



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR
FSI

Département de Génie des procédés

Mémoire de fin d'études

FILERE : Science et Génie de l'environnement

En vue de l'obtention du diplôme de master en Génie de l'environnement

OPTION : Génie de l'environnement

Thème

**Suivi de fonctionnement et analyse statistique
des données (ACP) de la STEP de Reghaia**

Soutenu le : 23 juillet 2019

Réalisé par :

M^{me} SLIMANI WARDA

M^{me} LAZZAOUI GHANIA

Jury de soutenance:

SAHMOUNE Mohamed Nasser

BALOUL. Hakim

AMITOUCHE Mourad

BOUMECHHOUR Fatima

Pr

MCB

MCA

MCA

UMBB

UMBB

UMBB

UMBB

Président

Promoteur

Co-promoteur

Examinatrice

Promotion
2018/2019



Remerciements

*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.*

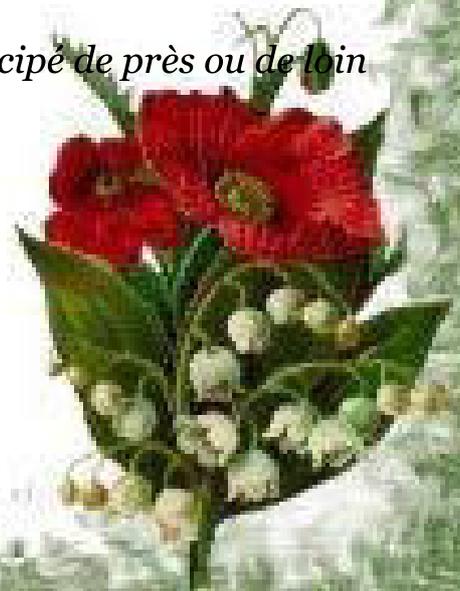
*A notre promoteur **Mer BALOUL.H ET Mer AMITOUCHE.M** pour son
aide.*

*Sans oublier l'ensemble des enseignants du département de Génie
d'environnement*

*Un grand merci à l'ensemble du personnel de l'entreprise **SEAL DE
REGHAIA***

*Notamment les responsables et les membres du laboratoire et la ligne
de production, de nous avoir accueilli et documenté afin que notre
projet de fin d'études soit réalisé dans de bonnes conditions.*

*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 mémoire à :

*Ceux qui se sont donné toutes les peines et les sacrifices,
Pour me voir réussir dans la vie :*

*Les deux personnes les plus chères à mon cœur, mon père
et ma mère, qui m'ont apporté soutien et confort
tout au long de mes études.*

○ Mes frères Et mes sœurs .

*Et surtout mon Maré et mon fils et ma belle Mère
Et ma petite famille Mahdjoub.*

A mes amis du groupe MGEV₁₇.

Tous mes amis sans exception.

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

SLIMANI WARDA



Dédie ce mémoire à

*A la mémoire de celui qui me maquera toujours, mon
père.*

*Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son
amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses
précieux conseils, pour toute son assistance et sa
présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi
modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de
mon éternelle gratitude.*

*Je ne remercierai jamais assez mon mari pour son
soutien et ses encouragements qui me tirent toujours
plus haut et me poussent toujours plus loin.*

A ma soleil de ma vie : ma fille Hala

A tous la famille Lazzaoui et Morsli

*A tous ceux et celles qui me sont chers
Avec toute mon affection*

ملخص:

تم عملنا في محطة معالجة مياه الصرف الصحي في الرغاية، وكان هدفها مراقبة محطة معالجة مياه الصرف الصحي واستغلال البيانات من خلال الطريقة الإحصائية "تحليل المكونات الرئيسية" ACP على مجموعة من المعلمات المقاسة في الأخير لغرض (منظور) لتحسين تشغيل هذه المحطة و للتدخل في الوقت الحقيقي

توضح هذه الدراسة أن معامل تلوث DBO_5 للمياه النقية يلبي عمومًا أهداف المحطة من حيث معايير التصريف. ومع ذلك ، تجاوزت قيم DCO هذه المعايير في السنوات (2015-2018) بشكل كبير

الكلمات المفتاحية: PETS,OCD,OB₅,ACP

Résumé :

Notre travail a été fait au niveau de la station d'épuration de REGHAIA, elle a eu pour objectif de faire le suivi de la STEP et l'exploitation des données par la méthode statistique , l' « Analyse en Composantes Principales » (ACP) sur l'ensemble des paramètres mesurés au niveau de cette dernière, dans le but (perspective) d'une optimisation et automatisation de fonctionnement de cette station pour l'intervention en temps réel.

Cette étude nous permis de constater que le paramètre de pollution DBO_5 de l'eau épurée répond en général aux objectifs de la station en termes de normes de rejet. Néanmoins les valeurs de la DCO ont dépassé ces normes dans les années (2015-2018) d'une manière considérable.

Les mots clés : STEP, ACP, DBO_5 , DCO

Summary:

Our work was done at the REGHAIA wastewater treatment plant. Its objective was to monitor the WWTP and the exploitation of the data by the statistical method, the "Principal Component Analysis" (PCA). On the set of parameters measured at the latter, for the purpose (perspective) of optimization and automation of operation of this station for real-time intervention.

This study shows that the DBO_5 pollution parameter for purified water generally meets the station's objectives in terms of discharge standards. Nevertheless COD values exceeded these standards in the years (2015-2018) in a considerable way.

Key words: STEP, ACP, DBO_5 , COD.

Sommaire

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale.....1

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées

I.1. Définition d'une eau usée	2
I.2. Origine et composition des eaux usées.....	2
I.2.1. Les eaux usées domestiques	2
I.2.2. Les eaux usées industrielles	2
I.2.3. Les eaux pluviales.....	2
I.2.4. Les eaux agricoles	3
I.3. Caractéristiques des eaux usées.....	3
I.3.1. Les paramètres physico-chimiques	3
I.3.1.1. La température	3
I.3.1.2. Turbidité	3
I.3.1.3 La conductivité électrique(CE).....	3
I.3.1.4. Potentiel d'hydrogène (pH).....	4
I.3.1.5 Les matières en suspension (MES)	4
I.3.1.6 Les matières volatiles en suspension (MVS)	4
I.3.1.7. Les matières minérales(MMS).....	4
I.3.1.8 .La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5).....	4
I.3.1.9. La demande chimique en oxygène (DCO)	5
I.3.1.10. Oxygène dissous.....	5
I.3.1.11. La notion biodégradabilité.....	5
I.3.1.12. La matière organique (MO)	6
I.3.1.13. Matières azotées.....	6
I.3.1.14. Le Phosphore	6
I.3.2. Les paramètres bactériologiques	7

I.3.2.1. Les coliformes totaux (CT)	7
I.3.2.2. Les coliformes fécaux (CF)	7
I.3.2.3. Les Streptococcus fécaux	8
I.4.La pollution des eaux usées	9
I.4.1. Différents types de pollutions.....	9
I.4.1.1 pollution chimique.....	9
I.4.1.2 Pollution organique	9
I.4.1.3 Pollution thermique	9
I.4.1.4.pollution radioactive	9
I.4.1.5 pollution physique.....	9
I.4.1.6.Pollution par le phosphore	9
I.4.1.7.pollution par l'azote.....	9
I.5. Les déversements d'eaux usées dans le milieu naturel	10
I.5.1. La nécessité de l'épuration	10
I.5.2. Les systèmes d'assainissement	10
I.5.2.1. Le système unitaire	10
I.5.2.2. Le système séparatif	10

CHAPITRE II : procédés des traitements des eaux usées

II. Introduction	11
II.1. La nécessité de l'épuration.....	11
II.2. Procédés d'épuration des eaux Usées.....	11
II.2.1.le prétraitement.....	11
II.2.1.1.Le dé grilleur.....	11
II.2.1.2.Le dessablage.....	12
II.2.1.3.Le dégraissage – déshuilage.....	12
II.2.2.Les traitements primaires	13
II.2.2.1. Procédé de décantation physique.....	13
II.2.2.2. Procédé de décantation chimique.....	13
II.2.3.Le traitement secondaire (biologique).....	14
II.2.3.1. Les différents procédés biologiques d'épuration des eaux usées sont.....	14
II.2.3.1.1.Procédés extensifs à cultures libres.....	14
II.2.3.1.2. Procédés intensifs à cultures fixées	16

II.2.4.Le traitement tertiaire.....	17
II.2.4.1.Élimination de l’azote par voie biologique.....	17
II.2.4.2.Élimination du phosphore.....	18
II.2.5.Traitements complémentaires.....	20
II.2.5.1.Élimination et traitement des odeurs.....	20
II.2.5.2.Caractérisation et traitement des boues.....	20
II.2.5.3. Généralités sur les boues activées.....	20
II.2.5.4.Les objectifs de traitement des boues.....	21
II.2.5.5.Le traitement des boues.....	21
II.2.5.6.Caractéristique des boues.....	22

Chapitre III :Représentation de la STEP de REGHAIA

III. Présentation du site d’étude.....	23
III.1.Implantation.....	23
III.2.Données de base de la STEP à boue activée de REGHAIA	23
III.2.1. la capacité de la population raccordée	23
III.2.2. Le débit des eaux usées	24
III.2.3. La charge polluante	24
III.3.Description et fonctionnement des ouvrages de la STEP à boues activées de RÉGHAIA	25
III.3.1.Filière eau	25
III.3.1.1.Prétraitements	25
III.3.1.2.Traitement primaire (décantions primaire).....	28
III.3.1.3. Traitement secondaire	29
III.3.1.4.Clarificateur.....	30
III.3.1.5.Traitement tertiaire (filtration sur sable)	31
III.3.2.Filière boues.....	31
III.3.2.1. Épaississement des boues	32
III.3.2.2. Stabilisation chimique des boues (chaulage).....	33
III.3.2.3. Bâche de stockage des boues	34
III.3.2.4.Conditionnement par l’ajout de polymère.....	34
III.3.2.5.Déshydratation des boues par centrifugation.....	35
III.4.Laboratoire d’analyses	35

Chapitre IV: Analyse statistique de données par L'ACP

IV.1. Introduction.....	36
IV.2. Description de la méthode.....	36
IV.3. DEFINITIONS.....	36
IV.3.1. Notions d'individu et de caractère.....	36
IV.3.2. Définition.....	37
IV.3.3. Définition géométrique	38
IV.4. FORMULATION MATHÉMATIQUE DU PROBLÈME.....	38
IV.4.1. Optimisation du problème.....	39
IV.4.2. Formulation matricielle.....	41
IV.4.3. Procédé de l'application de l'ACP.....	41
IV.4.4. Principaux résultats... ..	44
IV.4.5. Représentation graphique.....	45
IV.5. APPLICATION DE L'ACP.....	45
IV.5.1. Influence de la transformation des variables.....	46
IV.6. CONCLUSION.....	48
IV.7. Applications et interprétations des résultats.....	49

Chapitre V : Résultats et Interprétation

V.1. Partie eaux	56
V. 1. analyses physico-chimiques.....	<u>56</u>
V.1.1. Variation de pH.....	56
V.1.2. La température	56
V.1.3. La conductivité électrique	57
V.1.4. Les matières en suspension.....	57
V.1.2. La charge polluante	58
V.1.2.1. La demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	58
V.1.2 .2. La Demande Chimique en Oxygène DCO.....	59
V.1. 3. Les formes azotées	60
V.1.3.1. Azote Total	60
V.1.3.2. L'azote ammoniacal	61
V.1.3.3. Azote nitrique	61

V.1.3.4. Azote nitreux	62
V.1.3.5. Azote Kjeldhal	62
V.1.3.6. L'azote organique	63
V.1.4. Le phosphore total	63
V.1.4.1. Le phosphore total	63
V.2. partie boue	64
V.2.1. Analyse des boues	64
V.2.1.1. La décantation.....	64
V.2.1.2. Matières en suspension (MES) dans les deux bassins d'aération	64
Conclusion générale.....	66

Liste des figures :

Figure N° II.1: Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues Activées.	13
Figure N° II.2: schéma du traitement biologique aérobie à boue activée.....	15
Figure N° III.1: Vue générale de la station d'épuration de REGHAIA.....	23
Figure N° III.2: Les étapes de traitement des eaux de la STEP.....	25
Figure N° III.3: Bassin d'orage.....	26
Figure N° III.4 : Dé grilleur automatique.....	27
Figure N° III.5 : Bande transporteuse.....	27
Figure N° III.6 : Dés sableur/Dégraisseur.....	28
Figure N° III.7 : Décanteur primaire.....	28
Figure N° III.8 : Bassin d'anoxie.....	29
Figure N° III.9 : Cuve de stockage du $FeCl_3$	30
Figure N° III.10 : Clarificateur.....	31
Figure N° III.11 : Filtre plein pendant le fonctionnement.....	32
Figure N° III.12 : Filtre vide et à l'arrêt.....	32
Figure N° III.13 : Les étapes de traitement des boues.....	32
Figure N° III.14 : Épaississeur.....	33
Figure N° III.15 : Silo à chaux épaisseurs.....	33
Figure N° III.16 : Bâche de stockage de boues.....	34
Figure N° III.17 : Benne à évacuation des boues déshydratées.....	35
Figure N° III. 18 : Bac de préparation du polymère.....	35
Figure N° IV.7.1: Représentation graphique des axes valeurs propres.....	50
Figure N° IV.7.2 : Cercle de corrélation sur le plan F_1 et F_2	50
Figure N° IV.7.3 : Représentation graphique des axes valeurs propres.....	51
Figure N° IV.7.4 : Cercle de corrélation sur le plan F_1 et F_2	52
Figure N° IV.7.5 : Représentation graphique des axes valeurs propres.....	52
Figure N° IV.7.6 : Cercle de corrélation sur le plan F_1 et F_2	53
Figure N° IV.7.7: Représentation graphique des axes valeurs propres.....	53
Figure N° IV.7.8 : Cercle de corrélation sur le plan F_1 et F_2	54
Figure N° IV.7.9 : Représentation graphique des axes valeurs propres.....	55
Figure N° IV.7.10: Cercle de corrélation sur le plan F_1 et F_2	55
Figure N° V.1.1 : La variation du pH en fonction du temps.....	56
Figure N° V.1.2 : La variation de la température en fonction du temps.....	56
Figure N° V.1.3 : La variation de la conductivité électrique en fonction du temps.....	57
Figure N° V.1.4 : La variation des MES en fonction du temps, (L'année 2019).....	57
Figure N° V.1.4.1 : la variation des MES en fonction de temps (l'année 2014....2018)....	58
Figure N° V.1.2.1 : La variation de la DBO_5 en fonction du temps (l'année 2019)... ..	58
Figure N° V.1.2.1.1 : La variation de la DBO_5 en fonction du temps (l'année 2014...2018)	59
Figure N° V.1.2.2 : La variation de la DCO en fonction du temps (l'année 2019).....	59
Figure N° V.1.2.2.1 : La variation de la DCO en fonction du temps (l'année 2014...2018)	60
Figure N° V.1.3.1 : La variation de l'azote total en fonction du temps.....	60
Figure N° V.1.3.2 : La variation de l'azote ammoniacal en fonction du temps.....	61
Figure N° V.1.3.3 : La variation de l'azote nitrique en fonction du temps.....	61
Figure N° V.1.3.4 : La variation de l'azote nitreux en fonction du temps.....	62
Figure N° V.1.3.5: La variation de l'azote kjeldhal en fonction du temps.....	62
Figure N° V.1.3.6 : La variation de l'azote organique en fonction du temps.....	63
Figure N° V.1.4.1 : La variation du phosphore total en fonction du temps.....	63
Figure N° V.2.1.1 : La variation de V_{30} pour les deux bassins.....	64

Liste des tableaux :

Tableau N° II.1 : Etat physique des boues.....	22
Tableau N°III.1 : Les communes raccordées à la STEP à boues activé de REGHAIA.	24
Tableau N°III.2 : Différentes variations de débits d'eaux usées reçues par la STEP à boues activées de REGHAIA.....	24
Tableau N°III.3 : Les différentes charges polluantes reçues pas la STEP à boues activées de REGHAIA.....	24
Tableau N°IV.7.1 : les caractéristiques statistiques des données.....	49
Tableau N° IV.7.2 : Matrice de corrélation des données.....	49
Tableau N°IV.7.3 : Variance totale expliquée par les valeurs propres.....	51
Tableau N° IV.7.4 : les caractéristiques statistiques des données.....	52
Tableau N°IV.7.5 : les caractéristiques statistiques des données.....	52
Tableau N°IV.7.4 : les caractéristiques statistiques des données.....	53
Tableau N° IV.7.6 : les caractéristiques statistiques des données.....	54

Liste des abréviations :

DBO₅ : Demande biochimique en oxygène pendant 5jours.

DCO : Demande chimique en oxygène.

EB: Eau usée brute.

EE : Eau épurée.

ED : eau décanté.

BR : boues recirulées.

BE : boues épaissies.

BS :boues stokées.

BP :boues primaires.

BD :boues déshydratées.

BA :boues activées.

EC : eau clarifié.

MES : Matières en suspension.

MMS : Matières minérales en suspension.

MVS : Matières volatiles en suspension.

MS : Matières sèche.

MO : Matière organique.

N: Azote.

NGL : Azote total.

NTK : Azote kjeldhal=N-Norganique + N-NH₄.

N-NH₄ : Azote ammoniacal(NH₄⁺).

N-NO₂ : Nitrite(NO₂⁻).

N-NO₃ : Nitrate(NO₃⁻).

P : Phosphore.

P_{tot} : Phosphore total.

pH : Potentiel d'hydrogène.

CT: Coliformes totaux.

CF : Coliformes fécaux.

STEP : Station d'épuration.

Introduction

Introduction général

Introduction

L'eau est une ressource limitée et vulnérable, vitale pour l'homme, sa survie, sa santé et son alimentation ; elle l'est également pour ses activités agricoles, économiques et la qualité de son environnement en dépend étroitement. Cependant, elle est le réceptacle universel de tout type de pollution.

L'homme doit faire face à une diminution des ressources hydrique naturelles et à la dégradation croissante de la qualité de l'eau due principalement aux insuffisances de traitement des eaux d'égouts, aux rejets d'effluents industriels et domestiques, aux infiltrations des résidus d'engrais, de pesticides agricoles.....etc. Ces nuisances comptent parmi les principales causes de pollution des eaux. Leur gravité est fonction de la densité des populations, des pratiques agricoles et industrielles et de la présence ou non de dispositifs de récupération et de traitement des eaux usées.

L'eau et la pollution sont régulièrement citées parmi les crises les plus graves que l'humanité aura à affronter pendant les prochaines décennies. L'Algérie à l'instar des autres pays du monde est confrontée à la crise de l'eau qui est aggravée par la forte pression sur le potentiel en eau en raison de la progression démographique, parallèlement la détérioration de la qualité de cette ressource, augmente le risque de pénurie. Trop polluées, nos réserves d'eau pourraient ne plus être utilisables pour produire de l'eau potable, sinon à des coûts très élevés, du fait de la sophistication et de la complexité des techniques à mettre en œuvre pour en restaurer la qualité.

Devant cette situation pesante, on doit contribuer pour préserver notre environnement hydrique ainsi que nos ressources à "nettoyer" les eaux usées avant leur retour à la nature pour limiter le plus possible la pollution de nos réserves en eau : cours d'eau, lacs et nappes souterraines, c'est pourquoi nos stations d'épuration devront être bien plus performantes.

Presque tous les services publics d'eau cherchent à améliorer le fonctionnement de leurs stations pour contrôler leur cout et rencontrer les exigences réglementaires sévères de la qualité de l'eau.

L'objectif de notre projet est de faire le suivi la STEP et exploitation des données par la méthode statistique ACP.

On a organisé ce travail de la manière suivante :

Le premier chapitre donne des généralités sur les eaux usées, composition et la pollution des eaux usées, le deuxième chapitre quant a lui a été totalement consacré à la présentation des différentes filières d'épuration des eaux usées, le troisième chapitre donne une présentation et une description de la station d'épuration de REGHAIA.

La théorie de l'analyse en composantes principales (ACP) a fait l'objet du quatrième chapitre. La partie pratique de ce mémoire de fin d'études a fait l'objet du chapitre cinq où l'essentiel des résultats obtenus et leurs interprétations et conclusions sont présentés.

Enfin, une conclusion générale, dans laquelle on a mis l'accent sur l'importance de l'utilisation d'une technique mathématique, pour le diagnostic d'une STEP.

Chapitre I

Généralité sur les eaux usées

I.1.Définition des eaux usées :

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

C'est l'eau qui a été utilisée et qui doit être traité avant d'être réintroduite vers d'autres sources d'eaux pour qu'ils ne causent pas de pollution de ces autres sources.

Les eaux usées, sont un mélange de plusieurs types d'eaux et pour éviter la pollution, sont acheminées par un réseau d'assainissement vers une station d'épuration pour y être traitées et si possible réutilisées [1].

I.2.Origine des eaux usées :

Suivant l'origine des substances polluantes, on distingue

Quatre catégories des eaux usées :

I.2.1. Les eaux usées domestiques :

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau.

Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique.elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, et en eaux vannes ; il s'agit des rejets des toilettes chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux [2].

I.2.2. Les eaux industrielles :

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures.

Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte.

Elles sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution.

Les grandes entreprises sont toutes équipées d'unités de traitement interne.

En vingt ans, la pollution industrielle a été réduite de moitié.

Ce sont actuellement les PME (garages, pressing, entreprises de peintures ...) qui produisent plus de 90% de la pollution par déchets toxiques [3].

I.2.3. Les eaux usées pluviales :

Ce sont des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation.

Elles peuvent être particulièrement polluées surtout en début de pluie par deux mécanismes :

- Le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées
- Les déchets solides ou liquides déposés par temps sur ces surfaces sont entraînés dans le réseau d'assainissement par les premières précipitations qui se produisent

- Par temps sec, l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs des réseaux est lent ce qui favorise le dépôt de matières déca tables.

Lors d'une précipitation, le flux d'eau plus important permet la remise en suspension de ces dépôts [4].

I.2.4. Les eaux agricoles :

L'agriculture est une source de pollution des eaux. Il s'agit de rejets liquides agricoles issus du ruissellement d'eau d'irrigation qui entraîne des engrais, des pesticides, des herbicides ou des rejets organiques dus à un élevage important[5].

I.3. Caractéristiques des eaux usées :

Dans ce sous chapitre nous passerons en revue les principaux paramètres physico-chimiques analysés au cours de la partie expérimentale ainsi que les paramètres bactériologiques les plus rencontrés dans les eaux usées.

I.3.1. Les paramètres physico-chimiques :

Ils résultent de l'introduction dans un milieu de substances conduisant à son altération, se traduisant généralement par des modifications des caractéristiques physicochimiques du milieu récepteur de ces paramètres [6].

I.3.1.1. La température (T) :

Une température élevée cause une diminution de la solubilité des gaz (oxygène). C'est ainsi par exemple que l'augmentation de la température favorise l'autoépuration et accroît la vitesse de sédimentation. L'effet catalytique des enzymes en fonction de la température, passe par un maximum entre 33 et 35°C, mais toutes ces réactions consomment de l'oxygène, si leur importance augmente. Les réactions chimiques ralentissent avec la diminution de la température jusqu'à un seuil où elles s'arrêtent totalement (moins de 5°C), tandis qu'une température très élevée cause la mortalité des quelques espèces d'êtres vivants.

I.3.1.2. Turbidité :

La turbidité caractérise le degré de non transparence de l'eau. Elle traduit la présence des matières en suspension (MES) [7].

I.3.1.3. La conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm² de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m) :

$$1\text{ S/m} = 10^4 \text{ as/cm} = 10^3 \text{ S/m.}$$

La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'Origine d'une eau.

I.3.1.4. Potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH est un paramètre qui permet de mesurer l'acidité, l'alcalinité ou la basicité d'une eau. L'influence du pH se fait également ressentir par le rôle qu'il exerce sur les autres éléments comme les ions des métaux dont il peut diminuer ou augmenter leur mobilité en solution bio

disponible et donc leur toxicité. Le pH joue également un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien [8].

I.3.1.5. Les matières en suspension (MES) :

Elles représentent la fraction constituée par l'ensemble des particules organiques (MVS) et minérales (MMS) non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel.

Les MES s'expriment par la relation suivante :

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

I.3.1.6. Les matières volatiles en suspension (MVS) :

Elles représentent la fraction organique des 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.3.1.7. Les matières minérales (MMS) :

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son « extrait sec » constitué à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates, etc. Elles représentent la différence entre les matières en suspension (MES) et les matières volatiles en suspension (MVS) et correspondent à la présence de sel, et de silice.

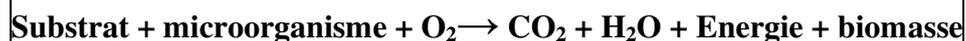
L'abondance des matières minérales en suspension dans l'eau augmente la turbidité, réduit la luminosité et par ce fait abaisse la productivité d'un cours d'eau, entraînant ainsi une chute en oxygène dissous et freinant les phénomènes photosynthétiques qui contribuent à la ré-aération de l'eau. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte proportion de matières organiques consommatrices d'oxygène [9].

