



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université M'Hamed Bougara Boumerdes

Faculté de Technologie

Département de Génie des procédés

Mémoire de fin d'études

En vue d'obtention du diplôme de master en génie de l'Environnement

Option : Génie de l'Environnement

Thème

**Diagnostic du fonctionnement de la STEP de
REGHAIA par ACP avant et pendant le confinement**

Réalisé par

Melle GAHGAH CHAIMA

Melle TAZI HALA

Soutenu le : 27 Octobre 2020 devant le jury composé de :

Dr. M. Amitouche	MCA	UMBB	Président
Dr. A. Lefkir	MCA	ENSTP	Examineur
Dr F. Boumechhoure	MCB	UMBB	Examinatrice
Dr. H. Baloul	MCB	UMBB	Co-promoteur
Dr. R. Maachou	MCB	USTHB	Promotrice
Mr. A. BOUBEKEUR	Ingénieur	STEP Réghaia	Co-promoteur

Promotion 2019/2020

Remerciement

Nous remercions Dieu qui nous a donnés la force et la patience pour terminer ce travail.

Nous exprimons nos sincères remerciements :

*A nos **parents** pour leur contribution pour chaque travail que nous avons effectué.*

*A notre promotrice **M^{eme} Maachou.R** et notre Co-promoteur **Mr Baloul.H** pour son aide.*

Sans oublier l'ensemble des enseignant du département Génie des procédés.

*Un grand merci à **Mr Lefkire.A** pour ces orientations et ces conseils qui nous ont été très bénéfiques.*

*Sans oublier **Mr Ali Boubekour** qui nous a fournie tous les données nécessaires pour la réalisation de notre étude.*

Un grand merci aussi à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail à toutes les personnes chères à mon cœur : *A* mes très chers *parents* ; les personnes sans lesquelles je ne serais jamais arrivé à ce point, et ce en croyant en moi, en m'encourageant et en m'apportant leur soutien financier et moral tout au long de mes études. Merci pour vos sacrifices, dévouement et surtout de m'avoir fait autant confiance, de n'avoir jamais douté de mes capacités.

A mon fiancé *Adel* qui m'a beaucoup soutenu à lui grand plaisir.

A ma chère sœur *Salma*.

A mes chers amis : *Amal*, *Wafa*, et leurs familles.

A mon cher binôme et sa famille.

A tous mes chères de près ou de loin.

Gahgah chaïma

Dédicace

*En premier et en dernier avant et après tout, dans le bonheur et le malheur, merci **ALLAH** le tout puissant pour toute ses grâces et ses faveurs.*

Tout d'abord je dédie cet humble travail à mes très chers parents sans qui je ne serais pas jusqu'ici.

*A la mémoire de ma chère grande mère **O.Zohra** qui est toujours vivant dans notre coeur de Chacun d'entre nous, et que j'aimerais pour toujours. Que Dieu L'accueille dans son vaste paradis ;*

*A ma chère et unique sœur : **Riham**.*

*A mes chers frères : **Ahmed, Amine, Hicham** et petit prince **Mohammed**.*

*A tout mes cheres amies : **A.Maria, S.Meriem, CH.Meriem** et **B.Lamia** avec qui j'ai passé les plus beaux moments de vie.*

*A mon oncle **N.Rabah**.*

*A ma Binôme : **G.CHaima** et tout les amis du groupe **MGEV₁₈**.*

A toute personne chère à mon coeur, et à tous ceux et toutes celles qui me connaissent

Sans oublier mes enseignants qui m'ont soutenu durant toutes mes années d'études.

T.HALA

الملخص :

الهدف من هذا العمل هو الكشف عن الأعطال في محطة معالجة مياه الصرف الصحي في رغبة بناءا عن بعض مؤشرات الأداء. في هذا السياق ' تابعنا أداء محطة معالجة مياه الصرف الصحي خلال الفترة الممتدة من فيفري 2016 إلى سبتمبر 2020 , ثم قمنا بتركيز الضوء على الفترة من افريل 2019 إلى سبتمبر 2020. من اجل رؤية تأثير احتواء خصائص احمال الملوثات من المياه الخام و كذلك تباين نسبة التحلل البيولوجي (DCO/DBO5). اظهر تطبيق ACP على البيانات , مع الأخذ في الاعتبار البيانات المتاحة في المنبع و المصب في محطة المعالجة , عدم وجود علاقة بين إنتاجية التنقية و الاستهلاك من الطاقة.

الكلمات المفتاحية : محطة معالجة الصرف الصحي , تحليل المكونات الرئيسية (ACP) , الحماة المنشطة , معالجة مياه الصرف الصحي , الاحتواء , معايير التلوث , مؤشر التحلل البيولوجي .

Résumé :

Le présent travail a pour objectif la détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de REGHAIA en se basant sur quelques indicateurs de performance. Dans ce cadre nous avons suivi les performances de la STEP sur la période de Février 2016 à Septembre 2020, ensuite on a fait un zoom sur la période allant du mois d'Avril 2019 au mois de Septembre 2020. Afin de voir l'effet du confinement sur les caractéristiques des charges polluantes des eaux brutes ainsi que de la variation de leur rapport de biodégradabilité (DCO/DBO₅).

L'application de l'ACP sur les données de la station, tenant compte des données disponibles à l'amont et à l'aval de la station d'épuration a montré l'inexistence de corrélation entre les rendements d'épuration et la consommation d'énergie.

Mots clés : station d'épuration, l'analyse en composante principale (ACP), boues activées, traitement des eaux usées, confinement, paramètres de pollution, indice de biodégradabilité.

Abstract:

The objective of this work is to detect malfunctions at the REGHAIA wastewater treatment plant based on a few performance indicators. In this context, we followed the performances of the WWTP over the period from February 2016 to September 2020, and then we zoomed in the period from April 2019 to September 2020. In order to see the effect of containment on the characteristics of the pollutant loads of raw water as well as the variation of their biodegradability ratio (COD / BOD₅).

The application of the PCA on the data of the station, taking into account the data available upstream and downstream of the treatment plant, showed the non-existence of correlation between the purification yields and the consumption of energy.

Keywords: wastewater treatment plant, principal component analysis (PCA), activated sludge, wastewater treatment, containment, pollution parameters, biodegradability index.

Sommaire

sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale

Introduction	1
--------------------	---

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées

I.1. Introduction :	3
I.2. Origine des eaux usées :	3
I.2.1. Les eaux usées urbaines :	3
I.2.2. Les eaux usées industrielles :	3
I.2.3. Les eaux usées agricoles :	4
I.3. Caractéristiques des eaux usées :	4
I.3.1. Paramètre organoleptique :	4
I.3.1.1. Couleur :	4
I.3.1.2. Odeur :	4
I.3.2. Paramètres physico-chimiques :	4
I.3.2.1. Température :	4
I.3.2.2. Conductivité :	4
I.3.2.3. La turbidité :	5
I.3.2.4. Matières En Suspension (MES) :	5
I.3.2.5. Matières volatiles en suspension (MVS) :	5
I.3.2.6. Matières Minérales (MMS) :	5
I.3.2.7. La Demande Chimique en Oxygène (DCO) :	5

I.3.2.8.La Demande Biochimique en Oxygène (DBO) :	5
I.3.2.9.Le Potentiel d'Hydrogène (pH) :	6
I.3.2.10.L'Oxygène Dissous :	6
I.3.2.11.La biodégradabilité :	6
I.3.2.12.Matières Organiques (MO):	6
I.3.2.13.Azote :	6
I.3.2.14.Phosphore :	7
I.3.2.15.Métaux lourds :	7
I.3.3.Les paramètres bactériologiques :	8
I.3.3.1.Les coliformes totaux (CT) :	8
I.3.3.2.Les coliformes fécaux (CF) :	8
I.3.3.3.Les streptocoques fécaux :	8
I.4.La pollution des eaux usées :	10
I.4.1.Types de pollutions des eaux :	10
I.4.1.1.Pollution physique :	10
I.4.1.2.Pollution mécanique :	10
I.4.1.3.Pollution thermique :	10
I.4.1.4.Pollution radioactive :	10
I.4.1.5.Pollution chimique :	10
I.4.1.6.Pollution organique :	10
I.4.1.7.Pollution par l'azote :	10
I.4.1.8.Pollution par phosphore :	11
I.5.Réseau d'assainissement :	11
I.5.1. Définition :	11
I.5.2. Rôle :	11
I.5.3.L'assainissement collectif :	11
I.5.3.1.Réseaux d'assainissement unitaire :	11
I.5.3.2.Réseaux d'assainissement séparatifs :	12
I.6.Normes des rejets :	13

Chapitre II : Procédés de traitement des eaux usées

II.1. Introduction :	14
II.2. Les stations d'épuration :	14
II.2.1. Rôle d'une STEP :	14

II.2.2. Critères de choix d'un procédé d'épuration :	14
II.3.Procédés d'épuration des eaux usées :	15
II.3.1.Le prétraitement :	16
II.3.1.1.Le dégrillage :	16
II.3.1.2. La dilacération :	16
II.3.1.3.Le tamisage :	16
II.3.1.4.Le dessablage :	17
II.3.1.5.Le dégraissage-déshuilage :	17
II.3.2.Les traitements primaires :	18
II.3.2.1. La décantation :	18
II.3.2.2.La coagulation-floculation :	19
II.3.3.Type des procédés du traitement secondaire (biologique) :	19
II.3.3.1. Procédés intensifs :	19
II.3.3.2.Procédés extensifs (Culture fixée) :	21
II.3.4.Traitement tertiaire :	23
II.3.4.1.Elimination de la pollution azotée :	23
II.3.4.2.Elimination du phosphore :	24
II.3.4.3.Désinfection :	25
II.3.5.Traitements complémentaires :	25
II.3.5.1.Elimination et traitement des odeurs :	25
II.3.5.2.Caractéristiques et traitement des boues activées :	25
II.3.5.3.Origine des boues :	26
II.3.5.4.Principe :	26
II.3.5.5.Les objectifs de traitement des boues :	27

Chapitre III : Représentation de la STEP de REAIA

III. Introduction	29
III.1. Présentation de la zone d'étude :	29
III.1.1. Localisation et objectif :	29
III.1.2. Capacité du traitement des eaux usées :	29
III.1.3.Les étapes de traitement de la STEP de Réghaia :	29
III.1.3.1. Prétraitement :	30
III.1.3.2. Traitement primaire :	31
III.1.3.3. Traitement secondaire :	32

III.1.3.4. Traitement tertiaire filtration :	35
III.2. caractéristiques des eaux à traiter	36
III.3.. Présences toxiques :	38
III.4. Caractéristiques hydrauliques et morphométriques du lac de Réghaia	38
III.4.1. Position géographique	38
III.4.2. Données morphométriques.....	39

Chapitre IV : Analyse statistique de données par L'ACP

IV.1. Introduction :	40
IV.2. Description de la méthode :	40
IV.3. Définitions :	40
IV.3.1. Notions d'individu et de caractère :	40
IV.3.2. Définition algébrique :	41
IV.3.3. Définition géométrique :	42
IV.4. Formulation mathématique du problème :	42
IV.4.1. Optimisation du problème :	43
IV.4.2. Formulation matricielle :	44
IV.4.3. Procédé d'application de l'ACP :	45
IV.4.3.1. Calcul de la matrice des covariances :	45
IV.4.3.2. Recherche des axes principaux :	45
IV.4.3.3. Calcul des composantes principales :	47
IV.4.4. Principaux résultats :	48
IV.4.5. Représentation graphique :	48
IV.5. Application de l'ACP :	48
IV.5.1. Influence de la transformation des variables	49
IV.5.1.1. Variable centrée	49
IV.5.1.2. Variable réduite :	49
IV.5.1.3. Variable centrée réduite	49
IV.6. CONCLUSION	53
IV.7. Application et interprétation des résultats :	54
IV.7.1. ACP donnée Brute	54
IV.7.1.1. Avant rotation :	54
IV.7.1.2. Après la rotation :	58
IV.7.2. Diagnostic de processus biologique par ACP	59

VI.8.Conclusion :	60
-------------------	----

Chapitre V : Résultats et Interprétation

V.1. Description statistique des différents paramètres de pollution :	62
V.1.1. Débit :	62
V.1.2. Température :	62
V.1.3. Potentiel d'hydrogène (pH) :	63
V.1.4. La conductivité électrique :	63
V.5. Les matières en suspension (MES) :	64
V.1.6. La demande biologique en oxygène (DBO ₅) :	65
V.1.7. La demande chimique en oxygène (DCO) :	66
V.1.8. Le phosphore total (Pt) :	67
V.1.9. L'azote total (NT) :	68
V.1.10. Ammonium (NH ₄ ⁺) :	68
V.7.11. Le nitrite (NO ₂ ⁻) :	69
V.1.12. Le Nitrate (NO ₃ ⁻) :	70
V.1.13. L'Azote Kjeldahl (NTK) :	71
V.1.14. Azote Organique (N org) :	72
V.1.15. Les évaluations des rendements des paramètres de pollution en fonction d'énergie	72
V.2 Suivi des performances de la station d'Avril 2019 à Septembre 2020 (période avant confinement et période de confinement) :	75
V.2.1. les matières en suspension (MES) :	75
V.2.2 : La charge polluante :	76
V.2.2.1. La demande biochimique en oxygène (DBO ₅) :	76
V.2.2.2. La demande chimique en oxygène (DCO) :	77
V.2.3. Les formes azotées	78
V2.3.1. Azote totale :	78
V.2.3.2. Azote ammoniacal :	79
V.2.3.3. Azote nitrique (NO ₃ ⁻) :	80
V.2.3.4. Azote nitreux (NO ₂ ⁻) :	81
V.2.4. Le phosphore total	82
V.2.4.1. Le phosphore total :	82
V.3. Comparaison de la charge polluante traitée par la station avant et pendant le confinement :	83
V.3.1 Etude du rapport (DCO/DBO) entre la période de confinement et de non confinement.	84

V.3.2 Etude de la quantité d'énergie consommée entre la période de confinement et avant le confinement	85
--	----

Conclusion Générale

Conclusion	86
------------------	----

Références bibliographiques

Annexes

Liste des figures

Figure II.1 : Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration.....	15
Figure II.2 : Schéma d'un pré traitement.....	18
Figure II.3 : Schéma d'un disque biologique.....	22

Chapitre II

Figure III.1 : Bassin d'orage.....	30
Figure III.2 : Les dégrilleurs de la station dépuration de REGHAIA.....	31
Figure III.3 : Dessablage-dégriassage.....	31
Figure III.4 : Décanteur primaire.....	32
Figure III.5 : Bassin d'aération.....	33
Figure III.6 : Clarificateur.....	34
Figure III.7 : Cuve de stockage du FeCl_3	34
Figure III.8: filtre vide et plain	35
Figure III.9 : Assainissement de la zone Nord –ouest de la wilaya de Boumerdès	36

Chapitre IV

Figure IV.1: représentation graphique des axes valeurs propre	55
Figure IV.2 : cercle de corrélation sur les axes F1et F2	56
Figure IV.3. : Cercle de corrélation sur les axes F1et F3	56
Figure IV.4 : cercle de corrélation sur les axes F2et F3	57
Figure IV.5 : Projection sur les axes F1et F	57
Figure IV.6 : Projection sur les axes F1et F3	57
Figure IV.7 : Projection sur les axes F2 et F3	58
Figure IV.8 : Projection sur les axes D1 et D3	59
Figure IV.9 : Projection sur les axes D1 et D3	59
Figure IV.10 : Représentation graphique des axes valeurs propres	60
Figure IV.11: Projection sur les axes F1etF3	60

Figure IV.12 : Projection sur les axes F2etF3	60
--	-----------

Chapitre V :

Figure V.1 : La variation de Débit de l'eau brute en fonction du temps (novembre 2016 à septembre 2020).....	62
Figure V.2: La variation de la T (°C) de l'eau brute en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).	62
Figure V.3: La variation de pH de l'eau brute en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).....	63
Figure V.4 : La variation de la conductivité électrique de l'eau brute en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).	63
Figure V.5.1 : La variation de MES de l'eau brute en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).	64
Figure V.5.2 : La variation de MES de l'eau épurée en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).....	64
Figure V.6.1 : La variation de DBO₅ de l'eau brute en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).....	65
Figure V.6.2 : La variation de DBO₅ de l'eau épuré en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).	65
Figure V.7.1 : La variation de DCO de l'eau brute en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).....	66
Figure V.7.2 : La variation de DCO de l'eau épurée en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).....	66
Figure V.8.1 : La variation de Pt de l'eau brute en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).....	67
Figure V.8.2 : La variation de Pt de l'eau épurée en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).....	67
Figure V.9.1: évolution journalière de concentration en NT de l'eau brute à l'entrée de la STEP de REGHAIA des années (février 2016 à septembre 2020).....	68
Figure V.9.2: évolution journalière de concentration en NT de l'eau épurée à la sortie de la STEP de REGHAIA des années (février 2016 à septembre 2020).	68
Figure V.10.1 : évolution journalière de concentration en NH₄⁺ de l'eau brute à l'entrée de la STEP de REGHAIA (mars 2016 à septembre 2020).....	68

Figure V.10.2 : évolution journalière de concentration en NH_4^+ de l'eau épurée à la sortie de la STEP de REGHAIA (mars 2016 à septembre 2020).....	69
Figure V.11.1 : évolution journalière de concentration en NO_2^- de l'eau brute à l'entrée de la STEP de REGHAIA (février 2016 à septembre 2020).....	69
Figure V.11.2 : évolution journalière de concentration en NO_2^- de l'eau épurée à la sortie de la STEP de REGHAIA (février 2016 à septembre 2020).....	70
Figure V.12.1 : évolution journalière de concentration en NO_3^- de l'eau brute à l'entrée et de la STEP de REGHAIA (février 2016 à septembre 2020).....	70
Figure V.12.2 : évolution journalière de concentration en NO_3^- de l'eau épurée à la sortie de la STEP de REGHAIA (février 2016 à septembre 2020).	71
Figure V.13.1 : évolution journalière de concentration en NTK de l'eau brute à l'entrée de la STEP de REGHAIA (mars 2016 à septembre 2020).	71
Figure V.13.2 : évolution journalière de concentration en NTK de l'eau épurée à la sortie de la STEP de REGHAIA (mars 2016 à septembre 2020).	71
Figure V.14.1 : évolution journalière de concentration en N org de l'eau brute à l'entrée de la STEP de REGHAIA (mars 2016 à septembre 2020).	72
Figure V.14.2 : évolution journalière de concentration en Norg de l'eau épurée à la sortie de la STEP de REGHAIA (mars 2016 à septembre 2020).....	72
Figure V.15.1 : Evaluation de RN DBO5 en fonction d'Energie	73
Figure V.15.2 : Evaluation de RN DCO en fonction d'Energie	73
Figure V.15.3 : Evaluation de RN MES en fonction d'Energie.....	74
Figure V.15.4 :évaluation d'énergie en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).....	74
Figure V.16.1 : La variation de MES brute en fonction du temps (l'année Avril 2019 à septembre 2020).....	75
Figure V.16.2 : La variation de MES épurée en fonction du temps (l'année Avril 2019 à septembre 2020)	75
Figure V.17.1 : La variation de la DBO ₅ brute en fonction du temps (l'année Avril 2019 à septembre 2020).....	76
Figure V.17.2 : La variation de la DBO ₅ épurée en fonction du temps (l'année Avril 2019 à septembre 2020).....	76
Figure V.18.1 : La variation de la DCO brute en fonction du temps (l'année Avril 2019 à septembre 2020).....	77

Figure V.18.2 : La variation de la DCO épurée en fonction du temps (l'année Avril 2019 à septembre 2020).....	77
Figure V.19.1 : La variation de l'azote total brute en fonction du temps.....	78
Figure V.19.2 : La variation de l'azote total épurée en fonction du temps.....	78
Figure V.20.1. : La variation de l'azote ammoniacal brute en fonction du temps.....	79
Figure V.20.2. : La variation de l'azote ammoniacal épurée en fonction du temps.....	79
Figure V.21.1 : La variation de l'azote nitrique brute en fonction du temps.....	80
Figure V.21.2 : La variation de l'azote nitrique épurée en fonction du temps.....	80
Figure V.22.1 : La variation de l'azote nitreux brute en fonction du temps	81
Figure V.22.2 : La variation de l'azote nitreux épurée en fonction du temps.....	81
Figure V.23.1 : La variation de phosphore totale brute en fonction du temps.....	82
Figure V.23.2 : La variation de phosphore totale épurée en fonction du temps.....	82
Figure V.24.1 : La variation de MES en fonction du temps entre les années 2019 et 2020 (période de confinement).....	83
Figure V.24.2 : La variation de la DBO ₅ en fonction du temps entre les années 2019 et 2020 (période de confinement).....	83
Figure V.24.3 : La variation de la DCO en fonction du temps entre les années 2019 et 2020 (période de confinement).....	84
Figure V.25. : Evolution du rapport de biodégradabilité par mois durant la période du confinement avec l'année 2019.....	85
Figure V.26 : Evolution de la consommation d'énergie de la STEP par mois durant la période du confinement (Avril à Aout) avec l'année 2019.....	85

Liste des tableaux

Tableau .I.1 : Les valeurs limitées maximales des paramètres de rejet	13
Tableau.III.1 : La qualité des effluents bruts traités dans la STEP de Réghaia.....	36
Tableau.III.2: Les rejets urbains et industriels	37
Tableau.III.3 : Concentration De La Charge Polluante (Brute-Epurée)	37
Tableau. III.4 : Les principaux toxiques potentiels acheminés vers la station d'épuration.....	39
Tableau IV.1 : la matrice de corrélation	54
Tableau IV.2 : variance totale expliquée les valeurs propres	54
Tableau IV.3 : Corrélation entre les variables et les facteurs	55
Tableau IV.4 : Corrélations entre les variables et les facteurs après rotation	58
Tableau IV.5 : La matrice de corrélation.....	59
Tableau IV.6 : Variance totale expliquée les valeurs propres	59
Tableau V.3.1 : Le rapport de biodégradabilité des eaux brutes entre la période de non confinement 2019 et de confinement 2020.....	84

LISTE DES ABREVIATIONS

EB : Eau brute.

EE : Eau épurée.

ED : Eau décanté.

OMS : Organisation mondiale de la santé.

STEP : Station d'épuration.

DBO₅ : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours.

DCO : Demande chimique en oxygène.

MES : Matières en Suspensions.

MMS : Matière minérale en suspension.

MVS : Matières volatile en Suspensions.

MO : Matière organique.

CT : Coliformes totaux.

CF : Coliformes fécaux.

N : Azote.

NT : Azote total.

NTK : Azote kjeldahl=N-N organique + N-NH₄.

NO₂⁻ : Nitrite.

NO₃⁻ : Nitrate.

P : Phosphore.

Pt : Phosphore total.

pH : potentiel d'hydrogène.

UV : ultra-violet.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

O₃ : Ozone.

Introduction

Introduction

L'eau constitue un élément essentiel dans la vie et l'activité humaine. Dans le monde présent, l'eau participe à toutes les activités quotidiennes notamment, domestiques, industrielles et agricoles ce qui la rend un élément récepteur exposé à tous les genres de pollution.

La pollution des eaux est devenue un des problèmes environnementaux les plus critiques suite à l'accroissement démographique dans la majorité des zones urbaines dans plusieurs pays et régions du monde. Une des conséquences directes à ce problème, l'augmentation des décharges publiques contrôlées et des rejets domestiques et industriels non contrôlées ont détérioré progressivement la qualité de l'eau. Les contraintes d'épuration, de plus en plus strictes, exigent l'épuration d'un nombre important de polluants (matières organiques, minérales, etc.) avec une dépense énergétique rationnelle.

La prise de conscience des problèmes environnementaux causés par les rejets des stations d'épuration par boue activée et la volonté d'améliorer et de préserver la qualité des milieux récepteurs a entraîné l'adoption de normes réglementaires plus strictes. Le respect des normes de rejet, d'une part, et la surconsommation d'énergie conséquente (Marsili, 1989), d'autre part, constituent l'enjeu primordial des gestionnaires des stations d'épuration. Ainsi, même si l'objectif principal des services d'épuration reste, et doit rester, le traitement des effluents rejetés dans les milieux récepteurs, la réduction de la consommation énergétique devient progressivement un sujet d'intérêt. Il est connu que la part la plus importante de la consommation énergétique est due à l'aération du bassin, soit par insufflation, soit par acté-rotors. Pour une station de grande taille, la consommation énergétique de l'aération représenterait 60 % de la consommation (Fernandez et al, 2011 ; Rieger et al, 2010 ; Duchène et al, 2006). La durée quotidienne de cette aération est généralement déterminée soit par une simple horloge, soit assujettie à une concentration d'oxygène dissous. Dans les deux cas, on ne considère finalement pas vraiment les besoins réels de la biomasse épuratrice. Par conséquent, et dans un souci louable d'efficacité, il est fréquent que l'aération soit trop importante. C'est un moindre mal car si une trop longue aération n'aura pour conséquence qu'une dépense inutile.

Dans le but de caractériser le rejet de la STEP, une analyse en composante principale a été appliquée, en identifiant les relations linéaires existantes parmi les différentes variables du système, en utilisant les données d'entrée et de sortie du système, et une caractérisation du processus a été étudiée.

Pour une meilleure présentation du présent travail, le manuscrit est structuré en 5 chapitres.

Introduction générale

Une généralité sur les eaux usées ainsi que les différents procédés de traitement des eaux usées sont donnés dans le premier et le deuxième chapitre respectivement.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation de la STEP de REGHAIA

Le quatrième chapitre comporte une description de l'analyse en composante principale (ACP). Le principe, de point de vue algébrique, est de définir les relations entre les paramètres de pollution contenus dans la matrice de donnée et pour réduire la dimension des paramètres de pollution. Son objectif essentiel est de fournir des outils simples et lisibles de représentation des informations traitées, permettant de faire ressortir des données brutes les éventuels liens existant entre les variables (en terme de corrélation).

L'application de l'ACP sur les données de la station pilote, tenant compte des données disponibles à l'amont et à l'aval de la station d'épuration ont été présentées dans ce chapitre.

Le cinquième chapitre on l'a nommé résultats et interprétation, il concerne le suivi des performances de la STEP sur la période de Février 2016 à Septembre 2020, ensuite on a fait dans la deuxième partie de ce chapitre un zoom sur la période allant du mois d'Avril 2019 au mois de Septembre 2020.

La troisième partie du cinquième chapitre a été consacrée à une étude comparative entre la période allant du mois d'Avril au mois de Septembre de l'année 2019 avec ceux de l'année 2020, afin de voir l'effet du confinement sur les caractéristiques des charges polluantes des eaux brutes ainsi que de la variation de leur rapport de biodégradabilité (DCO/DBO₅).

Enfin, une conclusion générale, dans laquelle on a fait valoir notre étude de recherche, tout en précisant la méthode suivie et l'objectif principal de cette étude.

Chapitre I

Généralité sur les eaux usées

I.1. Introduction :

Les eaux usées sont des liquides de composition hétérogène, chargées en matières minérales ou organiques, pouvant être en suspension ou en solution, dont certains peuvent avoir un caractère toxique.[1]

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. [2]

I.2. Origine des eaux usées :

La plupart des effluents sont des mélanges très complexes dont la composition varie suivant leur provenance : industrielle, agricole et urbaine.

I.2.1. Les eaux usées urbaines :

Elles se répartissent en eau ménagère qui proviennent des rejets domestiques (salle de bain, cuisine, toilettes...), elles sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants et de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.

Les eaux de pluie ou de ruissellement provenant du lavage de l'atmosphère et du lessivage des sols de voirie et de toute surface imperméable (routes, chemins de fer, parkings, surfaces bâties). Bien que longtemps considérée comme propre, l'eau pluviale est en fait relativement polluée. L'origine de cette pollution peut provenir des gaz ou solides en suspension rejetés dans l'atmosphère par les véhicules, les usines ou les centrales thermiques. Ces polluants (oxyde de carbone, dioxyde de soufre, poussière...) sont envoyés vers le sol à la moindre averse. Lorsqu'elle ruisselle, l'eau de pluie a un second effet nocif : elle transporte les hydrocarbures, les papiers, les plastiques et les débris végétaux accumulés sur la terre et les toitures. De plus, dans certains systèmes d'assainissement notamment le système unitaire les eaux usées domestiques sont mélangées avec les eaux pluviales dans le même réseau ce qui provoque une pollution systématique de ces dernières.

I.2.2. Les eaux usées industrielles :

Le degré et la nature de la pollution générée par des rejets industriels varient suivant la spécificité de chaque activité industrielle. En plus des matières organiques et azotées, elles sont chargées en différentes substances chimiques, organiques et métalliques selon leurs origines. Certains rejets troublent la transparence et l'oxygénation de l'eau ; ils peuvent avoir un effet nocif sur les organismes vivants et nuire au pouvoir auto-épuration de l'eau. Ils peuvent causer aussi l'accumulation de certains éléments dans la chaîne alimentaire (métaux, pesticides, éléments radioactif...).

I.2.3. Les eaux usées agricoles :

Ce type de pollution s'intensifie depuis que l'agriculture est entrée dans un stade d'industrialisation. Les pollutions d'origine agricole englobent à la fois celles qui sont liées aux cultures (pesticides et engrais) et à l'élevage. Néanmoins, le problème de la pollution agricole est un peu différent, dans la mesure où cette source de pollution arrive accidentellement et indirectement à la station. C'est le cas en particulier des engrais et pesticides qui passent d'abord à travers les milieux naturels (nappes phréatiques, rivières...). C'est aussi le cas des déchets solides issus des industries agroalimentaires et des concentrations des élevages qui entraînent un excédent de déjections animales par rapport à la capacité d'absorption des terres agricoles ; celles-ci, sous l'effet du ruissellement de surface et de l'écoulement souterrain, enrichissent les cours d'eau et les nappes souterraines en dérivés azotés et constituent aussi une source de pollution bactériologique.

I.3. Caractéristiques des eaux usées :

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique, etc.). Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques, ces substances peuvent être classées en trois groupes : paramètre organoleptique, paramètres physico-chimiques et les paramètres bactériologiques.

I.3.1. Paramètre organoleptique :**I.3.1.1. Couleur :**

La couleur des eaux usées résiduelles industrielles est en général grise, signe de présence de matières organiques dissoutes, MES, du fer ferrique précipité à l'état d'hydroxyde, du fer ferreux lié à des complexes organiques et de divers colloïdes.

I.3.1.2. Odeur :

Les eaux résiduelles industrielles se caractérisent par une odeur. Toute odeur est pollution qui est due à la présence de matières organiques en décomposition. [3]

I.3.2. Paramètres physico-chimiques :**I.3.2.1. Température :**

C'est un paramètre souvent négligé dans les collecteurs urbains, mais qui devrait être plus souvent mesuré surtout dans le cas de rejets industriels dans le réseau. Le fonctionnement de certains ouvrages d'épuration est très sensible à des températures trop élevées, ainsi tout rejet doit être inférieur à 30° C.

I.3.2.2. Conductivité :

C'est une mesure simple, qui se pratique avec une électrode et fournit une indication précise sur la concentration totale en sels dissous. Par comparaison avec la conductivité de l'eau potable, il est ainsi possible de juger rapidement si des apports importants, en particulier industriels, ont lieu dans le réseau d'assainissement. [4]

I.3.2.3.La turbidité :

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques...etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace. La turbidité peut être évaluée par un certain nombre de méthodes qui sont pratiquées suivant les nécessités sur le terrain ou au laboratoire. [5]

I.3.2.4.Matières En Suspension (MES) :

Les MES représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal, donc qui sont retenues par un filtre. Les MES, qui comportent des matières organiques (MVS) et minérales (MMS), constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel. [6]

Les MES s'expriment par la relation suivant :

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

I.3.2.5.Matières volatiles en suspension (MVS) :

Elles représentent la fraction organique de MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant 2 heures. La différence de poids entre les MES à 105°C et les MES à 525 C donne la « perte au feu » et correspond à la teneur en MVS en (mg/l) d'une eau.

I.3.2.6.Matières Minérales (MMS) :

Elles représentent la 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. elles représentent la différence entre les matières en suspension (MES) et les matières volatiles (MVS) et correspondent à la présence de sel, et de silice.

L'abondance des matières minérales en suspension dans l'eau augmente la turbidité, réduit la luminosité et par ce fait abaisse la productivité d'un cours d'eau, entraînant ainsi une chute en oxygène dissous et freinant les phénomènes photosynthétiques qui contribuent à la ré-aération de l'eau. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte proportion de matières organiques consommatrices d'oxygènes. [7]

I.3.2.7.La Demande Chimique en Oxygène (DCO) :

La DCO est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau dans des conditions opératoires définies. Le rapport DCO/DBO5 renseigne sur la qualité de la biodégradation. Un rapport DCO/DBO5 inférieur à 2,5 indique que ces eaux sont susceptibles de subir un traitement biologique.

