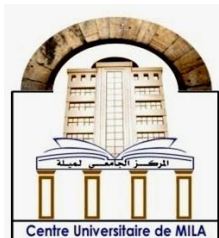


Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf - Mila
Institut des Sciences et de Technologie
Département de Sciences et Technologie



N° Réf :

Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER

Spécialité : Hydraulique Urbaine

Etude d'évaluation de la performance épuratoire de
la station du traitement des eaux usées d'Oued Souf

Réalisé par :

- BARA Bochra
- KARA Rawiya

Soutenu devant le jury :

Mr. MOUSSOUNI. A
Mr. MEHELLOU. A
Mr. YAHIAOUI. K

Président
Examineur
Promoteur

Année universitaire : 2020/2021



DEDICACE

Dieu soit loué, qui nous a aidé dans ce travail et nous avons donné la joie de réussir. Je dédie ce travail à celle qui m'a appris que l'éducation n'a pas d'âge et que donner n'a pas de limites, qui avait l'habitude de souhaiter me voir atteindre ce succès ma chère maman Samira.

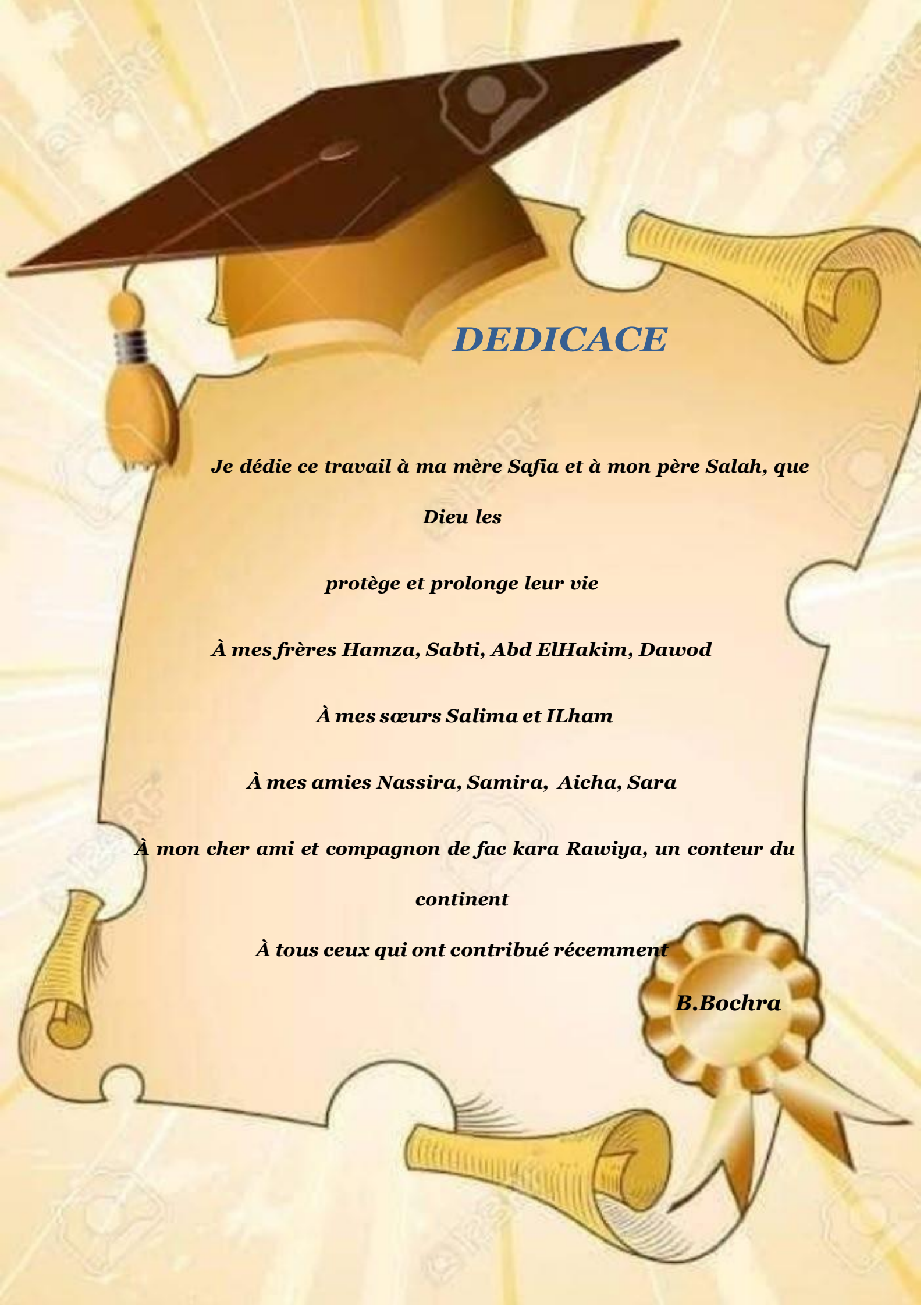
le pilier de ma vie et la poitrine de mes souhaits Ma dignité mon père djamale.

Pour ceux dont mon cœur se souvient avant d'écrire avec un stylo, pour ceux qui ont partagé la douceur et l'amertume de la vie avec moi sous un même toit, mes frères Mounir, sif adin, Najm adin, Iyad, et Khouloud. À ma soeur manal ainsi comme son mari Bilal et son fils Amir.

À toute ma famille qui a participé à mes prières pour ma réussite La famille de mon père et La famille de ma mère les frères de maman et les sœurs de ma mère Karima, Hanan ,Somaya . Je dédie ma joie et mon travail à Ma tante maternelle Wasila et à son mari Ali, qui ont joué un grand rôle dans ma réussite.

Aux meilleurs de ceux qui m'ont connu, copains d'école BOCHRA, Ibtissam, Amal, Kanza, Boba, Mariam, Marwa, Hadjre, Aïcha, Ilham, chaouki, Enfin, je dédie cet humble travail à celui en qui je vois toujours de la patience et de l'optimisme, et il a eu un grand rôle dans la réussite de mon mari chaouki

K.RAWIYA



DEDICACE

Je dédie ce travail à ma mère Safia et à mon père Salah, que

Dieu les

protège et prolonge leur vie

À mes frères Hamza, Sabti, Abd ElHakim, Dawod

À mes sœurs Salima et ILham

À mes amies Nassira, Samira, Aicha, Sara

***À mon cher ami et compagnon de fac kara Rawiya, un conteur du
continent***

À tous ceux qui ont contribué récemment

B.Bochra



REMERCIEMENTS

*Au début, Dieu soit loué, qui nous a aidé dans ce travail et nous avons
donné la joie de réussir.*

*Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements et notre
gratitude au professeur encadrant, à Mr «**YAHIAOUI Khemissi**»*

Pour sa patience, son aide et ses précieux conseils.

*Nos remerciements vont aux membres du jury «**MOUSSOUNI
Abderrazak**» et «**Mehellou.A**» qui nous ont fait l'honneur d'accepter
de jurer notre travail.*

*Nos remerciements s'étendent aussi à tous nos enseignants qui ont
collaboré à notre formation durant les années d'étude.*

*Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont
contribué à la réalisation de ce travail.*

Merci à tous



Liste des abréviations

DBO₅ : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (mg/l)

DCO : demande chimique en oxygène (mg/l)

PH : Potentiel hydrogène

MES : Matière en suspension (mg/l)

MVS : Matière volatiles en suspension (mg/l)

MMS : Les matières minérales en suspension

MO : Matière organique (mg/l)

STEP: Station d'Epuration

OMS : Organisation Mondial de la Santé.

CE : Conductivité Électrique.

EU : Eau usée.

EH : Equivalent Habitant.

NO²⁻ : Nitrite

NO³⁻ : Nitrates

OD : Oxygène dissous

P : Phosphore

PT : Phosphore total

PO₄-3 : Ortho Phosphate

N: Azotes

NT : Azote total

NH⁴⁺ : Azote ammoniacal

tr/min : Tour par minute

µs/cm : Micro siemens sur centimètre

m³ : Mètre cube

m³/J : Mètre cube par jour

mg/l : Milligramme par litre

Cm : la charge massique

Qj : débit journalier d'eau résiduaire à épurer

Cv : La charge volumique

Age : âge des boues

C b .t : concentration en solide (ou solide volatil) de la liqueur mixte

C b .ex : concentration en solide (ou solide volatil) des boues

Im : Indice de Mohlman

M : masse de résidu sec
d'un litre de boue activée

V : Le volume d'eau analysée

°C :Degré Celsius

NTU :Unité néphélogétries de turbidité

T°C : La température

IB : indice de boue

N-NH3 : Dosage d'azote ammoniacal

M.I.D : matière insoluble décantable

SC : la siccité

TA : titre alcalimétrique simple

TAC : titre alcalimétrique complet

EDTA (TH) : dureté totale par titrimétrie à l'EDTA (TH)

Ca²⁺: calcium

Mg⁺²: magnésium

Sommaire

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées

Introduction	3
Définition des eaux usées.....	3
Origine des eaux usées.....	3
Eaux usées domestiques	4
Eaux usées industrielles.....	4
Eaux agricoles	4
Eaux pluviales	5
Systèmes d'évacuation des eaux usées	5
Le système collectif.....	5
Le système unitaire.....	5
Le système séparatif	6
Le système pseudo-séparatif.....	7
Système autonome	8
Les systèmes mixtes	8
Paramètres des caractérisations de l'effluent.....	8
Paramètres organoleptiques.....	8
Couleur	8
Odeur	8
Paramètres physiques	8
Température	8

Conductivité électrique(CE)	9
Matière en suspension(MES).....	9
Matière volatile en suspension(MVS).....	9
Matières minérales sèche(MMS)	10
I.5.2.6 Turbidité.....	10
Paramètres chimiques.....	10
Potentiel hydrogène (PH)	10
Oxygène dissous.....	10
Demande biochimique en oxygène(DBO ₅).	10
Demande chimique en oxygène(DCO)	10
L'azote	11
a) L'azote de Kjeldahl	11
b) L'azote ammoniacal	11
c) Les nitrates NO ⁻³	12
d) Les nitrites NO ⁻²	12
Le phosphore total (pt)	12
Paramètres microbiologique	12
Les coliformes totaux	13
Les coliformes fécaux	13
Les streptocoques fécaux.....	14
Les virus.....	15
Les bactéries.....	15
Les protozoaires	15

Les helminthes	16
La pollution par les eaux usées.....	16
Définition de la pollution des eaux	16
Origine de la pollution.....	16
Les types de pollution.....	16
Risques de la pollution par les eaux usées	17
Risque sur la santé humaine	17
Risque sur l'environnement.....	18
A) Impacts sur le sol.....	18
B) Impacts sur les eaux superficielles	18
C) Impacts sur les eaux souterraines	18
Equivalent habitant.....	19
Normes de rejet des eaux usées.....	19
Normes de l'OMS	19
Normes européennes.	20
Normes algériennes	21
Réutilisation des eaux usées.....	23
conclusion.....	24

Chapitre II procédés d'épuration des eaux usées

II .1 Introduction	25
II .2 Définition de l'épuration.....	25
II .3 Paramètres du choix d'une technologie de traitement des eaux usées	25
II .4 Rôle des stations d'épuration.....	26

II .5 Les procédés d'épuration	26
II .5.1 Prétraitement.....	27
II .5.1.1 Le dégrillage	28
II .5.1.2 Dessablage	29
II .5.1.3 Dégraissage –désuilage	30
II 5.2 Traitement primaire	31
II .5.2.1 Décantation primaire	32
II .5.2.2 Décantation physique (naturelle).....	33
II .5.2.3 La décantation physico-chimique	33
II .5.2.4 La flottation.	34
II .5.3 Traitement biologique (traitement secondaire)	34
II .5.3.1 Procédé biologique extensifs.....	34
II .5.3.1.1 Lagunage.....	34
a) Lagunage naturel (culture libre).....	35
b) Le lagunage aéré	36
II .5.3.2 Procédé biologique intensifs.....	37
II .5.3.2.1 Installation à culture fixée	38
a) Disque biologique.....	38
b) lits bactérien	39
II .5.3.2.2 Les installations à culture libre ou par boues activés.....	40
II .5.3.2.2.1 Boues activés.....	40
II .5.3.2.2.2 Paramètre de fonctionnement des stations à boues activés	41

a. Charge massique (Cm)	41
b. Charge volumique (Cv)	42
c. Age des boues.	42
d. Besoin de l'oxygène	43
Traitement tertiaire	43
a. Elimination de l'azote.....	43
b. Dénitrification	44
c. Elimination de phosphore	44
d. Désinfection	44
II .6 Conclusion.....	44

Chapitre III présentation des stations d'épuration d'el Oued

Introduction.....	45
Epuration des eaux usées dans la région d'El Oued.....	45
Présentation des stations étudiées.....	46
Les différentes étapes de traitement.....	50
Prétraitement	50
Dégrillage.....	50
Dessablage	51
Traitement biologique.....	52
Lagunes aérées (première étape).....	52
Lagunes aérées (2ème étape)	54
Lagune de finition (F2).....	56
Traitement des boues	57

Conclusion.....	58
-----------------	----

Chapitre IV Matériels et Méthodes

Introduction.....	59
Le but général des analyses.....	59
Prélèvement des échantillons d'eau.....	59
Localisation des points de prélèvement.....	61
Paramètres étudiés.....	62
Paramètres physique.....	63
La température (T)	63
Potentiel d'hydrogène (pH)	63
La conductivité(CE)	64
L'oxygène dissous(OD).....	65
La Matières en suspension (MES)	66
Matière Insoluble Décantable (M.I.D)	67
La turbidité	68
Paramètres chimiques.....	69
La demande biologique en oxygène(DBO ₅).....	69
La demande chimique en oxygène(DCO)	70
Le phosphore (PO ⁻⁴)	72
Dosage d'azote total (N)	73
Dosage de nitrite (NO ⁻²).....	74
Dosage de nitrate (NO ⁻³).....	75
Dosage d'azote ammoniacal (N-NH ₃).....	76

Test de décantation	76
La siccité(SC)	78
Méthodes d'analyses paramètres de minéralisation globale	78
L'alcalinité.....	78
Détermination de titre alcalimétrique simple (TA).....	79
Détermination de titre alcalimétrique complet (TAC)	79
Dureté totale par titrimétrie à l'EDTA (TH).....	80
Détermination du calcium (Ca^{2+}) et du magnésium (Mg^{2+})	81
Dosage des ions de Ca^{2+}	82
Dosage des ions de Mg^{+2}	82
IV.5.3.4 Détermination de chlorure	83
Analyses microbiologiques.....	84
Recherche et dénombrement des Germes Aérobie MésophileTotaux à 22°C et 37°C	84
Recherche et dénombrement des Coliformes Totaux à 37°C et les Coliformes Fécaux à 44°C [78].	85
A. Teste de présomption.....	85
B. Test de confirmation.....	86
Recherche et dénombrement des Streptocoques Fécaux à 37°C.....	87
.....	
A. Test de présomption	87
B. Test de confirmation.....	89
6. Conclusion	90

Chapitre V Résultats et Discussion

Introduction.....	91
Rendement épuratoire.....	91
Résultats et discussions des paramètres analysées	91
Les paramètres physiques.....	91
Température	91
Conductivité électrique	93
Matière en suspension (MES)	94
Paramètres chimiques.....	96
Potentiel d'hydrogène (pH).....	96
Les phosphates (PO_4^{-3}).....	97
Azote total (NT)	98
L'azote ammoniacal (NH_4^+)	100
Les nitrites (NO_2^-)	101
Les nitrates (NO_3^-).....	103
Oxygène dissous (OD)	105
Demande chimique en oxygène (DCO)	107
Demande Biochimique en Oxygène (DBO_5).....	108
Conclusion.....	109
Conclusion Générale	111
Références bibliographiques	

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées	
Tableau I.1 : Normes de rejet des eaux usées (OMS).....	20
Tableau I.2 : Normes européenne de rejet des eaux usées	21
Tableau I.3 : Normes algérienne de rejet des eaux usées.....	22
Chapitre II : Procédés d'épuration des eaux usées	
Tableau II.1: Avantages et inconvénients du traitement biologique par lagunage.....	35
Tableau II.2: Avantages et inconvénients du traitement biologique par disque biologique	39
Tableau II.3: Avantages et inconvénients du traitement biologique par lits bactériens	40
Tableau II.4: Avantages et inconvénients du traitement biologique par boues activées	41
Chapitre III.: Présentation des stations d'épuration d'el oued	
Tableau III.1: Paramètres de pollution pour le dimensionnement des stations	49
Tableau III.2: Lagunes d'aération (premier étage) A1, A2, A3.....	53
Tableau III.3: Lagunes d'aération (deuxième étage) B1, B2, B3	54
Tableau III.4: Lagune de finition (F2).....	57
Chapitre IV : Matériels et méthode	
Tableau. IV.1: Etat physique des boues	78
Chapitre V : RESULTATS ET DISCUSSION	
Tableau V.1: Variation mensuelle de la température (année 2017).....	92
Tableau V.2: Variation mensuelle de La conductivité électrique (année 2017).....	93
Tableau V.3: Variation mensuelle de la matière en suspension (MES) (année 2017).....	95

Tableau V.4: Variation mensuelle du potentiel d'hydrogène (PH) (année 2017)	96
Tableau V.5: Variation mensuelle des phosphates (PO ₄ -3) (année 2017).....	97
Tableau V.6: Variation mensuelle de la Azote total NT (année 2017).....	99
Tableau V.7: Variation mensuelle de L'azote ammoniacal (NH ₄ +) (année 2017)	100
Tableau V.8: Variation mensuelle de Les nitrites (NO ₂ -) (année 2017)	102
Tableau V.9: Variation mensuelle de Les nitrates (NO ₃ -) (année 2017).....	103
Tableau V.10: Variation mensuelle de l'oxygène dissous (année 2017)	105
Tableau V.11: Variation mensuelle de la Demande chimique en oxygène (DCO) (Année 2017).....	107
Tableau V.12: Variation mensuelle de la Demande Biochimique en Oxygène (DBO ₅) (année 2017).....	108

Liste des figures

Chapitre I.	
Figure I.1: Schéma explicatif du réseau unitaire	6
Figure I.2: schéma explicatif du réseau séparatif	7
Figure I.3 : Schéma explicatif du réseau pseudo séparatif	7
Figure I.4 : Les coliformes totaux.....	13
Figure I.5 : Les coliformes fécaux	14
Figure I.6: les streptocoques fécaux.....	15
chapitre II.	
Figure II .1 : Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration	27
Figure II .2 : schéma d'un traitement préliminaire d'une STEP	27
Figure II .3 : schéma d'un dégrilleur	28
Figure II .4 : Dégrilleur	29
Figure II .5 : Dessableur	30
Figure II .6 : Dégraissage	31
Figure II .7: Déshuilage.....	31
Figure II .8: Schéma d'un décanteur primaire.....	32
Figure II .9: Schéma d'un procédé de coagulation- floculation.....	33
Figure II .10: Schéma de principe du lagunage	34
Figure II .11: Schéma du traitement biologique par lagunage	35
Figure II .12: Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel	36
Figure II .13 : Lagunage naturel	36
Figure II .14: Schéma de principe d'un lagunage aéré	37
Figure II .15 : Lagunage aéré.	37
Figure II .16: Schéma du traitement biologique par disque biologique.....	38

Figure II .17: Schéma d'un Procédée Lit bactérie.	40
Figure II .18 : Traitement biologique par boues activées.....	41
chapitre III.	
FigureIII.1: Situation générale des ouvrages d'assainissement (ONA, 2018).....	46
Figure III.2: Plan générale de la station d'épuration.	47
Figure III.3: Regards de dégazage.	48
Figure III.4: Dégrilleurs	50
Figure III.5: Déssableur	51
Figure III.6: Classificateur à sable.....	52
Figure III.7.: Lagunes aérées (première étape)	52
Figure III.8: Lagunes aérées (deuxième étape).....	55
FigureIII.9: Lagune de finition.	56
Figure III.10: Lits de séchage.....	58
chapitre IV.	
Figure IV.1: Préleveur Automatique.....	60
Figure IV.2: Les prélèvements à l'entrée et à la sortie.	60
FigureIV.3 : Echantillonnage et conservation des flacons	61
Figure IV.4: Photo représentant des points de prélèvement. (a) L'eau brute (b) L'eau traitée	61
Figure IV.5: (a)La mesure du pH et de la température. (b) pH mètre.....	64
Figure IV.6 : La mesure de la conductivité	65
Figure IV.7 : Oxymétrie	66
Figure IV.8: Appareils de mesure des matières en suspension (MES)	67
Figure IV.9: Cônes D'imhoff	68
Figure IV .10: La mesure de la turbidité	68

Figure IV.11: Appareillage DBO mètre de mesure de la DBO ₅ ,	
(a) Flacon à DBO ₅ (b) DBO mètre.....	70
Figure IV.12: Appareillage.....	71
Figure IV.13: Réactifs et appareils de mesure de la DCO	72
Figure IV.14: Tube de phosphore	73
Figure IV.15 : Tube d'azote total.....	74
Figure IV.16 : Dosage de nitrite.	75
Figure IV.17 : Dosage de nitrate.....	75
Figure IV.18: Dosage de l'azote ammoniacal	76
Figure IV.19: test de décantation	77
Figure IV.20: Test présomption de Coliformes Totaux.	85
Figure IV.21: Le lecteur des Tubes.....	86
Figure IV.22: Test conformation des Coliformes Fécaux.	86
Figure IV.23: Présence d'E-Coli.....	87
Figure IV.24: Test présomption des Streptocoques Fécaux.....	88
Figure IV.25: La lecture des tubes	88
Figure IV.26: Test confirmatif des Streptocoque Fécaux	89
Figure IV.27: La lecture des tubes	89
Chapitre V.	
Figure V.1 : Variation temporelle de la température (2017)	92
Figure V.2 : Variation temporelle de la conductivité électriques (2017).....	93
Figure V.3 : Variation temporelle de la matière en suspension (MES) (2017)	95
Figure V.4 : Variation temporelle du potentiel d'hydrogène (PH) (2017).....	97
Figure V.5 : Variation temporelle des phosphates (PO ₄ -3) (2017)	98
Figure V.6: Variation temporelle de la Azote total NT (2017).....	99

Figure V.7: Variation temporelle de L'azote ammoniacal (NH_4^+) (2017).....	101
Figure V.8 : Variation temporelle de Les nitrites (NO_2^-) (2017).	102
Figure V.9: Variation temporelle de Les nitrates (NO_3^-) (2017).....	103
Figure V.10 : Mécanisme de dégradation des matières azotées dans les procédés biologiques.....	104
Figure V.11 : Variation temporelle de l'oxygène dissous (2017).....	106
Figure V.12: Variation temporelle de la Demande chimique en oxygène (DCO) (2017)	107
Figure V.13 : Variation temporelle de la Demande Biochimique en Oxygène (DBO_5) (2017).	109

Résumé

Les eaux usées brutes sont fortement chargées en polluants et en contaminants divers, ce qui menace la santé publique liés à une réutilisation des eaux usées. C'est pour cela, elles doivent être transportées par le réseau d'égouts vers des stations d'épuration afin d'être traitées. L'objectif principal de notre travail est d'étudier expérimentalement les performances épuratoires d'une station d'épuration à boues activées à faible charge (cas de la STEP d'Oued Souf) à travers des mesures de paramètres de pollution de l'eau usée à l'entrée (eau brute) et à la sortie (eau traitée) de la station. Pour atteindre cet objectif, il a été fait une série d'analyse au niveau de laboratoire de la STEP d'Oued Souf. L'expérimentation a été réalisée sur une période de 12 mois. Les résultats obtenus ont montré que les paramètres de pollution étudiés sont en général inférieurs aux normes de rejet ($DBO_5 < 30 \text{ mg/l}$; $DCO < 90 \text{ mg/l}$; $MES < 30 \text{ mg/l}$).

Mots clés : Eaux usées, épuration, Oued Souf, Performance.

Summary

Raw wastewater is heavily loaded with various pollutants and contaminants, posing a threat to public health due to wastewater reuse. This is why they must be transported by the sewer network to treatment plants in order to be treated. The main objective of our work is to experimentally study the purification performance of a low-load activated sludge treatment plant (case of the Oued Souf WWTP) through measurements of water pollution parameters. used at the inlet (raw water) and at the outlet (treated water) of the station. To achieve this objective, a series of analyzes was carried out at the level of Oued Souf WWTP laboratory. The experiment was carried out over a period of 12 months. The results obtained showed that the pollution parameters studied are generally lower than the discharge rates ($BOD_5 < 30 \text{ mg/l}$, $COD < 90 \text{ mg/l}$; $MES < 30 \text{ mg/l}$).

Keywords: Wastewater, purification, Oued Souf, Performance

ملخص

مياه الصرف الصحي الخام محملة بشكل كبير بمختلف الملوثات، مما يشكل تهديدًا للصحة العامة بسبب إعادة استخدام مياه الصرف الصحي.

لهذا السبب يجب نقلهم عن طريق شبكة الصرف الصحي إلى محطات المعالجة حتى تتم معالجتهم. الهدف الرئيسي من عملنا هو الدراسة التجريبية لأداء التنقية لمحطة معالجة الحمأة المنشطة منخفضة الحمولة (حالة محطة معالجة مياه الصرف الصحي في واد سوف) من خلال قياسات معايير تلوث المياه المستخدمة في المدخل (المياه الخام) وفي المخرج (المياه المعالجة) للمحطة. لتحقيق هذا الهدف، تم إجراء سلسلة من التحليلات على مستوى معمل معالجة مياه الصرف الصحي في واد سوف.

تم إجراء التجربة على مدار 12 شهر. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن معاملات التلوث المدروسة أقل بشكل عام من معدلات التصريف. (; $DCO < 90 \text{ mg/l}$; $DBO_5 < 30 \text{ mg/l}$)
($MES < 30 \text{ mg/l}$)

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي، التنقية، واد سوف، الأداء.

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est une ressource vitale pour l'homme et bien qu'apparemment inépuisable, l'eau est très inégalement répartie sur la planète et tous les pays auront, à court ou à long terme, à faire face au problème de sa raréfaction. Devant les besoins en eau douce qui ne cessent de croître et vu l'impossibilité de se contenter seulement des ressources naturelles conventionnelles, la recherche de moyens d'épuration adéquats et la réutilisation des effluents d'eaux usées traitées est devenue une option attrayante et une alternative incontournable afin de mobiliser de plus importants volumes d'eau et satisfaire ainsi la demande de plus en plus croissante, particulièrement, dans les pays arides et semi arides. Par ailleurs, les composants des eaux usées (agents pathogènes, sels, métaux, composés organiques toxiques,) présentent des risques pour l'environnement et peuvent nuire à la santé publique. [1] Le traitement de ces rejets s'avère indispensable afin de lutter contre leurs effets nocifs. Différentes techniques de traitement sont utilisées qu'elles soient biologiques (lagunage naturel ou aéré, boues activées ou lits bactériens), physicochimiques (la coagulation-floculation, la précipitation ou l'oxydation) ou membranaires (l'osmose inverse, la nanofiltration ou l'électrodialyse). [2]

La répartition très inégale de la population implique par ailleurs des pressions extrêmement disparates sur les ressources. Des facteurs structurels et économiques liés au développement des secteurs agricole et industriel viennent encore accroître la demande et les besoins en eau. [3]

Face aux pénuries d'eau dans les dernières décennies et afin de préserver les ressources en eau, encore saines, et la protection de l'environnement ainsi que la santé publique, l'Algérie a adopté un programme riche en termes de traitement des eaux usées par la mise en service à la fin 2010, de plus d'une centaine de stations d'épuration, qui ont pour rôle de concentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous forme de résidus appelés boues, valorisable en agriculture et de rejeter une eau épurée répondant à des normes bien précises, qui trouve quant-à-elle, une réutilisation dans l'irrigation, l'industrie et les usages municipaux. [4]

L'étude de l'efficacité du système d'épuration est nécessaire pour garantir une bonne qualité de l'effluent traité et suivre le fonctionnement des ouvrages de la station. Ainsi, l'étude de l'adaptation de tout système d'épuration aux conditions climatiques de la région est importante pour la projection adéquate de ce système dans d'autres régions.

L'objectif de ce travail consiste à évaluer les performances épuratoires et les rendements de la station d'épuration d'Oued souf en analysant les paramètres suivants : le pH, la température. DCO, DBO5, MES, les matières azotées, les phosphates.

Pour ce faire, ce présent travail est subdivisé principalement en deux parties :

Une partie théorique comportant deux grands chapitres :

- Le premier chapitre donne des généralités sur les eaux usées urbaines (origine, composition, types et paramètres de pollution, normes de rejet)
- Le deuxième chapitre traite les différents procédés d'épuration des eaux usées (prétraitement, traitement primaire, traitement secondaire et tertiaire), que doivent subir les eaux usées avant d'être rejetées dans le milieu naturel.
- La seconde partie de l'étude est axée sur l'expérimentation, elle est présentée en trois chapitres :
 - Le troisième chapitre est consacré à la description et au fonctionnement de la STEP d'Oued souf
 - Le quatrième chapitre donne le matériel et les méthodes analytiques utilisées dans cette étude.
 - Le cinquième chapitre présente les résultats expérimentaux trouvés et leurs interprétations.
- Et enfin, une conclusion est donnée pour résumer notre travail.

Chapitre I :

Généralités sur les eaux usées

I.1 Introduction

Les eaux de surface constituent un écosystème où règne une communauté d'êtres vivants qui établissent des relations et interactions entre eux et leur milieu. Dans ce fragile équilibre, un seul facteur de l'écosystème est modifié, et c'est l'équilibre qui est perturbé. C'est ainsi que la présence ou la surabondance d'un élément dans un écosystème dont il est normalement absent constitue une pollution. Les eaux usées contiennent de nombreux éléments polluants. Ces polluants s'ils se retrouvent directement dans les milieux naturels perturbent les écosystèmes. C'est pour cela, ces eaux doivent être traitées avant leur évacuation dans le milieu récepteur.[5]

Dans ce chapitre, nous allons présenter un état de connaissance sur les eaux usées.