I.3.1.8. La Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅) :

La DBO₅ est la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C, à l'obscurité et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé.

Ce temps assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée.

Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie selon la réaction chimique suivante [10].



I.3.1.9. La Demande Chimique en Oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies.

En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présente dans l'eau quelque soit leur origine organique ou minérale.

La DCO étant fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives, des possibilités de l'oxydation.

La DCO est la concentration, exprimée en mg/l .d'oxygène équivalente à la quantité de dichromates consommée par les matières dissoutes et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies par la norme [11].

I.3.1.10.Oxygène dissous :

La concentration en oxygène dissous est un paramètre utilisé pour mesurer la qualité du milieu marin. Sa concentration est liée aux paramètres physico-chimiques et à l'activité biologique.

L'oxygène dissous provient :

- La diffusion de l'oxygène en surface.
- L'aération (mouvement de l'eau).
- La photosynthèse.

I.3.1.11.La biodégradabilité :

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les microorganismes qui interviennent dans les processus d'épuration biologique des eaux.

Elle est exprimée par un coefficient K, avec $K=DCO/DBO_5$:

- ✓ Si $k < 1.5$, cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradables.
- ✓ Si $1.5 < K < 2.5$, cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.
- ✓ Si $2.5 < K < 3$, les matières oxydables sont peu biodégradables.
- ✓ Si $k > 3$, les matières oxydables sont non biodégradables.

Un coefficient K 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 coefficient K 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.

I.3.1.12. Matières organiques :

Elles sont constituées d'un grand nombre de composés qui ont la particularité commune de posséder au moins un atome de carbone, d'où leur nom de substances carbonées. Ces atomes de carbone sont oxydés biologiquement par les micro-organismes pour fournir l'énergie nécessaire à leur croissance.

I.3.1.13.Les matières azotées :

L'azote est présent dans les eaux usées sous les différentes formes chimiques suivantes : ion ammonium $N-NH_4^+$, ion nitrite $N-NO_2^-$ et ion nitrate $N-NO_3^-$.

$$\boxed{\text{Azote global} = \text{Azote Kjeldhal} + \text{Nitrites} + \text{Nitrates.}}$$

L'azote hydrolysable et l'azote ammoniacal constituent l'azote Kedah NTK qui est la somme de N-orge+N-NH₄⁺ Dans l'azote organique (N-orge) sont inclus ceux des amines, des amides, de l'urée, de l'acide uréique etc.

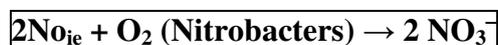
a- Nitrites (NO₂⁻):

Les ions nitrite (NO₂⁻) sont le produit soit de l'oxydation de l'ion ammonium (NH₄⁺) dans les conditions d'aérobie par les nitrosomonas, soit de la réduction des ions nitratent (NO₃⁻) en anoxie par les bactéries hétérotrophes.



b-Nitrates (NO₃⁻) :

Les nitrates constituent le produit final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau par l'action des nitrobacters en transformant les nitrites en nitrates selon la réaction suivante:



I.3.1.14 .Le Phosphore

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension, à l'état minéral ou organique. Les composés phosphorés qui, sans hydrolyse ou minéralisation répondent au test spectrophotométrique sont considérés comme étant des ortho phosphates.

L'hydrolyse en milieu acide fait apparaître le phosphore hydrolysable et minéralisation, le phosphore organique.

Chaque fraction (phosphore en solution ou en suspension) peut être séparée analytiquement en ortho phosphates, phosphore hydrolysable et phosphore organique. Suivant les cas, la teneur en phosphates peut être exprimée en mg/L de PO₄ ou de P₂O₅ 1mg/L PO₄ = 0,747 mg/L P₂O₅ = 0,326 mg/L P [13].

I.3.2. Les paramètres bactériologiques :

Les bactéries sont ubiquitaires dans la nature car il s'agit probablement des premiers êtres vivants apparus sur la terre (archéobactéries). Seules quelques dizaines d'espèces sont adaptées à l'homme :

La plupart sont inoffensives ou même utiles, étant commensales et faisant partie des flores cutanées, digestive, buccale, génitale ; certaines sont pathogènes, opportunistes ; une minorité est régulièrement pathogène [14].

Il nous a paru utile l'étude de quelques bactéries les plus rencontrées :

I.3.2.1. Les coliformes totaux (CT) :

Les coliformes sont des bâtonnets, anaérobies facultatifs, gram (-) non sporulant permettant l'hydrolyse du lactose à 35°.

Les coliformes regroupent les genres Escherichia, Nitrobacter, Entérobactérie, Klébsiella, Yersinia, Serrat.

La recherche et le dénombrement de l'ensemble des coliformes (coliformes totaux), sans préjuger de leur appartenance taxonomique et de leur origine, est capital pour la

vérification de l'efficacité d'un traitement désinfectant et est d'un intérêt nuancé pour déceler une contamination d'origine fécale [15].

I.3.2.2 .Les coliformes fécaux (CF) :

C'est un groupe de bactéries utilisé comme indicateur de contamination fécale.

Ils appartiennent à la classe des Enterobacteriaceae.

Ce sont des bacilles à gram négatif, sporogones, oxydase négative, aérobies ou anaérobie facultatifs, capables de se multiplier et de fermenter le lactose et produisent de gaz, d'acide et d'aldéhyde.

On les considère comme bons indicateurs de contamination fécale, ils se cultivent à 44°C les coliformes totaux se développent à 37°C.

Ces derniers peuvent avoir une origine non strictement fécale :

Le sol, les insectes et les plantes peuvent les héberger.

Les coliformes totaux sont inclus dans les germes témoins de contamination fécale de deuxième ordre.

I.3.2.3.Les streptocoques fécaux :

Ces bactéries appartiennent à la famille des streptococcaceae, sont des cocci généralement disposés en diplocoques ou en courte chaîne, à gram négatif, sporulâtes, immobiles, aérobies facultatifs et possédant un métabolisme fermentatif. Ces germes colonisent l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud. Leur présence dans le milieu hydrique prouve une pollution d'origine fécale de l'eau. Cependant, on peut trouver aussi des streptocoques fécaux dans le sol, les plantes et les insectes [16].

Quelques bactéries les plus rencontrées :

a) Virus :

Les virus se trouvent dans les eaux résiduaires à des concentrations de l'ordre de milliers d'unités infectieuses par millilitre d'eau. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 10³ et 10⁴ particules par litre.

Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous estimation de leur nombre réel.

Parmi les infections virales d'origine hydrique, on trouve la poliomyélite, l'hépatite A.

b) Protozoaires :

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. Ils sont présents dans les eaux usées à l'état de kystes. La principale forme pathogène pour l'homme est *Entamoeba histolytica*, agent responsable de la dysenterie amibienne et *Giardia lamblia*.

c) Les bactéries :

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 μm.

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10⁶ à 10⁷ bactéries par 100 ml. Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonelles responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux.

d) Helminthes :

Les helminthes sont rencontrés dans les eaux usées sous forme d'œufs et proviennent des excréments des personnes ou d'animaux infectés et peuvent constituer une source de réinfection par voie orale, respiratoire ou par voie cutanée.

La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 103 œufs par litre. On peut citer, notamment, *Ascaris lombricoides*, *Oxyures vermiculaires*, *Tricheuris tricheraei*, *Tænia saginata* [17].

I.4. La pollution des eaux usées :

Sans surprise, c'est l'homme qui est le principal responsable de la pollution de l'eau, même si des phénomènes naturels rares (éboulements, inondations, etc.) peuvent aussi engendrer un arrêté préfectoral qui interdit la consommation d'eau du robinet.

I.4.1. Différents types de pollutions des eaux on distingue :

I.4.1.1 La Pollution chimique :

Elle est générée par : les nitrates et phosphates des pesticides, les médicaments humains et animaliers, les produits ménagers, la peinture, les métaux lourds et les acides et hydrocarbures utilisés dans l'industrie.

I.4.1.2. La Pollution organique :

Elle est due aux rejets riches en matières organiques susceptibles ou non d'être dégradée par les micro-organismes.

Les effets de cette pollution conduisent à un appauvrissement du milieu en oxygène qui entraîne une asphyxie des organismes vivants et provoquent un colmatage des fonds et une apparition de produits nocifs NH_3 et H_2S [18].

I.4.1.3 .La 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 [19.20].

I.4.1.4. La 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.

I.4.1.5. Pollution physique :

Elle est due aux agents physiques (tout élément solide entraîné par l'eau). Elle regroupe la pollution mécanique (effluents solides), la pollution thermique (réchauffement de l'eau par des usines) et la pollution atomique (retombées de radioéléments issus des explosions d'armes nucléaires, résidus des usines atomiques et accidents nucléaires).

I.4.1.6. Pollution par le phosphore :

Le phosphore a pour origine les industries du traitement de surfaces des métaux, les laveries industrielles des fabrications, d'engrais agroalimentaire. Sa présence en abondance dans les milieux hydrauliques superficiels est une problématique. Les phosphates sont des substances nutritives, l'apport exagéré dans les eaux de surface augmente la production des algues et des plantes aquatiques. Plus il y a d'algues, moins il y a d'oxygène dans l'eau, et

les conditions de vie deviennent difficiles pour la flore et la faune des milieux aquatiques. Ce phénomène provoque l'eutrophisation.

I.4.1.7. Pollution par l'azote :

L'élément azote existe principalement sous forme ionique (ammonium NH_4^+ nitrite NO_2^- et nitrate NO_3^-), ainsi que sous forme gazeuse (N_2). L'origine de ces polluants est par ordre décroissant : L'utilisation massive des engrais, le développement industriel et le rejet des eaux résiduaires urbaines. Nos eaux usées contiennent de l'azote organique et de l'azote ammoniacal. Ces ions se transforment en milieu acide faible en ions nitrites qui sont toxiques pour l'organisme humain, puis en nitrates qui constituent aussi un agent fertilisant susceptible de favoriser le développement excessif des algues dans le milieu aquatique [20].

I.5. Les déversements des eaux usées dans le milieu naturel :

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

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

I.5.1. La nécessité de l'épuration :

L'épuration des eaux est un ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau soit pour recycler les eaux usées dans le milieu naturel, soit pour transformer les eaux naturelles en eau potable.

Les caractéristiques d'une station d'épuration et le degré de traitement doivent être tels que l'effluent n'altère pas l'état du milieu récepteur dans une mesure incompatible avec les exigences de l'hygiène et de la salubrité publique et d'une façon générale, avec les exigences des diverses utilisations ou activités (alimentation en eau des hommes et des animaux, utilisation agricole ou industrielles, production piscicole ou production de coquillages, navigation, baignades et autres activités sportives) [21].

I.5.2. Système d'assainissement :

C'est un réseau public de collecte et de transport des eaux usées vers une station d'épuration. On distingue :

I.5.2.1. Le Système unitaire:

L'assainissement des eaux se fait au moyen d'un seul collecteur qui recueille les eaux usées et les eaux pluviales. Appelé aussi « tout-à-l'égout »

La notion de « tout-à-l'égout » est aujourd'hui à proscrire, car elle suggère que tout et n'importe quoi peut être rejeté dans le réseau d'assainissement unitaire.

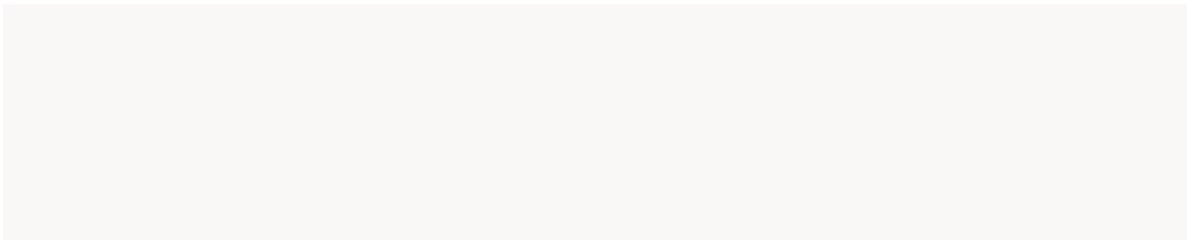
I.5.2.2. Le système séparatif :

L'assainissement des eaux se fait cette fois-ci au moyen de deux collecteurs, l'un étant réservé aux eaux usées et l'autre aux eaux pluviales.

Il consiste à spécialiser chaque réseau selon la nature des effluents .Ce système présente, par ailleurs certains avantages :

- il permet d'évacuer rapidement et efficacement les eaux les plus polluées, sans aucun contact avec l'extérieur ;
- il assure à la station d'épuration qui traite les eaux collectées un fonctionnement

Régulier [22].



Chapitre II

Procèdes de traitement des eaux usées

II. Introduction :

A la sortie des égouts, les eaux usées urbaines sont épurées dans une station d'épuration. Une série de traitements primaires permettent d'éliminer rapidement les déchets les plus grossiers mais aussi les sables, les graisses et les matières en suspension.

Ensuite, un traitement biologique permet d'éliminer le reste de la pollution. Ce sont des bactéries qui s'en nourrissent.

Les eaux usées urbaines sont collectées dans les égouts afin d'être acheminées vers une station d'épuration. Alors que la pollution auparavant diffuse, elle est maintenant concentrée dans un endroit donné.

Pour les stations d'épuration efficaces, l'eau est épurée à environ 90 %. Il reste 10% de la pollution qui va rejoindre le milieu naturel.

II.1. La nécessité de l'épuration :

L'épuration des eaux est un ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau soit pour recycler les eaux usées dans le milieu naturel, soit pour transformer les eaux naturelles

en eau potable.

Les caractéristiques d'une station d'épuration et le degré de traitement doivent être tels que l'effluent n'altère pas l'état du milieu récepteur dans une mesure incompatible avec les exigences de l'hygiène et de la salubrité publique et d'une façon générale, avec les exigences des diverses utilisations ou activités (alimentation en eau des hommes et des animaux, utilisation agricole ou industrielles, production piscicole ou production de coquillages, navigation, baignades et autres activités sportives) [23].

II.2. Procédés d'épuration des eaux usées :

D'une façon générale, une station d'épuration des eaux usées comprend les étapes suivantes :

II.2.1. le prétraitement :

Le prétraitement vise à protéger le relèvement des eaux brutes et plus généralement à éliminer tout ce qui pourrait gêner les traitements ultérieurs. Suivant la qualité de l'eau à traiter, plusieurs opérations peuvent être nécessaires, parmi lesquelles :

II.2.1.1. Le dégrilleur :

Son rôle est une protection mécanique des pompes et permet d'éliminer aussi la présence de dépôts dans les ouvrages à Laval. Il est nécessaire de concevoir un dispositif de récupération des refus efficace et facile d'exploitation afin d'éviter son by-pass en fonction de l'espacement des barreaux on peut distinguer :

- Le dégrillage fin : écartement de 3 à 10 mm
- Le dégrillage moyen : écartement de 10 à 45 mm
- Le dégrillage grossier : écartement de 50 à 100 mm
- Les dégrillages peuvent être verticales; où inclinées de 60°C à 80°C sur l'horizontale [24].

Pour le nettoyage des grilles, on peut rencontrer deux types de grilles :

Grilles manuelles :

Se sont composées avec de barreaux le plus souvent inclinés de 60 à 80°C sur l'horizontale, elles sont réservées à la petite station. Leur inconvénient est la nécessiter de les nettoyer quotidiennement, car si la grille reste longtemps sans nettoyage, l'effluent risque de refluer dans le collecteur d'arrivée.

- **Grille mécanique :**

Cette mécanisation est indispensable afin d'éviter un colmatage rapide des canalisations. Elles se classent en deux catégories :

- **Grille droite :**

Elle est inclinées à 80°C sur l'horizontale .le nettoyage se fait automatiquement à l'aide des râteliers, des peignes ou encore des brosses [25].

- **Grille courbes :** sont utilisées pour les stations d'épuration des eaux industrielles. Le nettoyage se fait par un double râtelier tournant ou encore par un système de biellette appliquée contre la grille [26].

II.2.1.2.Le dessablage :

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

L'écoulement de l'eau, à une vitesse réduite, dans un bassin appelé "dessableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés, par aspiration, sont ensuite essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés selon la qualité du lavage [27].

II.2.1.3.Le dégraissage - déshuilage:

Les graisses et les huiles étant des produits de densité légèrement inférieure à l'eau issues non seulement des habitations, mais aussi des restaurants, des garages, des chaussées, des usines, des abattoirs, ... etc.

Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide, alors que le dégraissage est une opération de séparation solide-liquide (à la condition que la température de l'eau soit suffisamment basse, pour permettre le figeage des graisses). Ces deux procédés visent à éliminer la présence des corps gras dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité du traitement biologique qui intervient en suite

- **Dégraisseur-déshuileur aéré :** Ce type d'ouvrage comprend une zone aérée (avec insufflation par le bas) suivi d'un compartiment de sédimentation latéral calculé pour une

vitesse ascensionnelle de 15 à 20m/h [26].

- **Déshuileur longitudinal :** C'est un bassin de forme rectangulaire équipé de racleur de surface de fond.

L'ouvrage est calculé pour :

- une vitesse d'écoulement horizontal de 20 à 50 m/h
- une longueur de 2 à 6 m
- une hauteur d'eau de 1 à 3 m [25].

II.2.2. Les traitements primaires :

Le traitement "primaire" fait appel à des procédés physiques naturels, filtration et décantation plus ou moins aboutie, éventuellement assortie de procédés physicochimiques, tels que la coagulation- floculation.

II.2.2.1. Procédé de décantation physique :

La décantation est un phénomène provoqué par les forces de gravitation. Une particule solide charriée par l'eau d'égout, comme tout corps pesant, tomberait suivant un mouvement uniformément accéléré, si sa chute n'était contrariée par les forces de frottement créées par son déplacement au sein de l'eau, forces dont l'effet se traduit par une vitesse de chute uniforme. Cette vitesse est fonction de la dimension, de la forme extérieure et de la densité apparente de la particule [28].

II.2.2.2. Procédé de décantation chimique :

Les procédés physico-chimiques de décantation consistent à alourdir les particules en suspension. Ils font appel aux techniques de coagulation ou de floculation-clarification. Les processus de coagulation et de floculation sont employés pour séparer les solides en suspension de l'eau lorsque la vitesse de décantation naturelle est trop lente pour obtenir une clarification efficace [29].

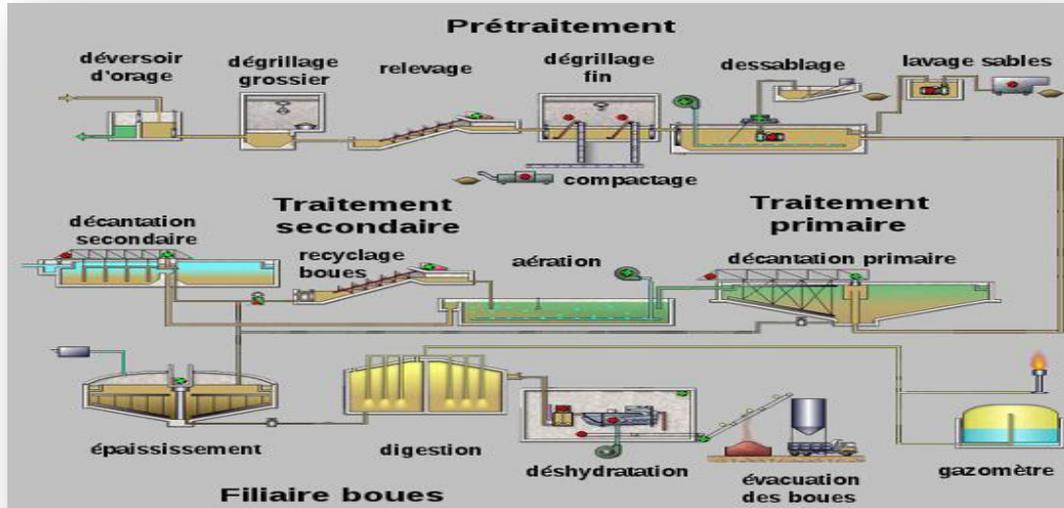


Figure N°II.1: Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées.

II.2.3. Le traitement secondaire (biologique) :

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

L'élimination des matières organiques implique le recours à des traitements biologiques qui font intervenir des organismes vivants, essentiellement des bactéries.

II.2.3.1. Les différents procédés biologiques d'épuration des eaux usées sont :

II.2.3.1.1. Procédés extensifs à cultures libres :

Ils reposent sur les phénomènes de l'autoépuration naturelle et ils demandent une faible énergie mais nécessitent, en revanche, de grandes superficies et de longs séjours des eaux usées. Du point de vue économique, ils sont moins coûteux. Ce sont le lagunage, l'épandage, etc.

➤ **Le lagunage:**

Le lagunage est un système biologique d'épuration qui repose sur la présence équilibrée de bactéries aérobies en cultures libres et d'algues. L'oxygène nécessaire à la respiration bactérienne est produit uniquement grâce aux mécanismes photosynthétiques des végétaux en présence de rayonnements lumineux.

- **Lagunage naturel :**

L'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassin le plus communément rencontré est 3.

Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure de bassins est exposée à la lumière ; ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique. Le gaz carboné formé par les bactéries ainsi que les sels minéraux dans les eaux usées permettent aux algues de se multiplier, au fond du bassin où la lumière ne pénètre pas; ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique.

- **Lagunage aéré :**

Il s'agit d'un ou plusieurs bassins de 2 à 4 mètres de profondeur, dans lesquels l'apport d'oxygène est fourni par un système artificiel (aérateurs de surface, diffuseurs d'air).

Ce mode d'épuration permet d'éliminer 80 % à 90 % de la DBO, 20 % à 30 % de l'azote et contribue à une réduction très importante des germes. Il a cependant l'inconvénient d'utiliser des surfaces importantes et de ne pas offrir des rendements constants durant l'année [32].

- **Lagunage anaérobie:**

Il n'est applicable que sur des effluents très concentrés et, le plus souvent comme prétraitement avant un étage aérobie. La couverture de ces lagunes et le traitement des gaz produits sont nécessaires vu les risques de nuisances élevés (odeurs). Les temps de séjour sont souvent supérieurs à 50 jours. Les charges organiques appliquées sont de l'ordre de $0.01 \text{ kg DBO m}^{-3}\text{j}^{-1}$. Une profondeur importante (5 à 6 m) est en principe un élément favorable au processus. Dans la réalité, la classification aéro-anaérobie des lagunes n'est pas superflue, car dans les zones amont ou profondes des lagunes 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.

➤ **Boues activées:**

Le procédé à boues activées constitue de loin le mode de traitement le plus utilisé pour l'épuration des effluents urbains. Un bassin à boues activées est un réacteur biologique, alimenté en continu et aéré dans lequel une culture bactérienne est maintenue au contact de la pollution sous la forme de flocons en suspension. Cette culture bactérienne, aussi appelée boue ou biomasse est ensuite séparée gravitairement du liquide épuré dans un clarificateur. La majeure partie des boues épaissies est alors recyclée dans le bioréacteur pour y être mélangée avec l'eau usée incidente, et seule une faible partie est éliminée du système.

Pour qu'une boue activée se forme et opère une épuration biologique, il faut réunir 3 conditions :

- Un apport suffisant en matière organique apportée par l'eau usée et en particulier certains éléments de base tels que :
L'azote et le phosphore.
- Un apport en oxygène proportionnel à la charge de pollution.
- L'élimination des boues en excès [33].

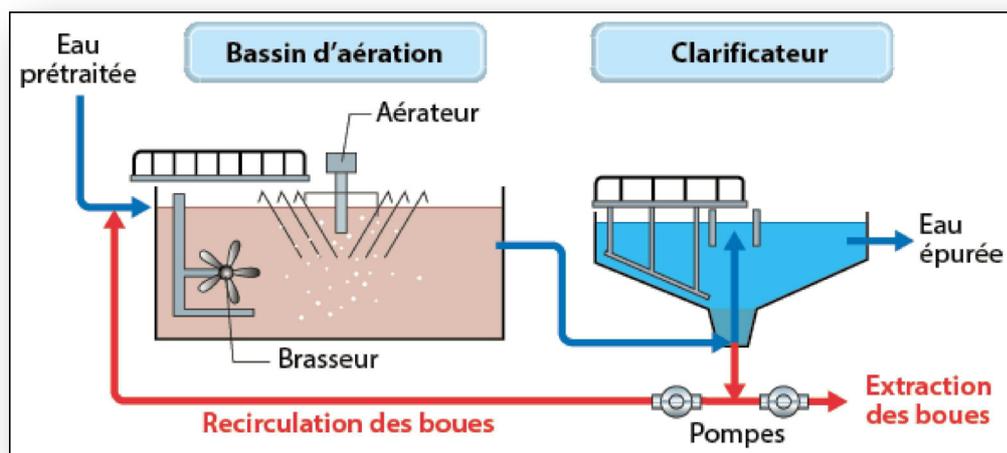


Figure N° II.2: schéma du traitement biologique aérobie à boue activée.