I.3.2.8.La Demande Biochimique en Oxygène (DBO) :

La DBO représente la quantité d'oxygène dépensée par les phénomènes d'oxydation chimique, d'une part, et d'autre part la dégradation des matières organiques par voie aérobie nécessaire à la destruction des composés organiques. En effet, dans un effluent complexe, ces deux types d'oxydation se superposent, d'où le nom biochimique. Notons que dans les eaux usées domestiques, ce sont les phénomènes biologiques qui prédominent. [8]

I.3.2.9.Le Potentiel d'Hydrogène (pH) :

Le pH permet d'exprimer le degré d'acidité des eaux usées. Sa mesure est très importante pour juger le bon fonctionnement d'une étape de traitement. [9]

I.3.2.10.L'Oxygène Dissous :

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune 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. La concentration en oxygène dissous est exprimée en mg O₂/l

I.3.2.11.La biodégradabilité :

La biodégradabilité d'une eau usée c'est le rapport DCO/DBO, c'est à dire la faculté de transformation de la matière organique en matière minérale, admissible par le milieu naturel. Pour un effluent à dominante domestique, ce rapport est généralement compris entre 2 et 3 (la matière organique est biodégradable). Pour les effluents d'industries agroalimentaires, il est inférieur, de l'ordre de 1,5 à 2, ce qui traduit une meilleure biodégradabilité. Enfin, lorsqu'il est supérieur à 3 cela traduit l'apport d'un effluent industriel plus ou moins difficilement biodégradable. [10]

Un rapport très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteurs de la croissance bactérienne, tels que : les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures...etc.

La valeur du rapport détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique, sinon on applique un traitement physico-chimique. [11]

I.3.2.12.Matières Organiques (MO):

Ce sont les substances composées de chaînes d'atomes de carbone qui constituent les êtres vivants. Le carbone (C) et l'oxygène (O) constituent 95% de la matière organique, azote (N), phosphore (P), soufre (S) et hydrogène (H) environ 5%, les autres éléments sont en quantités infimes.

La matière organique est plus ou moins facilement biodégradable. Les lignines et certains lipides comme les hydrocarbures sont dégradés très lentement. Au contraire, glucides et acides aminés se dégradent rapidement. Mais cette dégradation par des bactéries engendre une surconsommation d'oxygène et donc une baisse très importante de la quantité d'oxygène dissous dans l'eau. [12]

I.3.2.13.Azote :

Il est mesuré sous différentes formes, les types d'analyses dépendant des formes chimiques recherchées, on peut les diviser en deux grandes familles (pour ce qui concerne l'épuration) : l'azote réduit et l'azote oxydé. Le premier correspond à l'azote organique que l'on trouve dans les eaux usées provenant notamment des déchets métaboliques (protéine, urée) d'origine humaine. L'azote oxydé se retrouve de façon marginale dans les eaux usées, il s'agit des nitrites (NO₂-) et des nitrates (NO₃-), produits de la transformation chimique (oxydation) de l'azote réduit.

I.3.2.14. Phosphore :

Il peut se retrouver sous forme minérale ou organique. Ces différents composés se trouvent soit à l'état dissous dans la phase liquide, soit fixés sur les matières en suspension. Dans les eaux résiduaires urbaines le phosphore provient du métabolisme et des détergents, mais cette dernière origine tend à diminuer par la réduction des composées phosphorées dans les lessives. [13]

Effets des nitrates et des phosphates sur l'environnement :

L'effet principal des ions nitrates sur l'environnement contribue et favorise la bonne croissance végétale. Cet impact, qui peut apparaître bénéfique dans un premier temps, s'avère désastreux pour les écosystèmes aquatiques lorsque la prolifération végétale est poussée à l'excès. Le processus d'eutrophisation, qui correspond à un enrichissement naturel des milieux aquatiques en éléments nutritifs et à une augmentation de la productivité végétale, est alors considérablement accéléré. L'eutrophisation du milieu nécessite la présence d'éléments nutritifs (carbone, azote, phosphore) indispensables à la croissance des végétaux aquatiques. Le carbone est toujours présent à des concentrations suffisantes pour permettre le développement végétal. En milieux aquatiques, la croissance des végétaux est limitée par l'élément dont la concentration dans le milieu est la plus faible par rapport aux besoins des végétaux. Cet élément limitant est généralement le phosphore ou parfois l'azote. C'est donc en rejetant de l'azote et/ou du phosphore dans l'eau que l'activité anthropique va induire une accélération de l'eutrophisation. Lorsque les concentrations en azote et phosphore du milieu aquatique sont élevées, la production d'algues microscopiques (phytoplancton) et de végétaux fixés (macrophytes) est exacerbée. La quantité de matière organique présente dans le milieu aquatique s'accroît démesurément. A la mort de ces végétaux, la matière organique se décompose en consommant tout l'oxygène de la colonne d'eau, induisant ainsi l'anoxie du milieu aquatique. La plupart des animaux vivants dans ces milieux ne peuvent pas survivre dans une eau dépourvue d'oxygène. L'écosystème aquatique est ainsi conduit à disparaître. Si l'on utilise souvent le terme d'eutrophisation pour décrire cet état de dégradation des milieux aquatiques, le terme d'eutrophisation accélérée apparaît plus précis. Une charge supérieure à 25 mg/L NO_3^- entraîne un développement indésirable d'algues conduisant à l'eutrophisation du milieu (**Métahri M S, 2012**).

D'autre type de paramètres de pollution peuvent être existé, qu'on ne dispose pas d'analyse au niveau de la station, citons à titre d'exemple ;

I.3.2.15. Métaux lourds :

Pendant de nombreuses années, les industries situées à proximité de cours d'eau (pour des raisons de refroidissement de processus, de transport) y ont rejeté leurs effluents. A ce phénomène (de plus en plus limité par l'installation de stations d'épuration au sein même des sites industriels), il faut ajouter l'érosion et le ruissellement de l'eau sur les sols et chaussées. L'eau constitue un élément fondamental en matière de pollution, puisque dans le cas des métaux, comme pour d'autres composés, celle-ci va favoriser de nombreuses réactions chimiques. L'eau transporte les métaux lourds, et les insère dans les chaînes alimentaires (algues, poisson, etc.).

En raison de leurs différentes caractéristiques spécifiques, les métaux lourds ont été largement utilisés dans les nouvelles technologies (métallurgiques et électroniques). En conséquence, leurs sources anthropiques sont vastes et leur introduction est plutôt récente dans l'environnement. Parmi les sources anthropiques de métaux lourds, nous pouvons signaler : l'activité minière, l'industrie métallurgique et sidérurgique, les engrais et pesticides appliqués dans la culture des sols, les incinérateurs et cendres d'incinération des déchets, les déchets médicaux, les déchetteries de villes, les émissions des usines et moteur à explosion, les effluents des égouts et boues d'épuration. Toutefois, il semble que la source anthropique principale de métaux lourds pour l'environnement est celle produite par l'activité minière et les industries associées, et elle a été aussi identifiée comme un des premiers impacts environnementaux provoqué par l'homme (**Aranguren, 2008**).

Contrairement aux polluants organiques, les métaux ne peuvent pas être dégradés biologiquement.

I.3.3. Les paramètres bactériologiques :

I.3.3.1. Les coliformes totaux (CT) :

Les bactéries coliformes existent dans les matières fécales mais se développent également dans les milieux naturels, les eaux traitées ne doivent pas contenir de coliformes, cependant l'absence de ces derniers ne signifie pas nécessairement, que l'eau ne présente pas un risque pathogène.

I.3.3.2. Les coliformes fécaux (CF) :

Ils sont capables de se développer à 44°C, et permettent d'estimer le risque épidémiologique dans l'eau. Il faut en toute logique tenir compte de la présence plus ou moins importante des germes pathogènes. La principale bactérie fécale est *Escherichia coli*. [14]

I.3.3.3. Les streptocoques fécaux :

Ces bactéries appartiennent à la famille de streptococcaceae, au genre streptococcus et au groupe sérologique D de Lance Field. Elles sont définies comme étant des Cocci sphérique légèrement ovales, gram positifs. Ils se disposent le plus souvent en diplocoques ou en chaînettes, se développent le milieu à 37°C et ils possèdent le caractère homoférmementaire avec production de l'acide lactique sans gaz. Ils sont des témoins de contamination fécale, assez résistant y compris dans les milieux salés. Ils peuvent aussi se multiplier dans les milieux présentant des pH allant jusqu'à 9.6, on peut par conséquent les utiliser comme indicateurs d'organismes pathogène qui ont une résistance similaire aux pH élevés. [15]

a) Les bactéries :

Les bactéries sont des microorganismes les plus communément rencontrés dans les eaux usées (Toze, 1999). Les eaux usées urbaines contiennent environ 10^6 à 10^7 bactéries/100ml dont la plupart sont *Proteus* et entérobactéries, 10^3 à 10^4 streptocoques et 10^2 à 10^3 clostridiiums. La concentration en bactéries pathogène est de l'ordre de 10^4 germes/l. parmi les plus détectées sont retrouvées, les salmonella, dont celles responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Les coliformes thermo tolérants sont des germes témoins de contamination fécale communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau.

b) Les virus :

Les virus sont des parasites intracellulaires obligés qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprises entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées restent difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous-estimation de leur nombre réel. Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal. Parmi les virus entériques humaines les plus nombreux il faut citer les entérovirus (exemple : polio), les rota virus, les rétrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A. Il semble que les virus soient plus résistants dans l'environnement que les bactéries. Aulicino et al (1996), ont constaté que, au cours de processus de traitement des eaux usées, les virus sont plus difficiles à éliminer que les bactéries classiques couramment utilisées comme indicateurs de la qualité bactériologique des eaux. De plus les auteurs ont détecté plusieurs virus dans les milieux récepteurs recevant des effluents traités tels que les rivières et les étangs. D'autre part, Blanc et Nasser (1996), ont constaté que les virus sont plus persistants, à température ambiante, dans un sol irrigué par des EUT que certains autres bactériophages.

c) Les protozoaires :

Au cours de leur cycle vital, les protozoaires passent par une forme de résistance, les kystes, qui peuvent être véhiculés par les eaux résiduaires. Ces parasites sont très persistants. Ainsi, selon les conditions du milieu, ces organismes peuvent survivre plusieurs semaines voire même plusieurs années (Campos, 2008). Plusieurs protozoaires pathogènes ont été identifiés dans les eaux usées (Gennaccaro et al, 2003). Parmi les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne, *Giardia lamblia* et *Cryptosporidium parvum* (Toze 1997, in Toze, 2006). En revanche, 10 à 30 kystes, est une dose suffisante pour causer des troubles sanitaires (Campos, 2008).

d) Les helminthes :

Les helminthes sont des parasites intestinaux, fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires. Dans les eaux usées urbaines, le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et 10^3 germes/l. beaucoup de ces helminthes ont des cycles de vie complexes comprenant un passage obligé par un hôte intermédiaire (Toze, 2006). Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont des œufs. Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires. En effet, la persistance de ces organismes à différentes conditions environnementales ainsi que leur résistance à la désinfection permettent leur reproduction, ce qui constitue leur risque potentiel (Campos, 2008). Les helminthes pathogènes rencontrés dans les eaux usées sont : *Ascaris lumbricoides*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichiura*, *Taenia saginata*. [16]

L'analyse des risques sanitaires liés aux agents pathogènes susceptibles d'être transportés par les eaux usées est le fondement des recommandations proposées par l'Organisation Mondiale de la Santé en 1989 (OMS, 1989).

I.4. La pollution des eaux usées :**I.4.1. Types de pollutions des eaux :****I.4.1.1. Pollution physique :**

Les eaux usées contiennent tous les micro-organismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes photogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et helminthes. (Baumont et al, 2004).

I.4.1.2. Pollution mécanique :

Elle résulte des décharges de déchets et de particules solides apportés par les eaux résiduaires industrielles, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension MES. (Galaf, 2003).

I.4.1.3. Pollution thermique :

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

I.4.1.4. Pollution radioactive :

La pollution des eaux par des substances radioactives pose un problème de plus en plus grave, a un effet direct sur les peuplements aquatiques en raison de la toxicité propre de ses éléments et des propriétés cancérogènes et mutagènes de ses rayonnements. [17]

I.4.1.5. Pollution chimique :

Elle concerne les nitrates et les phosphates contenue dans les pesticides, les médicaments humains et vétérinaires, les produits ménagers, la peinture, les métaux lourds (mercure, cadmium, plomb, arsenic...), les acides, ainsi que les hydrocarbures utilisés dans l'industrie.

I.4.1.6. Pollution organique :

Elle concerne les micro-organismes pathogènes présents dans l'eau comme les bactéries et les virus. Cette pollution bactériologique se caractérise par un taux élevé de coliformes fécaux. La pollution organique provient principalement des excréments, des ordures ménagères et des déchets végétaux. [18]

I.4.1.7. Pollution par l'azote :

Au niveau des rejets des stations d'épuration, la pollution azotée peut être à l'origine de plusieurs problèmes dans le plus aigu provient de la toxicité de l'ammoniaque pour la faune piscicole. On considère que le seuil de sensibilité à long terme, quelle que soit la vie piscicole, serait de 0.3 mg/l. et que la toxicité s'élève rapidement et devient dangereuse, selon les espèces, entre 0.6 et 1.5 mg/l. De plus, l'arrivée d'ions ammonium dans le milieu récepteur entraîne une consommation d'oxygène due à la nitrification bactérienne (4.5 mg d'O₂ dissous consommé par mg de N nitrifié) qui peut être nuisible à la faune.

I.4.1.8. Pollution par phosphore :

Les rejets de stations d'épuration contiennent des quantités de phosphore qui peuvent être importantes et accompagnées par une source d'azote comme les nitrates. En effet, dans de nombreux cours d'eau, la part des apports de phosphore d'origine domestique, calculée sur toute l'année ou, au moins, sur la période estivale pendant laquelle les risques sont les plus grands, dépasse les trois quarts. Les phosphates échappent en majeure partie (80%) au traitement biologique d'épuration par boues activées et, de ce fait, sont fréquemment présents dans les rejets. [19]

I.5. Réseau d'assainissement :**I.5.1. Définition :**

Le réseau public de collecte et de transport des eaux usées est constitué d'un ensemble d'ouvrages hydrauliques qui permettent de canaliser les eaux pluviales et les eaux usées à l'intérieur d'une agglomération (canalisations généralement souterraines reliées entre elles) vers une station d'épuration.

I.5.2. Rôle :

Le rôle d'un réseau d'assainissement est triple :

- * Assurer la protection des biens matériels et humains contre les inondations.
- * Permettre la protection de la santé publique et la préserver.
- * Préserver l'environnement en l'occurrence le milieu naturel contre les rejets des eaux usées.

I.5.3. L'assainissement collectif :

L'assainissement collectif est constitué de grandes canalisations de collectes des eaux usées qui sont acheminées de manière gravitaire vers une station d'épuration. Il existe deux types de réseaux d'assainissement : unitaires et séparatifs. [20]

I.5.3.1. Réseaux d'assainissement unitaire :

Réseaux unitaires comportent un seul conduit pour transporter des eaux usées et pluviales.

Les Avantages :

- Sa construction est plus économique du fait qu'il faut bâtir un seul réseau.
- Ses dimensions sont équivalentes à celles du réseau d'eaux pluviales, car le débit des eaux usées a peu d'incidence sur le débit total.
- L'entretien rigoureux du réseau est plus économique. Les eaux pluviales ont un effet d'auto-nettoyage important étant donné qu'il traine une grande partie de la saleté accumulée dans les égouts.
- « L'effet couronne » (corrosion pour l'action du sulfure d'hydrogène) est inférieur en raison de dimensions plus grandes des conduits qui favorisent la ventilation et l'auto-nettoyage déjà nommé.

Les inconvénients :

- Les stations d'épuration ne peuvent pas supporter les débits des eaux de pluie. C'est pourquoi, il faut prévoir des systèmes de séparation des eaux de pluie avant de son arrivée à la station de traitement au moyen de déversoirs. Ces derniers fonctionnent à

partir d'un déterminé coefficient de dilution. Par conséquent, le débit d'eau qui arrive à la station d'épuration, est supérieur en cas de pluie, ce qui altère le déroulement de l'épuration.

- Le rejet de déversoirs est polluant, surtout celui de premières minutes. Ses effets peuvent être réduits si nous construisions de bassins d'orage anti-DSU (dilution de solides urbains). Cependant, c'est quelque chose d'inévitable une certaine pollution aura lieu dans le moyen récepteur et dans l'environnement.
- Les stations d'épuration doivent prévenir un surdimensionnement dans le traitement préalable afin de pouvoir traiter l'excès de débit quand il y a de la pluie ou disposer d'un dépôt de régulation. Dans tous les cas, le coût d'épuration augmente.
- L'avantage économique de la basse inversion initiale, diminue considérablement quand nous tenons compte les coûts des installations nécessaires afin de réduire l'effet de décharges (dépôts anti-DSU) et le coût d'épuration.

I.5.3.2. Réseaux d'assainissement séparatifs :

Dans les réseaux séparatifs, les eaux de pluie et les eaux usées sont évacuées par des conduits différents, il y a un double réseau. Cette classification traditionnelle a une variante qui ne s'adapte pas de façon rigoureuse à aucune de deux types : pseudo-séparatifs, séparatifs doubles. [20]

a) Les réseaux pseudo-séparatifs :

Sont ceux où il y a une séparation des eaux pluviales des eaux usées des rues, mais non pas de ferme. Il comporte un réseau double, l'un, seulement pour les eaux de pluie et des rues, des espaces verts, etc., et l'autre qui ramasse les eaux de fermes qui ont des drainages qui évacuent des eaux de pluie conjointement avec des eaux usées.

b) Les réseaux séparatifs doubles :

Les réseaux séparatifs doubles disposent de conduits séparés pour les eaux usées urbaines et les eaux usées industrielles et pour les réseaux d'eaux pluviales. Ils sont utilisés pour l'expulsion des eaux usées des industries qui ont besoin d'un traitement préalable avant de se connecter à une station d'épuration ou pour les eaux usées dont la connexion aux réseaux d'égouts urbains, pourrait provoquer des risques d'explosion dans le système.

Avantages de réseaux séparatifs :

- Le régime d'épuration est plus régulier, car les pluies ne l'altèrent pas.
- Les eaux usées et les eaux de pluies ne se mêlent pas du fait qu'il n'y pas de rejets des eaux polluées.
- Les coûts d'épuration sont inférieurs.
- Les dépôts anti-DSU ne sont pas nécessaires.
- L'excès d'inversion du réseau double, en comparaison avec le collecteur unitaire, peut être compensé si le collecteur concentrateur d'arrivée à la station d'épuration est assez long.

Inconvénients des réseaux séparatifs :

- Inversion initiale supérieure.
- Coût d'entretien de réseaux et de nettoyage élevé.

- L'effet couronne peut-être très intense, si le réseau des eaux usées, n'est pas nettoyé de façon adéquate.
- Même si les eaux de pluies et celles usées ne se mélangent pas, les eaux pluviales de zones urbaines sont sales et elles ont besoin d'un traitement minimal. [20]

I.6. Normes des rejets :

Les normes de rejet, après traitement, ont pour objet la protection de l'environnement en général et les milieux récepteurs en particulier mais également d'éviter la prolifération des maladies dues aux rejets d'eaux usées telles que la tuberculose, le typhoïde ou encore le Choléra. [21]

Les normes de rejets industriels (cas général) en Algérie, sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau I.1 : Valeurs limites maximales des paramètres de rejets

Paramètre	Unités	Valeurs limites	Tolérances aux valeurs limites anciennes installations
Température	°C	30	30
MES	mg/l	35	40
DBO5	mg d'O ₂ /l	35	40
DCO	mg d'O ₂ /l	120	130
Azote Kjeldahl	mg/l	30	40
Phosphore totale	mg/l	10	15
Huiles et graisses	mg/l	20	30
PH	-	6.5-8.5	6.5-8.5
Substances toxiques bioaccumulables	mg/l	0.005	0.01
Cyanures	mg/l	0.1	0.15
Fluor et composés	mg/l	15	20
Indice de phénols	mg/l	0.3	0.5
Hydrocarbures	mg/l	10	15
Cadmium	mg/l	0.2	0.25
Chrome totale	mg/l	0.5	0.75
Cuivre totale	mg/l	0.5	1
Mercure totale	mg/l	0.01	0.05
Plomb totale	mg/l	0.5	0.75

Source : journal officiel de la république Algérienne, N°26 du 23/04/2006

Chapitre II

Procédés de traitement des eaux usées

II.1. Introduction :

La pollution des eaux est devenue un des problèmes environnementaux les plus critiques suite à l'accroissement démographique dans la majorité des zones urbaines dans plusieurs pays et régions du monde. Une des conséquences directes à ce problème, l'augmentation des décharges publiques contrôlées et des rejets domestiques et industriels non contrôlés ont détérioré progressivement la qualité de l'eau. Les contraintes d'épuration, de plus en plus strictes, exigent l'épuration d'un nombre important de polluants (matières organiques, minérales...etc.) avec une dépense énergétique rationnelle. Etant donnée la grande diversité de ces déchets, l'épuration d'un effluent résiduaire comporte plusieurs étapes, chacune spécifique aux caractéristiques particulières des éléments à traiter.

L'épuration consiste à éliminer les plus gros débris organiques ou minéraux. Retirer les MES de densité différent de l'eau tels que les grains de sables et les particules minérales, et élimination des pollutions résiduelles qui pourraient être gênantes en aval (germes pathogènes, azote, phosphore...etc.).

II.2. Les stations d'épuration :

Une station d'épuration est installée à l'extrémité d'un réseau de collecte des effluents qu'ils soient domestiques, industrielles ou pluviales, constituée d'une succession de dispositifs, conçus pour extraire en différentes étapes les différents polluants contenus dans les eaux (séparer l'eau des déchets, des huiles et des matières sableuses qui chargent les eaux résiduaires, puis de neutraliser les souillures d'origines naturelle et synthétique).[21]

II.2.1. Rôle d'une STEP :

Le rôle premier de la station est de retirer la pollution (déchets, matières en suspension, éléments dissous) de l'eau par des moyens physiques (tamisage des déchets solides, décantation des sables, écrémage des graisses) et par l'action des bactéries "dévoreuses" de pollution dissoute, dans le but de sauvegarder l'environnement par la limitation de la pollution et la préservation de la réserve d'eaux planétaires en rendant réutilisable les eaux contaminées dans l'irrigation pour couvrir le déficit et les besoins croissants en eau.

II.2.2. Critères de choix d'un procédé d'épuration :

Le choix du procédé de traitement se doit d'être à la fois techniquement performant et économiquement viable pour permettre de conserver une compétitivité accrue voire de l'améliorer. Le choix d'un procédé, pour qu'il soit adapté, ne doit pas satisfaire aux seules exigences de rejets. En effet, il est nécessaire de considérer le fonctionnement de l'outil de production dans sa globalité pour tenir compte des contraintes d'implantation, d'exploitation et de la nature des polluants. Les critères de choix, du procédé de traitement, sont :

- La qualité du milieu récepteur et les usages de l'eau épurée.

- Le type de réseau : le fonctionnement d'une station d'épuration conventionnelle est adapté à un assainissement du type séparatif qui assure un débit régulier des eaux usées.
- La pollution : en fonction du type de pollution, différents types de procédés peuvent être utilisés.
- La population : dans les communes où la population peut varier considérablement durant l'année, le lagunage s'avère un procédé adapté. Il y a également possibilité d'utiliser un procédé physico-chimique.
- Les caractéristiques du terrain : emplacement, topographie, surfaces disponibles.
- Le coût de l'exploitation : prenant en compte les frais de main d'œuvre, les frais énergétiques, l'entretien et le renouvellement du matériel.
- Les problèmes d'exploitation et frais des installations.
- La rusticité, nécessaire pour rester réaliste vis-à-vis de la plus petite collectivité (temps du travail restreint et main d'œuvres semi qualifiée). [21]

II.3.Procédés d'épuration des eaux usées :

La station d'épuration d'une agglomération urbaine importante comporte une chaîne de traitement dont la complexité dépend du degré d'épuration jugé nécessaire. Elle comporte généralement une phase de prétraitement, pendant laquelle les éléments les plus grossiers sont éliminés, suivi d'un traitement primaire et secondaire respectivement afin d'éliminer la matière organique et dissoute. Enfin, un traitement tertiaire est appliqué pour éliminer les microorganismes.

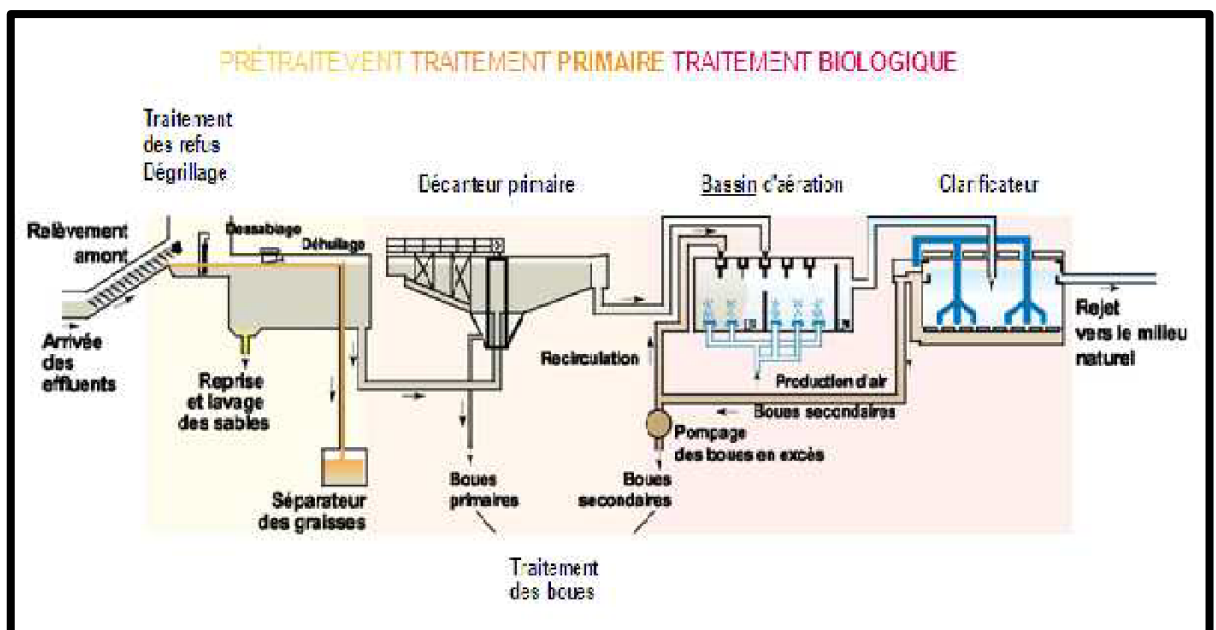


Figure II.1 : schéma de principe d'une station d'épuration biologique des eaux usées.

II.3.1. Le prétraitement :

Avant leur traitement, les eaux brutes doivent subir un prétraitement qui pour objectif d'extraction la plus grande quantité possible de matières pouvant gêner les traitements ultérieurs. De nature physique ou mécanique, le prétraitement regroupe les opérations suivant : [22]

II.3.1.1. Le dégrillage :

Le dégrillage permet d'extraire les déchets insolubles tels que les branches, les plastiques, les serviettes hygiéniques...etc. situés en aval. Il permet de séparer et d'évacuer les matières volumineuses, amenées par l'effluent à traiter. L'efficacité de ce traitement dépend essentiellement de l'écartement des barreaux des grilles :

- 30 à 100 mm : pré dégrillage.
- 50 à 100 mm : dégrillage grossier.
- 10 à 30 mm : dégrillage moyen.
- 3 à 10 mm : dégrillage fin. [23]

Pour éviter le colmatage de l'installation, une opération de nettoyage est obligatoire, elle peut être manuelle dans le cas des petites stations ou automatique lorsque le volume des déchets à évacuer est important.

La grille peut être droite ou courbe ; les grilles droites peuvent être placées en position verticale ou inclinée par rapport au plan horizontal ; dans ce dernier cas, elles présentent au courant d'eau une plus grande surface.

II.3.1.2. La dilacération :

Cette opération concerne particulièrement les eaux résiduaires. Elle a pour but de broyer les matières solides et les transformer en particules plus fines qui sont envoyées vers les décanteurs. Cette opération peut être mise en œuvre par remplacement du dégrillage fin.

II.3.1.3. Le tamisage :

Cette opération constitue un dégrillage fin ; elle est mise en œuvre dans le cas des eaux résiduaires chargées de matières en suspension de petite taille (eaux usées d'abattoirs et conserveries de légumes).

Le tamisage assure principalement trois fonctions :

1. La récupération des déchets utilisables ;
2. La protection des canalisations ou des pompes en évitant l'obstruction ;
3. La limitation des risques de dépôts et fermentation.

On distingue 3 types de tamis :

a) -tamis rotatifs :

- vitesse de filtration 40 cm/s
- perte de charge 20 cm d'eau
- doivent être décolmatés en permanence

b) - tamis vibrants :

- forme rectangulaire ou circulaire
- adaptés aux matières non collantes

c)-tamis fixe :

-plaques d'acier inoxydable perforées de trous circulaires et raclés par une lame de caoutchouc ou autonettoyante. [22]

II.3.1.4.Le dessablage :

Le dessablage consiste en l'élimination des sables présents dans l'effluent brute [23] pour éviter les colmatages des canalisations surtout si elles sont enterrées, et protéger les équipements à pièces tournantes de la corrosion (axes de chaînes, rotors de centrifugeuses, pompes de relèvement...)

Le dessablage concerne les particules minérales de diamètre supérieur à 0.2 mm et de masse spécifique de l'ordre de 2.65g/m^3 .

La vitesse de sédimentation de ces particules est fonction de :

- leur nature ;
- leur forme ;
- Dimensions ;
- la viscosité du liquide dans lequel elles se trouvent.

La technique du dessablage consiste à faire circuler l'eau dans une chambre de tranquillisation avec une vitesse constante de 0.3 m/s quel que soit le débit. Cette condition est difficile à réaliser en raison des variations du débit. [22]

II.3.1.5.Le dégraissage-déshuilage :

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

❖ Dégraisseurs-déshuileurs à cloisons siphonides :

- temps de séjour de plusieurs minutes,
- vitesse ascensionnelle de 7 à 10 m/s (rapport du débit à la surface horizontale).

❖ **Déshuileur longitudinal :** Ce type de déshuileur est utilisé pour traiter les eaux résiduaires de raffineries de pétrole et des industries mécaniques. Ses caractéristiques principales sont :

- vitesse ascensionnelle de 0.9 à 3.6 m/h,
- section transversale calculée pour une vitesse d'écoulement de 18m/h à 55m/h et égale à 15 fois la vitesse ascensionnelle,
- largeur comprise entre 2 à 6 m,
- hauteur d'eau de 1 à 3m.

❖ **Dégraisseur aéré :** Amélioration de la vitesse de séparation par injection d'air.

Cette injection provoque un mouvement secondaire de l'eau qui permet de guider les flottants vers des zones de tranquillisation où ils sont recueillis par raclage ou par surverse (élévation périodique du plan d'eau par fermeture partielle de la vanne de sortie).

L'ouvrage comporte donc une zone de tranquillisation et une zone d'aération. Le temps de séjour dans l'ouvrage est l'ordre de 3 à 5 minutes au débit moyen, le débit d'air est proche de $5\text{m}^3/\text{h}$ de surface et une vitesse ascensionnelle de 15m/h ne dépassant pas 25m/h. [22]

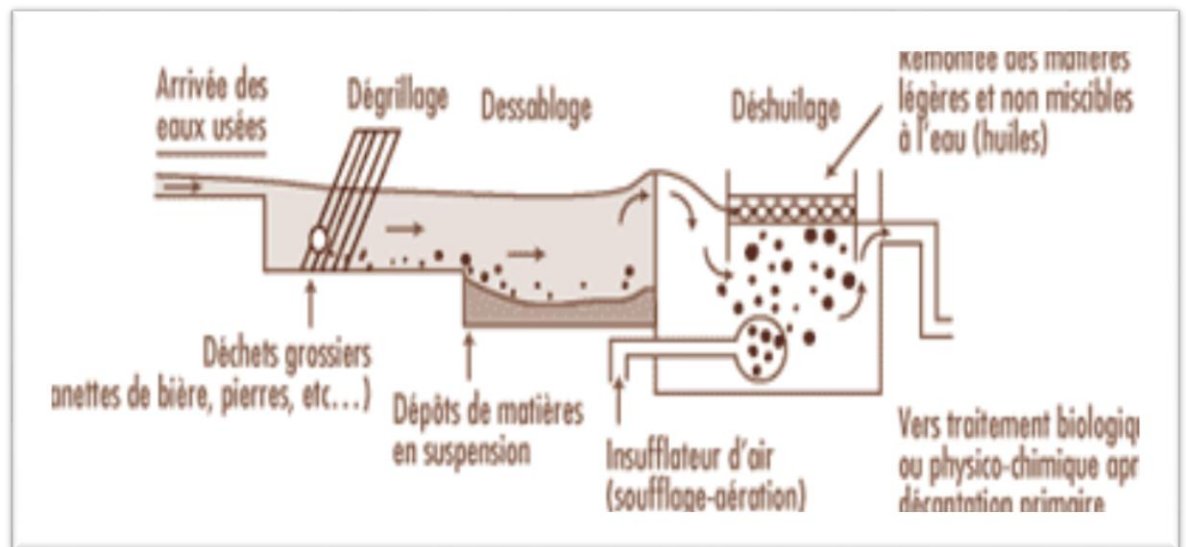


Figure II.2: schéma de prétraitement d'une station d'épuration

II.3.2. Les traitements primaires :

Le traitement primaire au sens strict est un traitement physico-chimique. Il est possible d'ajouter dans l'eau des agents coagulants et floculants. On peut alors récupérer un grand nombre de particules en suspension par décantation ou flottation (boues physico-chimiques). Cette étape permet d'éliminer 90% des particules et objets en suspension. Elle est commune à une très grande majorité des stations d'épuration.

