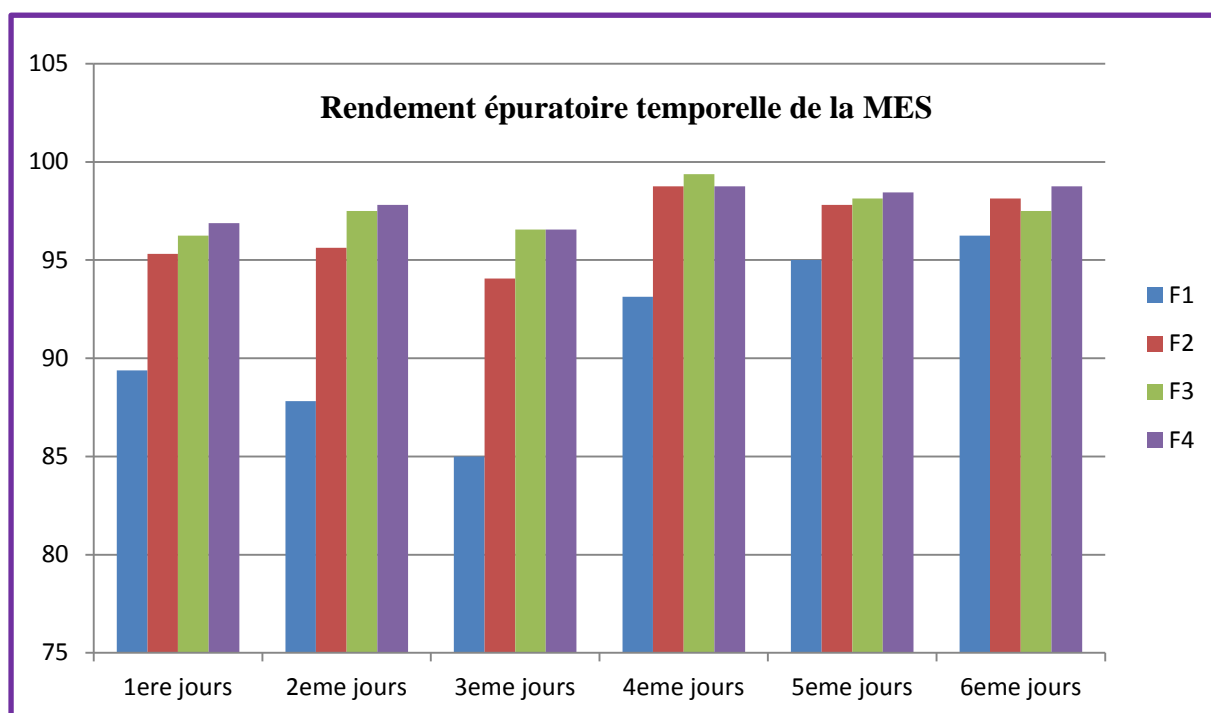


Fig (V.10):variation temporelle du rendement épuratoire de la MES dans les différents filtres.

L'élimination de la MES atteint des niveaux importants lors de l'essai, les résultats sont augmentés successivement par le temps et par le pourcentage du CAG au niveau des filtres, les rendements obtenus sont : S0%CAG à l'ordre de 85,00% au premier cycle et 96,25% lors de la deuxième cycle, S5%CAG à l'ordre de 94,06% au premier cycle et 96,25% lors de la deuxième cycle, S10%CAG à l'ordre de 96,56% au premier cycle et 97,50% lors de la deuxième cycle et enfin S20%CAG à l'ordre de 96,56% au premier cycle et 98,75% lors de deuxième cycle. On résume que le rabattement de la MES à atteindre des meilleurs rendements épuratoire.

V.6.Conclusion

Dans ce chapitre on a discute les différents résultats de paramètres étudiés lors de l'essai de l'infiltration percolation par des filtres modifiés par des pourcentages précises du charbon actif, dont on trouve que l'élimination de l'oxygène dessous, DBO5, DCO, MES, Conductivité et Turbidité à concrétiser des meilleurs résultats, et notamment sont conformes aux normes algériens de rejet des eaux usées épurées.

Les rendements épuratoires des filtres pour la DBO5, DCO et MES sont très importants et prouvent l'efficacité de l'infiltration percolation sur sable de dunes modifié par le CAG.

Conclusion générale

L'étude a été menée dans la région d'Oued Souf. Elle est située en zone aride dans le Sud-est algérien, confrontées à la rareté de l'eau naturelle, et même temps par le phénomène de remonté de l'eau. Le cadre naturel à une topographie caractérisée par des dunes sableuses au nord-est du grand Erg Oriental.

Le climat est de type saharien, caractérisé par un été chaud et sec et un hiver plutôt doux. La moyenne annuelle de la température est de l'ordre de 21,53°C, la région possède un aquifère très important.