II.2.3.1.2. Procédés intensifs à cultures fixées :

Systèmes d'épuration à prédominance aérobie et à bactéries fixés

Dans les procédés à bactéries fixées, on propose à la culture bactérienne un support à la surface duquel elle se développe, formant une pellicule mince (Film biologique, Zooglé).

A partir de ce schéma de principe, plusieurs variables technologiques ont été développées: les lits bactériens et les disques biologiques.

➤ **Lits Bactériens**

Le processus de traitement par lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées préalablement décantées, sur un massif constitué par un matériau poreux ou caverneux.

Ce remplissage sert de support aux micro-organismes qui forment un film au travers duquel diffusent le substrat et l'oxygène. Le matériau de support est constitué par des pouzzolanes (roches volcaniques) ou des cailloux concassés de granulométrie définie.

L'alimentation en eau usée est discontinue, l'aération est pratiquée par tirage naturel ou par ventilation forcée (apport d'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies).

Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides.

➤ **Disques Biologiques**

Le disque biologique ou bio disque est un procédé biologique à cultures fixées. Le réacteur biologique est constitué de plusieurs disques minces en plastique montés sur un axe horizontal.

L'eau usée, préalablement décantée, alimente un ouvrage dans lequel des disques fixés sur un axe, sont mis en rotation à vitesse lente.

Sur ces disques biologiques en plastique se développe alors un film bactérien. Lors de leur émergence, ces bactéries prélèvent l'oxygène nécessaire à leur respiration et lors de l'immersion, elles absorbent la pollution dissoute dont elles se nourrissent.

Dès que le film biologique dépasse une épaisseur de quelques millimètres, il se détache et est entraîné vers le décanteur final où il est séparé de l'eau épurée. Les eaux ainsi

Piégées sont renvoyées par pompage périodique vers l'ouvrage de tête pour y être stockées et digérées. Les disques biologiques utilisés pour le traitement des eaux usées domestiques sont généralement précédés d'un dégrillage, d'un système de traitement primaire et, d'un bassin d'égalisation [34].

➤ **Bio-filters :**

Les biofiltres sont une innovation pour le traitement des eaux usées domestiques destinées à répondre à des exigences croissantes en matière de qualité. Ces procédés biologiques modernes ont été inspirés des lits bactériens. Ils reposent sur l'action de microorganismes aérobies fixés sur un support granulaire immergé dans un bassin. C'est une technique qui consiste à réaliser simultanément, dans le même ouvrage, la réaction biologique aérobie de dégradation de la pollution par la biomasse épuratrice et la clarification par filtration de l'effluent traité. L'avantage des biofiltres est de pouvoir traiter les matières polluantes carbonées et éventuellement azotées, dans un volume beaucoup plus faible que dans le cas de procédés à cultures libres, avec des rendements similaires. Mais les biofiltres sont plus coûteux en investissement et plus délicats en fonctionnement [35].

II.2.4.Le traitement tertiaire :

Appelés aussi les traitements complémentaires qui visent l'élimination de la pollution l'azotée et phosphatée ainsi que la pollution biologique des eaux usées domestiques, ayant déjà subi au préalable des traitements primaires et secondaires qui s'avèrent insuffisants pour arriver au bout de ces polluants. Pour cela les traitements tertiaires s'imposent et deviennent plus que nécessaires, afin de garantir une meilleure protection des milieux naturels récepteurs.

Les traitements tertiaires souvent considérés comme facultatif ou complémentaire Permettent d'affiner ou d'améliorer le traitement secondaire. De telles opérations sont nécessaires pour assurer une protection complémentaire de l'environnement récepteur ou une réutilisation de l'effluent en agriculture ou en industrie. Les traitements tertiaires visent à améliorer la qualité générale de l'eau.

II.2.4.1. Élimination de l'azote par voie biologique :

L'élimination de l'azote par voie biologique consiste à oxyder l'azote ammoniacale en azote nitreux puis en azote nitrique en milieu aérobie, puis à réduire les nitrates en azote gazeux en zone anoxie.

Les différentes étapes sont :

a) L'assimilation :

C'est l'utilisation d'une partie de l'azote ammoniacal et éventuellement organique pour la synthèse bactérienne.

Les besoins de celles-ci sont de l'ordre de 5% de la DBO₅ éliminée par la culture bactérienne.

b) La nitrification

La nitrification est l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrites, puis en nitrates après transformation de l'azote organique en azote ammoniacal

- 1g d'azote ammoniacal nécessite 4.8g d'oxygène pour être transformé en azote nitrique. La nitrification n'est possible que si l'azote est présent au départ sous forme ammoniacal.
- Les bactéries nitrifiantes sont classées en deux catégories :
 - Les **Nitrosomonas** qui oxydent l'ammoniac en nitrites ;
 - Les **Nitrobacter** qui oxydent les nitrites en nitrates.

La réaction globale simplifiée de la nitrification peut s'écrire de la façon suivante :



C) La dénitrification :

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

Cette réduction se fait par l'intermédiaire de bactéries anaérobies facultatives hétérotrophes qui en cas de carence du milieu en oxygène ont la propriété d'utiliser l'oxygène combine de certains composés chimique et notamment des nitrates réduits alors en azote gazeux.

La dénitrification s'exprime par différentes réaction que l'on peut schématiser comme suit :



Quatre paramètres essentiels influents sur la vitesse de dénitrification la température, l'oxygène dissous, pH et la source de carbone organique.

II.2.4.2.Élimination du phosphore :

L'élimination du phosphore, ou "dé phosphatation", peut être réalisée par des voies physico-chimiques où biologiques. La déphosphatation biologique consiste à provoquer l'accumulation du phosphore dans les cultures bactériennes des boues. Les mécanismes du dé phosphatation biologique sont relativement complexes, et leur rendement variable (en fonction notamment de la pollution carbonée et des nitrates présents dans les eaux usées). Dans les grosses installations d'épuration, ce procédé est souvent couplé à un dé phosphatation physico-chimique, pour atteindre les niveaux de rejets requis.

- **Déphosphoration physico-chimique :**

L'élimination du phosphore fait appel, dans la très grande majorité des procédés actuellement utilisés, à la précipitation chimique.

On considère généralement que le phosphore est essentiellement sous la forme (PO_4^{-3}). En réalité, la forme prédominante au pH normal de l'eau usée est $\text{H}(\text{PO}_4)^{2-}$

Le pH est donc un paramètre fondamental, qui gouverne les phénomènes d'insolubilisations du phosphore et donc son élimination par précipitation chimique.

L'adjonction de réactifs, comme des sels de fer ou d'aluminium, permet d'obtenir une précipitation de phosphates insoluble et leur élimination par décantation.

Ces techniques, éliminent entre 80 et 90%du phosphore, mais engendrent une importante production de boues.

- **Déphosphoration biologique :**

Le principe de la déphosphoration biologique repose sur l'aptitude de certains micro-organismes présents dans la station à ré-larguer leur réserves en phosphore lorsque les conditions de vie sont difficiles(le phosphore est alors évacué de la cellule) et à reconstituer des réserves au maximum lorsque les conditions redeviennent favorables, ces conditions défavorables puis favorables sont créées par l'établissement d'une zone anaérobie suivie d'une zone aérobie.

Le phosphore se retrouve finalement concentré dans les boues le rendement se situe entre 60 % 80 %.

Les différentes étapes de la déphosphotation biologique sont :

- a) **Dans la zone anaérobie :**

- Synthèse à partir de la pollution carbonée facilement utilisable de polymères qui seront dans les cellules
- Relargage de phosphore lié à la consommation de l'énergie stockée sous forme de polyphosphates pour la réaction précédente.

- b) **Dans la zone anoxie ou aérée :**

- Oxydation des polymères organiques avec production d'énergie stockée par la synthèse des polyphosphates [36].

➤ La désinfection des effluents

Ce traitement a pour objectif principal d'améliorer la qualité bactériologique de l'effluent épuré. Il existe différentes techniques (désinfection au chlore, au brome, par l'ozone, par rayonnement UV ou par lagunage).

➤ La filtration :

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide, qui contient des matières solides en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux. Les solides en suspension, ainsi retenus par le milieu poreux, s'y accumulent ; il faut donc nettoyer ce milieu de façon continue ou de façon intermittente.

La filtration, habituellement précédée des traitements de coagulation-floculation et de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et, indirectement, de certains goûts et odeurs [31].

II.2.5. Traitements complémentaires:

II.2.5.1. Élimination et traitement des odeurs :

La dépollution des eaux usées produit des odeurs, qui sont parfois perçues comme une gêne par les riverains des stations d'épuration. Les principales sources de mauvaises odeurs sont les boues et leur traitement, ainsi que les installations de prétraitement.

Le seuil de tolérance de ces nuisances olfactives est subjectif et aucune norme en matière d'émissions malodorantes n'existe. Cependant, les exploitants de stations d'épuration cherchent à limiter les odeurs dégagées par les traitements.

La conception des stations est le premier élément permettant de limiter l'émission d'odeurs dans le voisinage. Il faut, par exemple, veiller à réduire les surfaces d'échange entre l'air et les eaux usées.

Ainsi, les ouvrages les plus odorants sont souvent regroupés pour concentrer l'émission d'effluves nauséabonds. Leur couverture est aussi une manière d'atténuer les émissions malodorantes.

Des installations de désodorisation chimique ou biologique sont également mises en place, au sein des stations d'épuration. La désodorisation chimique est la technique la plus utilisée. Les gaz malodorants sont captés puis envoyés dans des tours de lavage, où un liquide désodorisant est pulvérisé. Ces lavages peuvent comporter de la soude, de l'acide et/ou de l'hypochlorite de sodium (eau de javel), réactifs qui captent ou neutralisent les mauvaises odeurs [30].

II.2.5.2. Caractérisation et traitement des boues.

II.2.5.3. Généralités sur les boues activées

Le procédé à boues 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 micro-organismes d'une eau usée se développent et s'agglomèrent en floccs. Au repos, ces derniers se séparent très bien de la phase liquide par

décantation. Le principe du procédé à boues activées consiste donc à provoquer le développement d'un floc

Bactérien dans un bassin alimenté en eau usée à traiter (bassin d'aération).

Afin d'éviter la décantation des floes dans ce bassin, un brassage vigoureux est nécessaire.

La prolifération des micro-organismes nécessite aussi une oxygénation suffisante [32.36].

II.2.5.4. Les objectifs de traitement des boues :

Le principal objectif du traitement des boues en station d'épuration est d'en réduire le volume pour limiter les quantités à stocker (voire à épandre), et de les stabiliser pour en améliorer les caractéristiques physiques (amélioration de leur tenue en tas) et arrêter la biodégradation dont elles sont le lieu. En effet, leur forte teneur en eau (99 %) et les fortes populations bactériennes qui s'y retrouvent en font un bouillon de culture favorable à la dégradation de la matière organique fraîche et très fermentescible qu'elles contiennent, avec production de mauvaises odeurs. Outre la teneur en éléments-traces (liée à la présence de matières minérales dissoutes ou insolubles), la siccité est un paramètre fondamental de la caractéristique des boues : elle s'exprime en tonnages de Matière Sèche (MS) [37].

II.2.5.5. Le traitement des boues

Les boues extraites des décanteurs ont une teneur en eau voisine de 85 % et sont fermentescibles. En fonction de leur destination, elles font l'objet d'un traitement et d'un conditionnement ayant comme objectif de réduire leur volume et de les stabiliser.

➤ **L'épaississeur :**

Est le passage obligé pour réduire à faible coût le volume des boues à traiter. Il agit comme un décanteur et réduit légèrement la teneur en eau.

➤ **La digestion**

La digestion est un procédé de stabilisation, elle se traduit par une dégradation de matières organiques volatiles. Elle vise les objectifs suivants :

- Réduire le volume et la masse de boues à un de limiter les couts d'évacuation,
- La Stabiliser la boue, c'est à dire la transformer de telle sorte qu'elle devienne très lentement biodégradable. Cette stabilisation doit se traduire concrètement par l'absence de nuisances et une destruction partielle de germes pathogènes,
- Produire une boue de bonne qualité.

➤ **Les lits de séchage**

Le principe du lit de séchage est d'épandre des boues liquides sur une grande surface avec un lit constitué de graviers et de sable, permet la réduction significative de la teneur en eau par utilisation d'énergie solaire thermique, Il se pratique soit à l'air libre soit en bâtiment fermé avec une ventilation mécanique. Cette technique présente des avantages puisque on utilise une source d'énergie renouvelable, ainsi que les boues séchées viens par cette technique peuvent être acceptée par divers filières de valorisation énergétique ou d'élimination [38].

➤ **Les types de boues :**

On distingue plusieurs types des boues qui sont reparties généralement selon leur origine et leur composition, et parmi ces types on trouve :

a. Les boues primaires :

Les boues primaires sont les dépôts récupérés par simple décantation des eaux usées. Elles sont à la fois riches en matières minérales (micro sables, terre, etc.) et contiennent des matières organiques susceptibles d'évolution. Elles présentent des concentrations élevées.

b. Les boues physico-chimiques :

On obtient les boues physico-chimiques, variante des boues primaires, par adjonction de réactifs (sels de fer, d'aluminium) pour agglomérer les fines particules dans les eaux usées.

c. Les boues biologiques :

Les boues biologiques (encore appelées boues secondaires) sont des boues issues du traitement biologique que ce soit en culture libre (boues activées) ou en culture fixée (lits bactériens, disques biologiques, etc.).

Elles sont donc constituées essentiellement de corps bactériens et de leurs sécrétions. Très organiques, elles présentent, à la sortie du système d'épuration des eaux, des concentrations médiocres (autour de 10g/l, soit une siccité de 1%).

d. Les boues mixtes :

Les boues mixtes sont constituées d'un mélange de boues secondaires et de boues primaires, elles sont issues de la quasi-totalité des filières de traitement complètes. Sur les stations importantes (quelques dizaines de milliers d'équivalents habitants au moins), on peut envisager des traitements séparés des deux types de boues [39].

II.2.5.6. Caractéristiques des boues :

- **Siccité d'une boue :**

La boue est constituée d'eau et de matières sèches (MS).

Le pourcentage en eau représente l'humidité.

Le pourcentage en matières sèches représente la Siccité.

BOUES = EAU + MATIERES SECHES 100% = HUMIDITE (%) + SICCITE (%)
--

- **Concentration en Matières Sèches (M.S) :**

Soit une boue à 20 g/l de M.S (c'est la concentration). On suppose, en général que 1 litre de boue pèse approximativement 1 Kg (1 000 grammes). Donc, 20 g de M.S sont contenus dans 1 litre de boue c'est-à-dire dans 1 000 g de boue.

En % on aura :

20g de MS/1000 de boue =2%

20 g/l de M.S correspondent à 2 % de Siccité

- **La Teneur en Matières Volatiles en Suspension : (M.V.S)**

Les matières sèches englobent des matières minérales (M. Min) et de matières organiques appelées aussi Matières Volatiles Sèches (MVS).

$$\text{MS} = \text{MVS} + \text{M. Min}$$

Généralement, on exprime la concentration des MVS en pourcentage par rapport aux MS, dans ce cas on parle de Taux de MVS.

Ce paramètre nous renseigne sur le degré de stabilité de la boue.

- **Notion de stabilité d'une boue :**

Une boue est dite stable lorsqu'elle est débarrassée de ses matières organiques (MVS). Donc, plus une boue est stable, moins elle contient de matières organiques.

En général, une boue issue du traitement primaire ou secondaire présente environ un taux de MVS entre 70% et 75%.

Les procédés de stabilisation assurent un abattement maximum de 45% du taux de MVS et produisent ainsi une boue dite « stable ».

Tableau N° II.1 Etat physique des boues [40].

ETAT	SICCITE (%)
Liquide	≤ 10%
Pâteux	12 % à 25%
Solide	25 % à 85%
Sec	>85%

Chapitre III

Présentation de la STEP de REGHAIA

III. Présentation du site d'étude :

La station d'épuration de REGHAIA a pour but d'épuration des effluents domestiques et industriels issue des différentes communes raccordées et différents activités industrielles, l'activité industrielle génère des effluents aqueux chargés en éléments métalliques toxiques à des concentrations variables, et rejetés quelquefois sans traitement. Ainsi, la pollution des eaux par les métaux lourds suscite actuellement une grande inquiétude quant à la qualité de l'eau et de l'environnement. Notre travail consiste à étudier la capacité de la STEP à éliminer la pollution carbonée, azotée, phosphatée ainsi que la capacité d'élimination des ETM aux niveaux des eaux traitées. Et évaluer leurs concentration dans les boues générées.

III.1. Implantation :

Se trouvant à l'est de la wilaya d'Alger, elle est implantée sur la route nationale 24 se trouvant à la sortie de la ville de REGHAIA en direction d'Ain taya. Elle est limitée au :

Nord : par le lac de REGHAIA et la mer méditerranée.

Sud : par la RN24, et la zone industrielle du côté sud-est.

Est : par la ville de REGHAIA.

Ouest : par la ville de Ain-taya et celle de Heuraoua.



Figure N° III.1: Vue générale de la station d'épuration de REGHAIA.

III.2. Données de base de la STEP à boue activée de REGHAIA :

III.2.1. la capacité de la population raccordée :

Avec une capacité de 400 000 équivalents par habitants (Eq/hab), la STEP à boues activées de REGHAIA assure l'assainissement des communes suivantes :

Tableau N°III.1 : Les communes raccordées à la STEP à boues activé de REGHAIA [29] :
la notice de la STEP DE REGHAIA

Commune	Nature du réseau	Nombre d'usagers (2014)
Rouiba	Unitaire	~9693
Reghaia	Unitaire	~13719
Heuraoua	Unitaire	~532
Bordj el kiffan	Unitaire	~18182
Bordj el bahri	Unitaire	~7773
Ain-taya	Unitaire	~7129
El marsa	Unitaire	~389

III.2.2. Le débit des eaux usées :

Tableau N°III.2 : Différentes variations de débits d'eaux usées reçues par la STEP à boues activées de REGHAIA [29]

Débit moyen journalier	80 000 m ³ /j
Débit moyen horaire	3 333 m ³ /h
Débit de pointe de temps sec	5 022 m ³ /h
Débit de pointe de temps de pluie	8 118 m ³ /h

III.2.3. La charge polluante :

Tableau N°III.3 : Les différentes charges polluantes reçues pas la STEP à boues activées de REGHAIA. [29]

	Eau brute Flux nominal journalier	Eau épurée Concentration sur échantillon moyen 24h Objectif de la STEP
MES	19 960 kg/l	20 mg/l
DBO ₅	15 800 kg/l	15 mg/l
DCO	28 560 kg/l	50 mg/l
NGL	1 960 kg/l	10 mg/l
Pt	540 kg/l	3 mg/l

III.3. Description et fonctionnement des ouvrages de la STEP à boues activées de REGHAIA :

Au niveau de la STEP de REGHAIA, le traitement porte sur deux filières, à savoir la filière eau et filière boues.

La station est équipée également d'un laboratoire de contrôle de la qualité de l'eau permettant d'évaluer les performances épuratoires de la STEP.

III.3.1. Filière eau :

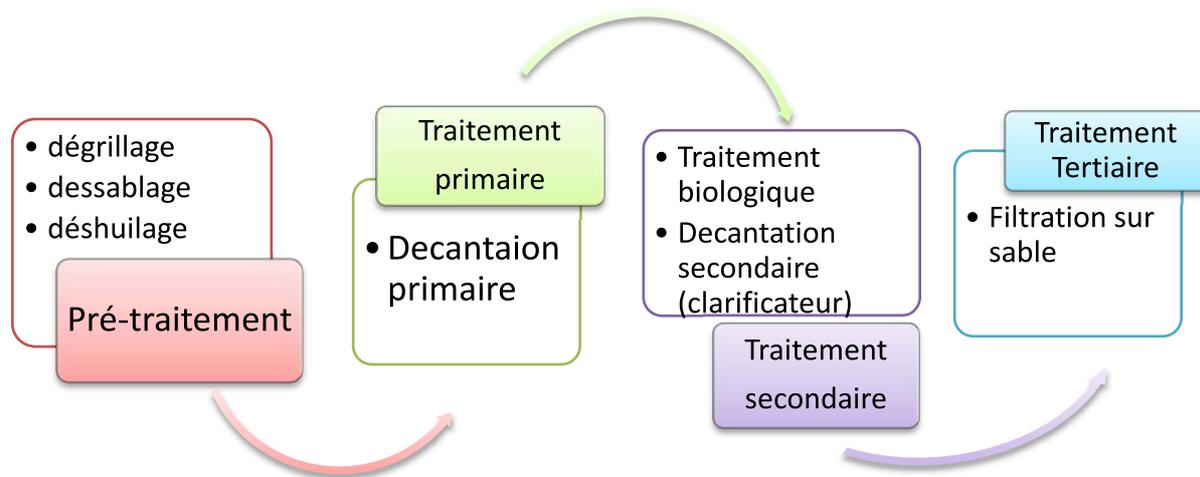


Figure N°III.2: Les étapes de traitement des eaux de la STEP.

III.3.1.1. Prétraitements :

A. Arrivée des eaux brutes et l'ouvrage de comptage :

Les eaux brutes sont acheminées du bassin d'arrivée vers le bassin de comptage pour quantifier le volume journalier. Un déversoir d'orage a été installé pour la réception des eaux qui dépassent le débit maximum toléré.

Dimensionnement :

Le canal venturi :

Débit maximum : 9360 m³/h

Nombre de canaux : 2

Hauteur maximum : 2,05 m

Longueur du canal : 17,4 m

Largeur du canal : 1,25 m

Hauteur d'eau max : 0,9 m

Bassin d'orage :

Volume : 4 000 m³

Pompe submersible : 2 x 180 m³/h

Agitateurs x 4



Figure N°III.3: Bassin d'orage.

B. Dégrillage :

La station dispose de deux dégrilleurs automatiques montés dans les canaux, chacun est composé d'une grille courbée en acier galvanisé à nettoyage automatique par un peigne rotatif diamétral. Un contacteur à flotteur monté en amont enclenche le nettoyage du champ de grille. En cas d'arrêt des dégrilleurs les eaux sont dirigées vers un dégrilleur manuel de secours à champ plat. Les refus sont envoyés vers une benne de stockage au moyen d'un tapis roulant.

Dimensionnement :**Dégrilleur automatique :**

- Profondeur : 1,5 m
- Largeur : 1 m
- Espace entre barreaux

Dégrilleur manuel :

- Profondeur : 1,9 m
- Largeur : 1 m
- Espace entre barreaux : 30 mm



Figure N°.III.4 : Dégrilleur automatique.



Figure N°.III.5 : Bande transporteuse

C. Dessaleur/Dégraiseur :

Afin de maintenir en suspension les matières organiques, les canaux sont brassés à l'air en continu par insufflation d'air à partir des suppresseurs. L'air est acheminé par des tuyauteries alimentant des nourrices installées au fond des bassins.

Dans le dernier tiers en aval, chaque canal est équipé de trois aérateurs mécaniques immergés produisant des microbulles d'air particulièrement favorables à la flottation des graisses. Ces derniers sont poussés par des racleurs vers une goulotte de récupération, puis dans une fosse de stockage.

Le sable décante dans la partie inférieure des canaux. Le mélange eau / sable est relevé au moyen d'air lifts et envoyés vers une goulotte. L'extraction du sable se fait soit par une vis d'Archimède soit par un classificateur à sable.

Dimensionnement :

Nombre de canaux : 3

Largeur : 4 m

Longueur : 28 m

Profondeur : 3.6 m

Suppresseurs d'air : 3 x 540 m³/h pour une pression de 0.3 bar (2+1 de secours)

Air lift : 3 x 55 m³/h

Charge hydraulique au débit moyen 24 h : 9.9 m³/m²/h

Temps de séjour au débit moyen 24h : 12 m



Figure N°.III.6 : Désableur/Dégraisseur.

III.3.1.2. Traitement primaire (décantations primaire):

A la sortie de l'ouvrage de dessablage-dégraissage, les effluents prétraités sont dirigés vers deux décanteurs primaires, l'alimentation du décanteur circulaire se fait en partie centrale. Une jupe de répartition assure une équin-répartition du volume sur l'ensemble de surface. Elle consiste à éliminer la matière en suspension qui décante au fond du bassin, constituant les boues primaires. Ces dernières sont récupérées ensuite par raclage du fond du bassin puis acheminées vers la filière boues par deux pompes d'une capacité de 150 m³/h.

Cette étape assure un rendement d'élimination de 60% en MES, 30% en DCO et DBO et 12% de phosphates.

Dimensionnement :

Nombre de décanteurs : 2

Diamètre des décanteurs : 42 m

Hauteur cylindrique : 2.6 m

Surface unitaire : 1385 m²

Volume unitaire : 4259 m³

Vitesse ascensionnelle au débit moyen : 1.20 m/h

Temps de séjour au débit moyen : 2.56 h

Extraction des boues primaires : 2 pompes de 150 m³/h, dont une en secours



Figure N°.III.7 : Décanteur primaire.

III.3.1.3. Traitement secondaire :

Le traitement secondaire comprend deux phases: le traitement biologique et la clarification qui permettent l'élimination de la matière dissoute dans l'eau (minérale et organique) et le dégazage de l'azote.