Définition des eaux

usées Définition1

Les eaux usées sont des liquides de composition hétérogène, chargées de matières minérales ou organiques, pouvant être en suspension ou en solution, et dont certains peuvent avoir un caractère toxique. Les eaux usées, qui sont un mélange de plusieurs types d'eaux. Pour éviter la pollution, elles sont acheminées par un réseau d'assainissement vers une station d'épuration pour y être traitées et si possible réutilisées. [6]

Définition2

Les eaux usées sont toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement. Elles englobent également les eaux de pluies et leurs charges polluantes et engendrent au milieu récepteur toutes sortes de pollution et de nuisance.[7]

Origine des eaux usées

L'eau, 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. Les eaux usées sont principalement d'origine domestique et pluviale comme elles peuvent contenir des eaux résiduaires industrielles ou agricoles d'extrême diversité.

Suivant l'origine des substances polluantes, on distingue quatre grandes catégories d'eaux usées :

Les eaux domestiques, les eaux industrielles, les eaux pluviales et les eaux agricoles.[8]

Eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques proviennent des différents usages domestiques de l'eau.

Et sont essentiellement porteuses de pollution organique et se répartissent en :

Eaux ménagères : Elles ont pour origine les salles de bains et les cuisines, ces eaux sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, ...etc.

- Eaux vannes : Il s'agit des rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées, de germes fécaux, de contaminants divers tel que les médicaments et un nombre quasi infini de polluants, de produits d'entretien (non seulement les lessives mais aussi, peintures, mercure de thermomètre, colle, etc..), qui peuvent être apportés par les diverses utilisations par les particuliers.[9]

Eaux usées industrielles

Elles sont représentées par les rejets des exploitations industrielles et semi -industrielles (station de lavage et graissage, station d'essences etc.), qui sont Caractérisés par une grande diversité de la composition chimique, présentant ainsi un risque potentiel de pollution.[10]

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, pour la santé humaine 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).[11]

Eaux pluviales

Elles peuvent aussi constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...). En outre, lorsque le système d'assainissement est dit "unitaire", les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. En cas de fortes précipitations, les contraintes de préservation des installations d'épuration peuvent imposer un déversement de ce mélange très pollué dans le milieu naturel.[12]

I.4Systèmes d'évacuation des eaux usées

Du Moyen Âge, jusqu'au XVIIIe siècle, tous les déchets domestiques étaient dispersés dans la rue, et dans la nature. Ce n'est que lors de la seconde moitié du XIXe siècle que s'élabore la conception moderne de l'assainissement, lorsque John Snow découvrit la véritable origine du choléra lors de l'épidémie de 1854 à Londres. [13] Il existe en assainissement plusieurs systèmes applicables selon l'importance et la densité de l'agglomération, le milieu en question ou la disponibilité des ressources financières pour réaliser le projet. Ces systèmes sont: - Collectifs ; - Autonomes; - Semi-collectif. [14]

Le système collectif

Dans ce système nous distinguons trois catégories :

Le système unitaire

Il consiste à l'évacuation de l'ensemble des eaux usées et pluviales par un unique réseau, généralement pourvu de déversoirs permettant, en cas d'orage, le rejet d'une partie des eaux, par surverse, directement dans le milieu naturel.

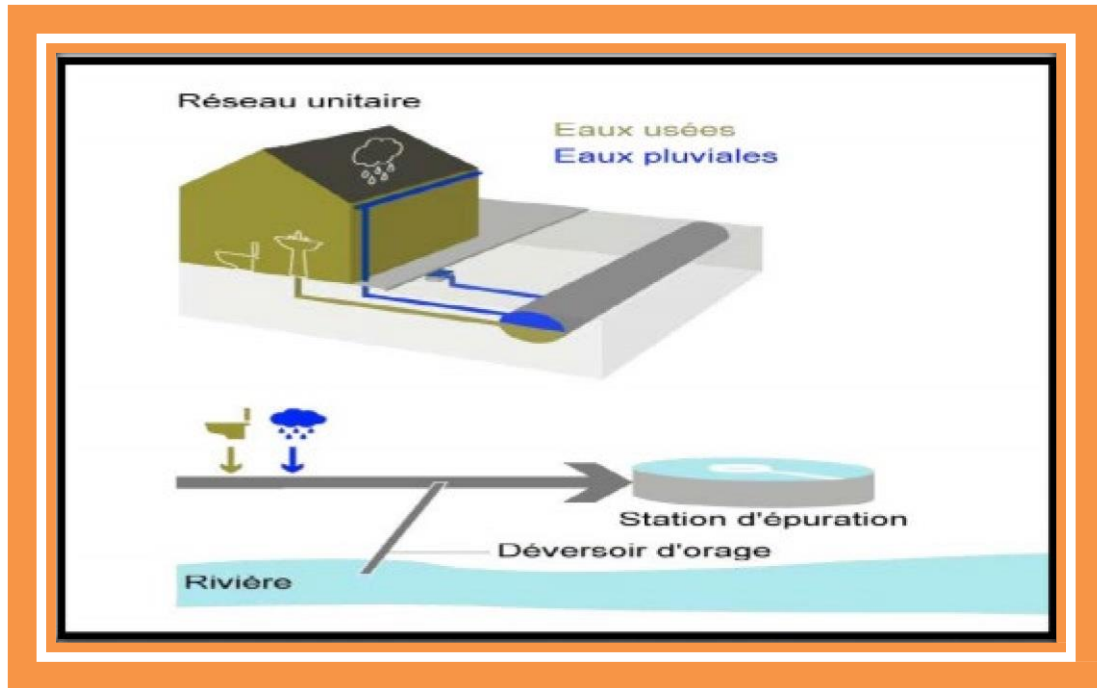


Figure I.1: Schéma explicatif du réseau unitaire. [15]

Le système séparatif

Dans les quels deux réseaux sont mis en place:

❖ **Réseau pluvial** : il est conçu pour évacuer les eaux d'origine pluviale, c'est à dire les pointes pluviales, il suit la ligne de plus grande pente. il transite l'eau vers les cours d'eau les plus proches.

❖ **Réseau d'eaux usées** : il est prévu pour l'évacuation des eaux usées d'origine domestique et industrielle jusqu'à la station d'épuration avec une pente qui peut être faible.

Il est important de dire que le tracé des collecteurs n'est obligatoirement pas le même, ce qui est le cas la plus part du temps. Le tracé du réseau d'eaux usées est en fonction de l'implantation des différentes entités qu'il dessert en suivant les routes existantes. Ce réseau ne demande pas de grandes pentes vu que les sections ne sont pas trop importantes. Le réseau prend fin obligatoirement à la station d'épuration qui se trouve en général loin de l'agglomération au moins de 300 m. Par contre le tracé du réseau d'eaux pluviales dépend de l'implantation des espaces producteurs du ruissellement des eaux pluviales qui sont rejetées directement dans le cours d'eau le plus proche. [16]

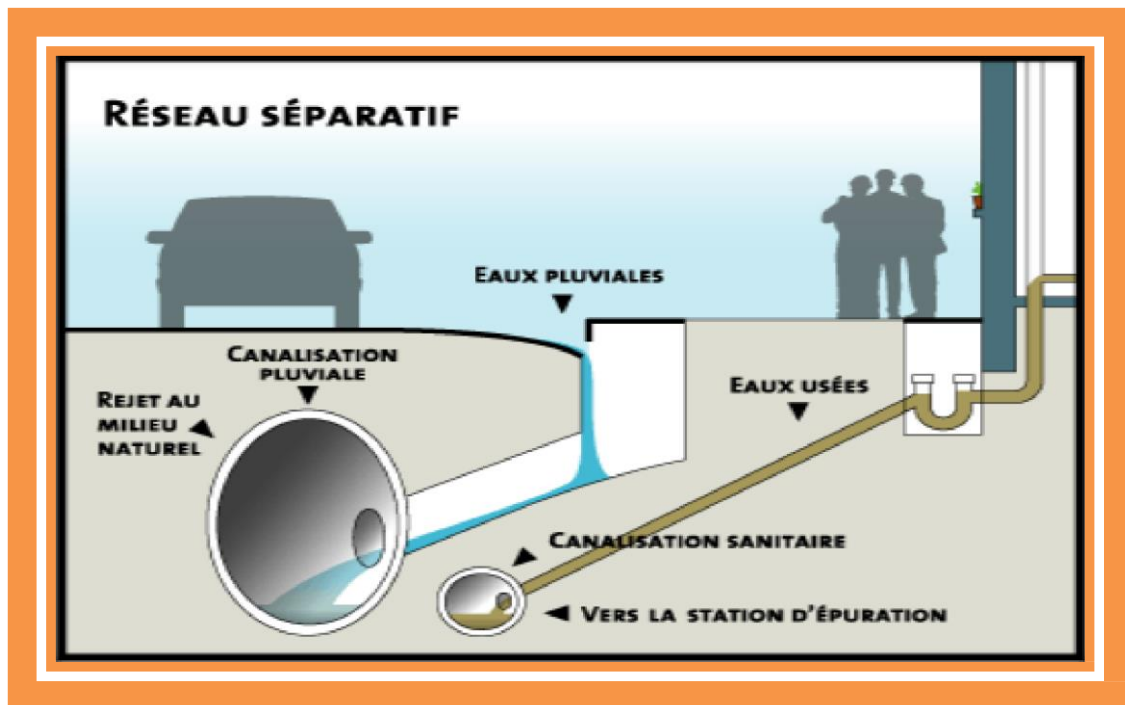


Figure I.2:schéma explicatif du réseau séparatif.

Le système pseudo-séparatif

C'est un système séparatif modifié qui permet d'admettre dans le réseau d'eaux usées des concessions d'eaux de ruissellement provenant des toitures, des cours, des jardins et des eaux domestiques. Par contre les eaux de ruissellement des voies publiques et espaces libres sont évacuées séparément dans un réseau pluvial.[14]

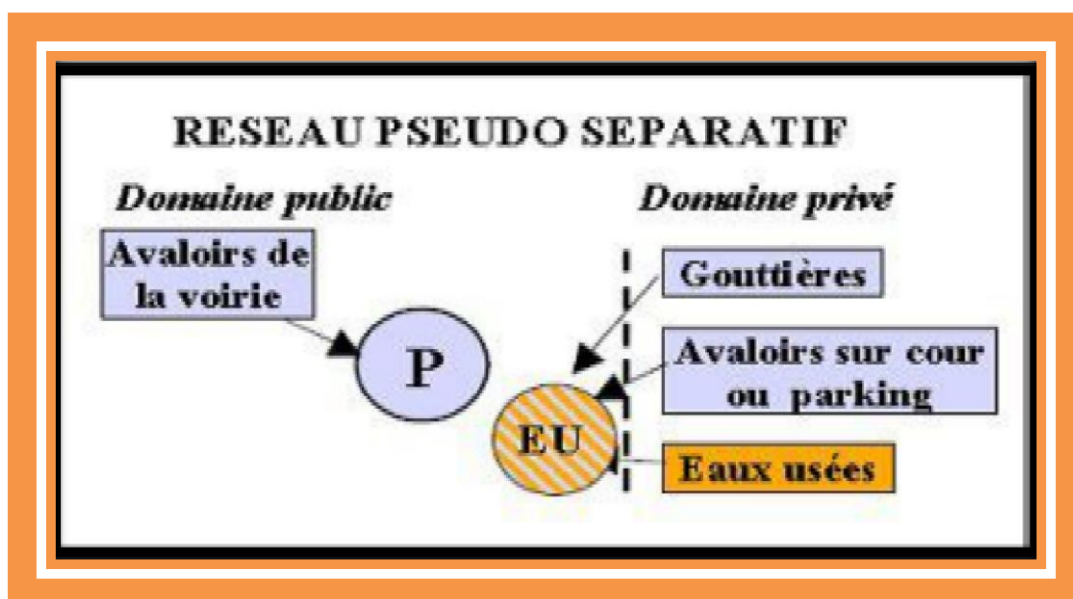


Figure I.3 :Schéma explicatif du réseau pseudo séparatif.

Système autonome

L'assainissement autonome des habitations, voire des locaux: d'activités isolés concerne les dispositifs à mettre en œuvre pour le traitement et l'élimination des eaux usées domestiques qui ne peuvent être évacuées par un système d'assainissement collectif. Il a pour objectif d'assurer l'épuration des eaux usées par le sol, sous des modes compatibles avec des exigences de la santé publique et de l'environnement.[14]

Les systèmes mixtes

Désignant communément des réseaux constitués, selon les zones d'habitation, en partie en système unitaire et en partie en système séparatif. [16]

Paramètre de caractérisation de l'effluent

Paramètre organoleptique

Couleur

Une eau pure observée sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu clair car les longueurs d'ondes courtes sont peu absorbées alors que les grandes longueurs d'onde (rouge) sont absorbées très rapidement.[17] La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. [18]

Odeur

Les eaux résiduaires industrielles se caractérisent par une odeur. Toute odeur est un signe de pollution qui est due à la présence de matières organiques en décomposition. [19]

Paramètres physiques

Température

La température est un facteur écologique important du milieu. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Certains rejets présentent des écarts de température importants avec le milieu récepteur : Ce sont par exemple, les eaux de refroidissement des centrales nucléaires thermique induisant ainsi une forte perturbation du milieu.[20]

Conductivité électrique(CE)

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm². L'unité de conductivité est le siemens paramètre (S/m). Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. La conductivité dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations.[21]

$$1 \text{ S/m} = 10^4 \mu\text{S/cm} = 10^3 \text{ mS/m}$$

Un conductimètre est un appareil permettant de mesurer la conductivité électrique de l'eau.

Matière en suspension(MES)

Il s'agit de matières qui ne sont ni solubilisées ni colloïdales. On peut considérer qu'elles représentent un intermédiaire entre les particules minérales du type sable ou poussières de charbon et les particules minérales du type mucilagineuse. Elles comportent des matières organiques et des matières minérales. Deux techniques sont actuellement utilisées pour le dosage des matières en suspension:

- Séparation par filtration (filtre en papier, membranes filtrantes).
- Centrifugation.

Les teneurs en matières en suspension sont obtenues après séchage à 105°C d'un volume connu d'échantillon. Les concentrations en MES dans les eaux usées sont très variables, et sont de l'ordre de 100 à 300 mg/l.[22]

Les MES s'expriment par la relation suivante:

$$\text{MES} = 30\% \text{ MMS} + 70\% \text{ MVS}$$

Avec: MES: Matières en suspension.

MMS: Matières minérales en suspension.

MVS: Matières volatiles en suspension.

Matière volatile en suspension(MVS)

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension. Elles sont mesurées par calcination à 650°C d'un échantillon dont on connaît déjà la teneur en MES. Elles constituent environ 70 à 80% de MES.

Matières minérales sèche(MMS)

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son extrait sec constitué à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates, etc...

I.5.2.6 Turbidité

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspension présentes dans l'eau.[23]

Paramètre chimique

Potentiel hydrogène (PH)

Le pH d'une eau représente son acidité ou alcalinité. Les eaux usées domestiques sont généralement neutres ou basiques, de (6 à 9), donc elle n'influe pas sur le pH de milieu récepteur mais les effluents industriels constituent un facteur très important dans la modification de la valeur de pH.[24]

Oxygène dissous

L'oxygène est toujours présent dans l'eau. Sa solubilité est en fonction de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité. La teneur en l'oxygène dans l'eau dépasse rarement 10 mg/l. Elle est en fonction de l'origine de l'eau ; l'eau usée domestique peut contenir de 2 à 8 mg/l d'O₂. [25]

Demande biochimique en oxygène(DBO₅)

La DBO₅ exprime la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C et à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation par voie aérobie. Pour la mesure, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours ; c'est la DBO₅. [26]

Demande chimique en oxygène(DCO)

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires bien définies.[24] Elle est

d'autant plus élevée qu'il y'a des corps oxydables dans le milieu. L'oxygène affecte pratiquement la totalité des matières organiques biodégradables et non biodégradables. La DCO se mesure en $\text{mg d'O}_2/\text{l}$. [27]

- DCO = 1.5 à 2 fois DBO_5 pour les eaux usées urbaines ;
- DCO = 1 à 10 fois DBO_5 pour l'ensemble des eaux résiduaires ;
- DCO > 2.5 fois DBO_5 pour les eaux usées industrielles. [26]

La relation empirique de la matière oxydable en fonction de la DBO_5 et la DCO est donnée par l'équation suivante:

$$\text{MO} = (2 \text{ DBO}_5 + \text{DCO})/3$$

L'azote

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que les protéines, les polypeptides, les acides aminés. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral, il constitue la majeure partie de l'azote total. [7]

Les différentes formes de l'azote qui existent dans les eaux usées sont :

a) L'azote de Kjeldahl

L'azote de Kjeldahl comprend l'azote sous les formes organiques et ammoniacales (NH^{+4}), à l'exclusion des formes nitrites et nitrates. La présence d'azote organique est un signe de pollution des eaux usées.

b) L'azote ammoniacal

La présence d'ammoniaque en quantités importante est l'indice de contamination par des rejets d'origine humaine ou industrielle. L'ammoniaque présente une forte toxicité pour tous les organismes d'eau douce. La proportion de NH_3 augmente en fonction croissante du pH et de la température. [17]

c) Les nitrates NO^{-3}

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote. Leur présence associée aux autres éléments nutritifs stimule le développement de la faune aquatique. Les bactéries nitratâtes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates. Les nitrates ne sont pas toxiques ; mais des teneurs élevées de cet élément provoquent une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu. Leur potentiel danger reste néanmoins relatif à leur réduction en nitrates.[28,29]

d) Les nitrites NO^{-2}

Les nitrites constituent le stade intermédiaire entre les ions ammonium (NH^{+4}) et les nitrates. Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites. Cette opération, qui nécessite une forte consommation d'oxygène, est la nitratisation. Les nitrites proviennent de la réduction bactérienne des nitrates, appelée dénitrification. Elles constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. Sa toxicité augmente avec la température.[29]

Le phosphore total (pt)

Le phosphore se trouve dans les ERI sous formes:

- D'orthophosphate, soluble PO_4H_2 .
- De polyphosphate qui a tendance à s'hydrolyser en orthophosphate.
- De phosphore non dissous.

La somme de ces diverses formes constitue le phosphore total, dont chaque forme peut être mesurée indépendamment des autres par spectrométrie. [19,28] Les phosphates sont généralement responsables de l'accélération du phénomène eutrophisation dans les lacs ou les rivières. S'ils dépassent les normes, ceux-ci sont considérés comme indice de contamination fécale entraînant une prolifération des germes, goût et coloration.[18]

Paramètres microbiologique

Les paramètres microbiologiques font références à la présence et la quantité des organismes biologiques pathogènes. Principalement l'Escherichia Coli, les streptocoques, les salmonelles, les virus, et les parasites. Ces paramètres doivent être tenu en compte et éliminés, afin

d'assurer la désinfection des eaux, et limiter ainsi un danger pour la santé publique.[30] Vu leur rôle dans le processus, il nous a paru utile l'étude de quelques bactéries les plus rencontrées.

Les coliformes totaux

C'est un groupe de bactéries utilisé comme indicateur de contamination fécale. Ils appartiennent à la classe des Enterobacteriaceae. Ce sont des bacilles à gram négatif, asporogènes, oxydase négative, aérobies ou anaérobies facultatifs, capables de se multiplier et de fermenter le lactose et produisent de gaz, d'acide et d'aldéhyde, se développent à 37°C.[5]



Figure I.4 : Les coliformes totaux.

Les coliformes fécaux

Le terme de « coliformes fécaux » correspond à des coliformes qui présentent les mêmes propriétés (caractéristiques de coliformes) après incubation à la température de 44 C°. Le groupe des coliformes fécaux comprend les espèces suivantes : *Escherichia coli*, *Citrobacterfreundii*, *Citrobacterdiversus*, *Salmonella* (sous genre III Arizona) etc...[18]



Figure I.5 : Les coliformes fécaux.

Les streptocoques fécaux

Ces bactéries appartiennent à la famille des streptococcaceae, sont des cocci généralement disposées en diplocoques ou en courte chaîne, à gram négatif. Les concentrations en streptocoques fécaux sont, dans les milieux naturels autres que ceux spécifiquement pollués par le bétail, inférieures à celles des coliformes fécaux. Il faudra tenir compte de cette différence des concentrations (que l'on peut évaluer à un rapport de 1 à 2 ou 4) dans le choix des prises d'essai.[18] Le genre *Streptococcus* est vaste et divers, de sorte qu'il est difficile de classer ces bactéries de façon satisfaisante. Les 29 espèces du genre *Streptococcus* sont subdivisées en 5 groupes principaux :

- Les streptocoques pyogènes hémolytiques.
- Les streptocoques oraux.
- Les entérocoques.
- Les streptocoques lactiques.



Figure I.6: les streptocoques fécaux.

Les virus

Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte. Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries ils sont présents soit intentionnellement (après une vaccination), soit chez un individu infecté accidentellement. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous-estimation de leur nombre réel.[31]

Les bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 μm . La quantité moyenne des bactéries dans les fèces est d'environ 10^{12} Bactéries/ g. [32] Les eaux usées urbaines contiennent environ 10^6 à 10^7 bactéries /100 ml dont 10^5 proteus et entérobactéries, 10^3 à 10^4 streptocoques et 10^2 à 10^3 clostridiums.[33]

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. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées [34]. Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer Entamoebahistoltyca, responsable de la dysenterie amibienne et Giardia lamblia.[32]

Les helminthes

Les helminthes sont des vers multicellulaires. Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites. La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 10³œufs / l. Il faut citer, notamment, *Ascaris lumbricades*, *Oxyurisvermicularis*, *Trichuristrichuria*, *Teniasaginata*. [31]

la pollution par les eaux usées

Définition de la pollution des eaux

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation douteuse et ou perturbe l'écosystème ; elle peut concerner les eaux superficielles et ou les eaux souterraines.[35]

Origine de la pollution

La pollution de l'eau connaît différentes origines: naturelle, domestique, industrielle et agricole. L'origine naturelle implique un phénomène tel que la pluie, lorsque par exemple l'eau de ruissellement passe à travers des terrains riches en métaux lourds ou encore lorsque les précipitations entraînent les polluants de l'atmosphère vers le sol.L'origine domestique concerne les eaux usées ménagères (salle de bains, cuisine, ...etc.),les eaux de vannes (WC...etc.), ainsi que les eaux rejetées par les hôpitaux, commerces,etc.Quant à l'origine agricole et industrielle, elle concerne par exemple les eaux surchargées par des produits issus de l'épandage (engrais, pesticides) ou encore les eaux contaminées par des résidus de traitement métallurgique, et de manière plus générale, par des produits chimiques tels que les métaux lourds, les hydrocarbures ect...[36]

Les types de la pollution

Il plusieurs types de pollution parmi lesquelles on distingue:

❖ La pollution chimique:

Due à la présence de substances chimique dissoutes dans l'eau et due essentiellement au déversement de polluants organiques et des sels de métaux lourd qui sont les plus menaçants rejetés souvent par les unités industrielles.

❖ La pollution organique:

Cette forme de pollution peut considérer comme résultats de diverses activités (urbaines, industriels, artisanales et rurales). On distingue, pour les eaux usées urbaines, les matières organiques banales "protides, glucides, lipides", les détergents, les huiles et goudron.

❖ La pollution microbienne:

Les eaux d'égout contiennent une multitude d'organismes vivants apportés par les excréments d'origine humaine ou animale. L'eau peut contenir des micro-organismes pathogènes (virus, bactéries, parasites). Ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau.

❖ La pollution thermique:

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries..); ont une température de l'ordre de (70 à 80°C.) Elle diminue jusqu'à (40 à 45°C) lorsqu'elle contacte les eaux des milieux aquatiques entraînant un réchauffement de l'eau, qui influe sur la solubilité de l'oxygène.

❖ 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).[37]

Risques de la pollution par les eaux usées

On peut classer Les risques de la pollution par les eaux usées comme suit:

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.[38]

Risque sur l'environnement

A) Impacts 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 présents 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. [39]

B) Impacts sur les eaux superficielles

Il arrive que ces déchets soient déversés directement dans le milieu naturel. La présence excessive de phosphates, favorise le phénomène d'eutrophisation, c'est-à-dire la prolifération d'algues qui diminue la qualité d'oxygène contenue dans l'eau et peut provoquer à terme la mort des poissons et des autres organismes aquatiques qui y vivent. Les métaux lourds comme le mercure, le chrome et l'arsenic peuvent avoir des effets sur les espèces aquatiques les plus fragiles. Sous certaines conditions physico-chimiques, certains métaux lourds tels que le mercure peuvent s'accumuler le long de la chaîne trophique et avoir un impact sur l'homme. Actuellement, il n'existe pas de filière de valorisation pour les boues issues de l'assainissement, ainsi que les matières de vidanges de fosses septiques. [40]

C) Impacts 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 constitutions de l'eau usée est possible par l'infiltration de ces dernières. [39]

Equivalent habitant

Un équivalent habitant correspond à la pollution quotidienne que génère un individu. Chacun est sensé utiliser 180 à 300 l d'eau par jour. La quantité de pollution journalière produite par un individu est estimée à 57 g de matières oxydables (MO), 90 g de matières en suspension (MES), 15 g de matières azotées (MA), et 4 g de matières phosphorées (MP). Enfin, la concentration des germes est généralement de l'ordre de 1 à 10 milliards de germes pour 100 ml.[7]

Normes de rejet des eaux usées

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. 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. Ces normes sont destinées à une utilisation internationale et sont adaptées aux pays en voie de développement.[41]

Tableau I.1. Normes de rejet des eaux usées (OMS).

Caractéristiques	Normes	Unités
PH	6,5-8,5	-
Température	<30	°C
DBO5	<30	mg/l
DCO	<90	mg/l
MES	<20	mg/l
NH+4	<0,5	mg/l
NO2	1	mg/l
NO3	<1	mg/l
P2O5	<2	mg/l
Couleur	Incolore	-
Odeur	Incolore	-

Normes européennes

Une directive européenne relative aux eaux urbaines résiduaires a été adoptée par le Conseil des Ministres de la Commission Economique Européenne le 21 mai 1991. Cette directive réglemente les niveaux des rejets des stations d'épuration des eaux usées urbaines(**Tableau2**).

Tableau I.2. Normes européenne de rejet des eaux usées.

Caractéristiques	Normes	Unités
PH	5,5 < pH < 9,5	-
Température	< 30°C, un écart de 5°C est toléré	°C
DBO5	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/l
Hydrocarbures totaux	5	g/jour
Composées phénoliques	5	g/jour

Normes algériennes

Les eaux usées collectées, dans les réseaux urbains ou les eaux usées directement émises par les industries, ne doivent être rejetées dans un milieu récepteur naturel (rivière, lac, littoral marin, ou terrain d'épandage) que lorsqu'elles correspondent à des normes fixées par voie réglementaire. Le Décret exécutif n° 93-160 du 10 Juillet 1993, du Journal Officiel de la République Algérienne réglementant les rejets d'effluents liquides dans son chapitre I, article 2, fixe, en son annexe 1, les valeurs limites de ce rejet. Ces mêmes valeurs viennent d'être renforcées par un nouveau texte réglementaire ; le Décret Exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006, section 1, article 3. Les valeurs limites maximales de rejet d'effluents fixées par ces deux décrets sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

Tableau I.3. Normes algérienne de rejet des eaux usées. [42]

PARAMETRES	VALEURS LIMITES	UNITES
Température	30	C°
pH	6,5 à 8,5	-
MES	30	mg /l
DBO ₅	30	mg /l
DCO	90	mg /l
Azote	30	mg /l
Phosphates	02	mg /l
Phosphore total	10	mg /l
Cyanures	0,5	mg /l
Aluminium	20	mg /l
Cadmium	0.05	mg /l
Fer	20	mg /l
Manganèse	10	mg /l
Mercure total	0.01	mg /l
Nickel total	02	mg /l
Plomb total	10	mg /l
Cuivre total	05	mg /l
Zinc total	10	mg /l
Huiles et Grasses	20	mg /l
Hydrocarbures totaux	20	mg /l
Indice phénols	0,3	mg /l
Fluor et composés	15	mg /l
Etain total	02	mg /l
Composés organiques chlorés	05	mg /l
² Chrome total	01	mg /l
(*)Chrome III+	03	mg /l
(*)Chrome VI+	0.1	mg /l
(*)Solvants organiques	20	mg /l
(*)Chlore actif	1,0	mg /l
(*)PCB	0,001	mg /l
(*)Détergents	2	mg /l

Réutilisation des eaux usées

L'utilisation des eaux usées en agriculture est une pratique très ancienne et assez répandue dans le monde entier.[43] Elle est apparue avec l'installation d'égouts dans les agglomérations urbaines et s'est développée au cours des dernières décennies, en particulier dans les régions arides et semi arides. Ce développement s'explique principalement par le manque d'eau fraîche et par le besoin d'accroître la production agricole. Plus de 20 millions d'hectares dans 50 pays sont actuellement irrigués avec des eaux usées épurées ou brutes.[44] Parmi les pays leaders dans la réutilisation, on peut citer le Japon, les Etats-Unis, la Chine, le Mexique, l'Australie, l'Afrique de Sud. L'Espagne et l'île de Chypre sont les plus actifs en Europe, suivis à un rythme plus modeste par la Grèce, la France et l'Italie. La Tunisie est le premier pays de l'Ouest Méditerranéen à avoir adopté des réglementations en 1989 pour la réutilisation de l'eau puis différents pays ont suivis cette politique tels que le Maroc, la Jordanie, l'Egypte et l'Algérie.[45] Le volume d'eaux usées réutilisées a connu un accroissement très rapide de l'ordre de 10 à 29% par an en Europe, aux États Unis et en Chine, par contre, il est de l'ordre de 41 % en Australie. Le volume journalier actuel des eaux réutilisées atteint le chiffre impressionnant de 1,5 à 1,7 millions de m³ par jour dans plusieurs pays, comme en Californie, en Floride, au Mexique et en Chine.[46] En Algérie, les ressources en eau sont limitées, vulnérables et inégalement réparties. Les eaux usées représentent une des composantes de l'offre globale en eau au même titre que les eaux superficielles et souterraines. Le volume d'eaux usées rejetées à l'échelle nationale est estimé actuellement à près de 750 millions de m³ et dépassera 1,5 milliards de m³ à l'horizon 2020. Afin de prendre en charge l'épuration de ce potentiel d'eaux usées, le secteur des ressources en eau a engagé un programme ambitieux en matière de réalisation et d'installation de stations d'épuration. Le nombre total des stations d'épuration exploitées est de 102 (52 STEP et 50 lagunes). Par contre, le nombre projeté est de 176 (87 STEP et 89 lagunes). La capacité totale installée après l'achèvement de ce programme est de 925 millions de m³/an, c'est-à-dire l'équivalent de 10 barrages de moyenne capacité.[47] La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation doit concerner en priorité les zones déficitaires en eau conventionnelle (MRE, 2012). Parmi les stations d'épuration exploitées par l'ONA (Office nationale d'assainissement) à travers les 43 wilayas, quelques-unes sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture.[47]

conclusion

Les eaux usées sont généralement formées du sous-produit d'une utilisation humaine, soit domestique, industrielle ou agricole d'où l'usage de l'expression eaux usées. Ces dernières, se caractérisent par des matières polluantes telle la pollution particulaire qui limite la vie des organismes photosynthétiques et entraîne des dépôts et l'envasement du cours d'eau. La matière organique dans les eaux usées diminue la teneur en oxygène dissous et conduit à une modification et parfois à une disparition de la faune existante. Les nuisances de la pollution azotée et phosphorée sont nombreuses et variées comme l'eutrophisation du milieu récepteur. Dans un souci de protéger les milieux récepteurs, des traitements sont réalisés sur ces effluents collectés par le réseau d'assainissement urbain, elles sont acheminées vers une station d'épuration où elles subissent plusieurs phases d'épuration.