Les objectifs de cette étude sont de démontrer l'efficacité du procédé de l'infiltration percolation pour éliminer la matière organique, dont le protocole expérimental consiste à infiltrer l'eau usée brute sur des colonnes à sable de dunes modifiés par une matière adsorbant est du charbon actif granulé afin de l'examiner, pour voir à quel point il peut améliorer l'épuration.

Le principe de fonctionnement de processus d'infiltration-percolation consiste à provoquer le développement des bactéries qui se rassemblent en film, qui par action physique et physico-chimique retiennent la pollution organique et s'en nourrissent. On décrit trois étapes de formation du biofilm : la fixation, l'adsorption et la colonisation.

Les résultats obtenus dans ce travail expérimental, affirme généralement une grande performance des filtres à sable de dunes et l'efficacité du charbon actif dans le massif filtrant, les données obtenues permettent de noter les conclusions suivantes :

- L'eau usée brute à facilement biodégradable dont le rapport DCO/DBO5 égale à 1,97. C'est ce qui rend le recours aux méthodes biologiques efficace pour épurer l'eau usée.
 - Le teneur en oxygène dessous est très importante dans l'eau percolé que à l'eau brute, et dans les filtres modifiés par le charbon actif en grains (CAG) comparativement avec le filtre témoin, dont la concentration d'O2 dessous pour le filtre témoin à l'ordre de 4,4 mg/l et le filtre S20%CAG attint 5,7 mg/l à la fin de l'essai.
 - L'élimination de la DBO5 à donné des résultats satisfaisants, la performance des filtres est progressivement avec le temps et le pourcentage du charbon actif granulé CAG, le meilleur est le filtre S20%CAG qui attint la valeur 5,7 mg/l, par contre le filtre témoin à l'ordre de 10 mg/l. Le rendement épuratoire de la DBO5 est très bon, dont atteint 98,89% au
-

Conclusion générale

niveau du filtre4, et 97,22% pour le filtre témoin, c'est que consiste à l'efficacité du massif filtrant.

- Le massif filtrant a grand capacité d'éliminer la DCO, où on résulte des valeurs très courageses qui affirment la performance du processus de l'infiltration étudié. Il doit noter que l'efficacité du filtre S20%CAG après un jour de l'essai est mieux que le filtre témoin à la fin de celle de l'essai, dont les concentrations au dernier jour sont 39 mg/l et 11 mg/l au niveau du filtre1 et filtre4. Le rendement épuratoire de la DCO est très élevé, dont atteint 98,45% au niveau du filtre4, et 94,51% pour le filtre témoin. c'est que consiste à l'efficacité du massif filtrant d'abattre les matières organiques (dégradables et non dégradable).

- La capacité des filtres à abattre la matière en suspension MES est très forte, la lecture de résultats obtenus montre une grande efficacité, dont les teneurs dans l'eau traité varient entre 12 mg/l au niveau du filtre témoin et 4 mg/l pour le filtre S20%CAG. Le rendement épuratoire de la MES est assez remarquable avec des valeurs de 96,25% et 98.75% pour le filtre1 et le filtre4 successivement.

- Les teneurs de la conductivité de l'eau traité par les filtres sont élevés que celle de l'eau brute (5,5 ms/cm), où on remarque aussi l'augmentation du même paramètre par apport le pourcentage croissant du CAG, les valeurs obtenus sont à l'ordre de 6,17 ms/cm pour le filtre2 et 6,1 ms/cm pour les autres filtres.

- La diminution du teneur de la turbidité est très remarquable dans tous les filtre, dont les valeurs oscillent entre 24 NTU et 20 NTU pour le filtre témoin et 11 NTU pour le filtre4.

Pour une bonne gestion d'une installation d'épuration par infiltration percolation, on doit maîtriser le développement du colmatage afin de favoriser l'aération des massifs.

Généralement l'essai a concrétisé un succès considérable, et obtenu les résultats souhaités, dont le massif filtrant qui constitue du sable de dunes modifiés par des pourcentages de charbon actif à une performance très remarquable afin de l'élimination de la matière organique de l'eau usée. Les résultats obtenus sont conformes aux normes Algériens.