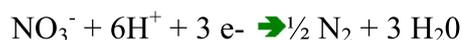
III.3.1.3.1. Nitrification-Dénitrification :

La STEP possède un bassin dite 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 : $\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$

2) La dénitrification est un processus dans lequel des bactéries hétérotrophes réduisent l'azote nitrique en azotes gazeux et cela en phase d'anoxie.



Fonctionnement :

Une pompe de recirculation interne à hélices permet de réintroduire la plus grande part des nitrates qui sont produits dans le bassin biologique lors des phases d'aération vers le bassin d'anoxie favorisant ainsi la dénitrification.

Pour traiter la charge azotée, la liqueur mixte doit être recirculée de 200% à 400 % vers le bassin d'anoxie directement à partir du bassin d'aération. Un agitateur fonctionne en continu pour éviter tout dépôt de boues dans le fond du bassin.

Dimensionnement :

Volume du bassin d'anoxie : $2 \times 4445 \text{ m}^3$

Pompe de recirculation interne $2 \times 1667 \text{ m}^3/\text{h}$

Agitateur submersible de la zone d'anoxie : Vitesse du moteur 1500 tr/mn

Vitesse de l'hélice 244 tr/mn

Puissance de l'agitateur : 10 kW



Figure N°.III.8 : Bassin d'anoxie.

III.3.1.3.2. Dé phosphatation 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...).

Dimensionnement :

- 03 pompes doseuses d'un débit de 350 l/h dont une de secours
- 01 pompe de transfert d'un débit de 10 m³/h (remplissage de la cuve de stockage)
- Cuve de stockage d'une capacité de 25 m³.
- Bassin de rétention de la cuve de stockage du FeCl₃ 5 m x 5 m x 1,2 m



Figure N°.III.9 : Cuve de stockage du FeCl₃.

III.3.1.4. Clarificateur:

Le clarificateur est un ouvrage circulaire de base cylindro-conique, il assure la séparation de phases boues / eau traitées après le traitement biologique d'une part et la concentration des boues en vue de leur recirculation / extraction d'autre part. Les eaux clarifiées sont reprises dans une double goulotte en partie supérieure pour être rejetées dans le milieu récepteur ou envoyées vers les filtres à sable pour le traitement tertiaire.

Dimensionnement :

- Volume unitaire approximatif : 9200 m³
- Hauteur d'eau à 9.7 m de la périphérie : 3.8 m
- Diamètre de la jupe de tranquillisation : 9.2 m
- Longueur totale de débordement par ouvrage : 346 m
- Débit de surverse au débit de pointe sur les 3 clarificateurs : 5.1 m³/h
- Vitesse ascensionnelle : 1.05 m/h avec un décanteur à l'arrêt
- Diamètre des décanteurs : 58 m

- Surface unitaire : 2640 m²
- Extraction des boues secondaires : 2 pompes de 100 m³/h,
- Recirculation des boues secondaires : 3 pompes de 2222 m³/h dont une munie d'un variateur
- Débitmètres électromagnétiques sur les canalisations des boues extraites et boues recirculées



Figure N°.III.10 : Clarificateur.

III.3.1.5 Traitement tertiaire (filtration sur sable) :

Les eaux traitées biologiquement et ayant subi la décantation secondaire subissent une filtration sur sable afin de réduire la contamination microbologique et notamment les œufs d'Helminthes. L'admission de l'eau sur chaque filtre se fera par l'intermédiaire d'une vanne murale de dimensions **500 X 500 mm** à commande électrique. Après le passage de la vanne, l'eau se déversera dans les filtres. Les déversoirs ont pour but d'assurer une répartition régulière sur chaque filtre. Les filtres sont de type WABAG.

Dimensionnement :

Nombre d'unité (Filtre) = 6

Chaque filtre a les dimensions suivantes :

Longueur = 13 m

Largeur = 6,5 m

Vitesse maximale de filtration = 10 m/h

Les buses : largeur de fente 0,4 mm

Hauteur du matériel filtrant = 1,5 m

Hauteur de l'eau au dessus du filtre = 2 m

Quatre Pompe de relevage des eaux épurées d'un débit de 1850 m³/h dont une munie d'un variateur

Granulométrie de 0,95 mm



Figure N°.III.11 : Filtre plein pendant le fonctionnement.



Figure N°.III.12 : Filtre vide et à l'arrêt.

III.3.2. Filière boues :

Le traitement de la boue passe par les étapes suivantes :

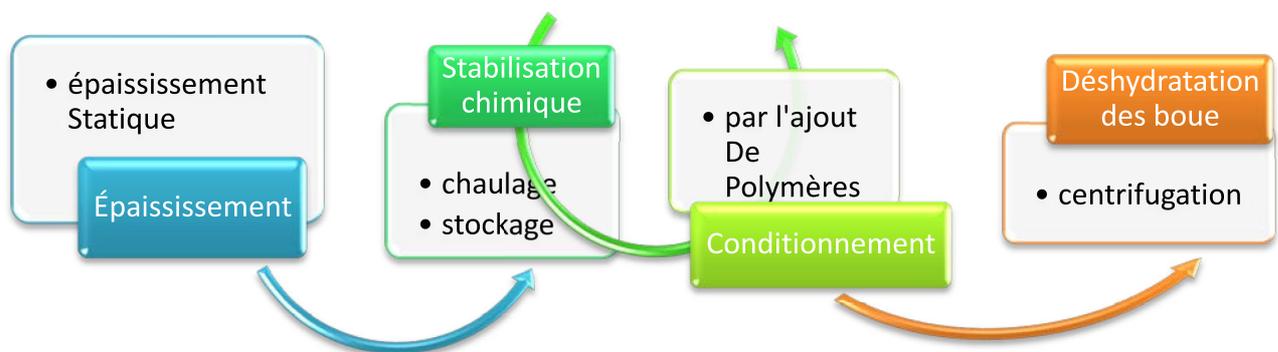


Figure N°.III.13 : Les étapes de traitement des boues.

III.3.2.1. Épaissement des boues :

L'épaissement consiste à réduire le volume de boues et l'augmentation de leur concentration par gravité. Les boues alimentent l'ouvrage au centre et se précipitent au fond de l'ouvrage sous l'effet de la gravité, tandis que le surnageant récupéré au niveau de la goutte rejoint le poste toutes eaux (récupéré les eaux et pomper vers la tête de la station). Il existe deux (02) épaisseuriers de forme circulaire.

Pour les boues primaires, il faut alimenter l'épaisseurier fermé à une concentration la plus faible possible et en continu. La limite maximale de concentration ne doit pas dépasser 5 g/L car elles sont très fermentescibles et peuvent commencer à fermenter dans le décanteur primaire.

L'épaississeur ouvert dédié aux boues biologiques est alimenté régulièrement à l'aide d'une matrice horaire paramétrée via la supervision. Les boues épaissies au fond de l'ouvrage sont menées vers les bassins de stockage.

Dimensionnement :

- Diamètre intérieur = 18 m
- Hauteur d'eaux cylindrique = 3.5 m
- Pente du radier : 15%
- Diamètre d'alimentation centrale : 1.4 m
- Surface utile d'un épaississeur : 216 m²
- Volume = 1000 m³
- Deux pompes de boues épaissies de 28 m³/h chacune
- 02 débitmètres électromagnétiques pour comptage des boues épaissies (primaires et secondaires).



Figure N°.III.14 : Épaississeur.

III.3.2.2. Stabilisation chimique des boues (chaulage) :

Le chaulage consiste à amener et maintenir un pH supérieur à 12. Le pouvoir fermentescible de la boue peut être diminué, au moins temporairement par l'adjonction de la chaux. Cette opération permet une inactivation des germes pathogènes. Le lait de chaux est transporté vers les jupes de tranquillisation des deux épaississeurs par deux conduites en polyéthylène haute densité (PEHD). Trois pompes doseuses dont une de secours assurent le dosage voulu. L'injection du lait de chaux dans les centrifugeuses est possible, selon le choix de l'opérateur. Cette opération est assurée par quatre pompes doseuses.



Figure N°.III.15 : Silo à chaux épaississeurs.

La station de préparation et du dosage de la chaux est constituée de :

un silo à chaux de volume de 80 m^3 , à fond conique de 60°C et 3m de diamètre, équipé d'une vis de dosage de chaux, un convoyeur de chaux, un détecteur anti bourrage et un injecteur de chaux dans la cuve de préparation Bac de préparation d'une capacité de 3m^3 avec un agitateur mélangeur, une électrovanne d'eau, un contrôleur de niveau et un débitmètre. 03 pompes de dosages d'un débit max de 300 L/h , chaque pompe est munie d'un variateur de fréquence. 04 pompes de dosage d'un débit variant entre 100 et 700 L/h (injection dans les 4 centrifugeuses).

III.3.2.3. Bâche de stockage des boues :

Les bâches de stockage comportent les sondes de mesures de niveau des deux bâches permettant ainsi l'arrêt des pompes des boues épaissies une fois que le seuil prédéfini via la supervision est atteint.

Dimensionnement :

Quantité des bâches : 02

Longueur d'une bâche : 9.3 m

Largeur d'une bâche : 9.3 m

Profondeur : 5.1 m

Volume d'une bâche : 441 m^3

Un agitateur par bâche : 434 tr/min

Une mesure de niveaux par bâche

Trois pompes d'alimentation des bâches de stockage $23.2 \text{ m}^3/\text{h}$

Quatre pompes d'extraction de boues des bâches de stockage vers les centrifugeuses de 15 à $50 \text{ m}^3/\text{h}$



Figure N°.III.16 : Bâche de stockage de boues.

III.3.2.4. Conditionnement par l'ajout de polymère :

Afin de rendre possible la déshydratation des boues, l'ajout du polymère est indispensable pour leur floculation à l'intérieur des centrifugeuses. Le dispositif de préparation est constitué de trois cuves dont la première sert à dissoudre le polymère, la deuxième dite « cuve de maturation » dans laquelle le produit doit être agité sans cesse pour parfaire sa dissolution ensuite le stockage dans une troisième cuve appelée « cuve de soutirage » avec :

-un bac de préparation du polymère en poudre de 5 m^3 .

- 04 pompes d'injection de polymère dans les centrifugeuses de débit max de 1500 L/h .



Figure N°III. 17 : Bac de préparation du polymère.

III.3.2.5. Déshydratation des boues par centrifugation :

La centrifugation des boues se base sur la différence de densité entre les matières sèches et l'eau qu'elles contiennent. La boue arrive à la machine avec une certaine vitesse horizontale. La partie liquide traverse alors toute la centrifugeuse dans sa zone la plus centrale tandis que les matières solides restent plaquées contre le bol extérieur sous la force de sa vitesse de rotation.

La vis intérieure tourne dans le même sens que le bol mais à une vitesse plus importante pour récupérer les boues et les évacuer en sens inverse de l'eau jusqu'à la deuxième sortie de la machine.



Figure N°III.18 : Benne à évacuation des boues déshydratées.

III.4.Laboratoire d'analyses :

Le laboratoire est spécialiste de l'analyse de l'eau tout au long de son cycle d'un point de vue microbiologique et physico-chimique. Son domaine d'expertise commence par l'analyse de l'eau brute, se termine par l'analyse de l'eau de rejet de station d'épuration(eau épurée) en passant par l'analyse dans les réseaux d'eau de distribution, Celui-ci joue un rôle essentiel dans le maintien de la qualité de l'eau distribuée. Laboratoire d'analyse de La station d'épuration de REGHAIA contient des équipements modernes pour l'analyse de l'eau.

Chapitre IV

Analyse statistique des données par L'ACP

IV.1.Introduction :

Les méthodes d'analyse des 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.

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.

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 :

$$X_i = \{X_{ij} / j = 1 \text{ à } P\}$$

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.

❖ 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 :

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

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

IV.3.2. Définition algébrique :

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

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

Définissons les paramètres statistiques des variables :

- **Moyenne**

$$\bar{X}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{ij}$$

\bar{X}_j : moyenne de la j^{ième} variable

- **Variance**

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

Var j : variance de la j^{ième} variable

σ_{X_j} : Écart type de la j^{ième} variable

- **Covariance**

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

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

- **Corrélation**

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

$$\text{Cor}(X_j, X_k) = \frac{\text{Cov}(X_j, X_k)}{S_j * S_k} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j) * (X_{ik} - \bar{X}_k)}{\left[\sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 * \sum_{i=1}^N (X_{ik} - \bar{X}_k)^2 \right]^{1/2}}$$

➤ Le tableau [X] de départ est remplacé par un tableau [Y] (individus x nouvelles variables) en réduisant le nombre de variables nécessaires pour décrire les individus, avec une perte minimale d'informations. Ces nouvelles variables sont appelées **Composantes Principales** ou (CP).

➤ Calculer les composantes principales notées C_j revient à déterminer P relations linéaires entre les variables X_j :

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 = a_{10} + a_{11}X_1 + \dots + a_{1j}X_j + \dots + a_{1N}X_N \\ C_2 = a_{20} + a_{21}X_1 + \dots + a_{2j}X_j + \dots + a_{2N}X_N \\ \dots \dots \dots \\ C_j = a_{j0} + a_{j1}X_1 + \dots + a_{jj}X_j + \dots + a_{jN}X_N \\ \dots \dots \dots \\ C_N = a_{N0} + a_{N1}X_1 + \dots + a_{Nj}X_j + \dots + a_{NN}X_N \end{array} \right.$$

C_j : $j^{\text{ème}}$ Composante Principale

X_j : Vecteur variable initiale

a_{jk} : Coefficient du système

Notons au passage que les termes a_{j0} désignent le vecteur permettant la translation de l'origine de l'ancien repère vers le centre de gravité du nuage de points. Un centrage des données initiales annule les coefficients a_{j0} .

IV.3.3. Définition géométrique :

L'Analyse en Composantes Principales est puissante par son support géométrique :

la méthode consiste à rechercher un premier axe qui soit le plus près possible de tous les points au sens des moindres carrés : tel que la somme des moindres carrés des distances des N points à cet axe soit minimale, ou encore la projection de ces derniers sur cet axe ait une dispersion maximale. Cet axe est appelé « axe factoriel ».

Un second axe est obtenu après projection des N points sur un hyperplan orthogonal au premier axe, tel que la dispersion des projections des N points sur celui-ci soit toujours maximale, et le processus se réitère P fois.

On obtient ainsi un nouveau système d'axes défini par les nouvelles variables dites composantes principales.

IV.4. Formulation mathématique du problème :

La recherche des composantes principales est faite sous deux contraintes :

- ❖ Elles doivent être indépendantes, c'est-à-dire, prise deux à deux, elles présentent obligatoirement des corrélations nulles.
- ❖ Les axes factoriels doivent être déterminés par ordre d'importance décroissante. Le premier axe expliquera le maximum de la variance totale tandis que le second expliquera le maximum de la variance résiduelle non expliquée par le premier, jusqu'au dernier axe. Mais l'expérience a montré qu'un nombre Q d'axes nettement inférieur à P suffit pour donner le maximum d'informations.

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.

On écrira alors pour tout individu i :

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

Avec :

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

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

C_{ik} : Coefficients des composantes principales

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

$$I_w = \sum_{i=1}^N P_i d^2(\vec{X}_i, \vec{C}_i)$$

$d(\vec{X}_i, \vec{C}_i)$: 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 :

$$\text{Pour tout vecteur } \vec{A} \text{ de } \mathbb{R}^p : \quad I_{WA} \geq I_{WG}$$

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

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

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 :

$$\vec{OX}_i - \vec{OG} = \vec{OX}_i + \vec{GO} = \vec{GO} + \vec{OX}_i = \vec{GX}_i = \vec{Y}_i$$

Si C_i est la projection de X_i sur W_G et C_i' la projection de Y_i sur W_0 alors :

$$C_i' = C_i - G$$

$$\vec{C}_i' = \vec{C}_i - \vec{OG}$$

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 ,

$$Y_i = X_i, G=0 \text{ et } W=W_G=W_0$$

IV.4.2. Formulation matricielle :

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

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 :

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

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 \mathbb{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.

$$[M] = D_{\frac{1}{\sigma}}^2$$

$$D_{\frac{1}{\sigma}} = \begin{vmatrix} \frac{1}{\sigma_1} & 0 & & & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_2} & 0 & & \\ & 0 & \cdot & & \\ & & 0 & \frac{1}{\sigma_1} & 0 \\ & & & \cdot & \\ & & & \cdot & 0 \\ 0 & & & 0 & \frac{1}{\sigma_p} \end{vmatrix}$$

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.

❖ 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.

$$\begin{cases} \text{MaxVar}(C_1) \\ V_1^t \cdot [M] \cdot V_1 = 1 \end{cases}$$

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

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

$$\text{Var}(C_1) = V_1^t \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_1$$

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

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

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 vecteur V_1 le vecteur propre associé à la plus grande valeur propre λ_1 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 :

$$\text{Var}(C_2) = V_2^t \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_2$$

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

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

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 :

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

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

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 :

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

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 $i^{\text{ème}}$ composante principale C_i .

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

- ✓ Nous appelons $i^{\text{ème}}$ vecteur principal : le vecteur propre unitaire V_i de la matrice $[R] \cdot [M]$ associée, qui fournit les coefficients qui pondèrent les variables initiales pour le calcul des composantes principales.
- ✓ Nous appelons $i^{\text{ème}}$ axe principal, la droite engendrée par le $i^{\text{ème}}$ 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.

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

$[X]$: 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 :

- 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.

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

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 :

$$\text{COV}(Y_j, C_i) = \text{COV}\left(\frac{X_j}{S_j}, C_i\right) = \text{Cor}(X_j, C_i)$$

C_1 : Composante principale normée.

S_j : Écart type de la $j^{\text{ème}}$ 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.

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.

Nous distinguons deux aspects principaux de l'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.
- Prévission.
- 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.

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 :

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

Avec : X : Variable initiale.

σ_{X_j} : Écart type de la variable initiale.

Y_j : Variable transformée (réduite).

IV.5.1.3. Variable 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).

$$Y_j = X_j - \overline{X_j} \quad \Rightarrow \quad \overline{Y_j} = 0$$

$$Y_k = X_k - \overline{X_k} \quad \Rightarrow \quad \overline{Y_k} = 0$$

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 (IV-31) et (IV-32), 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.

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

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

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

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

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

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

Donc :

$$\begin{aligned}
 \text{Cov}(Y_j, Y_k) &= \text{Cor}(X_j, X_k) \\
 \text{Cov}(Z_j, Z_k) &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z_{ij} - \bar{Z}_j) * (Z_{ik} - \bar{Z}_k) \\
 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_{ij} * Z_{ik} \\
 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{\sigma_{X_j}} \right) * \left(\frac{X_{ik} - \bar{X}_k}{\sigma_{X_k}} \right) \\
 &= \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j) * (X_{ik} - \bar{X}_k)}{\sigma_{X_j} * \sigma_{X_k}} \\
 &= \frac{\text{Cov}(X_j, X_k)}{\sigma_{X_j} * \sigma_{X_k}} \\
 &= \text{Cor}(X_j, X_k)
 \end{aligned}$$

Donc :

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

D'où :

$$\text{Cov}(Y_j, Y_k) = \text{Cov}(Z_j, Z_k) = \text{Cor}(X_j, X_k)$$

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.

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 ?

IV.7. Applications et interprétations des résultats :

Plusieurs variantes sont testées par l'analyse en composantes principales par le Logiciel XLSTAT sous EXCEL, afin de pécher l'information du tableau des données (tableau des analyses) de la station d'épuration de RÉGHAIA (515 observations (jours)) de l'année 2014 jusqu'à l'année 2019.

Dans ces applications on s'est intéressé au paramètre de la pollution DBO_5 de l'eau épurée (DBO_{5ee}) à la sortie de bassin d'aération.

➤ Variante 1 :

Tableau N°IV.7.1 : les caractéristiques statistiques des données.

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type
Volume relevé (m3/j)	68	0	68	29346,000	113182,000	63734,412	19485,232
DBO_{5ee}	68	0	68	2,000	80,000	18,912	15,879
DBO_{5eb}	68	0	68	80,000	660,000	282,294	109,386
DCO_{eb}	68	0	68	218,000	1229,000	480,735	187,368
MES_{eb}	68	0	68	106,000	662,000	249,059	127,429
Ph_{eb}	68	0	68	7,030	8,550	7,755	0,299

Le tableau ci-dessus présente les caractéristiques statistiques des données observées sur une série de 68 valeurs (année 2018), d'où on remarque une concentration maximale importante de la DBO_5 et celle de la DCO à l'entrée de la STEP (**660 mg/l et 1229 mg/l**).

Matrice de corrélation (Pearson (n)) :

Tableau N° IV.7.2 : Matrice de corrélation des données.

Variables	Volume relevé (m3/j)	DBO_{5ee}	DBO_{5eb}	DCO_{eb}	MES_{eb}	Ph_{eb}
Volume relevé (m3/j)	1	0,333	-0,066	-0,132	-0,214	0,043
DBO_{5ee}	0,333	1	0,460	0,167	-0,055	0,118
DBO_{5eb}	-0,066	0,460	1	0,697	0,398	-0,273
DCO_{eb}	-0,132	0,167	0,697	1	0,624	-0,511
MES_{eb}	-0,214	-0,055	0,398	0,624	1	-0,214
Ph_{eb}	0,043	0,118	-0,273	-0,511	-0,214	1

La matrice de corrélation c'est une matrice diagonale et nous donne une première idée des associations entre les différentes variables (tableau N°IV.7.1), elle indique des valeurs minimales égales à -0,055 pour une corrélation négative, 0,043 pour une corrélation positive, il convient d'affirmer qu'une valeur positive indique une relation fonctionnelle croissante entre deux variables et inversement lorsque cette valeur est négative. La meilleure corrélation est observée entre DCO_{eb} et DBO_{5eb} , avec une valeur de 0,697.

Pour ce faire, on procède à l'opération analytique des axes, ou uniquement les axes présentant les valeurs les plus élevées des valeurs propres et des taux de variances les plus élevées seront retenus. Le tableau N°IV.7.2 représente les six premiers axes accompagnés de leurs valeurs propres et taux de variance, ainsi le graphe représentatif des axes.

Tableau N°IV.7.3 : Variance totale expliquée par les valeurs propres.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valeur propre	2,475	1,486	0,908	0,649	0,292	0,189
Variabilité(%)	41,256	24,775	15,125	10,824	4,871	3,149
% cumulé	41,256	66,031	81,156	91,980	96,851	100,000



Figure N° IV.7.1: Représentation graphique des axes valeurs propres.

Le premier axe F1 correspond à la valeur propre maximale 2,475 et ainsi de suite pour les autres axes F2 et F3.

L'analyse des données par l'ACP des six variables a donnée 41,2% de l'information sur l'axe F1 et 24,77 sur F2 et 15,1 sur F3 avec un totale acceptable de l'information de 81,15% (tableau N°2).

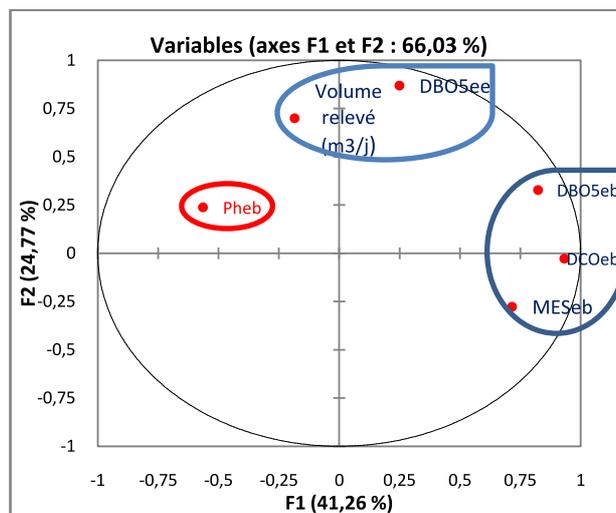


Figure N° IV.7.2 : Cercle de corrélation sur le plan F1 et F2

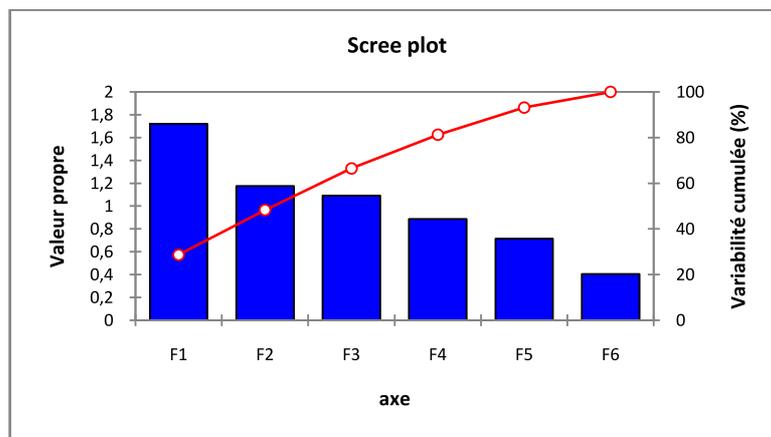
Cercle de corrélation:

Le cercle de corrélation ci-dessous montre une corrélation positive entre (DBO_{5eb} , DCO_{eb} et MES_{eb}) et ces variables sont liées entre elles .