Chapitre II :

Procédés d'épuration des eaux usées

II .1 Introduction

Le rejet direct des eaux usées dans le milieu naturel perturbe l'équilibre aquatique en transformant le milieu accepteur en égouts. Cette pollution peut aller jusqu' à la disparition de toute vie. Pour cela, il faut épurer et 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. L'épuration consiste à éliminer les plus gros débris organiques ou minéraux retirer les MES de densité différente de l'eau tels que les grains de sables et les particules minérales, et aussi à éliminer les pollutions résiduelles qui pourraient être gênantes en aval (germes pathogènes, azote, phosphore, etc.) L'épuration se fait dans des stations d'épuration qui comportent des installations de traitement des eaux et des dispositifs de traitement des boues produites. [48]

Les méthodes de traitement des eaux usées sont diverses et peuvent être classées comme suite : les prétraitements, les traitements primaires, secondaires et tertiaires.

II .2 Définition de l'épuration

En assainissement, l'épuration constitue le processus visant à rendre aux eaux résiduaires rejetées la qualité répondant aux exigences du milieu récepteur il s'agit donc d'éviter unepollution de l'Environnement et non de produire de l'eau potable. [49]

II .3 Paramètres du choix d'une technologie de traitement des eaux usées

Les paramètres essentiels pour le choix d'une technologie de traitement doivent tenir compte:

- Des exigences du milieu récepteur ;
- Des caractéristiques des eaux usées, (demande biochimique en oxygène, demande chimique en oxygène, matières en suspension...etc.) ;
- Des conditions climatiques (température, évaporation, vent, etc.) ;
- De la disponibilité du site :
- Des conditions économiques (coût de réalisation et d'exploitation) ;
- Des facilités d'exploitations, de gestion et d'entretien. [50]

II .4 Rôle des stations d'épuration

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.[51]

Ce rôle peut être résumé dans les points suivants:

- ❖ Traiter les eaux ;
- ❖ Protéger l'environnement ;
- ❖ Protéger la santé publique.

Valoriser éventuellement les eaux épurées et les boues issues du traitement. [52]

II .5 Les procédés d'épuration

Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, plusieurs niveaux de traitements sont définis : les prétraitements, le traitement primaire, le traitement secondaire et tertiaire. Dans certains cas des traitements tertiaires sont nécessaires notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible.

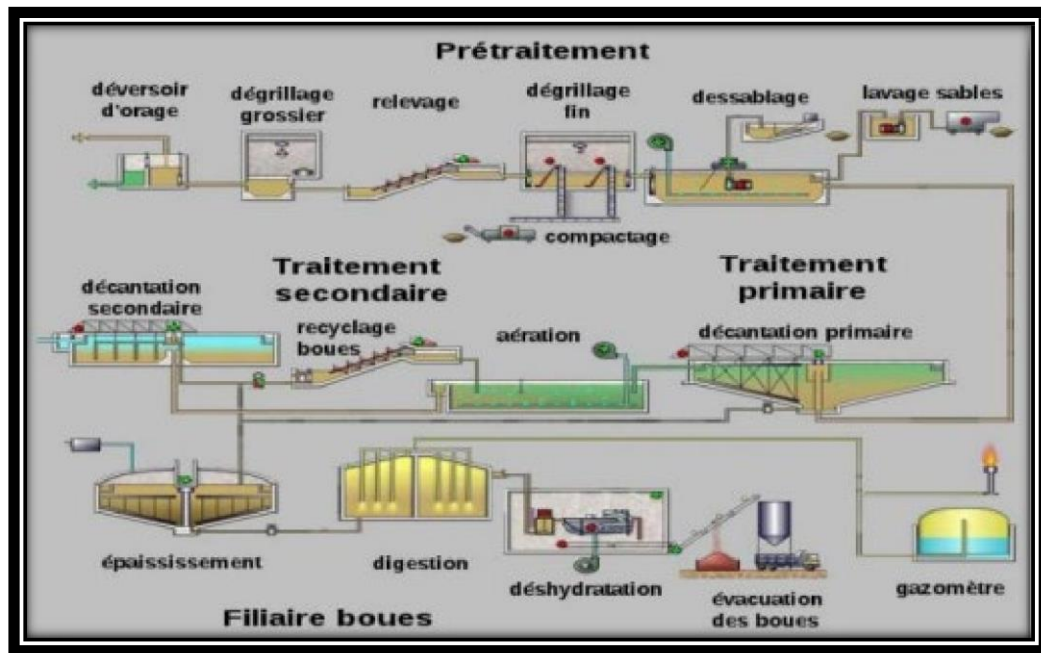


Figure II .1 : Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration

II .5.1 Prétraitement

Le Prétraitement a pour objectif de séparer les matières les plus grossières et les éléments susceptibles de gêner les étapes ultérieures du traitement.

Il comprend le dégrillage pour retenir les déchets volumineux, le dessablage, pour obtenir une meilleure décantation, le dégraissage et le déshuilage pour éviter l'encrassement de la station par des corps gras. [53]

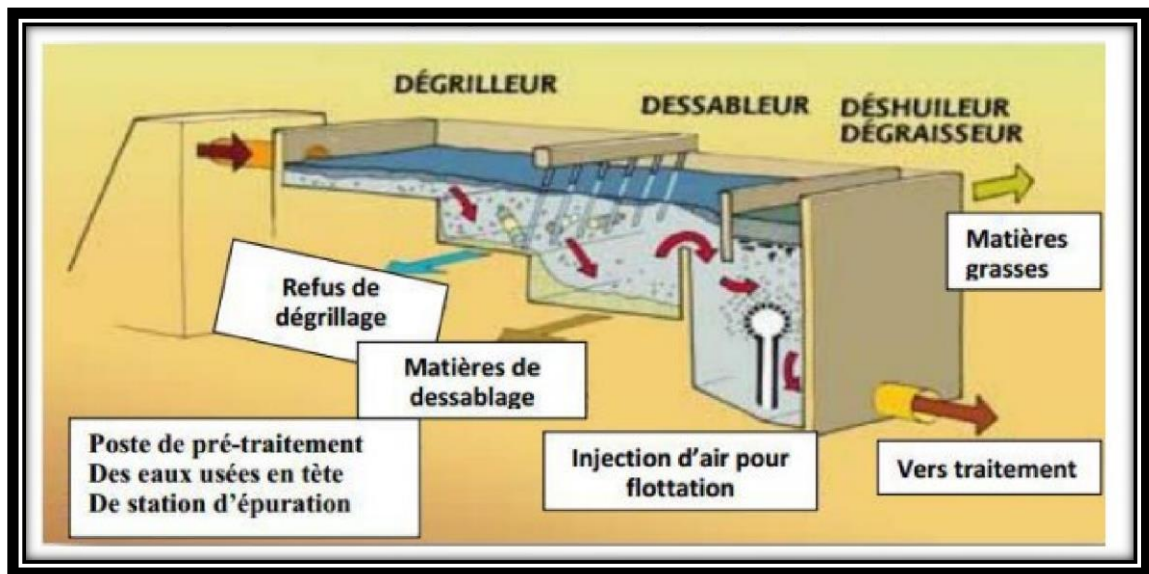


Figure II .2 : schéma d'un traitement préliminaire d'une STEP.[54]

II .5.1.1 Le dégrillage

Cette opération consiste à faire passer l'effluent entre les barreaux d'une grille, dont .On retire ainsi de l'eau les fragments de dimension supérieure à l'écartement de la grille, le dégrillage permet de protéger les ouvrages en aval contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation. Il rend également plus efficace les traitements suivants car ils ne sont pas gênés par ces matières grossières.

Le dégrillage est classé en 03 catégories selon l'écartement entre barreaux de grille :

- Le pré -dégrillage, pour un écartement $e = 30-100$ mm ;
- Le dégrillage moyen pour un écartement de $e = 10$ à 30 mm ;
- Le dégrillage fin pour un écartement inférieur à 10 mm. [55]

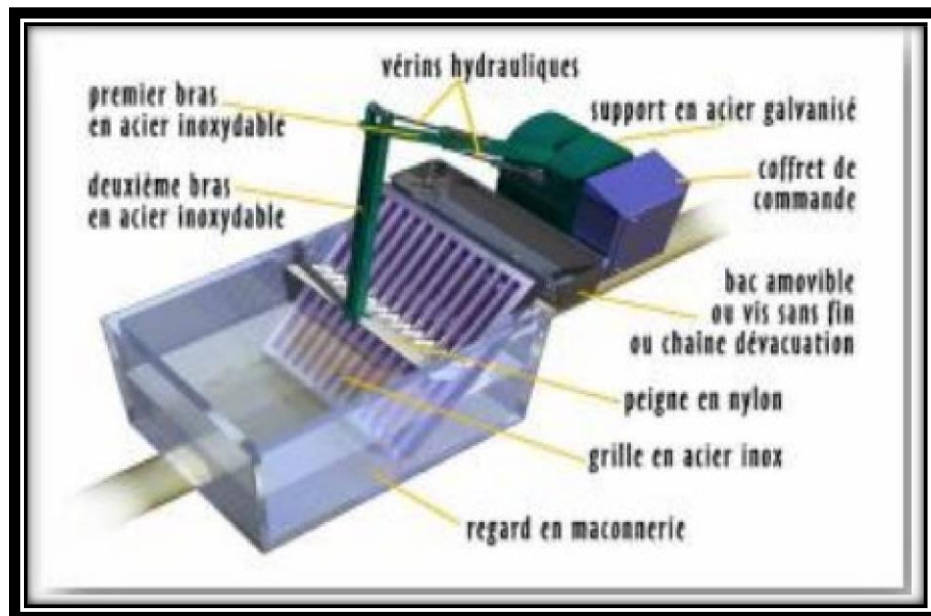


Figure II .3 : schéma d'un Dégrilleur.[56]



Figure II .4 : Dégrilleur

II .5.1.2 Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, ainsi pour protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et à éviter de surcharger les stades de traitements ultérieurs en particulier les réacteurs biologiques.

L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé "désableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés par aspiration sont ensuite essorés puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés selon la qualité du lavage. Cette opération concerne les particules minérales de granulométrie supérieure à 100 μ m. [57]



Figure II .5 :Désableur.

II .5.1.3 Dégraissage –désuilage

C'est une opération destinée à éliminer les graisses et les huiles présentes dans les eaux résiduaires (station-service, abattoirs, industries alimentaires, ...).

Les inconvénients des graisses et huiles sont notamment :

- Envahissement des décanteurs ;
- Diminution des capacités d'oxygénation des installations des traitements biologiques ;
- Mauvaise sédimentation des boues dans le clarificateur ;
- Bouchage des canalisations et des pompes ;
- Acidification du milieu dans le digesteur anaérobie.[58]



Figure.II .6 : Dégraissage [59]



Figure.II .7: Déshuilage [59]

II 5.2 Traitement primaire

Il consiste en l'enlèvement des solides organiques et inorganiques sédimentables ainsi que des matériaux flottants.

La décantation des matières dans un bassin est déterminée par l'indice de Mohlman, il est défini par le rapport entre le volume de boues décantées en 1/2 heure, et la masse de matières en suspension contenus dans ce volume. [60]

Il s'écrit:

$$I_M = V/M$$

Avec:

I_M: Indice de Mohlman.

V: Volume de boues décantées en 1/2 heure.

M: Masse de matières en suspension.

Cet indice est déterminé chaque jour dans les stations d'épuration importantes afin de vérifier le bon fonctionnement du système.

II .5.2.1 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 permet d'alléger les traitements biologiques et physico-chimiques ultérieurs, en éliminant une partie des solides en suspension. L'efficacité du traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle (qui s'oppose à la décantation). La décantation primaire permet d'éliminer, pour une vitesse ascensionnelle de 1.2 m/h, 40 à 60% de MES, soit 40% de matière organique et 10 à 30% des virus. [61]

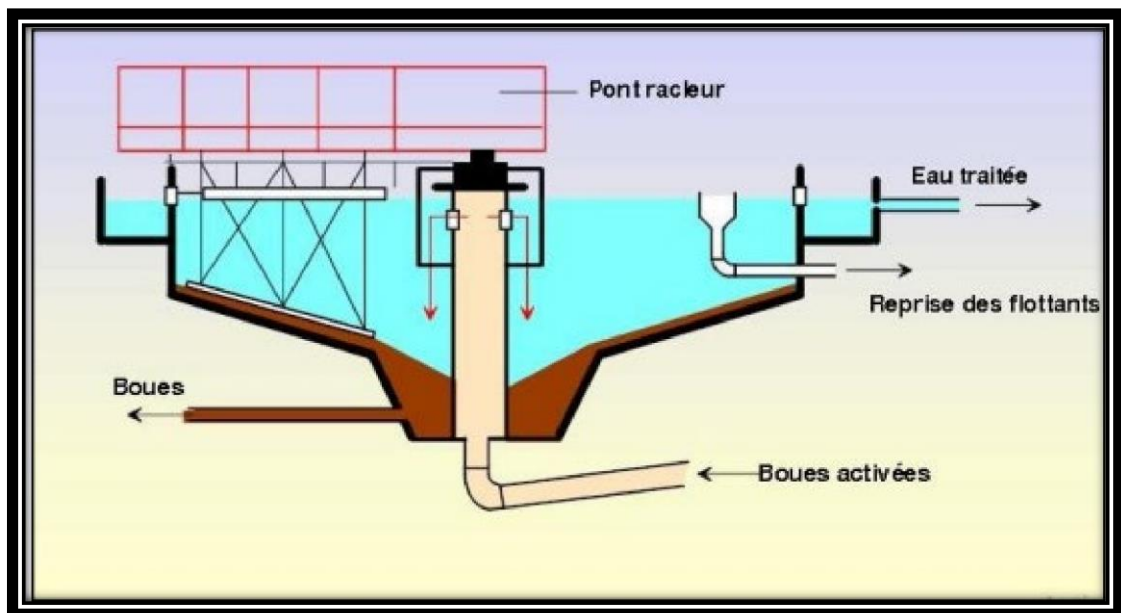


Figure II .8: Schéma d'un décanteur primaire.

II .5.2.2 Décantation physique (naturelle)

Les matières en suspension qui ont souvent une teneur en matière organique importante (de 70 à 90%) et une densité légèrement supérieure à celle de l'eau vont se décanter naturellement dans un décanteur primaire en 1 à 2 heures. L'eau ainsi clarifiée s'écoulera par débordement et les MES qui ont décanté au fond du bassin (boues primaires) seront extraites et envoyées vers les ouvrages de traitement des boues.[11]

II .5.2.3 La décantation physico-chimique

Les performances de la décantation peuvent être ainsi améliorées par l'ajout des produits chimiques (sulfate d'alumine, chlorure ferrique...) qui neutralisent les particules chargées, en augmentant ainsi la probabilité de collision entre les particules (coagulation floculation), ainsi que la formation des flocs par la suite facilement décantables. Cette étape permet d'éliminer 90 % des matières colloïdales.[2]

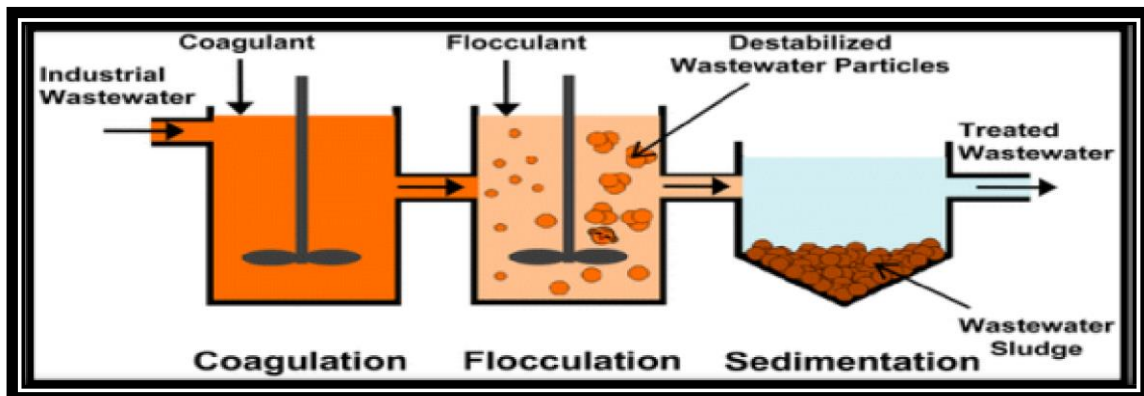


Figure II .9: Schéma d'un procédé de coagulation- floculation.[62]

II .5.2.4 La flottation

La flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient.[63] Pour l'extraction des particules en suspension, on fait appel à des techniques de clarification et d'épaississement par insufflation d'air. Les bulles d'air s'accrochent aux particules fines à éliminer en les ramenant à la surface de l'eau.[64] Ce traitement élimine 50 à 55 % des matières en suspensions et réduit d'environ 30% de la DBO₅ et de la DCO.[63]

II .5.3 Traitement biologique (traitement secondaire)

Le traitement secondaire est un traitement purement biologique des eaux usées et a pour objet de réduire la teneur en matière organique présentes dans ces eaux et leur dégradation biologique par les micro-organismes.

Parmi les divers micro-organismes responsables de la dégradation on trouve les bactéries aérobies et les bactéries anaérobies. [65]

II .5.3.1 Procédé biologique extensif

II .5.3.1.1 Lagunage

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.

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 consommable et en oxygène. [66]

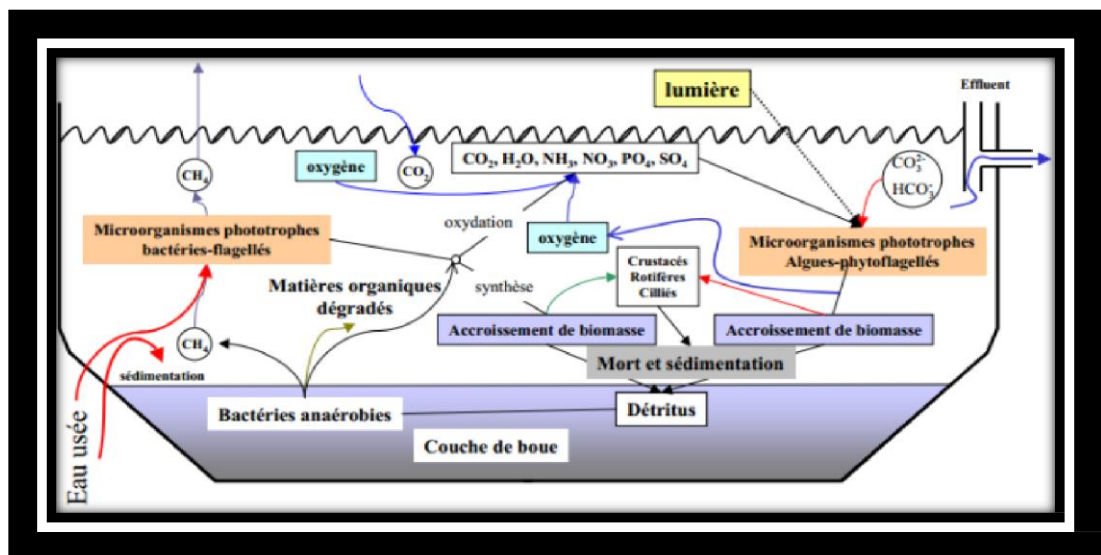


Figure II .10: Schéma de principe du lagunage[66]

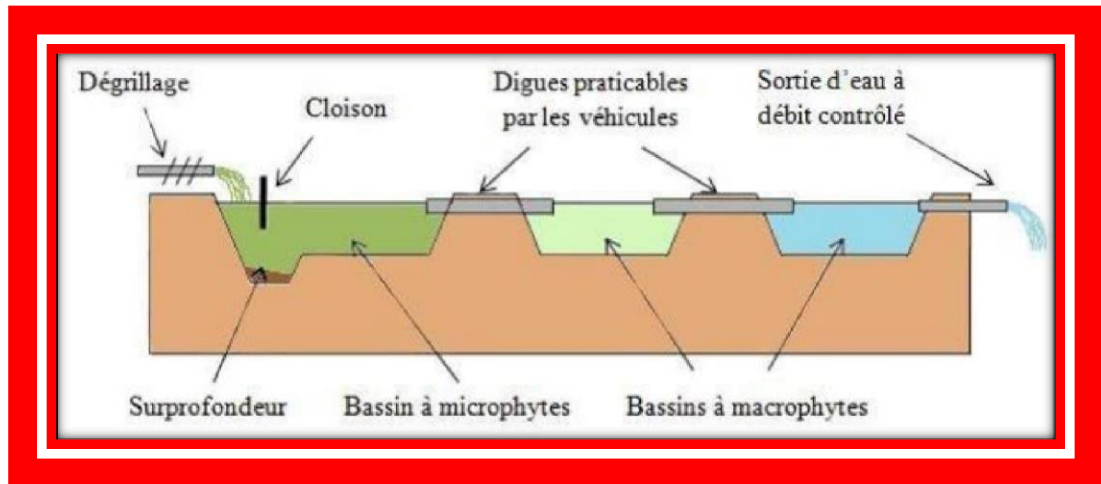


Figure II .11: Schéma du traitement biologique par lagunage.

Tableau 1:Avantages et inconvénients du traitement biologique par lagunage.

Avantages	Inconvénients
-Fiabilité et facilité d'exploitation. Bonne adaptation aux à-coups des flux polluants. ✓ - Investissement modéré si l'on dispose de surface en terrains importantes dont la nature. La structure et la topographie sont adaptées. - Coût d'exploitation limité et ne nécessite pas la qualification du personnel.	Nécessité de surfaces importantes en terrains. ✓ Contraintes de sous-sol: terrains imperméables (protection de la nappe). Risque de prolifération de moustiques et d'odeurs (pour les bassins anaérobies) ✓ Curage périodique indispensable.

a) Lagunage naturel (culture libre)

D'une profondeur de 1.2 à 1.5 m au maximum et de 0.8 m au minimum (afin d'éviter le développement de macrophytes), avec un temps de séjour de l'ordre du mois, ces bassins fonctionnent naturellement grâce à l'énergie solaire. On peut obtenir un rendement d'épuration de 90 %. Ces procédés sont très sensibles à la température et sont peu applicables aux régions froides. Leur dimensionnement est généralement basé, pour un

climat tempéré, sur une charge journalière de $50 \text{ kg DBO}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$, soit environ 10 m^2 par habitant. La teneur en matière en suspension dans l'effluent traité reste élevée (de 50 à 150 mg L^{-1}).

Aussi la DBO_5 en sortie est souvent supérieure à 50 mg L^{-1} . [66]

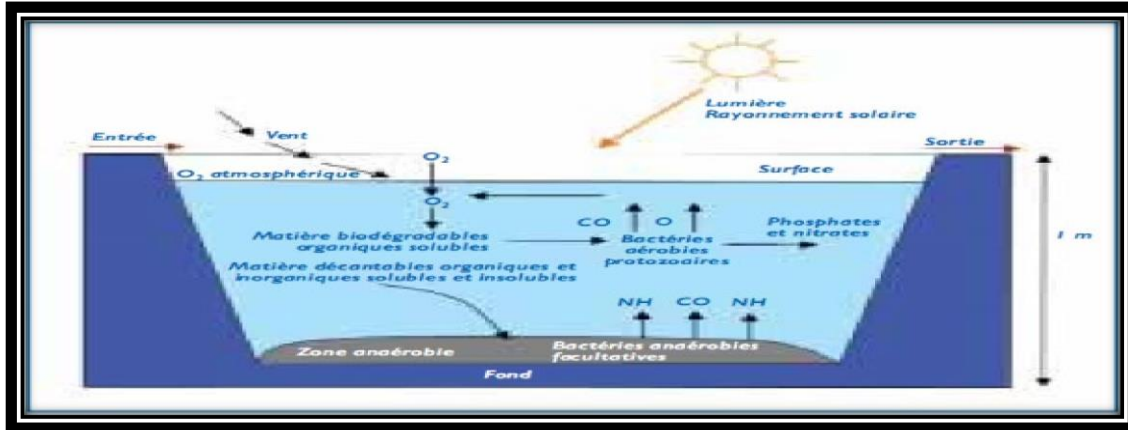


Figure II .12: Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel.

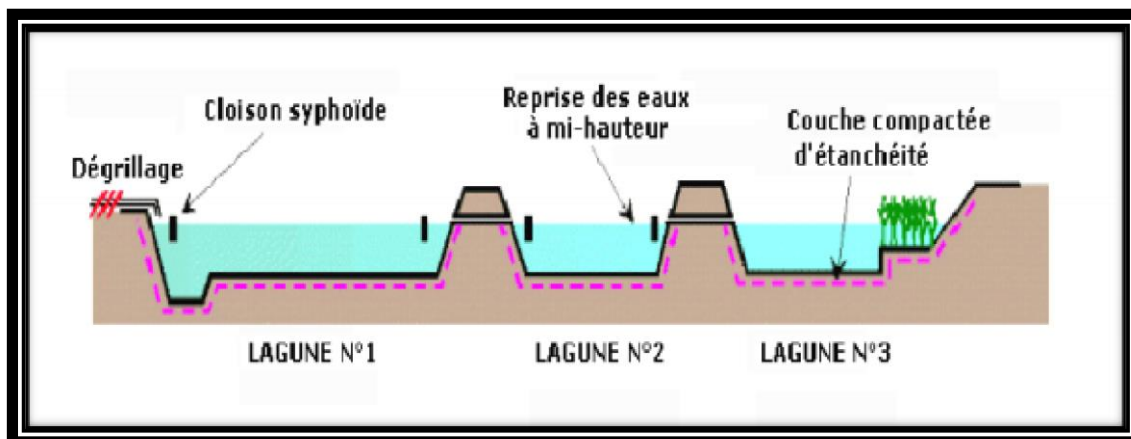


Figure II .13 : Lagunage naturel.[67]

b) Le lagunage aéré

En fournissant l'oxygène par un moyen mécanique, on réduit les volumes nécessaires et on peut accroître la profondeur de la lagune. La concentration en bactéries est plus importante qu'en lagunage naturel. Le temps de séjour est de l'ordre d'une semaine, la profondeur est de 1 à 4 m. Le rendement peut être de 80 % et il n'y a pas de recyclage de boues. L'homogénéisation doit être satisfaisante pour éviter les dépôts. [66]



Figure II .14: Schéma de principe d'un lagunage aéré.



Figure II .15 : Lagunage aéré.

II .5.3.2 Procédé biologique 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: [68]

- les lits bactériens ;
- les disques biologiques ;
- les boues activées.

II .5.3.2.1 Installation à culture fixée

a) Disque biologique

L'eau usée, préalablement décantée, alimente un ouvrage dans lequel des disques fixés sur un axe horizontal sont mis en rotation à vitesse lente. Sur ces disques biologiques en plastique se développe alors un film bactérien. Lors de leur émergence, ces bactéries prélèvent l'oxygène nécessaire à leur respiration et elles absorbent la pollution dissoute dont elles se nourrissent.