L'infiltration percolation est une méthode de traitement biologique qui mérite plus d'étude dans notre région afin de valoriser cette technologie. Il peut s'agir d'un traitement tertiaire de l'eau afin de la réutiliser à des fins d'irrigation, ou bien d'améliorer l'épuration dans le but de la rejeter dans l'exutoire pour protéger l'environnement.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

- **A.N.R.H,(2005)** , Les ressources en eaux de La Wilaya d'El-Oued , Rapports techniques, 27p.
- **ABIBSI Nadjat ,(2011)** , Réutilisation des eaux usées épurées par filtres plantes (phytoepuration) pour l'irrigation des espaces verts application à un quartier de la ville de Biskra , Thèse de Magister en: Hydraulique Urbaine et Ouvrages Hydrotechniques Option : Hydraulique urbaine , Université Mohamed KHIDER Biskra, 01p.
- **Abidi Hocine - Touati Saci,(2018)**, Application du SIG pour déterminer la qualité physico-chimique des eaux des forages destinées à l'AEP dans la région du Souf, Thèse de master en hydraulique, Université HAMMA Lakhdar El-oued , p06-07.
- **APS(Algérie Presse service),(05 Avril 2019)**,Article" El-Oued: pôle agricole en tête des wilayas du Sud , 71p.
- **Asma Ben Rajeb , (2013)** , Epuration des eaux usées urbaines par infiltration-percolation Etude hydrobiologique à l'échelle pilote du procédé d'infiltration-percolation: Cas d'une colonne , éditions universitaires européennes , Saarbrücken , Deutschland Allemagne , 13p , ISBN 978-613-1-58302-5 .
- **Beggas Mohammed Sadok,(2016)** , Contribution à la gestion intégrée de la ressource en eau au niveau de la wilaya d'El-Oued, diagnostique de la situation actuelle et les perspectives futures , Thèse de master en hydraulique, Université HAMMA Lakhdar El-Oued, pp 10-13.
- **BEKKARI Said , ZIDI Abdallah,(2019)**, Impact de nouveau point de rejet (Chott HALLOUFA) sur l'environnement de Oued souf, Thèse de master en hydraulique, Université HAMMA Lakhdar El-oued , pp 06-07.
- **BELAID Zineb ,AOUADI Halima , (2018)** , Suivi des performances de fonctionnement d'une station d'épuration (cas STEP 02) ,Thèse de master en hydraulique, Université HAMMA Lakhdar El-Oued, pp 39-42.
- **BENGOUGA Khalila, (2010)**, Contribution à l'étude du rôle de la végétation dans l'épuration des eaux usées dans les régions arides , Thèse de magister en Sciences Agronomiques Option : Agriculture et environnement dans les régions arides, Université Mohamed KHIDER Biskra, 01p.

Références Bibliographiques

- **BENKADI Oussama , LEZOUL Selmane , (2017)**, Etude de l'efficacité de la station d'épuration de Réghaia et l'impact de la pollution sur Le lac de Réghaia , Thèse en Génie de procédés Option : Traitement des eaux , Université M'hamed BOUGUERRA Boumerdes, 03p.
- **Benkhalifa Ali , DERKI Imad Eddine , (2019)** , Étude de performance du système de lagunage aéré dans quelques stations d'épuration Dans la région d'Oued Souf , Thèse de master en hydraulique, Université HAMMA Lakhdar El-Oued, pp 05-44.
- **BERRAH Saïd,(2001)**,Contribution à l'étude spatiale de la remontée de la nappe phréatique : problèmes posés et conséquences sur le système agricole " Ghout" à Oued Souf , Thèse d'Ingénieur d'état en agronomie, Université KASDI Merbah Ouargla ,11p.
- **BOUTIN C, HEDUIT A, HELMER J.M , (2009)** , Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT), Rapport final , Sciences, eaux et territoires, Lyon France , pp 30-31.
- **Brice BOURBON, Guillaume LAPALUS, Vincent LE DAHERON, Claire LOUVET, Julie MARAIS, Mélanie PAGES , (2015)** , Les traitements tertiaires : Pour quoi faire ?, Rapport bibliographique 14ème Séminaire Eau , pp 05-10.
- **Catherine BOUTIN et al , (2016)** , Ouvrages de traitement par disques biologiques : Guide d'exploitation , Groupe EPNAC ,Lyon France , pp 03-04,
- **Chellé F., Dellale M., Dewachter M., Mapakou F., Vermey L. (2005)** , L'épuration des eaux : pourquoi et comment épurer , Office international de l'eau, 15 p.
- **Corcoran, E., C. Nellemann, E. Baker, R. Bos, D. Osborn, H. Savelli , (eds). (2010)** , Sick Water? The central role of wastewater management in sustainable development. A Rapid Response Assessment , United Nations Environment Programme, UN-HABITAT, GRID-Arendal, Printed by Birkeland Trykkeri AS, Norway , ISBN: 978-82-7701-075-5
- **Côte Marc ,(1998)**, Des oasis malades de trop d'eau, In Sécheresse 9 (2), pp123-130.
- **Côte Marc ,(2002)**, Des oasis aux zones de mise en valeur : l'étonnant renouveau de l'agriculture saharienne, In Méditerranée 99, pp 03-04.
- **DENGOU Latifa , (2018)** , Etude d'épuration des eaux usées par L'infiltration - percolation sur le sable des dunes dans la region d'Oued Souf (SE Algérien) , Thèse de master en hydraulique, Université HAMMA Lakhdar El-Oued, 17p.
- **DJEDDI Hamsa , (2007)** , Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines , Thèse de Magistère en Ecologie et Environnement Option : Ecologie végétale , Université Mentouri Constantine , pp 10-13.