II.3.2.1. La décantation :

Le traitement primaire consiste en une simple décantation. 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 1.2m/h, 40 à 60% de MES, soit 40% de MO, 10 à 30 % de virus, 50 à 90% des helminthes et moins de 50% des kystes de protozoaires et entraîne également avec elle une partie des micropolluants.

- **La décantation physique (naturelle) :**

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

- **La décantation physico-chimique :**

Si les particules sont très fines (colloïdales), ils peuvent rester en suspension dans l'eau très longtemps, ces dernières n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour les éliminer, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation qui ont pour but de déstabiliser les particules en suspension et faciliter leur agglomération. Par l'injection des réactifs tels que: (le sulfate d'alumine, le sulfate ferrique) pour coagulation et pour la floculation on trouve: les floculant minéraux, les floculant organiques. [24]

II.3.2.2. La coagulation-floculation :

Les colloïdes sont des particules de très faible diamètre et sont notamment responsables de la couleur et de la turbidité de l'eau de surface. En raison de leur très faible vitesse de sédimentation, la seule solution pour éliminer les colloïdes est de procéder à une coagulation et une floculation.

a) La coagulation :

La coagulation est l'une des étapes les plus importantes dans le traitement des eaux de surface. Elle consiste à déstabiliser les particules en suspension c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En effet, ces matières en suspension portent des charges généralement négatives induisant des forces de répulsions inter colloïdales. Elle se fait soit par l'addition de sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) ou encore de chlorure ferrique ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

b) La floculation :

La floculation permet de s'attaquer aux colloïdes de faibles diamètres. Le véritable souci est en fait la masse qui ne permet pas une sédimentation naturelle et exploitable dans le cadre d'un traitement. La floculation permet de provoquer, grâce à l'ajout de floculant, une agglomération des particules colloïdales. Par la suite, ces agglomérats de colloïdes appelés flocs disposent d'une masse suffisante pour pouvoir se décantier. Le floculant ajouté est généralement un polymère jouant le rôle de colle entre les colloïdes.

II.3.3. Type des procédés du traitement secondaire (biologique) :

II.3.3.1. Procédés intensifs :

II.3.3.1.1. Boues activées :

Le réacteur à boues activées est un vase de culture bactérienne fonctionnant en continu, les eaux usées urbaines décantées fournissent toutes les matières nutritives nécessaires, y compris l'azote et le phosphore, et les boues recirculées assurent une abondance de micro-organismes. Le milieu étant suffisamment oxygéné, il s'y établit une flore bactérienne hétérotrophe et aérobie. Grâce à leurs enzymes, ces bactéries solubilisent les matières colloïdales et utilisent les matières organiques dissoutes soit pour se procurer, par oxydation, l'énergie nécessaire, soit pour synthétiser du protoplasme et se multiplier.

Matière organique + O_2 = CO_2 , H_2O , NH_3 et Énergie et Matière vivante.

Les systèmes à boues activées sont purement aérobie étant donné que le floc microbien est une suspension dans l'eau contenant de l'oxygène dissous. Même lorsque le niveau d'oxygène est nul dans le décanteur secondaire, ceci produit rarement des odeurs désagréables car les matières organiques ont été pratiquement oxydées durant l'aération. [22]

Bassin d'aération :

Le bassin d'aération constitue le cœur même du procédé dans lequel s'effectue le métabolisme bactérien à l'origine de l'épuration.

C'est dans ce bassin que la majeure partie des réactions biochimiques de transformation de la pollution carbonée (voire azotée et phosphorée) a lieu. On y maintient généralement 3 à 4g/l de biomasse active en état d'aérobiose à une concentration de 2 à 2.5 ppm en oxygène dissous.

II.3.3.1.2. 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. [25]

Différents types de lagunage :**Le lagunage naturel :**

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 Kg DBO5/ha/j soit environ 10 m² par habitant.

La teneur en matière en suspension dans l'effluent traité reste élevée (de 50 à 150mg/l) aussi la DBO5 en sortie est souvent supérieure à 50mg/l.

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 de 1 semaine et la profondeur de 1 à 4 m. le rendement peut être 80% et il n'y a pas de recyclage de boues.

L'homogénéisation doit être satisfaisante pour éviter les dépôts.

Certains rejets industriels sont traités par ce procédé qui reste valable pour les produits organiques très lentement biodégradables. Ces rejets sont caractérisés par de faibles teneurs en MS et avec des DBO5 dans la gamme 300-1500 ppm (conserverie, industrie chimique (phénols)). Le brassage est effectué par des turbines fixées sur des flotteurs amarrés au centre de bassin.

Le lagunage anaérobie :

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

Les temps de séjour sont souvent supérieurs à 50 jours. Les charges organiques appliquées sont de l'ordre de 0.01 Kg DBO₅/m³/j. une profondeur importante (5 à 6 m) est en principe un élément favorable au processus.

Dans la réalité, la classification aéro-anaérobie des lagunes n'est pas superflue, car dans les zones amont ou profondes des lagunes aérobies, on observe souvent un fort déficit en oxygène. Un curage des bassins tous les 10 ans est nécessaire du fait de la production des boues. [25]

II.3.3.2.Procédés extensifs (Culture fixée) :**Principe :**

Dans ce genre de procédés, les micro-organismes sont fixés sur un support inerte et fortement le BIOFILM. Ces procédés sont sensés reproduire en réacteur l'effet épurateur du sol. On distingue généralement : lits bactériens, les bio disques, les bio filtre.

Les bactéries contenues dans l'effluent se fixent peu à support pour former un film biologique aéré de 1 mm d'épaisseur environ. Les micro-organismes ainsi fixés oxydent l'effluent avec lequel ils sont en contact. La composition de biofilm est la suivante :

- Bactéries aérobies (agents principaux de la dépollution).
- Bactéries anaérobies (régulent la production des aérobies).
- Champignons ou moisissures (ils donnent de la « tenue » au film).
- Protozoaires (en surface, ils se nourrissent des bactéries libres).
- Vers (perforent le film et détachent).
- Insectes.

Le biofilm contient en moyenne 4% seulement de matières sèches (96% d'eau). [25]

II.3.3.2.1.Lits bactériens :

L'effluent contenant la pollution ruisselle sur le support et pénètre dans le biofilm alors que l'air chemine naturellement à travers le lit qui repose sur une grille. Le décrochage de la biomasse est spontané par une augmentation de la phase endogène, par l'action des larves et par la vitesse de passage du fluide. Une décantation secondaire est indispensable.

La hauteur du lit bactérien est de 1 à 3 m pour un garnissage classique et de 6 à 12 m pour les garnissages plastiques.

Une aération permanente s'établit de bas en haut (lit plus chaud que l'air ambiant, effet de cheminée).

La distribution régulière de l'effluent est réalisée par des éléments fixes (rigoles, rampes fixes) ou mobiles (sprinklers rotatifs).

II.3.3.2.1.1. Lits mobiles immergés (disque biologiques) :

Les disques biologiques ou bio disques sont des disques enfilés parallèlement sur un axe horizontale tournant. Ces disques plongent dans une auge, où circule l'eau à épurer ayant subi

une décantation. Pendant une partie de leur rotation ils se chargent de substrat puis ils émergent dans l'air le reste du temps (pour absorber de l'oxygène). Les disques sont recouverts par un biofilm sur les deux faces. Ils sont diamètre de 1 à 3 m, sont espacés de 20 mm et tournent à une vitesse de 1 à 2 tr/mn.

Les boues en excès se détachent du disque et sont récupérées dans un clarificateur secondaire avant rejet dans le milieu naturel.

Il faut veiller à ce que la vitesse périphérique des bio disques ne dépasse pas 20 m/ min (en pratique 13 m/min du substrat), pour obtenir un bon mélange dans l'auge, un bon transfert du substrat et éviter un décrochage excessif du biofilm. La colonisation des bio disques a lieu en quelque jours, et l'épaisseur du biofilm varie entre 1.5 et 3 mm

Ce procédé ne nécessite pas de recyclage et résiste très bien aux à-coups de pollution. Aussi, il y a très peu de risques de colmatage.

Néanmoins, ce dispositif d'épuration ne supporte pas d'arrêt de rotation. La partie émergée sèche rapidement, alors que la partie immergée continue à se charger. Cela crée un grand déséquilibre qui détériore le moteur lors que remis en route.

L'inconvénient majeur de ces systèmes est leur sensibilité au gel et aux intempéries (ils nécessitent donc un local couvert et clos).

Les charges massiques admises sur ces installations sont fortes. [25]

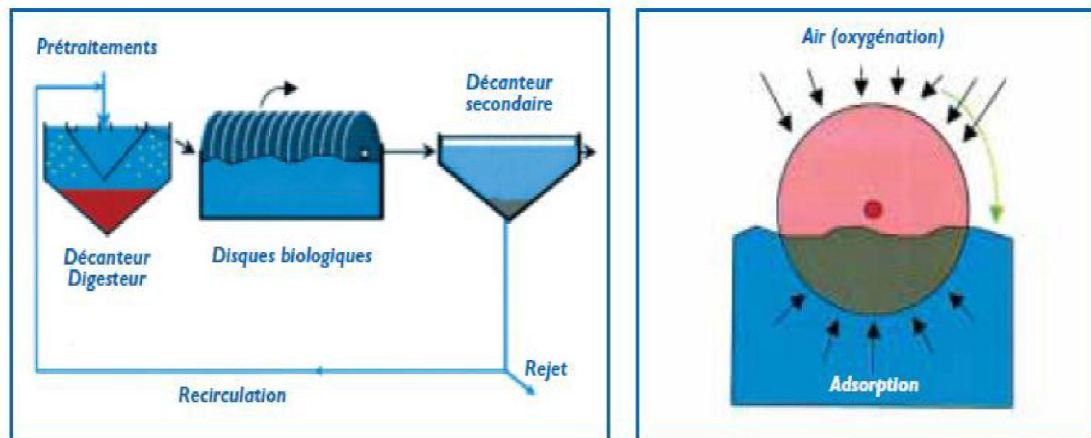


Figure II.3. Schéma d'un disque biologique

II.3.3.2.1.2. Lits bactériens modernes (Bio filtre) :

De nombreux supports ont été utilisés ces dernières années pour remplacer le remplissage traditionnel des lits bactériens.

L'avantage principal de ces nouveaux matériaux est leur grande surface spécifique (jusqu'à 200m²/m³) avec un indice de vide important de l'ordre de 90% qui permet la formation du film biologique sans inhiber le passage de l'air. Les autres avantages sont :

- Uniformité permettant une meilleure distribution du liquide.
- Légèreté facilitant la construction de tours de plus en plus hautes.
- Résistance chimique.
- Capacité à recevoir des eaux usées fortement chargées et non décantées.

Les installations traditionnelles peuvent être reconverties en remplaçant le matériau d'origine par un remplissage plastique. Dans ce cas le fonctionnement n'est pas optimal. [22]

II.3.4.Traitement tertiaire :

Le traitement tertiaire est un traitement complémentaire qui a un rôle d'affinage, dans l'objectif d'une réutilisation des eaux épurées à des fins agricoles ou industrielles (refroidissement des turbines) et la protection du milieu récepteur pour des usages spécifiques (milieux aquatiques en zone sensible, prises d'eau situées en aval).

La désinfection est un traitement qui permet de détruire les microorganismes susceptibles de transmettre des maladies. Ce traitement n'inclut pas nécessairement la stérilisation, qui est la destruction de tous les organismes vivants dans un milieu donné.

II.3.4.1.Elimination de la pollution azotée :

La dégradation bactérienne de la pollution azotée s'effectue en plusieurs types :

a)L'ammonification :

C'est la transformation de l'azote organique (c'est-à-dire lié à un radical carboné) en azote ammoniacal, réalisée par des réactions de type hydrolyse, désamination oxydative et désamination réductive.

b) L'assimilation :

C'est l'utilisation d'une partie de l'azote ammoniacal pour la synthèse cellulaire, c'est-à-dire comme élément constitutif de la biomasse.

c)La nitrification :

C'est l'oxydation par voie biologique de l'azote ammoniacal en nitrites puis en nitrates en faisant intervenir des micro-organismes strictement aérobies caractérisés par un métabolisme autotrophe vis-à-vis du carbone, c'est-à-dire qui synthétisent leur matière vivante à partir du carbone minérale (carbonate).

Les micro-organismes impliqués appartiennent à deux groupes très spécifiques :

-Les **nitrobactéries** (genre **Nitrosomonas**) : oxydation de l'ammoniac en nitrites.

-Les **nitrobactéries** (genre de **Nitrobacter**) : oxydation des nitrites en nitrates.

Le métabolisme bactérien autotrophe entraîne un temps de génération (temps nécessaire au doublement de la population) très long (de l'ordre de 24 h), l'activité nitrifiante s'avérant fortement influencée par la température dans la mesure où les bactéries sont mésophiles (optimum vers 30°C) et vont donc être très sensibles aux baisses température.

d) La dénitrification :

C'est la réduction par voie biologique des nitrates en azote gazeux qui retourne ainsi sous sa forme primitive dans l'atmosphère.

Les nitrates jouent le rôle d'accepteur final d'électrons à la place de l'oxygène. Les bactéries impliquées (genre acinetobacter, Pseudomonas, Morax Ella alcali gènes...) ont un métabolisme hétérotrophe, la dénitrification implique nécessairement la présence d'une pollution carbonée qui

peut être directement puisée dans l'eau brute ou ajoutée...et le maintien d'une concentration en oxygène dissous nulle (milieu anoxie). [25]

II.3.4.2.Élimination du phosphore :

L'élimination du phosphore concerne les traitements de déphosphatation, soit physicochimique soit biologique. La déphosphatation biologique, de développement récent, est basée sur la succession de phases anaérobies et aérobies au cours du traitement biologique mais son rendement est en générale moins bon que celui de la déphosphatation physico-chimique.

La déphosphatation peut aussi être réalisée par précipitation physico-chimique en présence de sels minéraux comme le sulfate d'ammonium ou le chlorure ferrique et s'effectuer soit simultanément aux réactions biologiques dans le bassin de boues activées, soit en traitement final.

a) Déphosphatation chimique : La déphosphatation chimique est un investissement faible (10 à 20% du coût de la STEP) mais son coût de fonctionnement atteint 30 % du coût total, c'est ce qui explique la recherche de procédés purement biologiques, avec succession de phases anaérobies et aérobies, qui peuvent multiplier jusqu'à 4 fois la rétention de P. [26]

b) Déphosphatation physico-chimiques : Le traitement du phosphore par voie physicochimique consiste à « piéger » le phosphore dissous sous forme particulaire. Ce changement de phase a lieu au contact de cations (ions calcium, magnésium ou ferriques) apportés soit par les eaux usées (précipitation naturelle), soit par ajout de réactifs à base de fer, d'aluminium ou de chaux (précipitation forcée).

- Les principaux mécanismes intervenant sont au nombre de trois
- Précipitation chimique de complexes hydroxo-métalliques ;
- Adsorption sélective d'espèces phosphorées dissoutes sur la surface de complexes déjà précipités ;
- Flocculation et Co-précipitation de matière colloïdale finement dispersée.

c) Déphosphatation biologiques :

Le traitement biologique, au sens large, englobe d'une part l'assimilation du phosphore par la biomasse pour ses besoins métaboliques minimaux, et d'autre part la suraccumulation du phosphore par des bactéries déphosphatantes au-delà de leurs besoins métaboliques.

Par convention, on parle de traitement biologique du phosphore (au sens strict) lorsqu'il s'opère une suraccumulation du phosphore.

- **Dans la zone anaérobie :** Dans le bassin d'anaérobiose, les bactéries déphosphatantes, synthétisent un produit de réserve, les poly- β -Alcan Oates (PHA), à partir du substrat facilement biodégradable des eaux usées et de l'énergie libérée par l'hydrolyse intracellulaire de poly phosphates. Il en résulte un relargage (libération) de phosphate dans le milieu externe.
- **Dans la zone aérobie :** Dans le bassin d'aération, les poly- β -Alcan Oates (PHA) et la matière organique contenue dans les eaux usées sont oxydés par les bactéries. La respiration (de l'oxygène) produit l'énergie nécessaire aux bactéries qui régénèrent leurs stocks de poly phosphates et croissent. L'élimination biologique du phosphore est liée à une réabsorption de phosphore plus importante que le relargage. Pendant la phase aérobie, les poly- β -Alcan Oates (PHA) sont utilisés par le métabolisme et oxydés, permettant le restockage de poly

phosphates, d'une quantité de phosphate supérieure à celle qui a été excrétée en anaérobie. [27]

II.3.4.3. Désinfection :

Un abaissement de la teneur des germes, parfois exigé pour les rejets dans des zones spécifiques (zones de baignades, zone de conchylicoles) ou dans le cadre d'une réutilisation, il sera réalisé par des traitements de désinfection chimique par :

a) Le chlore : est un oxydant puissant qui réagit à la fois avec des molécules réduites et organiques, et avec le micro-organisme. Les composés utilisés dans le traitement des eaux usées sont : le chlore gazeux (Cl_2), l'hypochlorite de sodium (NaClO) appelé communément "eau de javel", l'hypochlorite de calcium ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$), le chlore de chaux ($\text{CaCl}_2, \text{OCl}_2$) et le chlorite de sodium (NaClO_2).

b) L'ozone (O_3) : est un oxydant puissant, la désinfection par l' O_3 est utilisée aux États-Unis, en Afrique du Sud et au Moyen Orient essentiellement. Il permet l'élimination des bactéries, des virus et des protozoaires. C'est le seul procédé vraiment efficace contre les virus. Les tests de toxicité effectués sur des poissons, des crustacés et des algues n'ont pas permis de mettre en évidence une quelconque toxicité.

Il existe aussi des traitements physiques tels que :

c) Les rayons ultraviolets : qui consistent à utiliser des lampes de mercure disposées parallèlement ou perpendiculairement au flux d'eau. Leur rayonnement s'attaque directement aux micro-organismes. Ce traitement est très à mettre en œuvre, car il n'y a ni stockage, ni manipulation de substances chimiques et les caractéristiques chimiques de l'effluent ne sont pas modifiées.

d) La filtration : est un procédé physique qui permet de retenir les microorganismes par rétention à l'aide d'un filtre. Qu'elle soit réalisée sur sable ou sur membrane, cette technique exige une épuration secondaire préalable garantissant une élimination assez poussée des matières en suspension. L'élimination des virus, des bactéries et des protozoaires est fonction du milieu poreux, de la vitesse de percolation, de l'épaisseur du massif filtrant et du niveau d'oxydation de l'eau filtrée. [28]

II.3.5. Traitements complémentaires :

II.3.5.1. Élimination et traitement des odeurs :

Les premières phases du traitement, le dégrillage, le dessablage/déshuilage et la phase anaérobie du traitement biologique sont généralement confinées dans des bâtiments plus ou moins étanches afin que les mauvaises odeurs ne se répandent pas dans l'environnement de la station. Ce qui provoquerait des nuisances olfactives inacceptables par les riverains. Cet air nauséabond est collecté et traité. Il passe par trois tours de lavage : une d'acide sulfurique (H_2SO_4), une de javel et une de soude. (ALLOUCHE F, 1990).

II.3.5.2. Caractéristiques et traitement des boues activées :

Le processus de dépollution des eaux usées urbaines produit d'un côté de l'eau épurée, de l'autre des sous-produits en grande quantité : les boues, représentant chaque jour un volume considérable, ces boues doivent trouver une destination en continu. [25]

II.3.5.3. Origine des boues :

Les éléments polluants et leurs produits de transformation, retirés de l'eau usée au cours de traitement d'épuration, se trouvent rassemblés, dans la grande majorité des cas, dans suspension, plus ou moins concentré, dénommées « boues ».

La composition d'une boue urbaine dépend à la fois de la nature de la pollution initiale de l'eau et des procédés de traitement auxquels elle a été soumise dans la station d'épuration. : [29]

Les boues urbaines sont produites à plusieurs stades du processus de traitement des eaux usées. Selon les étapes au cours desquelles elles sont recueillies, on distingue :

- **Les boues primaires :** dites "fraîches", elles sont obtenues au niveau du décanteur primaire, après séparation physique des matières en suspension par décantation.
- **Les boues physico-chimiques (décantation floculation) :** qui sont les agrégats formés après des traitements physico-chimiques. Dans ces boues nous retrouvons les produits de transformation des réactifs. L'ajout de réactif a pour effet d'augmenter la quantité de boues.
- **Les boues biologiques :** qui proviennent des traitements biologiques des eaux usées dont le principe est de faire dégrader les substances organiques présentes dans l'eau par les microorganismes qu'elles contiennent et que l'on cultive à cet effet. A la différence des deux types de boues précédentes, qui sont des matières brutes décantées, les boues biologiques résultent de la transformation des matières organiques contenues dans les eaux usées.
Ces boues en excès ont une importance capitale pour la qualité des boues globales produites par la station d'épuration.
- **Les boues mixtes :** Les boues mixtes regroupent les boues issues des traitements primaires et des traitements secondaires. Ces boues possèdent une bonne fermentescibilité du fait de la présence de boues primaires. [30]

II.3.5.4. Principe :

Le procédé à boue activées a été découvert en 1914, à Manchester et repose sur la constatation suivante :

Une eau d'égout aérée permet le développement rapide d'une flore bactérienne capable de dégrader des matières organiques polluantes. Dans les conditions idéales d'aération, les microorganismes d'une eau usée se développent et s'agglomèrent en flocs. Au repos, ces derniers se séparent très bien de la phase liquide par décantation. C'est dans le clarificateur que cette séparation entre la boue et l'eau clarifiée a lieu. Une partie des boues est envoyée dans l'aérateur pour le réensemencement permanent ou réinjectée en tête de station, l'autre en excès, est éliminée et doit faire l'objet d'un traitement séparé. [25]

II.3.5.5. Les objectifs de traitement des boues :

Le traitement des boues a pour objectifs de :

- 1- Réduire la fraction organique afin de diminuer leur pouvoir fermentescible et les risques de contamination (stabilisation).
- 2- Diminuer leur volume total afin de réduire leur coût d'évacuation (déshydratation). [29]

a) L'intérêt du traitement des boues

Le traitement des boues vise à :

- ✧ Réduire la fermentation des boues pour atténuer ou supprimer les mauvaises odeurs ;
- ✧ Réduire la teneur en eau des boues, visant à diminuer la quantité de boues à stocker et à épandre, ou améliorer leurs caractéristiques physiques;
- ✧ Eradiquer la charge en micro-organismes pathogènes (les traitements permettant cela ne sont mis en œuvre que dans des contextes particuliers). [30]

b) Les méthodes de traitement des boues

Le traitement des boues se fait à travers les filières suivantes :

❖ Epaississement des boues

L'épaississement constitue le premier stade d'une réduction importante du volume des boues issues des traitements biologiques ou physico-chimiques des effluents urbains est conçue pour séparer l'eau interstitielle de boues suivant le mode de séparation solide liquide.

On distingue principalement deux types d'épaississements :

- ✧ Epaississement par flottation ;
- ✧ Epaississement par gravitation. [30]

c) La stabilisation

Mise en œuvre sur des boues riches en matière biodégradable. La stabilisation des boues vise donc à réduire le taux de matière organique de manière à assurer la réduction du caractère fermentescible des boues organiques, pour éviter les nuisances, notamment l'émission de mauvaises odeurs lors de leur stockage et de leur traitement de déshydratation.

Cette stabilisation est inutile pour les systèmes à boues activées en aération prolongée, et de lagunage naturel.

Les boues produites à l'état liquide peuvent être stabilisées par des procédés de traitement chimiques ou biologiques (aérobie ou anaérobie).

d) Le conditionnement :

L'épaississement naturel des boues est limité par des phénomènes physiques. Des forces électriques de répulsion entre particules de boues empêchent leur rapprochement et, en conséquence, ne permettent pas l'évacuation d'une fraction- importante- de l'eau interstitielle. Les procédés employés pour vaincre cette stabilité des suspensions de boues, les techniques de conditionnement, sont d'ordres physiques et chimiques et interviennent par l'augmentation de la taille et de la densité des particules après modification des propriétés électriques, chimique et structurales de celles-ci, c'est-à-dire la rupture de la stabilité colloïdale des boues, on distingue :

- ✧ Conditionnement chimique ;
- ✧ Conditionnement thermique ;

e) La déshydratation :

La déshydratation est destinée à diminuer le taux d'humidité et donc le volume de ces boues, de façon à faciliter les opérations d'évacuation.

Pour ce faire, de très nombreux procédés sont disponibles :

❖ Déshydratations artificielle

Dont le séchage artificiel relevé de deux principes ; celle de la filtration et de la centrifugation.

1. La filtration

La filtration est le mode de déshydratation le plus utilisé jusqu'ici dans le traitement des boues provenant de l'épuration de l'eau. Cette filtration peut consister en un simple drainage sur lit de sable ou une filtration sous vide ou sous pression faisant appel à des matériaux plus élaborés.

2. La déshydratation par centrifugation

Utilise des centrifugeuses du type décanteuse continue à un axe horizontal. L'avantage de cette technique réside dans son adaptation aux boues difficiles (boues huileuses). L'inconvénient majeur est la consommation importante d'énergie et l'usure rapide. [30]

❖ La déshydratation naturelle (séchage)**1. Les lits de séchage**

Les boues reposent sur un sol artificiel composé, de haut en bas, de 2 couches :

- Une couche de sable de 10 à 20 cm d'épaisseur (granulométrie : 0,5 à 1,5 mm) ;
- Une couche de gravillons à 30 cm (granulométrie 15-25 mm) ;
- Un système de drains à la base de cet ensemble assure l'évacuation des eaux.

Ces lits de séchage sont mis sous serre pour non seulement tirer parti du phénomène d'évaporation naturelle, mais aussi de l'accélérer par les rayons du soleil. On parle alors de séchage solaire. En sortie des lits de séchage, les boues sont solides.

2. Lits de séchage plantés de roseaux

C'est un procédé de traitement des boues qui permet l'épaississement, la minéralisation et le stockage. Les boues produites par les stations d'épurations sont directement extraites du bassin d'aération et alimentent le lit planté de roseaux. L'eau contenue dans les boues s'infiltre à travers le massif filtrant constitué de plusieurs couches de matériaux (sable, gravier, galets...) et est récupérée ensuite par des drains. La boue est retenue à la surface du massif. [30]

Chapitre III

Présentation de la STEP de REGHAIA

III. Introduction

Etant donnée la grande diversité des déchets, l'épuration d'un effluent résiduaire comporte plusieurs étapes, chacune spécifique aux caractéristiques particulières des éléments à traiter.

Dans ce qui suit, un aperçu sur les étapes de traitement dans la station d'épuration pilote est présenté, à savoir la station de REGHAIA.

III.1. Présentation de la zone d'étude :

III.1.1. Localisation et objectif :

La station d'épuration des eaux usées de REGHAIA est située à 30 Km à l'est d'Alger non loin de la mer méditerranéenne, à la limite nord-est de la plaine de la MITIDJA et à 14 Km de BOUMERDES. Elle est bordée au nord par le lac de REGHAIA, au sud par la route nationale 24 reliant Alger à Constantine, à l'est par la ville de BOUDOUAOU et à l'ouest par la ville d'Ain Taya. Elle est accessible à l'ouest par la route goudronnée de la plage d'EL Kadous. Ce territoire fait partie de la Wilaya d'Alger, circonscription administrative de Rouïba, communes de REGHAIA et HERAOUA.

L'installation est construite sur la rive gauche du lac de REGHAIA sur un terrain relativement plat. Le site choisi est largement suffisant pour la station projetée et une éventuelle extension dans le futur.

La station pilote est destinée à épurer, les eaux usées de l'agglomération algéroise, et traite en charge la pollution décrite ci-dessous, d'une part, et d'épurer les rejets industrielles issus de la zone industrielle de Rouïba-REGHAIA qui représente environ 30% de la charge hydraulique totale et entre 20 et 35% de la charge polluante totale d'autre part, son objectif essentiel est d'éliminer 90% de la teneur en matières décantables.

Elle traite les rejets déversés par les régions suivantes, REGHAIA, Rouïba, Ain- taya, Heraoua, El Marsa, Bordj El kiffan et Bordj El Bahri.

III.1.2. Capacité du traitement des eaux usées :

La station d'épuration de Réghaia a été mise en suivie en 1997, elle fonctionnait en une seule étape qui est traitement primaire, la mise en oeuvre du traitement biologique était en 2008, le débit nominal journalier à traiter est de 80 000 m³/j avec une capacité nominale de 400 000 Équivalent Habitant (EH) avec une faible charge massique, associée à une dénitrification en été et à une déphosphatation simultanée par injection du chlorure ferrique.

La capacité de la station était de 120000 EH, cette charge s'élèvera à 260000 EH en 2030.

III.1.3. Les étapes de traitement de la STEP de Réghaia :

Les eaux usées sont acheminées de la tête de station vers le venturi pour qualifier le volume journalier. Un échantillonneur effectue des prélèvements moyens 24h. Un déversoir d'orage est installé pour la réception des eaux qui dépassent le débit max toléré.

Le bassin d'orage est doté de deux pompes submersibles, et un déversoir vers le canal de BY- PASS en cas de trop plein.

La station d'épuration comporte une phase de prétraitement, pendant laquelle les éléments les plus grossiers sont éliminés suivi d'un traitement secondaire (ou biologique) afin d'éliminer la matière organique et dissoute. Enfin, un traitement tertiaire est appliqué pour détruire les microorganismes.



Figure III 1: Bassin d'orage

III.1.3.1. Prétraitement :

Le prétraitement, comporte une succession d'opérations physiques ou mécaniques, a pour but d'extraire le maximum de matières en suspension ou flottantes et de matières organiques facilement décantables. Il consiste en deux étapes principales.

❖ Dégrillage :

Il consiste à faire passer les eaux usées à travers des grilles dont les barreaux retiennent l'élément solide (cotons tiges, morceaux de plastique, de bois....).

Le dégrillage comporte deux dégrilleurs automatiques montés dans les canaux, avec espacement entre barreaux de 20 mm.

- ✓ dégrilleurs automatiques
- ✓ Un dégrilleur manuel de secours à champ plat, avec un espace entre barreaux de 20 mm. Ce dernier est actionné en cas d'arrêt des dégrilleurs automatiques.



a) Dégrilleur manuel



b) Dégrilleur automatique

Figure III.2: Les dégrilleurs de la station d'épuration de réghaia.**❖ Dessablage-dégraissage :**

Les effluents sont ensuite admis dans trois canaux (largeur 4 m, longueur 28 m, profondeur 3.6 m), pour subir élimination combinée des graisses par flottation et des sables par sédimentation. Le principe de flottation est basé sur l'injection de fines bulles d'air dans le bassin de déshuilage, permettant de faire remonter rapidement les graisses en surface (les graisses sont hydrophobes). Leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface.

**Figure III.3:** Dessablage-dégriassage**III.1.3.2. Traitement primaire :**

Le traitement primaire consiste en une décantation, constituée de deux décanteurs circulaires de volume unitaire de 4259 m^3 .

L'alimentation du décanteur se fait en partie centrale. Une jupe de répartition assure une équi-répartition du volume sur l'ensemble de surface, les boues décantées sont raclées et dirigées vers le puits à boue

Les paramètres caractéristiques du fonctionnement sont :

- La vitesse ascensionnelle maximale admissible ($V_a = Q/S$) = 1.2 à 2.93 m/h en Q_{pointe}
- Le temps de séjour des effluents dans l'ouvrage ($TS = V/Q$) = 1.05 h à 2.56 h
- Un rendement d'élimination de 60% en MES, de 30% en DCO et DBO et de 12 % en Pt.



Figure III.4: Décanteur primaire

III.1.3.3. Traitement secondaire :

❖ Bassin d'aération :

Les eaux prétraitées sont dirigées vers 2 bassins d'aération de volume unitaire de 11866 m³, chaque bassin comporte 3 aérateurs munis de turbines type « actirotor ». L'aérateur à axe vertical et à vitesse lente a pour but de brasser et d'homogénéiser le mélange eaux usées et flocons bactériens (boue) et d'y dissoudre l'oxygène nécessaire aux bactéries épuratrices. L'aération peut se faire à partir du gaz enrichi en oxygène par le brassage, l'injection d'air comprimé, voir même d'oxygène pur afin de répondre aux besoins épuratrices aérobies.