- Une corrélation faible entre la DBO_{5eb} et les MES_{eb} .
- La DBO_{5eb} , DCO_{eb} et MES_{eb} sont corrélés positivement avec l'axe F1.
- Le Ph_{eb} n'a pas d'influence sur la variation des paramètres(DBO_5), et cette indépendance est due à la faible variation de Ph des eaux usées prévenant à la station.
- le Ph est négativement corrélé avec l'axe F1.
- La DBO_{5ee} et le débit des eaux usées sont liés entre eux.
- L'axe F1 est tracé principalement pour Ph_{eb} , DBO_{5eb} , DCO_{eb} et MES_{eb} par contre l'axe F2 est tracé principalement par DBO_{5ee} et le débit épurée.

➤ Variante 2 :**Tableau N° IV.7.3 :** les caractéristiques statistiques des données.

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type
DBO_{5ee}	319	0	319	1,000	80,000	11,564	11,605
DBO_{5eb}	319	0	319	70,000	960,000	244,875	99,632
NT_{eb}	319	0	319	0,000	43140,000	192,436	2412,472
NT_{ee}	319	0	319	0,000	177,800	26,730	16,244
$N-NO_3^{-}$ _{3eb}	319	0	319	0,000	20,900	1,192	1,549
DCO_{eb}	319	0	319	85,000	1275,000	464,266	179,259

**Figure N° IV.7.3 :** Représentation graphique des axes valeurs propres.

-Les trois axes expliquent 66,51% de l'information contenue dans une série de données d'individus et six variables.

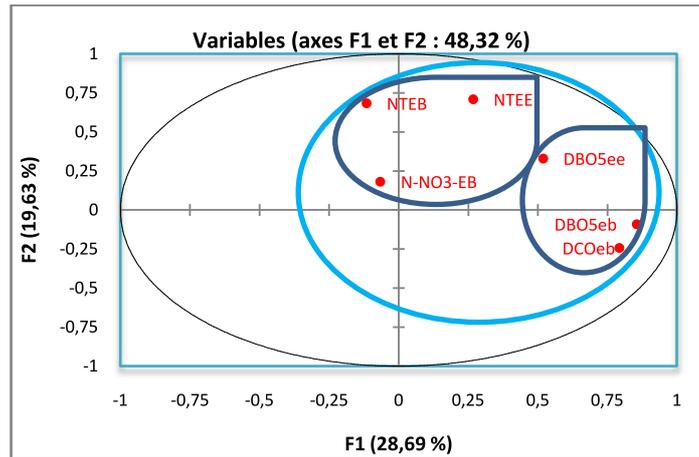


Figure N°IV.7.4 : Cercle de corrélation sur le plan F₁ et F₂

On remarque deux regroupements, un montre une liaison importante entre (DBO₅ee, DCO_{eb}, DBO₅eb) et l'autre entre (NT_{eb}, NT_{ee}, N-NO₃) et une dépendance moyenne entre les deux regroupements. La disposition de NT_{ee} par rapport à la DBO₅ee explique une corrélation positive entre les deux variables (types des bactéries).

➤ **Variant 3 :**

Tableau N°IV.7.4 : les caractéristiques statistiques des données

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
DBO ₅ eb	509	0	509	40,000	960,000	251,000	101,567
DCO _{eb}	509	0	509	85,000	1427,000	490,941	195,949
MES _{eb}	509	0	509	54,000	1360,000	261,110	132,362
COND _{eb}	509	0	509	627,000	5600,000	1789,466	352,565
DBO ₅ ee	509	0	509	1,000	82,000	14,014	13,903

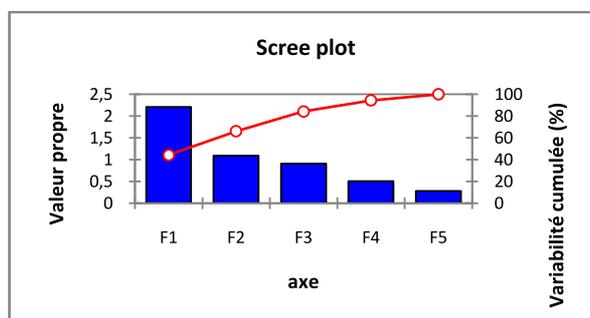


Figure N°IV.7.5 : Représentation graphique des axes valeurs propres.

-Les trois axes expliquent 84,33% de l'information contenue dans une série de données d'individus et cinq variables.

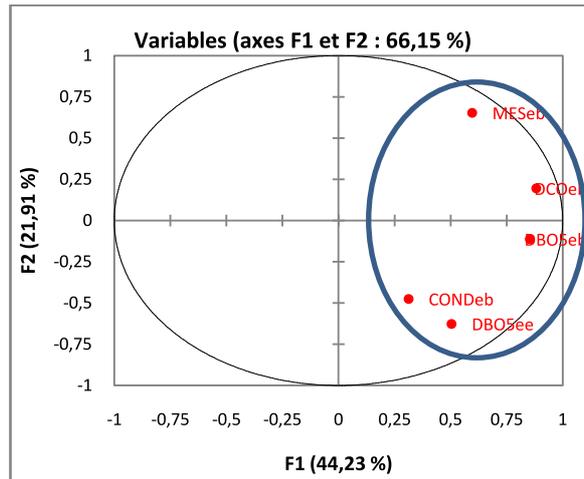


Figure N°IV.7.6 : Cercle de corrélation sur le plan F₁ et F₂

L'analyse de cercle de corrélation ci-dessus montre un regroupement des variables simulées par L'ACP qui explique l'intervention de ces derniers dans la dégradation de la DBO₅ avec un degré d'importance différent.

➤ **Variant 4 :**

Tableau N°IV.7.5 : les caractéristiques statistiques des données

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type
DBO _{5eb}	510	0	510	40,000	960,000	250,939	101,477
DCO _{eb}	510	0	510	85,000	1427,000	490,641	195,873
MES _{eb}	510	0	510	54,000	1360,000	260,715	132,532
COND _{eb}	510	0	510	627,000	5600,000	1790,114	352,522
DBO _{5ed}	510	0	510	40,000	620,000	205,802	99,696
DBO _{5ee}	510	0	510	1,000	82,000	14,120	14,093
DCO _{ed}	510	0	510	26,200	1724,000	408,634	216,200



Figure N° IV.7.7: Représentation graphique des axes valeurs propres.

La simulation par l'analyse en composantes principales pour les sept variables de tableau (n° IV.4) a donné une explication des phénomènes de dégradation par 72,216% de l'information contenue dans le tableau des données de 510 observations (individu).

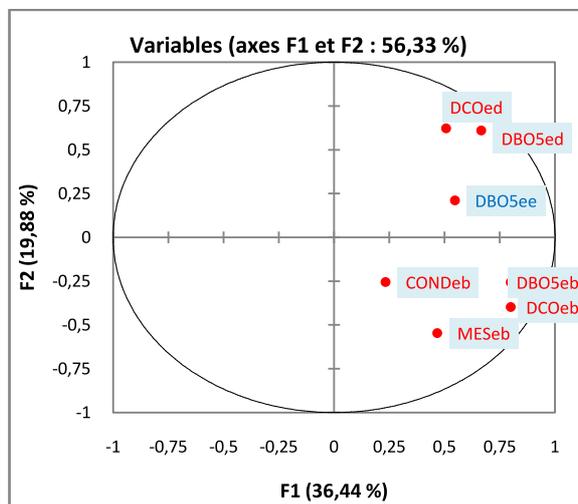


Figure N° IV.7.8 : Cercle de corrélation sur le plan F_1 et F_2 .

La figure de la cercle de corrélation montre que la DBO_{5ee} est entouré par les différents variables de simulation ce qui explique le de ces derniers sur la dégradation de la pollution organique dans le bassin d'aération.

Sur la même figure on peut constater que une partie importante de la pollution qui été éliminé dans le bassin de décantation (DBO_{5ee} proche aux DBO_{5ed} et DCO_{ed}).

➤ Variant 5 :

Tableau N° IV.7.6 : les caractéristiques statistiques des données.

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type
DBO_{5eb}	509	0	509	40,000	960,000	251,000	101,567
DCO_{eb}	509	0	509	85,000	1427,000	490,941	195,949
MES_{eb}	509	0	509	54,000	1360,000	261,110	132,362
$COND_{eb}$	509	0	509	627,000	5600,000	1789,466	352,565
DBO_{5ee}	509	0	509	1,000	82,000	14,014	13,903
$T(c^{\circ})_{eb}$	509	0	509	1,700	26,500	13,934	4,435

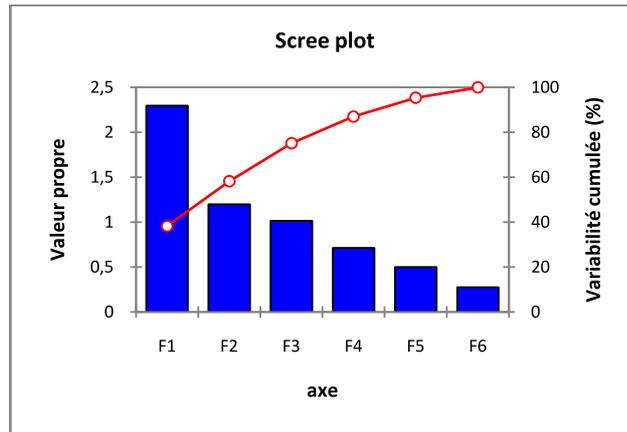


Figure N°IV.7.9 : Représentation graphique des axes valeurs propres.

-Les trois axes expliquent 75,17 % de l'information contenue dans une série de données d'individus et six variables.

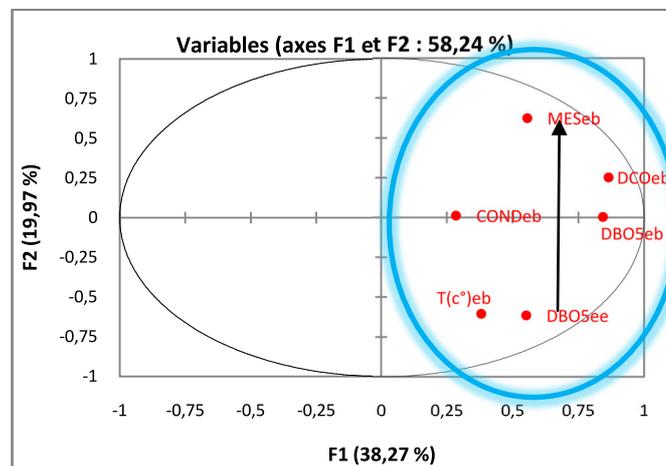


Figure N° IV.7.10: Cercle de corrélation sur le plan F_1 et F_2

La représentation des variables brute par simulation avec L'ACP donne une répartition moyennement uniforme proche de la DBO_{5ee} .

L'éloignement des MES_{eb} peut être expliqué par la présence des grandes parties de matières en suspension non biodégradables de l'effluent qui entre à la station d'épuration.

Chapitre V

Résultats et Interprétation

Méthode D'analyse et matériels : (voire annexe1).

V.1.Partie eaux :

Les résultats des analyses physico-chimiques concernant le pH, la température, la conductivité et les MES sont données dans le tableau N°V.1.

Tableau N°V.1 : Les résultats des analyses physico-chimiques de la période allant du mois de février au d'avril 2019 (voire l'annexe n°2).

V. 1.analyses physico-chimiques :

V.1.1. Variation de pH :

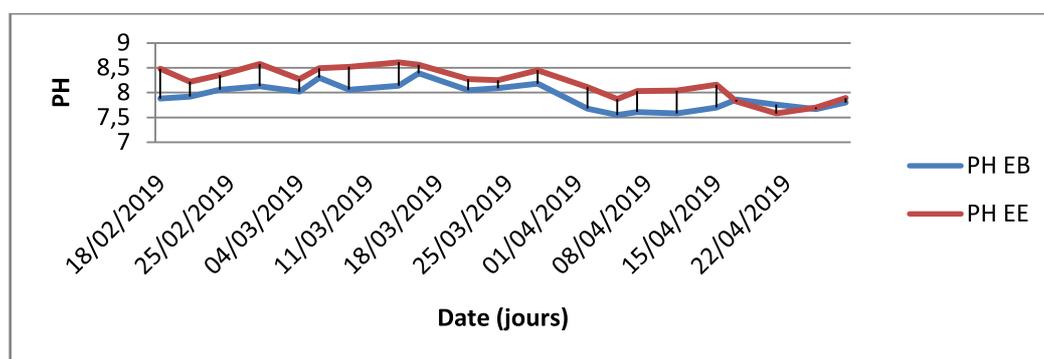


Figure N°V.1.1 : La variation du pH en fonction du temps.

La figure N° V 1.1 illustre la variation du pH en fonction du temps (exprimé en jours) pour l'eau brute et épurées traité durant le mois de février au mois d'avril 2019.

D'après cette figure, on remarque que les valeurs pH sont comprises entre 7,7 et 8,39 pour les eaux brutes, pour les eaux épurées les valeurs comprises entre 7,58 et 8,61 elles sont conformes aux normes préconisées par l'OMS.

Toute fois on peut signaler que 4 valeurs ont dépassé légèrement la norme (8,61 ; 8,58 ; 8,56 ; 8,52).

V.1. 2. La température :

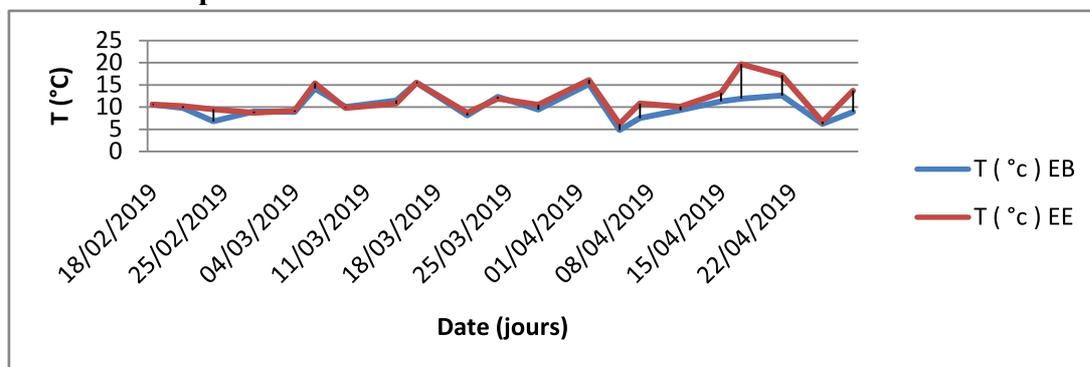


Figure N°V.1.2 : La variation de la température en fonction du temps.

Il est indispensable de connaître la température exacte de l'eau, car c'est un facteur important dans la vie d'un cours d'eau. Un changement de la température affecte les diverses propriétés de l'eau (joue un rôle dans la conductivité électrique et dans la variation du pH).

La température joue aussi important sur la cinétique de la dégradation biologique de la matière organique.

La figure N° V.1.2 montre la variation de la température des eaux brutes et épurées .pour les eaux brutes les valeurs compris entre 6, 2 et 19,7. pour les eaux épurées les valeurs entre 4,8 et 15,5. on remarque que les valeurs varient légèrement entre 10 à 20 tout en restant plus petites que la valeurs limite fixée par la norme de rejets.

V.1.3. La conductivité électrique :

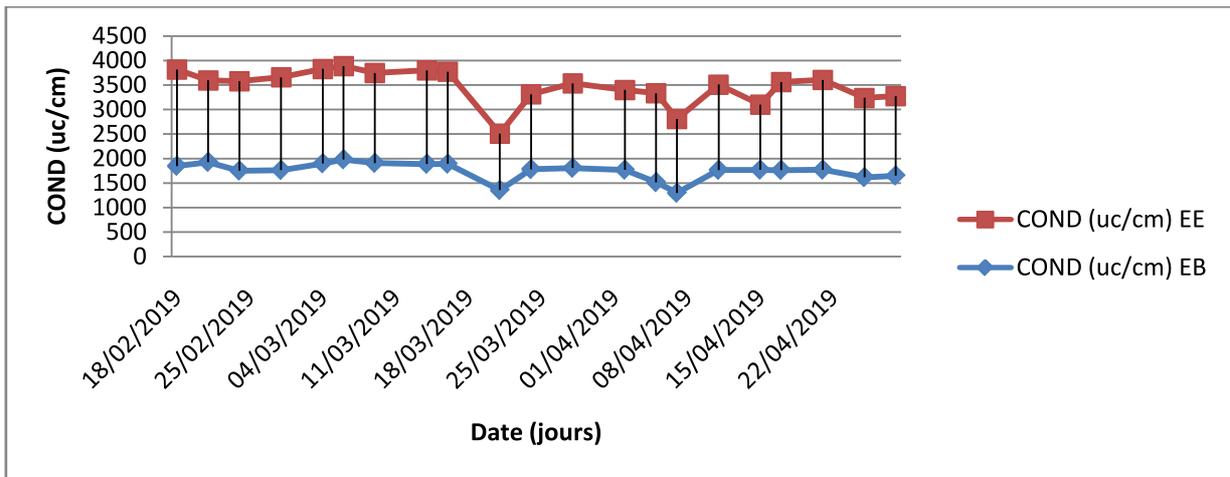


Figure N°V.1.3 : La variation de la conductivité électrique en fonction de temps.

D'après la figure N°V.1.3 les valeurs de la conductivité varient entre 1300 à 1980 pour les eaux brutes, et entre 1153 et 1823 pour les épurées. Les eaux de la STEP sont inférieures comparées à la norme de rejets qui de 1250 us/cm.

V.1.4. Les matières en suspension :

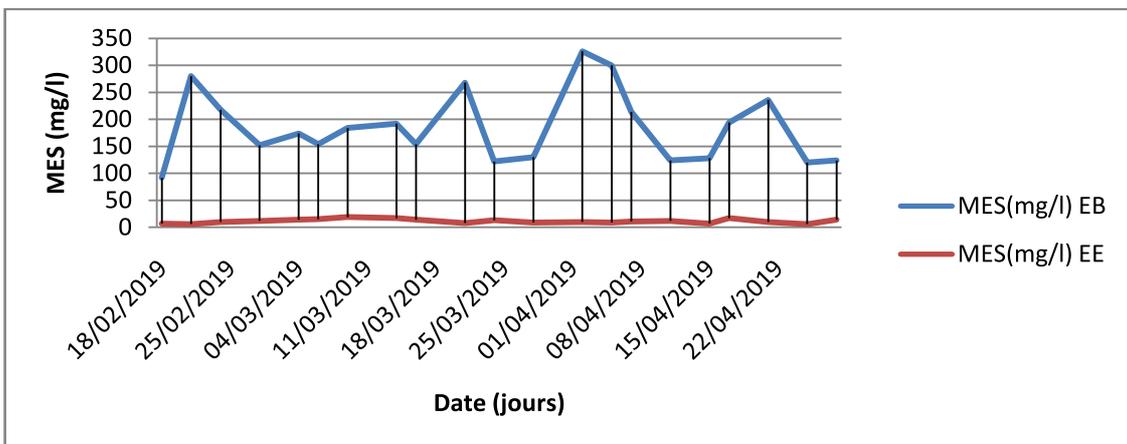


Figure N°V.1.4 : La variation des MES en fonction du temps, (L'année 2019).

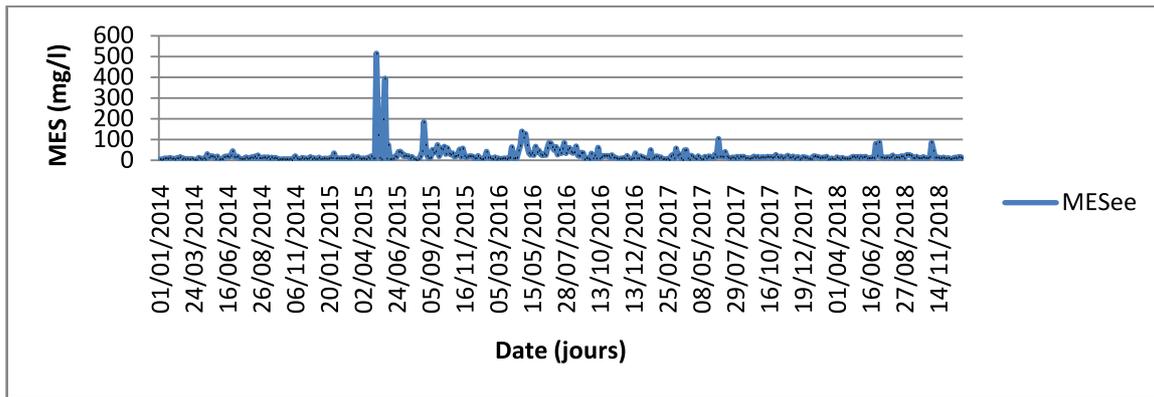


Figure N°V.1.4.1 : la variation des MES en fonction du temps (l’année 2014....2018)

La figure N°V.1.4 illustre la variation des matières en suspension en fonction du temps l’année (2019) pour les eaux brutes les valeurs des MES sont comprises entre 92 et 326 mg /l .pour les eaux épurées entre 6 et 19 mg/l. on remarque que les MES des eaux épurées à la sortie de la STEP sont presque complètement éliminées (93%). Toutes les valeurs des MES sont conformes à la norme de la STEP (20mg /l) et à la norme des rejets fixés par l’OMS (30 mg/l).

D’après la figure N°V.1.4.1 on remarque que les valeurs des MES des eaux épurées sont comprises entre 0 et 514 mg/l .nous constatons que la valeur moyenne des rejets en MES durant la période allant de 2014 a à 2018 et égal a 21 mg/l avec 14% des valeurs qui dépasse la norme des rejets fixé par L’OMS et 23,09% qui dépasse la norme de la STEP.

V.1.2. La charge polluante :

V.1.2.1. La demande biochimique en oxygène (DBO₅).

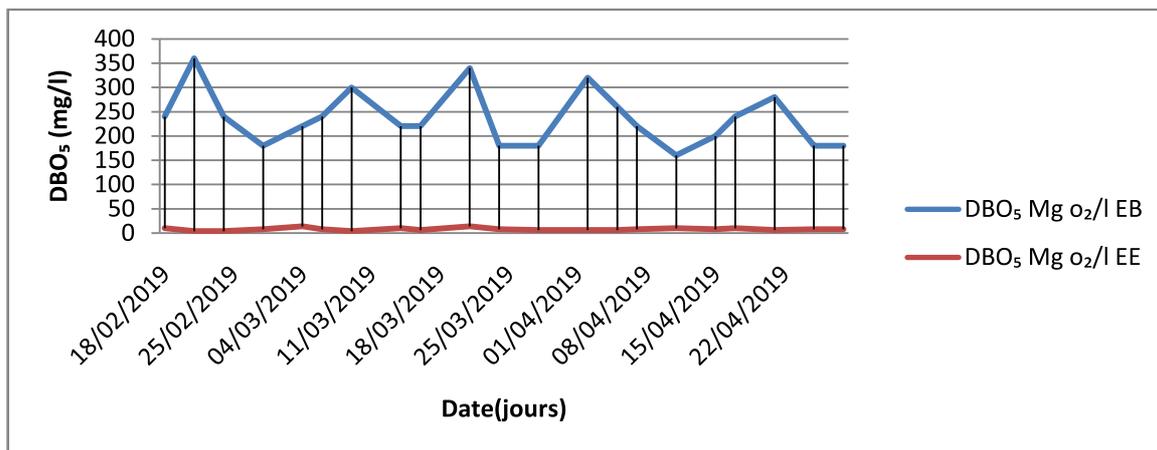


Figure N°V.1.2.1 : La variation de la DBO₅ en fonction du temps (l’année 2019).

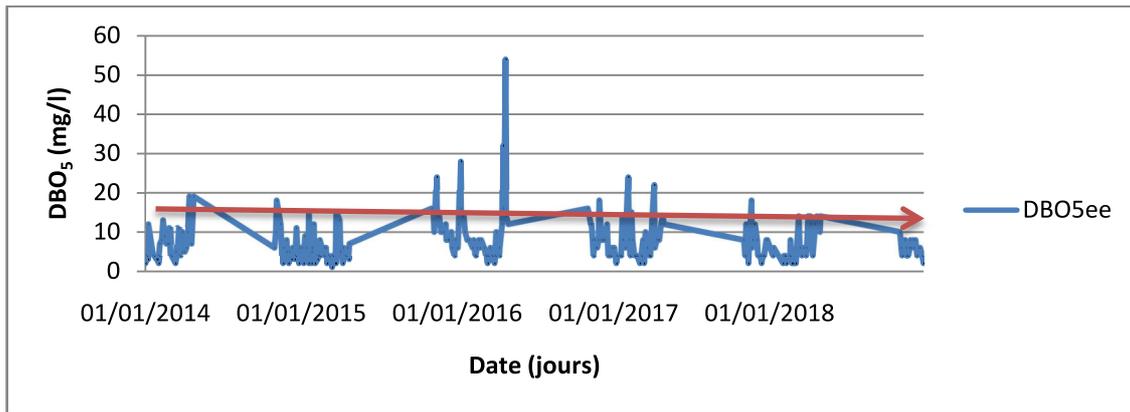


Figure N°V.1.2.1.1 : La variation de la DBO₅ en fonction du temps (l’année 2014....2018).