Références Bibliographiques

- **DRE** (Direction des ressources hydriques de la Wilaya d'El-Oued),(2017), Enquête sur l'exploitation et le besoin en AEP de Wilaya d'El-Oued.
- **DSA**(Direction des services agricoles de la Wilaya d'El-Oued),(2010 ,2015 et 2016), Statistiques agricole de la wilaya d'El Oued.
- **Emmanuel ADLER** , (Avril 2005) , Eléments sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement , document technique , pp 17-22.
- **Faby J.A , Brissaud F** ,(1997) , L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau , 76 p.
- **FAO**, (2002) , The use of treated waste water (tww) in forest plantations in the near east region Near east forestry commission (fifteenth session), 05 p.
- **FAO**, (2003) , Irrigation avec les eaux usées traitées. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture , Bureau Régional pour le Proche Orient et Bureau sous-régional pour l'Afrique du Nord, 73p.
- **Fernand Grenier**, (1958), L'étude du milieu est-elle possible? Comment procéder? Cahiers de géographie du Québec, 3 (5) , pp 107–113.
- **G. Klotz et al** , (2013) , Observer le passé, préserver l'avenir : Le climat , livret prend en compte le 5^e rapport du Giec, 03p.
- **GROSCLAUDE, G.** (1999) , L'eau milieu naturel et maîtrise, tome I, Ed INRA(Institut National de la recherche Agronomique) , Paris , ISBN 2-7380-0855-0 .
- **GROSCLAUDE, G.** (1999) , L'eau usages et polluants, tome II , Ed INRA(Institut National de la recherche Agronomique) , Paris , ISBN 2-7380-0864-X .
- **HANNACHI Abdelhakim, GHARZOULI Rachid , DJELLOULI Tabet Yamna** , (22et23-10-2013), Gestion et réutilisation des eaux usées en Algérie , un modèle de partenariat public-privée, 2ème Colloque International sur la Gestion Intégrée des Ressources en Eau; GIRE'2013 Batna (Algérie), 02p.
- **Haouti H** , (2005) , Etude de réhabilitation et d'extension de la station d'épuration de la ville Djelfa , Thèse d'ingénieur d'état en hydraulique, Université de ZIAN Achor Djelfa.
- **Hatem Dhaouadi** , (2008) , Traitement des Eaux Usées Urbaines : Les procédés biologiques d'épuration , Université Virtuelle de Tunis , pp 04-50.
- **Hélène Peeters** , (2014) , Les filières de traitement extensif des eaux usées – Des procédés en expansion dans le secteur de l'épuration : Rapport finale ,CEBEDEAU, France , pp 03-04.

- **Jean-Pierre Canler, Jean-Marc Perret , (2014)** , Étude des pré-traitements compacts basés uniquement sur le tamisage fin : Cas du traitement des eaux résiduaires urbaines ou domestiques, FNDAE n° 28 Document technique : Cemagref Éditions , pp 10-11, ISBN 2-85362-629-6.
- **JOCE**(Journal officiel des Communautés européennes), **(30-05-1991)** , Tableau 1 : Prescriptions relatives aux rejets provenant des stations d'épuration des eaux urbaines résiduaires et soumises aux dispositions des articles 4 et 5 de la présente directive. On appliquera la valeur de la concentration ou le pourcentage de réduction, N° L 135/48.
- **JORA , (23 mai 2007)** , Les modalités d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation sous forme de concession ainsi que le cahier des charges-type y afférent , Le décret exécutif n° 07-149 de 20 mai 2007 , n° 35 .
- **KASSOUK Zeineb , (2002)** , Synthèse technique : Bilan en France des opérations d'infiltration-percolation des eaux usées traitées , Office International de l'Eau , 03p.
- **KHECHANA Salim,(2007)**,Etude de la gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée de Oued- Souf (Sud-est Algérien),Thèse de Magister en Géologie Option: Hydrogéologie ,Université BADJI Mokhtar Annaba, 03p.
- **KHECHANA Salim,(2014)**, Perspective et méthode de la gestion intégrée des ressources en eau dans une zone hyper-aride , Application sur la vallée d'Oued-Souf (Sud-Est algérien), Thèse de doctorat en sciences option : Hydrogéologie en Sciences ,université BADJI Mokhtar , Annaba, pp 23-32.
- **KHELIF Safia, (2018)** , Impact de l'irrigation avec les eaux usées sur la qualité des sols agricoles et des eaux souterraines de la région de Fesdis. Région Nord de Batna , Thèse Doctorat en sciences Filière Sciences agronomiques Option : Gestion des ressources naturelles et de l'environnement , Université Batna1 Batna, 08p.
- **Laurent J.L , (Avril 1994)** , L'assainissement des agglomérations: Technique d'épuration actuelles et évolutions ,Ed Douai , France, ISSN : 1116-0425.
- **Liqa Raschid-Sally and Priyantha Jayakody , (2008)** , Drivers and Characteristics of Wastewater Agriculture in Developing Countries: Results from a Global Assessment , IWMI Research Report 127, International Water Management Institute , Colombo, Sri Lanka , 01p , ISSN 1026-0862
- **M AGIER,(1949)** , Un aperçu sur le Souf , Revue de géographie de Lyon ,24-4,pp363-366.
- **Maaliou , (2012-2013)** , Notes de cours STEP traitement – épuration , Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene Algérie , 50p.