Dès que le film biologique dépasse une épaisseur de quelques millimètres, il se détache et est entraîné vers le décanteur final où il est séparé de l'eau épurée. Les boues ainsi piégées sont renvoyées par pompage périodique vers l'ouvrage de tête pour y être stockées et digérées.[65]

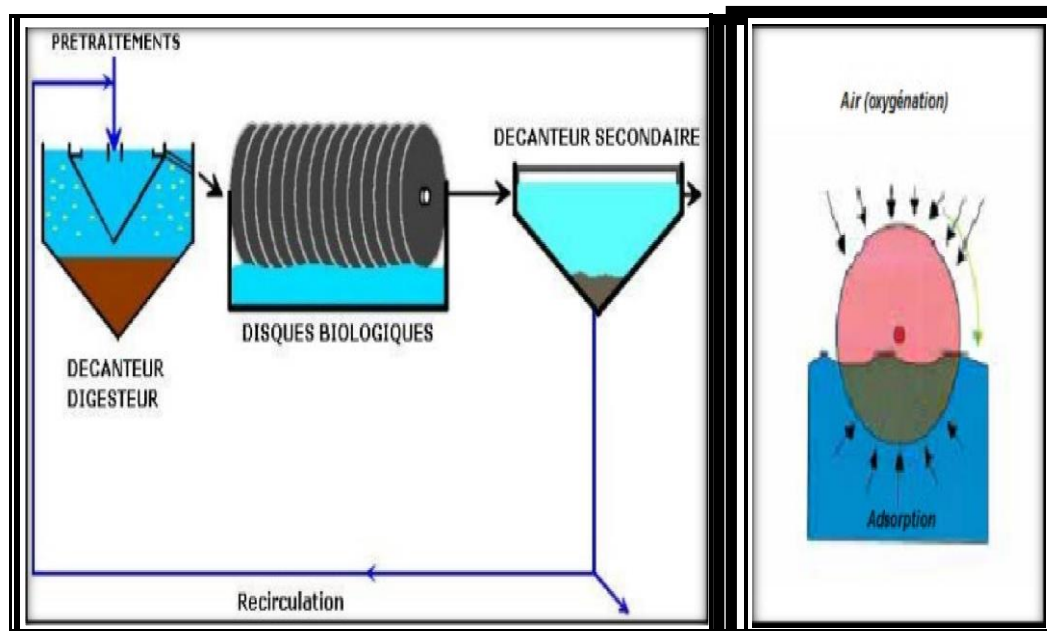


Figure II .16: Schéma du traitement biologique par disque biologique.

Tableau2:Avantages et inconvénients du traitement biologique 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. - Faibles consommation d'énergie.	- Très sensible à la quantité 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) lits bactérien

L'épuration sur lit bactérien est le plus ancien procédé biologique. Des bactéries sont cultivées sur un substrat neutre, comme de la pierre concassée, de la pouzzolane (sable volcanique), du mâchefer ou du plastique. On fait passer l'effluent sur le substrat.

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).

Une épuration sur lit bactérien est plus efficace qu'un traitement à boues activées car elle élimine non seulement les virus et les 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*). [33]

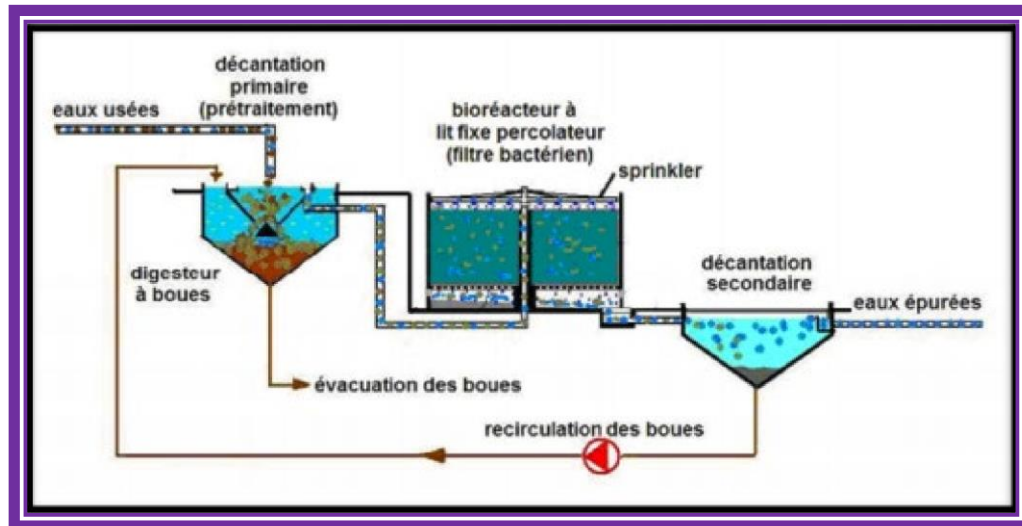


Figure II .17: Schéma d'un Procédé Lit bactérie.

Tableau 3:Avantages et inconvénients du traitement biologique par lits bactériens.

Avantages	Inconvénients
- Plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées. - Faible consommation d'énergie. - Bonne décantabilité des boues. - l'exploitation d'une station à lits bactériens reste très simple.	- Coûts d'investissement assez élevés. - Source de développement d'insectes et d'odeurs. - Sensibilité au colmatage et au froid. - Boues fermentescibles.

II .5.3.2.2 Les installations à culture libre ou par boues activés

II .5.3.2.2.1 Boues activés

L'oxygène nécessaire à l'oxydation des eaux usées est apporté au moyen d'aérateurs de surface ou de diffuseurs immergés, répartis sur le long du bassin. Les boues formées sont séparées dans un décanteur secondaire et une partie d'entre elles est recyclée vers le bassin d'aération. Les installations de boues activées sont conçues pour fournir des effluents contenant moins de 30 mg/l de matières en suspension, moins de 25 mg/l de DBO et moins de 100 mg/l de DCO.[69]

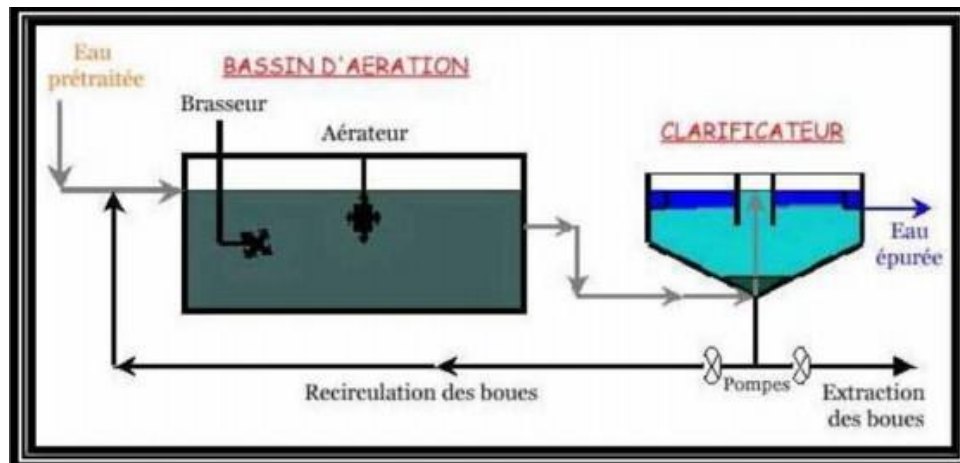


Figure II .18 : Traitement biologique par boues activées.

Tableau 4: Avantages et inconvénients du traitement biologique par boues activées.

Avantages	Inconvénients
-Bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (MES, DCO, DBO₅, N par nitrification et dénitrification). - Adapté pour toute taille de collectivité (sauf les très petites). -Adapté pour la protection de milieux récepteurs sensibles.	-Décantabilité des boues pas toujours aisées à maîtriser. -Consommation énergétique importante. -Nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière. -Sensibilité aux surcharges hydrauliques.

II .5.3.2.2 Paramètre de fonctionnement des stations à boues activés

a) Charge massique (Cm)

La charge massique C_m est le rapport entre la quantité de pollution dont le substrat introduit dans ce réacteur et la masse de boues activées MVS dans ce réacteur. Cette notion C_m est importante car elle conditionne pour les différents paramètres de boue le fonctionnement de la boue activée, tel que [70] :

- Le rendement épuratoire ;
- La production des boues ;
- Le degré de stabilisation de boues en excès produites ;
- Les besoins en oxygène ramenés à la pollution éliminés.

$$C_m = \frac{([DBO_{55}] \times Q_{QQ})}{(V_{BBB} \times MVS)}$$

C_m : la charge massique (kg DBO₅/ kg MVS.j).

V_{BA} (m³) : volume de bassin d'aération.

MVS (kg/m³) : concentration en matière sèche.

Q_j(m³/j) :débit journalier d'eau résiduaire à épurer.

b) Charge volumique (C_v)

La charge massique C_m est le rapport entre la quantité de pollution (le substrat) introduite dans le réacteur et la masse de boues activées MVS dans le réacteur. Cette notion C_m est importante car elle conditionne le bon fonctionnement de boue activée, tel que :

- Le rendement épuratoire ;
- La production de boues ;
- Le degré de stabilisation de boues en excès produites,
- Les besoins en oxygène ramenés à la pollution éliminés.

$$C_v = \frac{([DBO_{55}] \times Q_{jj})}{V_{BBB}}$$

C_m : la charge massique (kg DBO₅ / kg MVS.j).

V_{BA} (m³): volume de bassin d'aération.

Q_j (m³/j): débit journalier d'eau résiduaire à épurer.[70]

c) Age des boues

L'âge des boues est un rapport entre la masse des boues présentes dans le réacteur et la masse journalière des boues extraite de la station. Cette notion d'âge de boue traduit la présence ou l'absence de germe nitrifications. [71]

$$Age = \frac{C_{bbbbb}}{C_{bbbbb}} = \frac{ME_{BBB} \times V_{BBB}}{C_{bbbbb}}$$

Age: âge des boues (h).

C_{bt} : concentration en solide (ou solide volatil) de la liqueur mixte (mg/l).

C_{bex} : concentration en solide (ou solide volatil) des boues (mg/l).

L'âge des boues est inversement proportionnel à la charge massique.

d) Besoin de l'oxygène

Les Besoins en oxygène réclamés par l'élimination de la pollution carbonée et azotée se décomposent en :[64]

- ❖ -besoins nécessaires à la synthèse cellulaire des micro-organismes, proportionnelle à la masse de la pollution carbonée assimilée ;
- ❖ -les besoins consommés par l'énergie d'entretien des micro-organismes présents dans le réacteur biologique;
- ❖ -Les besoins nécessaires pour l'oxydation de l'azote ammoniacal.

II .5.4 Traitement tertiaire

En général, les techniques d'épuration, même les plus sévères laissent passer dans l'eau épurée des matières organiques difficilement biodégradables, et échappent à la meilleure décantation. Ainsi même après un traitement secondaire, l'eau véhicule presque toujours des micro-organismes et des micropolluants.

La principale méthode utilisée est la désinfection. Il existe de nombreuses techniques de désinfection des fluides et des surfaces. On trouve:

- ✓ Désinfection par l'ozone ;
- ✓ Désinfection par rayonnement Ultra-Violet (UV) ;
- ✓ Désinfection utilisant le chlore et ses dérivées.

Le coût excessif du traitement tertiaire explique pourquoi dans la majorité des stations d'épuration ce type de traitement est inexistant. Ce coût ne se représente pas seulement le prix des réactifs ou des équipements, mais aussi celui d'un personnel qui doit être hautement qualifié.[72]

a) Elimination de l'azote

Les stations d'épuration n'éliminent qu'environ 20 % de l'azote présent dans les eaux usées, par les traitements de nitrification – dénitrification. Pour satisfaire aux normes de rejet en zones sensibles, des procédés physiques et physico-chimiques complémentaires permettent l'élimination de l'azote par : électrodialyse, résines échangeuses d'ions, "Stripage" de l'ammoniaque, mais ces traitement ne sont pas utilisés dans le traitement des eaux résiduaires urbaines, pour des raisons de rendement et de coût.[73]

L'élimination de l'azote se fait généralement selon un processus biologique en deux étapes importantes.

b) Dénitrification

La dénitrification : est un processus anaérobie par lequel les nitrates sont réduits en azote et en oxydes d'azote. Les micro-organismes utilisent les nitrates comme source d'oxydante à la place de l'oxygène et en présence d'une source d'un carbone organique qui doit être apportée dans le milieu.[74]

c) Elimination de phosphore

L'élimination du phosphore, ou "déphosphatation", peut être réalisée par des voies physico-chimiques ou biologiques. En ce qui concerne les traitements physico-chimiques, l'adjonction de réactifs, comme des sels de fer ou d'aluminium, permet d'obtenir une précipitation de phosphates insolubles et leur élimination par décantation. Ces techniques, les plus utilisées actuellement, éliminent entre 80 % et 90 % du phosphore, mais engendrent une importante production de boues.[75]

d) 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, l'ozonation, les rayons ultraviolets, filtration et lagune de finition. [64]

II .6 Conclusion

Le traitement des eaux usées est un processus très important pour la vie quotidienne des habitants des villes et du monde rural. On effectue l'épuration des eaux usées non seulement pour protéger la santé de la population et éviter les maladies contagieuses, mais aussi pour protéger l'environnement. Aujourd'hui, ce dernier but devient de plus en plus important et les techniques de traitement et les stations d'épuration évoluent constamment. Les traitements usuels (primaires et secondaires) ont été complétés par des traitements qui visent à éliminer le plus possible de substances nocives pour les écosystèmes (tertiaires).

Chapitre III : Présentation des stations d'épuration d'el oued

Introduction

La région d'El Oued est située dans le Sahara algérien. Elle forme une wilaya depuis la division administrative de 1984. Elle occupe une superficie de 44, 586,8 km². Le nombre de population étant de 750,840 habitants selon les statistiques de 2013.

L'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation de la région d'Oued Souf a pour but d'assurer la collecte et le transit de l'ensemble des eaux usées et de procéder à leur traitement avant leurs rejets dans le milieu naturel. Le schéma d'assainissement est constitué de différents ouvrages permettant la collecte des eaux usées par groupes de localités voisines, dans des stations d'épuration par lagunage. Actuellement, le nombre de stations réalisées est quatre (04) et le système d'épuration porte sur trois stations : il s'agit des STEP 02, 03 et 04.

Epuration des eaux usées dans la région d'El Oued

Le réseau d'assainissement de la région d'El Oued est formé de différents ouvrages de collecte des eaux usées par groupes de localités limitrophes dans des stations d'épuration (VOIR Figure.III.1):

I- Groupe 1: ROBBAH, BAYADA, El Oued et KOUININE. (STEP 1).

II- Groupe 2: TAGHZOUT, GUEMMAR, Hassani Abdelkrim et DEBILA. (STEP 2).

III- Groupe 2: Sidi Aoun, MAGRANE ET HASSI Khalifa. (STEP 3).

IV- Groupe 2: REGUIBA. (STEP 4).

Quatre stations d'épuration ont été réalisées par les sociétés TEIXEIRA DUARTE.

Pour le compte de l'ONA. Le système d'épuration des eaux usées se fait par lagunages aérés. Ce processus du traitement est adopté du fait de la disponibilité des espaces suffisants dans la vallée et également aux coûts d'investissement et de fonctionnement inférieurs aux autres procédés. L'eau traitée à la sortie de la station est envoyée vers le collecteur principal pour être rejetée à 70 Km au Nord de la vallée d'El Oued.

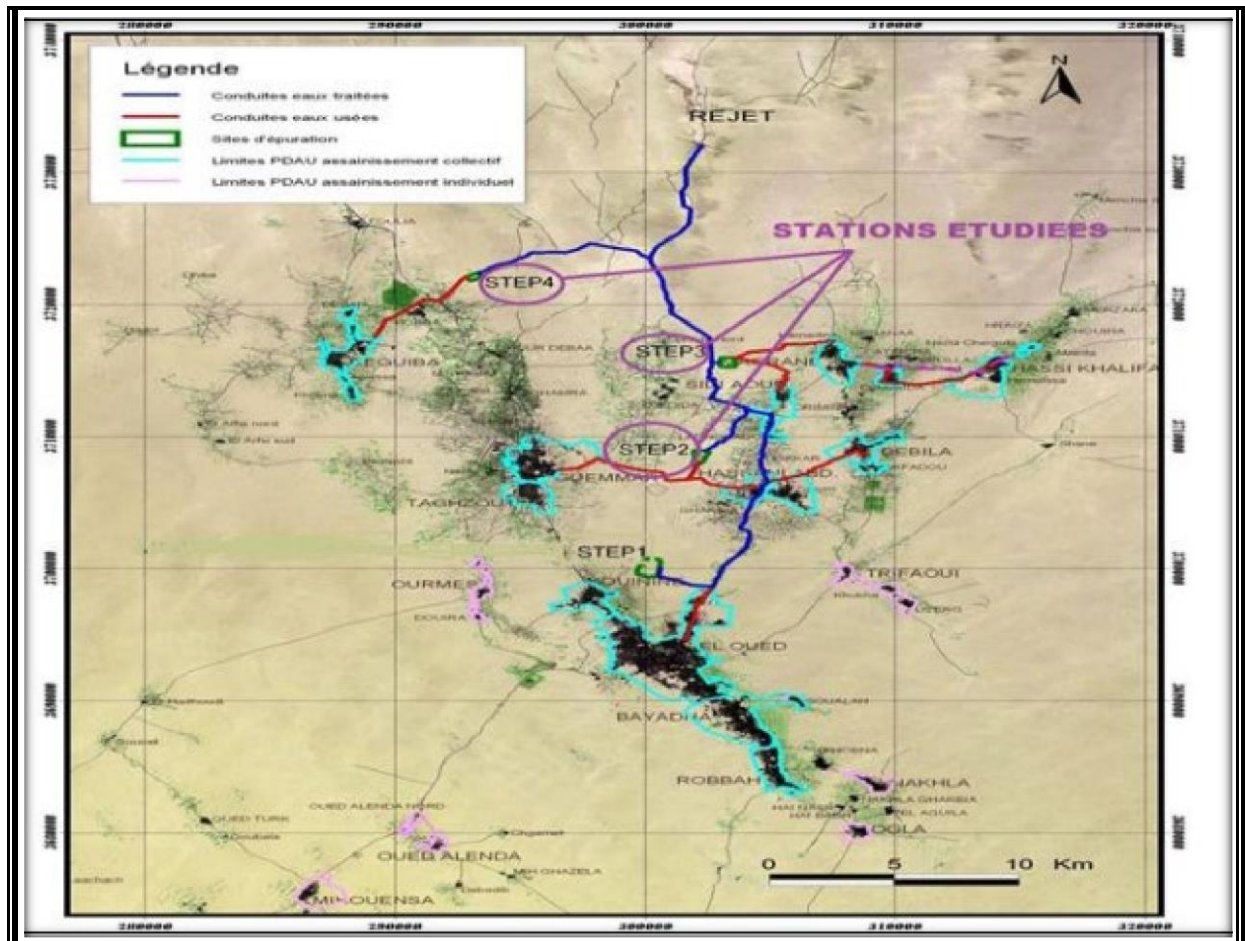


Figure III.1: Situation générale des ouvrages d'assainissement [72]

Présentation des stations étudiées

La présente étude porte sur la STEP 02 dans ce système d'épuration qui se compose en trois stations 02, 03 et 04.

Le processus de traitement dans les trois stations d'épuration des eaux usées se base sur des lagunages aérés, et comprend les étapes principales ci-après (Figure III.2) :

- ❖ Prétraitement avec dégrilleur et désableur longitudinal ;

- ❖ Bassin d'activation primaire (3 lagunages aérés parallèles à (STEP 02 et STEP 03) mais STEP04 ; 2 lagunages aérés parallèles) ;
- ❖ Bassin d'activation secondaire (3 lagunages aérés parallèles à (STEP 02 et STEP 03) et STEP04 ; 2 lagunages aérés parallèles)
- ❖ Lagune de traitement de finition (3 lagunes de post e à (STEP 02 et STEP 03) et 2 lagunes de post e à STEP04- traitement parallèles);
- ❖ Traitement des boues (10 lits de séchage des boues à (STEP 02), 09 lits de séchage des boues à (STEP 03) et 06 lits de séchage des boues à (STEP 04)).

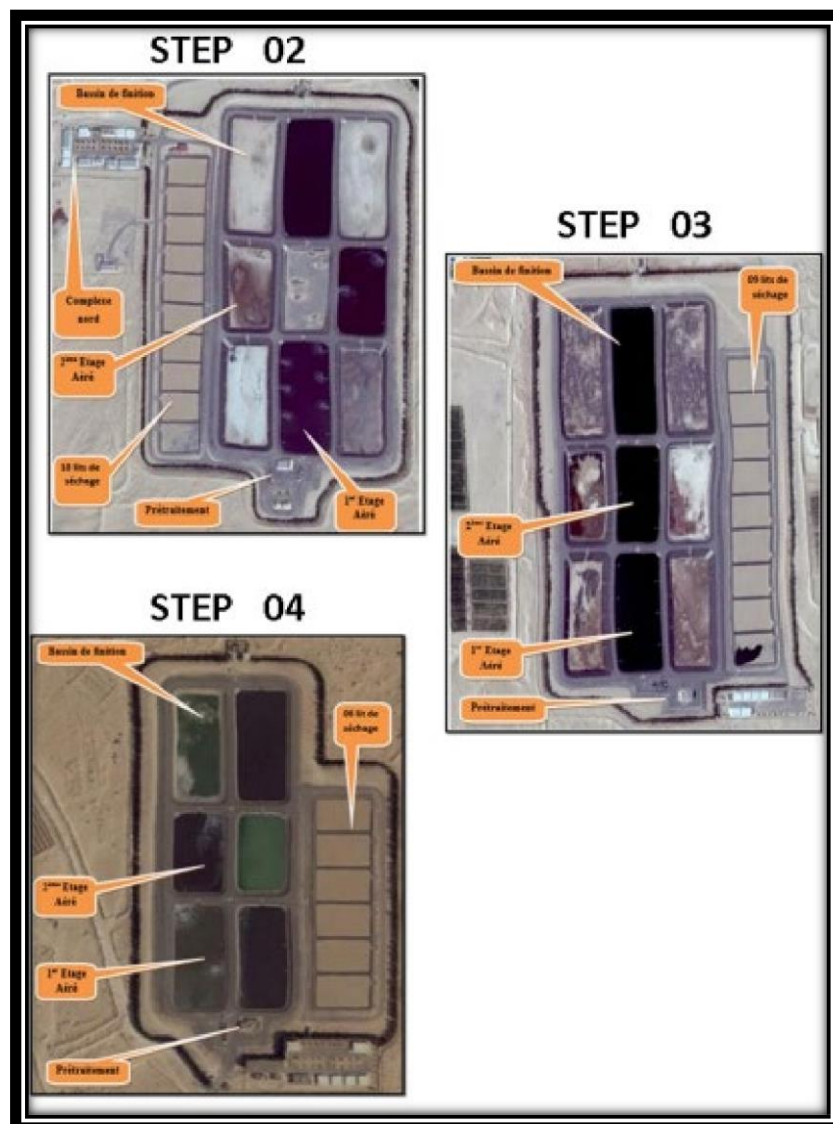


Figure III.2: Plan générale de la station d'épuration.

La STEP 02 Hassani A/K est conçue pour desservir les communes de : HASSANI ABD /KIRIM, DEBILA, GUEMMAR, TAGHZOUT. La population totale des communes est d'environ 79620 EH. La pleine capacité de cette station sera atteinte en 2030. Quant à la STEP 03 Sidi Aoun, elle est conçue pour desservir les communes de SIDI AOUN, MAGRANE et HASSI KHALIFA. La population totale de ces communes est d'environ 72286 EH et la pleine capacité de la station sera atteinte en 2030. Par ailleurs, la STEP 04 Reguiba est conçue pour desservir uniquement la commune de Reguiba. La population totale de cette commune est d'environ 28451 EH. La pleine capacité de la station d'épuration sera atteinte en 2030.[73]

Les eaux usées arrivant aux STEP sont refoulées par l'intermédiaire de 02 stations de refoulement pour la STEP 02 Hassani A/K et la STEP 03 Sidi Aoun et par une seule station pour ce qui est des eaux de la STEP 04 Reguiba. Toutes les eaux refoulées débouchent dans des regards de dégazage (Figure III.3). Cette opération permet d'évacuer le H_2S (sulfure d'hydrogène) qui pourrait se former dans les conduites de refoulement. Notons que les débits maxima pris en charge par les STEP 02, 03 ET 04 sont respectivement de $14332 \text{ m}^3/\text{j}$ et de $13011 \text{ m}^3/\text{j}$ et $5151 \text{ m}^3/\text{j}$.

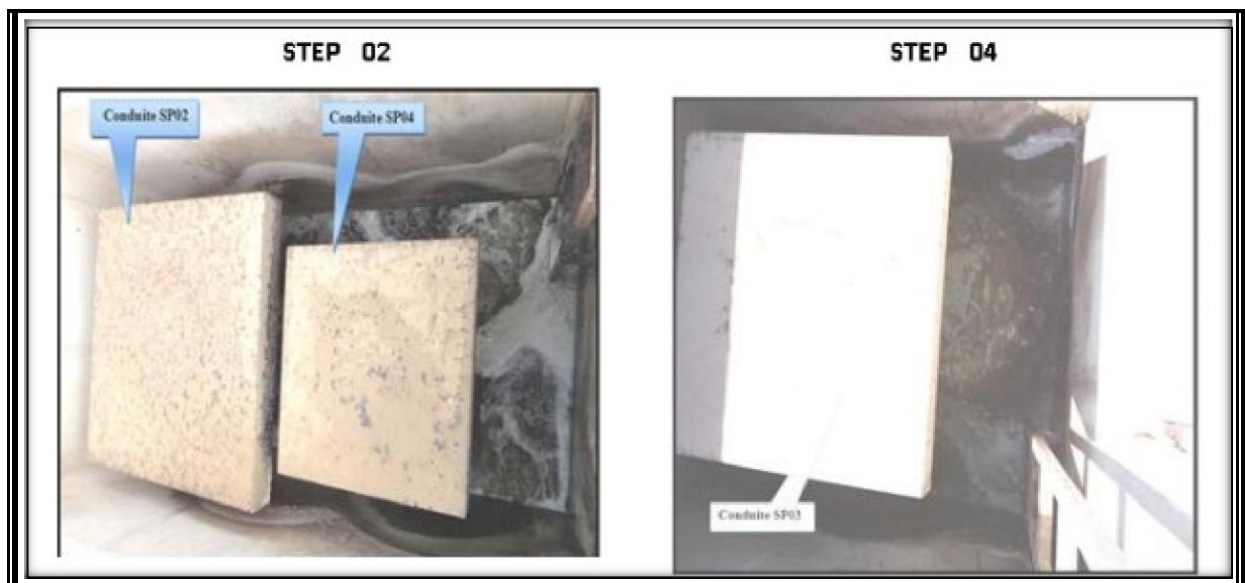


Figure III.3: Regards de dégazage.

Le tableau 05 montre la charge de pollution prise en considération pour le dimensionnement de la station ainsi que la qualité exigée des eaux usées traitées.

Tableau III.1: Paramètres de pollution pour le dimensionnement des stations

STEP 02				
Paramètres	A l'entrée	Concentration	A la sortie	Concentration
DBO ₅	3583 Kg/j	250 mg O ₂ /l	573.28 Kg/j	40 mg O ₂ /l
DCO	7166 Kg/j	500 mg O ₂ /l	1791.5 Kg/j	125 mg O ₂ /l
Matière en suspension(MES)	5173.852 Kg/j	361 mg/l	573.28 Kg/j	40 mg/l
STEP 03				
Paramètres	A l'entrée	Concentration	A la sortie	Concentration
DBO ₅	3252.75 Kg/j	250 mg O ₂ /l	520.44 Kg/j	40 mg O ₂ /l
DCO	6505.5 Kg/j	500 mg O ₂ /l	1626.375 Kg/j	125 mg O ₂ /l
Matière en suspension(MES)	4696.971 Kg/j	361 mg/l	520.44 Kg/j	40 mg/l
STEP 04				
Paramètres	A l'entrée	Concentration	A la sortie	Concentration
DBO ₅	1287.75 Kg/j	250 mg O ₂ /l	206.04 Kg/j	40 mg O ₂ /l
DCO	2575.5 Kg/j	500 mg O ₂ /l	643.875 Kg/j	125 mg O ₂ /l
Matière en suspension (MES)	1859.511 Kg/j	361 mg/l	206.04 Kg/j	40 mg/l

Les différentes étapes de traitement

Prétraitement

Dans cette étape, les eaux usées brutes sont acheminées du regard de dégazage vers l'ouvrage de prétraitement qui est construit en béton armé et constitué d'une étape de dégrillage et d'une étape de dessablage.

Dégrillage

Ouvrage construit en béton, avec deux chambres pour les dégrilleurs automatiques et une chambre pour le dégrilleur manuel. (Figure III.4). Les barreaux du dégrilleur automatique sont placés verticalement avec un angle de 90° et l'espacement inter barreaux varie entre 20 et 30 mm et la vitesse à la traversée du dégrilleur est inférieure à 1m/s. les grilles sont nettoyés par un système à racleur motorisé dont l'action automatisée est déclenchée par un capteur de niveau d'eau en amont et en aval sur la grille. Une fois que les débris ont été recueillis et soulevés par le racleur, ils sont chargés dans une cuve horizontale, au moyen d'un transporteur à vis horizontal et sans arbre, ces débris sont ensuite déposés dans un conteneur à débris. Tandis que, les barreaux du dégrilleur manuel sont inclinés de 60° sur l'horizontale. L'espacement inter-barreaux est de 40 mm. La vitesse à la traversée de ce dégrilleur est aussi inférieure à 1m/s.