D’après de la figure N°V.1.2.1 concernant l’année 2019. A la sortie de la STEP, l’eau brute présente une DBO₅ de 160 à 360mg /l et 4 à 14 mg/l pour l’eau épurée. Ce qui montre que la STEP fonctionne bien (prétraitement, traitement biologique le rendement de l’élimination est de 96 %. donc à partir de ces résultats les valeurs sont inférieures à la norme de la STEP (15mg /l) et conformes à la norme des rejets fixées par l’OMS (30mg/l).

D’après la figure N°V.1.2.1.1 A la sortie de la STEP, l’eau brute présente une DBO₅ de 40 à 960mg/l et 1 à 54mg/l pour l’eau épurée. Ce qui montre que la STEP fonctionne bien (prétraitement, traitement biologique le rendement de l’élimination et de 96 %. Néanmoins nous remarquons que 9,46% des valeurs dépassent la norme de L’OMS et que 24,71 % des valeurs dépassent la norme de la STEP.

On constate que l’année 2019 est exempte de tout dépassement des normes. Ce qui est certainement dû aux décisions prises par les pouvoirs publics, d’interdire aux entreprises de rejeter leurs rejets sans passer par un prétraitement.

V.1.2 .2.La Demande Chimique en Oxygène DCO :

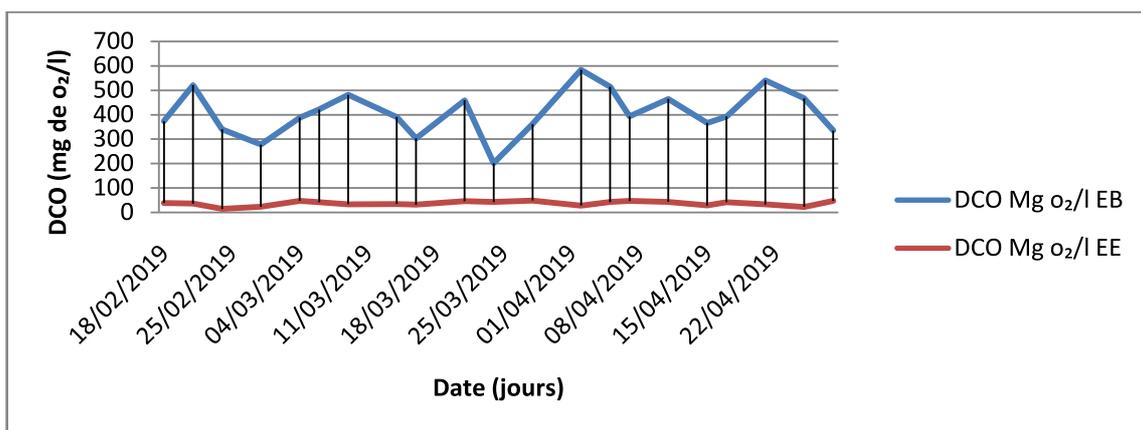


Figure N°V.1.2.2 : La variation de la DCO en fonction du temps (l’année 2019).

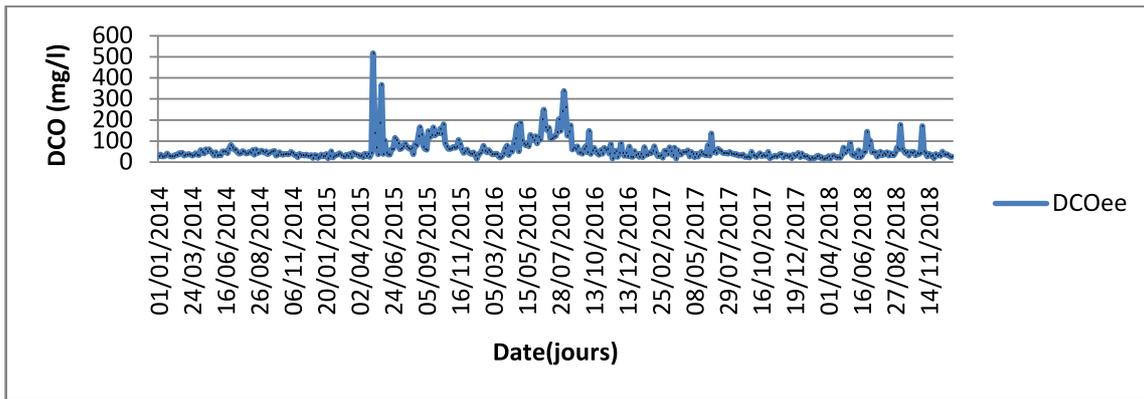


Figure N°V.1.2.2.1 : La variation de la DCO en fonction du temps (l’année 2014....2018).

D’après de la figure N°V.1.2.2 concernant l’année 2019. A la sortie de la STEP, l’eau brute présente une DCO de 201 à 584mg/l et 13.8 à 48 mg/l pour l’eau épurée. Ce qui montre que la STEP fonctionne bien (traitement biologique) ; le rendement de l’élimination moyen est de 91 %. Donc à partir de ces résultats les valeurs sont inférieures à la norme de la STEP (50mg/l) et conformes à la norme des rejets fixées par l’OMS (90mg/l).

D’après la figure N°V.1.2.2.1 A la sortie de la STEP, l’eau épurée présente une DCO variant de 14 à 517mg/l. la moyenne de la DCO sur les cinq années et de 56 mg/l l’égerment supérieur a la norme de la STEP, mais largement inferieur a la norme de L’OMS .le rondement de l’élimination moyen est assez important (88,59%).

Les quelques dépassements enregistrés sont dû à une forte concentration en DCO qui ne peut pas être métabolisée par les bactéries (pollution industrielle).

On constate que l’année 2019 est exempte de tout dépassement des normes. Et cela pour les même raisons que la DBO₅.

V.1. 3. Les formes azotées

V.1.3.1. Azote Total :

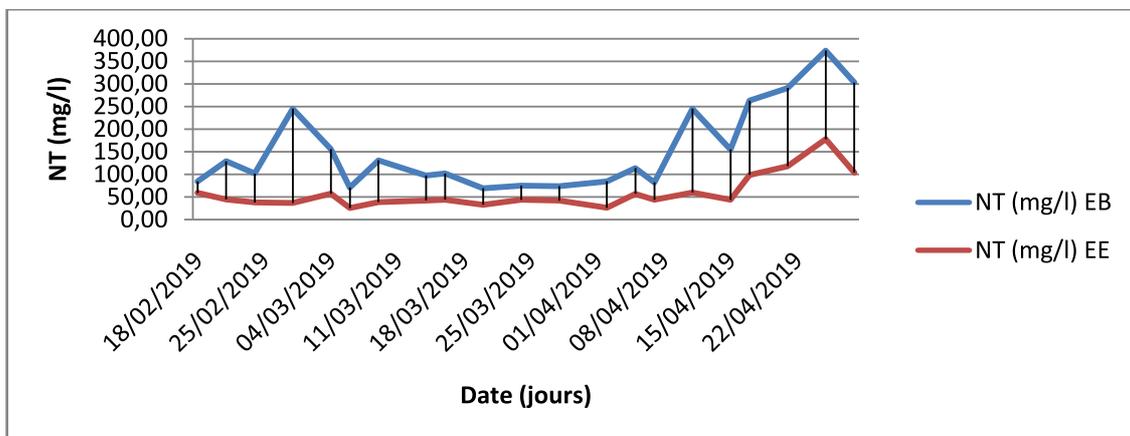


Figure N°V.1.3.1 : La variation de l’azote total en fonction du temps.

L'azote global c'est la somme de toutes les formes d'azote dans l'eau, d'après les résultats obtenus, on constate des teneurs variables de NT qui varient entre 69.3 et 373,6 mg/l. A la sortie de la station d'épuration, on constate que la concentration atteint des valeurs comprises entre 25.6 et 177.8 mg/l. Par comparaisons des résultats, On peut constater un rendement moyen d'élimination de 62.06 %. Les concentrations de l'eau épurée restent supérieures à l'objectif de la STEP (10 mg/l).

V.3.2.L'azote ammoniacal :

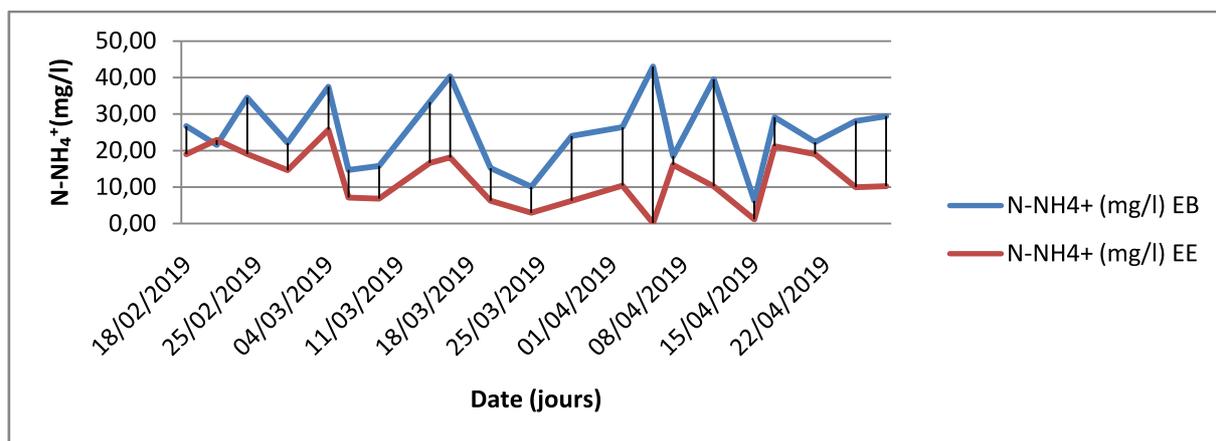


Figure N°V.1.3.2 : La variation de l'azote ammoniacal en fonction du temps.

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 43 mg/l. La baisse des teneurs en azote ammoniacal des eaux de l'entrée vers la sortie au niveau de la station d'épuration peut être expliquée par le processus d'épuration biologique par boues activées qui permet de diminuer la charge polluante en NH_4 (61 %).

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

V.1.3.3. Azote nitrique :

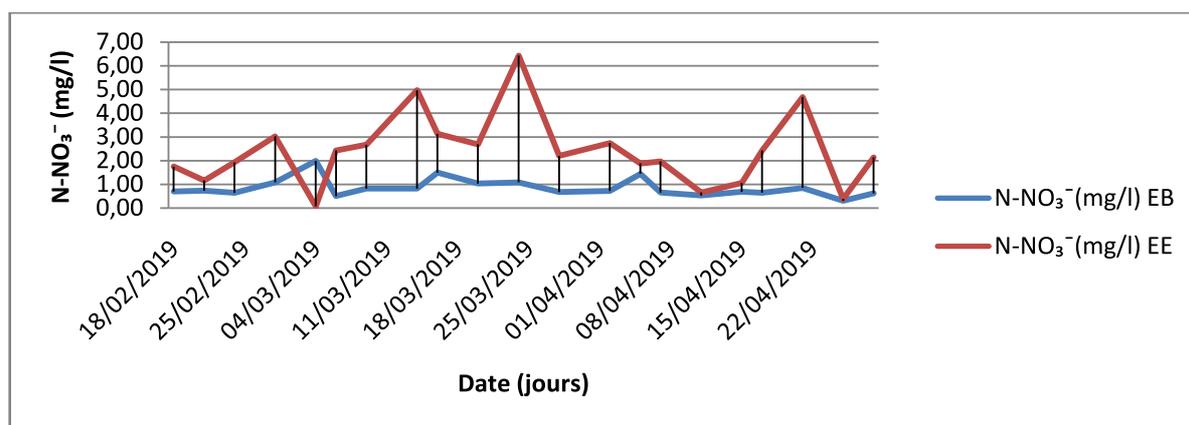


Figure N°V.1.3.3 : La variation de l'azote nitrique en fonction du temps.

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 0.3 et 1.99 mg/l

comparées à celles obtenues pour les eaux traitées qui varient entre 0.07 et 6.43 mg/l. Cette dernière concentration a été enregistrée le 24 mars.

V.1.3.4. Azote nitreux :

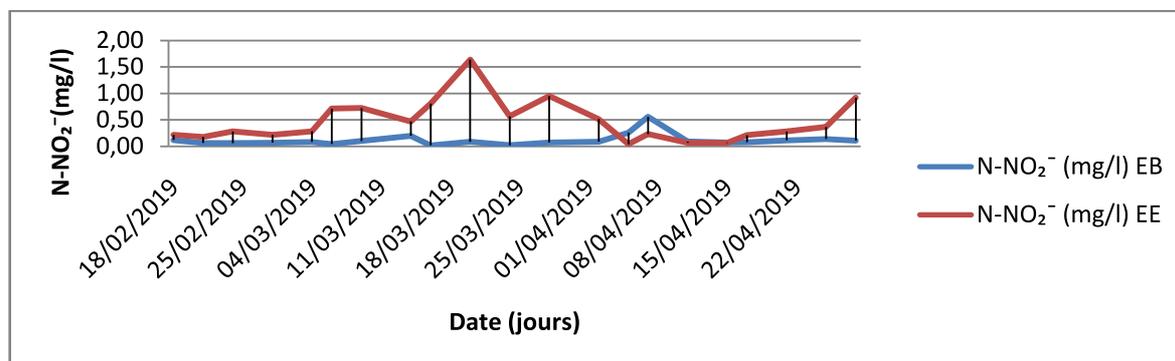


Figure N°V.1.3.4 : La variation de l'azote nitreux en fonction du temps.

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 0.02 et 0.56 mg/l pour les eaux brutes et varient entre 0.04 et 1.64 mg/l pour les eaux traitées.

V.1.3.5. Azote Kjeldhal :

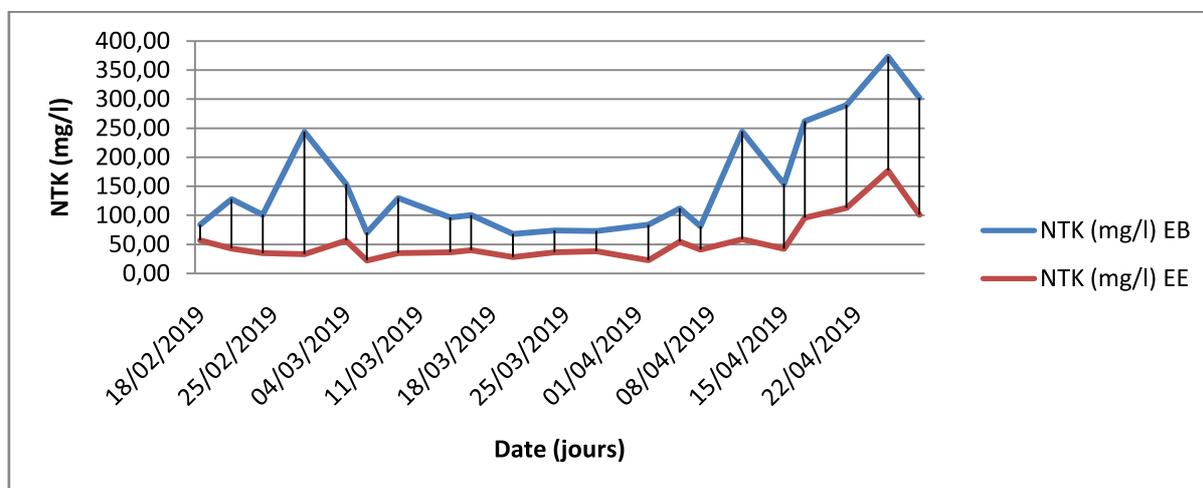


Figure N°V.1.3.5: La variation de l'azote kjeldhal en fonction du temps.

A l'entrée de la STEP, on constate que la teneur en azote Kjeldhal varie entre 68.18 et 373.16 mg/l, cependant à la sortie de STEP ainsi que dans le canal de rejet, les valeurs enregistrées oscillent entre 22.46 et 177.04 mg/l. Les teneurs de NTK montrent un rendement moyen d'élimination variable qui peut atteindre 63%.

V.1.3.6. L'azote organique :

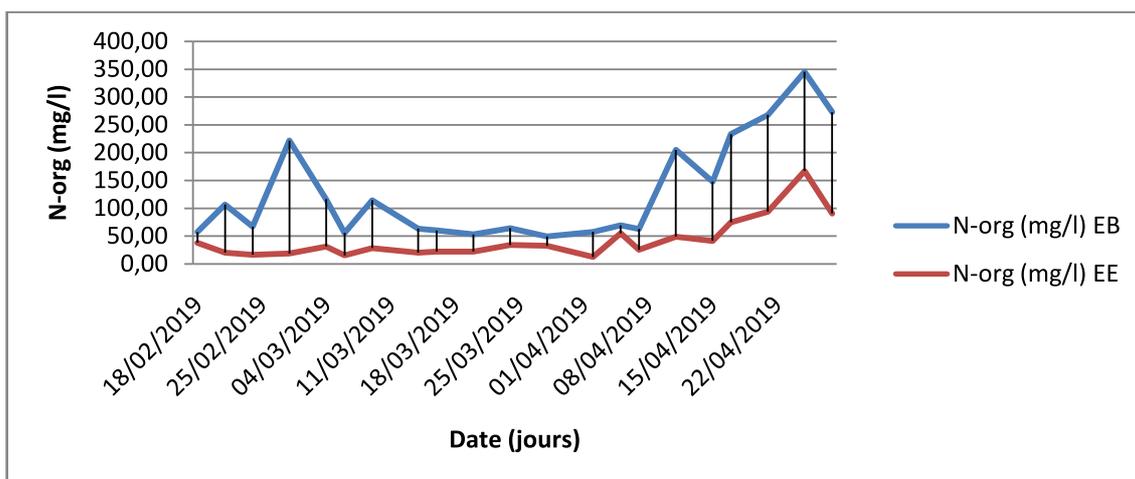


Figure N°V1.3.6 : La variation de l'azote organique en fonction du temps.

D'après les résultats obtenus on note que les teneurs en azote organique varient en fonction du temps. Les valeurs pour les eaux brutes sont comprises entre 49.36 et 345.06 mg/l et la concentration est réduite à des valeurs comprises entre 12.44 et 167.04 mg/l pour les eaux épurées. L'azote organique est rapidement transformé en ammoniac (NH_3) ou en sels d'ammonium (NH_4^+) selon un processus bactériologique appelé ammonification réduisant ainsi sa présence dans les eaux usées brutes.

En comparaison des teneurs des eaux brutes et des eaux traitées obtenues, on note un taux d'élimination très variable, le rendement d'élimination biologique de l'azote organique dépend de plusieurs paramètres y compris les concentrations dans les eaux brutes et aussi le temps de séjour. La moyenne du rendement d'éliminations de l'azote organique est élevée, Il est de 66 %.

V.1.4. Le phosphore total :

Tableau N°V.1.4 .1: Les valeurs du phosphore total (voire annexe).

V.1.4.1.Le phosphore total :

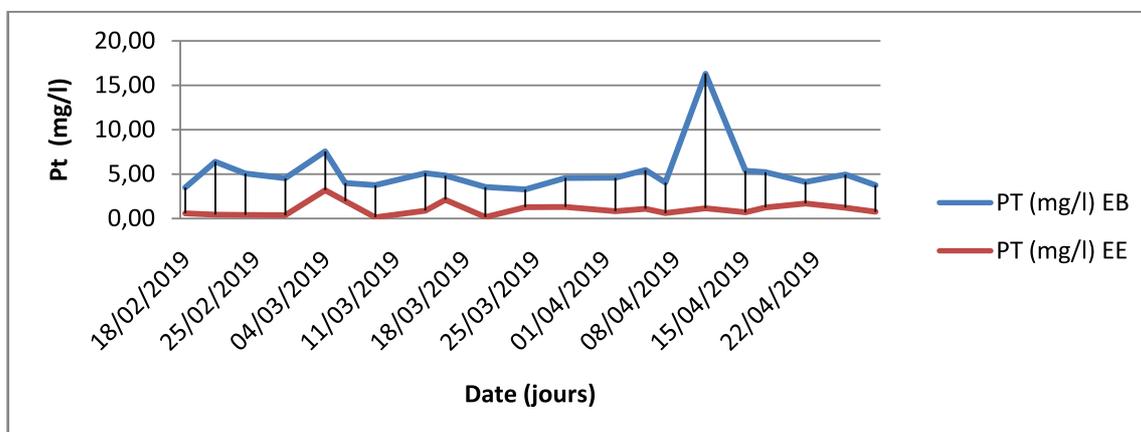


Figure N° V.1.4.1 : La variation du phosphore total en fonction du temps.

A l'entrée de la station d'épuration, les résultats obtenus montrent que les quantités de phosphore présent dans l'eau varient de 3.26 à 16.30 mg/l. et à la sortie du STEP varient entre 0.13 à 3.2 ces concentrations sont réduites à des valeurs inférieures à 1.7 mg/l.

La plupart des valeurs respectent l'objectif de la STEP (3mg/l), sauf pour la date du 24 mars 2019 où il a été enregistré une concentration de 3,2 mg/l.

V.2.Partie boues :

Nous avons déterminé les matières en suspension avec le polymère et le V_{30} pour les boues et les valeurs sont données dans Les tableau N°V.2. 1. et tableau N°V.2.2, (Voire annexe).

V.2.1. Analyse des boues :

V.2.1.1.La décantation :

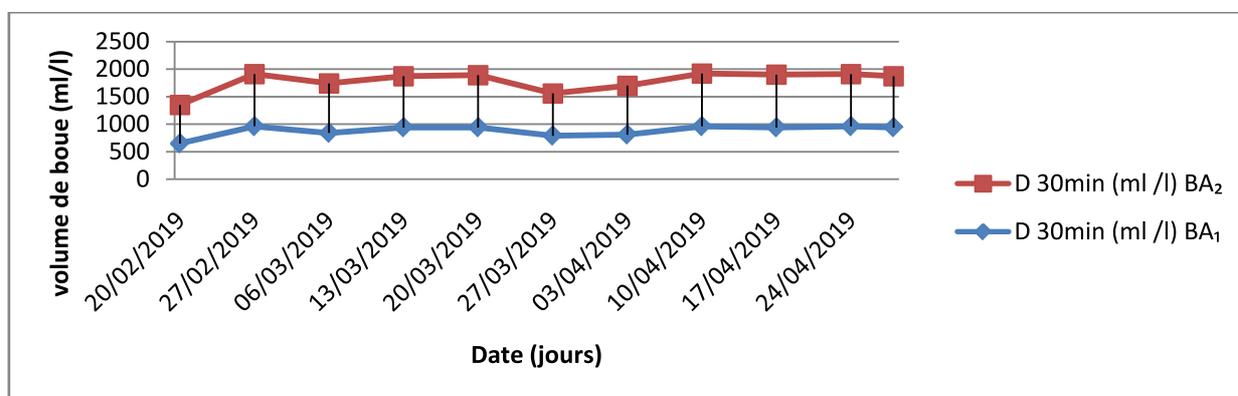


Figure N°V.2.1.1 : La variation de V_{30} pour les deux bassins.

On constate d'après les résultats obtenus, que les volumes des boues dans le bassin d'aération BA₁ sont entre 650 et 960 ml/l et varient entre 700 et 960 ml/l dans le BA₂. On remarque une quantité très importante de boues, d'où il est nécessaire de les extraire.

V.2.1.2.Matières en suspension (MES) dans les deux bassins d'aération :

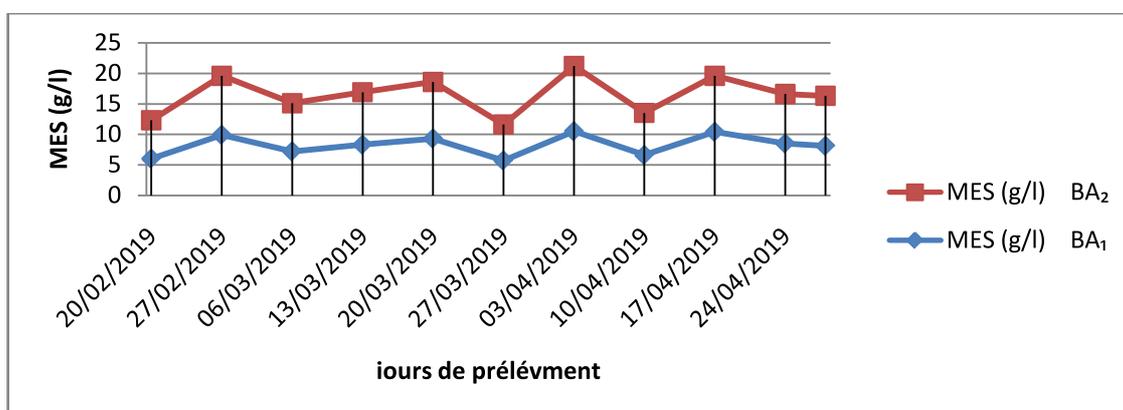


Figure N° V.2.1.2: La variation de (MES) des boues dans les deux bassins d'aération.