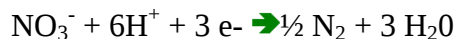
Figure III.5: Bassin d'aération

❖ **Nitrification-Dénitrification :**

La STEP possède un bassin dit bassin de nitrification-dénitrification, il a pour objectif d'éliminer les composés azotés par voie biologique.

Son élimination biologique se réalise en deux étapes :

1) La nitrification consiste à l'oxydation de l'azote organique sous forme d'un ammoniac (NH_4^+) en nitrite (NO_2^-) puis en nitrate (NO_3^-) par l'intermédiaire de micro-organismes autotrophes et en phase aérobie : $\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$ La dénitrification est un processus dans lequel des bactéries hétérotrophes réduisent l'azote nitrique en azotes gazeux et cela en phase d'anoxie.



❖ **Clarificateur secondaire :**

Après un temps de contact suffisant, la liqueur mixte composée de boues flocculées et d'eau épurée est envoyé dans un clarificateur (décanteur secondaire), ce dernier est un ouvrage circulaire de base cylindro-conique, destiné à séparer l'eau épurée des boues. Une partie de cette dernière est recyclée dans le bassin d'aération pour y maintenir une concentration suffisante en bactéries épuratrices. L'excédent (boues secondaires en excès) est extrait du système et évacué vers le traitement de boues.

Du fait de l'absence d'oxygène, le temps de passage des boues doit être le plus faible possible pour éviter qu'elles ne se trouvent en phase anaérobie. Ceci aurait pour conséquence l'apparition d'odeurs ainsi qu'une détérioration de la qualité mécanique de la boue perturbant tant le traitement biologique de l'eau que le traitement ultérieur des boues.



Figure III.6 : Clarificateur

❖ **Déphosphatation chimique :**

Il se fait par ajout du chlorure ferrique à la sortie du bassin d'aération pour faire précipiter un sel de phosphore très insoluble qui ensuite sera séparé de la phase liquide dans le clarificateur.

Le dosage des réactifs dépend des caractéristiques de l'effluent à traiter (pH, concentration en phosphore, dureté de l'eau...)



Figure III.7 : Cuve de stockage du FeCl_3

III.1.3.4. Traitement tertiaire filtration :

Une partie des eaux épurées est acheminée vers une unité de traitement dans le but de réduire la contamination microbiologique. L'opération de filtration consiste à faire passer les eaux épurées sur un filtrant constitué de sable. Des impuretés restent piégées entre les espaces.



Figure III.8: filtre vide et plein

Topographie et niveaux hydrauliques

Le terrain sur lequel les infrastructures existantes sont construites, est relativement plat.

Le terrain naturel est à 15.90 NGA.

Le niveau d'eau maximum (seuil de sortie) de la chloration vers le rejet est à 12.54 NGA. Les nouvelles installations vont venir se situer entre la décantation primaire et le comptage avant chloration.

Les niveaux, sortie décantation primaire, sont les suivantes:

Le niveau fil d'eau décantée (départ vers les canaux d'acheminement vers la chloration) est 13.40 NGA.

Niveau à débit nul	16,45 m NGA
Niveau à débit maxi	16,50 m NGA
Niveau dans la goulotte à débit max	16,40 m NGA

Les niveaux d'entrée du canal de comptage avant chloration sont les suivants :

Niveau à débit nul	12,88m NGA
Niveau à débit maxi	13,24m NGA
Niveau de radier	12,40m NGA

III.2. caractéristiques des eaux à traiter

Les réseaux acheminent les eaux usées vers les installations de traitement sont du type mixte, urbains et industrielles.



Figure III.9 : Assainissement de la zone Nord –ouest de la wilaya de Boumerdès

- **Remarque**

Les caractéristiques des rejets urbains et des rejets industriels sont synthétisées dans le Tableau suivant

Tableau. III.1: Les rejets urbains et industriels

Rejet	Localisation du rejet	communes raccordées
I	Oued réghaia	Zi reghaia-rouiba
I	Sous pont RN24	Heuraouas
U	Falaise d'ain taya	Ain taya, ain beida
U	Falaise d'ain taya	Ain taya, ain beida
U	Falaise d'ain taya	Ain taya, ain beida
U	Falaise d'ain taya	Ain taya, ain beida
U	Falaise d'ain taya	Alger plage, borj el bahri
U	Alger plage	Alger plage, borj el bahri
U	Alger plage	Alger plage, borj el bahri
U	Alger plage	Ben zerga
U	Oued el hamiz	Ben zerga
U	Oued el hamiz	Rouïba

U ₅	Oued bouréa	Rouïba
U _{6,1}	Oued séguia	Rouïba
U _{6,2}	Oued reghaia	Haouch el mokhfi
U ₇	Oued reghaia	Aissa mustafa
U ₈	Oued reghaia	Reghaia
U ₉	Oued reghaia	Cités de reghaia
U ₁₀	Oued reghaia	Cités de reghaia
U ₁₁	Oued reghaia	Surcouf
U ₁₂	Surcouf	Tamentafous
U ₁₃	Tamantafous	El marsa
U ₁₄	Oued el biar	El marsa
U ₁₅	El marsa	El marsa

L'eau ainsi traitée sera déversée dans le lac de REGHAIA, puis sera réutilisée pour l'irrigation et dans l'industrie.

Les données de base à prendre en compte pour le dimensionnement des futures installations sont les suivants :

Tableau. III.2: Charge hydraulique (pour le dimensionnement) :

Débit	charge hydraulique
Débit journalier	80 000 m ³ /j
Débit moyen	3333 m ³ /j
Débit de pointe de temps sec	5022 m ³ /j
Débit de pointe de temps de pluie	8118 m ³ /j

Afin de pouvoir respecter les objectifs de traitements, pour le dimensionnement des nouvelles installations en prenant les rejets suivants :

Ces valeurs sont à considérer à la sortie des installations existantes.

Les concentrations visées sont basées sur un échantillonnage moyen journalier proportionnel au débit.

Tableau. III.3: concentration de la charge polluante (brute-épurée) :

	Eau brute	Eau épurée	Normes de rejet (mg/l)
	Flux nominal journalier (Kg/j)	Concentration sur échantillon 24h(mg/l) sur moyen	(les objectifs de la station)
MES	19960	20	20
DBO	15800	15	15

DCO	28560	50	50
NGL	1960	10	10
Pt	540	3	3

En plus de valeurs cibles citées ci dessus, les objectifs de traitement bactériologiques sont les suivants :

Coliformes fécaux	2000 par 100ml
Coliformes totaux	10000 par 100ml
Œufs d'helminthes	1par litre

Ces valeurs de rejet tiennent compte des rendements d'éliminations sur les ouvrages Existantes, à savoir 30% d'abattement de la DBO₅, 60% d'abattement sur les MES et 12% d'abattement sur le phosphore.

III.3.. Présences toxiques :

Le tableau **III.4** regroupe les principaux toxiques potentiels acheminés sur le réseau vers la station d'épuration.

Tableau. III.4 : Les principaux toxiques potentiels acheminés vers la station d'épuration

Paramètres	Concentration maximale (rejets urbains mg/l)	Concentration maximale (rejets industriels mg/l)	Concentration maximale EB mixte mg/l
Matières grasses	30719	2387,6	908,0
Tensions-actifs	1,92	19227,8	9,3
Chrome	0,054	<0,05	0,0053
Mercure	<0,05	<0,050	<0,05
Cadmium	<0,03	<0,030	<0,03
Zinc	0,395	0,450	0,411
H ₂ S	0,08	79,7	22,7
Cuivre	0,4	0,36	0,39
Nickel	0,113	<0,06	0,098
Plomb	<0,1	<0,1	<0,1
Cyanures	<0,002	<0,002	<0,002

III.4. Caractéristiques hydrauliques et morphométriques du lac de Réghaia

III.4.1. Position géographique

Le barrage est inséré entre deux ponts sur la RN.24, celui de Réghaia dans sa partie sud, et L'Oued Biar à l'ouest. Le centre cynégétique et la localité dénommée cité Ali Khodja forment Sa rive droite.

III.4.2. Données morphométriques

- Superficie du lac: 103.55 ha soit 1.035 Km²
- Longueur du chenal principal : 2840 m
- Grande largeur : 720 m
- Profondeur max : 7.0 m
- Profondeur moyenne : 5.59 m
- Périmètre du plan d'eau: 7.7Km

Chapitre IV

Analyse statistique des données par L'ACP

IV.1. Introduction :

Les méthodes d'analyse de données ont largement démontré leur efficacité dans l'étude de grandes masses d'informations. Ce sont des méthodes multidimensionnelles, en opposition aux méthodes de statistiques descriptives simples ; qui ne traitent qu'une ou deux variables à la fois. Elles permettent la confrontation d'un ensemble d'informations, ce qui est infiniment plus riche que leur examen séparé. Les représentations simplifiées de grands tableaux de données que ces méthodes permettent d'obtenir, s'avèrent un outil de synthèse remarquable.

Dans ce chapitre, on va présenter l'une des méthodes de l'analyse de données, c'est l'Analyse en Composantes Principales, ses notions de base ainsi que son intérêt. Une application pour le diagnostic de la STEP de Reghaia a été effectuée.

IV.2. Description de la méthode :

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) fait partie du groupe de méthodes descriptives multidimensionnelles appelées méthodes factorielles.

Elle propose à partir d'un tableau rectangulaire de données comportant les valeurs de m variables quantitatives pour p unités (appelées aussi individus), des représentations géométriques de ces unités et de ces variables. Ces données peuvent être issues d'une procédure d'échantillonnage ou bien de l'observation d'une population entière. Les représentations des unités permettent de voir s'il existe une structure non connue a priori sur cet ensemble d'unités de façon analogue, les représentations des variables permettent d'étudier les structures de liaisons linéaires sur l'ensemble des variables considérées. Ainsi on cherchera si l'on peut distinguer des groupes dans l'ensemble des unités en regardant quelles sont les unités qui se ressemblent, celles qui se distinguent des autres. Pour les variables, on cherchera quelles sont celles qui sont très corrélées entre elles, celles qui au contraire ne sont pas corrélées aux autres. [31]

IV.3. Définitions :

IV.3.1. Notions d'individu et de caractère :

❖ Individu :

L'individu peut désigner selon les cas : une année d'observations ou une autre unité de temps. L'ensemble des individus peut provenir d'un échantillonnage dans une population ou, il peut être de la population toute entière.

L'individu " i " est décrit par le vecteur appartenant à R_P :

$$X_i = \{j = 1 \text{ à } P\}$$

Le terme X_{ij} est un nombre réel qui représente la mesure de la variable X_j sur l'individu i .

Si l'ensemble des individus doit être homogène, l'ensemble des variables peut être hétérogène. [32]

❖ Caractère :

Sur un individu, on relève un certain nombre de caractères, dits aussi variables, désignant en général un paramètre intervenant dans un phénomène complexe à étudier.

Le caractère (ou variable) " j " est décrit par le vecteur de R_N :

Chapitre IV : Analyse en Composantes Principales (ACP)

$$X_j = \{X_{ij} / i = 1 \text{ à } N\}$$

Ainsi si l'ensemble des individus doit être homogène, l'ensemble des variables peut être hétérogène. [32]

IV.3.2. Définition algébrique :

L'ACP considère P variables pour lesquelles on dispose de N individus, donc la matrice [X] résultant du croisement « NxP » est la matrice de données [X] tel que :

$$[X] = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & . & . & X_{1j} & . & . & X_{1P} \\ X_{21} & X_{22} & . & . & X_{2j} & . & . & X_{2P} \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ X_{i1} & X_{i2} & . & . & X_{ij} & . & . & X_{iP} \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ X_{N1} & X_{N2} & . & . & X_{Nj} & . & . & X_{NP} \end{bmatrix}$$

Définissons les paramètres statistiques des variables :

- **Moyenne**

$$\overline{X_j} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{ij}$$

$\overline{X_j}$: Moyenne de la $j^{\text{ième}}$ variable

- **Variance**

$$\sigma_{xj}^2 = \text{Var}_j = \sum_{i=1}^N P_i (X_{ij} - \overline{X_j})^2$$

σ_{xj} : Ecart type de la $j^{\text{ième}}$ variable

- **Covariance**

Le coefficient de covariance entre les variable X_j et X_k est donné par :

$$\text{COV}(X_j, X_k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{ij} - \overline{X_j}) * (X_{ik} - \overline{X_k})$$

- **Corrélation**

Le coefficient de corrélation entre les variables X_j et X_k est donné par :

$$\text{Cor}(X_j, X_k) = \frac{\overline{X_j, X_k}}{S_j * S_k} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{ij} - \overline{X_j}) * (X_{ik} - \overline{X_k})}{[\sum_{i=1}^N (X_{ij} - \overline{X_j})^2 * \sum_{i=1}^N (X_{ik} - \overline{X_k})^2]^{1/2}}$$

Chapitre IV : Analyse en Composantes Principales (ACP)

IV.4.1. Optimisation du problème :

Déterminer un sous espace W , revient à choisir canoniquement dans R^p un référentiel défini par un vecteur constant $\vec{A}$ de R^p et un système orthonormé de vecteurs $\vec{V}_1 \dots \vec{V}_Q$ formant une base du sous espace vectoriel W .

Le nouveau référentiel est obtenu à la suite d'une translation plus une rotation. On définit donc W par :

$$W = \vec{A} + [\vec{V}_1 \dots \vec{V}_Q]$$

Tel que $\vec{V}$ définit le vecteur de translation de l'origine du repère initial vers celui du nouveau repère, et la séquence $\{V_1, \dots, V_Q\}$ les vecteurs permettant la rotation autour de l'origine translaté.

W sera choisi de telle sorte que la déformation en projection soit minimum, et les Q nouvelles variables seront alors les composantes des projections des points du nuage dans ce référentiel. [33]

On écrira alors pour tout individu i :

$$\vec{C}_j = \vec{A} + \sum_{k=1}^Q C_{jk} \vec{V}_k$$

Avec :

$\vec{C}_j$: Projection orthogonale de X_i sur W

$\vec{V}_k$: Vecteur propre de rang k

C_{jk} : Coefficients des composantes principales

La déformation globale en projection sur W est mesurée par l'inertie autour de W , notée et définie par :

$$\vec{C}_i = \vec{A} + \sum_{k=1}^Q C_{ik} \cdot \vec{V}_k$$

$d(\vec{X}_1, \vec{C}_1)$: Distance entre le point défini par le vecteur X_i et celui défini par sa projection sur W .

La recherche du référentiel W se fait sous l'hypothèse de minimisation de la déformation globale, ce qui revient à minimiser l'inertie I_W .

Toute solution W du problème contient l'extrémité du vecteur G définissant le centre de gravité du nuage des individus.

Soit A le point défini par l'extrémité du vecteur A appartenant à R_p on notera W_A le sous espace passant par A .

Utilisons le théorème de HUYGENS pour montrer que :

Pour tout vecteur $\vec{A}$ de R^p .

$$I_{WA} \geq I_{WG}$$

Ce théorème s'énonce ainsi :

Soit W_A un sous espace passant par A , W_G le sous espace parallèle à W_A et contenant le centre de gravité G du nuage des individus

$$I_{WA} = I_{WG} + d^2(G, W_A)$$

Chapitre IV : Analyse en Composantes Principales (ACP)

Le théorème ci-dessus montre donc que :

L'inertie du nuage des individus par rapport à l'ensemble des sous espaces parallèles à W_0 est minimum pour le sous espace W_G contenant le centre de gravité du nuage.

Le sous espace optimal W cherché contient donc le centre de gravité du nuage :

$$W=W_G$$

On peut supposer les données centrées. En effet le point individu du tableau centré s'écrit :

$$\overrightarrow{OX_1} - \overrightarrow{OG} = \overrightarrow{OX_1} + \overrightarrow{GO} = \overrightarrow{GO} + \overrightarrow{OX_1} = \overrightarrow{GX_1} = \overrightarrow{Y_1}$$

Si C_i est la projection de X_i sur W_G et C_i' la projection de Y_i sur W_O alors :

$$C_i' = C_i - G$$

$$\overrightarrow{C_i'} = \overrightarrow{C_i} - \overrightarrow{OG}$$

Et il est équivalent de minimiser la quantité

$$\sum_{i=1}^N P_i d^2(X_i, C_i)$$

Ou la quantité

$$\sum_{i=1}^N P_i d^2(Y_i, C_i')$$

Car tout simplement :

$$X_i - C_i = Y_i - C_i'$$

Dans la suite nous supposons toujours que les données sont centrées c'est-à-dire que :

Pour tout i ,

$$Y_i = X_i, G=0 \text{ et } W=W_G=W_O$$

IV.4.2. Formulation matricielle :

L'objectif de l'ACP étant de maximiser la variance, la formulation matricielle du problème est la suivante : [32], [33]

Soit les matrices colonnes $V_1, V_2, \dots, V_Q$ de dimension $(N \times 1)$ représentant l'hyperplan formé par les axes principaux vérifiant les conditions de normalité et d'orthogonalité :

$$\begin{cases} \vec{V}_i \cdot \vec{V}_i = 1 \\ \vec{V}_i \cdot \vec{V}_j = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} i=1 \rightarrow Q \\ j=1 \rightarrow Q \end{cases}$$

On veut maximiser la quantité :

$$\sum_{j=1}^Q Var(C_j)$$

Chapitre IV : Analyse en Composantes Principales (ACP)

Sachant que :

C_j : Composante principale d'ordre j ;

$[R]$: Matrice des covariances des variables ($X_1, X_2, \dots, X_p$) ;

$[M]$: Métrique définissant le produit scalaire sur l'espace R^p .

❖ Choix de la métrique :

La métrique $[M]$ possède deux options classiques :

$[M]=1$: Matrice identité.

La covariance sera utilisée afin de quantifier les relations inter variables, on parlera alors d'une ACP canonique

$$[M]=D^2$$

$$D_{\gamma^2} = \begin{vmatrix} \gamma_{\sigma_1^2} & 0 & & & 0 \\ 0 & \gamma_{\sigma_2^2} & 0 & & \\ & 0 & \ddots & & \\ & & 0 & \gamma_{\sigma_i^2} & 0 \\ & & & \ddots & \ddots \\ 0 & & & 0 & \gamma_{\sigma_p^2} \end{vmatrix}$$

On utilise généralement cette métrique pour pallier au problème de l'hétérogénéité des caractères (variables), et éviter l'influence du choix d'unité des variables. Dans ce cas on parlera d'ACP normée, elle est équivalente à une ACP canonique effectuée sur des variables centrées réduites.

Les données ainsi transformées se présentent sous forme d'une matrice dont toutes les variables sont de moyenne nulle et d'écart type unité.

IV.4.3. Procédé d'application de l'ACP :

IV.4.3.1. Calcul de la matrice des covariances :

La matrice des covariances, notée $[R]$ est la base de l'ACP, elle est obtenue en appliquant la relation suivante :

$$R = (1/n) X^T \cdot M \cdot X$$

$[R]$: Matrice de covariance de dimension $(p \times p)$;

$[X]$: Matrice de données ;

$[X]^t$ Matrice transposée de $[X]$;

$[M]$: Métrique.

IV.4.3.2. Recherche des axes principaux :

Le but est de construire un nouveau système d'axes avec un minimum de variables assurant un maximum de variance. [33]

Chapitre IV : Analyse en Composantes Principales (ACP)

❖ Recherche du premier axe :

Telle ^{que} mentionnée précédemment, la contribution maximale est donnée par le premier axe principal, nous devons donc maximiser la variance relative à celui-ci. La recherche du premier axe principal consiste à résoudre le problème.

$$\{MaxVar(C_1)V_1^t \cdot [M] \cdot V_1 = 1$$

Nous pouvons exprimer la variance de C_1 à l'aide de la matrice des covariances $[R]$ du vecteur aléatoire

$$X=(X_1,X_2,\dots,X_j,\dots,X_p)$$

$$Var (C_1)=V_1^t \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_1.$$

En utilisant la méthode du multiplicateur de LAGRANGE nous pouvons écrire :

$$L=V_1^t \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_1 - \lambda_1(V_1^t \cdot [M] \cdot V_1 - 1$$

Puisque la matrice $[M]$ est inversible :

$$[R] \cdot [M] \cdot V_1 = \lambda_1 \cdot V_1$$

Donc V_1 est le vecteur propre de la matrice $[R] \cdot [M]$. Il suffit de choisir comme le vecteur propre associé à la plus grande valeur propre λ de la matrice $[R] \cdot [M]$ pour maximiser la variance de C_1 .

❖ Recherche du second axe :

Nous cherchons à déterminer le vecteur unitaire V_2 tel que la composante C_2 soit de variance maximale et non corrélée à C_1 .

Sachant que :

$$V_2^t \cdot [M] \cdot V_2 = 1$$

$$COV (C_1, C_2) = 0$$

L'expression de $COV (C_1, C_2)$ est donnée par :

$$COV (C_1, C_2) = COV(C_2, C_1) = V_2^t \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_1 = 0$$

Comme la covariance ne tient pas compte de l'ordre nous pouvons écrire :

$$COV (C_1, C_2) = COV (C_2, C_1) = V_2^t \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_1 = 0$$

Or nous savons que V_1 est un vecteur propre de $[R] \cdot [M]$ associé à la valeur propre λ_1

Nous en déduisons que :

$$COV (C_1, C_2) = \lambda_1 V_2^t \cdot V_1 = 0$$

Une covariance nulle entre C_1 et C_2 est équivalente à l'orthogonalité des vecteurs V_1 et V_2 :

$$COV (C_1, C_2) = 0 \Leftrightarrow V_1 \cdot V_2 = 0$$

En appliquant la même méthode pour la recherche du deuxième axe, nous aurons :

$$L=V_2^t \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_2 - \lambda_2(V_2^t \cdot [M] \cdot V_2 - 1) - \mu_2(V_2^t \cdot [M] \cdot V_1)$$

Chapitre IV : Analyse en Composantes Principales (ACP)

$$\partial L / \partial V_2 = 2 \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_2 - 2\lambda_2 \cdot [M] \cdot V_2 - \mu_2 \cdot [M] \cdot V_1 = 0$$

En simplifiant par $[M]$ nous obtenons :

$$2 \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_2 - 2\lambda_2 \cdot V_2 - \mu_2 \cdot V_1 = 0$$

Nous multiplions à gauche par $V_1^t \cdot [M]$. L'équation précédente s'écrit alors :

$$2V_1^t \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_2 - 2\lambda_2 \cdot V_1^t [M] \cdot V_2 - \mu_2 \cdot V_1^t \cdot [M] \cdot V_1 = 0$$

Or (par hypothèse)

$$V_1^t \cdot [M] \cdot V_2 = 0$$

Donc :

$$V_1^t \cdot [M] \cdot [R] \cdot V_2 = V_2^t \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_1 = \lambda_1 \cdot V_2^t \cdot [M] \cdot V_1 = 0$$

Puisque le vecteur V_1 est unitaire :

$$V_1^t \cdot [M] \cdot V_1 = 1$$

Le multiplicateur de Lagrange μ_2 est donc nul, et nous sommes ramenés au problème précédent. Nous pouvons donc énoncer la définition suivante : le second axe est défini par le vecteur V_2 , vecteur propre unitaire de la matrice $[R] \cdot [M]$ orthogonal à V_1 et associé à la plus grande valeur propre λ_2 inférieure ou égale à λ_1 .

❖ Recherche des autres axes :

En itérant le procédé, nous déterminons donc les valeurs propres et les vecteurs propres de la matrice $[R] \cdot [M]$ pour obtenir la 1^{er} composante principale C_1

Le vecteur propre unitaire de la matrice $[R] \cdot [M]$ définit le 1^{er} axe orthogonal à $(V_1, V_2, \dots, V_{1-1})$ et associé à la plus grande valeur propre λ_1 . Nous constatons que la mise en équation de ces règles aboutit aux résultats suivants :

- Nous appelons 1^{er} vecteur principal : le vecteur propre unitaire V_1 de la matrice $[R] \cdot [M]$ associée, qui fournit les coefficients qui pondèrent les variables initiales pour le calcul des composantes principales.
- Nous appelons 1^{er} axe principal, la droite engendrée par le 1^{er} vecteur principal.
- Chaque composante C_k est portée par le $k^{\text{ème}}$ axe principal.
- La dispersion des projections des variables sur la composante C_k est mesurée par la valeur propre λ_k .
- Les valeurs sont rangées par ordre décroissant : $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots > \lambda_Q$.
- Les CP sont rangés de 1 à Q dans l'ordre des valeurs propres.
- La moyenne de chaque CP est nulle.

Si nous voulons normer les CP, c'est à dire, imposer à chacune d'entre elles d'avoir un écart type unité il suffit de diviser chacune d'elles par la racine de la variance expliquée

$(\lambda_k)^{1/2}$ correspondante.

IV.4.3.3. Calcul des composantes principales :

On désigne par CP, la projection du nuage de points initiale sur le nouveau système d'axes fournit par les vecteurs propres. Notons $[C]$ la matrice des CP. [32]

$$[C]^t = [A] [X]$$

$[X]$: Matrice des données initiales.

$[A]^t$: Matrice transposée de la matrice composée par les vecteurs propres.

IV.4.4. Principaux résultats :

En général une analyse en composantes principales fournit trois sources de renseignements, toutes nécessaires à l'interprétation : [33]

- Un tableau de vecteurs et valeurs propres.
- Un tableau des corrélations des individus avec les axes factoriels.
- Un tableau des corrélations des variables aux axes principaux.

IV.4.5. Représentation graphique :

Une fois les résultats numériques obtenus nous passons à la représentation graphique :

- Nous pouvons représenter chaque variable par un point dont les coordonnées sont les covariances avec les CP réduites.

$$Cov(X_j, C_k) = (\lambda)^{1/2} * V_k(j)$$

Si nous considérons une variable centrée réduite Y_j au lieu de la variable initiale X_j , les coordonnées de cette nouvelle variable dans le plan factoriel sont calculées par :

$$Cov(X_j, C_i) = COV\left(\frac{X_j}{S_j}, C_i\right) = COV(X_j, C_i)$$

C_i : Composante principale normée.

S_j : Ecart type de la j^{eme} variable.

Comme la variance de Y_j est égale à 1, cela signifie que son point représentatif se trouve sur une sphère de rayon égal à 1. C'est pourquoi le cercle unité tracé sur chacun des plans étudiés s'appelle cercle de corrélation. La variable sera d'autant mieux expliquée, que son point représentatif se rapproche du cercle et inversement.

Nous pouvons aussi observer la répartition des individus selon les principaux axes choisis. Ainsi deux individus seront proches dans l'espace R_p , s'ils sont proches dans le plan factoriel. Dans le graphique des individus on s'intéresse aux distances inter-individus qu'on peut interpréter comme étant des ressemblances. [31]

IV.5. Application de l'ACP :

En général, le domaine d'utilisation de L'ACP est très large, sans inconvénients, sans dangers et ne nécessite pas au préalable d'hypothèses restrictives.

Si les conditions de normalité ne sont ni impératives ni nécessaires pour pratiquer l'ACP, le type de variables utilisé influe par contre sur les résultats obtenus. [33]

Nous distinguons deux aspects principaux de l'ACP :

Chapitre IV : Analyse en Composantes Principales (ACP)

❖ **L'analyse descriptive**: s'intéresse à la structure de la matrice d'observations, basée principalement sur la représentation graphique des résultats obtenus par l'ACP et ce, afin de visualiser certains problèmes non décelables à l'état brut, vu l'indépendance des variables.

❖ **L'analyse opérationnelle**: l'ACP fournit un outil mathématique en apparence, pour :

- Optimisation d'un réseau de mesures.
- Reconstitution des données.
- Prévision.
- Simulation.

IV.5.1. Influence de la transformation des variables

La matrice de corrélation (variable centrée réduite) ou de covariance (variable brute) constitue le point de départ de toute analyse en composantes principales, c'est l'une ou l'autre en effet qui permet après diagonalisation de calculer les valeurs et les vecteurs propres, et par conséquent les composantes principales (CP).

Or la valeur du coefficient de corrélation (ou de covariance) entre les variables X_j et X_k dépend essentiellement des couples d'observations X_{ij} et X_{ik} et par conséquent toute transformation appliquée aux p variables X_j modifiera les coefficients de corrélation (ou de covariance), et de ce fait la structure même des composantes principales. [32]

Il existe des transformations usuelles pour l'analyse des données à savoir :

IV.5.1.1. Variable centrée

$$Y_j = X_j - \overline{X_j}$$

Avec

X_j : Variable initiale.

$\overline{X_j}$: Moyenne de la variable initiale.

Y_j : Variable transformée (centrée).

IV.5.1.2. Variable réduite :

$$Y_j = \frac{X_j - \overline{X_j}}{\sigma_{X_j}}$$

Avec :

X : Variable initiale ;

σ_{X_j} : Ecart type de la variable initiale ;

Y_j : Variable transformée (réduite).

IV.5.1.3. Variable centrée réduite

$$Y_j = \frac{X_j - \overline{X_j}}{\sigma_{X_j}}$$

Chapitre IV : Analyse en Composantes Principales (ACP)

Avec :

X_j : Variable initiale ;

$\bar{X}_j$: Moyenne de la variable initiale ;

σ_{X_j} : Ecart type de la variable initiale ;

Y_j : Variable transformée (centrée réduite).

L'analyse en composantes principales peut donc être effectuée sur quatre types de variables :

- ACP sur variables brutes (sans transformation) ;
- ACP sur variables centrées ;
- ACP sur variables réduites ;
- ACP sur variables centrées réduites.

Le traitement des variables brutes et des variables centrées donne lieu à la même matrice de covariance, et par conséquent, les résultats de la diagonalisation sont identiques.

En effet, considérons la variable brute X et la variable centrée Y , et montrons que la covariance des deux variables brutes (X_j, X_k) est équivalente à celle des deux variables centrées respectives (Y_j, Y_k).

$$Y_j = X_j - \bar{X}_j \quad \Rightarrow \quad \bar{Y}_j = 0$$

$$Y_k = X_k - \bar{X}_k \quad \Rightarrow \quad \bar{Y}_k = 0$$

Or:

$$\text{Cov}(Y_j, Y_k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{ij} - \bar{Y}_j) * (Y_{ik} - \bar{Y}_k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_{ij} * Y_{ik}$$

En remplaçant chaque variable par son expression nous obtenons :

$$\begin{aligned} \text{Cov}(Y_j, Y_k) &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_{ij} * Y_{ik} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j) * (X_{ik} - \bar{X}_k) \\ &= \text{COV}(X_j, X_k) \end{aligned}$$

Or:

$$\text{COV}(Y_j, Y_k) = \text{COV}(X_j, X_k)$$

Le traitement des variables réduites et centrées réduites se fait de la manière suivante :

Soient Y_j et Z_j les variables obtenues par les transformations,

montrons que la covariance des deux variables réduites (Y_j, Y_k) est égale à celle des deux variables centrées réduites (Z_j, Z_k), qui n'est autre que la corrélation entre les deux variables brutes correspondantes.

Chapitre IV : Analyse en Composantes Principales (ACP)

$$Y_j = \frac{X_j}{\sigma_{X_j}} \quad \Rightarrow \quad \bar{Y}_j = \frac{\bar{X}_j}{\sigma_{X_j}}$$

$$Y_k = \frac{X_k}{\sigma_{X_k}} \quad \Rightarrow \quad \bar{Y}_k = \frac{\bar{X}_k}{\sigma_{X_k}}$$

$$Z_j = \frac{X_j - \bar{X}_j}{\sigma_{X_j}} \quad \Rightarrow \quad \bar{Z}_j = 0$$

$$Z_k = \frac{X_k - \bar{X}_k}{\sigma_{X_k}} \quad \Rightarrow \quad \bar{Z}_k = 0$$

Évaluons maintenant les covariances des variables (Y_j, Y_k) et (Z_j, Z_k) :

$$\text{Cov}(Y_j, Y_k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{ij} - \bar{Y}_j) * (Y_{ik} - \bar{Y}_k)$$

$$= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{X_{ij}}{\sigma_{X_j}} - \frac{\bar{X}_j}{\sigma_{X_j}} \right) * \left(\frac{X_{ik}}{\sigma_{X_k}} - \frac{\bar{X}_k}{\sigma_{X_k}} \right)$$

$$= \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j) * (X_{ik} - \bar{X}_k)}{\sigma_{X_j} * \sigma_{X_k}}$$

$$= \frac{\text{Cov}(X_j, X_k)}{\sigma_{X_j} * \sigma_{X_k}}$$

$$= \text{Cor}(X_j, X_k)$$

Donc :

Chapitre IV : Analyse en Composantes Principales (ACP)

$$Cov(Y_j, Y_k) = Cor(X_j, X_k)$$

$$Cov(Z_j, Z_k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z_{ij} - \bar{Z}_j) * (Z_{ik} - \bar{Z}_k)$$

$$= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_{ij} * Z_{ik}$$

$$= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{\sigma_{X_j}} \right) * \left(\frac{X_{ik} - \bar{X}_k}{\sigma_{X_k}} \right)$$

$$= \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j) * (X_{ik} - \bar{X}_k)}{\sigma_{X_j} * \sigma_{X_k}}$$

$$= \frac{Cov(X_j, X_k)}{\sigma_{X_j} * \sigma_{X_k}}$$

$$= Cor(X_j, X_k)$$

Donc :

$$COV (Z_j, Z_k) = COV(X_j, X_k)$$

D'où :

$$Cov(Y_j, Y_k) = COV (Z_j, Z_k) = COV(X_j, X_k)$$

En conclusion nous aurons deux types de variantes à appliquer :

- **ACP brute = ACP centrée.**
- **ACP centrée réduite (ou normée) = ACP réduite.**

L'ACP brute peut être utilisée pour tous les types de variables homogènes c'est à dire possédant les mêmes unités de mesure alors que l'ACP normée peut être utilisée pour des variables homogènes et hétérogènes. En effet en centrant et en réduisant la variable, on élimine le problème de l'hétérogénéité de celle-ci. [33]

IV.6. CONCLUSION

L'analyse en composantes principales est une méthode factorielle d'analyse des données, elle permet d'étudier les corrélations entre les variables d'un tableau de données, tout en cherchant la réduction de sa taille, en remplaçant les variables originales par des nouvelles variables appelées composantes principales.