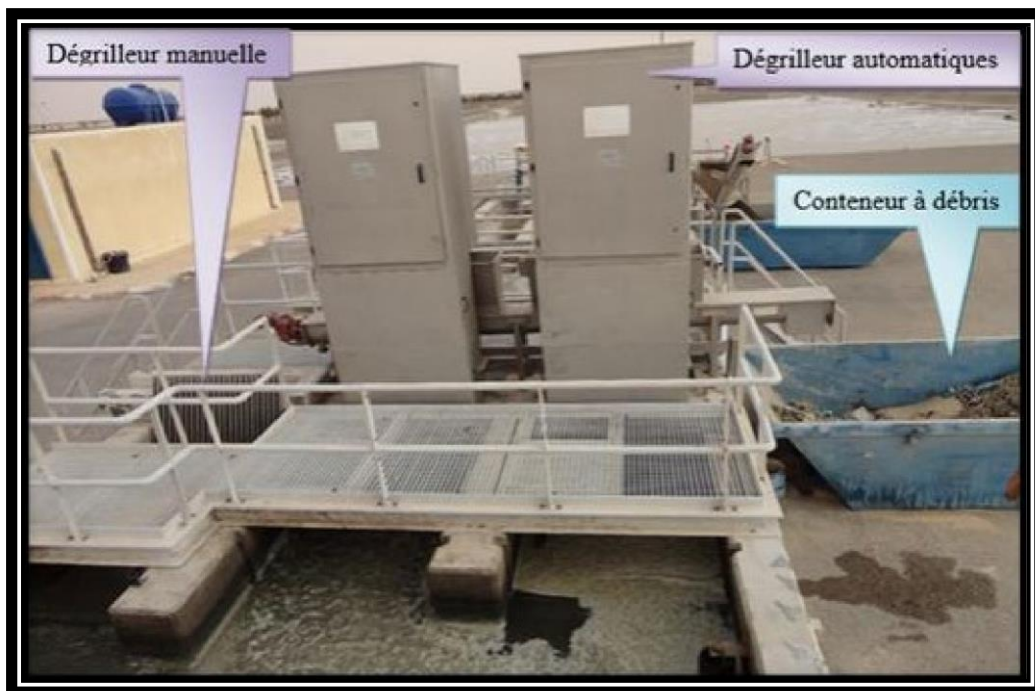


Figure III.4: Dégrilleurs

Dessablage

Cet ouvrage est construit en béton, avec également trois chambres. Le sable contenu dans l'eau usée est décanté grâce à la force gravitaire, la vitesse de sédimentation des sables à retirer est de 0,01 à 0,02 m/s, la largeur de chaque chambre égale à 1m, la longueur est de 5 m et le temps de séjour varie de 45 à 150 s. Ces particules solides sont ensuite aspirées par un pont racleur avec moteur électrique et des pompes immergées d'aspiration fixées à la fin du déssableur. Le mélange sable-eau s'écoule par les conduites en acier montées sur la paroi extérieure du déssableur et ensuite vers le classificateur à sable qui permet l'égouttage avant stockage dans une benne. La production spécifique des sables est 0,004 à 0,180 l/ m³ des eaux usées.



Figure III.5:Dessaleur

Le classificateur à sable est un appareil qui s'installe idéalement sur les purges de dessableur en stations d'épuration. Son rôle est de séparer le mélange sable-eau (Figure.III.6).

La faible vitesse de rotation de la vis (5 tr/min) permet une reprise efficace des sables et un meilleur égouttage du produit final.



Figure III.6: Classificateur à sable

Traitement biologique

Lagunes aérées (première étape)

Suite à l'alignement des vannes du répartiteur, l'eau usée brute s'écoule dans des conduites et répartie d'une manière homogène (Figure III.7).

Le traitement biologique d'eau usée s'effectue par trois lagunes aérées A1, A2 et A3 de même taille et de la même conception. Pour assurer une diminution remarquable et efficace de la charge polluante en présence des micro-organismes aérobies, plusieurs aérateurs sont installés dans chaque lagune.



Figure III.7.: Lagunes aérées (première étape)

Tableau III.2: Lagunes d'aération (premier étage) A1, A2, A3

	STEP 02	STEP 03	STEP 04
Nombre de lagunes (pièces)	03	03	02
Longueur (m)	142	136	108
Largeur(m)	66	63	49
Profondeur d'eau m	3,6	3,6	3,6
Longueur du fond (m)	127,6	121,6	93,6
Largeur du fond (m)	51,6	48,6	34,6
Volume de lagune (m ³)	28 574	25 912	15 205
Volume des lagunes (m ³)	85 722	77 736	30 410
Nombre d'aérateurs par lagune (-)	08	07	04
Puissance spécifique de brassage (W/m ³)	03	03	03
Puissance total (par Lagune)) kW)	89	80	47

Temps de séjour d'eau usée dans les lagunes (jour)	08	08	07
--	----	----	----

Lagunes aérées (2^{ème} étape)

Le fonctionnement de la deuxième étape est identique à la première mais le nombre d'aérateur dans chaque lagune est de 3 aérateurs.

Tableau III.3: Lagunes d'aération (deuxième étage) B1, B2, B3

	STEP02	STEP03	STEP04
Nombre de lagunes (pièces)	03	03	03
Longueur (m)	115	110	82
Largeur(m)	66	63	49
Profondeur d'eau m	2,9	2,9	3,2
Longueur du fond (m)	103,4	98,4	69,2
Largeur du fond (m)	54,4	51,4	36,2
Volume de lagune (m ³)	19 091	17 311	10 342
Volume des lagunes (m ³)	57 273	51933	20 684

Nombre d'aérateurs par lagune (-)	03	03	03
Puissance spécifique de brassage (W/m^3)	02	02	02
Puissance total (par Lagune)) kW)	38	35	21
Temps de séjour d'eau usée dans les lagunes (jour)	05	05	05



Figure III.8: Lagunes aérées (deuxième étape)

Lagune de finition (F2)

La lagune de finition F2 a été conçue et construite selon le même système que les lagunes aérées 1 et 2, leurs dimensions sont présentées dans le tableau 08.

Cette lagune de finition ou de traitement final, a été réalisée pour améliorer la qualité de l'eau traitée biologiquement, la majeure partie des matières dégradables est retenue dans les lagunes dans l'étape 1 et 2. C'est pourquoi, le dépôt des boues dans la lagune de traitement de finition augmente juste lentement. Les écarts de temps jusqu'au raclage des boues peuvent ainsi être prolongés par rapport aux lagunes aérées. Selon une estimation approximative, on peut assumer une fréquence de raclage de 8-10 ans. L'eau usée clarifiée biologiquement est dirigée vers l'émissaire.



Figure III.9: Lagune de finition

Tableau III.4: Lagune de finition (F2)

	STEP2	STEP3	STEP4
Nombre de lagunes (pièces)	3	3	2
Longueur (m)	154	147	114
Largeur(m)	66	63	49
Profondeur d'eau(m)	1,5	1,5	1,5
Longueur du fond (m)	148	141.0	108
Largeur du fond (m)	60	47.0	43
Volume de lagune (m ³)	14 272	12 963	7 662
Volume des trois lagunes (m ³)	42 816	38 889	15 324
Temps de séjour d'eau usée dans les lagunes (jour)	3	3	3

Traitement des boues

(10) lits de séchage à la STEP 02 ont été construits. Ces lits sont remplis de graviers de différentes granulométrie (gravier propre de type 0/40 disposé en une couche de 0,50 m au minimum) et suivie d'une couche de sable lavée (D50 = 2,5 mm) (comme une couche de couverture).

Ces ouvrages sont conçues comme des bâches terrestres avec revêtement en feuille et des tuyaux de drainage pour la déshydratation et des rampes d'accès pour la décharge de la boue sèche.

Pour le raclage de la boue déposée au radier des lagunes d'eau usée, un racleur de boue avec une pompe à piston rotatif aspire le mélange boue-eau et le transmet par une conduite de refoulement flexible. La boue pompée s'écoule par la suite vers les lits de séchage.

La boue stockée dans les lits de séchage est déshydratée dans les conditions naturelles.

Dans les conditions climatiques locales, nous pouvons tabler sur un temps de séjour d'environ 15-18 jours.



Figure III.10: Lits de séchage

Conclusion

La station d'épuration étudiée (02) est conçue pour desservir les communes de " Hassani Abd /Krim, Debila, Guemmar, Taghzout. Le procédé du traitement des eaux usées est fondé sur le processus biologique via des lagunes aérées. Il commence par un prétraitement avec un dégrilleur et un déssableur, deux bassins d'activation primaire et secondaire ainsi que des Lagunes de finition en aval de la station d'épuration. Le traitement des boues est assuré par les lits de Séchage.

Chapitre IV : Matériels et méthode

Introduction

Dans toute les stations d'épuration des eaux usées il est indispensable de faire une série d'analyses sur les eaux usées brutes testées et épurées afin d'évaluer le niveau de pollution dans chaque phase de traitement et de juger la performance épuratoire de la station d'épuration des eaux usées. Pour cela, l'échantillonnage a été effectué à l'entrée (eaux brutes) et à la sortie (eaux épurées) de la STEP. Dans ce chapitre, on présente les différentes méthodes et matériels utilisées pour l'épuration des eaux, des boues et des résultats des analyses obtenus avec des discussions au niveau de laboratoire au sein de la station d'épuration d'Oued Souf. L'objectif principal de ce travail est de faire un contrôle de la qualité des eaux usées à différentes étapes du processus de cette station en vue d'un meilleur respect des normes de rejet.

Le but général des analyses

Le but principal des essais expérimentaux est de faire des analyses physico-chimiques sur l'eau usée de cette ville à l'entrée à la sortie de la station d'Oued Souf.

Prélèvement des échantillons d'eau

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.).



Figure IV.1:Préleveur Automatique.

Les flacons utilisés dans l'échantillonnage ne doivent pas apporter de substances toxiques et assurent une protection totale contre toute contamination éventuelle. Les prélèvements sont effectués dans des flacons stériles en polyéthylène ou en verre borosilicaté. La fréquence d'échantillonnage est de l'ordre d'une fois par semaine.



Figure IV.2: Les prélèvements à l'entrée et à la sortie.



Figure IV.3 : Echantillonnage et conservation des flacons

Pour éviter toutes modifications des caractéristiques physico-chimiques de l'échantillon pendant le transport et ainsi la conservation de l'échantillon, on a suivi les étapes suivantes:

- T° , CE , PH , O_2 dissous: analyse sur le site .
- DCO : H_2SO_4 Q.S.P $Ph < 2$ ou réfrigération à $4^{\circ}C$.
- DBO_5 : réfrigération à $4^{\circ}C$
- NH_4^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{-3} , MES , *turbidité et couleur* : réfrigération à $4^{\circ}C$.

Localisation des points de prélèvement

Dans cette étude, on peut prendre prélèvement de l'eau usée comme suit : le prélèvement a été fait à partir d'une conduite des rejets située à 3 m de hauteur d'un bassin de décantation et à 1 m de hauteur d'un bassin qui contient de l'eau traitée.



Figure IV.4:Photo représentant des points de prélèvement.

(a) L'eau brute (b) L'eau traitée

Les prélèvements sont réalisés dans des flacons bien propre en polyéthylène ou en verre borosilicaté, bouchés émeri ou au téflon. En vue d'une meilleure conservation des échantillons, certains matériels sont à éviter comme les bouteilles en plastique ou en caoutchouc, leur réemploi poserait des problèmes de contamination résiduelle. Ainsi que certaines matières sont à proscrire afin d'éviter toutes contaminations possible telle que la graisse. Dans ce travail on a employé des flacons en verre fumé qui sont lavés et séchés de la manière suivante :

- A- Lavage au détergent avec de l'eau chaude plusieurs fois ;
- B- La verrerie est ensuite abondamment rincée avec de l'eau distillée, puis séchée À l'étuve à 105°C pendant deux heures ;
- C- Avant remplissage, rincer les flacons avec l'eau à analyser ;
- D- Eviter toutes bulles d'air dans les flacons.

Paramètres étudiés

Pour déterminer la qualité des eaux à épurer, des analyses sont effectuées aux principaux points de rejet, les paramètres physico-chimiques à étudier sont les suivants :

- Température(T) ;
- Potentiel hydrique (pH) ;
- La conductivité (CE) ;
- L'oxygène dissous(OD) ;
- Les matières en suspension (MES) ;
- Matière Insoluble Décan table (M.I.D) ;
- Demande biochimique en oxygène (DBO₅) ;
- Demande chimique en oxygène (DCO) ;
- Le phosphore (PO₄⁻³) ;
- Matières azotées ;
- Test de décantation ;
- La siccité (SC) ;
- analyses paramètres de minéralisation globale ;
- Analyses microbiologiques.

Paramètres physique

La température (T)

La mesure de la température de l'eau a été réalisée directement sur site à l'aide d'un Thermomètre.

Mode opératoire

Pour mesurer la température de l'eau, on a prélevé un échantillon d'eau dans une bouteille en verre ou en polyéthylène à large ouverture, ensuite on plonge un thermomètre dans l'échantillon. On lit la valeur de la température après sa stabilisation.

Potentiel d'hydrogène (pH)

Principe

La méthode est basée sur l'utilisation d'un pH-mètre. C'est un voltmètre un peu particulier qui se caractérise par une très grande impédance d'entrée en raison de fort résistance présentée par l'électrode de mesure.

Mode opératoire

L'étalonnage étant réalisé et l'appareil ayant acquis son régime de marche :

- Vérifier les diverses connexions: secteur, électrodes, etc. ;
- Dégager l'électrode de son support ;
- Oter le chapeau protecteur de l'électrode double, le déposer en lieu sûr ;
- Rincer abondamment l'extrémité de l'électrode avec l'eau distillée ;
- Essuyer l'extrémité de l'électrode ;
- Replacer l'électrode sur son support ;
- Rincer le vase, le barreau magnétique, l'électrode, avec l'eau distillée puis Avec l'échantillon ;
- Remplir le vase de mesure avec l'échantillon ;
- Immerger l'électrode avec précaution habituelles et agiter ;
- Lire directement le pH lorsque la valeur s'est stabilisée. [74]



(a)

(b)

Figure IV.5: (a) La mesure du pH et de la température. (b) pH mètre

La conductivité(CE)

Mesure de la conductivité (CE)

L'unité de conductivité utilisée en chimie des eaux est micro siemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Principe

La mesure de la conductivité se ramène à celle de la résistance d'une colonne d'eau. A cet effet on utilise un conductivimètre qui n'est en fait qu'un résistivimètre un peu particulier.

La conductivité est fonction de la température. Toute mesure de conductivité doit donc se faire à température connue et stabilisée. En général les résultats sont mesurés à 20°C.

Mode opératoire

- L'analyse s'effectue sur un prélèvement d'eau dont le volume doit être suffisant pour prolonger la sonde de conductivité ;
- Vérifier les connexions cellule/conductivimètre ;
- Rincer soigneusement la cellule de mesure à l'eau distillée et l'essuyer convenablement ;

- Rincer et essuyer soigneusement la cellule ;
- Immerger la cellule dans l'eau ;
- Agiter la sonde légèrement ;
- Lire le résultat;
- La mesure terminée, éteindre l'instrument et, si nécessaire, nettoyer la sonde ;
- Après chaque série de mesure, rincer l'électrode à l'eau déminéralisation. [74]



Figure IV.6 : La mesure de la conductivité

L'oxygène dissous(OD) 🚦

Mode opératoire

- L'analyse s'effectue sur un prélèvement d'eau dont le volume doit être suffisant pour plonger la sonde de conductivité.
- l'étalonnage étant réalisé et l'appareil ayant acquis son régime de marche; allumer l'instrument en poussant le bouton ON/Off. Lorsque l'afficheur indique zéro, l'instrument est prêt pour la mesure de l'oxygène dissous. [74]



Figure IV.7 : Oxygénation

La Matière en suspension (MES) 🚦

Principe

L'eau est centrifugée à environ 3000 g (soit 4000 trs/min pour un rayon de centrifugation de 10 cm) pendant 20 minutes. Le culot recueilli, séché à 105°C et pesé. Il peut être ensuite calciné à 525 °C et pesé de nouveau. [29]

🚦 Mode opératoire

Tout d'abord, on sèche les capsules à 105 °C, puis on pèse après refroidissement et on note sa masse à vide. Ensuite on centrifuge un volume d'une prise d'essai (10 ml) pendant 20 min à 4000 trs /min.

On sépare alors le liquide surnageant par siphonage sans perturbation du dépôt (Figure IV.7).

On sèche à l'étuve pendant 2h à 105 C° puis on pèse après refroidissement au dessiccateur et on note sa masse. [29]

🚦 Expression des résultats

Le taux des matières en suspension (MES), exprimé en milligramme par litre (mg/L) est donné par la relation suivante :

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

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

M_0 : la masse de la capsule vide.

M_1 : la masse de la capsule pleine après dessiccation à 105 °C.

V : le volume d'eau traitée en ml.

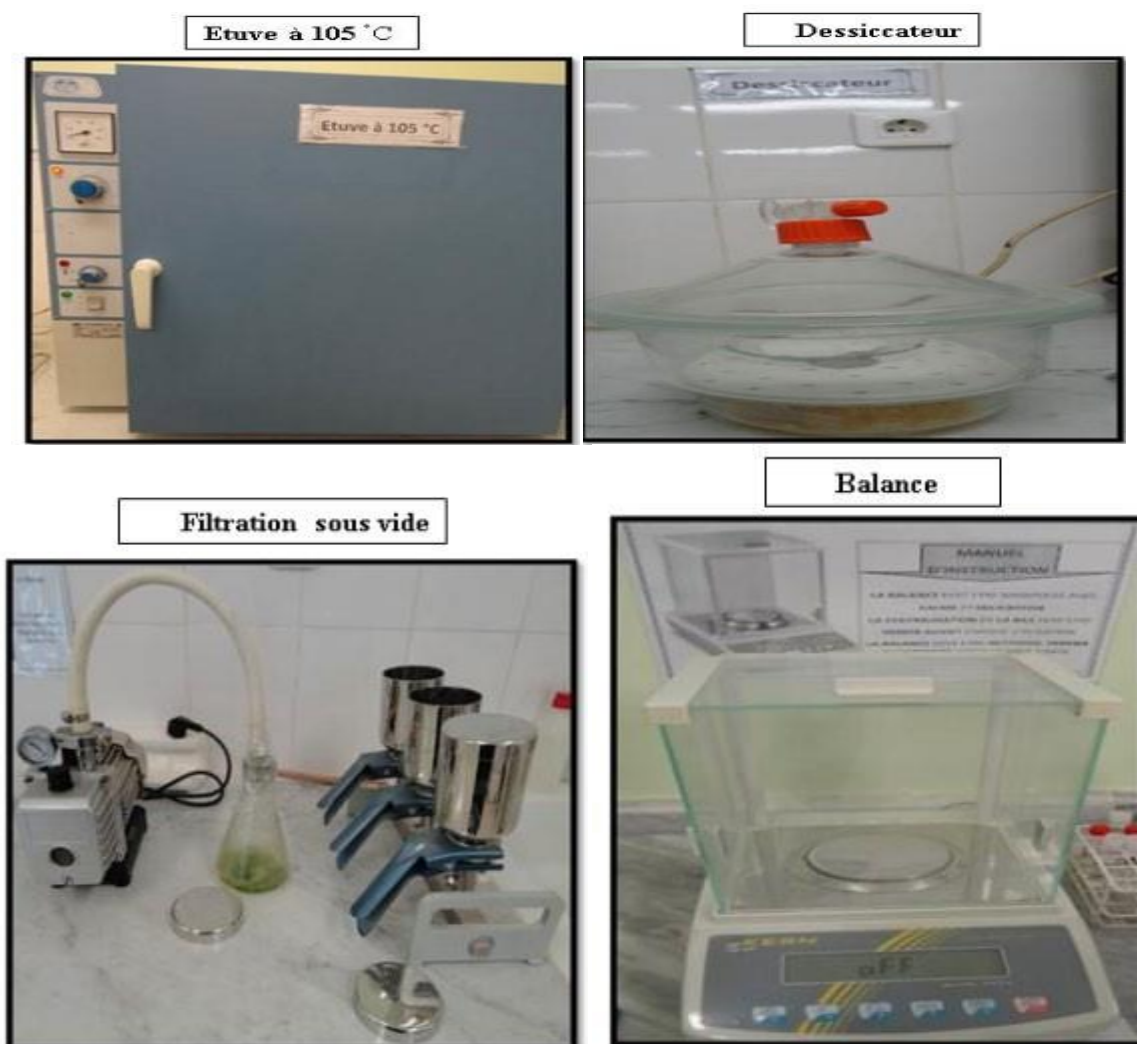


Figure IV.8: Appareils de mesure des matières en suspension (MES)

Matière insoluble décantable (M.I.D)

Un certain volume d'eau est abandonné au repos pendant 2 heures. La quantité de matière décantée est déterminée par volumétrie.

On met l'échantillon d'eau dans les cônes et on attend environ 2h pour lire les résultats en ml/l grâce aux graduations.



Figure IV.9: Cônes D'Imhof

La turbidité

+ Principes

La turbidité mesure la propriété optique de l'eau qui résulte de l'absorption de la lumière par les particules en suspension présentes dans l'eau. [29]

+ Mode opératoire

On met l'appareil sous tension et on rince 3 fois la cuvette par l'échantillon à mesurer. Après agitation de l'échantillon, on remplit la cuvette avec ce dernier. On place la prise d'essai et on appuie sur “ READ ” et le résultat s'affiche en NTU. [29]



Figure IV .10: La mesure de la turbidité

Paramètre chimique

La demande biologique en oxygène(DBO₅)

Principe

La mesure de la DBO₅ se base en la mesure de la pression dans un système fermé où les microorganismes consomment l'oxygène dans l'échantillon et génèrent des émissions de CO₂. Le CO₂ est absorbée avec NaOH et une pression négative est créée et mesurée directement par le transmetteur. Ce dernier transforme la valeur de pression directement à la DBO₅ (mg/l). Avec des employés volumes d'échantillon on régule la quantité d'oxygène disponible qui peut effectuer une détermination complète de la DBO₅ à différentes concentrations et avec des différents volumes. [75]

Matériels et réactifs

- Equipe DBO système ;
- Têtes mesureurs (DBO senseurs) ;
- Ampoules de mesure marron ;
- Agitateurs magnétiques ;
- Pince ;
- Carcasse de gomme pour les goulots des ampoules ;
- Lentilles de NaOH ;
- Armoire thermostatique de température constante à 20°C ;
- Inhibiteur de nitrification ;
- Récipients de plusieurs mesures ;
- Eau distillée ;
- tablette de calibration pour les contrôles des systèmes OXITOP : D(+) glucose ; et acideL-glutamique

Procédure expérimentale

- ❖ Sélectionner un volume d'échantillon correspondante à la DBO qui on espère obtenir.
- ❖ Nettoyer les ampoules et éclaircir avec de l'eau distillée, puis avec l'eau résiduaire d'échantillon ;
- ❖ Ajouter une quantité de l'échantillon homogénéisée ;
- ❖ Agiter pour chaque ampoule avec un agitateur magnétique Pour les échantillons d'effluent ajouté un inhibiteur de nitrification selon le rapport suivant :

On dissout 1000 mg de N-Alyltiourea ($C_4H_8N_2S$) en eau, on dilue à 200 ml et il se mélange ;

- ❖ Poser sur le goulot de l'ampoule une carcasse de gomme .Dans son intérieur ajouter avec le pince des lentilles de NaOH et remplir le bouchon jusqu'à la limite sans se dépasser ;
- ❖ Les échantillons sont placés dans un incubateur durant la mesure de DBO_5 . On règle l'appareil à ZERO et on met l'incubateur en marche pendant 5 jours à $20^\circ C$. le résultat sera obtenu directement sur l'afficheur.

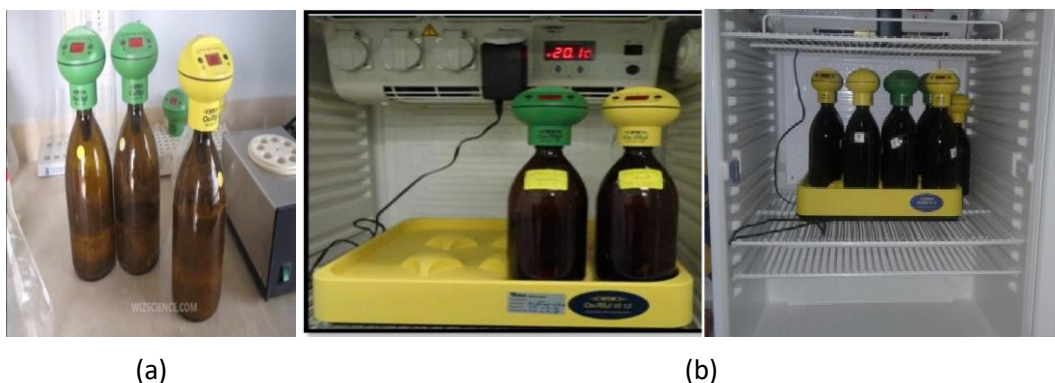


Figure IV.11:Appareillage DBO mètre de mesure de la DBO_5

(a) Flacon à DBO_5 (b) DBO mètre

(b)

La demande chimique en oxygène(DCO) 🧪

Le but

L'objectif de ce protocole est de définir la procédure pour mesurer la demande chimique en oxygène (DCO).

🧪 Principe

L'échantillon est chauffé pendant 2 heures en présence d'un oxydant (le dichromate de potassium). Les composés organiques oxydables réagissent l'ion bichromate en ion chromique de couleur verte.

🧪 Matériels

- Cuve ronde ;
- Spectrophotomètre UV ;
- thermoréacteur (CR 2200) ;
- Pipette.

 Réactifs:

- Boîte de réactif : LCK 514 (90% d'acide sulfurique, sulfate de mercure, agent sulfate).

 Mode opération:

- Ajouter à l'aide de la pipette 2ml de l'échantillon d'eau dans la cuve ronde ;
- Fermer et nettoyer l'extérieur de la cuve ;
- Retourner doucement à plusieurs reprises pour homogénéiser, la cuve deviendra très chaude à l'étape de ce mélange ;
- Placer la cuve ronde dans le thermoréacteur ;
- Chauffer la cuve ronde pendant 2 heures ;
- Attendre environ 20 minutes afin de laisser refroidir la cuve ronde à température ambiante ;
- Placer la cuve ronde dans le Spectrophotomètre ;
- Les résultats sont affichés directement sur Spectrophotomètre.



Figure IV.12:Appareillage





Figure IV.13:Réactifs et appareils de mesure de la DCO

Le phosphore (PO₄)

Principe

C'est la mesure de quantité de phosphore (PO₄) présente dans l'eau brute et épurée(0.00à3.50mg/l) par méthode phosVer3 avec digestion au persulfate

Mode opératoire

- Prélever 1 ml à l'aide d'une pipette de l'échantillon mère ;
- Introduire ce 1 ml dans un bécher;
- Compléter à 10 ml avec de l'eau distillée;
- Ajouter le réactif (phosphore PGT) à cette eau;
- Faire une agitation légère;
- Laisser la solution se reposer pendant 2 min;
- Mettre en marche le spectrophotomètre;
- Remplir la cuve avec de l'eau distillée (blanc);
- Essuyer la cuve;
- Introduire la cuve de référence dans le port cuve ;
- Programmer la longueur d'onde désirée (890nm) ;
- Enlever la cuve de référence ;
- Introduire la cuve remplie précédemment par l'échantillon à mesurer ensuite l'essuyer ;
- Appuyer sur la touche (READ) puis lire le résultat



Figure IV.14: Tube de phosphore

Dosage d'azote total (N) 🚦

Principe

C'est la mesure de quantité d'azote total (N) présente dans l'eau brute et épurée (0.00 à 25 mg/l) par méthode de digestion TNT ou persulfate.

🚦 Mode opératoire

- Programme : 350 régler à 410 nm ;
- Blanc : 2 ml d'eau désionisée dans le tube d'hydroxyde d'azote total + une pochette de réactif persulfate ;
- Echantillon : 2 ml d'eau brute et épurée dans le tube d'hydroxyde d'azote total + 2 pochettes de réactif persulfate ;
- Placer les tubes dans l'étuve à 105°C pendant 30 min ;
- Après le réchauffement, laisser refroidir et ajouter réactif NTA, agiter et appuyer sur Shift5 pendant 3 min ; puis ajouter réactif NTB et agiter puis appuyer sur Shift5 pendant 2 min ;
- Prélever 2 ml d'hydroxyde de 3 tubes et les ajouter dans 3 tubes de réactif NTC ; agiter et appuyer sur Shift5 pendant 5 min ;
- Faire la lecture à l'aide de spectrophotomètre.

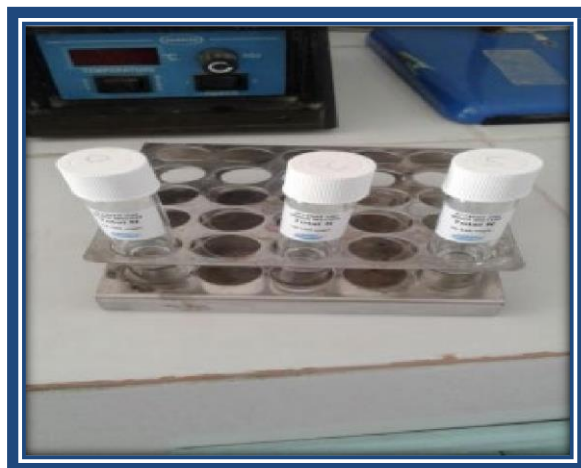


Figure IV.15 : Tube d'azote total

Dosage de nitrite (NO^-2)

Principe

C'est la mesure de quantité de nitrite (NO^-2) présente dans l'eau brute et épurée (0.00 à 0.30 mg/l) par filtration.

Mode opératoire

- Programme : 371 régler à 507 nm ;
- Blanc : 10 ml d'échantillon ;
- Echantillon : 10 ml d'eau brute et épurée + 2 pochettes de réactif NitriVer3 ;
- Agiter et appuyer sur Shift5 pendant 20 min ;
- Faire la lecture sur spectrophotomètre.