Les teneurs des MES dans les bassins d'aération oscillent entre 5.7 et 10.5 g/l pour le premier bassin par contre pour le deuxième bassin, les valeurs sont variables entre 5.9 et 10.7 g/l. D'après les résultats obtenus on peut constater une charge très élevée des MES dans les deux bassins. Les valeurs trouvées sont supérieures au seuil fixé par le manuel d'exploitation de la STEP qui varie entre 3.5 et 4 g/l. Pour résoudre ce dysfonctionnement, il faut augmenter le taux d'extraction des boues jusqu'à ce qu'à obtention d'une concentration de MES conforme au manuel d'exploitation.

Conclusion

Conclusion générale

Conclusion :

L'épuration des eaux usées est aujourd'hui indispensable pour faire face à l'augmentation des concentrations en substances polluantes et des volumes d'effluents rejetés, la prise en conscience et la volonté d'améliorer et de préserver la qualité des milieux récepteurs a entraîné l'adoption par les autorités de normes réglementaires plus strictes.

Les respects de ces normes, d'une part, et la surconsommation d'énergie conséquente, d'autre part constituent l'enjeu primordial des gestionnaires des stations d'épuration.

Dans ce cadre, on s'est intéressé au suivi de fonctionnement afin de détecter d'éventuels dysfonctionnements, et à l'analyse et à la modélisation statistiques des données de la STEP de REGHAIA ; en effectuant une analyse en composantes principales (ACP) sur l'ensemble des paramètres mesurés au niveau de cette dernière, dans le but (perspective) d'une optimisation et automatisation de fonctionnement de cette station pour l'intervention en temps réel.

L'analyse statistique des données recueillies et la visualisation de l'évolution de chaque paramètre au pas de temps journalier à l'entrée de la STEP sont un préalable à toute étude basée sur des échantillons de mesures.

Cette étude nous a permis de constater que le paramètre de pollution DBO_5 de l'eau épurée répond en général aux objectifs de la station en termes de normes de rejet. Néanmoins les valeurs de la DCO ont dépassé ces normes dans les années (2015-2018) d'une manière considérable.

Les valeurs de la DCO dans l'année 2019 sont conformes aux normes de rejets.

Ces constats sont expliqués par les diversités des rejets de la zone industrielle de REGHAIA dans le réseau d'égout en amont de la STEP.

L'application de l'analyse en composantes principales (ACP) aux différents paramètres de la station a donné une bonne explication de l'information contenue dans la matrice des données sur (515) individus avec des pourcentages qui dépassent 80%, une faible dépendance entre la DBO_{5ec} et MES_{ec} a été constatée, qu'on peut expliquer par la présence dans les eaux usées brutes des matières en suspension en grandes parties non biodégradables.

Le souci technico-économique permanent du gestionnaire d'une station d'épuration est de connaître l'énergie nécessaire optimale et suffisante à fournir pour atteindre les objectifs du processus de traitement.

Une modélisation associée à l'ACP, en utilisant des méthodes plus performantes pour la description de phénomènes complexes et évolutifs sur une base de données fiables et dynamique sont recommandées.

Référence
Bibliographie

BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : **ADJEROUD. Khadîdja** ; Etude physico-chimique et organique des eaux usées de la ville d'Ain Beida , et leur impact sur l'irrigation », Master en Hydraulique, Université de Oum El Bouaghi .2016.

[2] : **KESBI R** ; (14 juin 2016) .Différents Procédés d'épuration des eaux usées. Le phosphore a pour origine les industries du traitement de surfaces des métaux, les Fiche technique rédigée par l'équipe technique de Ré FEA.

[3] : **LIBES. Y.** Les eaux usées et leur épuration. Les eaux usées urbaines et leur épuration en France, Document internet : https://www4.ac-nancy-metz.fr/ia54-circos/ienstmax/sites/ienstmax/IMG/pdf_pdf_Les_eaux_usees_et_leur_epuration.pdf Consulté le 20/07/2019.

[4] : **(24 nov 2015)**. Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme ... des eaux usées de Maghnia pour leur accueil, disponibilité et leur contribution Elle est en fonction de l'origine de l'eau ; l'eau usée domestique .

[5] : **SAADI H** . Etude des performances d'un lit bactérien classique à garnissage en pouzzolane de Beni Saf . Master en Hydraulique. Université de Tlemcen .2013.

[6] : **BENGOUGA K.** Contribution à l'étude du rôle de la végétation dans l'épuration des eaux usées dans les régions arides, Memoire de magister en agronomie, université de Tlemcen 2010

[7] : **Ourtelli S ; (2013)** . 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 II en environnement et sécurité Alimentaire. Université de Bejaia 2013

[8] : **KHEMICI-Yasmina.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique d'une eau usée épurée par un lit de plantes. Master en traitement des eaux. Université de Ouargala. 2014.

[9] : **Mlle Touabi Lynda, Mlle Gacemleila** , Optimisation d'un procédé de traitement d'une filière biologique – STEP REGHAIA . Master en traitement des eaux. Université de Boumerdes. 2017

[10] : **Benkadi Oussama, Lezoul Selmane** , Etude de l'efficacité de le station d'épuration de Réghaia et l'impact de la pollution sur le Lac de Réghaia. Master en traitement des eaux Université de Boumerdes. 2017

[11] : **ABIBSI N.**, REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES PAR FILTRES PLANTES (PHYTOEPURATION) POUR L'IRRIGATION DES ESPACES VERTS APPLICATION Á UN QUARTIER DE LA VILLE DE BISKRA. Mémoire de magister en hydraulique urbaine. Université de Biskra. 2011

BIBLIOGRAPHIQUES

[12] : **METAHRI M.S** , Etude *de* valorisation agricole des eaux usées traitées .l'effluent de la station d'épuration Est de la ville *de* Tizi-Ouzo. These de doctorat. Université de Tizi Ouzou.2012.

[13] : **KESBI R** , . Etude des performances épuratoires d'une STEP de l'ouest Algérien Cas de la nouvelle STEP d'Ain Témouchent. Master en technologie de traitement des eaux Université de Tlemcen. 2016

[14]: **TOUIL Y, TAHAR S, ISSAADAN A. et AMRANE 2009-** Pilot plant for wastewater treatment involving septic pit and biological filtration on Sand of dunes of the algerian Sahara, Edition Desalination water Treat. P 10, 148,152

[15] : (**RODIER et al, 1996 ; JOLY et REYNAUD ,2003**). L'analyse de l'eau jean Rodier Bernard legube.

[16] : **BETTACH Ali** .Traitement des *eaux usées* domestiques par biodénitrification : effet du nitrate. Mémoire de fin d'étude en biologie cellulaire et moléculaire Université d'El Jadida. Maroc.2013

[17] : **BENELMOUAZ ALI**, Performances épuratoires d'une station d'épuration de Maghnia . Master en technologie de traitement des eaux. Université de Tlemcen.2015

[18] : **JEAN RODIER**, l'analyse de l'eau, eaux naturelles, l'eau résiduaires, eau de Mer, DUNO ,8^{ème} édition, PARIS ,1996.

[19] : **Bourier, R.**, Les réseaux d'assainissement, **5^{ème} édition Lavoisier, édition TEC & DOC**,Paris, 1013p.2008

[20] **Cardot, C.** Génie de l'environnement, les traitements de l'eau: procédés physicochimies et bactériologique, *édition Ellipses*, Paris, 247p.1999.

[21] : **Sarra A**, Les déversements des eaux usées dans le milieu naturel .2017

[22]: **Boumedienne ME** . Bialn de suivi des performances de fonctionnement de la station d'épuration STEP de AIN EL Houtz. Pojet de fin d'étude. Université de Tlemcen.2013

[23] : **Hamsa D.** Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbains .Mémoire **de Magistère. Université d'El Oued. 2006**

[24] : **Mimeche L.** Etude de faisabilité de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés en milieu aride-Application à la région de Biskra, Thèse de Doctorat , d'état Hydraulique, Université Mohamed Khider – Biskra, Année 2014 .

[25] : **TEKFI K**, Etude des performances épuratoires station à boues actives. Projet université de Tlemcen. 2006

BIBLIOGRAPHIQUES

- [26] : **G .Abdelkader**. Epuration biologique des eaux usées. Tome 1. OPU. 1984
- [27] : **Cherif L**. l'influence de la coagulation-floculation et décantation sur le prétraitement des eaux saumâtres. Mémoire de master d'état en hydraulique, Université de Tlemcen,, 2012.
- [28] : **Faby J.A et Brissaud F**. L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau.1997
- [29] : **Lazarova V ; Gaid A ; Rodriguez-Gonzales J ; Alday Ansola J**. L'intérêt de la réutilisation des eaux usées : analyses d'exemples mondiaux. Techniques, Sciences et Méthodes.2003
- [30] : **SATIN M. & SELMI B**, Guide technique de l'assainissement. Edition de Moniteur.1999
- [31] : **BENSABER K** . « étude des performances épuratoire d'une station d'epuration a boues activées (cas de la STEP de MAGHNIA)», Mémoire de fin d'étude ,Université de Tlemcen. 2005
- [32] : **Baha Souad., Bensari Fatima**. Epuration des eaux usées domestique par les boues activées : Etude de la performance de la STEP D'ain El Houtz,mémoire de projet de fin d'étude .Universite Abou Bakr Belkaid.2014
- [33] : **Banzaoui N et Elbouz F. (2009)**, Epuration des eaux usées par les procédés des boues activées au niveau de la commune de Touggourt. Projet fin d'étude .Université. de Annaba..2009.
- [34] : **Belaid N**. Évaluation 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 en chimie et microbiologie de l'eau, Université de Sfax, Tunisie.2010
- [35] : **SADIK Z.M** : Etude de faisabilité d'une STEP par filtre planté de roseaux des eaux usées de l'agglomération secondaire de Béni Ghazli— Commune d'Oued Lakhdar. Projet fin d'étude. Université de Tlemcen. 2018
- [36] : **(20 juin 2015)**. MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES Chapitre V : Traitement des boues Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique..... versant de Béni-Messous, Projet de fin d'études, E.N.P, Alger, 1996.
- [37] : **..Traitement des boues en station d'épuration. (Actu-Environnement.com - Publié le 06/09/2010)**
- [38] : **Bourenane C**. Suivi de la station d'épuration des eaux usées d'Ain Beida. Mémoire de fin d'étude. Université de Oum El Bouaghi.2018

BIBLIOGRAPHIQUES

[39] : **BOUAISSA Mohamed.** Traitement des boues de la station d'épuration d'Al-Hoceima. .Mémoire de fin d'étude. Université d'Oujda. 2015

[40] : **TELLI SM** . Etude sur la valorisation par séchage solaire Des boues d'épuration des Eaux urbaines – cas de la station d'Office Nationale d'Assainissement (ONA)- Tlemcen Mémoire de fin d'étude. Université de Tlemcen..2013

Annexe

1. Prélèvement des eaux usées STEP REGHAIA :

1.1. But :

Ce mode opératoire a pour objet de définir :

- La gestion de collecte des échantillons d'eaux résiduelles issues du Procès des stations d'épuration, pour effectuer des analyses au laboratoire.
- La transmission des échantillons au laboratoire et la reconstitution d'un échantillon moyen.

1.2. Mode opératoire :

Le prélèvement d'eau usée est effectué par :

- Des préleveurs automatiques.
- Manuellement.

1.2.1. Préleveurs automatiques

En présence de préleveurs asservis au débit : un prélèvement de 50 ml chaque 400 m³/h durant 24 heures.

En cas de prélèvements non asservis au débit, le réglage se fait par rapport au temps avec reconstitution de prélèvement proportionnel au débit.

Dans ce cas ; le temps de remplissage de chaque flacon est de : 24 h divisé par le nombre de flacons du préleveur (12 flacons).

a) Reconstitution de l'échantillon moyen proportionnel au débit

VF = Volume du flacon (prélèvement).

QF = Volume d'entrée pendant la tranche horaire du prélèvement dans le même flacon.

Q = Volume total d'entrée.

VP = Volume à prélever.

$$VP = VF \times (QF / Q) \text{ ml}$$

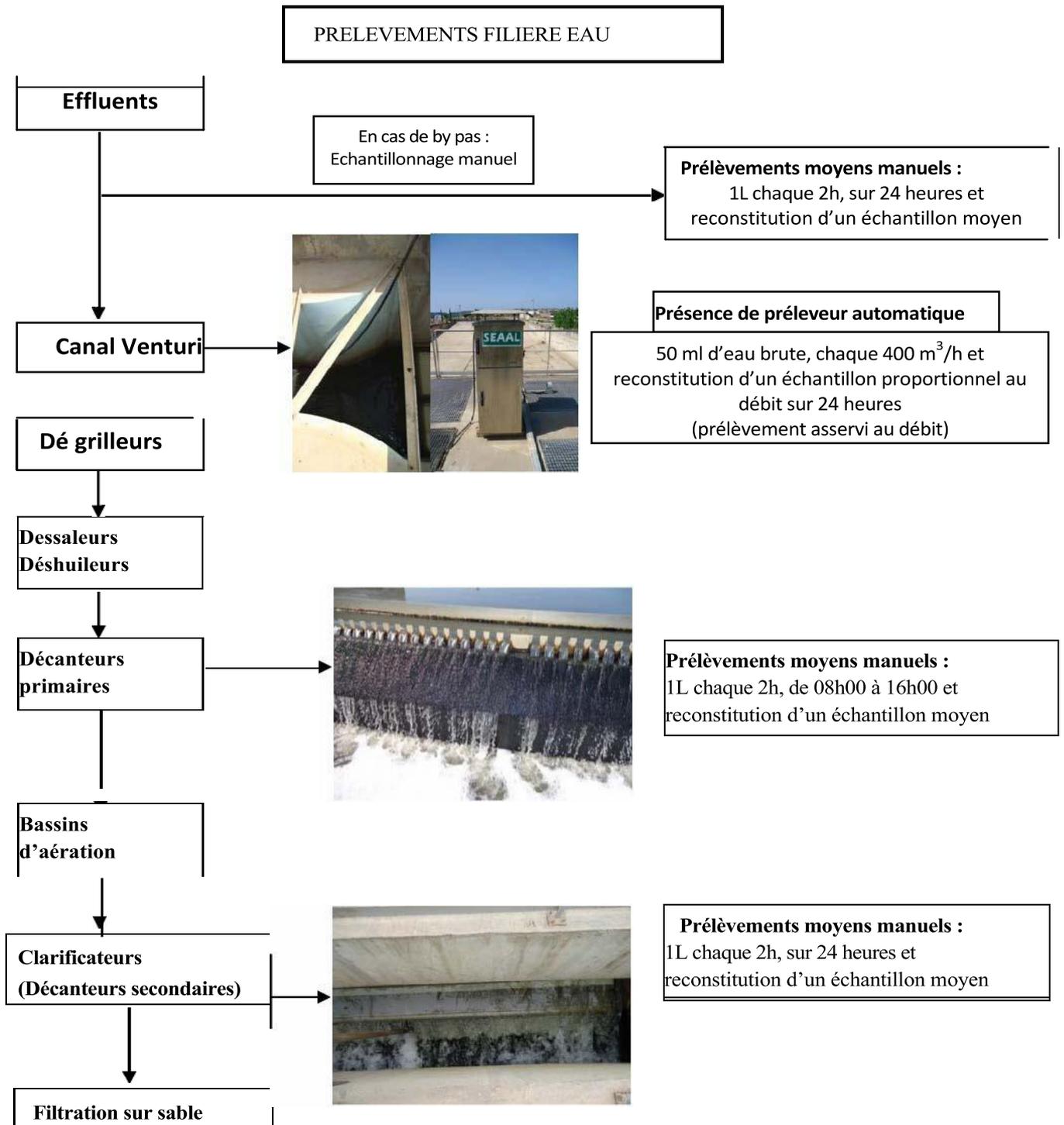
Dans le cas de non possibilité de reconstitution de l'échantillon moyen proportionnel au débit, le réglage se fait par rapport au temps, 100 ml seront donc prélevés chaque 30 minute pendant 24H.

1.2.2. Prélèvement manuel

En cas d'absence ou de panne de préleveurs automatiques, un opérateur désigné par le chef d'exploitation effectue les prélèvements selon le planning.

Chaque 2 h, il prélève 1L d'échantillon à chaque étape du traitement (eau brute, décantée, traitée... etc.), ces prélèvements sont transmis au laboratoire pour la reconstitution d'un mélange moyen conservé au réfrigérateur et/ou au congélateur.

3. Logigramme :



4. Méthodes D'analyse et matériels.

4.1. Mesure électro-métrique du pH.

4.1.1. But :

La détermination du potentiel d'hydrogène nous informe sur l'origine des eaux usées et des mesures à prendre en vu d'un traitement par voie biologique, outre le développement bactérien en dépend.

4.1.2. Principe :

Mesure de la différence de potentiel existant entre une électrode de mesure et une électrode de référence plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de cette solution. Selon la loi de NERNST, le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ présent dans cette solution.

4.1.3. Appareillage :

PH-mètre utilisé : Sen SION (Hach) doté d'une électrode au platine combinée avec une Sonde de température.

4.1.4. Réactifs.

Les solutions étalons utilisés sont des solutions prêtes à l'emploi.

- Solution étalon pH 4,01 à 25°C ;
- Solution étalon pH 7,00 à 25°C ;
- Solution étalon pH 10,00 à 25°C ;
- Solution KCl de concentration à 3 mol/l.

4.1.5. Mode opératoire :

Mesure de pH est effectuée sur place au moment de prélèvement à l'aide d'un pH-mètre.

L'électrode de pH mètre et rincer à l'aide d'une eau distillé.

Etalonner avec des solutions tampons de pH connu.

Le pH est mesuré par prélèvement d'un volume quelconque de l'échantillon après agitation, on plonge l'électrode de pH mètre dans la solution. La lecture sera faire après stabilisation de la valeur de pH.

Après chaque mesure de pH, retirer l'électrode puis rincer à l'eau distillée et la sécher à l'aide d'un papier adsorbant.

4.2 .Mesure de la conductivité électrique et la température :

4.2.1. But :

La détermination de la conductivité électrique nous informe sur la teneur en sels solubles dans les eaux usées.

La connaissance de la température nous renseigne sur l'origine des eaux et des mélanges éventuels.

4.2.2. Principe :

Il consiste à tremper la sonde combinée (conductivité et thermomètre) dans la solution d'eau distillée, puis dans la solution à analyser. L'appareil affiche simultanément les mesures de la conductivité et celle de la température. Il est préférable de l'étalonner avant tout usage avec une solution de qualité (chlorure de potassium).

Annexe 1

4.2.3. Appareillage :

L'appareil utilisé est un conductimètre METTLER TOLEDO MC 226 équipé d'une sonde de mesure de température.

4.2.4. Réactifs :

Solution de chlorure de potassium à 0.01 mol/l est de 1413 S/cm ;

4.2.5. Mode opératoire :

Après la vérification de l'appareil qui se fait quotidiennement avec une solution de chlorure de potassium à 0.01 mol/l et de 1413 μ S/cm.

La cellule de conductimètre rincée avec l'eau distillée est plongée dans la solution à analyser et la valeur de la conductivité est affichée sur l'écran de l'appareil avec une unité de micro Siemens par Centimètre (as/cm) ou bien milli Siemens par centimètre (ms/cm).

4.3. Détermination des matières en suspension(MES) :

4.3.1. But :

La détermination des MES permet d'avoir une idée sur la concentration des eaux usées en matières susceptibles d'être séparées par décantation de manière à apprécier son efficacité.

4.3.2. Principe :

L'eau est filtrée et le poids des matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle.

4.3.3 .Méthode par filtration sur filtre en fibre de verre :

4.3.4. Appareillage :

- Dispositif de filtration sous vide constitué d'un entonnoir Buchner monté sur une fiole conique à bec, cette dernière est reliée à une pompe à vide.
- Filtre en fibre de verre.
- Etuve réglée à une température de 105°C.
- Balance analytique de précision ± 0.1 mg/l.
- Un dessiccateur.

4.3.5 .Mode opératoire :

a. Méthode de filtration :

- Peser le filtre à 0,100 mg
 - . Eviter soigneusement de contaminer le filtre.(Masse M0).
 - Placer le filtre (la partie lisse en bas) dans l'entonnoir du dispositif de filtration et insérer l'entonnoir sur la fiole à vide.
 - Agiter vigoureusement le flacon contenant l'échantillon et transférer immédiatement dans une fiole jaugée.
 - Verser l'échantillon dans l'entonnoir puis rincer la fiole jaugée avec un peu d'eau distillée et verser également dans l'entonnoir.
 - Démarrer la filtration en enclenchant la pompe d'aspiration. Une fois l'échantillon filtré, rincer les parois internes de l'entonnoir avec un peu d'eau distillée et filtrer cette eau.
-

Annexe 1

- Libérer le dispositif sous vide lorsque le filtre est pratiquement sec.
- Retirer avec précaution le filtre de l'entonnoir à l'aide de pinces à extrémités plates.
- Placer le filtre dans le creuset et le sécher dans l'étuve à $(105 \pm 2^\circ\text{C})$ pendant au moins 2 h.
- Retirer le tout de l'étuve et le placer au dessiccateur environ 30 min puis le peser (masse M1).

4.3.6. Méthode par centrifugation et séchage a 105°C :

Au cas où la méthode par filtration sur filtre en fibre de verre ne s'applique, pas pour raisons de la qualité de l'échantillon et du colmatage de papier filtre ou lorsque la qualité de l'échantillon est très chargée en matière en suspension, la durée de la filtration dépasse 30 minutes, l'utilisation de la méthode par centrifugation est recommandée.

4.3.7. Appareillage :

- Centrifugeuse conduisant à une accélération de 28000 à 32000 tr/min.
- Etuve réglée à une température de 105°C .
- Balance analytique de précision de $\pm 0.1\text{mg}$.
- Un dessiccateur.

4.3.8. Mode opératoire :

- Attendre jusqu'à ce que les échantillons soient à température ambiante.
- Homogénéiser le contenu du flacon en l'agitant. Introduire la totalité de l'échantillon dans le tube de la centrifugeuse et centrifuger à 4000 tr/min durant environ 20 min.
- Éliminer alors la phase claire et recueillir le dépôt (pour récupérer le reste du dépôt, utiliser un minimum d'eau distillée). Le volume de cet échantillon doit être tel qu'il conduise à la pesée d'au moins 30 mg de matières en suspension.
- Si le volume d'échantillon nécessaire à la mesure excède la capacité du tube, opérer en plusieurs fois en récupérant à chaque fois le dépôt constitué jusqu'à avoir centrifugé le volume requis.
 - Sécher le creuset vide à 105°C , le passer au dessiccateur puis le peser (masse m_1).
 - Mettre le dépôt dans le creuset, sécher le tout à 105°C pendant 2 h. Passer au dessiccateur et peser à 0,500 mg près. Recommencer les opérations de dessiccation et de pesée jusqu'à ce que la différence entre deux pesées successives n'excède pas 0,500 mg. (masse m_2). La teneur en MES est calculée à partir de la formule suivante :

$$[\text{MES}] = (m_2 - m_1) / V_e * 1000$$

Annexe 1

4.4. Détermination des matières volatiles en suspension(MVS) :

4.4.1 .But :

Les matières volatiles en suspension sont utilisées pour déterminer la part de matière organique (volatile à 550°C) présente dans les MES permettant d'estimer la stabilité des boues, c'est à dire leur capacités à ne pas fermenter.

4.4.2. Appareillage :

- Four à moufle (550°).
- Dessiccateur en verre.
- Balance analytique ; précision 0,100 mg.

4.4.3. Mode opératoire :

L'analyse est effectuée après la détermination des MES des eaux ou les MS des boues.

A la fin de l'analyse des MES, on détermine la masse M1 en gramme (g) correspondant

Au poids de la capsule en porcelaine et des matières sèches quelle contient et on place ensuite la capsule en

Porcelaine dans un four à 550°C pendant 2 heures. Après refroidissement dans un dessiccateur. la capsule ne contenant plus que les cendres est à nouveau pesée :

M2 en g. Le taux de MVS en %

Est donné par la formule :

$$\text{MVS en \%} = (M_1 - M_2) / (M_1 - M_0) \times 100$$

M0 : la masse de capsule en porcelaine vide.

4.5. Détermination de la demande biochimique en oxygène DBO5 Méthode instrumentale Oxyton® IS 1

4.5.1. But :

Ce mode opératoire décrit la méthode de mesurer de la demande biochimique en oxygène par une méthode instrumentale Oxyton® IS 12

4.5.2. Principe :

La méthode consiste à mesurer l'évolution de la pression de l'air à l'intérieur d'un flacon contenant l'échantillon ; cette évolution est directement liée à la diminution de la concentration en oxygène de l'atmosphère d'incubation.