En utilisant l'analyse en composantes principales, on doit répondre à deux questions :

Est-ce que les différentes variables sont équivalentes et véhiculent toutes la même information ?
est ce que l'information contenue dans un nombre de variables réduites peut expliquer le phénomène étudié ?

Dans le cas où l'information véhiculée serait trop différente d'un indicateur à l'autre, est-il nécessaire d'utiliser toutes les variables originales ?

Chapitre IV : Analyse en Composantes Principales (ACP)

IV.7. Application et interprétation des résultats :

Plusieurs variantes sont testées par l'analyse en composantes principales par le logiciel XLSTAT sous EXCEL, afin d'extraire l'information du tableau des données (tableau des analyses) de la station d'épuration de REGHAIA (jours) de l'année 2014 jusqu'à l'année 2020.

Dans ces applications on s'est intéressé au paramètre de la pollution DBO5 de l'eau épurée (DBO5_{ee}) à la sortie de bassin d'aération.

IV.7.1. ACP donnée Brute

IV.7.1.1. Avant rotation :

- La matrice de corrélation :

Variables	Q (m3/j)	DBO5 _{eb}	DCO _{eb}	MESe _b	NT _{eb}	N- NH4 _{eb}	N- NO2 eb	N- NO3 _{eb}	NTK _{eb}	N- orge _b	Pte _b
Q (m3/j)	1	-0.151	-0.059	-0.033	0.019	-0.295	-0.132	0.062	0.038	0.081	-0.026
DBO5 _{eb}	-0.151	1	0.637	0.334	0.134	0.005	-0.127	0.138	0.143	0.126	0.004
DCO _{eb}	-0.059	0.637	1	0.342	-0.024	-0.008	0.026	0.218	-0.007	-0.023	0.164
MESe _b	-0.033	0.334	0.342	1	-0.055	-0.053	-0.029	-0.209	-0.048	-0.046	0.194
NT _{eb}	0.019	0.134	-0.024	-0.055	1	0.065	-0.106	-0.034	0.984	0.968	0.023
N-NH4 _{eb}	-0.295	0.005	-0.008	-0.053	0.065	1	0.057	-0.123	0.059	-0.150	0.056
N-NO2 eb	-0.132	-0.127	0.026	-0.029	-0.106	0.057	1	0.131	-0.107	-0.111	0.107
N-NO3 _{eb}	0.062	0.138	0.218	-0.209	-0.034	-0.123	0.131	1	-0.044	-0.018	0.187
NTK _{eb}	0.038	0.143	-0.007	-0.048	0.984	0.059	-0.107	-0.044	1	0.970	0.022
N-orge _b	0.081	0.126	-0.023	-0.046	0.968	-0.150	-0.111	-0.018	0.970	1	0.007
Pte _b	-0.026	-0.004	0.164	-0.194	0.023	0.056	0.107	0.187	0.022	0.007	1

Tableau IV.1 : la matrice de corrélation

- Les valeurs propres

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Valeur propre	3.078	2.125	1.652	1.474	1.089	0.991	0.827
Variabilité (%)	21.982	15.177	11.797	10.532	7.778	7.078	5.908
% cumulé	21.982	37.159	48.956	59.488	67.266	74.345	80.253

Tableau IV.2 : variance total expliquée les valeurs propres

Chapitre IV : Analyse en Composantes Principales (ACP)

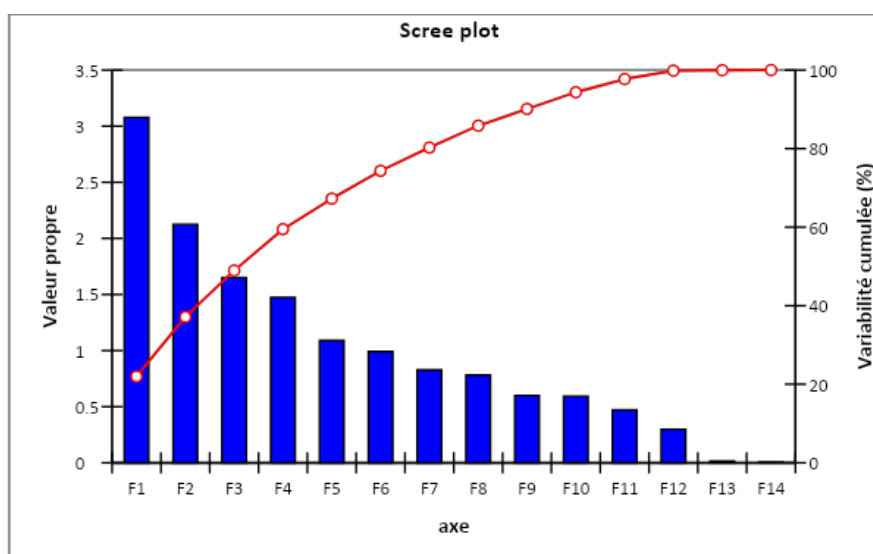


Figure IV.1: représentation graphique des axes valeurs propre

Les six axes (F1, F2 ; F3, F4, F5, F6) expriment 74.345% d'information contenue dans le tableau des données brutes.

- **Corrélation entre les variables et les facteurs :**

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Q (m3/j)	0.047	-0.088	-0.663	-0.097	0.378	0.046	0.388
Pheb	0.110	-0.542	0.391	-0.085	0.037	-0.365	-0.208
T(c°)eb	-0.304	-0.258	0.194	-0.103	0.689	-0.162	0.243
DBO5eb	0.207	0.792	0.224	-0.111	0.115	-0.034	-0.176
DCOeb	0.024	0.847	0.126	0.064	0.179	-0.194	0.009
MESeb	-0.033	0.494	0.117	-0.606	-0.064	-0.296	0.259
CONDeb	-0.004	0.156	0.486	0.160	-0.026	0.668	0.397
NTeb	0.982	-0.077	0.073	0.033	0.044	-0.023	0.062
N-NH4eb	-0.034	-0.169	0.775	0.083	0.174	0.039	-0.025
N-NO2 eb	-0.160	-0.028	0.153	0.431	-0.488	-0.454	0.525
N-NO3eb	-0.028	0.307	-0.250	0.652	0.037	0.018	-0.168
NTKeb	0.984	-0.065	0.066	0.025	0.048	-0.023	0.075
N-orgeb	0.983	-0.045	-0.092	0.014	-0.006	-0.032	0.070
Pteb	0.006	0.089	0.044	0.647	0.382	-0.215	-0.001

Tableau IV.3 : Corrélation entre les variables et les facteurs

A partir de ce tableau, on remarque que les variables NTeb, NTKeb, N-orgeb sont bien corrélées avec l'axe F1 (pollution azoté)

Les paramètres de matière organique (DBO₅eb, DCOeb, MESeb) sont bien corrélés avec l'axe F2

L'axe F3 définit les paramètres physiques alors que les variables NO₂eb, NO₃eb, Pteb sont corrélées avec l'axe F4 (forme oxydée).

Chapitre IV : Analyse en Composantes Principales (ACP)

- **Cercles de corrélation :**

Cercle (1) : Projection des variables sur le plant factoriel (F1 et F2)

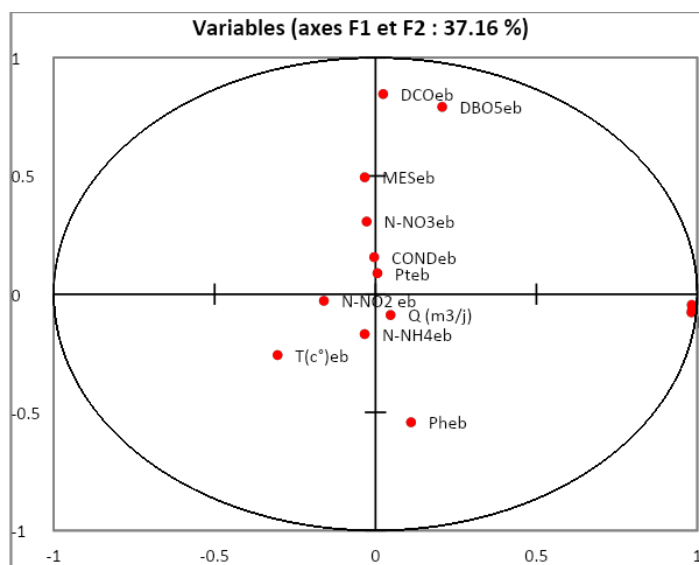


Figure IV.2 : cercle de corrélation sur les axes F1et F2

Le cercle de corrélation formé par les axes principaux F1 et F2, montre un regroupement des variables Nteb, N-orgeb, NTKeb autour l'axe (F1) caractérisant une pollution azoté, et un regroupement des variables DBO₅eb, DCOeb, MESeb autour l'axe F2 caractérisant une pollution organique

Cercle (2) : projection des variables sur les axes (F1et F3)

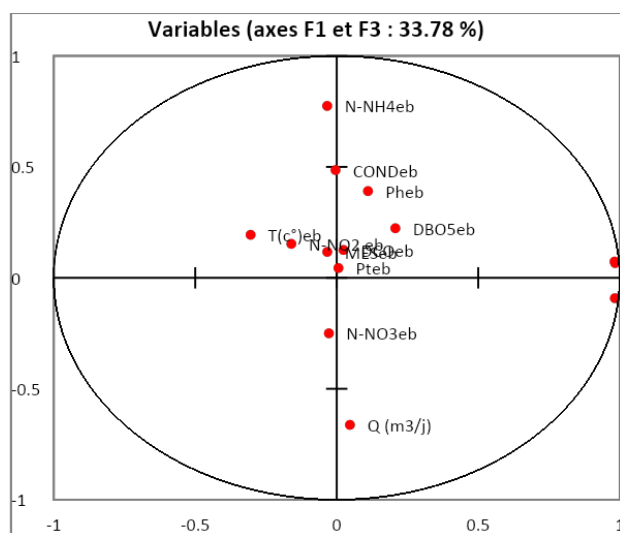


Figure IV.3. : Cercle de corrélation sur les axes F1et F3

Le cercle de corrélation formé par les axes principaux F1 et F3, montre un regroupement des variables Nteb, N-orgeb, NTKeb autour l'axe (F1) caractérisant une pollution azoté.

Chapitre IV : Analyse en Composantes Principales (ACP)

Un groupe des variables CONDeb, PHeb, T(c°)eb, autour l'axe F3 ,et les variables NO₃eb, NH₄⁺eb, Pteb.

Cercle (3) : projection des variables sur les axes (F2et F3)

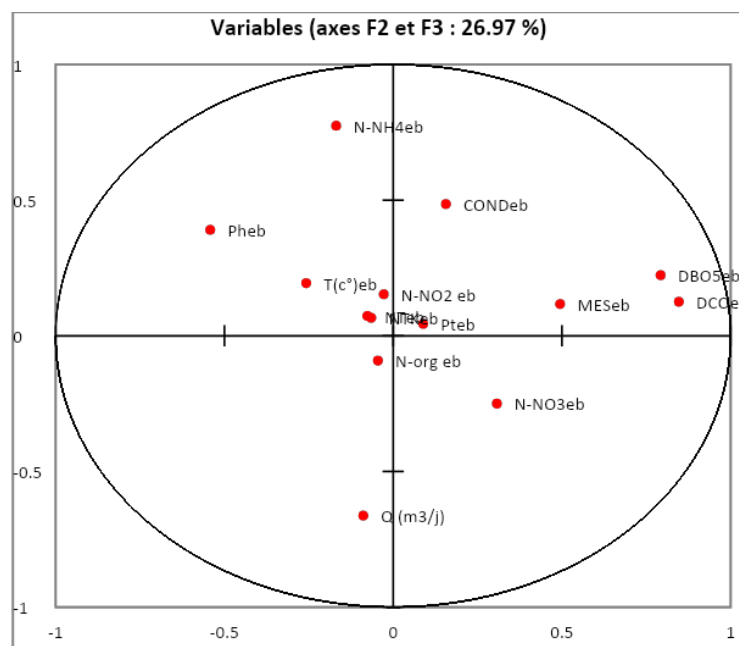


Figure IV.4 : cercle de corrélation sur les axes F2et F3

Les graphes

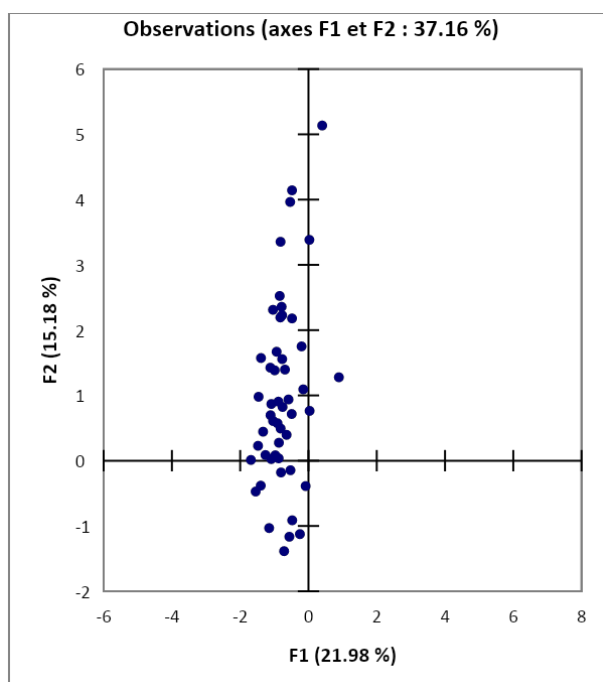


Figure IV.5 : Projection sur les axes F1et F2

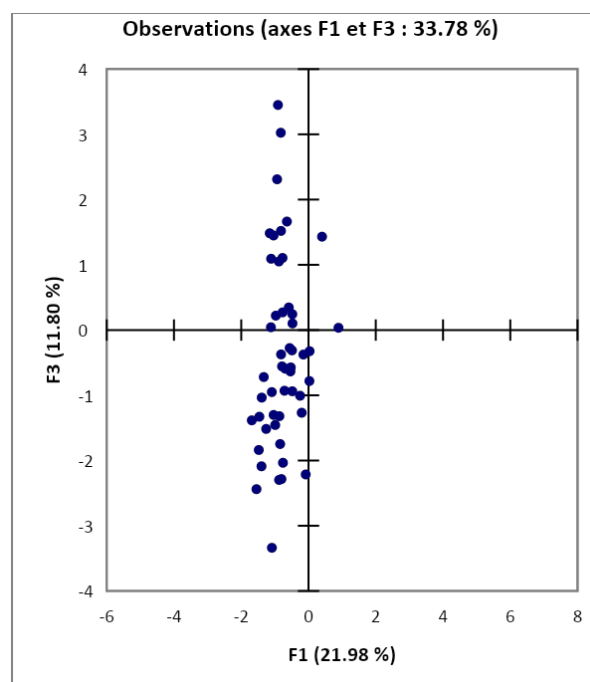


Figure IV.6 : Projection sur les axes F1et F3

Chapitre IV : Analyse en Composantes Principales (ACP)

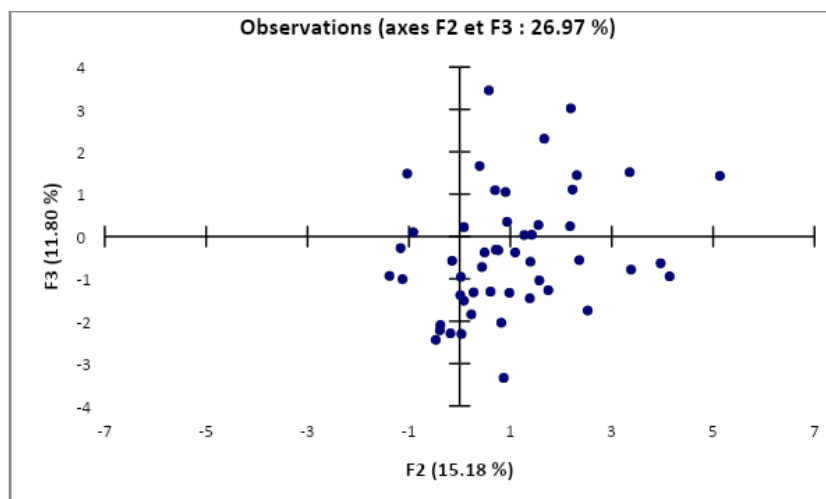


Figure IV.7 : Projection sur les axes F2 et F3

IV.7.1.2. Après la rotation :

- Corrélations entre les variables et les facteurs après rotation :

	D1	D2	D3	D4	D5
Q (m3/j)	0.058	-0.112	-0.693	0.083	0.313
Pheb	0.165	-0.433	0.427	-0.155	0.214
T(c°)eb	-0.240	-0.101	0.134	0.065	0.770
DBO5eb	0.148	0.845	0.081	-0.047	-0.025
DCOeb	-0.035	0.862	0.005	0.157	-0.021
MESeb	-0.086	0.544	-0.036	-0.571	0.000
CONDeb	-0.006	0.209	0.481	0.101	-0.040
NTeb	0.988	0.012	0.053	0.008	-0.009
N-NH4eb	0.009	-0.014	0.769	0.029	0.274
N-NO2 eb	-0.173	-0.147	0.281	0.254	-0.527
N-NO3eb	-0.047	0.191	-0.181	0.680	-0.224
NTKeb	0.989	0.024	0.043	0.003	-0.007
N-orgeb	0.979	0.008	-0.109	-0.004	-0.078
Pteb	0.031	0.095	0.091	0.724	0.180

Tableau IV.4 : Corrélations entre les variables et les facteurs après rotation

A partir de ce tableau, on remarque que les variables NTeb, NTKeb, N-orgeb sont bien corrélées avec l'axe D1 (pollution azoté)

Les paramètres de matière organique (DBO₅eb, DCOeb, MESeb) sont bien corrélés avec l'axe D2

L'axe D3 définit les paramètres physiques CONDeb, PHeb, alors que les variables NO₂eb, NO₃eb, Pteb sont corrélées avec l'axe D4 (forme oxydé).

Chapitre IV : Analyse en Composantes Principales (ACP)

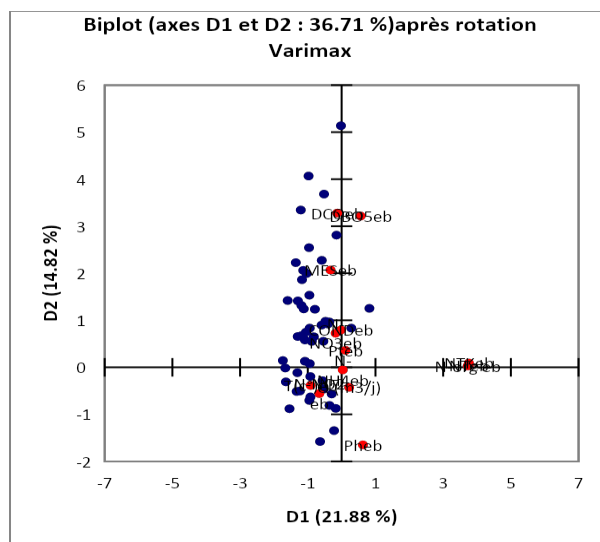


Figure IV.8 : Projection sur les axes D1 et D2

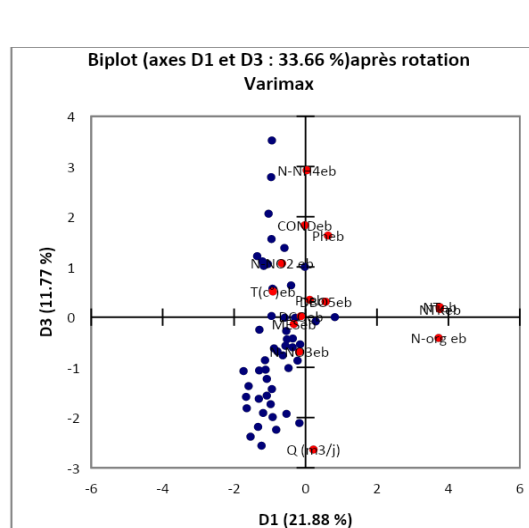


Figure IV.9 : Projection sur les axes D1 et D3

IV.7.2. Diagnostic de processus biologique par ACP

- **La matrice de corrélation**

Variables	Energie Br	RDBO5	RDCO	RMES
Energie Br	1	-0.127	-0.069	-0.087
RDBO5	-0.127	1	0.645	0.483
RDCO	-0.069	0.645	1	0.550
RMES	-0.087	0.483	0.550	1

Tableau IV.5 : La matrice de corrélation

- **Analyse en Composantes Principales :**

Les valeurs propres

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	2.145	0.980	0.532	0.343
Variabilité (%)	53.623	24.493	13.309	8.574
% cumulé	53.623	78.117	91.426	100.000

Tableau IV.6 : Variance total expliquée les valeurs propre

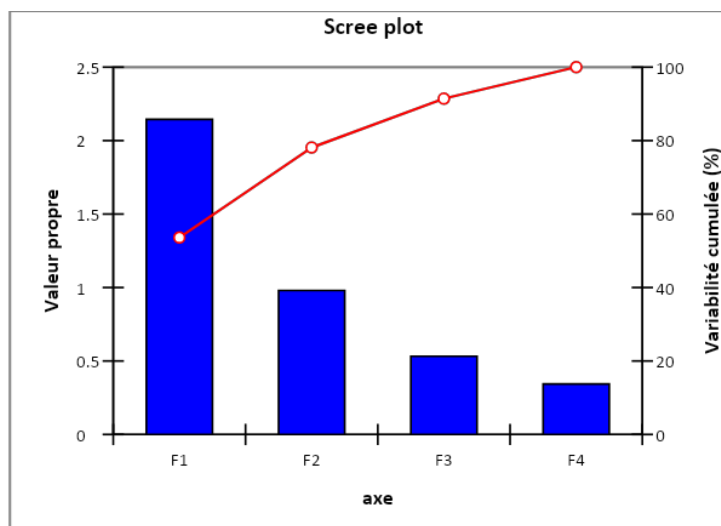


Figure IV.10 : Représentation graphique des axes valeurs propres

Les deux axes expliquent 78.117% de l'information contenue dans une série de données.

- **Cercle de corrélation**

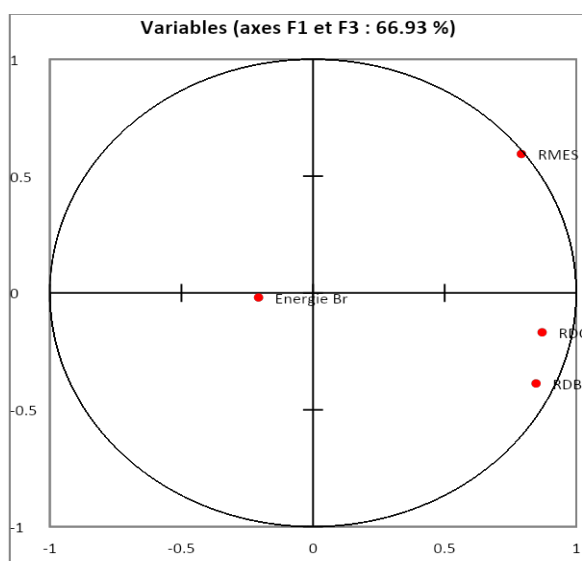


Figure IV.11: Projection sur les axes F1etF3

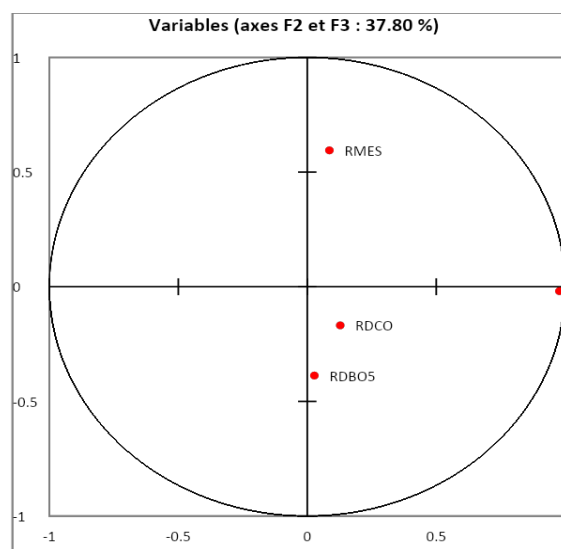


Figure IV12 : Projection sur les axes F2etF3

Le cercle de corrélation formé par les axes principaux F1 et F2, montre que les rendements opératoire de matières organiques RDCO, RDBO5, RMES ne sont pas liés au l'énergie.

VI.8.Conclusion :

En conclusion, pour l'ACP des paramètres physicochimiques de l'effluent arrivant à la station, une prépondérance de la pollution azotée qui se trouve sur le premier axe principal (F1) avec un taux d'explication de tandis que la pollution organique se trouve sur le deuxième axe (F2) avec un taux de. Le troisième et quatrième axe représente respectivement les paramètres physiques et la forme oxydée. Un procédé de dénitrification, donc, s'impose.

Chapitre IV : Analyse en Composantes Principales (ACP)

Pour l'ACP du processus biologique, on remarque une indépendance entre l'énergie et les rendements opératoire de matière organiques. On conclut qu'il n'y a aucune relation de cause à effet entre la consommation d'énergie et le rendement du processus.

Un excès en consommation d'énergie est remarqué au niveau de la STEP.

Chapitre V

Résultats et Interprétation

V.1. Description statistique des différents paramètres de pollution :

Un recueil des données à l'amont et à l'aval de la station a été effectué. L'échantillon retenue à cet objectif représente les observations journalières enregistrées aux niveaux de la station de Reghaia depuis février 2016 jusqu'à septembre 2020, soit 4 ans d'observation. Cependant on n'a pu extraire que 266 observations journalières dont on dispose de toutes les analyses physico-chimiques.

V.1.1. Débit :

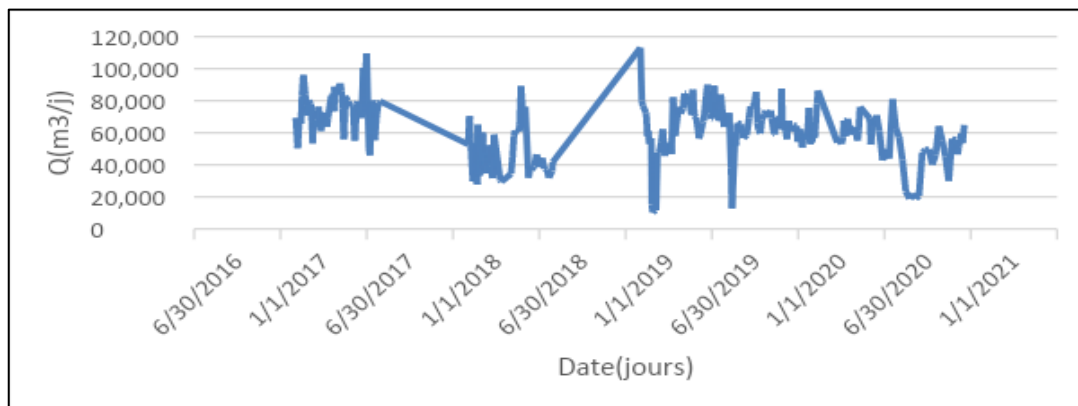


Figure V.1 : La variation de Débit de l'eau brute en fonction du temps (novembre 2016 à septembre 2020).

Le débit de l'effluent varie entre 10179 et 113182 m³/j, avec certains dépassements de la capacité nominale (80000 m³/j), ceci est dû à des intenses précipitations.

V.1.2. Température :

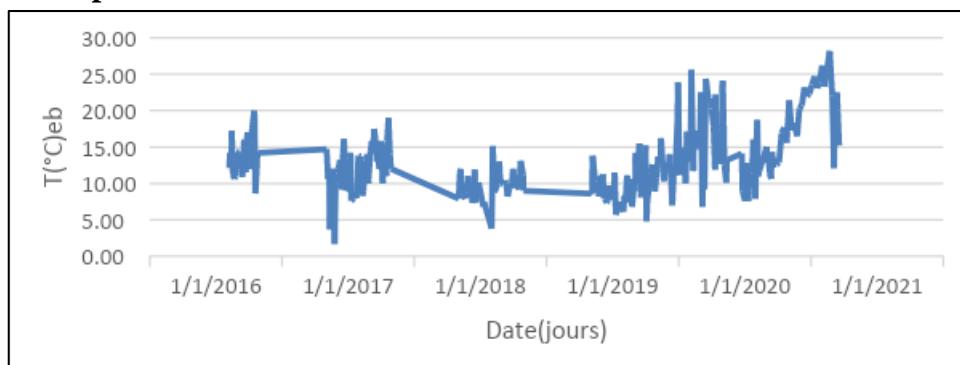


Figure V.2 : La variation de la T (°C) de l'eau brute en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).

En analysant les valeurs de la température à l'entrée de la station, nous constatons des variations entre 1.7 et 28.2 °C avec une moyenne de 12.7 °C, ces variations sont dues aux variations saisonnières.

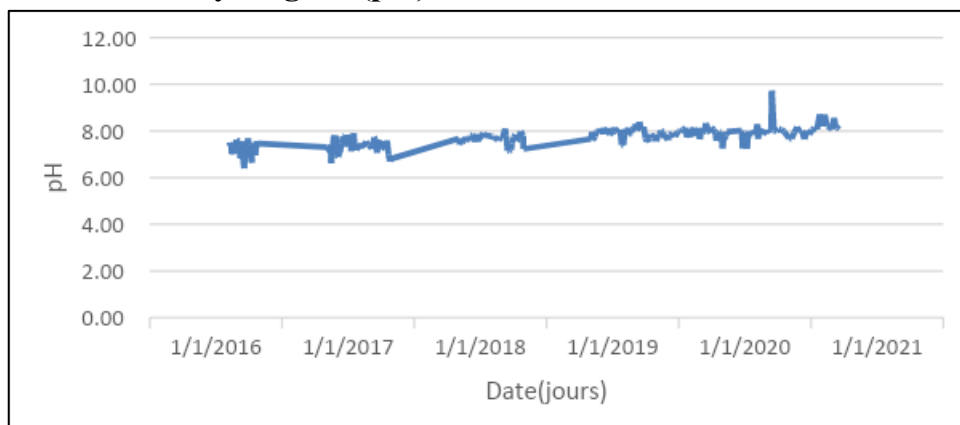
V.1.3. Potentiel d'hydrogène (pH) :

Figure V.3 : La variation de pH de l'eau brute en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).

Comme illustré sur la figure ci-dessus, le pH de l'eau brute varie entre 6.40 et 9.73 avec une moyenne de 7.71. Les deux paramètres pH et température n'apporteront aucune information pertinente pour la problématique étudiée, ils ne seront pas pris en considération dans la suite de l'analyse des paramètres de la station.

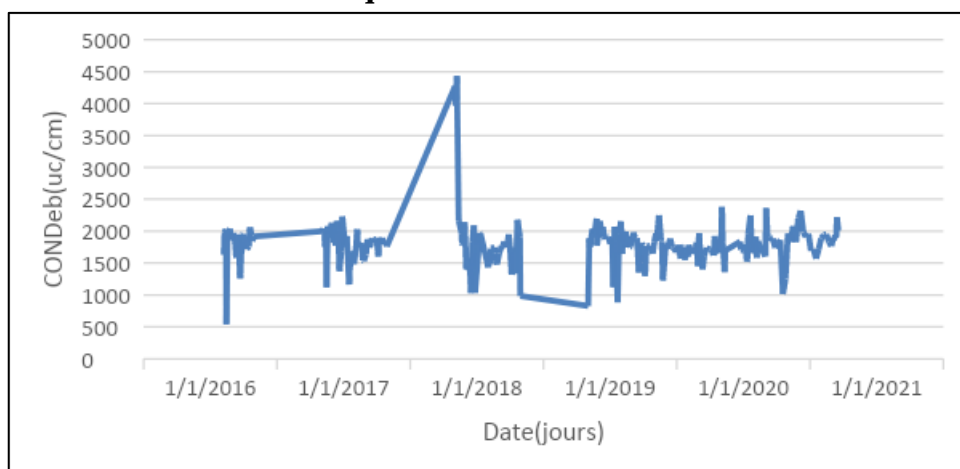
V.1.4. La conductivité électrique :

Figure V.4 : La variation de la conductivité électrique de l'eau brute en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).