Remarque

La présence de nitrite indique la coloration rose

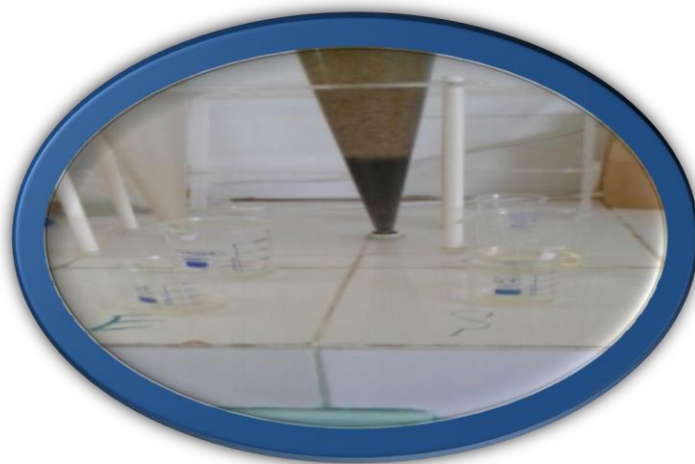


Figure IV.16 : Dosage de nitrite

🚦 Dosage de nitrate (NO_3^-) 🚦

Principe

C'est la mesure de quantité de nitrate (NO_3^-) présente dans l'eau brute et épurée (0.00 à 4.5 mg/l) par filtration.

🚦 Mode opératoire

- Programme : 353 régler à 400 nm ;
- Blanc : 25 ml l'eau désionisée ;
- Echantillon : 25 ml d'eau brute et épurée + 2 pochettes de réactif NitraVer5 ;
- Agiter et appuyer sur Shift5 et laisse 10 min puis une autre Shift5 et laisse 5 min ;
- Faire la lecture sur spectrophotomètre.

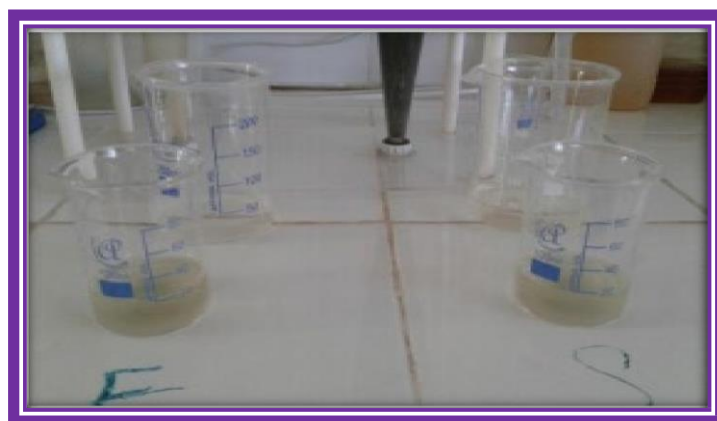


Figure IV.17 : Dosage de nitrate

Dosage d'azote ammoniacal (N-NH₃)

Principe

C'est la mesure d'azote ammoniacal (N-NH₃) présente dans l'eau brute et épurée (0.00 à 0.80 mg/l) par filtration.

Mode opératoire

- Programme : 385 régler à 655 nm ;
- Blanc : l'eau désionisée 10 ml + une pochette de réactif de Salicylate + une pochette de cyanurate ;
- Echantillon : 10 ml d'eau brute et épurée + une pochette de Salicylate appuyé sur Shift 5 pendant 3 min + une pochette de cyanurate, appuyé sur Shift 5 pendant 15 min ;
- Faire la lecture sur spectrophotomètre ;
- En présence d'ammoniac, une coloration verte apparaît.



Figure IV.18: Dosage de l'azote ammoniacal

Test de décantation

Principe

Déterminer la sédimentation des boues du réacteur biologique et de la purge de la station d'épuration.

Matériels et réactifs

- Chronomètre.
- Conne IMHOFF.
- Support conne.

-Eprouvette de 1000 ml (alternative).

Procédure expérimentale

- Homogénéiser l'échantillon et immédiatement remplir le conne IMHOFF jusqu'à la marque de 1 L ;
- Laisser que l'échantillon sédimenter pendant 30 minutes ;
- Registrer le volume des solides sédimentés dans le conne IMHOFF (mg/L).

Calcul d'IM (IVB)

L'essai est exécuté dans une éprouvette de 1 L que l'on remplit une liqueur mixte prélevée dans le bassin de traitement biologique, puis on note le volume de boues après 30 min. [75]

$$IVB = IM = V/P$$

Où :

V : Volume occupé par la boue (ml).

P : poids sec (g).

Si IVB = 100-120 mg/l

Valeurs normales

Si IVB < 100 mg/l

important pourcentage en matière

inorganique

Si IVB > 300 mg/l

Bulking (gonflement des boues

par bactéries)



Figure IV.19: test de décantation

La siccité(SC)

La siccité (sc) est le pourcentage massique de la matière sèche, elle est évaluée par la quantité de solide restée à 105°C pendant deux heures, elle s'exprime généralement en pourcentage à l'inverse, on parlera de taux d'humidité.

- Peser le creusé vide sèche soit P0;
- Prendre une quantité de la boue d'un lit de séchage;
- Peser ensemble le pèse-tare et la boue soit P1;
- Mettre le creusé à l'incubateur à 105°C pendant 4 heures (jusqu'à ce que le poids se stabilise) soit P2; le calcul de la siccité se fait par la formule suivante:

$$SC = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} \times 100$$

P0: creusé vide;

P1: creusé avec l'échantillon;

P2: creusé avec séchage

Tableau. IV.1 : Etat physique des boues.

Etat	Siccité
Liquide	< 10%
Pâteux	12% à 25%
Solide	25% à 85%
Sec	> 85%

Méthodes d'analyse des paramètres de minéralisation globale

L'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes. Le titre alcalimétrique (**TA**) mesure la teneur de l'eau en alcalis libre et en carbonates caustiques. Le titre alcalimétrique complet (**TAC**) mesure la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et hydrogénocarbonates. [76]

Méthode titrimétrique

L'eau à analyser doit être conservée de préférence dans des récipients en polyéthylène ou en verre borosilicaté et l'analyse doit être pratiquée dans les 24 heures après le prélèvement.

Principe

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

Réactifs

- Acide chlorhydrique ou sulfurique..... 0,02 N.
- Solution de phénolphtaléine dans l'alcool à 0,5 %
- Solution de méthylorange à 0.5 %.

Détermination de titre alcalimétrique simple (TA)

Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole conique. Ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénol phtaléine. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le TA est nul, ($\text{pH} < 8,3$)

Verser ensuite doucement l'acide dans la fiole à l'aide d'une burette, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution ($\text{pH} = 8,3$). Soit V le volume d'acide utilisé pour obtenir le virage.

Détermination de titre alcalimétrique complet (TAC)

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de rouge de méthyle et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'à disparition de la coloration de jaune au jaune orangé ($\text{pH} = 4,3$). S'assurer qu'une goutte d'acide en excès provoque le passage de la coloration du jaune orangé au rose orange ($\text{pH} 4$). Soit V le nombre de millilitres d'acide N versés depuis le début du dosage. Retrancher de ce volume 0.5 ml, quantité d'acide nécessaire pour le virage de l'indicateur, qui est un peu plus faible que le pH de neutralisation exacte de l'hydrogénocarbonate.

Expression des résultats

➤ TA

$\frac{5}{V}$ exprime le titre alcalimétrique (TA) en milliéquivalents par litre.

-V exprime le titre alcalimétrique en degrés français (1° f correspond à 10 mg de carbonate de calcium ou à 0,2 (meq/l).

➤ TAC

$\frac{V'-0,5}{5}$ exprime le titre alcalimétrique complet en milli équivalentes par litre.

- $V' - 0,5$ exprime le titre alcalimétrique complet en degrés français

Dureté totale par titrimétrie à l'EDTA (TH) [29]

Cette méthode permet de doser rapidement les ions calcium et magnésium ; avec certaines précautions, elle est appropriée à la plupart des types d'eaux.

Principe

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel dissodique de l'acide éthylène diamine tétraacétique à pH=10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir ériochrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

Réactifs

- Solution de noir ériochrome T à 0,5 % ;
- Solution tampon pH =10 ;
- Sel disodique de magnésium de l'EDTA (C₁₀H₁₂N₂O₈Na₂Mg)5g
- Eau déionisée1L

Mode opératoire

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml, ajouter 4 ml de solution tampon et trois gouttes de solution de noir ériochrome T. La solution se colore en rouge foncé ou violet, le pH doit être de 10. En maintenant une agitation, verser la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu.

Expression des résultats

La concentration totale en calcium et magnésium, exprimée en milliéquivalents par litre, est donnée par l'expression suivante :

$$1000 \times \frac{C \times V1}{V2}$$

C = Concentration en milliéquivalents par litre de la solution d'EDTA.

V1 = Volume en ml de la solution d'EDTA.

V2 = Volume d'échantillon.

Détermination du calcium (Ca^{2+}) et du magnésium (Mg^{2+}) [78]

Principe

Le calcium est dosé avec une solution aqueuse d'E.D.T.A à pH entre 12 et 13. Ce dosage se fait en présence du murexide, l'E.D.T.A réagit tout d'abord avec les ions calcium libres puis avec les ions calcium combinés avec l'indicateur colore qui vire alors de la couleur rouge au violet.

Réactifs

- Solution d'E.D.T.A N/50 ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) : (0,02N ou 0,01M)
- EDTA 3,725g après déshydratation à 80°C pendant 2 h.
- H_2O distillée..... 1000 ml. -Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 2 N :
- NaOH (pastilles)80 g.
- H_2O distillée..... 1000 ml.
- Solution d'hydroxyde d'ammonium (NH_4OH) pH = 10,1 :
- Chlorure d'ammonium 67,5 g.
- NH_4OH (25%)..... 570 ml
- HCl concentréjusqu'à pH = 10,1
- H_2O distillée..... 1000

- Noir Eriochrome T.

Dosage des ions de Ca^{+2}

- Prendre 50 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2 ml de NaOH à 2 N. - Ajouter du murexide.
- Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (violet).

Dosage des ions de Mg^{+2}

- Prendre 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 2 ml de NH_4OH (10,1) ;
- Ajouter noir Eriochrome (NET) ;
- Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (bleu).

Expression des résultats

La détermination du Calcium en mg/l est donnée par la formule suivante:

$$[\text{Ca}^{+2}] \text{ en mg/l} = \frac{V1 \times \text{NEDTA} \times F \times M_{\text{Ca}^{+2}} \times 1000}{\text{P.E}}$$

Avec :

V1 : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée ;

C : Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l) ;

$M_{\text{Ca}^{+2}}$: du calcium en g ;

P.E : Prise Masse molaire d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage) ;

F : Facteur de dilution.

Détermination de chlorure [76]

❖ Méthode de Mohr

Principe

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent

Réactifs

- Acide nitrique pur.
- Carbonate de calcium pur.
- Solution de chromate de potassium à 10 %.
- Solution de nitrate d'argent 0,1 N

Mode opératoire

Introduire 100 ml d'eau à analyser (préalablement filtrée si nécessaire). Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de chaux et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 %.

Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes. Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent 0,1 N utilisés.

Expression des résultats

➤ Pour une prise d'essai de 100 ml :

$V \times 10 \times 3,55$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de Cl^- par litre d'eau.

Analyses microbiologiques

Recherche et dénombrement des Germes Aérobie Mésophile Totaux à 22°C et 37°C

Mode opératoire

& Les dilutions

- Les dilutions consistent à atteindre la concentration la plus faible pour effectuer une bonne analyse microbiologique de l'eau usée.
- Pour l'obtention de la dilution 10-1 : On prélève 1ml d'eau à analyser (brute et traiter), à l'aide d'une pipette graduée stérile qu'on va ajouter à 9ml d'eau physiologique puis homogénéiser bien, on prélève 1ml dans la boîte de pétri PCA.
- Pour l'obtention de la dilution 10-2 : On prélève 1ml du tube de la dilution précédente (10-1) à l'aide de la même pipette qu'on va ajouter à un tube contenant 9ml d'eau physiologique ; on jette la pipette. A l'aide d'une nouvelle pipette graduée stérile, on prélève 1ml dans la boîte de PCA, A partir de la dilution 10-2 et de la même façon, on prépare la dilution 10-3 .Porter aseptiquement deux fois (pour la T=22°C et pour la T=37°C), en suit des mouvements pour une bonne homogénéisation du milieu avec l'échantillon. Laisser se refroidir sur paillasse, puis mettre à l'incubateur à 22°C pendant 72h et l'autre à 37°C pendant 24 à 48h.

Remarque

Les manipulations doivent être faites dans la zone stérile.

Lecture

Ces germes recherchés se présentent dans les deux cas sous forme de colonies lenticulaires blanchâtres.

Dénombrement

- En tenant compte que les boîtes de pétri comportant entre 30 et 300 colonies.
- Compter le nombre de colonies (n) dans la boîte de pétri choisie qu'on va multiplier par le taux de dilution et on va obtenir le nombre de germes /ml du produit à analyser.

$$\text{Nombre de germe /ml} = n \times \text{taux de dilution}$$

Recherche et dénombrement des Coliformes Totaux à 37°C et les Coliformes Fécaux à 44°C [77]

A) Teste de présomption

A partir de l'eau à analyser (Eau brute et Eau traité) porter aseptiquement :

- 50 ml dans un flacon contenant 50 ml du milieu BCPL D/C + Cloche de Durham.
- 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham.
- 5 fois 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham.

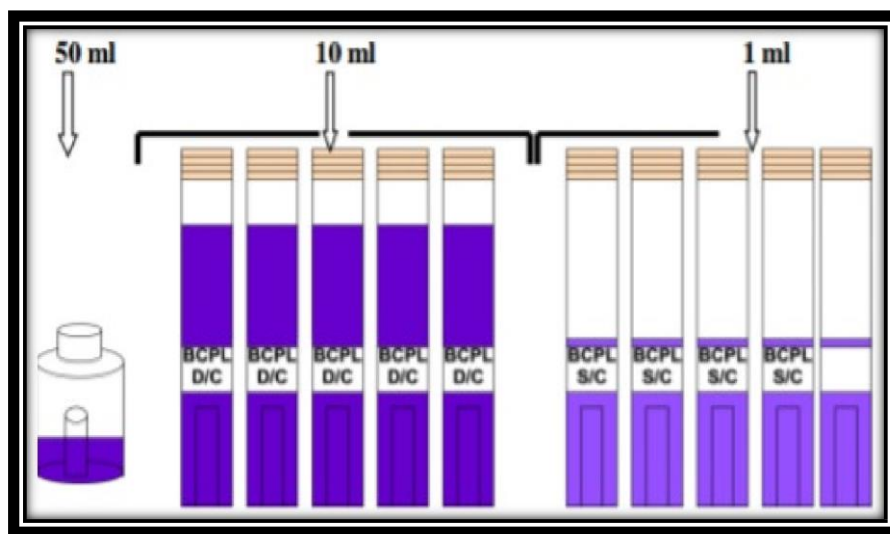


Figure IV.20: Test présomption de Coliformes Totaux

Incuber 24-48h à 37 °C

Lecture

Sont considérés comme positif les milieux présentant à la fois :

- Un dégagement gazeux 1/10 de la hauteur de la cloche
- Un trouble microbienne avec virage du milieu au jaune (témoin de la fermentation de lactose présent dans le milieu).
- La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de Mac Grady NPP.

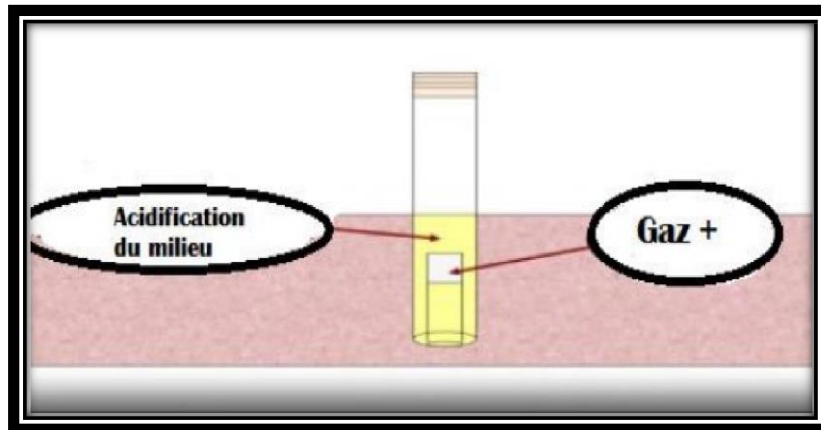


Figure IV.21: Le lecteur des Tubes

B) Test de confirmation

Le test de confirmation ou test de Marc Kenzie est basé sur la recherche de coliformes fécaux parmi lesquels on redoute surtout la présence d'*Escherichia Coli*.

Les tubes de BCPL positifs, après l'agitation, prélever de chacun d'eux quelques gouttes à l'aide d'une pipette Pasteur pour faire le repiquage dans un tube contenant le milieu Eau peptone.

L'incubation se fait à 44 °C pendant 24 heures.

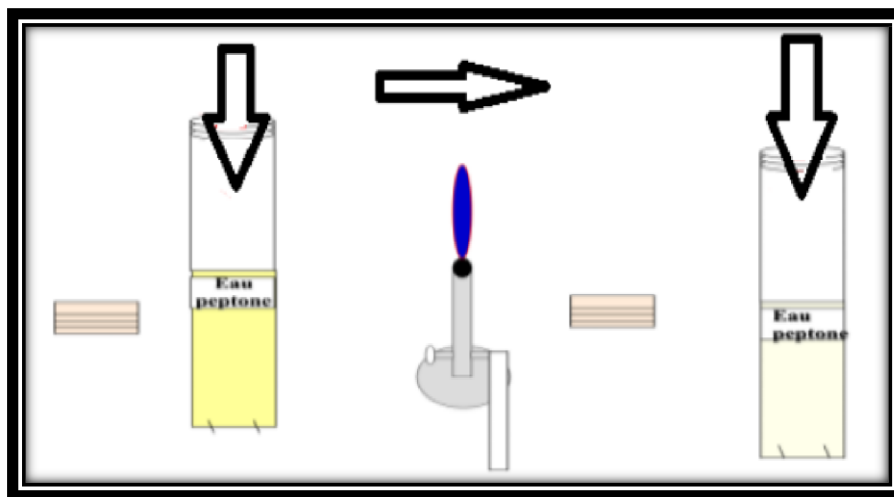


Figure IV.22: Test conformation des Coliformes Fécaux

Incuber 24h à 44C°

Lecture

Seront considérés comme positif + ; les tubes présentant à la fois :

- Un anneau rouge ou rose en surface, témoin de la production d'Indole par *Escherichia Coli* après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de Mac Grady NPP en tenant compte du fait qu'*Escherichia Coli* est trouble et d'indole à 44 °C.
- Utilisation d'un seul tube confirmatif (dénombrement d'E. Coli) Sont considérés positifs les tubes présentant à la fois un dégagement gazeux et un anneau rouge = Indole+. La lecture finale se fait sur la table NPP.

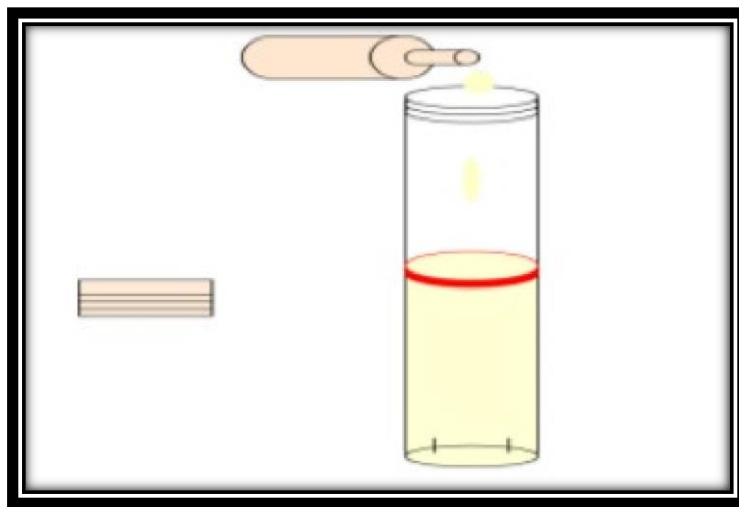


Figure IV.23: Présence d'E-Coli

Recherche et dénombrement des Streptocoques Fécaux à 37°C [77]

A) Test de présomption

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement

- 50 ml dans un flacon contenant 50 ml de milieu ROTHE D/C.
- 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE D/C.
- 5 fois 01 ml dans 05 tubes contenant 10 ml de milieu Rothe S/C.

Bien mélanger le milieu avec l'échantillon, puis mettre dans l'incubation à 37°C pendant 24h à 48h.

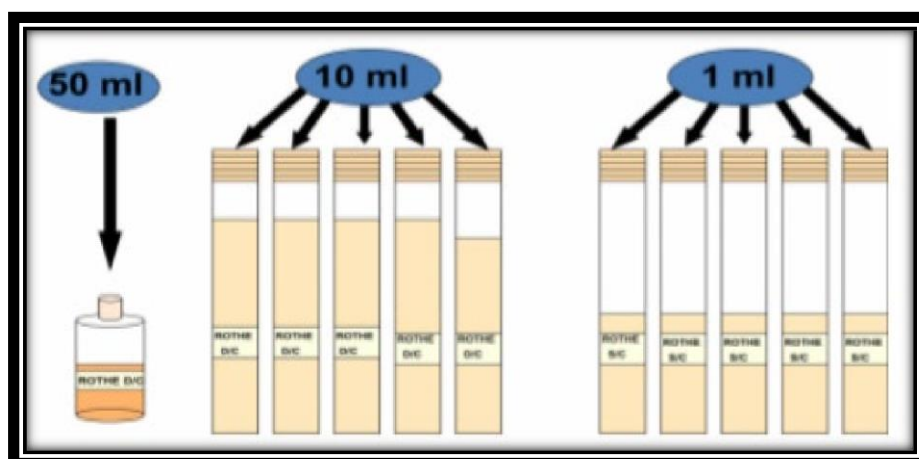


Figure IV.24: Test présomption des Streptocoques Fécaux

Incuber 24-48h à 37°C

Lecture

- Sont considérés comme positifs les tubes présentant un trouble microbienne accompagné d'un virage du milieu pendant cette période est présumé contenir un streptocoque fécal.
- La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP.

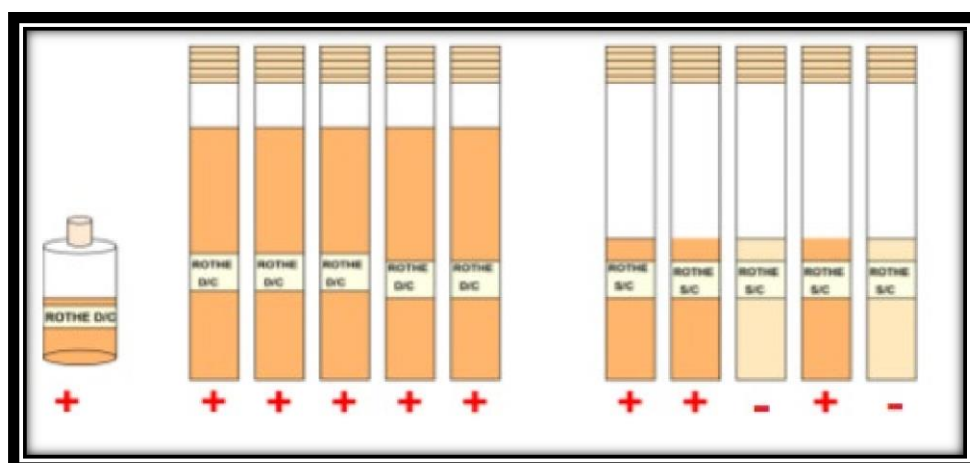


Figure IV.25:La lecture des tubes

B) Test de confirmation

Le test de confirmation est basé sur la confirmation des Streptocoque fécaux éventuellement présents dans le test de présomption.

Des tubes de milieu ROTHE positifs, en ajout quelques gouttes à l'aide d'une pipette Pasteur de milieu EVA LITSKY et incuber se fait à 37°C pendant 24 heures.

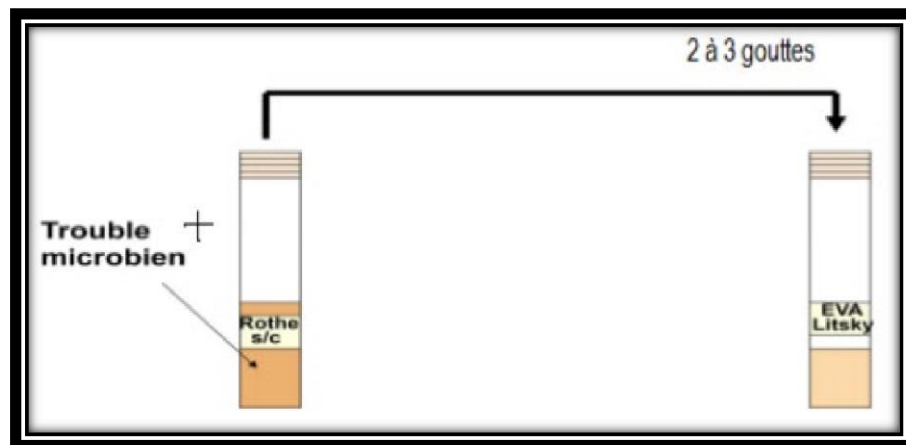


Figure IV.26:Test confirmatif des Streptocoque Fécaux

📌 Lecture

- Seront considérés comme positif, les tubes présentant à la fois.
- Un trouble microbien.
- Une pastille violette (blanchâtre) au fond des tubes.
- La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP le nombre de streptocoque fécaux sont par 100 ml de l'eau analysé

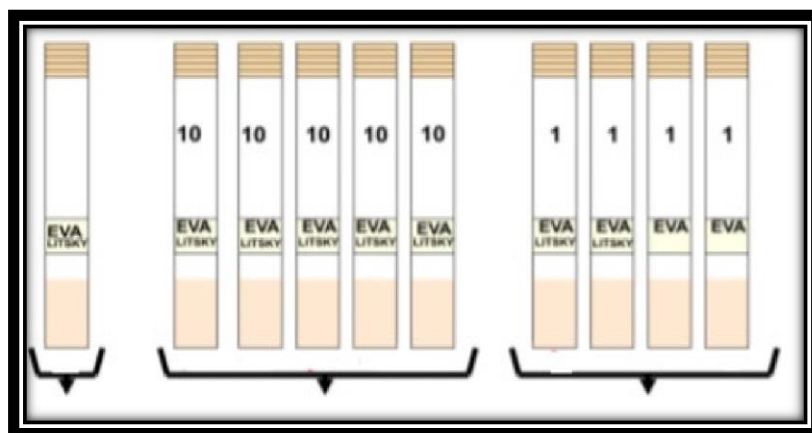


Figure IV.27: La lecture des tubes

6. Conclusion

Afin d'apparaître la qualité physico-chimiques et microbiologique des eaux usées brutes et épurées de la STEP d'Oued Souf, il est indispensable de procéder à des analyses des paramètres de pollution. Les paramètres bactériologiques sont les plus délicats soit pour leurs prélèvements, pour la conservation des échantillons ou pour leurs analyses. Pour ces raisons, l'analyseur doit être vigilant et prend en considération toutes les conditions de prélèvement, d'échantillonnage et d'analyses nécessaires. Le choix de la place appropriée 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 polluants sont nécessaires pour connaître le degré de pollution et son risque à l'aide des appareille a technologie moderne Les analyses physico-chimiques effectuées au sein de la STEP d'Oued Souf sont indispensables pour pouvoir juger de la performance de le STEP et d'avoir une idée globale sur le rendement des différentes étapes d'épuration .

Chapitre V :

Résultats et Discussion

Introduction

Au cours de cette étape de l'étude nous présentons les résultats des analyses physicochimiques au niveau des stations étudiées pour évaluation préliminaire de l'efficacité et la performance de système du lagunage aéré dans le milieu saharien dans la région d'Oued Souf.

Les paramètres de pollution analysés ont été suivis pendant une période de 12 mois pour l'année 2017 à l'entrée et à la sortie de la station pour évaluer le pouvoir épuratoire des ouvrages de traitement.

Rendement épuratoire

L'évaluation du pouvoir épuratoire 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 :

$$R\% = \left(\frac{C_0 - C_f}{C_0} \right) \times 100$$

Avec :

C_0 : Concentration du paramètre considéré dans l'eau usée brute

C_f : Concentration du paramètre considéré dans l'eau traitée

Résultats et discussions des paramètres analysés

Les paramètres physiques

Température

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32°C par contre, elle est fortement diminuée pour des températures de 12 à 15°C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C. [18]

Les résultats de la variation de la température au cours de l'année 2017 sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V.1 : Variation mensuelle de la température (année 2017).