- **MADR,(2015)**, Évaluation de la mise en œuvre du Renouveau agricole, Campagne agricole 2014, Bilan final.
- **Michel D'ORNANO , Pierre MEHAIGNERIE, (1979)** , Lagunage naturel et lagunage aéré , Procédés d'épuration des petites collectivités , document technique.
- **MILOUD SIFI Kada , BERRAHAL Nabil , (2014)** , Etude de l'extension de station d'Ain El Houtz , Thèse de Master hydraulique Option : Technologie de traitement des eaux , Université Abou Bekr BELKAID Tlemcen , pp 08-29.
- **Morbihan(conseil général) , (2009)** , Filtres plantés de roseaux : Réalisation et fonctionnement dans le Morbihan , 04p.
- **Nadjla Bentekhici, Yamina Benkesmia, Faouzi Berrichi , Sid Ahmed Bellal, (2018)**, Évaluation des risques de la pollution des eaux et vulnérabilité de la nappe alluviale à l'aide des données spatiales. Cas de la plaine de Sidi Bel Abbès (nord-ouest algérien), Revue des Sciences de l'Eau , Volume 31, Numéro 1, pp 43-59 , ISSN : 1718-8598.
- **Nathalie RAHAINGOMANANA , (1993)** , Etude d'un système d'infiltration-percolation pour la réutilisation agricole des eaux usées , Rapport de stage de fin de Maîtrise de Sciences et Techniques Génie Sanitaire et Environnement (MST GSE) , Université Paris XII - Val de Marne , pp 01-02.
- **NECIB A, (2001)** , Contribution à l'étude de l'impact de la remontée de la nappe phréatique sur le devenir de l'agriculture dans la région du souf , Thèse d'Ingénieur d'état en agronomie, Université KASDI Merbah Ouargla, 74p.
- **OMS (Organisation Mondiale de la Santé), (2012)** , Rapport des Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées , des excréta et des eaux ménagères volume 02, ix p ISBN 978 92 4 - 254683 5.
- **ONM (Office National Météorologique), (2009)** station de Guemar, données climatiques, (1976- 2008).
- **ONM (Office National Météorologique), (2010)** station de Guemar, données climatiques, (1986- 2009).
- **OUALI Salima , (2006)**, Etude géothermique du sud de l'Algérie, Thèse de magister En géophysique Option : Géophysique et Traitement du Signal , Université M'hamed BOUGUERRA Boumerdes, 36p.
- **OUENDENO Mohamed-Lamine,(2019)** , L'agriculture irriguée au Souf –El Oued (Algérie): acteurs et facteurs de développement , Article, Journal Algérien des Régions Arides (JARA), 115p.