On remarque que les valeurs de la conductivité de l'eau brute varient entre 544 à 4430 avec une moyenne de 1806

V.5. Les matières en suspension (MES) :

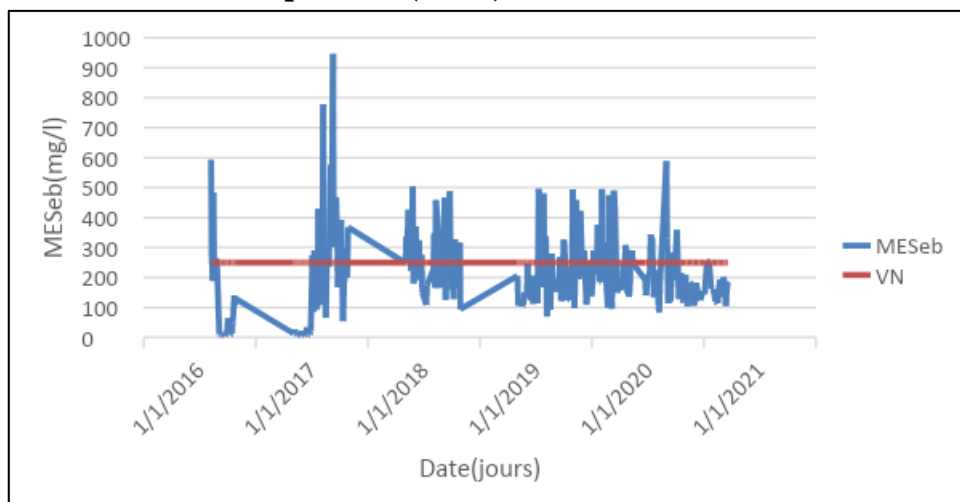


Figure V.5.1 : La variation de MES de l'eau brute en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).

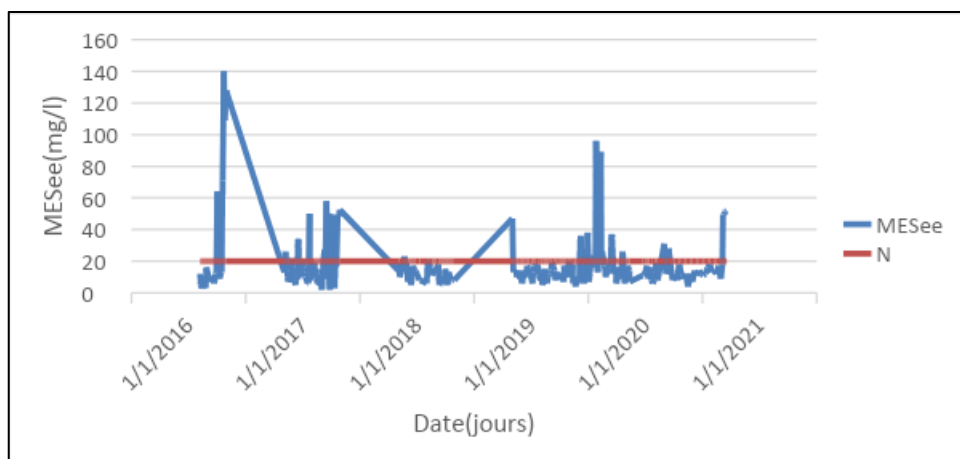


Figure V.5.2 : La variation de MES de l'eau épurée en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).

Les eaux brutes à l'entrée de la station de Réghaia sont caractérisées par une concentration moyenne de 206 mg/l en MES, atteintes une valeur de 946 mg/l, ceci peut être expliqué par des phénomènes exceptionnels, comme le lessivage du bassin versant dans les périodes de crues.

A la sortie de la STEP, les valeurs de MES comprises entre 2 à 140 mg/l avec une moyenne de 17.23, la majorité des valeurs enregistrées sont inférieures à la norme de rejets qui est de 20 mg/l, avec exception de certains cas où les valeurs sont supérieures à cette dernière, ceci est dû à des arrêts accidentels du fonctionnement du décanteur secondaire.

V.1.6. La demande biologique en oxygène (DBO₅) :

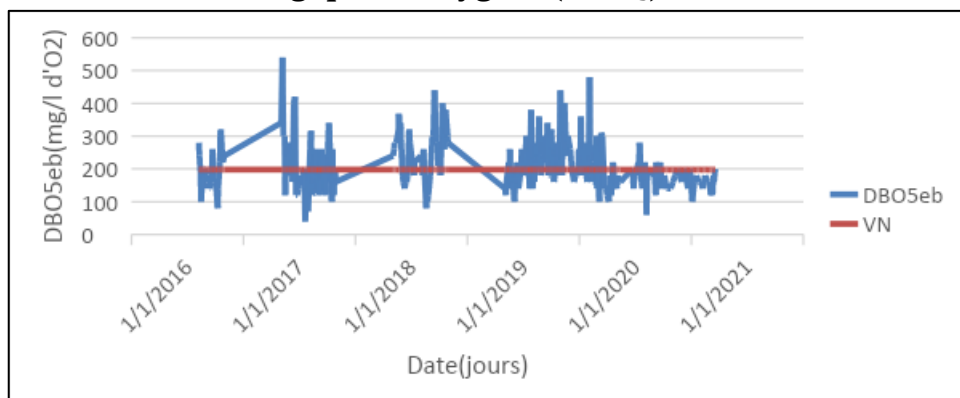


Figure V.6.1 : La variation de DBO₅ de l'eau brute en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).

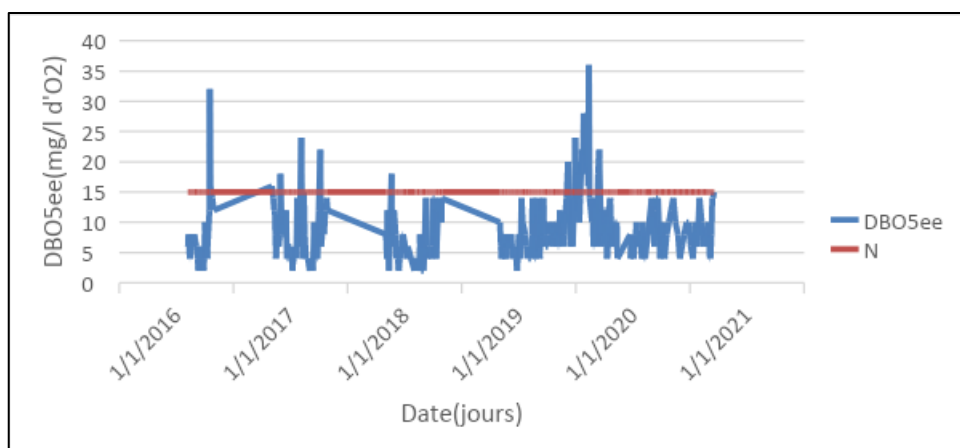


Figure V.6.2 : La variation de DBO₅ de l'eau épurée en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).

A l'entrée de la STEP de Réghaia, les valeurs de la DBO₅ enregistrées varient fortement et oscillent entre 40 et 960 mg/l d'O₂ avec une moyenne de 210 mg/l, avec une augmentation brusque enregistrée à 11/3/2017, où une valeur maximale de 960 mg/l d'O₂ est atteinte, celle-ci étant exceptionnelle.

La DBO₅ de l'eau épurée est comprise entre 2 et 54 mg/l d'O₂ avec une moyenne de 9 mg/l d'O₂, ces valeurs sont généralement inférieures à la norme de rejets qui est 15 mg/l, avec une augmentation enregistrée le 23/4/2016, où une valeur de 36 mg/l d'O₂, qui peuvent s'expliquer soit par une charge organique entrante supérieure à la charge nominale dont les micro-organismes ne peuvent pas tout dégrader, soit par un problème au niveau du bassin d'aération.

V.1.7. La demande chimique en oxygène (DCO) :

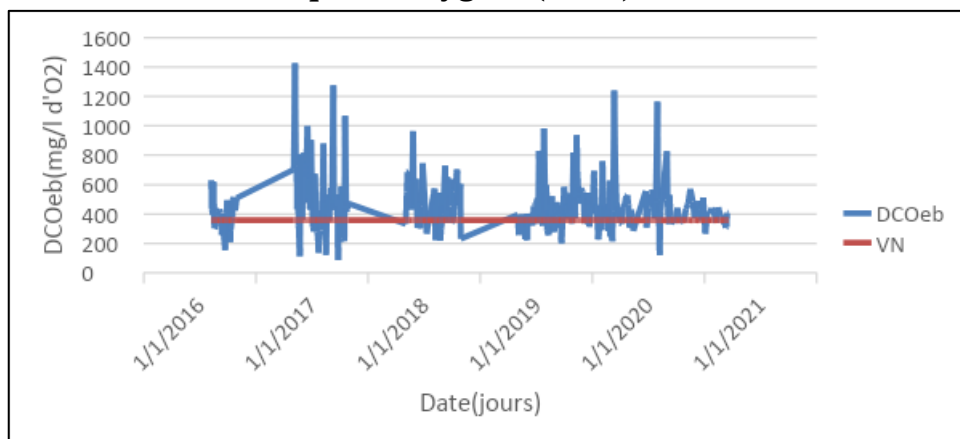


Figure V.7.1 : La variation de DCO de l'eau brute en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).

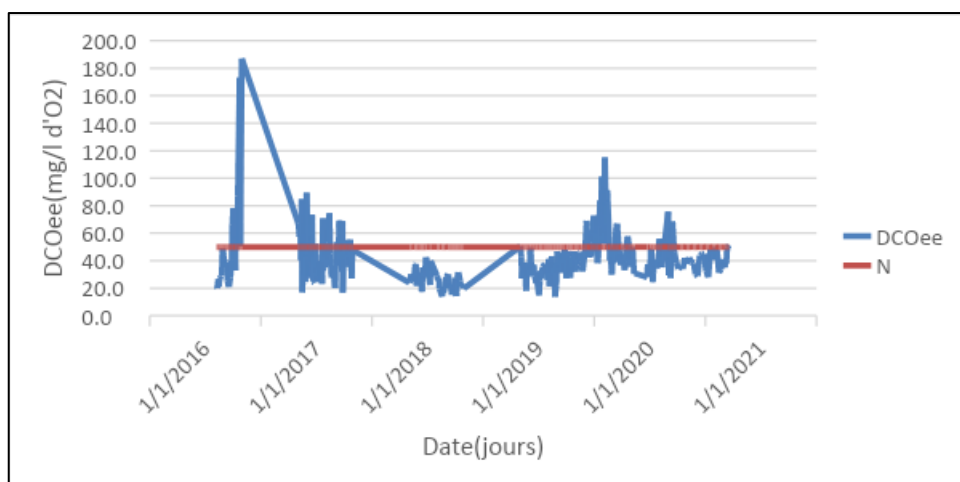


Figure V.7.2 : La variation de DCO de l'eau épurée en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).

Les valeurs de DCO enregistrées à l'entrée de la STEP de Réghaia varient entre 84 et 1427 mg/l d'O₂, avec une moyenne de 457 mg/l. A la sortie de la STEP, les valeurs de la DCO sont comprises entre 13.8 et 187 mg/l d'O₂ avec une moyenne de 41.2 mg/l d'O₂. Généralement, ces valeurs sont inférieures à la norme, avec quelques exceptions dans les années 2016 et 2020, ceci est dû à une forte concentration en DCO qui ne peut pas être métabolisée par les bactéries.

V.1.8. Le phosphore total (Pt) :

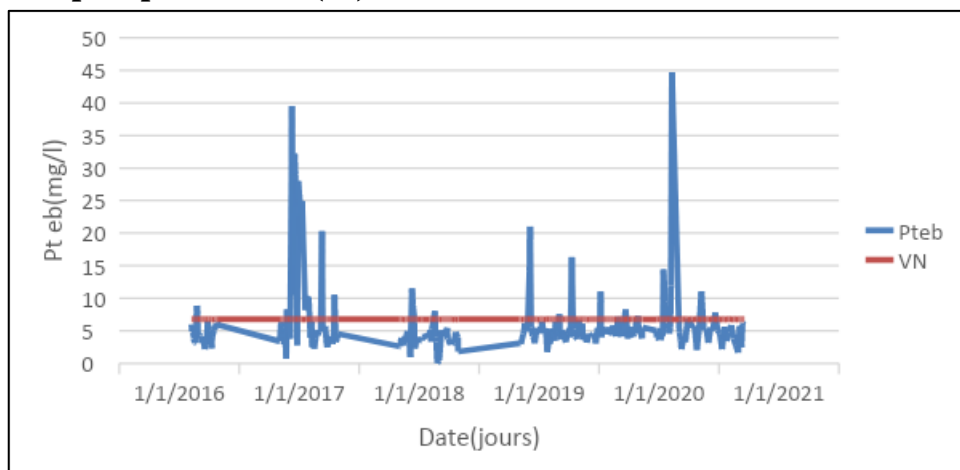


Figure V.8.1 : La variation de Pt de l'eau brute en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).

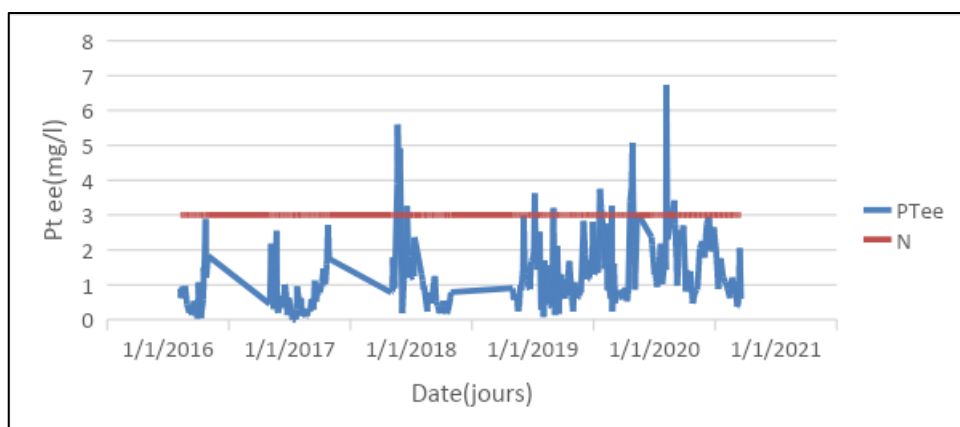


Figure V.8.2 : La variation de Pt de l'eau épurée en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020).

A l'entrée de la station, les valeurs de Pt comprise entre 0 et 44.7 mg/l avec une moyenne de 5.83 mg/l, avec une valeur maximale de 44.7 mg/l atteinte en 10/2/2020.

A la sortie, les valeurs de Pt enregistrées varient entre 0 et 6.74 mg/l, avec une moyenne de 1.24 mg/l. Ces valeurs sont supérieures à la norme qui est 3 mg/l, avec certains dépassements qui peuvent être dû à un faible pourcentage de déphosphatation.

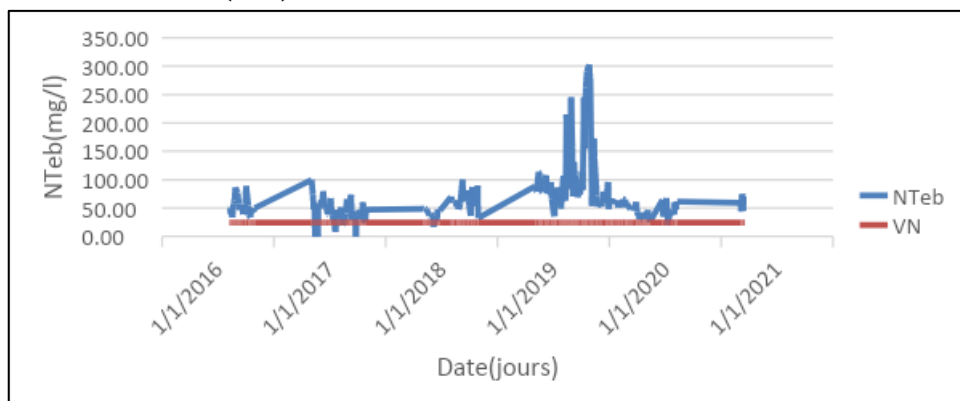
V.1.9. L'azote total (NT) :

Figure V.9.1: évolution journalière de concentration en NT de l'eau brute à l'entrée de la STEP de REGHAIA des années (février 2016 à septembre 2020).

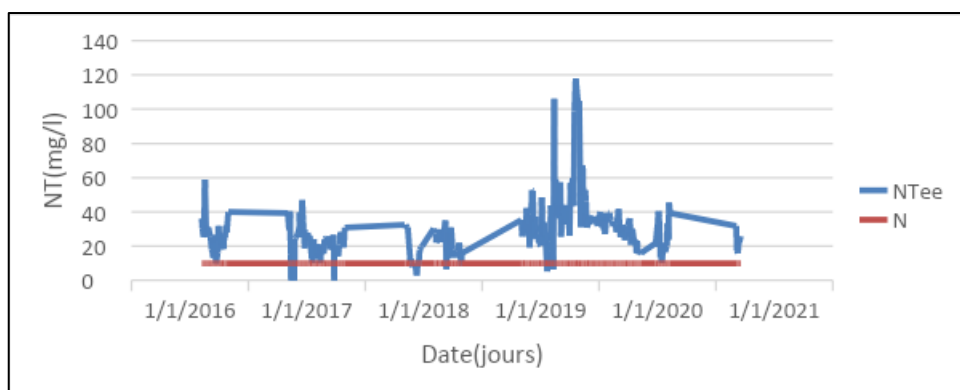


Figure V.9.2: évolution journalière de concentration en NT de l'eau épurée à la sortie de la STEP de REGHAIA des années (février 2016 à septembre 2020).

Les concentrations d'azote total brut oscillent entre 0 mg/l et 303 mg/l avec une moyenne de 64.43mg/l,

A la sortie de la STEP, les valeurs d'azote total sont variables, allant de 0 mg/l et 118mg/l avec une moyenne de 28.84 mg/l, la valeur maximale 118 en 4/21/2019.

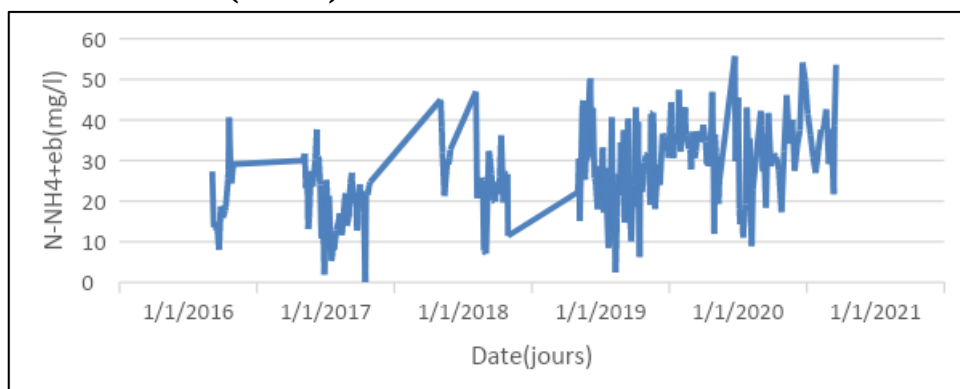
V.1.10. Ammonium (NH₄⁺) :

Figure V.10.1 : évolution journalière de la concentration en NH₄⁺ de l'eau brute à l'entrée de la STEP de REGHAIA (mars 2016 à septembre 2020).

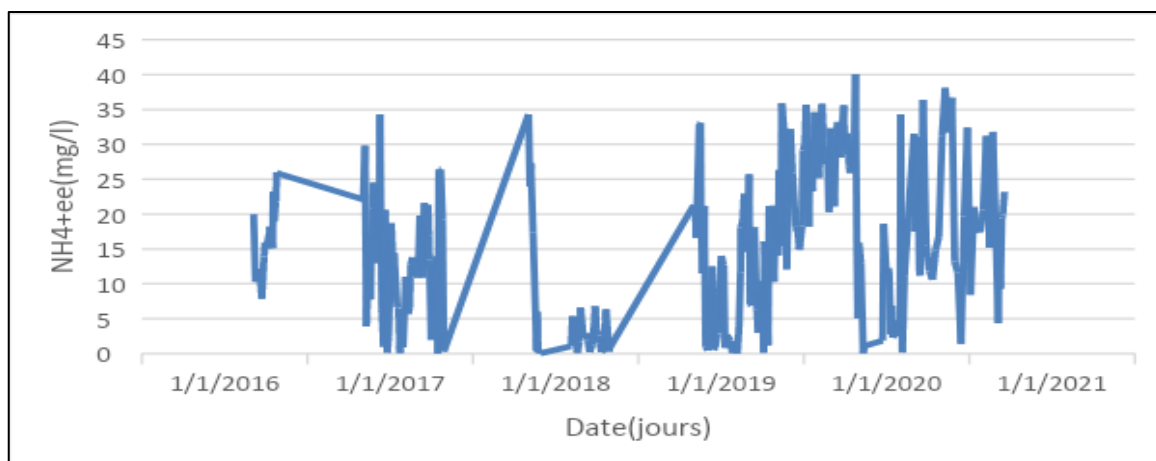


Figure V.10.2 : évolution journalière de la concentration en NH_4^+ de l'eau épurée à la sortie de la STEP de REGHAIA (mars 2016 à septembre 2020).

Les concentrations d'ammonium brutes oscillent entre 0 mg/l et 55.7 mg/l avec une moyenne de 27.13 mg/l,

A la sortie de la STEP, les valeurs d'ammonium sont variables, allant de 0 mg/l et 40.1mg/l avec une moyenne de 15.077mg/l.

V.7.11. Le nitrite (NO_2^-) :

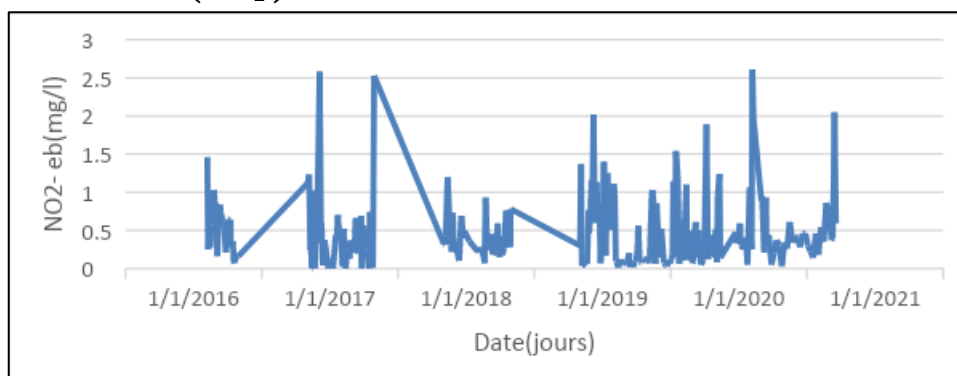


Figure V.11.1 : évolution journalière de la concentration en NO_2^- de l'eau brute à l'entrée de la STEP de REGHAIA (février 2016 à septembre 2020).

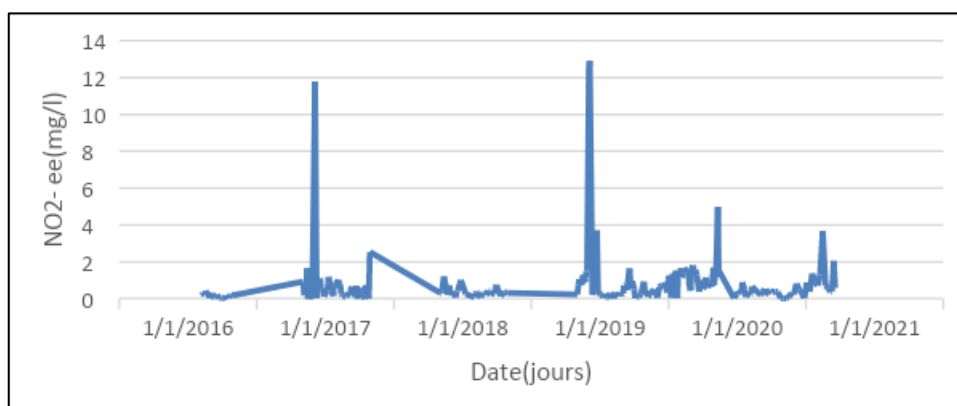


Figure V.11.2 : évolution journalière de la concentration en NO_2^- de l'eau épurée à la sortie de la STEP de REGHAIA (février 2016 à septembre 2020).

Les concentrations de nitrite brut oscillent entre 0 mg/l et 5.72 mg/l avec une moyenne de 0.45 mg/l,

A la sortie de la STEP, les valeurs de nitrite sont variables, allant de 0 mg/l et 12.9 mg/l avec une moyenne de 0.71 mg/l, avec trois cas exceptionnels enregistrés, 11.8 mg/l en Avril 2016 et 12.5 mg/l et 12.9 mg/l en décembre 2018.

Cela peut expliquer par la forme des nitrites qui sont instables durant le processus de nitrification d'une part, et l'importance des bactéries nitrosomonas par rapport aux bactéries nitrobacter d'autre part ou bien peut être dû à une oxydation incomplète de l'ammonium.

V.1.12. Le Nitrate (NO_3^-) :

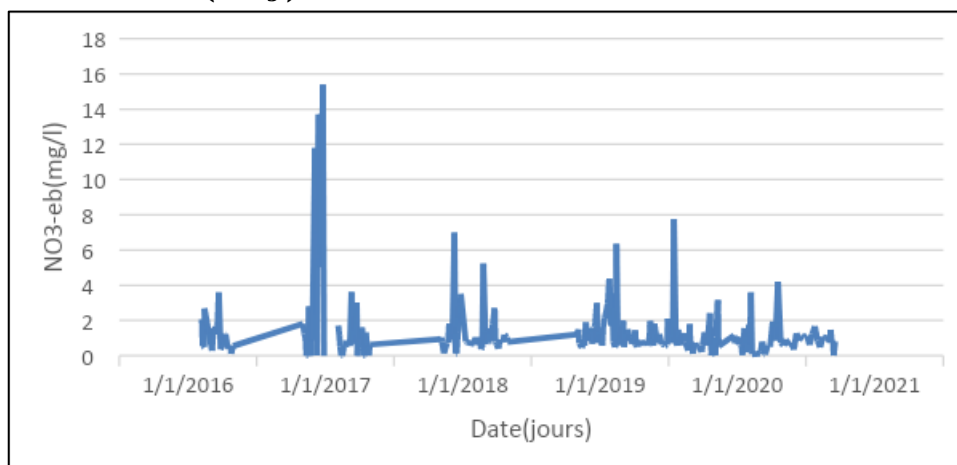


Figure V.12.1 : évolution journalière de concentration en NO_3^- de l'eau brute à l'entrée et de la STEP de REGHAIA (février 2016 à septembre 2020).

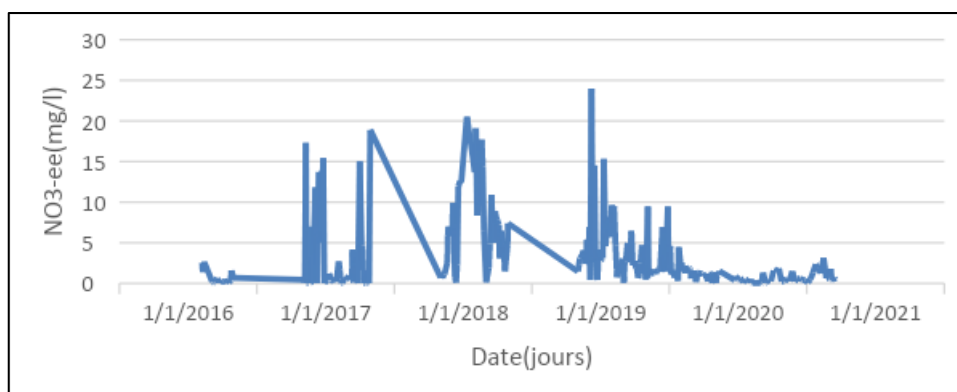


Figure V.12.2 : évolution journalière de la concentration en NO_3^- de l'eau épurée à la sortie de la STEP de REGHAIA (février 2016 à septembre 2020).

Les concentrations de nitrate brutes oscillent entre 0 mg/l et 15.4 mg/l avec une moyenne de 1.280 mg/l,

Les concentrations de nitrate brute oscillent entre 0 mg/l et 24 mg/l avec une moyenne de 3.056 mg/l, avec une valeur maximale de 24 mg/l atteinte en 12/08/2018.

V.1.13. L'Azote Kjeldahl (NTK) :

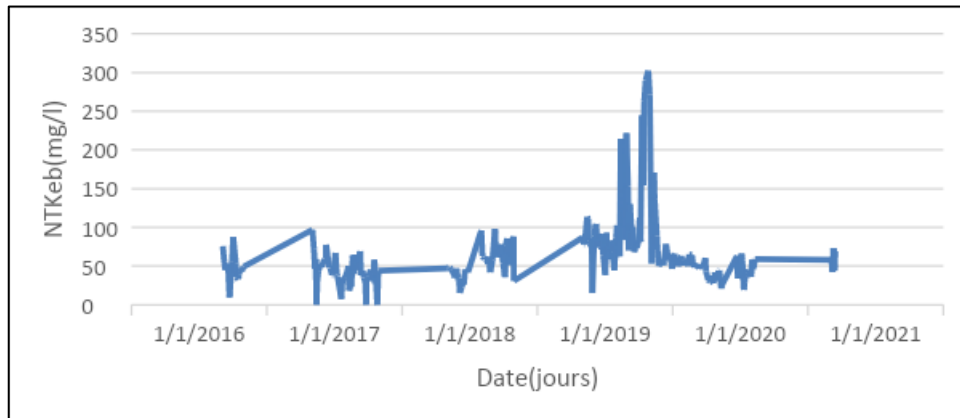


Figure V.13.1 : évolution journalière de la concentration en NTK de l'eau brute à l'entrée de la STEP de REGHAIA (mars 2016 à septembre 2020).

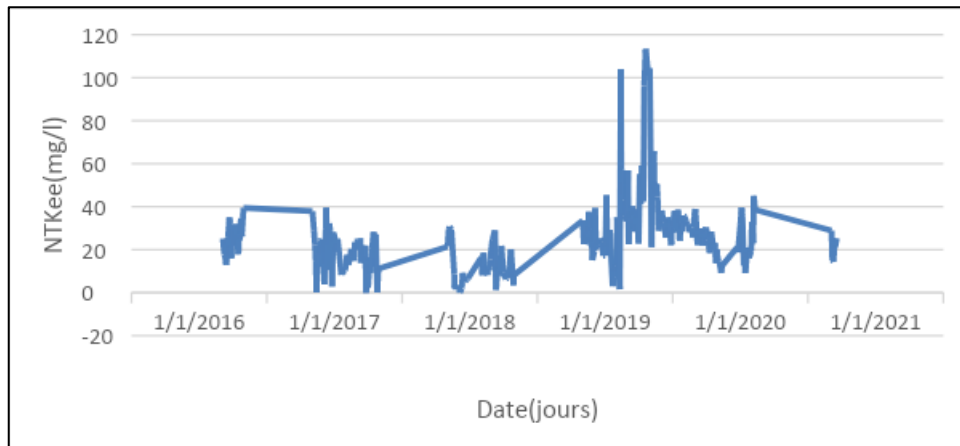


Figure V.13.2 : évolution journalière de la concentration en NTK de l'eau épurée à la sortie de la STEP de REGHAIA (mars 2016 à septembre 2020).

A l'entrée de la STEP, les concentrations en azote Kjeldahl varient entre 0 et 302.28(mg/l), avec une moyenne de 63.5 mg/l.

A la sortie de la STEP, les valeurs de l'azote Kjeldahl varient entre 1 et 113(mg/l), avec une moyenne de 24.82 mg/l. à maximal valeur enregistré en 21/04/2019.

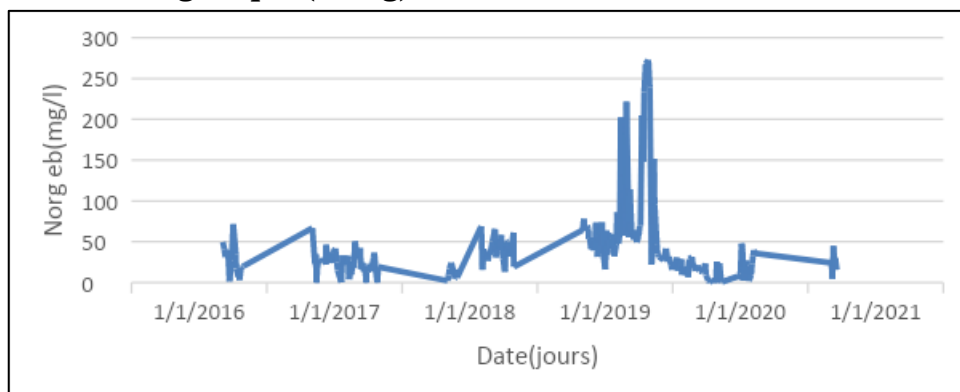
V.1.14. Azote Organique (N org) :

Figure V.14.1 : évolution journalière de la concentration en N org de l'eau brute à l'entrée de la STEP de REGHAIA (mars 2016 à septembre 2020).