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Eau brute	15,43	15,11	16,73	22,23	26,62	30,10	28,12	30,91	30,66	27,63	20,90	17,43
Eau épurée	11,61	12,00	13,93	20,43	25,45	29,00	31,80	30,96	30,28	26,62	18,44	14,28
Norme	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

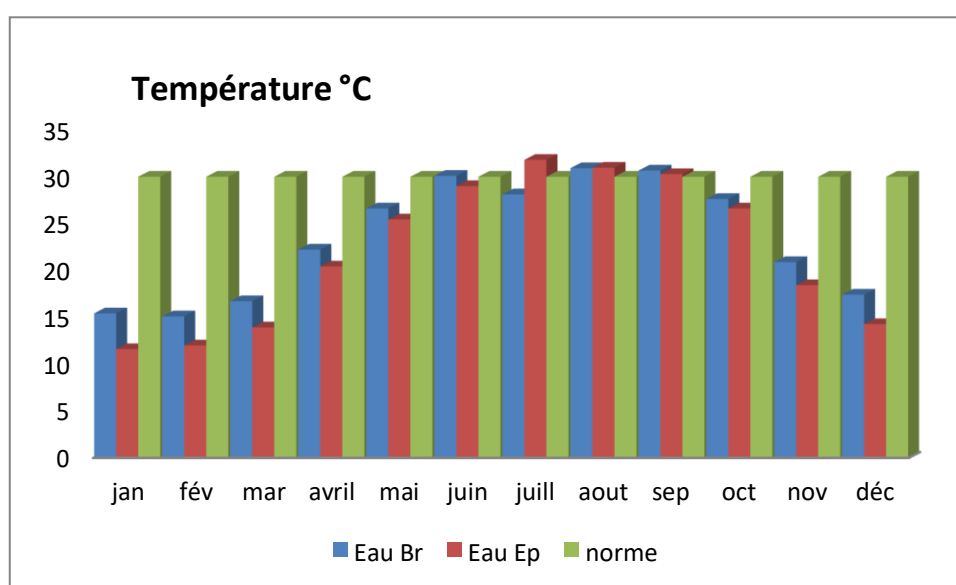


Figure V.1 : Variation temporelle de la température (2017).

D'après les résultats obtenus ,On constate que les températures varient entre 30.91°C et 15.11°C, pour les eaux brutes, et entre 31.80° C et 11.61 °C pour les eaux traitées (tableau V.1). Les valeurs les plus faibles ont été enregistrées dans le mois de février pour, les eaux brutes et dans le mois de janvier, tandis que les valeurs maximales sont attribuées au mois d'aout pour les deux types d'eaux. Les valeurs des températures obtenues pendant la période d'étude sont presque stables en comparant l'entrée et la sortie de la STEP. Ceci est bien illustré sur la représentation graphique des températures (figure V.1), La variation des températures

est due aux conditions climatiques de la zone d'étude, et aux changements de la température de l'air au cours des saisons. On peut dire aussi que les résultats obtenus sont conformes avec les normes algériennes de rejet des eaux usées (30°C).

Conductivité électrique

La conductivité est une mesure de la capacité d'une eau à conduire un courant électrique entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau, elle dépend également de la température de l'eau et elle est plus importante lorsque la température augmente.

Les résultats de la variation de la conductivité électrique au cours de l'année 2017 sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V.2: Variation mensuelle de la conductivité électrique (année 2017).

Mois	Jan	Fév.	mar.	Avar.	Mai.	Juin.	juil.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Eau brute	4,86	4,91	5,02	5,46	6,11	6,37	5,91	6,81	6,04	5,54	4,76	5,13
Eau épurée	4,54	4,52	5,08	5,44	6,04	6,41	6,55	6,72	5,92	5,89	4,98	4,57

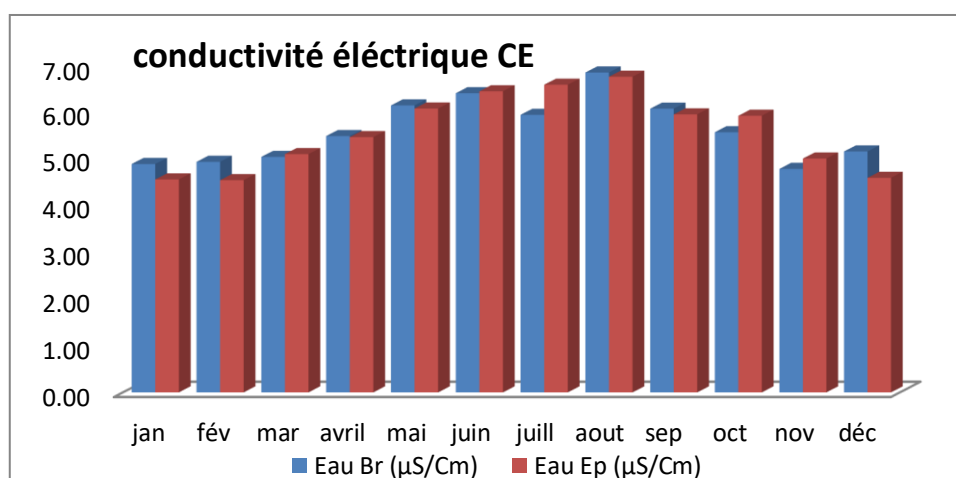


Figure V.2 : Variation temporelle de la conductivité électrique (2017).

D'après le tableau V.2, on ne remarque pas vraiment une variation de la conductivité dans la majorité des prélèvements, les valeurs de la conductivité sont proches les unes des autres. On constate de ces résultats que la conductivité varie entre $4.76\mu\text{S}/\text{Cm}$ et $6.81\mu\text{S}/\text{Cm}$, pour les eaux brutes, et entre $4.52^\circ\text{C } \mu\text{S}/\text{Cm}$ et $6.72\mu\text{S}/\text{Cm}$ pour les eaux traitées. Les valeurs les plus faibles ont été enregistrées dans le mois de novembre, tandis que les valeurs maximales sont attribuées au mois d'août pour les eaux brutes. Les valeurs les plus faibles ont été enregistrées dans le mois de février, tandis que les valeurs maximales sont obtenues au mois d'août pour les eaux traitées. Cette variation est due au changement de la concentration en sels dissous dans les eaux qui arrivent à la STEP. A la sortie du STEP, on constate presque une stabilisation de la conductivité suite au traitement, la concentration en sels alors se stabilise. Ces valeurs sont en fonction de la minéralisation naturelle de l'eau potable et celle à usage domestique, utilisée au niveau de la station d'épuration. En générale, cette variation peut être expliquée par la sédimentation des sels minéraux dans le clarificateur qui sont concentrés dans les boues. Nos résultats dépassent $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui signifie que la minéralisation des eaux est significative.

Matière en suspension (MES)

Ce sont des particules solides très fines qu'on peut voir à l'œil nu. Théoriquement, elles déterminent la turbidité de l'eau et limitent la pénétration de la lumière diminuant ainsi la teneur en oxygène dissous et nuisent au développement de la vie aquatique. [78]

Les MES s'expriment par la relation suivante :

$$\text{MES} = 30\% \text{ MMS} + 70\% \text{MVS}$$

Les résultats de la variation de la matière en suspension au cours de l'année 2017 sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V.3 : Variation mensuelle de la matière en suspension (MES) (année 2017).

Mois	Jan.	févr.	mar.	Avar.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	déc.
Eau brute	246,52	363,70	665,00	368,52	459,81	640,00	490,20	662,22	516,67	325,92	289,72	365,37
Eau épurée	17,00	24,33	15,00	18,00	26,67	23,00	26,00	17,00	21,67	24,00	26,50	28,33
Norme	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

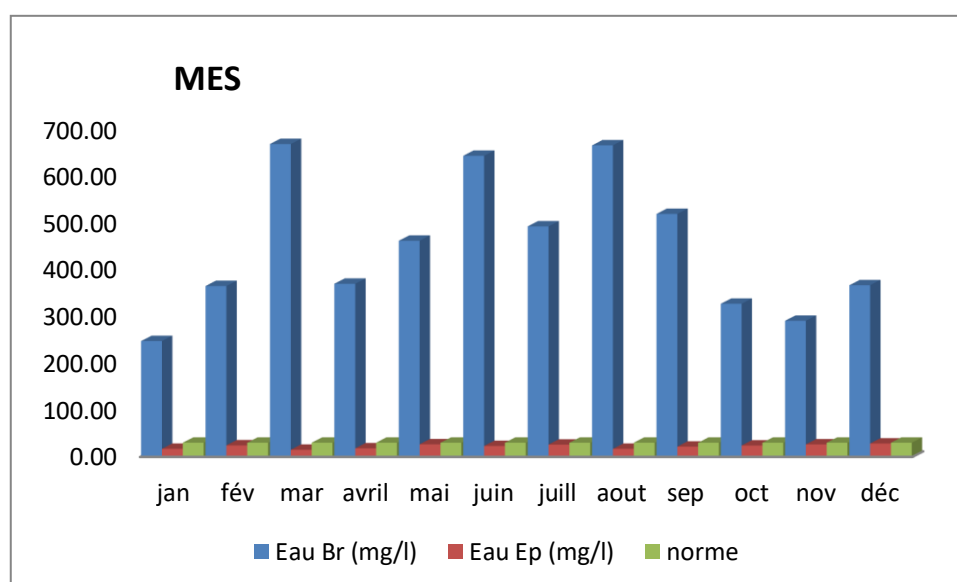


Figure V.3 : Variation temporelle de la matière en suspension (MES) (2017).

En examinant les résultats présentés dans le tableau V.3, on remarque que les valeurs enregistrées révèlent une réduction importante de MES entre l'entrée et la sortie de la STEP, elles oscillent entre 665 mg/l et 246.52 mg/l au niveau de l'entrée de la STEP, ces valeurs sont probablement liées à un arrivage d'eau chargée en matière minérale. En ce qui concerne les eaux épurées à la sortie de la STEP, les concentrations de MES varient entre 15 mg/l et 28.33 mg/l, ces valeurs sont largement inférieures à celle de la norme algériennes de rejet (30 mg/l). Le rendement d'élimination avoisine les 94,75%, ces résultats confirment l'efficacité du

clarificateur. Les boues semblent avoir une bonne aptitude à la décantation. Les résultats obtenus au niveau de l'entrée de station d'épuration sont évidemment très élevées, et sa diminution à la sortie est due au traitement qu'a subi l'eau usée.

Paramètres chimiques

Potentiel d'hydrogène (pH)

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 également un rôle primordial :

- Dans les propriétés physico-chimiques (entartrage, agressivité) ;
- Dans les processus biologiques, dont certains exigent des limites de pH très étroites se situant entre 6,5 et 8,5. [79]

$$\text{pH} = -\log_{10} \frac{1}{[\text{H}^+]}$$

Les résultats de la pH au cours de l'année 2017 sont regroupés dans le tableau suivant:

Tableau V.4: Variation mensuelle du potentiel d'hydrogène (pH) (année 2017).

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Eau brute	7,30	6,95	7,01	6,99	7,66	6,80	7,10	7,30	7,75	7,79	7,66	7,89
Eau épurée	7,60	7,15	8,00	6,88	7,90	7,01	6,81	7,56	7,77	7,86	7,65	7,92
Norme	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5

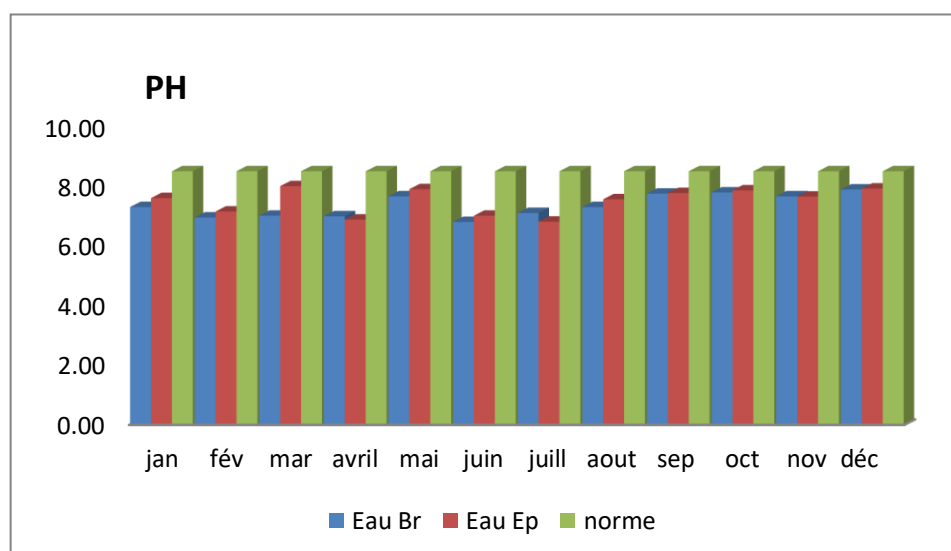


Figure V.4 : Variation temporelle du potentiel d'hydrogène (pH) (2017).

Au vu de ces résultats, nous pouvons dire, que les valeurs du pH mesurées durant la période d'essai varient entre 6,80 et 7,89 pour les eaux brutes, et 6,81 et 8 pour des eaux épurées. Ces valeurs sont proches à la neutralité. Ces résultats montrent aussi que la totalité des valeurs sont conformes aux normes algériennes des rejets (8,5).

Les phosphates (PO_4^{-3})

Les phosphates sont des formes minérales du phosphore formés à partir d'ions PO_4^{-3} .

Les résultats obtenus des concentrations d'orthophosphate pour les eaux brutes et épurées sont données dans le tableau suivant :

Tableau V.5 : Variation mensuelle des phosphates (PO_4^{-3}) (année 2017).

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Eau brute	7,50	6,91	5,21	8,25	6,10	4,45	2,14	9,10	9,11	6,31	10,11	5,11
Eau épurée	1,90	1,90	1,91	1,90	1,83	0,60	1,58	1,65	1,91	1,70	1,90	1,80
Norme	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

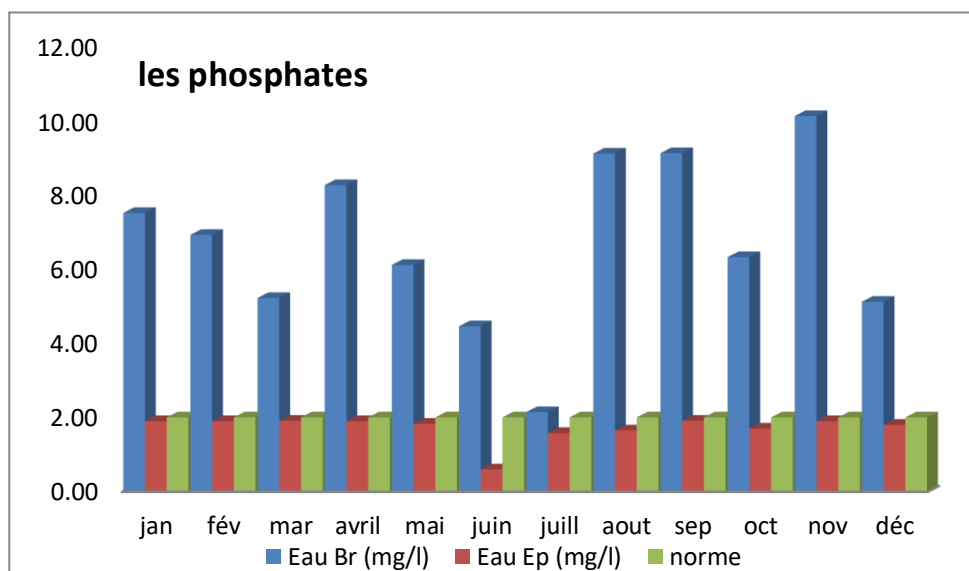


Figure V.5 : Variation temporelle des phosphates (PO_4^{3-}) (2017).

L'origine du phosphore dans les eaux usées domestiques est déduite de la connaissance des sources de phosphore naturel et de son utilisation. [80]

Il provient du métabolisme humain ; un homme excrète entre 1 et 2 grammes de phosphore par jour ce qui représente 30 à 50% du phosphore total. [81] et les rejets de détergents qui sont à l'origine de 50 à 70% du phosphore. Ces détergents et en particulier, les lessives, utilisent des polyphosphates pour lutter contre la dureté de l'eau, faciliter l'émulsion des graisses et maintenir la salissure en suspension. Les polyphosphates sont ensuite rejetés au cours du rinçage et ont tendance à s'hydrolyser en phosphates dans les eaux usées, c'est pour cela on trouve des quantités des phosphates dans le rejet domestique. D'après les résultats obtenus, les valeurs des (PO_4^{3-}) varient d'un minimum de 2,14 mg/l à un maximum de 10,11 mg/l lorsqu'il s'agit des eaux brutes, elles sont entre 0,60 mg/l et 1,91 mg/l pour les eaux traitées. A l'exception du mois d'Avril, l'élimination des PO_4^{3-} est remarquable, cela peut être expliqué par la minéralisation de la matière organique. Il est à noter que les valeurs obtenus sont conformes à la norme algérienne de rejet (2 mg/l).

Azote total (NT)

Parmi les éléments présents dans l'eau, deux sont très importants parce qu'ils sont indispensables à la synthèse des micro-organismes et des végétaux dans le milieu aquatique. Il s'agit de l'azote (N) et du phosphore (P) assimilés généralement par les plantes sous forme de nitrate NO_3^- et de phosphate PO_4^{3-} . L'azote est présent dans les matières organiques

complexes, par exemple les protéines des déchets alimentaires, ainsi que dans les micro-organismes et dans l'ammoniaque NH_4^- issus de nos déchets fécaux. Dans la mesure de l'azote, on distingue l'azote ammoniacal et l'azote organique qui ensemble représentent l'azote sous forme réduite dit azote Kjeldhal, et l'azote total qui comprend aussi les formes oxydées, nitrites et nitrates.

Les résultats de la Azote total (NT) au cours de l'année 2017 sont regroupés dans le tableau suivant:

Tableau V.6 : Variation mensuelle de la Azote total NT (année 2017).

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Eau brute	265,00	255,00	315,00	231,00	223,00	115,00	159,50	262,00	172,00	120,50	149,00	185,00
Eau épurée	47,00	46,00	49,00	75,70	48,70	19,90	46,30	49,80	34,10	39,10	46,30	49,00

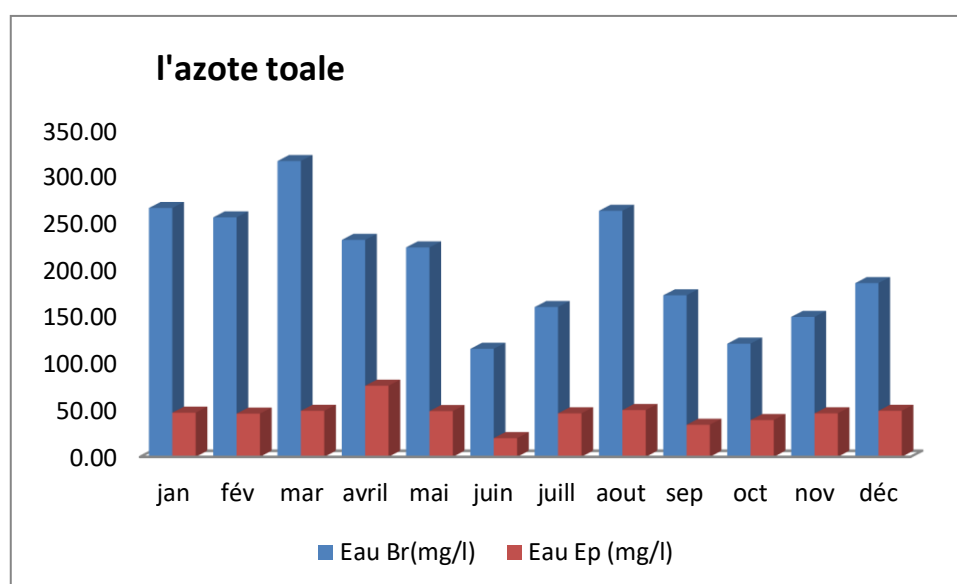


Figure V.6: Variation temporelle de la Azote total NT (2017).

D'après les résultats obtenus, la valeur de l'azote total, se situent dans un intervalle de 115 mg/l à 315 mg/l à l'entrée et 19,90 mg/l à 75,70 mg/l, enregistrées à la sortie de STEP. Donc la teneur en azote total enregistrées à la sortie, sont nettement inférieure à celles de l'entrée ce qui reflète l'efficacité de traitement. Le rendement maximal de l'élimination de l'azote total est de 84%.

L'azote ammoniacal (NH_4^+)

L'azote ammoniacal est présent sous deux formes en solution, l'ammoniac NH_3 et l'ammonium NH_4^+ , dont les proportions relatives dépendent du pH et de la température. L'ammonium est souvent dominant ; c'est pourquoi, ce terme est employé pour désigner l'azote ammoniacal ; en milieu oxydant, l'ammonium se transforme en nitrites puis en nitrates; ce qui induit une consommation d'oxygène.[82]

Les résultats de l'azote ammoniacal (NH_4^+) au cours de l'année 2017 sont regroupés dans le tableau suivant:

Tableau V.7 : Variation mensuelle de L'azote ammoniacal (NH_4^+) (année 2017).

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Eau brute	55,00	65,00	85,00	57,30	43,30	115,00	99,50	91,00	97,50	107,50	92,00	91,00
Eau épurée	19,00	35,00	20,00	31,10	11,00	17,80	32,95	37,90	32,45	36,50	40,30	35,50
Norme	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

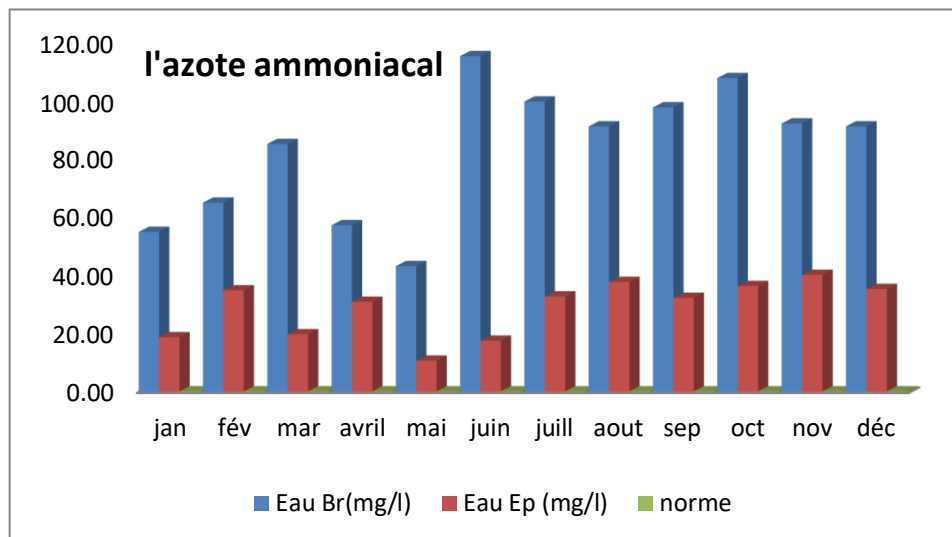


Figure V.7: Variation temporelle de l'azote ammoniacal (NH_4^+) (2017).

Au niveau de la station d'épuration, on note que les teneurs en azote ammoniacal diminuent de l'entrée vers la sortie. Selon les résultats présentés sur le tableau V.7, on remarque que les valeurs des concentrations de l'azote ammoniacal à l'entrée de la STEP sont instables, elles varient entre 43,30 mg/l et 115,00 mg/l, cela est dû à la variation du rejet entrant à la station, alors qu'à la sortie, ces valeurs oscillent entre 11 mg/l et 40,30 mg/l. La diminution de la concentration de l'azote ammoniacal à la sortie peut résulter par la dégradation de ce dernier en nitrite et nitrate. L'azote ammoniacal a été éliminé avec un abattement maximal de 95,66 %. Nous constatons que les concentrations de l'azote ammoniacal dans les eaux usées traitées dépassent d'une façon significative les normes L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) de rejet ($<0,5$ mg/l). Ceci traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique lorsque la teneur en oxygène est insuffisante pour assurer sa transformation. Cette augmentation dépend à l'origine des eaux usées que nous traitons et à l'élévation de la teneur en NH_4^+ de l'eau usée avant le traitement.

Les nitrites (NO_2^-)

Les ions nitrites (NO_2^-) sont un stade intermédiaire entre l'ammonium (NH_4^+) et les ions de nitrates (NO_3^-). Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites c'est la nitratisation. [29]

Les résultats de Les nitrites (NO_2^-) au cours de l'année 2017 sont regroupés dans le tableau suivant:

Tableau V.8 : Variation mensuelle de Les nitrites (NO_2^-) (année 2017).

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Eau brute	0,11	0,01	0,13	0,25	0,22	0,02	0,16	0,32	0,38	0,28	0,27	0,19
Eau épurée	0,52	0,32	0,24	0,03	0,06	0,04	0,24	0,06	0,30	1,72	0,89	0,14
Norme	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

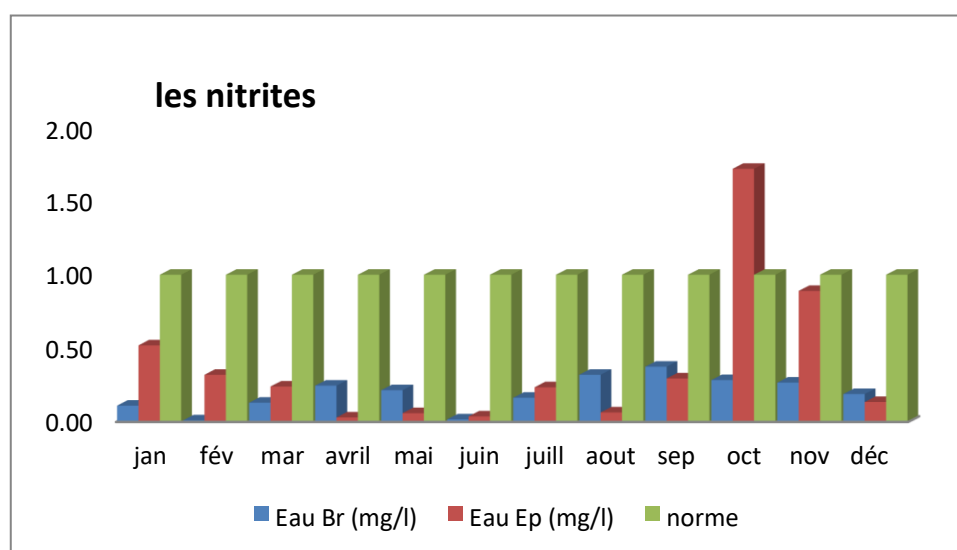


Figure V.8 : Variation temporelle de Les nitrites (NO_2^-) (2017).

L'examen des résultats obtenus, nous permet de dire que des concentrations des nitrites entre l'entrée et la sortie de STEP n'est pas significative. Elles se situent entre 0.01 mg/l et 0.38 mg/l dans Ceci est fonction de la qualité d'eau usée brute. Les valeurs signalées après traitement varient de 0.03 mg/l à 0.89 mg/l. Nous signalons une valeur importantes pour octobre (1,72mg/l) dépassent la norme L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) de rejet (1 mg/l), cette augmentation provient d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque où la nitrification n'était pas conduite à son terme.

Les nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitratâtes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates. [29]

Tableau V.9: Variation mensuelle de Les nitrates (NO_3^-) (année 2017).

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Eau brute	5,10	7,21	8,30	3,68	2,35	1,23	1,04	2,49	2,82	1,22	1,57	2,34
Eau épurée	3,90	2,85	1,40	2,74	5,46	1,07	1,07	2,54	0,76	0,81	0,59	0,62
Norme	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

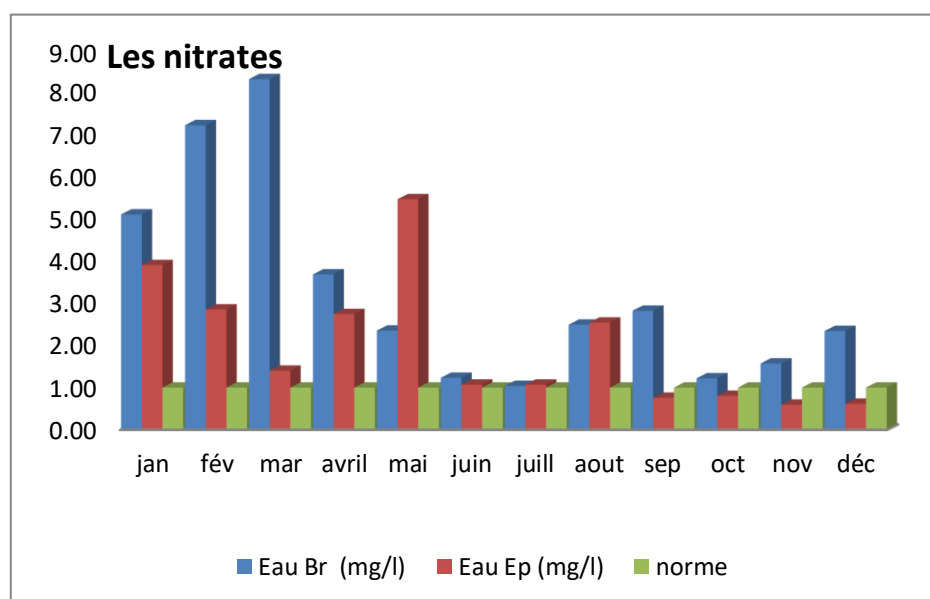


Figure V.9: Variation temporelle de Les nitrates (NO_3^-) (2017).