Références Bibliographiques

- **Prudencio PERERA , Bernard BAUDOT , (2001)** , Procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités , Office des publications officielles des Communautés européennes , Luxembourg , pp 04-37, ISBN 92-894-1690-4.
- **R. MAITRE , (1958)** , Le dessablage des eaux dans les aménagements hydroélectriques (Water desanding In hydroélectrique schèmes) , La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau . Paris , N^o 1, pp 25-28 , eISSN: 1958-5551.
- **REMINE B, (2006)**, La disparition des ghouts dans la région d'El oued (Algérie) », In Larhyss Journal : pp 49-62.
- **RODIER J. (2005)** analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8^{ème} Edition : dunod, paris (France).
- **Roland Vilaginès , (2003)** , Eau, environnement et santé publique , 2eme édition , Tec et Doc Lavoisier , Paris , ISBN13 978-2-7430-0604-4.
- **Sophie Vandermeersch , (2006)** , Etude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogènes , Thèse de Diplôme d'Etudes Spécialisées en Gestion de l'Environnement Etude , Université Libre de Bruxelles , pp 23-24.
- **Soror Wahiba Dekhil , Zaibet Manel , (2012)** , Traitement des eaux usées urbaines par boues activées au niveau de la ville de Bordj Bou Arreridj en Algérie , Thèse de Master de chimie et microbiologie de l'eau, Université Mohamed El Bachir Elibrahimi , Bordj Bou Arreridj.
- **UNESCO ,(2017)**, Les eaux usées une ressource inexploitée Rapport mondial des nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau, 17p.
- **Zahir BAKIRI , (2017)** , Traitement des eaux usées par des procédés biologiques - classiques : expérimentation et modélisation , Thèse de Magister en Génie des Procédés Option : Génie Chimique , Université de Ferhat Abbas Sétif , pp 24-34.
- **Zahra Zerrouqi , (1er Semestre 2015)**, Article : L'assainissement liquide dans la Province de Nador (Maroc) : Installations, principes de traitement et cadre juridique , Revue Scientifique et Technique de la Construction N^o 130 , 05p.
- **عمار مصطفىاوي,(2017)** ، مجلة البحوث و الدراسات(جامعة حمه لخضر الوادي) ، العدد 24، السنة 14 ،ص295.

Site Internet

- <https://www.suez.com/fr>
- <https://www.palvamar.net/station.html>

Annexes

ANNEXE I

Evolution journalières du différent paramètre physico-chimique

Oxygène dessous (mg/l)

O2	Eau brute	Filtre 1	Filtre 2	Filtre 3	Filtre 4
1 ^{er} jour	0,3	1,4	4,7	5,8	5,4
2eme jour	0,3	2,7	5,6	4,8	4,9
3eme jour	0,3	2,8	4,5	3,5	4,3
4eme jour	0,3	2,7	4,7	3,9	4,7
5eme jour	0,3	5,18	6,1	5,13	6,3
6eme jour	0,3	4,4	5,4	5,3	5,7

Conductivité (ms/cm)

Cond	Eau brute	Filtre 1	Filtre 2	Filtre 3	Filtre 4
1 ^{er} jour	5,5	6,22	6,24	6,38	6,4
2eme jour	5,5	6,12	6,56	6,56	6,5
3eme jour	5,5	6,84	6,76	6,4	6,3
4eme jour	5,5	6,24	6,24	6,3	6,4
5eme jour	5,5	6,3	5,67	5,3	5,8
6eme jour	5,5	6,1	6,17	6,1	6,1

Demande biochimique en oxygène (mg/l)

DBO5	Eau brute	Filtre 1	Filtre 2	Filtre 3	Filtre 4
1 ^{er} jour	360	70,6	31	32	28
2eme jour	360	24	11	6	4
3eme jour	360	29	14	7	4
4eme jour	360	21	9	9	8
5eme jour	360	12	6	5	8
6eme jour	360	10	6	4	4

Demande chimique en oxygène (mg/l)

DCO	Eau brute	Filtre 1	Filtre 2	Filtre 3	Filtre 4
1 ^{er} jour	710	58	46	41	32
2 ^{eme} jour	710	45	42	37	31
3 ^{eme} jour	710	42	44	31	36
4 ^{eme} jour	710	38	29	25	19
5 ^{eme} jour	710	37	22	20	18
6 ^{eme} jour	710	39	17	15	11

Matières en suspension (mg/l)

MES	Eau brute	Filtre 1	Filtre 2	Filtre 3	Filtre 4
1 ^{er} jour	320	34	15	12	10
2 ^{eme} jour	320	39	14	8	7
3 ^{eme} jour	320	48	19	11	11
4 ^{eme} jour	320	22	4	2	4
5 ^{eme} jour	320	16	7	6	5
6 ^{eme} jour	320	12	6	8	4

Turbidité (NTU)

Turbidité	Eau brute	Filtre 1	Filtre 2	Filtre 3	Filtre 4
1 ^{er} jour	190	24	14	13	11
2 ^{eme} jour	190	16	12	9	8
3 ^{eme} jour	190	36	30	28	19
4 ^{eme} jour	190	14	6	5	6
5 ^{eme} jour	190	15	10	7	9
6 ^{eme} jour	190	20	19	15	11

ANNEXE II

Tableau de normes de l'OMS des eaux rejeté.

Caractéristiques	Normes	Unités
PH	6,5-8,5	
Température	<30	°C
DBO ₅	<30	mg/l
DCO	<90 mg/l	mg/l
MES	<20 mg/l	mg/l
NH ₄ ⁺	<0,5 mg/l	mg/l
NO ₂	1 mg/l	mg/l
NO ₃	<1 mg/l	mg/l
P ₂ O ₅	<2 mg/l	mg/l
Couleur	Incolore	
Odeur	Inodore	

ANNEXE III

Tableau de normes européennes des eaux rejeté.