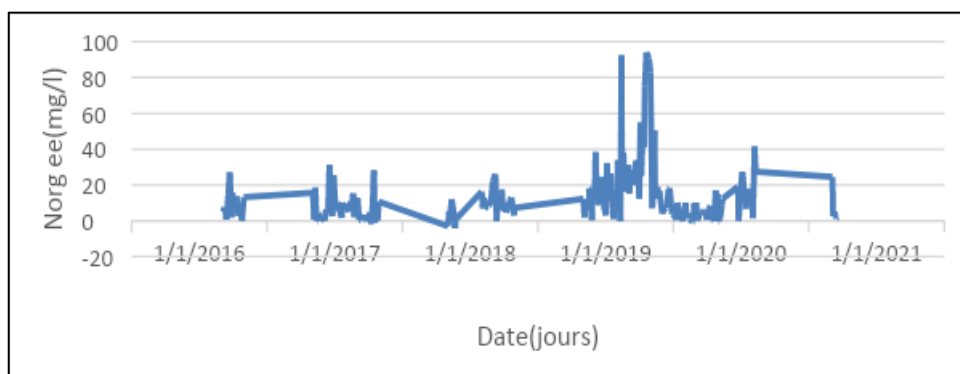


Figure V.14.2 : évolution journalière de la concentration en Norg de l'eau épurée à la sortie de la STEP de REGHAIA (mars 2016 à septembre 2020).

A l'entrée de la STEP la concentration des Azote organique varie de 0 à 272.88 mg/l avec une moyenne de 39.30 mg/l.

A la sortie de la station, elle varie de 0 à 94 mg/l avec une moyenne de 18.28 mg/l.

V.1.15. Les évaluations des rendements des paramètres de pollution en fonction d'énergie

Afin de voir la relation entre la consommation d'énergie en fonction du rendement d'élimination de la pollution.

Nous avons suivi les trois paramètres les plus importants (DBO_5 , DCO et MES) en fonction de la consommation de l'énergie.

V.1.15.1. Rendement d'élimination de la DBO_5 (RDDBO_5) : La figure V.15. Donne l'évolution de RN DO_5 en fonction de l'énergie.

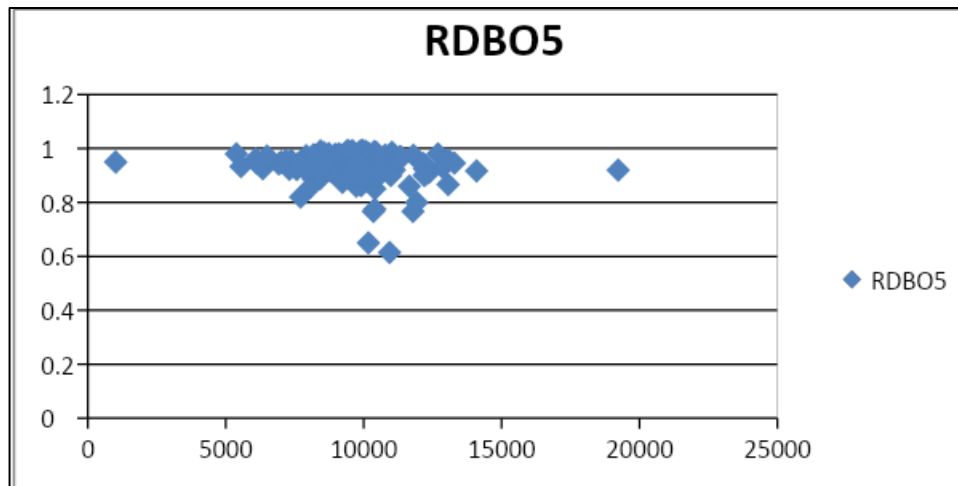


Figure V.15.1 : l'évolution de RN DBO₅ en fonction de l'énergie.

V.1.15.2 Rendement d'élimination de la DCO (RDCO) : La figure V.15.2 donne l'évolution de RN DCO en fonction de l'énergie.

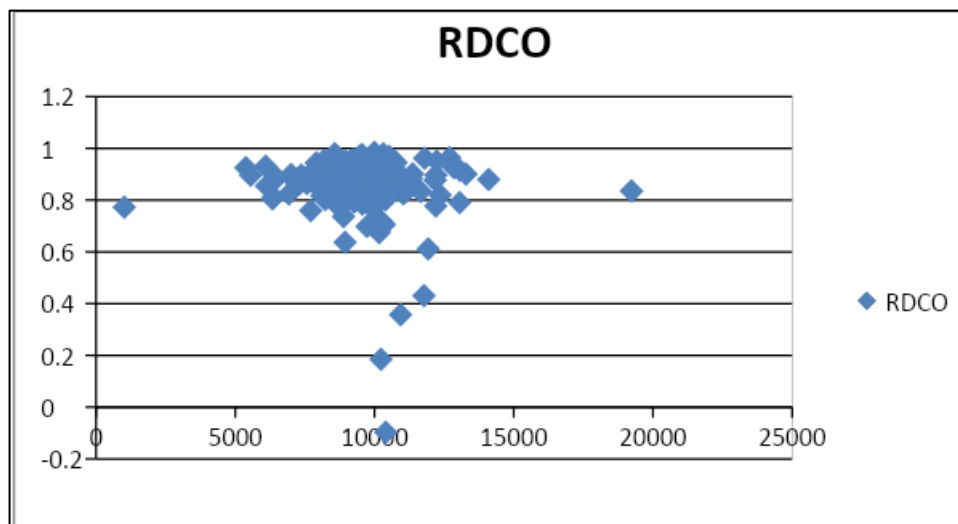


Figure V.15.2 : Evaluation de RN DCO en fonction de l'énergie

V.1.15.3. Rendement d'élimination des MES (RMES) : La figure V.15.3 donne l'évolution de RMES en fonction de l'énergie.

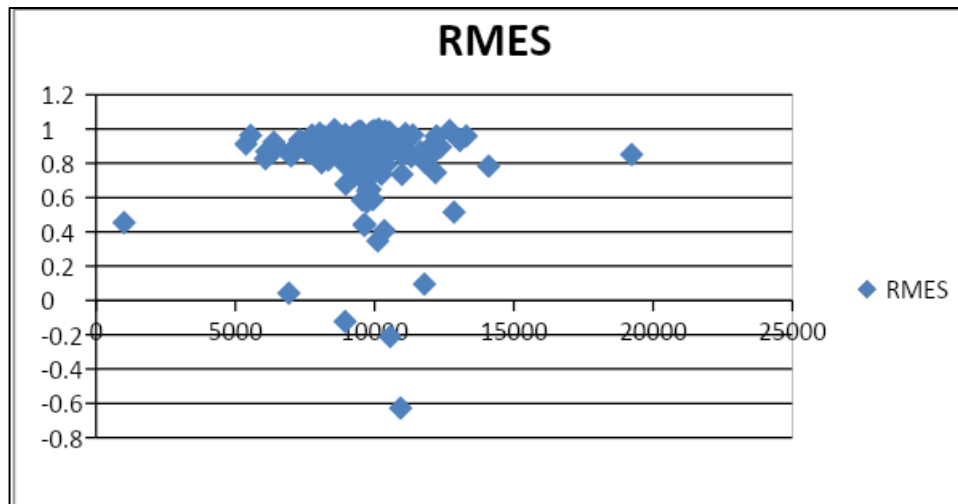


Figure V.15.3 : Evaluation de RN MES en fonction d'Energie

V.15.4 Evolution de l'énergie : La figure V.15.4 donne l'évolution de l'énergie en fonction du temps.

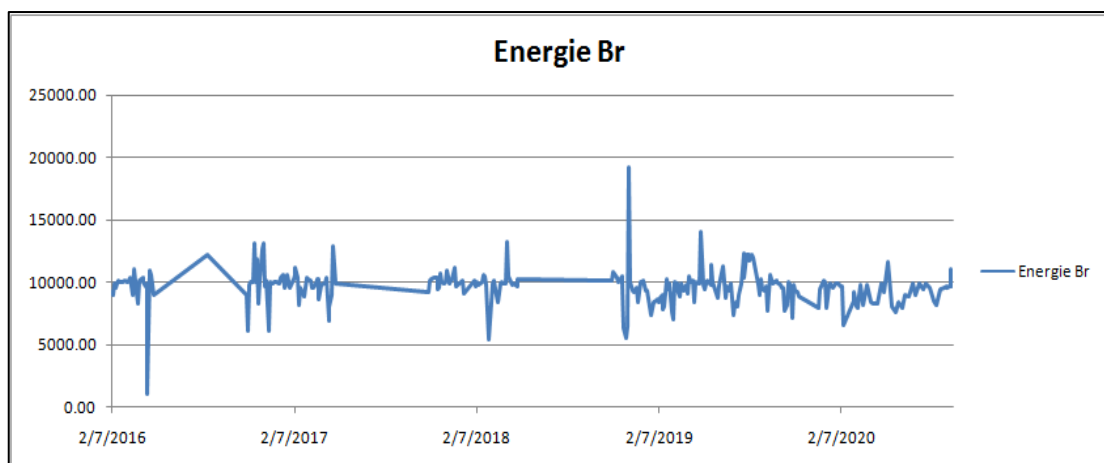


Figure V.15.4 : évolution de l'énergie en fonction du temps (février 2016 à septembre 2020)
pollution les lus importants

Conclusion : nous remarquons que pour les rendements d'élimination des trois paramètres de pollution (DBO_5 , DCO et MES) ne varient pas avec l'énergie et le même constat pour l'évolution de l'énergie en fonction du temps qui est négligeable.

V.2 Suivi des performances de la station d'Avril 2019 à Septembre 2020 (période avant confinement et période de confinement) :

Les résultats des analyses physico-chimiques concernant les MES, DBO₅, DCO sont données dans les tableaux (**Tableau N°V.2.1** : les résultats des analyses physico-chimiques de la période allant du mois avril 2019 au septembre 2020 et le **tableau N°V.2.1.1** : Les dates de dépassement de la norme de la STEP et l'OMS par MES, DBO₅, DCO et Pt). En annexe.

V.2.1.les matières en suspension (MES) :

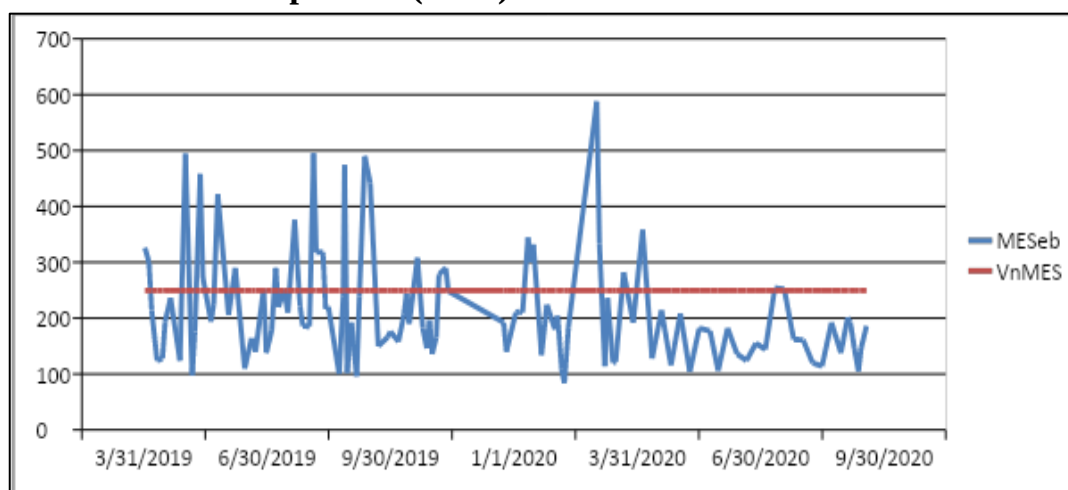


Figure V.16.1 : La variation de MES brute en fonction du temps (l'année Avril 2019 à septembre 2020)

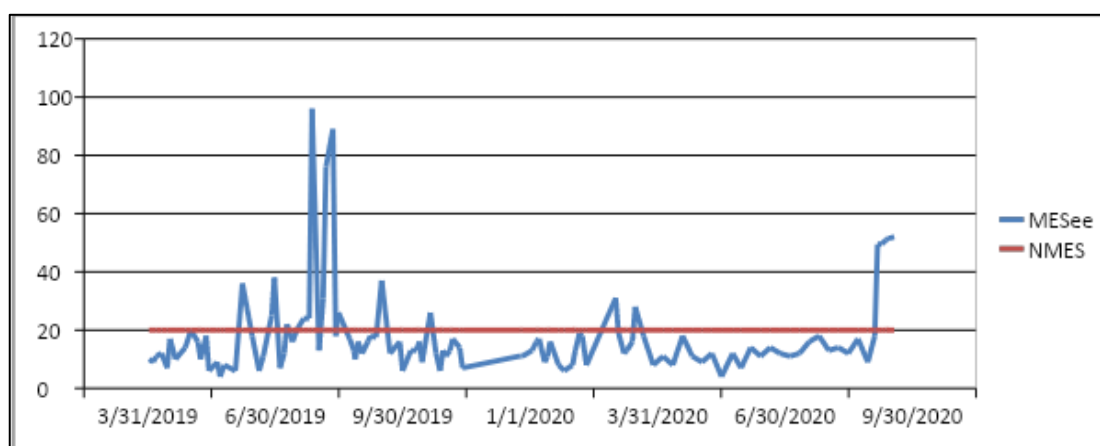


Figure V.16.2 : La variation de MES épurée en fonction du temps (l'année Avril 2019 à septembre 2020)

D'après les figures V.2.1.1 et V.2.1.2, les valeurs de MES des eaux brutes sont comprises entre 84 à 588 mg/l et pour les eaux épurées entre 4 à 96 mg/l. on remarque que les MES des eaux épurées à la sortie de la STEP sont presque complètement éliminées (91.7%) et nous constatons que la valeur moyenne de rejets en MES est égale 17 mg/l avec 17.7% des valeurs qui dépasse la norme de la STEP (20 mg/l) et 11.5% des valeurs qui dépasse la norme de rejets fixée par l'OMS (30 mg/l).

V.2.2 : La charge polluante :

V.2.2.1. La demande biochimique en oxygène (DBO₅) :

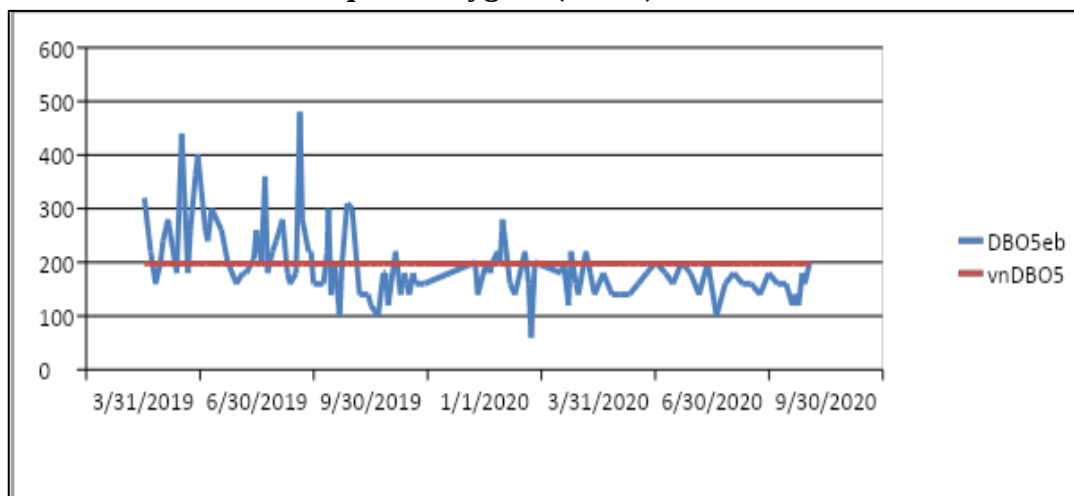


Figure V.17.1: La variation de la DBO₅ brute en fonction du temps (l'année Avril 2019 à septembre 2020)

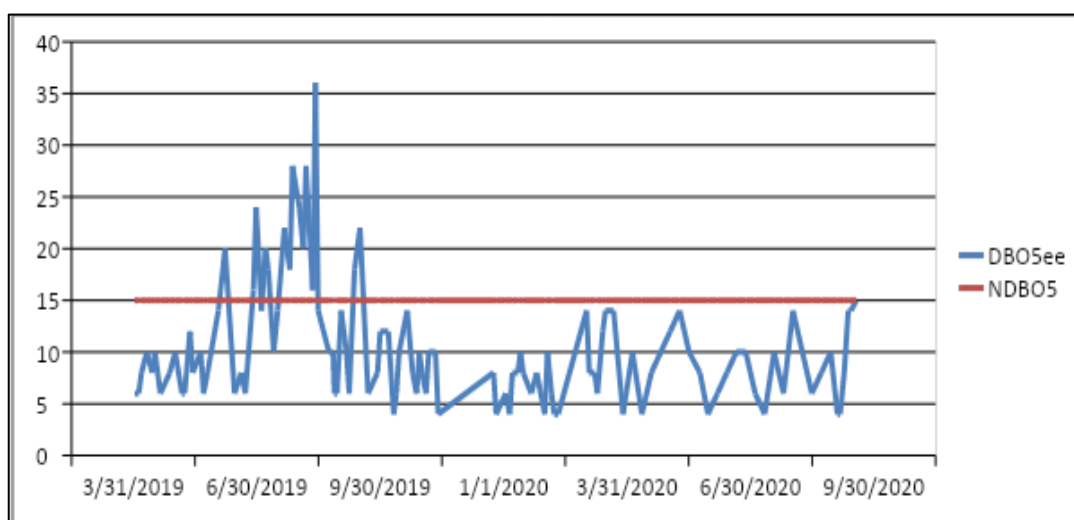


Figure V.17.2: La variation de la DBO₅ épurée en fonction du temps (l'année Avril 2019 à septembre 2020)

D'après les figures V.17.1 et V.17.2, les valeurs l'eau brute présente une DBO₅ comprise entre 60 à 480 mg/l d'O₂ et pour les eaux épurées entre 4 à 36 mg/l d'O₂. On remarque que le DBO₅ des eaux épurées à la sortie de la STEP sont presque complètement éliminées (94.75%) et nous constatons que la valeur moyenne de rejets en DBO₅ est égale 10.3 mg/l d'O₂ avec 13.27% des valeurs qui dépasse la norme de la STEP (15 mg/l) contrairement pour l'OMS la plupart des valeurs respect la norme (30 mg/l) sauf pour la date 14/8/2019 où il a été enregistré une concentration de 36 mg/l.

V.2.2.2. La demande chimique en oxygène (DCO) :

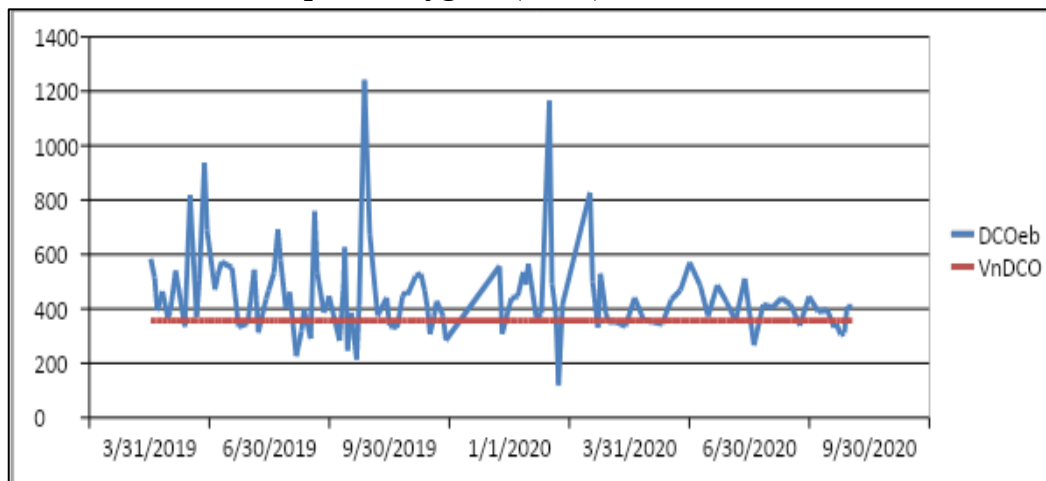


Figure V.18.1 : La variation de la DCO brute en fonction du temps (l'année Avril 2019 à septembre 2020)

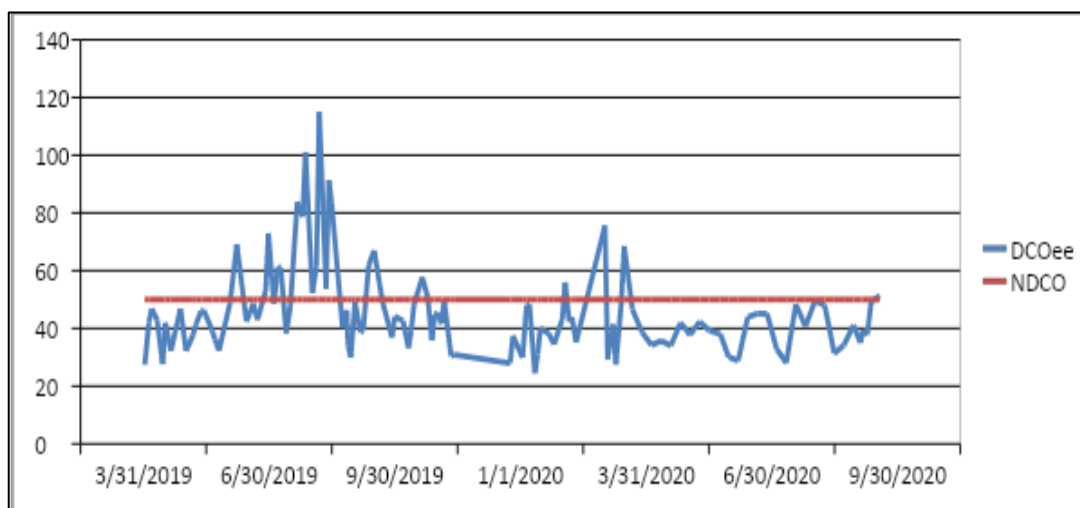


Figure V.18.2: La variation de la DCO épurée en fonction du temps (l'année Avril 2019 à septembre 2020)

D'après les figures V.18.1 et V.18.2, les valeurs l'eau brute présente une DCO comprise entre 120 à 1240 mg/l d'O₂ et pour les eaux épurées entre 24.5 à 115 mg/l d'O₂. On remarque que le DCO des eaux épurées à la sortie de la STEP sont presque complètement éliminées (89.93%) et nous constatons que la valeur moyenne de rejets en DCO est égale 45.4 mg/l d'O₂ avec 18.58% des valeurs qui dépasse la norme de la STEP (50 mg/l) et 2.65% des valeurs qui dépasse la norme de rejets fixée par l'OMS (90 mg/l).

V.2.3. Les formes azotées

V2.3.1. Azote totale :

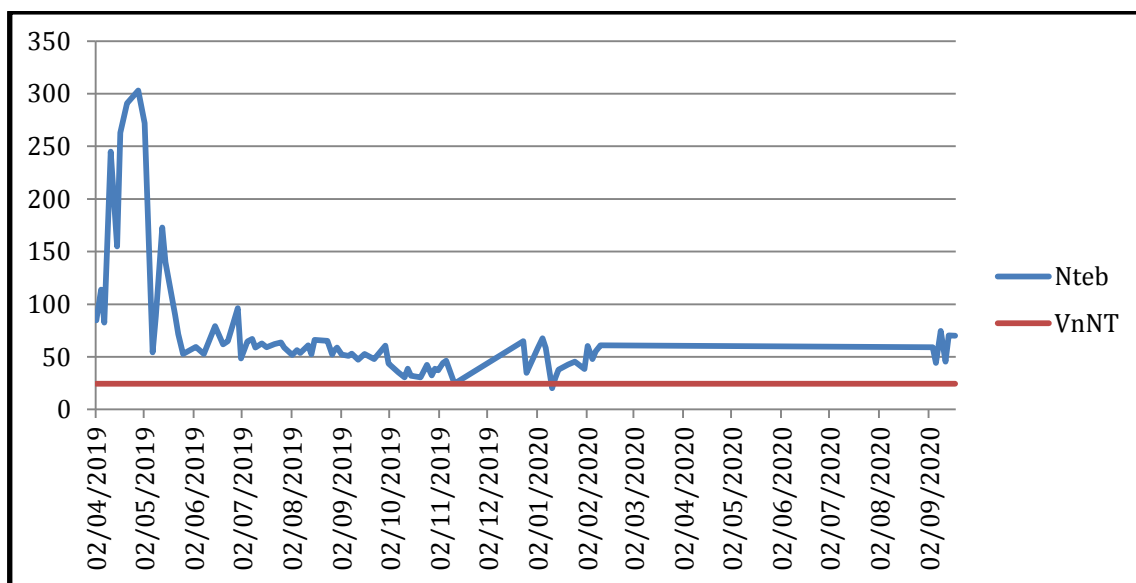


Figure N°V.19.1 : La variation de l'azote total brute en fonction du temps

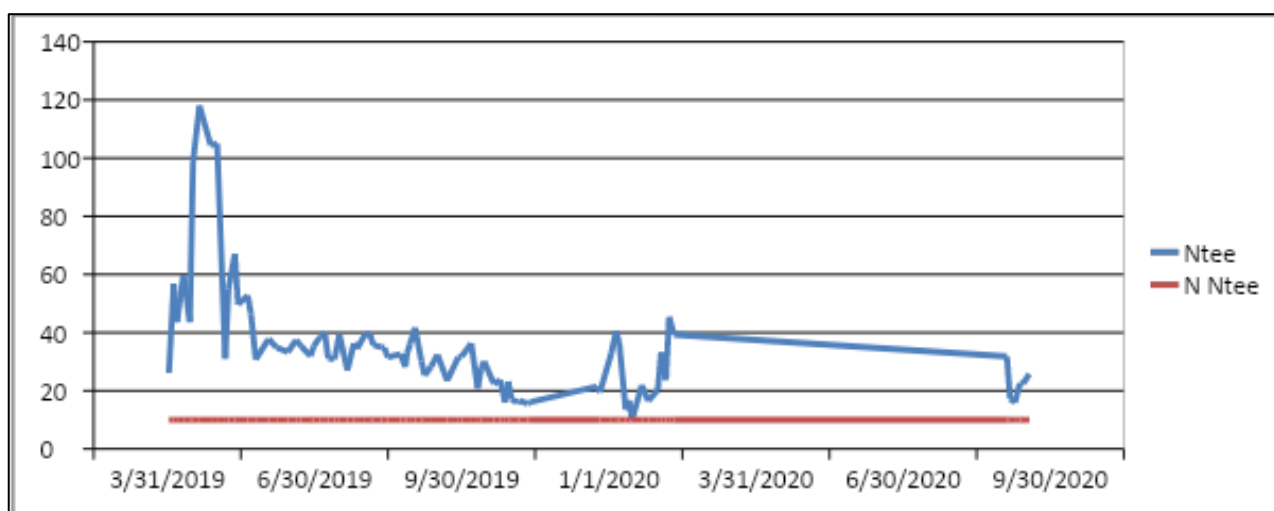


Figure V.19.2 : La variation de l'azote total épurée en fonction du temps.

L'azote total c'est la somme de toutes les formes d'azote d'eau, d'après les résultats obtenus, on constate que les teneurs des eaux brutes varient entre 0 et 303 mg/l. A la sortie de la station d'épuration, on constate que la concentration atteint des valeurs comprises entre 0 et 118 mg/l. Par comparaisons des résultats, on peut constater un rendement moyen d'élimination de 55.21%. Les concentrations de l'eau épurée restent supérieures à l'objectif de la STEP (10 mg/l).

V.2.3.2. Azote ammoniacal :

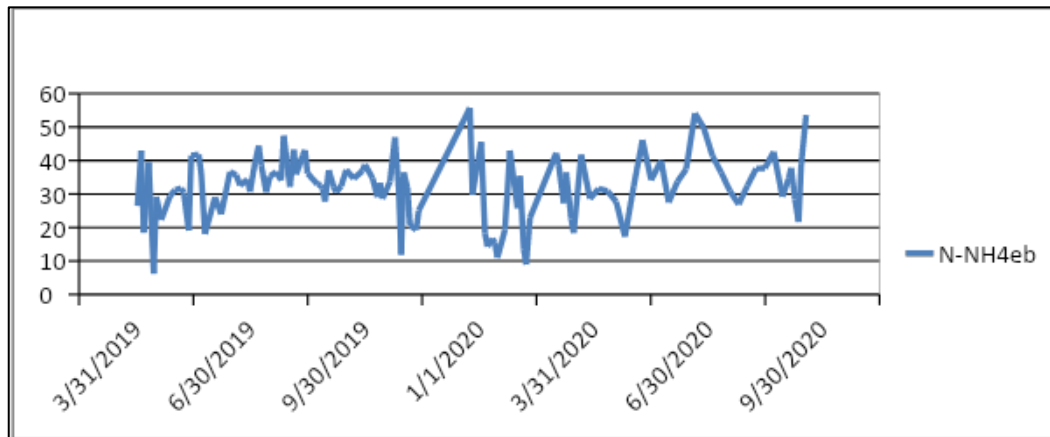


Figure V.20.1. : La variation de l'azote ammoniacal brute en fonction du temps

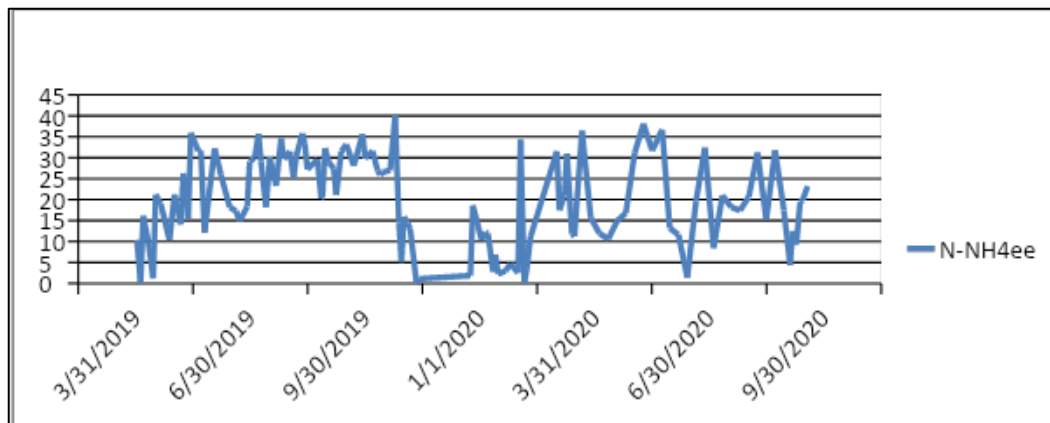
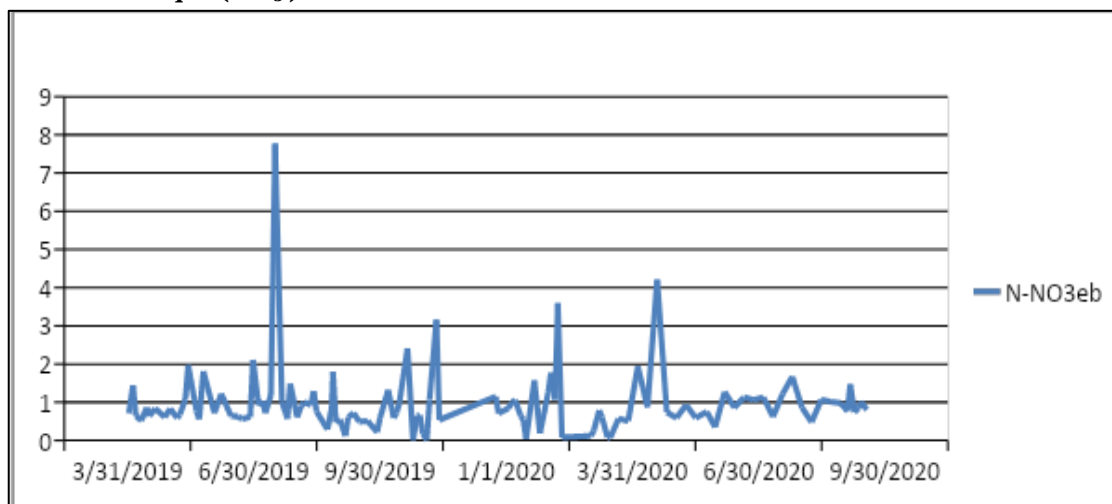
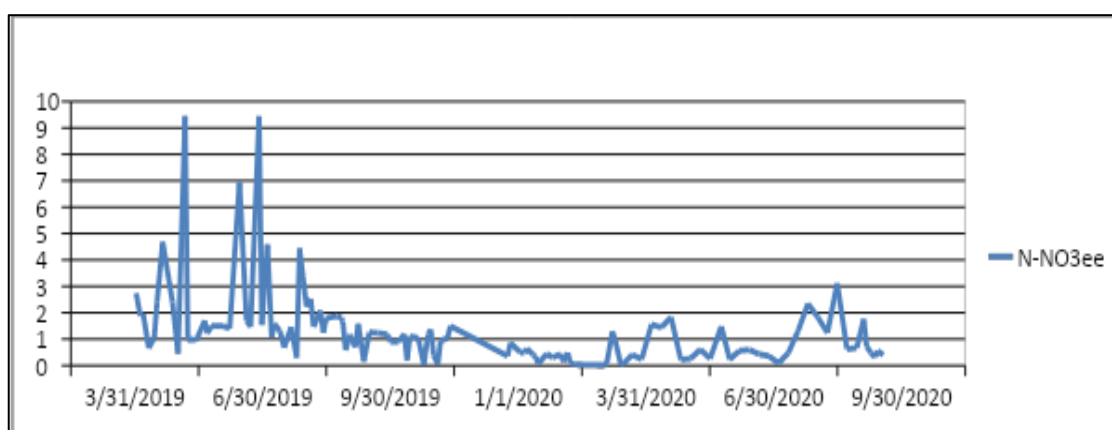


Figure V.20.2. : La variation de l'azote ammoniacal épurée en fonction du temps

Au niveau de la station d'épuration, on note que les teneurs des eaux brutes en azote ammoniacal NH_4^+ varient entre 6.24 et 55.7 mg/l et les eaux épurées entre 0.06 et 40.1 mg/l. La baisse des teneurs en azote ammoniacal des eaux de l'entrée vers la sortie au niveau de la station peut être expliquée par le processus d'épuration biologique par boues activées qui permet de diminuer la charge polluante en NH_4^+ (37.6%).