D'après les résultats obtenus, nous observons que les valeurs mensuelles des Nitrates varient dans un intervalle qui va d'un minimum de 1,04 mg/l à un maximum de 8,30 mg/l pour les eaux brutes et entre 0,59 mg/l et 5,46 mg/l pour les eaux traitées. Le transfert d'eau dans l'égout, véritable réacteur biologique, entraîne la réduction de ces nitrates, essentiellement en azote gazeux. La présence des microorganismes autotrophes vis-à-vis de l'azote, dégradent les protéines en azote ammoniacal. Les bactéries autotrophes telles que Nitrosomonas et Nitrobacter, transforment l'azote ammoniacal (NH_4^+) en présence d'oxygène pour produire des nitrites (NO_2^-) puis des nitrates (NO_3^-). Ces deux étapes mettent en œuvre l'oxydation de ces différents substrats par des bactéries aérobies qui en tirent l'énergie nécessaire à leur chimiosynthèse (Figure V.10). [83]

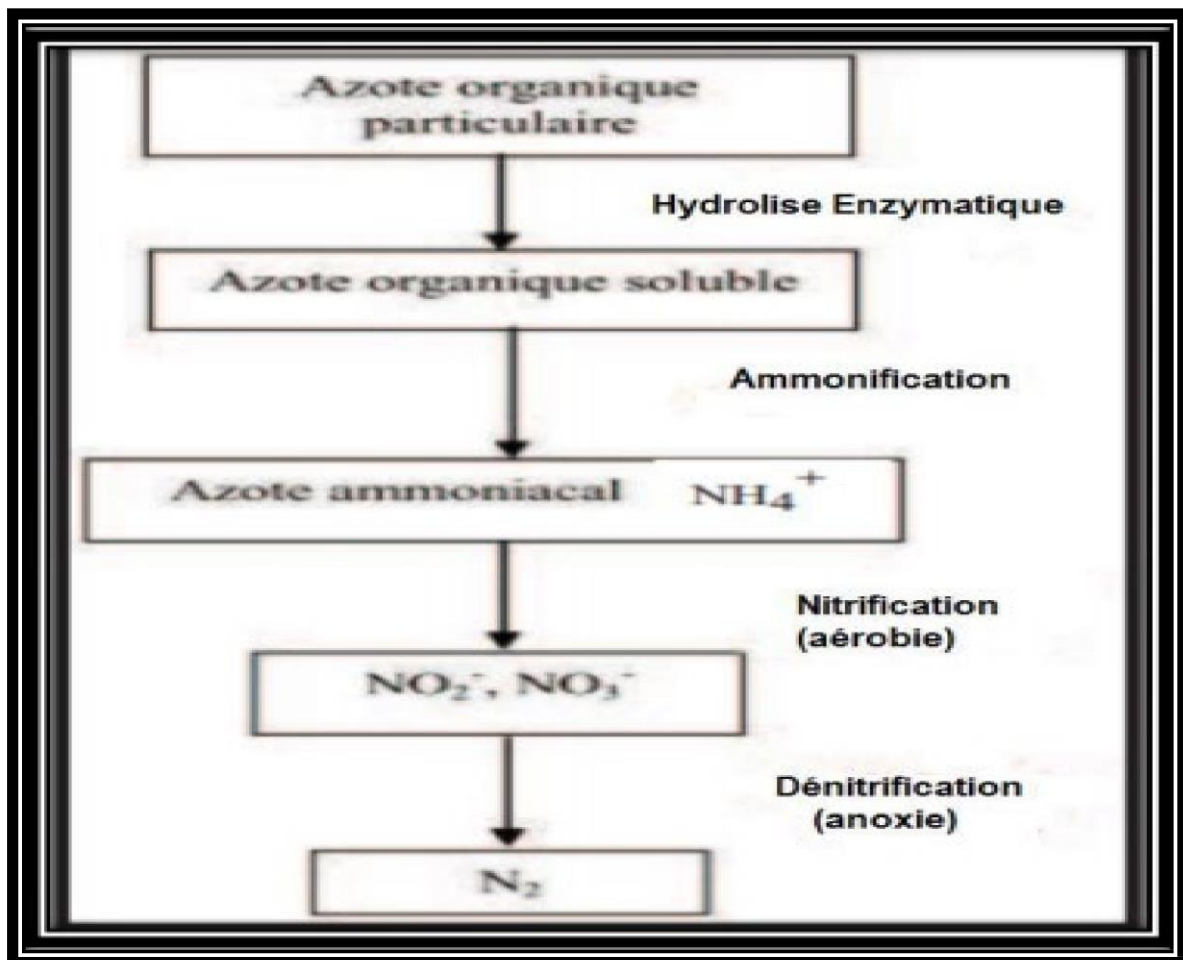


Figure V.10 : Mécanisme de dégradation des matières azotées dans les procédés biologiques. [83]

La capacité d'aération est en effet souvent suffisante pour assurer une nitrification poussée, ce qui explique le taux élevé des nitrates dans l'effluent traité. Les eaux épurées sont très chargées en nitrate mais en moyenne restent inférieurs aux normes de l'OMS (< 1 mg/l).

Oxygène dissous(OD)

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune aquatique et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu. Il s'exprime en mg d'O₂/l.

Les résultats de la variation de L'oxygène dissous au cours de l'année 2017 sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau V.10 : Variation mensuelle de l'oxygène dissous (année 2017).

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Eau brute	0,38	0,32	0,30	0,22	0,23	0,19	0,23	0,37	0,30	0,22	0,23	0,25
Eau épurée	6,20	5,45	5,59	6,70	7,69	4,90	5,36	5,04	5,02	5,15	5,61	5,28

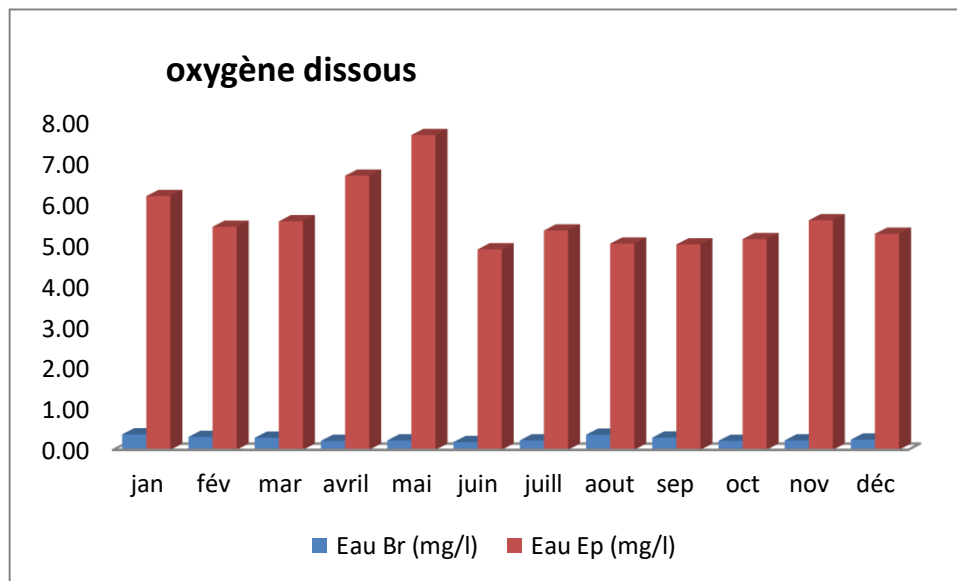


Figure V.11 : Variation temporelle de l'oxygène dissous (2017).

Les résultats du tableau V.10 montrent que les eaux usées brutes sont caractérisées par des valeurs faibles en oxygène dissous, allant de 0.19 à 0.38 mg/L. Lors de son passage dans les bassins, elle commence à s'enrichir avec l'oxygène de l'air et les concentrations d'O₂ deviennent entre 4,90 et 7,69 mg/l. L'oxygène c'est un élément très important pour les traitements biologiques, il est mieux donc d'ajouter des aérateurs au bassin d'aération pour augmenter la concentration d'oxygène dissous à fin d'assurer une bonne oxygénation et par conséquent un bon rendement de traitement. L'augmentation des teneurs en O₂ dans les eaux épurées comparativement aux eaux sans traitement traduit l'efficacité de processus de dégradation biologique des substances organiques biodégradables. La concentration en oxygène dissous d'une eau est fonction de plusieurs facteurs, à savoir ; la température, la pression atmosphérique et la salinité, ou alors de l'intensité de l'activité photosynthétique. En effet, l'oxygène dissous provient soit de l'atmosphère par diffusion, soit de la photosynthèse des organismes autotrophes, essentiellement les algues. Il est consommé lors de la respiration des animaux et végétaux présents dans l'eau, de la décomposition des matières organiques par les micro-organismes aérobies et de l'oxydation de certaines substances chimiques. [84]

Demande chimique en oxygène (DCO)

Les résultats de la variation de la DCO au cours l'année 2017 sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V.11 : Variation mensuelle de la Demande chimique en oxygène (DCO) (2017).

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Eau brute	1050,00	1216,67	1141,67	1166,66	830,00	830,00	911,67	1708,33	1063,00	861,67	942,50	1695,00
Eau épurée	150,00	144,00	137,33	139,66	138,00	138,00	143,50	119,53	130,33	123,33	140,50	126,33
Norme	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90

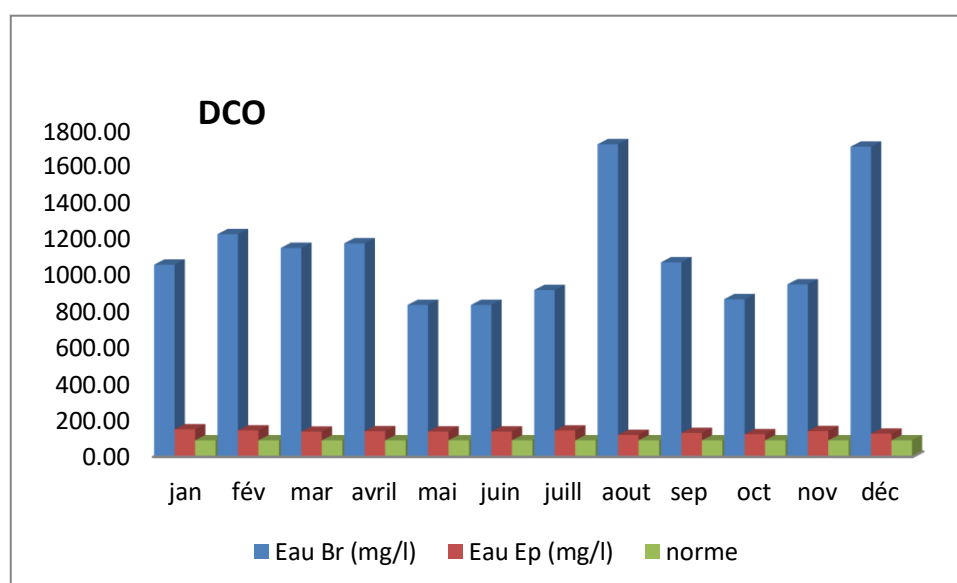


Figure V.12: Variation temporelle de la Demande chimique en oxygène (DCO) (2017).

Au vu des résultats obtenus, Les valeurs de concentration de la DCO des eaux brutes varient entre un minimum de 830,00 mg/l et un maximum de 1708,33mg/l. En revanche, les valeurs des concentrations des eaux traitées varient entre et un minimum de 119,53 mg/l et un maximum de 150 mg/l avec un rendement maximal d'abattement de DCO de 84.62%. D'après la Figure V.12, Ces valeurs sont conformes aux normes algériennes de rejet (90 mg/l).

Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène pendant cinq jours, ou DBO₅, est l'un des paramètres de la qualité d'une eau. Ce paramètre est exprimé en milligramme d'oxygène nécessaire pendant cinq jours pour dégrader la matière organique contenue dans un litre d'eau.

Les résultats de la variation de la Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅) pendant l'année 2017 sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau V.12: Variation mensuelle de la Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅) (2017).

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Eau brute	500,00	616,67	575,00	500,00	500,00	500,00	600,00	525,00	616,67	476,67	650,00	600,00
Eau épurée	42,50	43,33	42,50	43,33	43,33	43,33	40,00	42,50	40,00	38,33	40,00	43,33
Norme	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

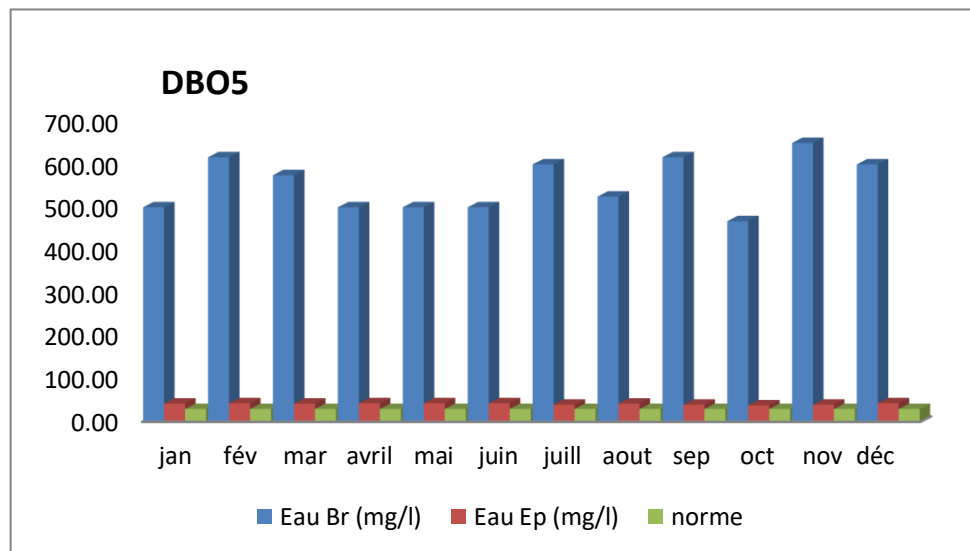


Figure V.13 : Variation temporelle de la Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅) (2017).

Le tableau V.12 représente la variation de la DBO₅ de l'eau brute et de l'eau traitée, notons que l'eau brute à l'entrée de la station présente une DBO₅ qui varie entre 476,67 et 650,00 mg /l. Il est à noter que ces valeurs sont en général peu élevées par rapport aux normes des eaux usées domestiques (> 500 mg/l), cette augmentation est marquée à cause de la charge polluante importante qui est entrée dans la station. Après traitement, ces eaux subissent une diminution importante, elle atteint sa valeur minimale au mois d'Octobre (38,33 mg/l). Malgré cette diminution, les concentrations de la DBO₅ restent supérieures aux normes algériennes de rejet (30 mg/l), cette augmentation est due soit aux rejets sauvages (huileries, rejets industriels qui sont raccordées au même réseau d'assainissement), soit à une mauvaise aération.

Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons pu présenter les paramètres analytiques permettant d'évaluer l'efficacité du système lagunage aéré dans le milieu saharien dans la région d'Oued Souf. L'étude est portée sur le suivi de différents paramètres de pollution carbonée (DCO, DBO₅), matière en suspension (MES) et pollution inorganique (azote et phosphore) au niveau des stations étudiées.

Les résultats ont montré que les rendements d'élimination varient selon le type de la charge polluante. La charge organique exprimée en DBO₅ s'avère mieux éliminée par le procédé de lagunage aérée. Ce procédé apparaît donc comme une technique performante dans le

traitement des eaux usées urbaines sous ce climat saharien (hyper-aride), comme celui de la région d'Oued Souf.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les dernières années ont été marquées en Algérie par un effort important et croissant consacré à la lutte contre la pollution des eaux usées, en vue de protéger et de valoriser les ressources hydriques. Cet effort s'est matérialisé par un large développement d'installation des stations d'épuration des eaux usées et par un suivi plus efficace de leurs performances. Dans ce sens, la réglementation Algérienne en termes de rejet des STEP est devenue de plus en plus sévère. Le principe du traitement des eaux usées par lagunage aérée repose sur l'activité d'une culture bactérienne aérobie, maintenue en suspension dans un ouvrage spécifique alimenté par l'effluent à traiter et appelé bassin d'aération. L'aération est un élément clé pour fournir l'oxygène aux microorganismes aérobies pour décomposer la pollution carbonée biodégradable. Les problèmes biologiques et les problèmes de décantation, encore fréquents, limitent la fiabilité des stations d'épuration à boues activées et même le traitement par lagunage. L'objectif primordial de notre étude a été axé sur le suivi de la performance de la station d'épuration par lagunage aérée étudiée (N°2) pour l'élimination de différente pollution présente dans les eaux usées brutes arrivant à la STEP d'Oued Souf.

A la lumière des résultats que nous avons obtenus, les valeurs enregistrées de certains paramètres étudiés sont généralement conformes aux normes algériennes de rejet et aux normes d'irrigation internationales fixées par la FAO et l'OMS. Au terme de l'évaluation du degré de pollution physico-chimique dans cette station, on peut constater qu'en particulier (Phosphore totale (pt), L'azote ammoniacal (NH_4^+), Les nitrates (NO_3^-), la demande biochimique en oxygène DBO_5 , la demande chimique en oxygène DCO) dépassent les normes admissibles, lorsqu'elles atteignent leurs valeurs maximales.

Pour les résultats d'analyse non conforme aux normes de rejets, les recommandations suivantes pourraient être formulées :

- ✓ Etablir la cause de l'anomalie et si possible y remédier (action corrective) ;
- ✓ Etablir une fiche d'anomalie dans le compte rendu d'événement, renseignée des éléments ;
- ✓ Etablir des actions immédiates, et des actions correctives ;
- ✓ L'interdiction de la réutilisation des eaux usées à certaines cultures qui sont les moins sensibles à la transmission des maladies (arbres fruitiers, légumes crues).

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Directives Organisation Mondial de la Santé pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères. Aspects environnementaux.
- [2] Mémento technique de l'eau, 9ième Edition, technique et documentation, paris 1167P.
- [3] Le contrat de management d'Alger, Octobre 2011, un ambitieux programme sur l'eau, un partenariat public-privé réussi.
- [4] Ministère des ressources en eau 2006.
- [5] Mr. Rahou KadaBoubakeur (2014), Evaluation des performances des aérateurs s de surface de la STEP d'El-kerma ORAN, mémoire de master, département de génie chimie, université d'Oran
- [6] Bachi O.EK, 2010 Diagnostique sur la valorisation de quelques plantes du jardin d'épuration de station du vieux Ksar Témacin. Ouargla. Mémoire de Magister. Université d'Ouargla.
- [7] METAHRI M Saïd, 2012 Elimination simultanée de la pollution Azotée et Phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP est de la ville de Tizi-Ouzou. Mémoire de Doctorat, option: Génie des procédés. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [8] <https://ona-dz.org/article/comprendre-les-eaux-usees.html>
- [9] C. Gomella, H. Guerrée, Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées. Edition Eyrolles Paris, (1978).
- [10] KHADRAOUI A., TALEB S. (2008)- Qualité des eaux de sud Algerien. Pollution et impact sur le milieu. Ed. Khyam. 367p.
- [11] GROSCLAUDE, (1999), L'eau : usage et polluant, Tome II .4^{ème} Edition. INRA, Paris
- [12] Y.Libes : Les eaux usées et leur épuration , pdf

[13] <https://fr.wikipedia.org>, (Consulté le : 20-01-2016)

[14] Mor Lo & Omar Dème, 2005, «Assainissement des eaux usées de Ouakam mise en place d'un système semi-collectif», Mém. Ing de conception, Univ. Cheikh Anta Diop De Dakar République de Sénégal.

[15] <http://sciences-en-ligne.net/news/item/96>

[16] BAKHTI CHOAYB. 2016. Conception et dimensionnement d'un réseau

d'assainissement d'Ouled Sidi Brahim, et la gestion à l'aide d'un SIG, Mémoire de fin d'études pour l'obtention de diplôme du Master en hydraulique, Université Mohamed Boudiaf, M'sila, 122p

[17] REJSEK, (2002), analyse des eaux, aspect réglementaire et techniques, édition scérén CPDP A quintaine, Bordeaux.

[18] Rodier J, (2005), L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8^{ème} Edition, Dunod, Paris.

[19] Mizi A, (2006), Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de BEJAIA et valorisation des déchets oléicoles. Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. ANNABA.

[20] GAUJOUS D. (1995)- La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. Edition technique et Documentation Lavoisier, P 220.

[21] ABIBSI Nadjat, 2011: Réutilisation des eaux usées épurées par filtres plantés (Phytoépuration) pour l'irrigation des espèces vertes. Application à un quartier de la ville de Biskra. Mémoire de Magister en Hydraulique, option: Hydraulique Urbaine. Université Mohamed Khider, Biskra.

[22] Abdelkader Gaid: Epuration biologique des eaux usées urbaines. TOME I, Place centrale de Ben-Aknoun Alger.

[23] METAHRI Mohammed Saïd, Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes, Cas de STEP Est de ville de Tizi-Ouzou, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Thèse de doctorat, Algérie, 2012.

[24] RODIER ET AL., (1996)- L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduares, eaux de mer) 8^{ème} édition, DUNOD. 557-570p et 968-1079p.

[25] Ladjel F, (2006), Exploitation d'une station d'épuration à boue activée niveau 02. Centre de formation au métier de l'assainissement. CFMA-Boumerdes. 80p.

[26] Suschka J, Ferreira E. (1986), Activated sludge respirometric measurements, Water research, 1986, pp.137-144.

[27] Taradat M H, (1992), Chimie des eaux. Première, le Griffon d'argile inc, Canada. 537p.

[28] MEKHALIF Faiza, « Réutilisation des eaux résiduares industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement », université du 20 Aout 1955, Skikda, mémoire de magistère, Algérie, 2009.

[29] Rodier J, « (L'analyse de l'eau » 9^{ème} édition, Dunod, Paris, 2009.

[30] Albert AMSELEM, Montréal, Le 26 Avril 2013 « étude des effets de la minimalisation des boues sur la méthanisation par digestion anaérobie », mémoire présenté à l'école de technologie supérieure, université du Québec.

[31] www.sante.gouv.fr/dossiers/cshpf/re_1095_desinfection.htm, consulté le (24/01/2016).

[32] Asano T, (1998), Wastewater reclamation and reuse, Water quality management library.

[33] Faby J.A, Brissaud F, (1997), L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau.

[34] Baumont S, Camard J P, Lefranc A, Franconi A, (2004), Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, pp 220.

[35] Mekkaoui, Y. et Hamdi, D. 2006. Etude de réutilisation des eaux usées traitées de la STEP de Touggourt dans l'irrigation. Mém. Ing. Génie des procédés. Génie de l'environnement. Univ. d'Ouargla. 60p.

[36] Afir D et Mezaoua, (1984), « Application et dimensionnement d'un procédé de

Coagulationfloculation pour le traitement des eaux résiduaires de la papeterie de Baba Ali

», Mémoire d'ingéniorat, école nationale de polytechnique.

[37] BOUMEDIENE M.A. (2013) Mémoire Bilan de suivi des performances de fonctionnement d'une station d'épuration à boues actives : Cas de la STEP Ain el Houtz, Diplôme de licence en hydraulique, Tlemcen.

[38] OMS, Etude parasitologie médicale, 2005: technique de base pour le laboratoire.

[39] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2003: Etude del'irrigation avec des eaux usées traitées: Manuel d'utilisation FAO irrigation and drainage papier.

[40] Sahnoun Mohamed ElAmine, 2015: Epuration des eaux usées du centre culturel islamique –Sidi Okba- par un filtre de macrophyte. Mémoire de Master en Hydraulique, option, Hydraulique Urbaine. Université Mohamed Khider. Bisekra.

[41] Rotbardt Alain, Rapport final: Réutilisation des eaux usées traitées. Perspectivesopérationnelles et recommandations pour l'action, Février 2011.

[42] Journal officiel algérien N°41,2012.

[43] ARNOLD JD., STEVAN J. (1977) Manuel de microbiologie de l'environnement. OMS., Genève. PP1996-1997.[29] FARUQUI N. (2003) L'irrigation avec les eaux usées traitées. Manuel d'utilisation. Bureau régional pour le proche orient et l'Afrique du nord. Caire egypte.68 p.

[44] FARUQUI N. (2003) L'irrigation avec les eaux usées traitées. Manuel d'utilisation. Bureau régional pour le proche orient et l'Afrique du nord. Caire egypte.68 p.

[45] BAHRI A. (1987) L'utilisation des eaux usées et des boues résiduaires en agriculture: l'expérience tunisienne. Compte rendu du séminaire sur les eaux usées et milieux récepteurs. Casablanca (Maroc), 9-11 Avril. pp. 1-19.

[46] LAZAROVA V. et BRISSAUD. F. (2007) Intérêts, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France. L'eau, l'industrie, les nuisances, no 299, p.29-39.

- [47] KESSIRA M. (2013) Politiques de soutien et cadre institutionnels. Valorisation des eaux usées épurées en irrigation. Synthèse internationale du projet sécurité d'utilisation des eaux usées en agriculture. Téhéran, Iran.
- [48] BAUMONT S, CAMARD J-P, LEFRANC A, FRANCONI A. Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France, France, (2005).
- [49] SAGGAI M, (2004), Contribution à l'étude d'un System d'épuration à plantes macrophytes pour les eaux usées de la ville de Ouargla. Mem. Mgister. Univ. Ouargla.64p.
- [50] BEKKOUCHE M., ZIDANE F, (2004), Conception d'une station d'épuration des eaux usées de la ville d'Ouargla par lagunage. Mem. Ing. Hydraulique saharienne. Univ. D'Ouargla.67p.
- [51] Briere F.G,(1994). Distribution et Collecte des eaux Edition de l'Ecole Polytechnique de Montréal.
- [52] Site http://www.hygiene_publique.gov.pdf/spip.php? Article 61
- [53] Régis Bourrier, Marc Satin, Béchir Selmi, (2010), « Guide technique de l'assainissement » (collecte-épuration-conception-exploitation) ,4^{ème} édition.
- [54] Léonard, A, Etude du séchage convectif des boues de station d'épuration suivi de la texture par micro-tomographie à rayons x,, Faculté des sciences appliquées, université de Liège, thèse de doctorat, Belgique, 2002.
- [55] www.cum.fr/station/mouvtaf.htm, consulté le (29/01/2016).
- [56] Mr. Yousfi Mustapha, soutenue le 24/10/2011, « Etude d'un séchoir solaire de boue » mémoire de master, université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen.
- [57] : D.H. W. A Direction de l'hydraulique wilaya d'Ain Defla, Etude du système d'épuration des eaux usées des villes de Khemis Miliana et Miliana, wilaya d'Ain Defla, 2010.
- [58] J. P. Bechac-P. Boutin-B. Mercier-P. Nuer, " Traitement des eaux usées", Eyrolles, 1984.
- [59] Station de Bordj Bou Arreridj : Mars 2017
- [60] Mohand Saïd Ouali: Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux. Place centrale de Ben-Aknoun Alger 05-2001.
- [61] Memento Thechnique Des Eaux: chap 09:prétraitement [595-605 pdf]

[62] Chee Yang Teh, Pretty Mori Budiman, Katrina Pui Yee Shak, Ta Yeong Wu, 2016, Recent Advancement of Coagulation–Flocculation and Its Application in Wastewater Treatment, 4363-4389.)

[63] Vilaginès, R, Eau, environnement et santé publique, 2ème édition, Parise, (2000).

[64] Satin, M., Bourrier, R., Selmi, B. Guide technique de l'assainissement, 4^{ème} édition, le moniteur référence technique, Parise, 2010.

[65] : Bongiovanni, J, J.-M., Traitement des boues résiduelles par l'association en série d'une déshydratation mécanique et d'un séchage thermique, Thèse de doctorat, Université de Pau et des pays de l'Adour (1998).

[66] Hatem Dhaouadi, (2008), « Traitement des eaux usées urbaines, les procédés biologiques d'épuration, université Virtuelle de Tunis.

[67] GUENDOUZZ et MEKKI N. 2018. Dimensionnement d'une station d'épuration pour la ville de Sidi – Aich (Béjaia) ; Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master académique en Hydraulique; Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 120p.

[68] Mimeche Leila, Etude de faisabilité de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés en milieu aride, Application à la région de Biskra, université Mohamed khider Biskra, Thèse et mémoire, Algérie, 2014.

[69] Betaouaf, N. (2012). Réutilisation des eaux usées dans l'agriculture urbaine et périurbaine au Maghreb arabe. Avantages et inconvénients (Memoire de Master). Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Algerie.

[70] Dahou Abderahim, Brek Adem, (2013), lagunage aéré en zone aride performance épuratoires cas de (région d'ouaregla). mémoire master académique. université de ouaregla.

[71] Mémoire : Etude de faisabilité de l'épuration des eaux usées par un lagunage naturel (cas de la région de M'rara).

[72] ONA, 2018

[73] Réunion Cadres Algérie, 2011

[74] ONA, fiche technique de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Maghnia.

[75] Notice de l'exploitation de la STEP (2013).

[76] RODIER, Analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 7ème édition, France, 1984.

[77] HADEF Djihad, H, M ; « Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'Oued de Boutane région de Khemis-MilianaW.AinDefla » Université de khemis Miliana, mémoire de fin d'étude, Algérie, 2016.

[78] M. Hadj sadok, A. Guessoum, H. Salhi, N. Tidjani, "Modélisation floue des actions de contrôle de la quantité de PAC dans un processus d'épuration des eaux", département de chimie industrielle JSTRE 2009.

[79] Benmoussa, S., & Gasmi, I. (2015). Etude de faisabilité de l'épuration des eaux usées par un lagunage naturel (Cas de la région de M'rara) (Memoire de Master). Université de Echahid Hama LakhdarEl Oued, Elouad.

[80] VILLEBRUN J. F. La déphosphatation biologique appliquée à la station d'épuration de Craon, Rapport de la DDAF de la Mayenne. Volume 2 : Critères d'hygiène et documentation à l'appui, Genève, Suisse, 1989.

[81] DERNAT M, ELMERICH P, POUILLOT M. Vers une optimisation de la déphosphatation physicochimique, L'Eau, l'Industrie, les Nuisances n°182-1994

[82] Tarmoul F., Sodi M ;2007 : Mémoire, « Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel ». Tribune de l'eau n°:563/3. Ed. CEBEDOC, p 27-32.

[83] BASSOMPIERRE Cindy, procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote a la validation de modèles. Thèse Doctorat Institut National Polytechnique De Grenoble, France, 2007.

[84] World Health Organization (WHO). 1987:Factors affecting treatment in ponds In Wastewater Stabilization pond: Principles of Planning and Practice, FMRO Technical Publication, 10, Alexandria.