En effet, les micro-organismes, lors de la biodégradation des molécules organiques, consomment l'oxygène dissous dans l'eau de l'échantillon et l'oxygène de l'air se dissout pour remplacer l'oxygène consommé. Ceci crée un déficit en gaz dans l'air du flacon qui n'est pas renouvelé, à condition que le CO₂, formé lors de la biodégradation, soit absorbé par la soude présente dans le flacon.

Annexe 1

V.4.5.3.Appareillage :

- Incubateur thermostatique (température 20°C).
- Agitateur magnétique.
- Flacons porte échantillon en verre teinté munis de godets en caoutchouc.

- Barreaux magnétiques.

- Pastilles de soude.

- ATU (inhibiteur de nitrification).

4.5.4. Mode opératoire :

Prélever l'échantillon d'eau brute et eau épurée en se référant au protocole de prélèvement des eaux (500 ml au moins).

Conservation : pendant 24 heures à 4°C, ou congélation à -20°C (maxi un mois) dans un flacon en plastique.

1. Choisir le volume de l'échantillon :

La valeur de la DB0₅ est approximativement estimée à 80% de la valeur de la DCO mesurée, choisir le volume de la prise d'essai selon les intervalles de mesure de la DB0₅ dans le tableau suivant :

Volume de prise d'essai	Intervalle de mesure	Facteur
432	0-40	1
365	0-80	2
250	0-200	5
164	0-400	10
97	0-800	20
43.5	0-2000	50
22.7	0-4000	100

1.1-Préparation de l'étalon :

Solution composée de 150 mg/I de glucose et de 150 mg/I d'acide glutamique, ou ampoule Volette étalon DBO (réf. n° 14866-10 Hach) + Tampon nutritif (réf. n° 14861-98 Hach).

Utiliser une solution préparée d'étalon DBO à 3000 mg/I disponible sous forme d'ampoule Volette étalon. Une dilution au 1/20^{ème} de cette solution étalon de DB0₅ peut être utilisée comme étalon de DBO à 150 mg/I.

1-Préparer environ 3 litres d'eau distillée, ajouter le contenu d'une gélule de tampon nutritif. DB0₅ et retourner plusieurs fois pour mélanger.

2-Pipeter 7 ml d'étalon DB0₅ d'une ampoule Volette dans un flacon de l'appareil BO Trak.

3-Ajouter 133 ml de la solution de tampon nutritif préparée précédemment et 15 ml d'ensemencement avec une eau usée urbaine. Un ensemencement de la solution à 10% en volume en résulte.

Suivre la méthode générale de mesure de la DBO dans la gamme DBO :

0-350 mg/I et une durée d'essai de 5 jours.

4-Effectuer en même temps une mesure de la DBO sur l'ensemencement seul.

Annexe 1

1.2- Lancer la mesure :

- Pour démarrer la mesure appuyer sur les boutons **S** et **M** simultanément pendant deux secondes jusqu'à apparition de (--) puis **(00)**, qui indique que toute valeur auparavant enregistrée a été effacée.
- Mettre le flacon dans l'incubateur réglé à une température de 20 °C pendant 05 jours.
- La lecture de la valeur en cours se fait en appuyant sur le bouton **(S)**
- Les valeurs lues 1F, 2F, 3F, 4F ou 5F indiquent que la mesure du jour, indiquée en chiffre, n'a pas encore été prise.
- La valeur de la DB0₅ (en mg/l) est la valeur lue directement sur l'écran digital de l'**Oxyton®** multipliée par le facteur donné dans le tableau ci-dessus, selon :

$$\text{Valeur lue} \times \text{Facteur} = \text{DB0}_5 \text{ en mg/l}$$

Remarque : Pour le contrôle interne de la manipulation et du matériel, il suffit de suivre les étapes de la préparation de l'étalon selon la méthode manométrique BO Trak.

4.6. Détermination de la DCO par méthode Kit Hach LCK 114/314

6.1. But :

Ce mode opératoire décrit la méthode de mesurer de la demande chimique en oxygène pour les deux gammes :

150 à 1000 mg O₂ /L (haute gamme : LCK 114).

15 à 150 mg O₂/L (basse gamme : LCK314).

4.6.2. Principe :

La mesure de la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation par processus chimique des matières oxydables existantes dans l'eau.

4.6.3. Appareillage:

- Spectrophotomètre (DR2800).
- thermostat LT200.

V.4.6.4. Mode opératoire :

Les échantillons pour laboratoire doivent être prélevés de préférence en bouteilles de verre, des bouteilles en polyéthylène pouvant également convenir. Analyser les échantillons dès que possible et, au plus tard, dans les 5 jours qui suivent le prélèvement. Si l'échantillon doit être conservé avant l'analyse, ajouter 10 ml d'acide sulfurique litre d'échantillon. Le conserver entre 0°C et 5°C.

1. Prendre une cuve de gamme indiquée et bien l'agiter :

L'agitation de la cuve est obligatoire afin de mélanger les dépôts des substances décantées avec le reste de la solution dans la cuve DCO.

2. Chauffer le tube pendant 2h à 148°C :

Le chauffage de la cuve à 148 °C pendant 2 heures dans le thermostat LT200 est une étape essentielle, afin de permettre aux substances oxydables de réagir avec le bichromate de potassium sulfurique en présence du catalyseur le sulfate d'argent.

3. Nettoyer la cuve puis l'insérer dans l'emplacement approprié : Sélectionnez le mode a code barre sur le menu principal sur l'écran digital du **DR2800/DR3800** la valeur de la DCO s'affichera en **mg O₂/l** qui est la concentration en masse d'oxygène consommée par la matière organique présente dans l'échantillon.

Les résultats d'analyses sont enregistrés dans le cahier de poste puis sous trame informatique.

Pour le contrôle interne de la manipulation et du matériel il suffit de remplacer la prise d'essai par la solution standard de l'étalon **LCA 703** pour **LCK 114** et le **LCA 704** pour **LCK 314**, suivre les mêmes étapes indiquées dans le logigramme.

4.7. Dosage des ammoniums ; nitrites ; nitrates ; azote total et le phosphate total par la méthode Kit Hach

4.7.1. Appareillage :

- Spectrophotomètre DR 2800,
- Thermostat LT 200.

4.7.2. Dosage de l'Azote ammoniacal par méthode kit Hach LCK 302/LCK303/LCK305

4.7.2.1. Mode opératoire :

Les échantillons sont prélevés dans des flacons en polyéthylène. il est conseillé de les stocker dans le laboratoire à l'abri de la lumière.

1. Enlevez délicatement la feuille de protection Dois Cap Zip.
2. Dévissez le Dois Cap Zip.
3. Pipeter 0.2 ml de l'échantillon dans la cuve à code barre pour LCK302/ LCK303 et 0.5ml de l'échantillon pour LCK305.
4. Vissez immédiatement le Dois Cap Zip en dirigeant le cannetage vers le haut et Secouer énergiquement.
5. Attendre 15 min ; bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer en appuyant sur le menu code à barre.

Le DR2800 affiche des résultats en mg/l de N-NH₄, ces résultats sont enregistrés dans le cahier de post puis sur trame informatique.

Pour le contrôle interne de la manipulation et du matériel il suffit de remplacer

La prise d'essai par la solution standard de l'étalon LCA 705 pour LCK302, LCA703 pour LCK303, et LCA704 pour LCA 305 et suivre les mêmes étapes indiquées dans le logigramme de la détermination de l'Azote ammoniacal (LCK 302-LCK303-LCK305)

5.7.3. Dosage des nitrites par méthode Kit Hach LCK 341

4.7.3.1. Mode opératoire :

Les échantillons sont prélevés dans des flacons en polyéthylène. il est conseillé de les stocker dans le laboratoire à l'abri de la lumière. Si les échantillons doivent être conservés, les stocker au réfrigérateur pour les 24H qui suivent le prélèvement entre 15°C.

Annexe 1

1. Enlevez délicatement la feuille de protection Dois Cap Zip détachable.
2. Dévissez le Dois Cap Zip.
3. Pipeter 2ml de l'échantillon.
4. Vissez immédiatement le Dois Cap Zip en dirigeant le cannetage vers le haut.
5. Secouer énergiquement ; attendre 10min et mélanger de nouveau.
6. Bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer en appuyant sur le menu code à barre.

Le spectrophotomètre (DR2800) indique des résultats en ring/I de N-NO₂.

Les résultats d'analyses sont enregistrés dans le cahier de poste puis sous trame informatique. Pour le contrôle interne de la manipulation et du matériel il suffit de remplacer la prise d'essai par la solution standard de l'étalon LCA 709 et suivre les mêmes étapes indiquées dans le logigramme de LCK 341.

4.7.4. Dosage des nitrates par méthode Kit Hach LCK339 :

4.7.4.1. Mode opératoire :

Les échantillons sont prélevés dans des flacons en polyéthylène. Il est conseillé de les stocker dans le laboratoire à l'abri de la lumière. Si les échantillons doivent être conservés, les stocker au réfrigérateur pour les 24H qui suivent le prélèvement entre 15°C et si l'analyse ne s'effectuera après 7 jours, la conservation se fait par acidification à un pH entre 1-2 avec HCL et pour un mois il suffit de congeler les échantillons à -20°C.

1. Pipeter 1ml d'échantillon dans la cuve à code barre.
2. Ajouter 0.2 ml de la solution A (LCK 339).
3. Fermer la cuve et mélanger le contenu en le retournant plusieurs fois de suite jusqu'à ce que le mélange soit complet.
4. Laisser reposer la cuve pendant 15min.
5. Insérer la cuve dans le DR2800 après avoir nettoyé son extérieur en appuyant sur le menu code à barre.

Le spectrophotomètre (DR 2800) indique des résultats en mg/I de N-NO₃; ces derniers sont enregistrés sur le cahier de poste puis sur trame informatique.

Pour le contrôle interne de la manipulation et du matériel il suffit de remplacer la prise d'essai par la solution standard de l'étalon LCA 703 et suivre les mêmes étapes indiquées dans le logigramme de LCK 339.

4.7.5. Dosage de l'azote total LCK 338 & LCK 238 :

4.7.5.1. Mode opératoire :

1. Pipeter l'échantillon et ajouter la solution A et une pastille B.

Pour LCK 338 : Pipeter 0.2ml d'échantillon dans le tube à essai sec puis ajouter 2.3ml de la solution A et une pastille B.

Pour LCK 238: Pipeter 0.5ml d'échantillon dans le tube à essai sec puis ajouter 2ml de la solution A et une pastille B.

Fermer immédiatement le tube et ne pas mélanger.

2. Chauffer le tube à essai 60minutes à 100°C

A l'aide du thermostat HACH LT200.

Annexe 1

3. Bien mélanger la cuve à code barre.

Jusqu'à ce que le lyophilisat se soit complètement dissous du **Micro cap C**.

Pour le contrôle interne de la manipulation et du matériel il suffit de remplacer la prise d'essai par la solution standard de l'étalon **LCA 708** pour **LCK 338** et **LCA 700** pour **LCK 238** et suivre les mêmes étapes indiquées dans le logigramme de LCK 338 et LCK 238.

4.7.6. Dosage du phosphore total méthode Kit Hach LCK 350

4.7.6.1. Mode opératoire :

Les échantillons sont prélevés dans des flacons en polyéthylène. Il est conseillé de les stocker dans le laboratoire à l'abri de la lumière. Il convient de conserver les échantillons pour le dosage du phosphore total en ajoutant de l'acide sulfurique juste après l'échantillonnage afin de ramener le pH à une valeur < 2 , temps de conservation maximale : 1 mois.

1. Enlever délicatement la feuille de protection du dos cape Zip
2. Dévisser le Dois cape Zip.
3. Pipeter 0.4 ml de l'échantillon.
4. visser le Dois cape Zip en dirigeant le cannetage ver le haut.
5. Secouer énergiquement. Chauffer dans le thermostat a 100°C pendant 60 min.
6. visser un Dois cape Zip (LCK 350) gris sur la cuve.
7. Mélanger le contenu de la cuve en le retournant plusieurs fois de suite,
8. Laisser reposer la cuve pendant 10 min puis mélanger de nouveau.

Nettoyer bien l'extérieure de la cuve et mesurer en appuyant sur le menu code a barre.

Le spectrophotomètre (DR2800) indique des résultats en mg/l de P- PO^{-3}_4 . Les résultats d'analyses sont enregistrés dans le cahier de poste puis sous trame informatique.

Pour le contrôle interne de la manipulation et du matériel il suffit de remplacer la prise d'essai par la solution standard de l'étalon LCA 703/708 et suivre les mêmes étapes indiquées dans le logigramme de LCK 350.

4.8. Prélèvement de boues STEP REGHAIA :

4.8. But :

Ce mode opératoire a pour objet de défi

- La gestion de collecte des échantillons de boues d'épuration issues du Procès des stations d'épuration, pour effectuer des analyses au laboratoire.
- La transmission des échantillons au laboratoire et leur conservation.

V.4.8.2. Mode opératoire :

V.4.8.2.1. prélèvement de boues :

L'opérateur effectue des prélèvements selon le planning de prélèvement.

Il prélève :

- Un mélange moyen de 500 ml de boues primaires chaque 2 h.
 - Au moins 1 litre de boues activées par bassin (bassins d'aération 1 et 2). 500 ml de boues recerclées.
 - 500 ml de boues épaissies par ouvrage (épaississeur 1 et 2).
 - 500 ml de sur verses de chaque épaississeur, 1 fois par semaine.
-

Annexe 1

- 500 ml de boues stockées.
- Environ 50 g de boue déshydratée de chaque benne, pour en constituer un échantillon moyen en fin de déshydratation.
- 500 ml de centrât de chaque centrifugeuse, pour en constituer un prélèvement moyen d'un litre.

Les échantillons sont transmis au laboratoire et conservés au réfrigérateur, pour y être analysés.

4.8.2.2. PRELEVEMENTS FILIERE BOUE :

4.9. Détermination de l'Indice de boue et de l'Indice de Morlan

4.9.1. But :

Ce protocole opératoire décrit la méthode de détermination de l'indice de boue I_B et l'indice de Morlan I_m .

4.9.2. Mode opératoire :

4.9.2.1. Prélever un échantillon de boue :

La détermination de l'indice de boue et de l'indice de Morlan est réalisée immédiatement après le prélèvement de l'échantillon dans un flacon en polyéthylène.

4.9.2.2. Calculer l'indice de Morlan et l'indice de boue :

$$IB \text{ (ml/g)} = \frac{V30 \text{ (avec dilution pour être } < 300 \text{ ml/l)}}{\text{MES boues bassin d'aération (g/l)}} \times \text{facteur de dilution}$$

$$IM \text{ (ml/g)} = \frac{V30}{\text{MES boues bassin d'aération (g/l)}}$$

Mesurer la concentration des boues activées en MES en g, comme précisé dans le mode opératoire « Dosage des matières en suspension ».

4.10. OBSERVATION MICROSCOPIQUE DE LA BOUE ACTIVEE

4.10.1. But :

Ce mode opératoire décrit une technique pour identifier les différents micro-organismes existant dans la boue activée.

4.10.2. Mode opératoire :

1. Mélanger un échantillon de boue activée ;
 2. Pipeter une goutte de l'échantillon ;
 3. Etaler une goutte de la suspension bactérienne entre lame et lamelle ;
 4. Faire une observation microscopique par un microscope photonique ;
 5. Identifier les différents micro-organismes existants dans le biologique en se basant sur la notice (aide et diagnostic des stations d'épuration par l'observation microscopique des boues activées (Crémage édition).
-

Annexe 2

V.1. VOLET EAUX :

Les résultats des analyses physico-chimiques concernant le pH, la température, la conductivité et les MES allant du mois de février au mois d'avril 2019 sont données dans le **tableau N°V.1**.

Tableau N°V.1 : Les résultats des analyses physico-chimiques de la période allant du mois de février et de mars et au mois d'avril 2019.

Date	PH		T (°c)		COND (us/cm)		MES (mg/l)	
	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE
18/02/2019	7,88	8,48	10,6	10,6	1848	1968	92	7
21/02/2019	7,92	8,22	9,8	10,2	1927	1668	280	6
24/02/2019	8,06	8,35	6,8	9,5	1752	18230	218	10
28/02/2019	8,13	8,58	9	8,7	1764	1894	152	12
04/03/2019	8,02	8,27	8,9	9,2	1900	1928	174	14
06/03/2019	8,3	8,49	14,2	15,4	1980	1906	154	15
09/03/2019	8,06	8,52	10	9,8	1908	1835	184	19
14/03/2019	8,14	8,61	11,5	10,8	1889	1911	192	17
16/03/2019	8,39	8,56	15,5	15,5	1892	1879	154	14
21/03/2019	8,05	8,27	8,1	8,7	1356	1153	268	8
24/03/2019	8,09	8,25	12,3	11,9	1782	1529	122	13
28/03/2019	8,18	8,45	9,4	10,5	1808	1724	130	9
02/04/2019	7,68	8,11	15,2	16,1	1769	1631	326	10
05/04/2019	7,55	7,87	4,8	6,2	1516	1818	300	9
07/04/2019	7,61	8,03	7,5	10,8	1300	1507	214	11
11/04/2019	7,58	8,04	9,3	10,1	1766	1742	124	12
15/04/2019	7,7	8,16	11,3	13,2	1770	1330	128	7
17/04/2019	7,86	7,82	11,9	19,7	1765	1794	194	17
21/04/2019	7,76	7,58	12,6	17,2	1771	1834	236	10
25/04/2019	7,67	7,7	6,2	6,7	1618	1620	120	6
28/04/2019	7,8	7,89	8,9	13,7	1650	1624	124	14

Annexe 2

V.1.2. Les charge polluantes :

Les valeurs obtenues pour la demande chimique et biochimique en oxygène sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau N°V.1.2 : Les résultats des DCO et DBO₅.

Date	DCO mg o ₂ /l		DBO ₅ mg o ₂ /l	
	EB	EE	EB	EE
18/02/2019	373	38,5	240	10
21/02/2019	521	35,8	360	4
24/02/2019	340	13,8	240	4
28/02/2019	277	22,1	180	8
04/03/2019	388	46,9	220	14
06/03/2019	421	41,2	240	8
09/03/2019	481	32,8	300	4
14/03/2019	390	34,2	220	10
16/03/2019	303	31,3	220	6
21/03/2019	459	45,7	340	14
24/03/2019	201	42,1	180	8
28/03/2019	361	48	180	6
02/04/2019	584	27,4	320	6
05/04/2019	514	42,1	260	6
07/04/2019	393	46,8	220	8
11/04/2019	464	42,9	160	10
15/04/2019	366	27,6	200	8
17/04/2019	392	41,9	240	10
21/04/2019	540	32,2	280	6
25/04/2019	467	21,9	180	8
28/04/2019	335	46,8	180	8

Annexe 2

V.1.3. Les formes azotées

Tableau N°V.1.3: Les résultats des formes azotées.

Date	NT (mg/l)		N-NH ₄ ⁺ (mg/l)		N-NO ₃ ⁻ (mg/l)	
	EB	EE	EB	EE	EB	EE
18/02/2019	84,80	59,00	26,70	19,00	0,69	1,75
21/02/2019	129,00	44,50	21,50	22,90	0,73	1,16
24/02/2019	102,00	37,70	34,50	19,10	0,64	1,93
28/02/2019	245,00	36,50	22,10	14,60	1,08	3,02
04/03/2019	156	57,3	37,5	25,7	1,99	0,07
06/03/2019	71,00	25,60	14,7	7,14	0,50	2,43
09/03/2019	131	38,7	15,8	6,88	0,82	2,67
14/03/2019	97,7	42,3	33,3	16,6	0,815	4,97
16/03/2019	102	44,1	40,3	18,1	1,49	3,13
20/03/2019	69,30	32,70	15,2	6,25	1,03	2,69
24/03/2019	75,3	43,8	10,1	2,97	1,08	6,43
28/03/2019	74,1	41,80	24	6,3	0,67	2,20
02/04/2019	84,80	26,10	26,40	10,40	0,71	2,74
05/04/2019	114	56,90	43	0,15	1,44	1,88
07/04/2019	82,5	43,60	18,5	16,1	0,65	1,97
11/04/2019	245	59,8	39,5	10,2	0,52	0,66
15/04/2019	155	43,60	6,24	1,2	0,68	1,06
17/04/2019	263	98,7	29,1	21,2	0,64	2,43
21/04/2019	291,0	118,00	22,3	19	0,84	4,68
25/04/2019	373,6	177,80	28,1	10	0,30	0,39
28/04/2019	303,0	104,00	29,4	10,3	0,61	2,14

Suite tableau N° V.1.3 : Les résultats des formes azotées.

Date	N-NO ₂ ⁻ (mg/l)		NTK (mg/l)		N- org (mg/l)	
	EB	EE	EB	EE	EB	EE
18/02/2019	0,12	0,22	83,99	57,03	57,29	38,03
21/02/2019	0,07	0,18	128,21	43,16	106,71	20,26
24/02/2019	0,06	0,28	101,30	35,49	66,80	16,39
28/02/2019	0,07	0,22	243,85	33,26	221,75	18,66
04/03/2019	0,09	0,29	153,92	56,94	116,42	31,24
06/03/2019	0,05	0,72	70,45	22,46	55,75	15,32
09/03/2019	0,10	0,73	130,08	35,31	114,28	28,43
14/03/2019	0,2	0,472	96,69	36,86	63,39	20,26
16/03/2019	0,02	0,81	100,49	40,16	60,19	22,06
20/03/2019	0,09	1,64	68,18	28,37	52,98	22,12
24/03/2019	0,02	0,57	74,20	36,80	64,10	33,83
28/03/2019	0,08	0,95	73,36	38,65	49,36	32,35
02/04/2019	0,09	0,52	83,99	22,84	57,59	12,44
05/04/2019	0,26	0,04	112,30	54,98	69,30	54,83

Annexe 2

Date	N-NO ₂ ⁻ (mg/l)		NTK (mg/l)		N- org (mg/l)	
	EB	EE	EB	EE	EB	EE
07/04/2019	0,56	0,23	81,3	41,4	62,8	25,3
11/04/2019	0,094	0,07	244,38	59,07	204,88	48,87
15/04/2019	0,08	0,07	154,24	42,47	148	41,27
17/04/2019	0,08	0,21	262,28	96,06	233,18	74,86
21/04/2019	0,12	0,28	290,04	113,04	267,74	94,04
25/04/2019	0,14	0,37	373,16	177,04	345,06	167,04
28/04/2019	0,11	0,92	302,28	100,94	272,88	90,64

V.1.4. Le phosphore total :

Tableau N°V.1.4 .1: Les valeurs du phosphore total :

Date	Pt (mg/l)	
	EB	EE
18/02/2019	3,48	0,58
21/02/2019	6,39	0,43
24/02/2019	5,06	0,40
28/02/2019	4,51	0,36
04/03/2019	7,54	3,2
06/03/2019	3,98	1,95
09/03/2019	3,73	0,13
14/03/2019	5,1	0,892
16/03/2019	4,82	2,11
20/03/2019	3,53	0,17
24/03/2019	3,26	1,28
28/03/2019	4,56	1,30
02/04/2019	4,57	0,83
05/04/2019	5,44	1,09
07/04/2019	4,04	0,60
11/04/2019	16,30	1,15
15/04/2019	5,36	0,69
17/04/2019	5,20	1,23
21/04/2019	4,11	1,68
25/04/2019	4,93	1,20
28/04/2019	3,75	0,75

Annexe 2

V.2. VOLET BOUES :

Nous avons déterminé les matières en suspension avec le polymère et le V_{30} pour les boues et les valeurs sont données dans Les tableau N°V.2.1 et tableau N°V.2.2.

Tableau N° V.2.1 : Les résultats d'analyses des boues.

Les valeurs du V_{30} pour les deux bassins (BA_1 et BA_2).

Date	D 30 min (ml /l)				
	BA_1	BA_1 (d)	BA_2	BA_2 (d)	Fact dil
20/02/2019	650	110	700	130	1/4
27/02/2019	960	170	950	180	1/4
06/03/2019	840	130	900	150	1/4
13/03/2019	940	160	930	130	1/4
20/03/2019	940	170	950	180	1/4
27/03/2019	790	130	770	120	1/4
03/04/2019	810	130	890	120	1/4
10/04/2019	960	170	960	160	1/4
17/04/2019	940	160	960	170	1/4
24/04/2019	960	150	950	160	1/4
28/04/2019	940	150	930	140	1/4

V.2.2 : Les résultats d'analyses des boues.

Les valeurs des matières en suspension dans les deux bassins d'aération.

Date	MES (g/l)	
	BA_1	BA_2
20/02/2019	6	6,3
27/02/2019	9,9	9,7
06/03/2019	7,2	7,9
13/03/2019	8,3	8,6
20/03/2019	9,3	9,3
27/03/2019	5,7	5,9
03/04/2019	10,5	10,7
10/04/2019	6,6	6,9
17/04/2019	10,4	9,2
24/04/2019	8,5	8,1
28/04/2019	8,1	8,2