La forme ammoniacale est la forme préférentielle d'assimilation d'azote par les bactéries.

V.2.3.3. Azote nitrique (NO_3^-) :**Figure V.21.1 :** La variation de l'azote nitrique brute en fonction du temps**Figure V.21.2 :** La variation de l'azote nitrique épurée en fonction du temps

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacque, nitrites, etc.) sont susceptibles d'être à l'origine de l'azote nitrique par un processus d'oxydation biologique. D'après les résultats obtenus, les teneurs en azote nitrique des eaux brutes sont comprises entre 0.01 à 7.77 mg/l et comparées à celles obtenues pour les eaux traitées qui varient entre 0.01 à 9.45 mg/l. Cette dernière concentration a été enregistrée le 5 juillet 2019.

V.2.3.4. Azote nitreux (NO_2^-) :

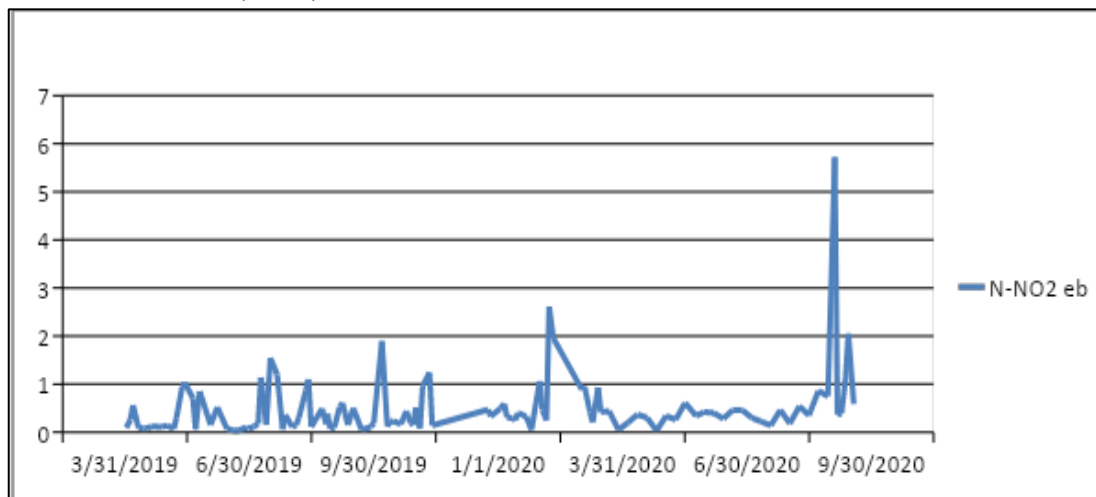


Figure V.22.1 : La variation de l'azote nitreux brute en fonction du temps

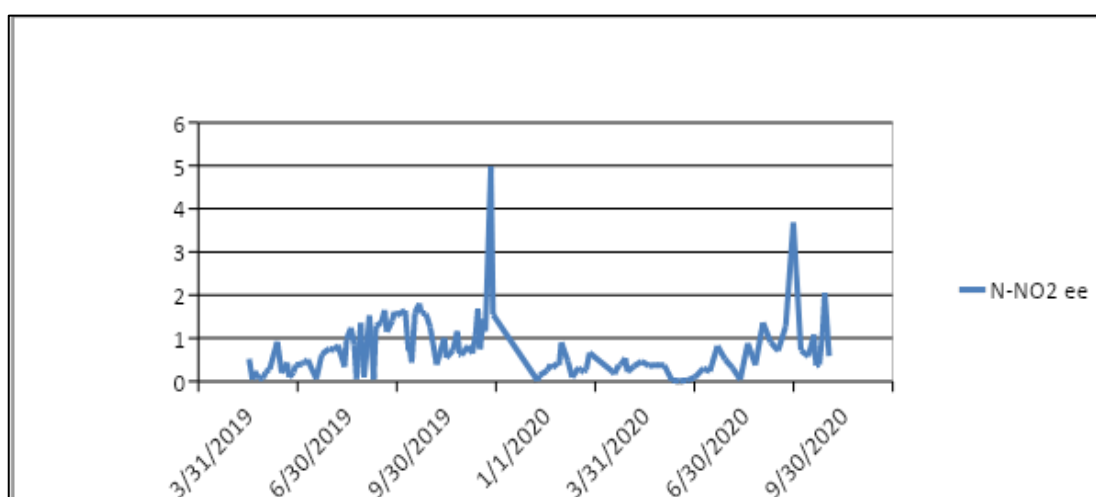


Figure V.22.2 : La variation de l'azote nitreux épurée en fonction du temps

Etant donné que le processus de nitrification est relatif à l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrates et que les nitrites résultent de la 1^{ère} étape de ce processus, les nitrites proviennent aussi par la réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant. Les résultats obtenus en azote nitreux oscillent entre 0.03 et 5.72 mg/l pour les eaux brutes et varient entre 0.01 et 4.98 mg/l pour les eaux traitées.

V.2.4. Le phosphore total

Tableau N°V.3 : les valeurs du phosphore total (voir annexe).

V.2.4.1. Le phosphore total :

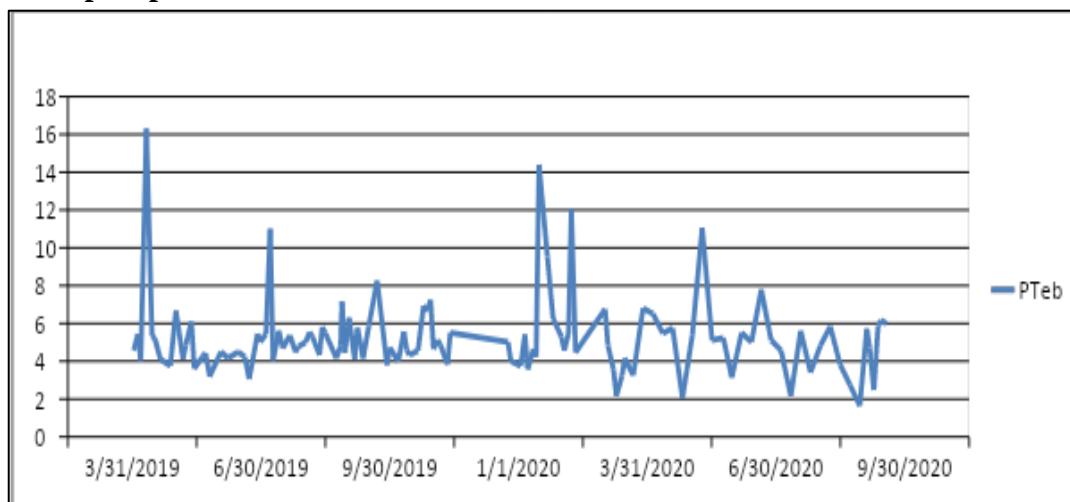


Figure V.23.1 : La variation de phosphore totale brute en fonction du temps

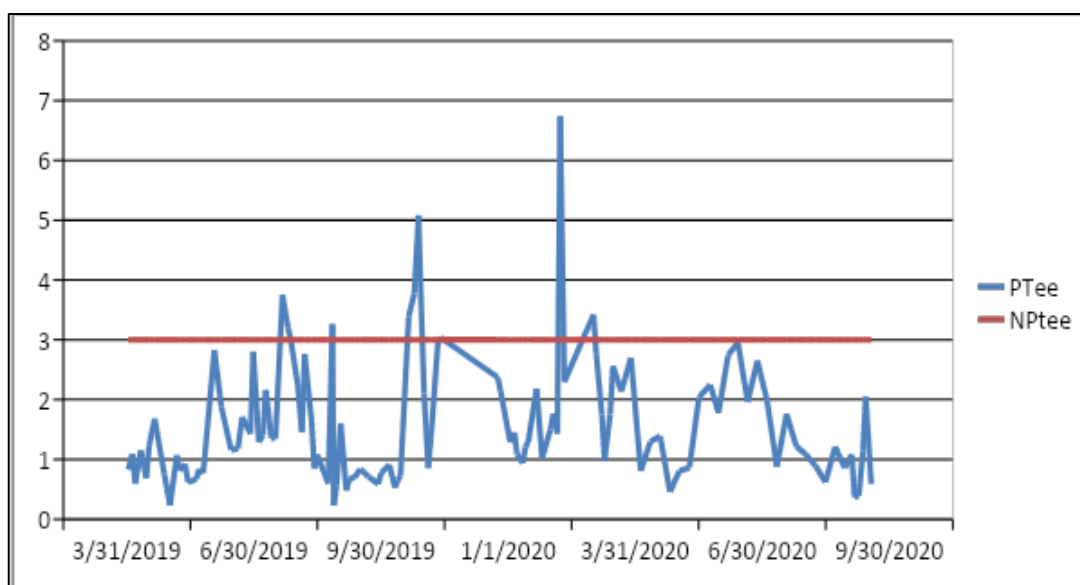


Figure V.23.2 : La variation de phosphore totale épurée en fonction du temps

A l'entrée de la station d'épuration, les résultats montrent que les quantités du phosphore présent dans l'eau varient de 1.65 à 44.7 mg/l. Et à la sortie de la STEP varient entre 0.23 à 6.74 mg/l. On remarque que 8.84% des valeurs de Pt sont dépassé l'objectif de la STEP (3 mg/l).

V.3.Comparaison de la charge polluante traitée par la station avant et pendant le confinement :

Tableau N°V.3.Tableau comparatif des moyennes journalières entre des années 2019-2020 (période de confinement). (Voir l'annexe).

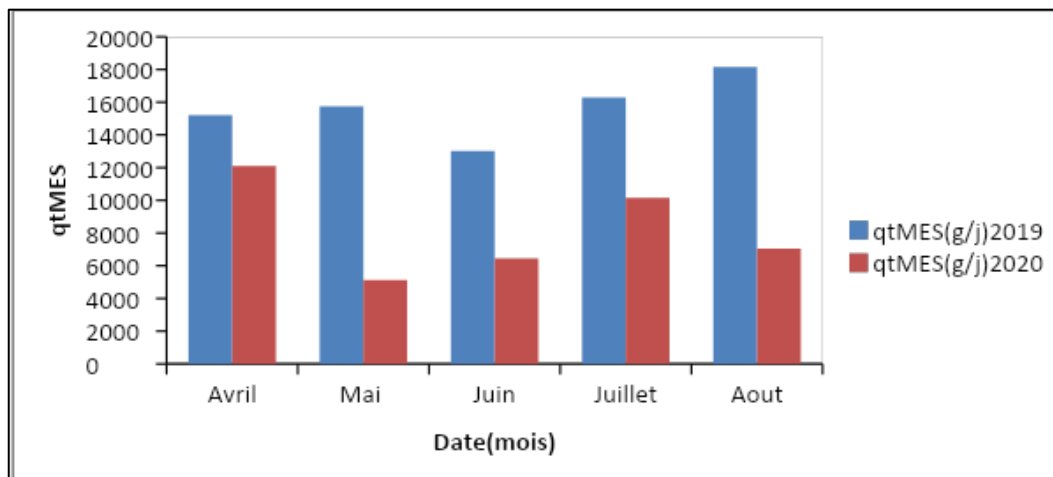


Figure V.24.1 : La variation de MES en fonction du temps entre les années 2019 et 2020 (période de confinement).

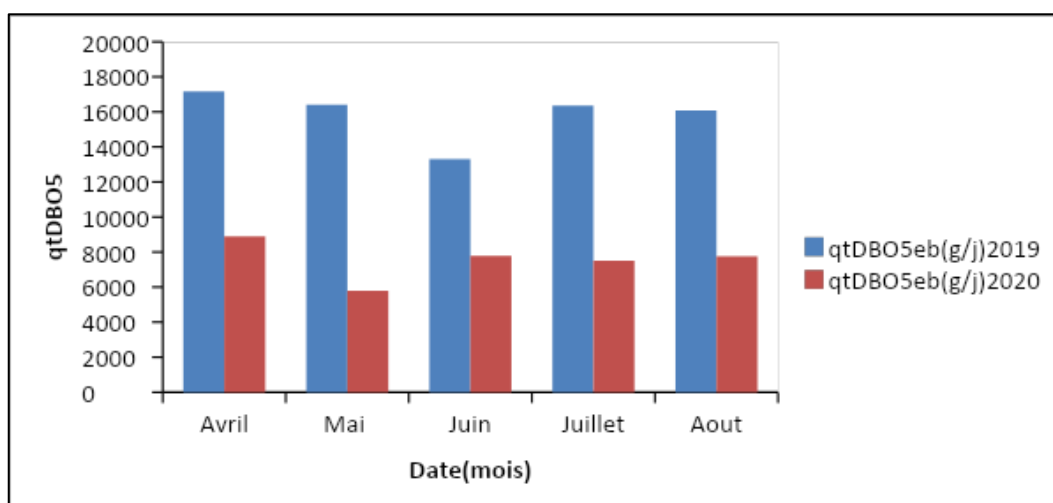


Figure V.24.2 : La variation de la DBO₅ en fonction du temps entre les années 2019 et 2020 (période de confinement)

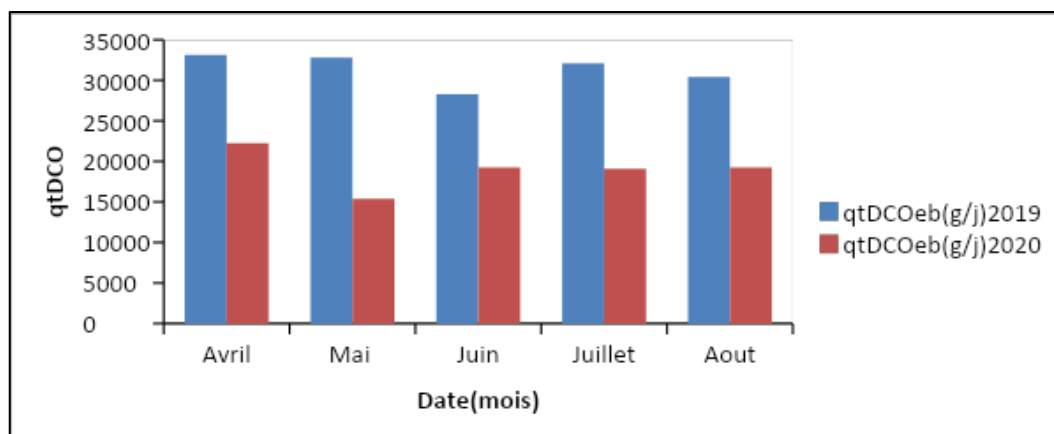


Figure V.24.3 : La variation de la DCO en fonction du temps entre les années 2019 et 2020 (période de confinement).

D'après les figures, on remarque que les données DBO₅, DCO, MES, sont largement plus important pour 2019 par rapport 2020. Exemple : la quantité de MES émis dans le mois de mai 2019 est 3 fois supérieure que le mois de mai 2020 (15204 dans 2019 et 5120 dans 2020). Ce qui montre qu'il y a une absence des rejets industriel pendant la période de confinement.

Même constat pour la DCO, ou la diminution se fait sur tous les mois et surtout le mois de mai avec un rapport de 2,13 et aussi la même remarque pour la DBO₅ avec un rapport de 2,82 pour de même mois.

Le mois de mai représente le maximum de différence entre deux périodes concernant les trois paramètres de pollution (DBO₅, DCO, MES).

V.3.1 Etude du rapport (DCO/DBO) entre la période de confinement et de non confinement

Afin de voir la provenance de la pollution réceptionnée pour voir son origine, nous avons étudié le rapport DCO/DBO pour chaque moi.

Tableau N°V.3.1 : Le rapport de biodégradabilité des eaux brutes entre la période de non confinement 2019 et de confinement 2020.

Mois	Rapport (DCO/DBO) 2019	Rapport (DCO/DBO) 2020
Avril	1,93	2,50
Mai	2	2,65
Juin	2,13	2,47
Juillet	1,96	2,54
Aout	1,8	2,48

De ce tableau, et de la figure nous constatons que le rapport est plus faible durant la période non confinement, ce qui veut dire que la station reçoit des rejets riches en matières biodégradables

comme les industries agroalimentaires et les restaurants, cafés et cantines et la figure suivante résume bien les constatations.

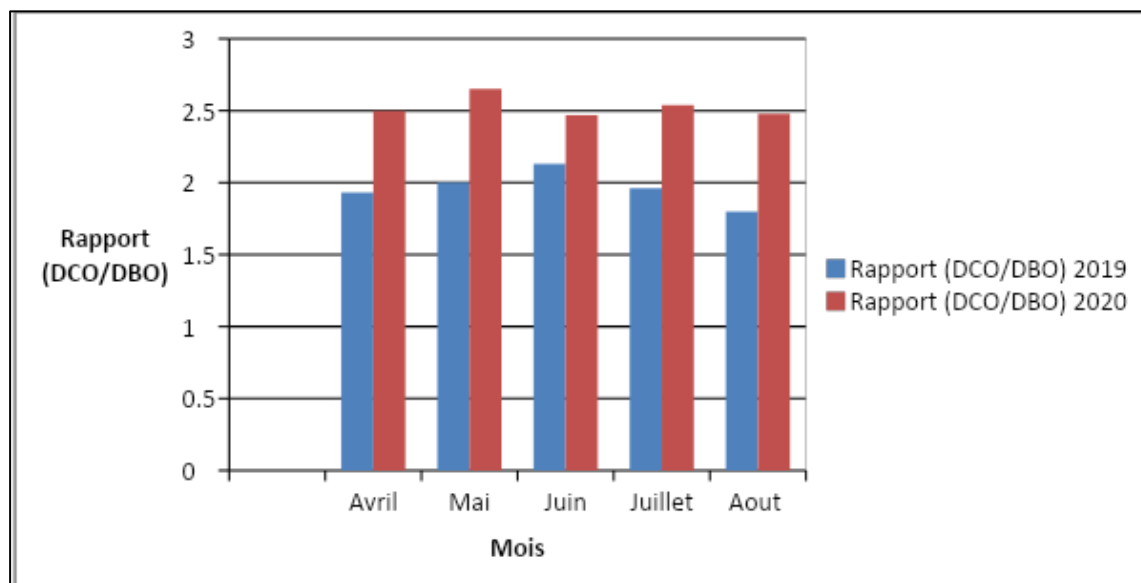


Figure V.25.: Evolution du rapport de biodégradabilité par mois durant la période du confinement avec l'année 2019.

V.3.2 Etude de la quantité d'énergie consommée entre la période de confinement et avant le confinement

Afin de comparer la quantité d'énergie nous avons tracé la figure de la consommation d'énergie sur les cinq mois de confinement (Avril à Aout) de 2020, et en parallèle, nous avons tracé la consommation d'énergie de ces mêmes mois de l'année 2019.

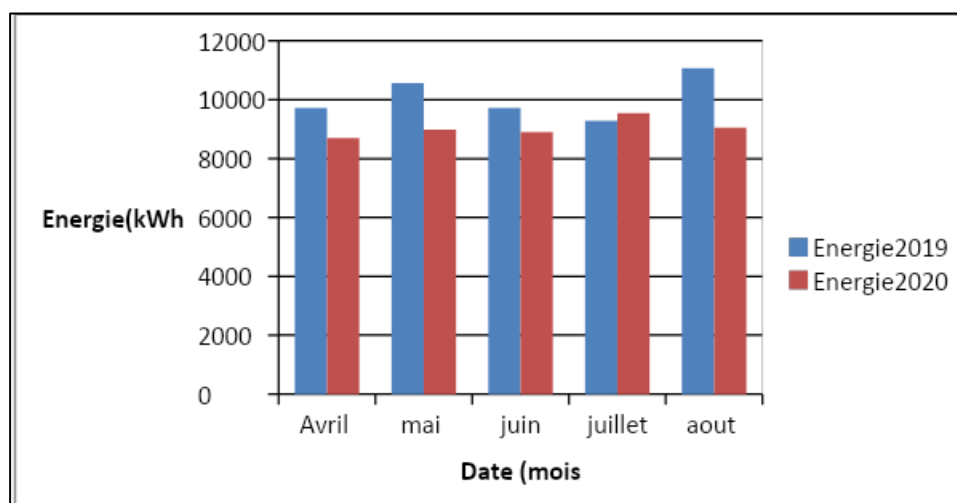


Figure V.26 : Evolution de la consommation d'énergie de la STEP par mois durant la période du confinement (Avril à Aout) avec l'année 2019.

Nous remarquons de cette figure que la consommation d'énergie est presque stable n'est pas influencée par la quantité de pollution traitée.

Conclusion

CONCLUSION

L'objectif principal de ce mémoire est de contrôler le traitement des eaux usées urbaines par les procédés à boue activée utilisé par la station d'épuration de Reghaia choisie comme station pilote.

La pollution, contenue dans les effluents, est éliminée par une chaîne de traitement complexe faisant intervenir plusieurs types de procédés. Le bon fonctionnement de chaque étape est primordiale, notamment la phase de traitement biologique dont le fonctionnement est basé sur le développement de micro-organismes vivants et nécessite des conditions opératoires contraignantes.

Le traitement et l'analyse statistique des données est indispensable dans le but de caractériser le rejet de la STEP. Cette analyse nous a permis de conclure que les paramètres de pollution organique de l'eau épurée restent satisfaisants et répondent aux objectifs de la station en termes de normes de rejets.

Il est à noter que le niveau de fonctionnement de la station est très appréciable par rapport au respect des normes exigées relatives aux paramètres de pollution de la matière organique et azotée. Néanmoins, on constate un manque de maîtrise de la consommation énergétique qui se traduit par une variation constante quelque soit la composition du rejet. On constate qu'aucune politique de stratégie de rationalisation de l'énergie n'est établie.

Il est, par conséquent, recommandé de prévoir des zones d'anoxie ou des temps d'arrêt pour favoriser la dénitrification d'une part, et réduire la facture énergétique d'autre part.

Référence

Bibliographie

Liste bibliographie :

- [1] **ALAIN.D**, Guide de traitement de déchet, 2eme édition
- [2] **Gaid A**, « Epuración biologique des eaux usées urbaines tome1 ».Édition OPU. Alger.1984.
- [3] **Mizi A**, « 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. 2006.
- [4] **Slim Zekri, Lamia Ghazel, Taher Aloui, Kamel Djebbi**, Les externalités négatives de l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture, Séminaire Méditerranéen 2002.
- [5] **Jean Rodier**, « L'analyse de l'eau ». 9^{ème} édition. P50.
- [6] **Jean Rodier**, « L'analyse de l'eau, les eaux usées résiduelles, eau de mer ». Duno. 2^{ème}
- [7] **Touabi L et Gacem L**, « Optimisation d'un procédé de traitement d'une filière biologique-STEP Reghaia ». Mémoire de magister en traitement des eaux. Université de M'Hamed Bougara. Boumerdes. 2017.
- [8] **Brissaud J F et A Faby**, « L'utilisation des eaux usées épurées en agricultures ». Ed. Office national de l'eau de Montpellier. 1997.
- [9] **Kardache Loubna**, « Valorisation énergétique de boues de la station d'épuration de Boumerdes ». Mémoire de magister en énergétique et environnement. Université M'Hamed Bougara. Boumerdes. 2016.
- [10] **Abibsi N**, « Réutilisation des eaux usées épurées par filtres plantes (phytoepuration) pour l'irrigation des espaces verts application à un quartier de la ville de Biskra ». Mémoire de magister en hydraulique urbaine et ouvrage hydrotechniques. Université Mohamed Khider. Biskra.2011.
- [11]**Slimani W et Lazzaoui G**, « Suivi de fonctionnement et analyse statistique des données(ACP) de la STEP de Reghaia ». Mémoire de magister en science et génie de l'environnement. Université M'Hamed Bougara. Boumerdes. 2019.
- [12] **Prof Print**, « Cours de la pollution des eaux, fiche 6 ».
- [13] **Marc Satin Bechir Selmi Bourrier Regis**, « guide technique de l'assainissement ». 2^{ème} édition. Paris. 1996.
- [14] **Polton J L, Zysman K**, « Le guide des analyses de l'eau potable ». Ed sept. France. 1998. P79-213.
- [15] **Asno T**, Irrigation with reclaimed municipal waste water : option méditerranéennes. Série A. Séminaire méditerranéen countries. 1998.
- [16] **Nebil Belaid**, « Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax : salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques ». Thèse de doctorat. Université de Sfax de Spécialité génie de l'environnement et l'aménagement et université de Limoges de spécialité eau sol environnement chimie et microbiologie de l'eau. 2010.
- [17] **Dekhil W**, « Traitement des eaux usées urbaines par boues activées au niveau de la ville de Bourj Bou Arreridj effectué par la station d'épuration des eaux usées ONA ». Mémoire de magister en chimie et microbiologie de l'eau. Université Mohamed El Bachir Elibrahimi. 2012.

[18] : Pollution ressource d'eau et comment réduire, [consulté le 03/03/2020]. Disponible sur : <www.criau.com>.

[19] : **Franck Rejsek**, Analyse des eaux, Aspect et réglementaires et techniques, série science et technique de l'environnement, p 193-195.

[20] : Système d'assainissement, [consulté le 03/03/2020]. Disponible sur : <<https://assainissement.ooreka.fr/>>.

[21] **BEN CHERIF.I et KOLLI.R**, «dimensionnement et conception de la station d'épuration des eaux usées de la nouvelle ville Ali Mendjli (W. Constantine)», mémoire de master en Ingénierie des eaux, université de Science et de Technologie Houari Boumediene,2016/2017

[22] **Professeur Mohamed Saïd Ouli**, « Cours de procédé unitaire biologique et traitement des eaux ». Edition 2.10.4334.Ben aknoun-Alger. Mai 2001. PP 12-77.ISBN 9961-0-0520-1.

[23] **BRAHIMI.S, OURTELLI.S**,«Contribution à l'étude de l'efficacité du traitement des eaux usées de la station d'épuration de corps gras de Bejaia (CO.G.B) Labelle après ensemencement»,mémoire de master en Environnement et Sécurité Alimentaire université Abderrahmane MIRA de Bejaia,2012/2013

[24] **BAKRI.Z**, «Traitement des eaux usées par procédé biologique classique : explication et modélisation», mémoire de Magister en génie chimique, université Ferhat Abass, Sétif, 03/03/2007.

[25] **Youssef Salama**, « Aide-mémoire de traitement biologique des eaux usées de l'ingénieure ». 1^{er} édition. France. Mai 2014. P 19-47.

[26]. **Attab Sarah**, « Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées la station d'épuration Haoud Berkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local ». Mémoire de magister en biologie. Université Ouargla. 2011.

[27] **DEROZIER.GOËLLE, CHOUBERT.JEAN-MARC** : «Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration en boues activées Comparaisons techniques et économiques des voies de traitement biologique et physico-chimique», Document technique FNDAE n° 29, 2004. 1^{re} édition coordonnée par le Cemagref, Ministère de l'Agriculture et de la pêche – ISBN 2-11-092856-5 ; © Cemagref 2004 – Cemagref Éditions – ISBN 2-85362-630-X ;P13, P15, P21.

[28] **Zeghoud Mohamed Seifeddine**, « Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra», mémoire de master en Hydraulique, université de El Oued, 2013/2014.

[29] **Hadjou Belaid**, « Contribution à l'étude des dysfonctionnements relevés dans une station d'épuration, étude de cas : STEP d'Ain El Houtz ». Mémoire de magister en hydraulique. Université Abou Baker Belkaid. Tlemcen. 2013.

[30] **HAMICHE.L**,« Conception d'une station d'épuration pour Béni Douala», mémoire fin d'étude d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique, Ecole National Supérieure D'Hydraulique ARBAOUI Abd ellah, 2013, P14.

[31] **Y.THARRAULT**, Thèse de Doctorat « Diagnostic de fonctionnement par analyse en composantes principales : Application à une station de traitement des eaux usées », Institut National Polytechnique de Lorraine, 11 Décembre 2008.

[32] **A. HAMRICHE**, « Contribution à l'étude et à la simulation des paramètres hydrométriques par l'analyse en composantes principales (ACP) », Mémoire de Projet de Fin d'Etude, ENP Alger, 1993.

[33] **A. BERMAD**, « Elaboration d'une méthodologie de simulation et de prévision des variables climatologiques aléatoires et cycliques par l'analyse en composantes principales ». Thèse de doctorat d'Etat, ENP 2004.

Annexe

Tableau N°V.2 : les dates de dépassement de la norme de la STEP et l’OMS par MES, DBO₅, DCO et Pt. (En rouge).

Données Date	MES		DBO ₅		DCO		Pt	
	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE
8/6/2019	290	36	200	20	334	69.1	4.16	1.88
29/6/2019	252	25	207	16	437	52.9	5.45	1.43
1/7/2019	138	38	260	24	469	72.9	5.02	2.8
8/7/2019	290	12	360	20	693	61.3	11	1.41
10/7/2019	220	22	180	18	580	60.9	4.03	2.16
22/7/2019	376	24	280	22	226	83.8	5.37	3.75
26/7/2019	222	24	180	18	319	78.7	5.49	3.2
28/7/2019	186	96	160	28	398	101	4.78	3
2/8/2019	161	13	180	24	290	52.3	5	2.25
5/8/2019	495	31	480	20	758	61.6	5.53	1.46
7/8/2019	318	76	280	28	534	115	5.3	2.76
12/8/2019	318	89	220	16	387	53.7	4.34	1.64
14/8/2019	216	18	220	36	409	91.3	5.81	0.85
16/8/2019	220	26	160	14	447	83.4	5.51	1.08
27/8/2019	238	13	220	10	480	46.3	4.81	3.26
12/9/2019	490	17.5	310	18	1241	61.8	4.15	0.7
16/9/2019	442	37	300	22	676	67	5.84	0.84
21/10/2019	308	26	220	14	520	57.7	4.56	3.4
25/10/2019	182	12	140	8	529	50.8	6.93	3.78
28/10/2019	146	6	180	6	465	35.8	6.6	5.08
30/10/2019	196	13	160	10	44.7	40.3	7.24	3.5

Suite de Tableau N°V.2 : les dates de dépassement de la norme de la STEP et l’OMS par MES, DBO₅, DCO et Pt.

Données Date	MES		DCO		Pt	
	EB	EE	EB	EE	EB	EE
13/11/2019	248	7	285	30.9	5.52	3.04
2/2/2020	204	13	493	55.9		
7/2/2020	84	18	120	43.5	12.03	6.74
2/3/2020	588	31	828	75.6	6.76	3.42
16/3/2020	122	28	353	68.5		
6/9/2020	192	49.5	345	39.4		
9/9/2020	146	49.5	305	37.8		
12/9/2020	105	51	312	49.8		
14/9/2020	146	51.5	407	49.7		
18/9/2020	186	52	407	51.5		

Tableau N°V.3.Tableau comparatif des moyennes journalières entre des années 2019-2020 (période de confinement).

Données Mois	MES		DBO ₅		DCO	
	qt 2019	qt 2020	qt 2019	qt 2020	qt 2019	qt 2020
Avril	15204.925	12105.36	17159.58	8901	33144.15	22222.83
Mai	15735.0375	5120.8962	16407.475	5799.728	32814.95	15369.2792
Juin	13017.2442	6448.4955	13297.7408	7777.08	28309.7839	19226.67
Juillet	16290.5974	10151.421	16353.5747	7501.05	32094.3592	19065.1688
Aout	18139.4004	7038.59	16081.512	7766.72	30398.1492	19261.4656