Paramètre	Normes	Unités
pH	5,5 <pH<9,5	
Température	< 30 °C, un écart de 5°C est toléré	°C
DBO ₅	25	mg/l
DCO	125	mg/l
MES	35	mg/l
Azote	15 mg/l pour une charge brute de pollution entre 600 et 6 000 kg/jour. 10 mg/l pour une charge brute de pollution > 6 000 kg/jour.	Mg/l
Phosphore	2 mg/l pour une charge brute de pollution entre 600 et 6 000 kg/jour. 1 mg/l pour une charge brute de pollution > 6000 kg/jour.	mg/l
Plomb	0,1	g
Hydrocarbures totaux	5	g/jour
Composées phénoliques	5	g/jour

ANNEXE IV

Tableau de normes algériennes des eaux usées rejeté.

Paramètre	Normes	Unités
Température	30	(C°)
pH	6,5-8,5	-
O2	5	mg/l
DBO5	30	/
DCO	90	/
MES	30	/
Chrome	0,1	mg/l
Zinc	2	/
Azote	50	/
Phosphates	2	/
Huiles et graisses	20	/
Détergents	1	/
Hydrocarbures	10	/

ANNEXE V

Tableau des normes de l'OMS de l'eau servant à l'irrigation

Paramètre	Unité	Degré de restriction imposé à l'utilisation		
		Aucun	Faible à modéré	Important
Salinité, EC _w ^a	dS/m	<0.7	0.7–3.0	>3.0
TDS	mg/l	<450	450–2000	>2000
TSS	mg/l	<50	50–100	>100
SAR ^b	0–3	meq/l >0.7 EC _w	0.7–0.2 EC _w	<0.2 EC _w
SAR	3–6	meq/l >1.2 EC _w	1.2–0.3 EC _w	<0.3 EC _w
SAR	6–12	meq/l >1.9 EC _w	1.9–0.5 EC _w	<0.5 EC _w
SAR	12–20	meq/l >2.9 EC _w	2.9–1.3 EC _w	<1.3 EC _w
SAR	20–40	meq/l >5.0 EC _w	5.0–2.9 EC _w	<2.9 EC _w
Sodium (Na ⁺)	Irrigation par aspersion	meq/l <3	>3	
Sodium (Na ⁺)	Irrigation superficielle	meq/l <3	3–9	>9
Chlorure (Cl ⁻)	Irrigation par aspersion	meq/l <3	>3	
Chlorure (Cl ⁻)	Irrigation superficielle	meq/l <4	4–10	>10
Chlore (Cl ₂)	Total résiduel	mg/l <1	1–5	>5
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)		mg/l <90	90–500	>500
Bore (B)		mg/l <0.7	0.7–3.0	>3.0
Sulfure d'hydrogène (H ₂ S)		mg/l <0.5	0.5–2.0	>2.0
Fer (Fe)	Irrigation par goutte-à-goutte	mg/l <0.1	0.1–1.5	>1.5
Manganèse (Mn)	Irrigation par goutte-à-goutte	mg/l <0.1	0.1–1.5	>1.5
Azote total (AT)		mg/l <5	5–30	>30
pH		Plage normale : 6,5–8		
Éléments traces (voir Tableau A1.2)				
TDS : matières solides dissoutes totales ; TSS : matières solides en suspension totales.				
Sources : Ayers & Westcot (1985) ; Pescod (1992) ; Asano & Levine (1998).				
^a EC _w : conductivité électrique moyenne en déciSiemens par mètre à 25°C.				
^b SAR : taux d'adsorption moyen du sodium ([meq/l ^{1/2}] ; voir partie A1.5.				

ANNEXE VI

Tableau des normes de l'OMS des Seuils de toxicité des éléments traces pour la production agricole

Élément		Concentration maximale recommandée ^a (mg/l)	Remarques
Al	Aluminium	5.0	Peut être à l'origine d'une absence de productivité des sols acides (pH < 5,5), mais des sols plus alcalins (pH > 7,0) précipitent l'ion aluminium et éliminent toute toxicité.
As	Arsenic	0.10	Seuil de toxicité pour les végétaux très variable et allant de 12 mg/l pour l'herbe du Soudan à moins de 0,05 mg/l pour le riz.
Be	Béryllium	0.10	Seuil de toxicité pour les végétaux très variable et allant de 5 mg/l pour le chou frisé à moins de 0,5 mg/l pour les haricots nains.
Cd	Cadmium	0.01	Toxicité pour les haricots, les betteraves et les navets dès 0,1 mg/l dans les solutions de nutriments. Des limites conservatives sont recommandées en raison du potentiel d'accumulation de ce métal dans les végétaux et les sols jusqu'à atteindre des concentrations potentiellement nocives pour l'homme.
Co	Cobalt	0.05	Toxique pour les plants de tomate à la concentration de 0,1 mg/l dans la solution de nutriments. Tendance à l'inactivation par les sols neutres ou alcalins.
Cr	Chrome	0.10	N'est généralement pas reconnu comme un élément essentiel à la croissance. Des limites conservatives sont recommandées en raison du manque de connaissance concernant sa toxicité pour les végétaux.
Cu ^b	Cuivre	0.20	Toxicité pour un certain nombre de végétaux à une concentration de 0,1–1,0 mg/l dans les solutions de nutriments.
F	Fluorure	1.0	Inactivation par les sols neutres ou alcalins.
Fe ^b	Fer	5.0	Pas de toxicité pour les végétaux dans les sols aérés, mais peut contribuer à l'acidification du sol et à la diminution de la disponibilité des éléments essentiels phosphore et molybdène. Sa pulvérisation aérienne peut entraîner des dépôts disgracieux sur les végétaux, les équipements et les bâtiments.
Li	Lithium	2.5	Tolérance par la plupart des cultures jusqu'à 5 mg/l; mobilité dans les sols. Toxicité pour les citronniers à faible concentration (<0,075 mg/l). Action similaire à celle du bore.
Mn ^b	Manganèse	0.20	Toxicité pour un certain nombre de cultures à une concentration de quelques dizaines à quelques milligrammes par litre, mais seulement dans les sols acides en général.
Mo	Molybdène	0.01	Pas de toxicité pour les végétaux à une concentration normale dans le sol ou l'eau. Toxicité potentielle pour le bétail dont le fourrage est cultivé sur des sols renfermant de fortes concentrations de molybdène disponible.

ANNEXE VI (suite)

Élément		Concentration maximale recommandée ^a (mg/l)	Remarques
Ni	Nickel	0.20	Toxicité pour un certain nombre de végétaux à une concentration de 0,5–1,0 mg/l; toxicité moindre lorsque le pH est neutre ou alcalin.
Pb	Plomb	5.0	Inhibition de la croissance des cellules végétales pour de très faibles concentrations.
Se	Sélénium	0.02	Toxicité pour les végétaux dès 0,025 mg/l et toxicité pour le bétail dont le fourrage est cultivé sur des sols présentant des concentrations relativement élevées de sélénium ajouté. Élément essentiel pour les animaux, mais à très faible concentration.
V	Vanadium	0.10	Toxicité pour de nombreux végétaux à des concentrations relativement faibles.
Zn ^b	Zinc	2.0	Toxicité pour de nombreux végétaux à des concentrations très variables; toxicité réduite à pH > 6,0 et dans les sols à texture fine ou organiques.

ANNEXE VII

Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation.

25 Chaâbane 1433
15 juillet 2012

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 41

19

ANNEXE

SPECIFICATIONS DES EAUX USEES EPUREES UTILISEES A DES FINS D'IRRIGATION

I. PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES

GROUPES DE CULTURES	PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES	
	Coliformes fécaux (CFU/100ml) (moyenne géométrique)	Nématodes intestinaux (œufs/l) (moyenne arithmétique)
Irrigation non restrictive. Culture de produits pouvant être consommés crus.	<100	Absence
Légumes qui ne sont consommés que cuits. Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire.	<250	<0,1
Arbres fruitiers (1). Cultures et arbustes fourragers (2). Cultures céréalières. Cultures industrielles (3). Arbres forestiers. Plantes florales et ornementales (4).	Seuil recommandé <1000	<1
Cultures du groupe précédent (CFU/100ml) utilisant l'irrigation localisée (5) (6).	pas de norme recommandée	pas de norme recommandée

(1) L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol.
L'irrigation par aspersion est à éviter.

(2) Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.

(3) Pour les cultures industrielles et arbres forestiers, des paramètres plus permissifs peuvent être adoptés.

(4) Une directive plus stricte (<200 coliformes fécaux par 100 ml) est justifiée pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquels le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

(5) Exige une technique d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes.

(6) A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrisent la gestion de l'irrigation localisée et respectent les règles d'hygiène exigées. Aucune population alentour.

2. PARAMETRES PHYSICO - CHIMIQUES

PARAMETRES		UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
Physiques	pH	—	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR = 0 - 3 CE	ds/m	0.2
	3 - 6		0.3
	6 - 12		0.5
12 - 20	1.3		
20 - 40	3		
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (Cl)	meq/l	10
	AZOTE (NO ₃ - N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO ₃)	meq/l	8.5
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercur	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
Zinc	mg/l	10.0	

(*) : Pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin.