



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



Mémoire présenté par :

MELIANI Zouhir

SERIKMA Khaled

Mémoire de fin d'études

**En vue de l'obtention d'un diplôme d'ingénieur d'état
en Hydraulique**

THEME

**Caractérisation des paramètres de décision
pour le diagnostic des STEP par l'Analyse
en Composantes Principales (ACP)
Cas des STEP de Bouverdes et Tipaza**

Président : Mr. EH.BENYOUSSEF

Encadreur : Mr. A.BERMAD

Examineurs:

Mr. A. LEFKIR

Mr. M. AMITOUCHE

Professeur (ENP)

Professeur (ENP)

Docteur (ENTP)

M.A.A (Université de Bouverdes)

Promotion : 2014

Remerciement

En premier et en dernier, avant tout et après tout, dans le bonheur et dans le malheur, merci à Allah le tout puissant pour toutes ses grâces et ses faveurs, pour m'avoir accordé la chance d'étudier à l'Ecole Nationale Polytechnique et m'avoir donné le courage et la force d'accomplir ce modeste travail.

On tient aussi à exprimer nos reconnaissance à nos parents pour avoir contribué à ce que nous sommes aujourd'hui, et qui on accepter de nous voir si longtemps sur les «bancs d'école» !

*Ce travail a été réalisé au sein de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, il a été encadré et dirigé avec tact et précision par le Professeur **Abdelmalek BERMAD** qui nous a formés, encouragés, accompagnés, critiqués et nous supporté pendant ces derniers mois. On te Remercie pour tout cela Abdelmalek, ainsi que pour la somme de choses qu'on a appris avec toi pendant les trois années précédentes.*

*Un grand merci à madame **A.HAMRICHE** et Dr **A. LEFKIR** pour ses soutiens, je les remercie vivement pour l'intérêt qu'ils ont porté pour ce travail.*

*J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur le Pr **EH. BENYOUSSEF** qui m'a fait l'honneur de présider le jury de cette thèse.*

*Je remercie Dr **A. LEFKIR** et Mr **M.AMITOUCHE** qui ont accepté de juger ce travail.*

Enfin nous remercions tous ceux qui nous ont soutenus durant le moment difficile.

Dédicace

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

A mes frères : Mourad, Nabil, Yacine, Massin.

Mes sœurs : Amel, cylvia.

A ma grande famille.

A tous mes amis d'hier et d'aujourd'hui (Syphax, Zouhir, Musta, Nacir, Samir, Youcef, Hamid, El-hachemi, Sofiane, Hmidouch) avec qui j'ai passé les plus beaux moments de ma vie.

A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de cette étude.

Khaled

*Au nom de Dieu le tout puissant et le très miséricordieux
par la grâce duquel on a pu réaliser ce travail que je dédie :*

*Mes deux étoiles qui m'ont éclairée le chemin de la vie. A
ceux qui m'ont tout donné sans rien en retour :*

Mes très chers parents.

*Je n'oublie jamais votre grand soutien et vos
encouragements, vos énormes sacrifices pour moi durant
mes études : Je ne trouverai jamais les mots pour vous
remercier... !*

*Que Dieu vous Garde en bonne santé et vous Offre le
Paradis.*

*A mes Frères et Sœurs à qui je n'oublie jamais leur soutien
et leur fraternité.*

A mes Nièces et Neveux

*A tous mes amis : Abdou, Tarek, Khaled, Amine, Rahim's
avec qui j'ai passé les plus beaux moments de ma vie.*

*A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin
à l'aboutissement de cette étude.*

Zouhir

ملخص:

مياه الصرف الصحي ضروري للتعامل مع زيادة تركيز الملوثات اليوم. الوعي بالمشاكل البيئية الناجمة عن عمليات التصريف من محطات معالجة مياه الصرف الصحي والرغبة في تحسين والحفاظ على نوعية المياه المستقبلية وقد أدى التزام لزيادة أداء محطات معالجة مياه الصرف الصحي، سواء من حيث نوعية العلاج من حيث الموثوقية. في هذا السياق، عملنا هو موضع اهتمام خاص لتشخيص تشغيل محطتين لمعالجة مياه الصرف، وتلك من بومرداس وتيبازة بنهج الرياضية يسمى "تحليل المركبات الرئيسية" للكشف عن الأعطال، ودراسة تأثير معالجة المياه على استهلاك الطاقة، وإعادة تدوير الحمأة والحمأة الزائدة.

الكلمات الرئيسية: معالجة المياه العادمة، تحليل المكون الرئيسي (PCA)، والطاقة، وإعادة تدوير الحمأة والحمأة الزائدة.

Résumé :

L'épuration des eaux usées et aujourd'hui indispensable pour faire face à l'augmentation des concentrations en substances polluantes. La prise de conscience des problèmes environnementaux causés par les rejets des stations d'épuration et la volonté d'améliorer et de préserver la qualité des milieux récepteurs a entraîné l'obligation d'augmenter les performances des stations d'épuration, tant en terme de qualité de traitement qu'en terme de fiabilité. Dans ce contexte, notre travail s'intéressera particulièrement à diagnostiquer le fonctionnement de deux stations d'épuration, celles de Boumerdes et de Tipaza par une approche mathématique appelée « Analyse en Composantes Principales » pour détecter les anomalies de fonctionnement, étudier l'impact de l'épuration des eaux sur la consommation d'énergie, sur la recirculation des boues et sur les boues en excès.

Mots clé : Epuration des eaux usées, analyse en composantes principales (ACP), énergie, Boues de Recirculation, Boues en Excès.

Abstract:

Now days, water purification is essential to face the tough consequences of the existence of polluting substances in nature. Taking care of environmental problems caused by waste water treatment plant (WWTP) rejections and the will to preserve Receivers Lake and streams has lead us to look for a way to improve the efficiency of WWTP economically and environmentally. The goal of our study is to make a diagnostic of the WWTP of Boumerdes in order to make its

In this context, our work is of particular interest to diagnose the operation of two wastewater treatment plants, those of Boumerdes and Tipaza by a mathematical approach called "Principal Component Analysis" to detect malfunctions, study the impact of water treatment on the energy consumption, the recirculation sludge and excess sludge.

Key words: Water purification, Energy, Principal components analyze, the recirculation sludge, excess sludge.

Sommaire

Introduction générale	1
------------------------------------	---

CHAPITRE I : Pollution de l'eau

I.1. INTRODUCTION	2
I.2. ORIGINES DES EAUX USEES	2
I.2.1. Eaux usées domestiques.....	2
I.2.2. Eaux usées industrielles.....	2
I.2.3. Eaux agricoles	3
I.2.4. Eaux pluviales.....	3
I.3. LA POLLUTION DE L'EAU	3
I.3.1. Classification de la pollution	3
I.3.2. Les Paramètres Caractéristiques des eaux usées	5
I.4. COLLECTE DES EAUX	11
I.4.1. Le système unitaire	12
I.4.2. Le système séparatif	13
I.5. CONCLUSION	13

CHAPITRE II : Epurations des eaux usées

II.1. INTRODUCTION	14
II.2. IMPLANTATION D'UNE STATION D'EPURATION:	14

II.3. CHOIX DU TYPE DE STATION D'EPURATION	13
II.4. PROCEDES D'EPURATION DES EAUX USEES	13
II.4.1. Le relevage	14
II.4.2. Les prétraitements	16
II.4.3. Le traitement primaire	17
II.4.4. Traitement secondaire	17
II.4.5. Traitement tertiaire	23
II.4.6. Traitement des boues	28
II.5. CONCLUSION	30

Chapitre III : Analyse en Composantes Principales (ACP)

III.1. INTRODUCTION	31
III.2. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES	32
III.2.1. Le but	32
III.2.2. Le cadre	32
III.2.3. Application de l'ACP	33
III.3 DEFINITION DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES	33
III.3.1. Notions d'individu et de caractère	33
III.3.2. Définition algébrique	34
III.3.3. Définition géométrique	35
III.4. PROCEDE D'APPLICATION DE L'ACP	36
III.4.1. Calcul de la matrice des covariances	36

III.4.2. Le choix de la métrique.....	36
III.4.3. Recherche des axes principaux	37
III.4.4. Calcul des composantes principales.....	40
III.5.PRINCIPAUX RESULTATS	40
III.6. ANALYSE DES RESULTATS	40
III.7.REPRESENTATION GRAPHIQUE.....	42
III.7.1.La carte des variables.....	42
III.7.2.La carte des individus.....	43
III.8.INFLUENCE DE LA TRANSFORMATION DES VARIABLES.....	43
III.8.1.Variable centrée.....	43
III.8.2.Variable réduite.....	44
III.9. CONCLUSION.....	47

Chapitre IV : Présentation des STEP

IV.1. STEP DE BOUMERDES.....	48
IV.1.1. Situation géographique de la STEP	48
IV.1.2 Caracteristiques techniques.....	49
IV.1.3. Paramètres de pollution de conception	49
IV.1.4. Description des procédés d'épuration au niveau de la station	53
IV.2. STEP TIPAZA (STATION DE CHENOUA)	55
IV.2.1. Localisation.....	55

IV.2.2 Caractéristiques Techniques	55
IV.2.3. Description des procédés d'épuration au niveau de la station	56

Chapitre V : Statistiques et Critiques des Données

V.1. STEP DE BOUMERDES.....	58
V.1.1. Statistiques Descriptives	58
V.1.2. Evolution des paramètres de pollution dans le temps.....	58
V.2. STEP DE TIPAZA.....	68
V.2.1. Statistiques Descriptive.....	68
V.1.2. Evolution des paramètres de pollution dans le temps.....	68
V.3. DETERMINATION DES VALEURS SINGULIERES	76
V.3.1. Test des horsains de Grubbs et Beck,.....	76
V.3.2. Résultat du test pour la STEP de Boumerdes	77
V.3.3. Résultat du test pour la STEP de Tipaza.....	79

Chapitre VI : APPLICATION DE L'ACP SUR LES DONNEES DE LA STEP DE BOUMERDES ET TIPAZA

VI.1. INTRODUCTION.....	80
VI.2.PROCEDURE DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES	80
VI.2.1. Données utilisées.....	80
VI.2.2.Résultats de l'ACP.....	80

VI.3.APPLICATION SUR LES DONNEES DE LA STEP DE BOUMERDES	81
VI.3.1.Application de l'ACP sur les paramètres de pollution d'entrée (Eau brute)	81
VI.3.2.Application de l'ACP sur les paramètres de l'eau (Entré/Sortie)	91
VI.3.3. Application de l'ACP sur les rapports d'élimination de pollution et Rendement énergétique.....	95
VI.3.4. Application de l'ACP sur les rapports d'élimination de pollution et la recirculation des boues.....	104
VI.3.5. Application de l'ACP sur les rapports d'élimination de pollution et les boues en excès.....	113
 VI.4.APPLICATION SUR LES DONNEES DE LA STEP DE TIPAZA	120
VI.4.1.Application de l'ACP sur les paramètres de pollution d'entrée (Eau brute)	120
VI.4.2.Application de l'ACP sur les paramètres de l'eau (Entré/Sortie)	126
VI.4.3.Application de l'ACP sur les rapports d'élimination de pollution et Rendement énergétique.....	130
VI.4.4.Application de l'ACP sur les rapports d'élimination de pollution et la recirculation des boues.....	135
VI.4.5.Application de l'ACP sur les rapports d'élimination de pollution et les boues en excès.....	139
 Conclusion générale	145
 Bibliographie	147

Liste des figures

CHAPITRE I : Généralités sur les eaux usées

Figure I.1 : Réseau unitaire.....12

Figure I.2 : Réseau séparatif.....13

CHAPITRE II : Procédés d'épuration des eaux usées

Figure II.1 : Schéma classique d'une station d'épuration.....16

Figure II.2 : Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien.....19

Figure II.3 : Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique.....20

Figure II.4 : Synoptique d'une STEP à boue activée.....20

Figure II.5 : Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel.....22

Figure II.6 : Schéma de principe d'un lagunage aéré.....23

Figure II.7 : Epaissement des boues.....28

Figure II.8 : Déshydratation des boues.....29

CHAPITRE IV : Présentation des STEP

Figure IV.1 : *STEP de Boumerdes [google earth]*48

Figure IV.2 : *Vue d'ensemble des ouvrages de la STEP de Boumerdes.*49

Figure IV.3 : *Organigramme d'exploitation de la STEP de Boumerdes.*.....50

Figure IV.4 : *Bassin d'orage de la STEP de Boumerdes*51

Figure IV.5 : *Dégrilleur du type à champ courbe.*52

Figure IV.6 : *Dessableur-Déshuileur.*52

Figure IV.7 : *Bassin d'aération.*53

Figure IV.8 : *Décanteur-Clarificateur*53

Figure IV.9 : *Bassin de chloration*54

Figure IV.10 : *Presse à bande*.....54

Figure IV.11 : *Photo de la STEP par Google earth*55

Figure IV.12 : *Synoptique de la STEP de Tipaza*56

Figure IV.13 : *Organigramme d'exploitation de la STEP de Tipaza*57

CHAPITRE V : Statistique et critiques des données

Figure V.1 : Evolution journalière du PH de l'eau brute (STEP Boumerdes).....	59
Figure V.2 : Evolution journalière du PH de l'eau épurée (STEP Boumerdes)	59
Figure V.3 : Variation journalière de la température de l'eau brute (STEP Boumerdes)	59
Figure V.4 : Variation journalière de la température de l'eau épurée (STEP Boumerdes).....	60
Figure V.5 : Evolution journalière de la concentration en MES à l'entrée de la STEP Boumerdes.....	60
Figure V.6 : Evolution journalière de la concentration en MES à la sortie de la STEP Boumerdes	60
Figure V.7 : Evolution de la Demande Biologique en Oxygène à l'entrée de la STEP Boumerdes	61
Figure V.8 : Evolution de la Demande Biologique en Oxygène à la sortie de la STEP Boumerdes.....	61
Figure V.9 : Evolution de la Demande Chimique en Oxygène à l'entrée de la STEP de Boumerdes.....	62
Figure V.10 : Evolution de la Demande Chimique en Oxygène à la sortie de la STEP de Boumerdes	62
FigureV.11 : Evolution de l'ammonium (NH_4^+) à l'entrée de la STE de Boumerdes.....	63
Figure V.12 : Evolution de l'ammonium (NH_4^+) à la sortie de la STEP de Boumerdes	63
Figure V.13 : Evolution du Nitrite (NO_2^-) à l'entrée de la STEP de Boumerdes.	63
Figure V.14 : Evolution du Nitrite (NO_2^-) à la sortie de la STEP.	64
Figure V.15 : Evolution du Nitrate (NO_3^-) à l'entrée de la STEP.	64
Figure V.16 : Evolution du Nitrate (NO_3^-) à la sortie de la STEP.	64
Figure V.17 : Evolution du NTK à l'entrée de la STEP de Boumerdes.	65
Figure V.18 : Evolution du NTK à la sortie de la STEP de Boumerdes.....	65
FigureV.19 : Evolution de PO_4^{3-} à l'entrée de la STEP de Boumerdes.	65
Figure V.20 : Evolution de PO_4^{3-} à la sortie de la STEP de Boumerdes.	66
Figure V.21 : Evolution du débit d'entré journalier de la STEP de Boumerdes..	66
Figure V.22 : Evolution de l'énergie totale consommée à la STEP de Boumerdes	66

Figure V.23 : <i>Evolution des Boues de Recirculation à la STEP de Boumerdes</i>	67
Figure V.24 : <i>Evolution des Boues en excès à la STEP de Boumerdes</i>	67
Figure V.25 : <i>Evolution journalière de la concentration en MES à l'entrée de la STEP de Tipaza</i>	68
Figure V.26 : <i>Evolution journalière de la concentration en MES à la sortie de la STEP de Tipaza</i>	69
Figure V.27 : <i>Evolution de la Demande Biologique en Oxygène à l'entrée de la STEP de Tipaza</i>	69
Figure V.28 : <i>Evolution de la Demande Biologique en Oxygène à la sortie de la STEP de Tipaza</i>	67
Figure V.29 : <i>Evolution de la Demande Chimique en Oxygène à l'entrée de la STEP de Tipaza</i>	70
Figure V.30 : <i>Evolution de la Demande Chimique en Oxygène à la sortie de la STEP de Tipaza</i>	70
Figure V.31 : <i>Evolution de l'ammonium (NH₄⁺) à l'entrée de la STEP de Tipaza</i>	70
Figure V.32 : <i>Evolution de l'ammonium (NH₄⁺) à la sortie de la STEP de Tipaza</i>	71
Figure V.33 : <i>Evolution du Nitrite (NO₂⁻) à l'entrée de la STEP de Tipaza</i>	71
Figure V.34 : <i>Evolution du Nitrite (NO₂⁻) à la sortie de la STEP de Tipaza</i>	71
Figure V.35 : <i>Evolution du Nitrate (NO₃⁻) à la sortie de la la STEP de Tipaza</i>	72
Figure V.36 : <i>Evolution du Nitrate (NO₃⁻) à la sortie de la STEP de Tipaza</i>	72
Figure V.37 : <i>Evolution du PO₄⁻³ à l'entrée de la STEP de Tipaza</i>	72
Figure V.38 : <i>Evolution de PO₄⁻³ à la sortie de la STEP de Tipaza</i>	73
Figure V.39 : <i>Evolution du débit d'entré journalier de la STEP de Tipaza</i>	73
Figure V.40 : <i>Evolution de l'énergie totale consommée à la STEP de Tipaza</i>	73
Figure V.41 : <i>Evolution des Boues de recirculation à la STEP de Tipaza</i>	74
Figure V.42 : <i>Evolution des Boues en excès à la STEP de Tipaza</i>	74
Figure V.43 : <i>Histogramme de rendement des paramètres de pollution de la STEP de Boumerdes</i>	75

Figure V.44 : Histogramme de rendement des paramètres de pollution de la STEP de Tipaz.....	75
--	----

CHAPITRE VI : application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

Figure VI.1 : Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle journalière [1×2].....	84
Figure VI.2 : Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle journalière [1×3].....	85
Figure VI.3 : Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle journalière [2×3]	86
Figure VI.4 : Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle mensuelle [1×2].....	89
Figure VI.5 : Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle mensuelle [1×3].....	90
Figure VI.6 : Paramètres de pollution (Entrée-Sortie) à l'échelle journalière [1× 2]	93
Figure VI.7 : Paramètres de pollution (Entrée-Sortie) à l'échelle mensuelle [1× 2].....	94
Figure VI.8 : Rapport-Rendement énergétique à l'échelle journalière [1×2].	98
Figure VI.9 : Rapport-Rendement énergétique à l'échelle journalière [1×3].....	99
Figure VI.10 : Rapport-Rendement énergétique à l'échelle mensuelle [1×2].....	102
Figure VI.11 : Rapport-Rendement énergétique à l'échelle mensuelle [1×3].....	103
Figure VI.12 : Rapport-Rendement énergétique à l'échelle mensuelle [2×3].	103
Figure VI.13 : Taux de recirculation des boues /à l'échelle journalière [1×2].	107
Figure VI.14 : Rapport- Taux de recirculation des boues /à l'échelle journalière [1×3].	108
Figure VI.15 : Rapport- Taux de recirculation des boues /à l'échelle journalière [2×3].	109
Figure VI.16 : Rapport- Taux de recirculation des boues /à l'échelle mensuelle [1×2].....	112
Figure VI.17 : Rapport- Taux de recirculation des boues /à l'échelle mensuelle [1×3].	112
Figure VI.18 : Rapport –volume de boues en excès /à l'échelle journalière [1×2].....	115
Figure VI.19 : Rapport – volume de boues en excès /à l'échelle journalière [2×3]	116
Figure VI.20 : Rapport – volume de boues en excès /à l'échelle mensuelle [1×2]	118
Figure VI.21 : Rapport – volume de boues en excès /à l'échelle mensuelle [2×3].....	118
Figure VI.22 : Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle journalière [1×2].....	122
Figure VI.23 : Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle journalière [1×2].....	123
Figure VI.24 : Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle mensuelle [1×2].....	125
Figure VI.25 : Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle mensuelle [1×3].	125
Figure VI.26 : Paramètres de pollution (Entrée-Sortie) à l'échelle journalière [1×3].....	128
Figure VI.27 : Rapport-Rendement énergétique à l'échelle journalière [1×2].....	132

Figure VI.28 : Rapport-Rendement énergétique à l'échelle journalière [1×4].....	132
Figure VI.29 : Rapport-Rendement énergétique à l'échelle mensuelle [1×3].....	134
Figure VI.30 : Rapport-Rendement énergétique à l'échelle mensuelle [2×3].....	134
Figure VI.31 : Rapport- Taux de recirculation des boues à l'échelle journalière [1×2].....	137
Figure VI.32 : Rapport- Taux de recirculation des boues à l'échelle journalière [1×4].....	137
Figure VI.33 : Rapport- volume de boues en excès à l'échelle journalière [1×4].141
Figure VI.34 : Rapport- volume de boues en excès à l'échelle journalière [1×2].....	141
Figure VI.35 : Rapport- volume de boues en excès à l'échelle mensuelle [1×2].....	143
Figure VI.36 : Rapport- volume de boues en excès à l'échelle mensuelle [1×3].143

Liste des Tableaux

CHAPITRE IV : Présentation des STEP

Tableau IV.1 : *Paramètres de pollution de conception de la station de Boumerdes*49

Tableau IV.2 : *Paramètres de pollution de conception de la station de Tipaza*56

CHAPITRE V : Statistique et critiques des données

Tableau V.1 : *Statistiques descriptives des paramètres de pollution de la STEP de Boumerdes*58

Tableau V.2 : *Statistiques descriptives des paramètres de pollution de la STEP de Tipaza*68

Tableau V.3 : *Résultats du test de Grubbs et Beck pour la STEP de Boumerdes*77

Tableau V.4 : *Résultats du test de Grubbs et Beck pour la STEP de Tipaza*79

CHAPITRE VI : application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

Tableau VI .1 : Codification des variables (Eau brute)81

Tableau VI .2 : Matrice de corrélation des paramètres de l'eau brute (journalier)82

Tableau VI .3 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O de l'eau brute (journalier)82

Tableau VI .4 : Variance totale expliquée (paramètres de l'eau brute-journalier)83

Tableau VI .5: Matrice de corrélation entre les CP' et les variables de l'eau brute journalier83

Tableau VI .6 : Matrice de corrélation des paramètres de l'eau brute (mensuel)87

Tableau VI .7: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O de l'eau brute (mensuel)87

Tableau VI .8: Variance totale expliquée (paramètres de l'eau brute- mensuel).....	88
Tableau VI .9 : Matrice de corrélation entre les CP' et les variables de l'eau brute mensuel.....	88
Tableau VI .10: Codification des variables (Eau brute-Eau épurée).....	91
Tableau VI .11: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Eau brute-Eau épurée/ journalier).....	91
Tableau VI .12: Variance totale expliquée (Eau brute-Eau épurée/ journalier).....	92
Tableau VI .13: Matrice de corrélation entre les CP' et les variables (Eau brute-Eau épurée/ journalier).....	92
Tableau VI .14: Codification des variables (Rapport-Rendement énergétique/journalier)....	95
Tableau VI .15: Matrice de corrélation (Rapport-Rendement énergétique/journalier).....	96
Tableau VI .16: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport-Rendement énergétique/journalier).....	96
Tableau VI .17: Variance totale expliquée (Rapport-Rendement énergétique/journalier)....	97
Tableau VI .18: Matrice de corrélation entre les CP' et les variables (Rapport-Rendement énergétique/journalier).....	97
Tableau VI .19: Matrice de corrélation (Rapport-Rendement énergétique/mensuel).....	100
Tableau VI .20 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport-Rendement énergétique/mensuel).....	100
Tableau VI .21 : Variance totale expliquée (Rapport-Rendement énergétique/mensuel)....	101
Tableau VI .22 : Corrélation entre les CP' et les variables (Rapport-Rendement énergétique/mensuel).....	101
Tableau VI .23: Matrice de corrélation (Rapport- Taux de recirculation des boues /journalier).....	105
Tableau VI .24 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport- Taux de recirculation des boues /journalier).....	105

Tableau VI .25 : Variance totale expliquée (Rapport - Taux de recirculation des boues /journalier).....	106
Tableau VI .26: Matrice de corrélation entre les CP' et les variables (Rapport - Taux de recirculation des boues /journalier).....	106
Tableau VI .27: Matrice de corrélation (Rapport- Taux de recirculation des boues / mensuel).....	110
Tableau VI .28: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport- Taux de la recirculation des boues /mensuel).....	110
Tableau VI .29 : Variance totale expliquée (Rapport - Taux de recirculation des boues /mensuel).....	111
Tableau VI .30 : Matrice de corrélation entre les CP' et les variables (Rapport – Taux de recirculation des boues /mensuel).....	111
Tableau VI .31: Matrice de corrélation (Rapport- volume de boues en excès /journalier)...	114
Tableau VI .32: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport-volume de boues en excès /journalier).....	114
Tableau VI .33 : Variance totale expliquée (Rapport- volume de boues en excès /journalier).....	114
Tableau VI .34 : Corrélation entre les CP' et les variables (Rapport- volume de boues en excès /journalier).....	115
Tableau VI .35 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport- volume de boues en excès /mensuel).....	116
Tableau VI .36 : Variance totale expliquée (Rapport- volume de boues en excès / mensuel).....	117
Tableau VI .37 : Corrélation entre les CP' et les variables (Rapport- volume de boues en excès / mensuel).....	117
Tableau VI .38 : Matrice de corrélation des paramètres de l'eau brute (journalier).....	120

Tableau VI .39: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O de l'eau brute (journalier).....	121
Tableau VI .40: Variance totale expliquée (paramètres de l'eau brute-journalier).....	121
Tableau VI.41 : Corrélation entre les CP' et les variables (Paramètres de l'eau brute-journalier).....	122
Tableau VI .42: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O de l'eau brute (mensuel).....	124
Tableau VI .43 : Variance totale expliquée (paramètres de l'eau brute- mensuel).....	124
Tableau VI .44 : Matrice de corrélation entre les CP' et les variables (Paramètres de l'eau brute-mensuel).....	124
Tableau VI.45 : Codification des variables (Eau brute-Eau épurée).....	126
Tableau VI .46: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Eau brute-Eau épurée/journalier).....	127
Tableau VI .47: Variance totale expliquée (Eau brute-Eau épurée/journalier).....	127
Tableau VI .48 : Matrice de corrélation entre les CP' et les variables (Eau brute-Eau épurée/journalier).....	128
Tableau VI .49 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Eau brute-Eau épurée/mensuel).....	129
Tableau VI .50 : Matrice de corrélation (Rapport-Rendement énergétique/ journalier).....	130
Tableau VI .51 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport-Rendement énergétique/journalier).....	131
Tableau VI .52: Variance totale expliquée (Rapport-Rendement énergétique/ journalier)...	131
Tableau VI .53 : Corrélation entre les CP' et les variables (Rapport-Rendement énergétique/journalier).....	131
Tableau VI .54 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport-Rendement énergétique/mensuel).....	133
Tableau VI .55 : Corrélation entre les CP' et les variables (Rapport-Rendement énergétique/mensuel).....	133

Tableau VI .56 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport- Taux de recirculation des boues /journalier).....	136
Tableau VI .57 : Corrélation entre les CP' et les variables (Rapport- Taux de recirculation des boues /journalier).....	136
Tableau VI .58 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport- Taux de recirculation des boues / mensuel).....	138
Tableau VI .59 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport-volume de boues en excès /journalier).....	139
Tableau VI .60: Variance totale expliquée (Rapport-volume de boues en excès / journalier).....	140
Tableau VI .61 : Corrélation entre les CP' et les variables (Rapport- volume de boues en excès /journalier).....	140
Tableau VI .62 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport- volume de boues en excès / mensuel).....	142
Tableau VI .63 : Corrélation entre les CP' et les variables (Rapport- volume de boues en excès / mensuel).....	142

Introduction Générale

L'eau est une ressource précieuse qui nous est offerte par Dieu. Il nous est donc impératif de la préserver et de bien la gérer afin qu'elle ne soit pas gaspillée ou menacée. On doit donc faire face aux problèmes qui la menacent de manière économiquement efficace et durable.

La pollution des eaux est actuellement l'un des plus grands problèmes du siècle, auxquels s'attachent de nombreux pays dans le monde afin de le résoudre.

L'intérêt porté par les pouvoirs publics algériens au traitement des eaux usées s'est manifesté par l'allocation de crédits importants à la réalisation des stations d'épurations qui sont au nombre d'une centaine déjà réalisées ou en voie de réalisation.

Pour que ces stations d'épurations soient plus performantes, des considérations économiques au niveau de l'investissement en matériel ainsi que les frais d'exploitation (le coût) doivent être maîtrisés.

De même, des aspects tels que l'optimisation des procédés de traitement et la réduction des concentrations des rejets doivent également être pris en considération.

Dans ce contexte, notre travail s'intéressera particulièrement à diagnostiquer le fonctionnement de deux stations d'épuration, celles de Boumerdes et de Tipaza par une approche mathématique appelée « Analyse en Composantes Principales » pour détecter les anomalies de fonctionnement, étudier l'impact de l'épuration des eaux sur la consommation d'énergie, sur la recirculation des boues et sur les boues en excès.

Notre travail débute par une brève introduction générale où on a mis l'accent sur l'importance de la dépollution des eaux afin de préserver les ressources en eau.

Le premier chapitre est consacré à l'origine des eaux usées et les différents types de pollution et ses impacts sur l'environnement.

Les différents procédés d'épuration ont fait l'objet du deuxième chapitre, alors que dans le troisième, les bases mathématiques de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) sont présentées.

La partie pratique de ce mémoire commence par le quatrième chapitre où on a présenté les deux STEP. La critique des données recueillies a fait l'objectif du cinquième chapitre afin d'appréhender leur fiabilité.

Le sixième chapitre a été consacré à l'application de l'ACP sur les données des deux STEP et présenté l'essentiel des résultats avec leur interprétation.

Enfin, une conclusion générale mettra l'accent sur l'importance des résultats obtenus.

***CHAPITRE I : Généralités sur les eaux
usées***

I.1. Introduction

L'eau est de plus en plus rare en Algérie et de moins en moins renouvelable. Elle fait actuellement l'objet d'une exploitation concurrentielle entre les besoins de la population, ceux de l'agriculture et de l'industrie qui se disputent une disponibilité limitée.

Les eaux usées rejetées dans les milieux naturels récepteurs sont la cause principale de la pollution des eaux de surface et souterraines

Les eaux usées sont des eaux chargées en éléments polluants qui résultent de l'activité humaine. Il s'agit principalement des eaux usées domestiques ou industrielles, mais elles peuvent aussi avoir une origine agricole, artisanale ou autre.

I.2. Origine des eaux usées

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

I.2.1. Les eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont constituées essentiellement d'excréments humains, des eaux ménagères de vaisselles chargées de détergents, de graisses appelées eaux grises et de toilettes chargées de matières organiques azotées, phosphatées et de germes fécaux appelés eaux noires. [13]

I.2.2. Les eaux usées industrielles

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. Ces effluents peuvent causer des pollutions organiques, chimiques ou physiques, elles peuvent avoir aussi un effet toxique sur les organismes vivants, ou causer l'accumulation de certains éléments dans la chaîne alimentaire (métaux, pesticides, radioactivité...)

Selon leur origine industrielle elles peuvent également contenir :

Des graisses (industries agroalimentaires, équarrissage) ;

Des hydrocarbures (raffineries) ;

Des métaux (traitements de surface, métallurgie) ;

Des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques diverses, tanneries)

De l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques) ;

Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

Avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, les eaux usées industrielles doivent faire l'objet d'un traitement. Elles ne sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épurations.

I.2.3. Les eaux agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargées d'engrais nitrates et phosphatés, sous une forme ionique ou en quantité telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues.

I.2.4. Les eaux pluviales

Les eaux de pluie qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marchés entraînent toute sorte de déchets minéraux et organiques

Les eaux pluviales, peuvent être collectées à la fois avec les eaux domestiques puis acheminées vers une station d'épuration, sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique.

I.3. La Pollution de l'eau

L'eau est dite polluée lorsqu'une masse d'eau est affectée par des agents (physiques, chimiques ou biologiques) causée par nos activités quotidiennes qui la rendent impropre à son utilisation par l'homme ou perturbent les écosystèmes aquatiques

I.3.1. Classification de la pollution

Le ministère de l'environnement des États-Unis divise la pollution de l'eau en 6 catégories :

➤ **Les déchets biodégradables :**

Venant principalement des humains et les déchets d'animaux. Lorsque les déchets biodégradables coulent dans une source d'eau ils fourniront de l'énergie (carbone organique) aux bactéries présentes dans l'eau. Le carbone organique est converti en dioxyde de carbone qui peut causer la pollution atmosphérique et les pluies acides. S'il y a beaucoup de matières organiques dans l'eau, les bactéries qui consomment de l'oxygène se multiplieront rapidement. Ils consommeront tout l'oxygène et détruiront la vie aquatique. [31]

➤ **Les substances nutritives :**

Ce sont des polluants comme le phosphate et le nitrate qui couleront dans l'eau par les déchets (domestiques, engrais et le bétail...). Le phosphate et le nitrate sont aussi trouvés dans les déchets industriels. Même si ces produits chimiques sont naturels, 80% du nitrate et 75% du phosphate présents dans l'eau viennent des gestes humains.

L'enrichissement de l'eau en éléments nutritifs, notamment des composés de l'azote et du phosphore provoque un développement accéléré des algues, l'eau peut devenir verte, embrouillée, gluante et avoir une odeur désagréable. Il y aura des mauvaises herbes et des bactéries qui se développeront. La décomposition provenant des plantes nécessitant beaucoup d'oxygène entraîne une perturbation de l'équilibre des organismes présents dans l'eau.

➤ **La chaleur :**

Est une source de pollution de l'eau. Lorsque la température de l'eau augmente, le nombre de particules d'oxygènes dissoutes diminue. Les poissons et les plantes demandent une certaine température et un certain niveau d'oxygène pour survivre et c'est pour cette raison que la pollution thermique réduit très sérieusement la diversité de la vie aquatique dans l'eau.

➤ **Le dépôt de sédiment :**

Ce sont des matières minérales ou organiques qui sont soit lavées ou transportées par le vent dans des sources d'eau. La pollution par le dépôt de sédiment est difficile à identifier car il provient de source non-précise comme la construction agricole, le bétail, les inondations et les écoulements provenant de la ville. Les dépôts de sédiments causent de grands problèmes comme boucher les systèmes d'eaux municipaux, détruire la vie aquatique et embrouiller l'eau. L'eau embrouillée peut causer la pollution thermique car elle absorbe plus rapidement les radiations solaires.

➤ **Des produits toxiques :**

Sont la plupart du temps des matériaux fait par l'homme qui ne sont pas utilisés ou disposés correctement. Les sources de pollution chimiques incluent les déversements industriels et les fuites de pétroles. Les sources de pollution chimiques non-précise incluent les écoulements provenant des routes pavées et des pesticides. Beaucoup de gens pensent que la pollution est due en partie aux industries, mais l'utilisation domestique de produits chimiques peut contribuer à la pollution chimique comme des nettoyeurs ménagers, des teintures, de la peinture et des solvants sont aussi toxiques lorsqu'ils sont envoyés dans les drains ou dans les toilettes. Par exemple, une goutte d'huile de moteur utilisée peut polluée 25 litres d'eau! Les gens qui utilisent des pesticides dans leur jardin ou sur leur pelouse ont tendance à utiliser 10 fois plus de pesticides qu'un fermier!

➤ **Des polluants radioactifs :**

Provenant des déversements d'eaux usées d'usines, des hôpitaux et des mines d'uranium. Ces polluants peuvent aussi venir d'isotopes naturels comme le radon. Les polluants radioactifs sont très dangereux et peuvent prendre des milliers d'années avant de ne plus être dangereux pour l'environnement.

I.3.2. Les Paramètres Caractéristiques des eaux usées

Les normes de rejet des eaux usées, fixent des indicateurs de qualité physico-chimique et biologique. Ce potentiel de pollution généralement exprimés en mg/l, est quantifié et apprécié par une série d'analyses. Certains de ces paramètres sont indicateurs de modifications que cette eau sera susceptible d'apporter aux milieux naturels récepteurs. Pour les eaux usées domestiques, industrielles et les effluents naturels, on peut retenir les paramètres suivants :

a) Les paramètres physico-chimiques

➤ **La température :**

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique (Bollags JM1973, Rodier et al 2005) [13]

➤ **Le potentiel d'Hydrogène (PH) :**

Les organismes sont très sensibles aux variations du PH, et un développement correct de la faune et de la flore aquatique n'est possible que si sa valeur est comprise entre 6 et 9. 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 un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien. La nitrification optimale ne se fait qu'à des valeurs de PH comprises entre 7,5 et 9.

➤ **Oxygène dissous :**

Les concentrations en oxygène dissous constituent l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique. L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. Cette concentration en oxygène dissous est également fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau. [27]

➤ **La conductivité électrique (CE) :**

La conductivité est une mesure de la capacité d'une solution à laisser passer un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau). La conductivité s'exprime en micro Siemens par centimètre. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (REJSEK, 2002).

Il faut de plus noter que les traitements physiques ou biologiques n'ont que peu d'incidence sur ce paramètre.

Des conductivités plus faibles peuvent être dues à des eaux d'infiltration ou à des eaux pluviales.

Des conductivités plus élevées peuvent être dues à l'infiltration d'eaux de mer, des raccordements industriels (fabrique d'anchois, de salaison ...), au salage des rues (dégel) [13]

b) Paramètres de la pollution particulière

➤ **La turbidité :**

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

➤ **Les matières en suspension (MES) :**

Elles représentent, la fraction constituée par l'ensemble des particules, organiques (MVS) ou 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 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 ;

- 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.

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 réaération de l'eau. (Duguet et al, 2006).

c) Les paramètres de la pollution organique globale

➤ **La demande biochimique en oxygène (DB05) :**

La DB05 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, temps qui 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. Pour la mesurer, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours ; c'est la DB05.

Elle se résume à la réaction chimique suivante :



➤ **La demande chimique en oxygène (DCO) :**

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non contenue dans les eaux à l'aide du bichromate de potassium à 150°C. Elle est exprimée en mg O₂/l.

➤ La biodégradabilité :

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux. La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K, tel que, $K = DCO / DBO_5$:

- 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 défavorisant 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.

d) Paramètres de la pollution dissoute**➤ Les matières azotées :**

La notation chimique de l'azote est N, en raison du nom anglais : NITROGEN.

On distingue 5 formes d'azote dans l'environnement :

- L'AZOTE ORGANIQUE : constituant les cellules vivantes végétales ou animales.
- L'AZOTE AMMONIACAL : noté NH_4^+ (on parle aussi de l'ion ammonium) qui provient de la décomposition par les bactéries de l'azote organique (AMMONIFICATION) ou des rejets directs d'animaux (urines, excréments).
- LES NITRITES : notés NO_2^- (on parle aussi de l'azote nitreux). Ils sont souvent en quantité très faible car c'est une forme chimique très instable.
- LES NITRATES : notés NO_3^- (on parle aussi de l'azote nitrique). C'est une forme chimique stable.
- L'AZOTE GAZEUX : noté N_2 , cette forme est très présente dans l'air (environ 70 %). Ce gaz est très peu soluble dans l'eau.

L'azote dans les eaux usées urbaines brutes est très présent sous forme d'azote organique et ammoniacal. On constate le plus souvent l'absence de nitrite et de nitrate.

Une analyse permet de mesurer simultanément l'azote organique et l'azote ammoniacal. Cette analyse est notée AZOTE KJELDAHL (NK).

$$NK = N_{org} + N-NH_4$$

Il faut noter que les nitrites et les nitrates peuvent apparaître au cours du traitement.

L'élimination complète de l'azote est possible par sa transformation en azote gazeux (N_{gaz}) qui dégaze alors dans l'atmosphère.

Cette transformation s'effectue en plusieurs étapes, dans des conditions très différentes.

L'azote organique se transforme en azote ammoniacal avec ou sans oxygène dissous, en station ou dans les réseaux d'assainissement : **l'ammonification**.

La transformation de l'azote ammoniacal en nitrite puis en nitrate s'effectue en présence d'oxygène sous l'action de bactéries nitrifiantes (autotrophe). Cette transformation est appelée : **la nitrification**.

La transformation des nitrates en azote gazeux est réalisée en absence d'oxygène dissous sous l'action des bactéries dénitrifiantes (hétérotrophes) : C'est **la dénitrification**. [14]

➤ **Les matières phosphorées :**

Dans les eaux urbaines, le phosphore provient environ pour moitié des rejets humains et pour moitié de l'utilisation des détergents (lessives).

On distingue :

- LE PHOSPHORE ORGANIQUE, résidu de la matière vivante.
- LE PHOSPHORE MINERAL, essentiellement constitué d'ORTHOPHOSPHATES (PO_4^{3-}) qui représente 50 % de la totalité contenue dans les eaux usées urbaines. Les orthophosphates constituent, au même titre que les nitrates, des agents fertilisants susceptibles de provoquer le phénomène d'eutrophisation.

Une analyse permet de doser simultanément le phosphore organique (P_{org}) et le phosphore minéral ($P-PO_4$). Cette analyse est notée PHOSPHORE TOTAL (Pt).

$$Pt = P_{org} + P-PO_4$$

L'ensemble des formes phosphorées représente le PHOSPHORE TOTAL noté PT, qui est analysé d'après la Norme NFT 90-023 de janvier 1997. Les orthophosphates sont analysés par spectrométrie selon la Norme NF EN 1189 de janvier 1997.

Dans l'eau usée urbaine, le phosphore total provient pour moitié des rejets humains et pour moitié des phosphates contenus dans les lessives.

Au cours du traitement, la quasi-totalité du phosphore est transformée en orthophosphate, que l'on devra éliminer par traitement spécifique de DEPHOSPHATATION si la protection du milieu naturel l'exige.

e) Paramètres de pollution toxiques

Les paramètres toxiques d'une eau usée sont :

➤ Métaux lourds :

Le suivi des concentrations des métaux lourds est particulièrement important vu leur toxicité et leur capacité de bioaccumulation le long de la chaîne alimentaire. Contrairement aux polluants organiques, les métaux ne peuvent pas être dégradés biologiquement ou chimiquement. Cependant, leur précipitation engendrerait leur mélange avec les boues décantées. [27]

Les concentrations en cuivre, nickel, chrome, plomb, cadmium, mercure, zinc caractérisent certains types de pollution :

- La présence de cuivre et de nickel indiquent l'existence de rejets provenant d'industries de traitement de surface des métaux.
- Le chrome indique l'existence de rejets provenant d'une tannerie.
- Le plomb est lié à des pollutions diffuses.
- Le zinc est évacué par des industries qui pratiquent la galvanisation ou la préparation d'alliages tels que le laiton et le bronze, il peut provenir également du contact entre les eaux de ruissellement et les matériaux galvanisés.
- Le cadmium peut notamment être rejeté par des usines de galvanoplastie et d'industries chimiques, de textiles et de teintures.

➤ Tensioactifs :

Ils ont la propriété d'abaisser la tension superficielle de l'eau et sont employés à cause de leur pouvoir mouillant et moussant.

La présence des tensioactifs dans les eaux usées affecte le transfert de l'oxygène dans les boues activées au niveau des bassins d'aération dans les stations d'épuration car ils réduisent la capacité d'oxygénation de 40 à 70% par rapport à l'eau claire. [29]

➤ **Hydrocarbures :**

Ce terme fait la plupart du temps référence aux huiles minérales qui comportent des substances telles que les alcanes, les alcènes, etc. Outre leur toxicité, ces substances peuvent limiter l'apport d'oxygène dans les eaux de surface lorsqu'elles sont présentes en concentrations élevées. Ces polluants incluent également les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ainsi que les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM). [27]

f) Paramètres de pollution microbiologiques

Une eau usée est caractérisée aussi par :

➤ **Bactéries :**

Les bactéries sont les microorganismes les plus communément rencontrés dans les eaux usées. La concentration en bactéries pathogènes est très variable et peut atteindre 10⁴ germes par litre. Parmi les pathogènes les plus détectées, les salmonelles, dont celles responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Les coliformes thermo-tolérants sont des germes témoins de contamination fécale communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau.

En plus de ces germes les eaux usées d'une station d'épuration contiennent des espèces autochtones considérées comme acteurs majeurs des biodégradations telles que : Pseudomonas, Alcaligenes, Flavobacterium et d'autres. [28]

➤ **Virus :**

Les virus sont des parasites intracellulaires qui ne peuvent se multiplier que dans leur cellule hôte. Leur concentration estimée dans les eaux usées urbaines est comprise entre 10³ et 10⁴ particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées restent difficiles, ce qui conduit à une sous-estimation de leur nombre réel.

Une eau fortement turbide protège les virus et augmente leur transmission. La coagulation chimique peut enlever entre 88 et 99.8 % des virus. La filtration enlève une quantité variable de virus. La meilleure méthode d'enlèvement des virus demeure la désinfection.

I.4. Collecte des eaux

Dans de nombreuses villes, les eaux usées sont collectées grâce à un réseau souterrain de canalisations relié à une usine de traitement qu'on appelle réseau d'assainissement. Les effluents qui y sont acheminés sont traités et désinfectés avant d'être rejetés dans la nature.

Il existe deux types d'assainissement selon le type d'habitation et les choix par la collectivité

- L'assainissement collectif.
- L'assainissement individuel.

L'assainissement collectif : est assuré par un réseau de collecte (égouts) qui recueillent les eaux usées et les acheminent vers **les stations d'épurations**.

L'assainissement individuel : (dit « assainissement autonome ») pour des habitations ou de petits groupes d'habitations trop éloignés pour être reliés aux réseaux collectifs. Une fosse septique récupère les eaux usées. [30]

Le système d'assainissement peut présenter plusieurs variantes de conception, on distingue :

- Le système unitaire.
- Le système séparatif.

I.4.1. Le système unitaire :

Dans ce système, un seul collecteur assure à la fois le transport des eaux usées et pluviales jusqu'à la station d'épuration. Il est de conception simple, mais il ne permet pas de maîtriser la nature de l'effluent arrivant à la station d'épuration, selon la pluviométrie le débit est très variable et l'effluent « eaux usées » est dilué par le débit pluvial.

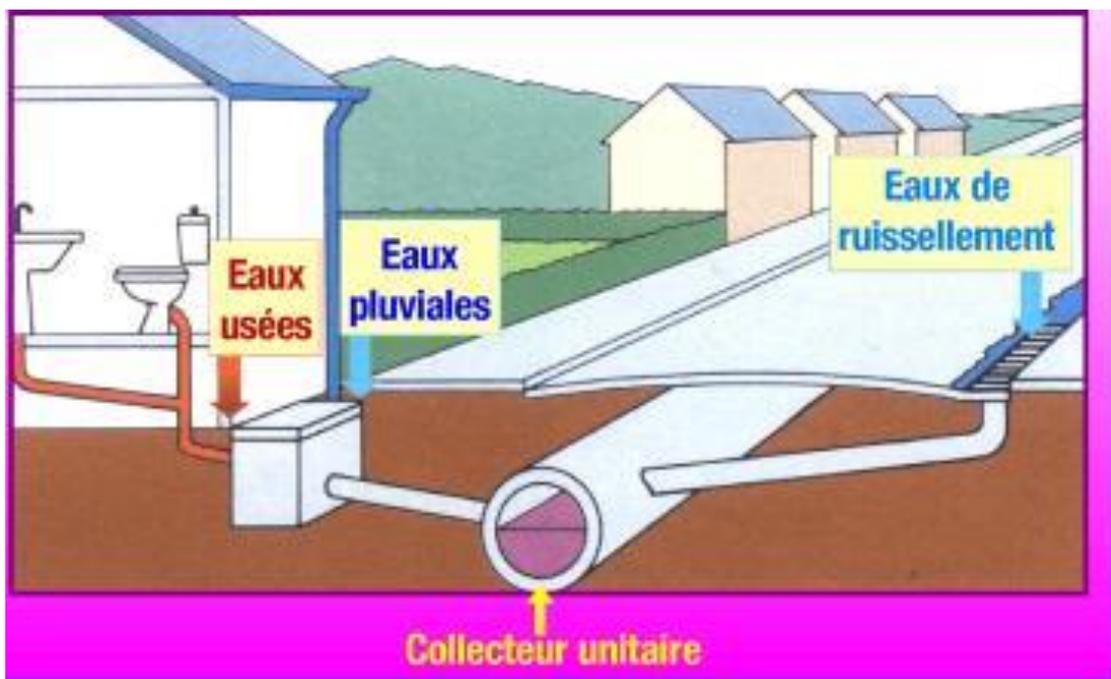


Figure I.1 : Réseau unitaire

I.4.2. Le système séparatif :

Pour la collecte et le transport des eaux, deux réseaux distincts sont mis en place :

- L'un pour évacuer les eaux de pluie.
- L'autre pour recueillir les eaux usées.

Dans ce système, le réseau « Eaux usées » sera dirigé vers la station d'épuration, par contre, le réseau « Eaux pluviales » rejoint directement la rivière : les eaux de pluie ne seront pas épurées.

Ce système permet de mieux maîtriser la qualité et la quantité d'effluent arrivant à la station d'épuration.

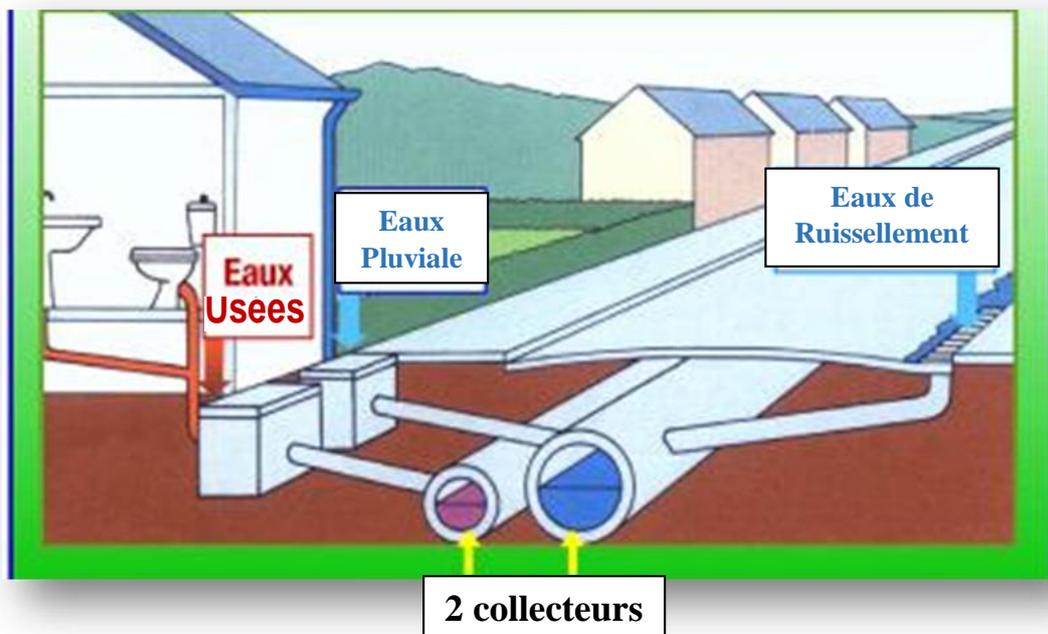


Figure I.2 : Réseau séparatif

I.5. Conclusion

Lorsque nous jetons les eaux après les avoir utilisées (eaux usées) quel que soit leurs origines nous avons tendance à oublier les conséquences. Nous sommes responsables de plusieurs sources de pollution de l'eau et nous ne sommes pas assez conscients de notre très grande contribution à la pollution de l'eau.

***CHAPITRE II : Procédés d'épuration des
eaux usées***

II.1.Introduction:

Les eaux usées quelles que soient leurs origines, sont généralement chargées en éléments indésirables, qui selon leur quantité et selon leur composition, représentent un danger réel pour les milieux récepteurs ou leurs utilisateurs.

L'élimination de ces éléments toxiques exige de concevoir une chaîne de traitement. Toutefois, avant de concevoir tout procédé d'épuration, il est impératif de caractériser l'effluent à traiter, qualitativement et quantitativement.

Le traitement des eaux usées est une alternative susceptible de résoudre les différents problèmes de pollution des milieux aquatiques récepteurs.

Il s'agit essentiellement de réaliser l'élimination de composés organiques biodégradables. Certains procédés permettant la coélimination de l'azote et même du phosphore (Selghi, 2001), une grande majorité de ces polluants est transférée de la phase liquide vers une phase concentrée boueuse.

II.2.Implantation d'une station d'épuration :

La station d'épuration reste un outil fondamental pour la protection des milieux naturels. La valorisation de l'image de la station passe par un ensemble de dispositions qui sont à prendre en considération dès l'élaboration du projet en commençant par le choix de l'emplacement du site. [3]

A cet égard, quelques règles doivent être rappelées :

- Éviter les zones inondables entraînant parfois des dysfonctionnements pendant de longues périodes ; sinon veiller à mettre les équipements électriques hors d'eau ;
- éviter de construire à proximité d'habitations, de zones d'activités diverses (sportives, touristiques, industrielles, ...) ;
- s'éloigner le plus possible des zones de captage même si le périmètre de protection est respecté ;
- penser aux extensions ou aux aménagements futurs (disponibilité et réservations de terrains).

II.3.Choix du type de station d'épuration :

La décision du site d'implantation d'une station d'épuration étant prise, il convient après d'en choisir le type. [24]

De nombreux critères de choix peuvent intervenir :

- La nature des eaux usées: il est important de bien connaître les caractéristiques des eaux à traiter et d'identifier les rejets industriels susceptibles d'être présents dans les rejets d'une ville ;
- La qualité d'eau à obtenir: assurer une qualité d'eau en aval qui répond aux normes de rejet dans le milieu naturel, ou pour une éventuelle réutilisation, notamment dans le secteur de l'agriculture.

II.4.Procédés d'épuration des eaux usées :

Dans une usine de traitement des eaux usées, il existe plusieurs niveaux de traitement (Figure II.1) :

- Le relevage et le prétraitement,
- Le traitement primaire pour éliminer une grande partie des matières solides en suspension (cette étape est facultative)
- Le traitement biologique pour éliminer la pollution organique et les nutriments par des procédés biologiques,
- Le traitement tertiaire, pour améliorer la qualité de l'effluent (par exemple élimination de la couleur, du phosphore résiduel, de la DCO dissoute non biodégradable, des matières en suspension, etc.).

Les traitements appliqués dépendent du degré de pollution des eaux mais aussi des exigences de qualité du milieu récepteur.

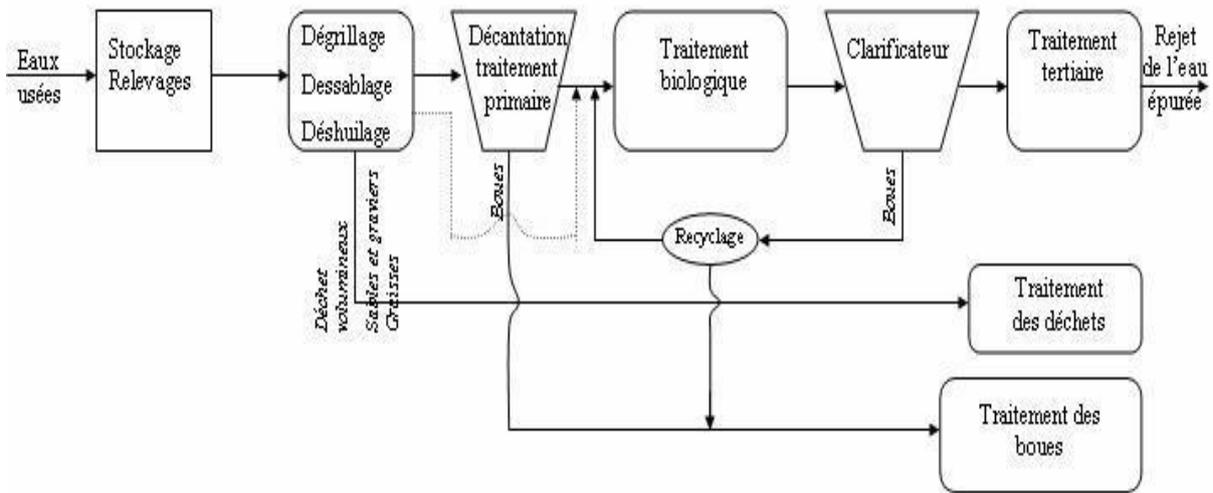


Figure II .1 : Schéma classique d'une station d'épuration.

II.4.1.Le relevage :

Dans la majorité des STEP, on a besoin de construire une station de relevage, parce que les eaux usées collectées arrivent à un niveau plus bas que les installations de traitement. Le relevage des eaux s'effectue grâce à des pompes centrifuges ou à des vis d'Archimède. [23]

II.4.2.Les prétraitements :

Les prétraitements ont pour objectif d'éliminer des éléments qui sont susceptibles de gêner les traitements ultérieurs et d'endommager les équipements.

Il s'agit :

- Des déchets volumineux (dégrillage)
- Des sables et graviers (dessablage)
- Des huiles (dégraissage, déshuilage)

Pour éliminer les déchets volumineux, les eaux usées passent au travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les matières de taille supérieure à l'espacement.

Pour compléter l'élimination des déchets on emploie le tamisage, qui utilise des grilles de maille réduite.

Au cours du dessablage on élimine des sables et des graviers par sédimentation. Pour cela, la vitesse de l'écoulement de l'eau est réduite dans un bassin appelé « dessableur » entraînant leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés sont lavés, essorés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés, selon la qualité du lavage.

L'élimination des graisses s'effectue par injection d'air au fond de l'ouvrage, ce qui produit une émulsion. Cette émulsion remonte en surface. Ces graisses sont alors raclées, puis stockées avant d'être incinérées ou hydrolysées et renvoyées dans le circuit de traitement des eaux usées. [23]

II.4.3.Le traitement primaire :

Le traitement primaire est utilisé pour l'élimination d'une partie des matières en suspension (MES). Il fait appel à des procédés physiques ou bien physico-chimiques tels que la coagulation-floculation. On peut mettre en œuvre plusieurs types de flocculateurs (à barrières ou à hélice) et de décanteurs (décanteurs circulaires, rectangulaires ou lamellaires). Le traitement primaire élimine en général 50 à 60% des MES. Par coagulation et floculation dans des décanteurs lamellaires, on peut éliminer jusqu'à 90% des MES. [23]

II.4.4.Traitement secondaire :

Généralement le taux d'épuration exigé pour le rejet des effluents dans le milieu naturel n'est pas atteint par une simple épuration préliminaire et primaire.

Les traitements secondaires, conçus à l'origine essentiellement pour l'élimination de la pollution carbonée et des matières en suspension, ont pour objet de poursuivre l'épuration de l'effluent provenant du décanteur primaire ou issu d'un prétraitement.

On distingue deux classes de procédés du traitement secondaire en fonction de la qualité de l'effluent :

- Procédés physico-chimiques.
- Procédés biologiques.

II.4.4.1.Procédés physico-chimiques :

L'épuration chimique, coûteuse et difficile à réaliser, s'applique plutôt aux eaux résiduaires industrielles ou aux eaux usées contenant des résidus d'usines susceptibles d'entraver des processus biologiques.

Les rendements épuratoires sont excellents, car l'élimination des MES se situe entre 80% et 95%, celle des matières organiques entre 65% et 75%.

Néanmoins, ce type de procédé entraîne une surproduction de boues, de 15 à 25% en plus, ainsi qu'une mauvaise élimination des matières organiques, en particulier de la pollution soluble. [7]

II.4.4.2. Procédés biologiques :

Ils constituent le mode classique d'épuration de la pollution organique carbonée et azotée. Quel que soit le procédé mis en œuvre, le principe de l'épuration par voie biologique consiste, dans un premier temps, à faire assimiler la pollution carbonée par des micro-organismes, la pollution de l'eau est alors transformée en biomasse. Puis, cette biomasse est extraite de l'eau sous forme de boue. [24]

L'épuration des eaux usées fait appel à deux types de procédés:

- Les procédés intensifs ;
- Les procédés extensifs.

II.4.4.2.1. Les techniques intensives classiques :

Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs. Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel. [1]

Trois grands types de procédés sont utilisés :

- Les lits bactériens ;
- Disques biologiques ;
- Les boues activées.

➤ Les lits bactériens :

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs (Figure II.2).

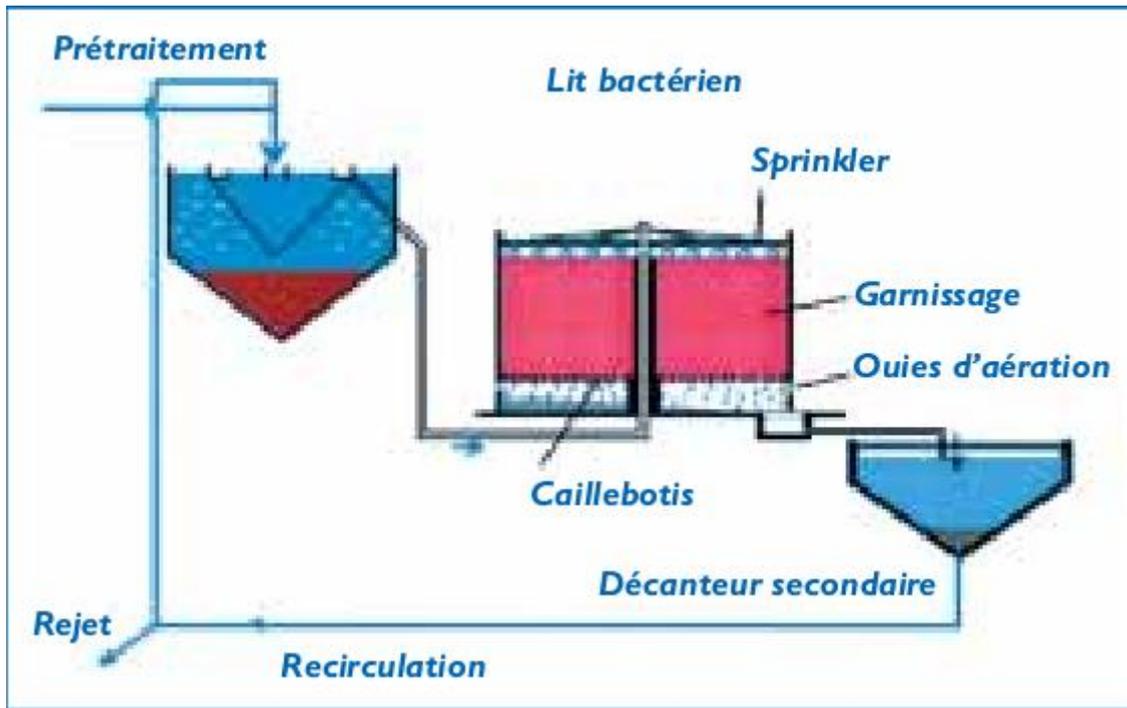


Figure II.2 : Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien.

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

➤ **Disques biologiques :**

Une autre technique faisant appel aux cultures fixées est constituée par les disques biologiques tournants (Figure II.3).

Les micro-organismes se développent et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Ceux-ci étant semi-immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée. [1]

Il convient, sur ce type d'installation, de s'assurer :

- De la fiabilité mécanique de l'armature (entraîné à démarrage progressif, bonne fixation du support sur l'axe),
- Du dimensionnement de la surface des disques (celui-ci doit être réalisé avec des marges de sécurité importantes).

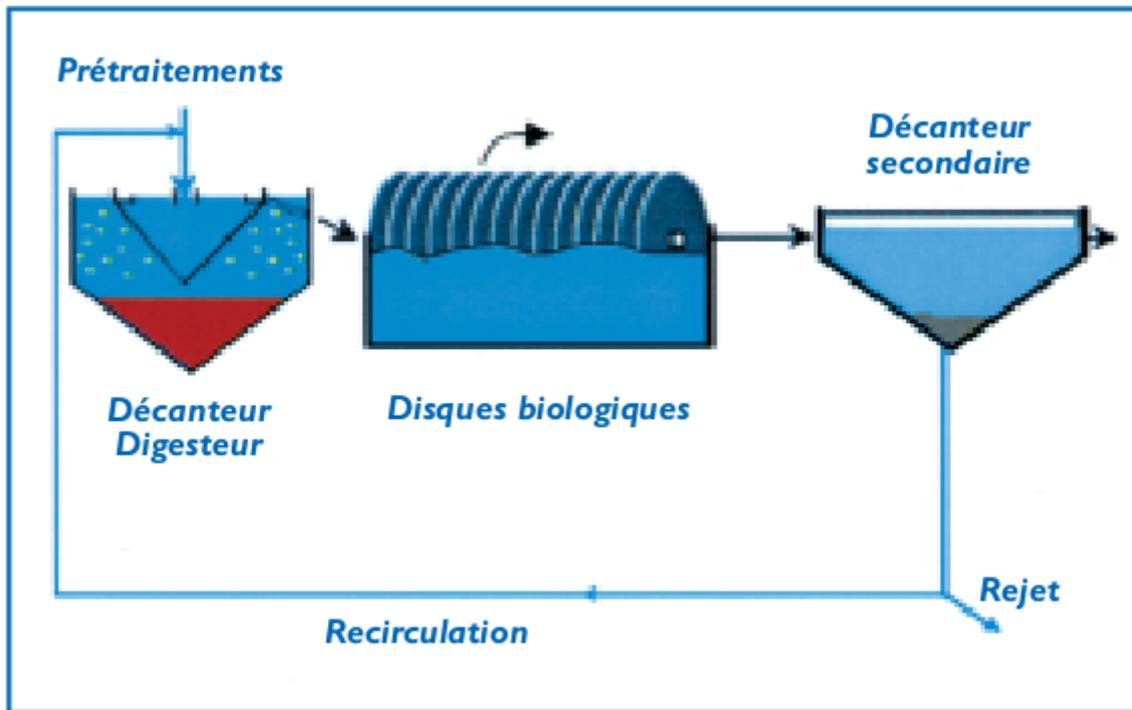


Figure II.3 : Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique.

➤ **Boues activées :**

Le principe des boues activées réside dans une intensification des processus d'auto-épuration que l'on rencontre dans les milieux naturels (Figure II.4).

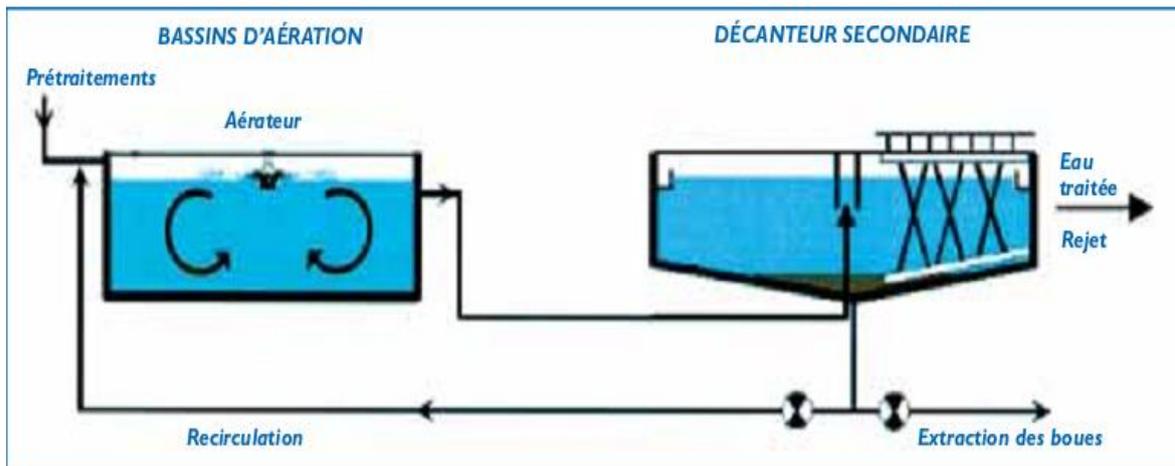


Figure II.4 : Synoptique d'une STEP à boue activée.

Le procédé “boues activées” consiste à mélanger et à agiter des eaux usées brutes avec des boues activées liquides, bactériologiquement très actives.

La dégradation aérobie de la pollution s'effectue par mélange intime des micro-organismes épurateurs et de l'effluent à traiter. Ensuite, les phases “eaux épurées” et “boues épuratrices” sont séparées (Agences de l'Eau - 1999).

Une installation de ce type comprend les étapes suivantes :

- Les traitements préliminaire et, éventuellement, primaire ;
- Le bassin d'activation (ou bassin d'aération) ;
- Le décanteur secondaire avec reprise d'une partie des boues ;
- L'évacuation des eaux traitées ;
- Les digesteurs des boues en excès provenant des décanteurs.

II.4.4.2.2. Les techniques extensives :

Les techniques dites extensives sont des procédés qui réalisent l'épuration à l'aide de cultures fixées sur support fin ou encore à l'aide de cultures libres. Mais utilisant l'énergie solaire. Le processus d'épuration par "cultures libres" repose sur le développement d'une culture bactérienne, de type aérobie principalement. L'oxygène provient de diverses sources selon les filières.

La culture bactérienne est ensuite séparée de l'eau traitée par mécanisme de sédimentation dans un ouvrage, le plus souvent, spécifique (clarificateur, lagune de décantation...).

➤ Lagunage naturel :

L'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour, dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassin le plus communément rencontré est de trois. Cependant, utiliser une configuration avec 4 voire 6 bassins permet d'avoir une désinfection plus poussée.

Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière. Ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et maintien des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique. Le gaz carbonique formé par les bactéries, ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées, permettent aux algues de se multiplier. Il y a ainsi prolifération de deux populations interdépendantes : les bactéries et les algues planctoniques, également dénommées "microphytes". Ce cycle s'auto-entretient tant que le système reçoit de l'énergie solaire et de la matière organique.

En fond de bassin, où la lumière ne pénètre pas, ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Un dégagement de gaz carbonique et de méthane se produit à ce niveau. [1]

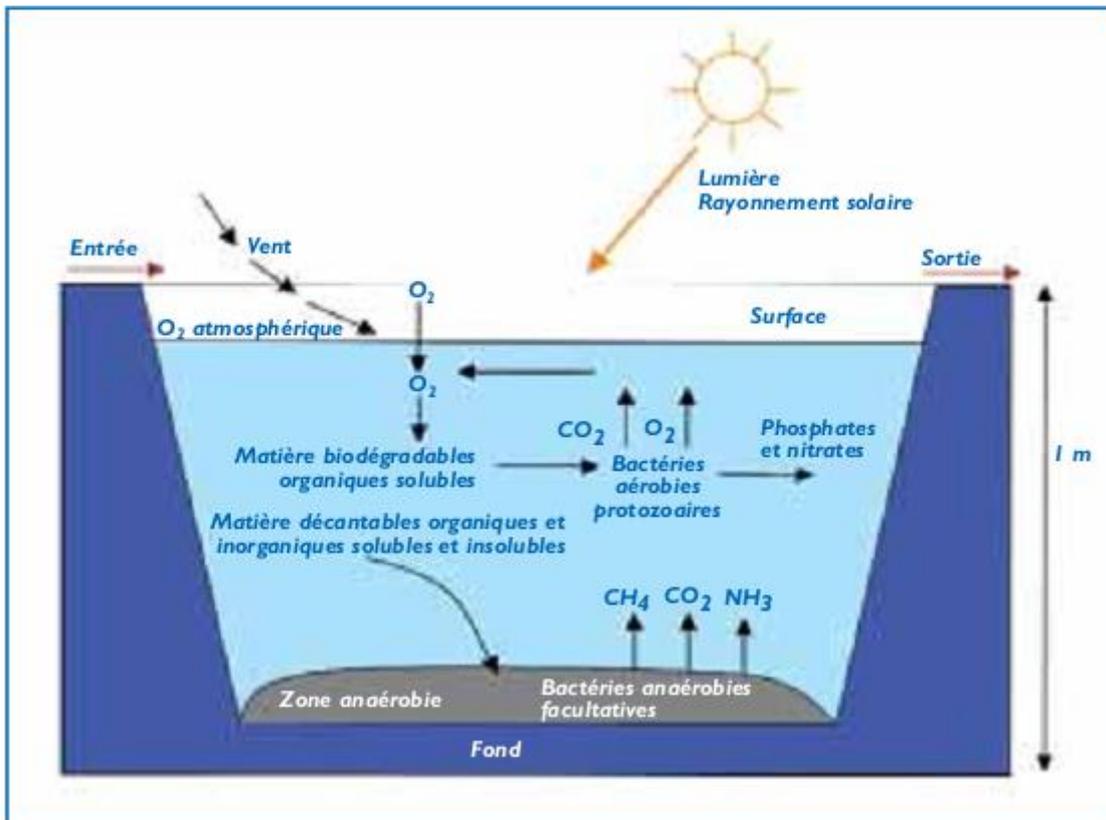


Figure II.5 : Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel.

➤ Lagunage aéré :

L'oxygénation est, dans le cas du lagunage aéré, apportée mécaniquement par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. Ce principe ne se différencie des boues activées que par l'absence de système de recyclage des boues ou d'extraction des boues en continu. La consommation en énergie des deux filières est, à capacité équivalente, comparable (1,8 à 2 kW/kg DBO5 éliminée).

Dans l'étage d'aération, les eaux à traiter sont en présence de micro-organismes qui vont consommer et assimiler les nutriments constitués par la pollution à éliminer. Ces micro-organismes sont essentiellement des bactéries et des champignons (comparables à ceux présents dans les stations à boues activées).

Dans l'étage de décantation, les matières en suspension que sont les amas de micro-organismes et de particules piégées, décantent pour former les boues. Ces boues sont pompées régulièrement ou enlevées du bassin lorsqu'elles constituent un volume trop important. Cet étage de décantation est constitué d'une simple lagune de décantation, voire, ce qui est préférable, de deux bassins qu'il est possible de by-passer séparément pour procéder à leur curage. [1]

En lagunage aéré, la population bactérienne sans recirculation conduit :

- à une densité de bactéries faible et à un temps de traitement important pour obtenir le niveau de qualité requis ;
- à une floculation peu importante des bactéries, ce qui contraint à la mise en place d'une lagune de décantation largement dimensionnée.

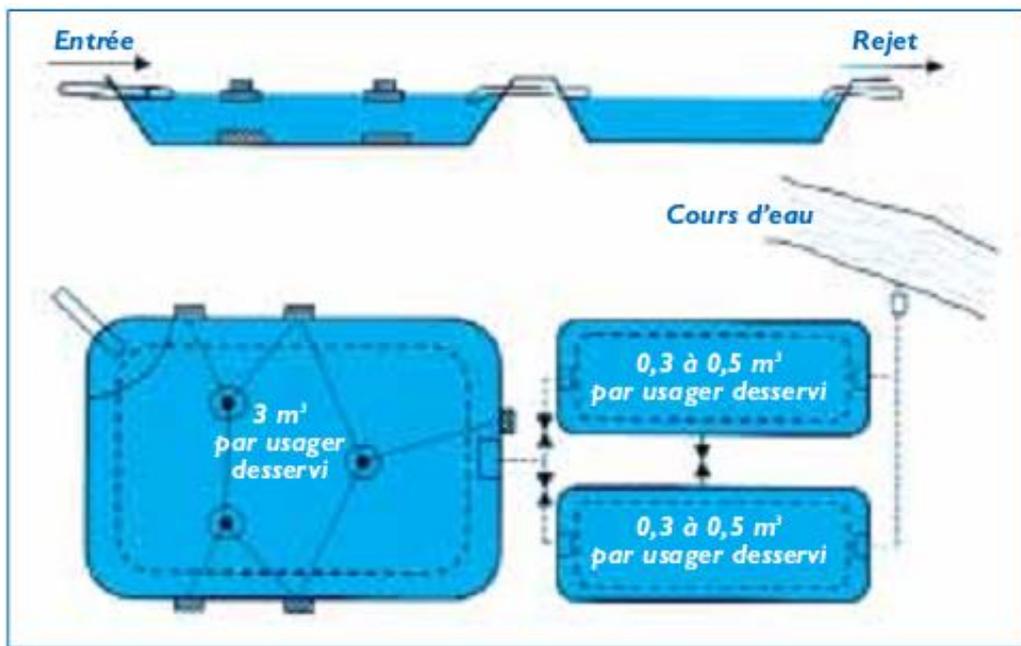


Figure II.6 : Schéma de principe d'un lagunage aéré.

II.4.5. Traitement tertiaire :

Appelé aussi traitement complémentaire qui vise 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. [13]

Leur utilisation s'impose lorsque la nature des milieux récepteurs recevant l'eau dépolluée l'exige. On y distingue généralement les opérations suivantes :

- la nitrification-dénitrification et déphosphatation biologique ou mixte (biologique et physico-chimique) ;
- la désinfection bactériologique et virologique.

II.4.5.1. Traitement de l'azote :

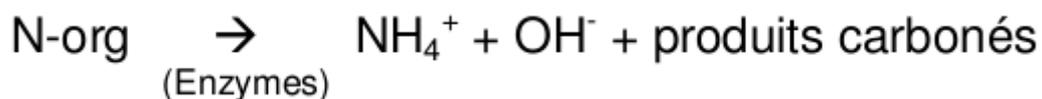
Il existe différents procédés pour éliminer la matière azotée. Malheureusement les méthodes physiques ou chimiques ne sont pas envisageables en traitement d'eau usée. Il reste donc comme seule voie, la voie BIOLOGIQUE. [5]

Celle-ci fait appel à quatre processus d'oxydo-réduction :

Ammonification ; Assimilation ; Nitrification ; Dénitrification.

➤ **Ammonification et assimilation :**

On peut résumer les étapes de transformation de l'azote organique en azote ammoniacal comme suit :



Comme toute réaction, plusieurs facteurs favorisent plus ou moins la réaction. Néanmoins on peut dire que cette ammonification se fait sans problème dans les ouvrages. (Réseau surtout, et station d'épuration).

L'assimilation : Les bactéries présentes dans la boue active se reproduisent au dépend de la DBO5 ce qui conduit à la formation de nouvelles cellules. Ces cellules sont constituées principalement de carbone C, Hydrogène H, Oxygène O, cependant des traces d'azote : N (et de phosphore : P) constituent une part de cette masse biologique.

➤ **Nitrification :**

Deux stades d'oxydation biologique avec à chaque stade une population différente de bactéries.

- Transformation de l'ammoniaque en nitrites :

Les bactéries impliquées dans cette transformation sont :

NITROSOMONAS ; NITROCYSTIS ; NITROSPIRA ; NITROSOGLEA.

La réaction caractéristique est :



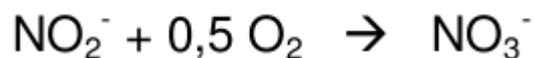
Comme on le voit ici il est absolument nécessaire d'avoir ammonifié l'azote pour prétendre oxyder celui-ci en nitrites.

- Transformation des nitrites en nitrates :

Les bactéries impliquées dans cette transformation sont :

NITROBACTER ; NITROCYSTIS ; BACTODENNA ; MICRODENNA.

La réaction caractéristique est :



Ce qui nécessite un âge de boue élevé c'est-à-dire une charge massique faible. D'autre part les bactéries éliminant la matière organique se nourrissent de carbone organique, elles sont hétérotrophes et aérobies ; par contre celles, réalisant la nitrification sont autotrophes et aérobies .

La température influence grandement ces cinétiques bactériennes ce qui conduit à ajuster l'âge des boues en fonction de la température de l'eau :

Si Température basse : Age plus élevé.

Température élevée : Age plus faible.

N'oublions pas l'influence du pH car, si l'eau s'acidifie, lorsque NH_4^+ est oxydé en NO_3^- (production de H^+), l'expérience (et le calcul) montre que l'oxydation de 1 kg de N-NH_4^+ nécessite 7,2 kg d'alcalinité exprimée en CaCO_3 pour neutraliser l'acide produit.

➤ **Dénitrification :**

En l'absence d'oxygène dissous, de nombreuses bactéries hétérotrophes sont contraintes d'utiliser une autre source d'oxygène. Elles utilisent alors l'oxygène combiné, c'est-à-dire celui contenu dans le nitrate NO_3^- .

Avant d'arriver au stade ultime d'utilisation complète de l'oxygène du nitrate pour obtenir l'azote gazeux N_2 , une série de réactions complexes se produisent. On peut néanmoins les résumer :



Les principaux facteurs influençant la dénitrification sont :

- Oxygène dissous :

Pour que la dénitrification puisse avoir lieu, il est important de passer par zéro en O_2 pour démarrer ces réactions. Ces vitesses de dénitrification sont très dépendantes de l'efficacité du brassage des boues dans le réacteur biologique. On retiendra qu'un brassage correct fiabilise la mise en contact des bactéries dénitrifiantes avec les nitrates et le carbone organique, garantissant une vitesse de dénitrification optimum.

- Température :

La température influe peu sur la vitesse de dénitrification, l'optimum se situe dans la gamme 25 à 30°C, mais le processus peut avoir lieu entre 5 et 50 °C.

Si une baisse de température ne constitue pas un frein à la cinétique de la réaction, une augmentation de température active la dénitrification de façon très nette.

- Age de boue :

Contrairement à la nitrification, la dénitrification ne nécessite pas d'âge de boue élevé.

II.4.5.2.Traitement du phosphore :

L'élimination du phosphore, ou "déphosphatation", peut être réalisée par des voies physico-chimiques ou biologiques.

La déphosphatation biologique consiste à provoquer l'accumulation du phosphore dans les cultures bactériennes des boues. Les mécanismes de la déphosphatation 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 une déphosphatation physico-chimique, pour atteindre les niveaux de rejets requis.

II.4.5.3.Désinfection :

Les eaux usées domestiques sont très chargées en germes pathogènes, en virus et en parasites ou œufs de parasites. Les traitements usuels abattent partiellement les teneurs mais pas à un degré suffisant pour que les eaux traitées ne soient plus des vecteurs de maladies d'origine hydrique.

Dans le cas où il est désirable de protéger l'environnement ou lorsque l'on craint particulièrement l'émission de microorganismes particulièrement dangereux il faut procéder à une désinfection (désinfection par les produits chlorés, désinfection par l'ozone). [8]

II.4.6. Traitement des boues :

Le traitement des boues consiste donc tout d'abord à diminuer leur teneur en eau et à réduire de manière efficace leur charge polluante et fermentescible. Il s'agit de les préparer à une étape ultime de valorisation ou d'élimination. Il existe quatre principales techniques qui peuvent être complémentaires : l'épaississement, la stabilisation, la déshydratation et le séchage.

II.4.6.1. L'épaississement :

L'épaississement est généralement la première étape du traitement des boues. C'est un procédé simple, consommant peu d'énergie. Il sert principalement à réduire le volume des boues brutes et constitue une étape préalable aux traitements suivants. Il vise à augmenter la siccité (teneur en matière sèche) des boues sans pour autant modifier le caractère liquide de la boue. [2]. [8]

Diverses méthodes sont utilisées pour épaissir les boues :

- Epaississement gravitaire : la décantation (ou sédimentation).
- Epaississement dynamique : la flottation, la centrifugation.



Figure II.7: Epaississement des boues

II.4.6.2. Déshydratation :

La déshydratation constitue la seconde étape de réduction du volume des boues sur les boues épaissies, stabilisées ou non, afin d'obtenir une siccité des boues plus poussée (en moyenne comprise entre 20 et 30 % selon la nature des boues).

La déshydratation présente plusieurs avantages : elle facilite le stockage et réduit donc le coût du transport, elle améliore la stabilisation (temps de séjour augmenté) et facilite une utilisation en agriculture.

Il existe plusieurs techniques de déshydratation mécanique :

- Filtres presses.
- Centrifugeuse.



Figure II.8: Déshydratation des boues

II.4.6.3. Le séchage :

Le séchage est une opération unitaire du traitement des boues consistant à évaporer de l'eau. Plusieurs techniques de séchage sont envisageables : [8]

- Lit de séchage.
- Séchage thermique.

➤ Lit 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. Il se pratique soit à l'air libre soit en bâtiment fermé avec une ventilation mécanique. Cette technique présente l'inconvénient d'être tributaire du climat, les temps de séchage sont relativement longs et les coûts de main d'œuvre élevés.

➤ Le séchage thermique :

Permet une élimination quasi-totale de l'eau (siccité d'environ 95 %).

II.4.6.4. Stabilisation :

La stabilisation consiste à réduire au maximum l'activité biologique de dégradation des boues et plus particulièrement leur fermentation. Elle réduit fortement la nuisance olfactive, les émissions de méthane, les risques de lixiviation, les populations bactériennes et la Demande Biologique en Oxygène (DBO5). [2]

II.5. Conclusion :

On peut dire qu'à partir d'une eau usée et grâce aux procédés de traitements, il est possible d'obtenir toute une gamme d'eaux de qualités différentes. A chacune de ces qualités peut correspondre un usage particulier. Il est clair que les traitements qui existent peuvent réduire les concentrations des polluants sous toutes leurs formes, à des niveaux qui sont actuellement considérés comme non dangereux.

***CHAPITRE III : Analyse en
Composantes Principales (ACP)***

III.1. INTRODUCTION :

L'analyse des données est un sous domaine des statistiques qui se préoccupe de la description de données conjointes. On cherche par ces méthodes les liens pouvant exister entre les différentes données et à en tirer une information statistique qui permet de décrire de façon plus succincte les principales informations contenues dans ces données.

L'analyse des données est un ensemble plus au moins défini de méthodes statistiques. La première étape dans une analyse des données est essentiellement la définition de la population ou des individus à étudier. Ces individus sont décrits par des caractères ou variables données, l'utilisateur doit déterminer les individus, les variables, leur codage.

L'analyse des données dans son sens moderne, est justement de raisonner sur un nombre quelconque de variables, d'où le nom d'analyse multivariée qu'on lui donne souvent. Elle fait appel aux espaces mathématiques comportant un nombre quelconque de dimensions à exploiter au fond des idées proposées depuis longtemps, mais qui, sans l'ordinateur, seraient restées à l'état de curiosités mathématiques.

Les méthodes d'analyse des données ont largement démontré leur efficacité dans l'étude de gros volumes de données grâce au développement de l'informatique. Les méthodes dites multidimensionnelles, telles que l'analyse en composantes principales (**ACP**), l'analyse factorielle des correspondances (**AFC**), l'analyse factorielle discriminante (**AFD**), la classification automatique, et la classification ascendante hiérarchique (**CAH**), en opposition aux méthodes de statistiques descriptives qui ne traitent qu'une ou deux variables à la fois, permettant la mise en relation de nombreuses variables.

III.2. Analyse en composantes principales :

La technique d'analyse en composantes principales peut être présentée de divers points de vue. Pour le statisticien classique, il s'agit de la recherche des axes principaux de l'ellipsoïde indicateur d'une distribution normale multidimensionnelle, ces axes étant estimés à partir d'un échantillon. C'est la représentation initiale de Hotelling (1933), puis celle des manuels classiques d'analyse multivariée, comme l'ouvrage fondamental d'Anderson (1958).

Selon le point de vue le plus récent des analystes de données, il s'agit d'une technique de représentation des données, ayant un caractère optimal selon certains critères algébriques et géométriques et que l'on utilise en général sans référence à des hypothèses de nature statistique ni à un modèle particulier. Ce point de vue fort répandu actuellement est peut être le plus ancien. C'est celui qui avait été adopté par Pearson (1901).

L'analyse en composantes principales présente de nombreuses variantes selon les transformations apportées au tableau de données : le nuage des points- individus peut être centré ou non, réduit ou non. Parmi ces variantes, l'analyse en composantes principales normée (nuage centré- réduit) est certainement la plus utilisée et c'est ce que nous choisirons pour présenter les principes de l'analyse en composantes principales. [19]. [21]

III.2.1. Le but :

L'analyse en composantes principales permet de décrire une population à l'aide de caractères quantitatifs, ainsi elle permet de réaliser le bilan des ressemblances entre individus et le bilan des liaisons entre caractères. Pour les ressemblances entre individus, l'analyse en composantes principales met en évidence, d'une part, les individus qui se ressemblent (pour l'ensemble des caractères) et d'autre part, les groupes d'individus qui sont différents. Parallèlement, pour les liaisons entre caractères, l'analyse en composantes principales met ainsi en évidence les caractères qui sont responsables, d'une part, de la ressemblance entre individus et, d'autre part, de la différence entre les groupes.

III.2.2. Le cadre :

L'analyse en composantes principales s'applique à tout tableau quantitatif où la population est constituée de « N » individus numérotés de 1 à n , ainsi que de « P » caractères quantitatifs X_1, \dots, X_n , les 'individus' doivent être de même nature. Néanmoins, les caractères peuvent ne pas être homogènes, c'est-à-dire les unités de mesure peuvent être différentes.

III.2.3. 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. [11]

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.
 - Prévision.
 - Simulation.

III.3. Définition de l'analyse en composantes principales :

L'analyse en composantes principales est une méthode d'analyse des données qui s'applique aux tableaux des données à deux dimensions croisant les individus et les variables quantitatives que l'on appelle de façon concise tableau « individus variables Quantitatives ». C'est une méthode mathématique d'analyse des données qui consiste à rechercher les directions de l'espace qui représentent le mieux de corrélation entre n variables aléatoires. [22]

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

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. [11]

- L'individu "i" est décrit par le vecteur appartenant à R^P :

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

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 :

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

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.

III.3.2. Définition algébrique :

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

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

- Pour chaque variable, nous pouvons évaluer sa moyenne \bar{X}_j et son écart type σ_{X_j} :

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

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

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

$$Cov(X_j, X_k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j) * (X_{ik} - \bar{X}_{ik}) \tag{III-3}$$

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

$$Cor(X_j, X_k) = \frac{Cov(X_j, X_k)}{S_j * S_k} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j) * (X_{ik} - \bar{X}_k)}{\left[\sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 * \sum_{i=1}^N (X_{ik} - \bar{X}_k)^2 \right]^{1/2}} \quad (III-4)$$

- 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^{ème} Composante Principale ;

X_j : Vecteur variable initiale ;

a_{jk} : Coefficient du système.

III.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. [12]

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

III.4. Procédé d'application de l'ACP :

III.4.1 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 :

$$R = (1 / n) X^t . M . X \tag{III-5}$$

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

$[X]$: Matrice de données ;

$[X]^t$: Matrice transposée de $[X]$;

$[M]$: Métrique.

III.4.2.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.

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

$$D_{\sigma} = \begin{vmatrix} \frac{1}{\sigma_1^2} & 0 & & & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_2^2} & 0 & & \\ & 0 & \cdot & & \\ & & 0 & \frac{1}{\sigma_i^2} & 0 \\ & & & \cdot & \\ & & & \cdot & 0 \\ 0 & & & 0 & \frac{1}{\sigma_p^2} \end{vmatrix}$$

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

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

III.4.3. 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 :**

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.

$$\begin{cases} \text{MaxVar}(C_1) \\ V_1^t \cdot [M] \cdot V_1 = 1 \end{cases} \tag{III-6}$$

Nous pouvons exprimer la variance de C_1 à l'aide de la matrice des covariances $[R]$ du vecteur aléatoire $X = (X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_p)$:

$$\text{Var}(C_1) = V_1^t \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_1 \tag{III-7}$$

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

$$L = V_1^t [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_1 - \lambda_1 (V_1^t \cdot [M] \cdot V_1 - 1) \tag{III-8}$$

La dérivée par rapport à V est nécessairement nulle :

$$\partial L / \partial V_1 = 2 \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_1 - 2\lambda_1 \cdot [M] \cdot V_1 = 0 \tag{III-9}$$

Puisque la matrice $[M]$ est inversible :

$$[R] \cdot [M] \cdot V_1 = \lambda_1 \cdot V_1 \tag{III-10}$$

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 :

$$Var(C_2) = V_2^t \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_2 \tag{III-11}$$

$$V_2^t \cdot [M] \cdot V_2 = 1 \tag{III-12}$$

$$COV(C_1, C_2) = 0 \tag{III-13}$$

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

$$COV(C_1, C_2) = V_1^t \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_2 \tag{III-14}$$

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

$$COV(C_1, C_2) = COV(C_2, C_1) = V_2^t \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_1 = 0 \tag{III-15}$$

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 :

$$COV(C_1, C_2) = \lambda_1 V_2^t \cdot V_1 = 0 \tag{III-16}$$

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

$$COV(C_1, C_2) = 0 \Leftrightarrow V_1 \cdot V_2 = 0 \tag{III-17}$$

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

$$L = V_2^t \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_2 - \lambda_2 (V_2^t \cdot [M] \cdot V_2 - 1) - \mu_2 (V_2^t \cdot [M] \cdot V_1) \tag{III-18}$$

$$\frac{\partial L}{\partial V_2} = 2 \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_2 - 2 \lambda_2 \cdot [M] \cdot V_2 - \mu_2 \cdot [M] \cdot V_1 = 0 \tag{III-19}$$

En simplifiant par $[M]$ nous obtenons :

$$2 \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_2 - 2 \lambda_2 \cdot V_2 - \mu_2 \cdot V_1 = 0 \tag{III-20}$$

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

$$2 \cdot V_1^t \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_2 - 2 \lambda_2 \cdot V_1^t \cdot [M] \cdot V_2 - \mu_2 \cdot V_1^t \cdot [M] \cdot V_1 = 0 \tag{III-21}$$

Or (par hypothèse) $V_1^t \cdot [M] \cdot V_2 = 0$ (III-22)

Donc :

$$V_1^t \cdot [M] \cdot [R] \cdot V_2 = V_2^t \cdot [M] \cdot [R] \cdot [M] \cdot V_1 = \lambda_1 \cdot V_2^t \cdot [M] \cdot V_1 = 0 \quad \text{(III-23)}$$

Puisque le vecteur V_1 est unitaire :

$$V_1^t \cdot [M] \cdot V_1 = 1 \quad \text{(III-24)}$$

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

III.4.4. 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.

$$[C] = [A]^t [X] \quad (\text{III-25})$$

$[X]$: Matrice des données initiales.

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

III.5. Principaux résultats :

En général une analyse en composantes principales fournit trois sources de renseignements, toutes nécessaires à l'interprétation : [12]

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

III.6. Analyse des résultats :

Analyser les résultats d'une ACP, c'est répondre à trois questions :

- Les données sont-elles en factorisation ?
- Combien de facteurs retenir ?
- Comment interpréter les résultats ?

➤ **Les données sont-elles en factorisation :**

Dans un premier temps, il convient d'observer la matrice de corrélation. Si plusieurs variables sont corrélées (> 0.5), la factorisation est possible. Sinon, la factorisation n'a pas de sens et n'est donc pas conseillée.

Pour tester la corrélation parfaite, il faut calculer le déterminant de la matrice. Notons que nous recherchons un déterminant petit, ce qui constitue un bon indice de l'existence de patrons de corrélations entre les variables, mais non égal à zéro.

Dans un deuxième temps, il faut observer l'indice de KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) qui doit tendre vers 1. Il indique jusqu'à quel point l'ensemble de variables retenu est un ensemble cohérent et permet de constituer une ou des mesures adéquates de concepts.

Pour juger de l'indice de KMO, on peut utiliser l'échelle suivante :

- **Misérable en dessous de 0,5**
- **Médiocre entre 0,5 et 0,6**
- **Moyen entre 0,6 et 0,7**
- **Bien entre 0,7 et 0,8**
- **Très bien entre 0,8 et 0,9**
- **Et excellent au-delà de 0.9**

Enfin, on utilise le test de sphéricité de Bartlett, **si la signification (Sig.) tend vers 0.000 c'est très significatif, inférieur à 0.05 significatif, entre 0.05 et 0.10 acceptable et Au-dessus de 0.10, on rejette.** Toutefois le test est très sensible au nombre de cas, il est presque toujours significatif lorsque le nombre de cas est grand. [26]

➤ **Combien de facteurs retenir :**

Trois règles sont applicables :

- **1^{ère} règle :**

La règle de Kaiser qui veut qu'on ne retienne que les facteurs aux valeurs propres supérieures à 1.

- **2^{ème} règle :**

On choisit le nombre d'axes en fonction de la restitution minimale d'informations que l'on souhaite.

- **3^{ème} règle :**

Le « Scree-test » ou test du coude. On observe le graphique des valeurs propres et on ne retient que les valeurs qui se trouvent à gauche du point d'inflexion. Graphiquement, on part des composants qui apportent le moins d'information (qui se trouvent à droite), on relie par une droite les points presque alignés et on ne retient que les axes qui sont au-dessus de cette ligne.

➤ **Comment interpréter les résultats :**

C'est la phase la plus délicate de l'analyse. On donne un sens à un axe grâce à une recherche lexicale à partir des coordonnées des variables et des individus. Ce sont les éléments extrêmes qui concourent à l'élaboration des axes.

Si la variance expliquée est trop faible, on peut choisir d'exclure certaines variables. Pour choisir les variables à éliminer, on observe leur qualité de représentation : plus la valeur associée à la ligne « Extraction » est faible, moins la variable explique la variance.

Il faut également tenir compte du positionnement de chaque variable sur chaque axe. [25]

III.7.Représentation graphique :

III.7.1.La carte des variables :

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 (car dans les représentations graphiques les axes sont orthonormés).

$$Cov(X_j, C_k) = (\lambda)^{1/2} * V_k(j) \tag{III-26}$$

Dans l'hypothèse où les variables sont bien représentées dans un plan formé par deux CP :

- La distance d'une variable à l'origine des axes est égale à sa norme (écart type).
- Le cosinus de l'angle formé par deux variables est égal à leur coefficient de corrélation.
- Deux variables fortement corrélées et éloignées l'une de l'autre possèdent une covariance élevée négative.

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

$$COV(Y_j, C_i) = COV\left(\frac{X_j}{S_j}, C_i\right) = Cor(X_j, C_i) \tag{III-27}$$

C_i : Composante principale normée ;

S_j : Ecart type de la $j^{ème}$ 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. [11]

III.7.2. La carte des individus :

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.

III.8. 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. [12]

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

III.8.1. Variable centrée :

$$Y_j = X_j - \overline{X_j} \quad (\text{III-28})$$

Avec : X_j : Variable initiale.

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

Y_j : Variable transformée (centrée).

III.8.2. Variable réduite :

$$Y_j = \frac{X_j}{\sigma_{X_j}} \quad (\text{III-29})$$

Avec : X_j : Variable initiale ;

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

Y_j : Variable transformée (réduite).

III.8.3. Variable centrée réduite :

$$Y_j = \frac{X_j - \overline{X_j}}{\sigma_{X_j}} \quad (\text{III-30})$$

Avec : X_j : Variable initiale ;

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

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

Y_j : Variable transformée (centrée réduite).

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

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

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

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

$$Y_j = X_j - \overline{X_j} \Rightarrow \overline{Y_j} = 0 \quad (\text{III-31})$$

$$Y_k = X_k - \overline{X_k} \Rightarrow \overline{Y_k} = 0 \quad (\text{III-32})$$

Or :
$$Cov(Y_j, Y_k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{ij} - \bar{Y}_j) * (Y_{ik} - \bar{Y}_k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_{ij} * Y_{ik} \quad (III-33)$$

En remplaçant chaque variable par son expression nous obtenons :

$$Cov(Y_j, Y_k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_{ij} * Y_{ik} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j) * (X_{ik} - \bar{X}_k) \quad (III-34)$$

$$= Cov(X_j, X_k) \quad (III-35)$$

D'où :
$$Cov(Y_j, Y_k) = Cov(X_j, X_k) \quad (III-36)$$

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 (III-29) et (III-30), 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.

$$Y_j = \frac{X_j}{\sigma_{X_j}} \Rightarrow \bar{Y}_j = \frac{\bar{X}_j}{\sigma_{X_j}} \quad (III-37)$$

$$Y_k = \frac{X_k}{\sigma_{X_k}} \Rightarrow \bar{Y}_k = \frac{\bar{X}_k}{\sigma_{X_k}} \quad (III-38)$$

$$Z_j = \frac{X_j - \bar{X}_j}{\sigma_{X_j}} \Rightarrow \bar{Z}_j = 0 \quad (III-39)$$

$$Z_k = \frac{X_k - \bar{X}_k}{\sigma_{X_k}} \Rightarrow \bar{Z}_k = 0 \quad (III-40)$$

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

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j) * (X_{ik} - \bar{X}_k) \\
 &= \frac{\sigma_{X_j} * \sigma_{X_k}}{\sigma_{X_j} * \sigma_{X_k}} \\
 &= \frac{Cov(X_j, X_k)}{\sigma_{X_j} * \sigma_{X_k}} \\
 &= Cor(X_j, X_k) \tag{III-41}
 \end{aligned}$$

Donc :

$$Cov(Y_j, Y_k) = Cor(X_j, X_k) \tag{III-42}$$

$$Cov(Z_j, Z_k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z_{ij} - \bar{Z}_j) * (Z_{ik} - \bar{Z}_k) \tag{III-43}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_{ij} * Z_{ik} \\
 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{\sigma_{X_j}} \right) * \left(\frac{X_{ik} - \bar{X}_k}{\sigma_{X_k}} \right) \\
 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j) * (X_{ik} - \bar{X}_k) \\
 &= \frac{\sigma_{X_j} * \sigma_{X_k}}{\sigma_{X_j} * \sigma_{X_k}} \\
 &= \frac{Cov(X_j, X_k)}{\sigma_{X_j} * \sigma_{X_k}} \\
 &= Cor(X_j, X_k) \tag{III-44}
 \end{aligned}$$

Donc :

$$Cov(Z_j, Z_k) = Cor(X_j, X_k) \tag{III-45}$$

D'où :

$$Cov(Y_j, Y_k) = Cov(Z_j, Z_k) = Cor(X_j, X_k) \tag{III-46}$$

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.

III.9.Conclusion :

L'analyse en composantes principales qui est donc une méthode de réduction du nombre de caractères, permettant la représentation géométrique des individus et des caractères. Cette réduction ne sera possible que si les p caractères initiaux ne sont pas indépendants et ont des coefficients de corrélation non nuls.

L'A.C.P nous permet de savoir :

- Comment se structurent les variables :
 - quelles sont celles qui sont associées ;
 - quelles sont celles qui ne le sont pas ;
 - quelles sont celles qui vont dans le même sens ;
 - quelles sont celles qui sont opposées.
- Comment se répartissent les individus :
 - Quels sont ceux qui se ressemblent ;
 - Quels sont ceux qui sont différents.

CHAPITRE IV : Présentation des STEP

IV.1. STEP Boumerdes

Pour préserver les ressources en eau et préserver le patrimoine naturel et la qualité de la vie, l'Office Nationale d'Assainissement (ONA) organisme responsable de la dépollution des eaux usées produites par les différentes activités urbaines en Algérie, a décidé de construire une station d'épuration (STEP) en 2001 dans la wilaya de Boumerdes, afin de réaliser ces objectifs et se mettre en conformité avec le développement durable.

IV.1.1 Situation géographique de la STEP

La STEP de Boumerdes est située en zone côtière à 50 Km à l'Est d'Alger, sur le territoire du chef-lieu de la wilaya, soit la commune de Boumerdes.

Le terrain d'assiette du projet se situe à 1.5 Kilomètre au Sud-Est de l'agglomération de Boumerdes, en contre bas de la Route Nationale 24 sur la rive gauche de l'Oued Tatareg et à proximité de la confluence de celui-ci avec l'Oued Safsaf.

Cette station occupe une superficie de 3,11 hectares et une capacité de traitement de 75000 Equivalent Habitant (EH), elle est destinée à épurer les eaux usées domestiques de la ville de Boumerdes et des communes voisines telles que Tidjellabine et Corso.



Figure IV.1: *STEP de Boumerdes [google earth]*

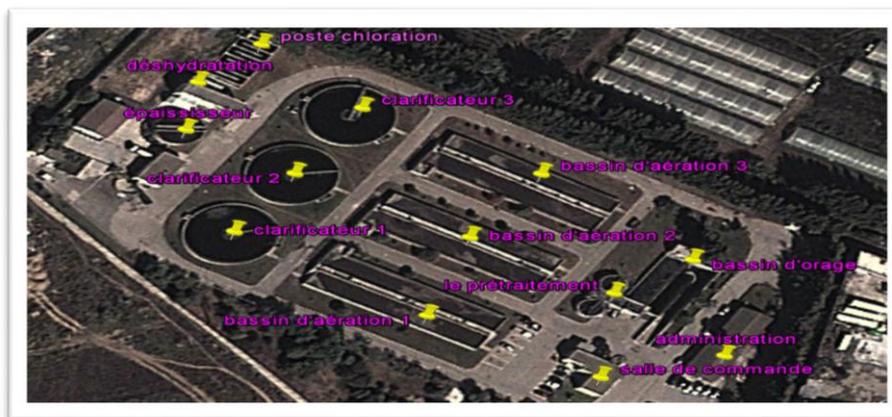


Figure IV.2: *Vue d'ensemble des ouvrages de la STEP de Boumerdes.*

IV.1.2. Caractéristiques Techniques

La station de Boumerdes est du type « boues activées à faible charge massique à aération prolongée » ($C_m = 0.076 \text{ kg DBO/kg MVS/Jour}$).

L'eau à traiter possède les caractéristiques suivantes :

- Volume journalier..... 15000 m³/j
- Débit moyen 24 h..... 625 m³/h
- Débit de pointe temps sec 1063 m³/h
- Débit de pointe temps de pluie..... 1944 m³/h

IV.1.3. Paramètres de pollution de conception

Le tableau suivant donne les concentrations admissibles des paramètres de pollution.

Tableau IV.1 : *Paramètres de pollution de conception de la station de Boumerdes*

	Entrée	Sortie	Abattement (%)
DBO5 (mg/l)	270	30	88.89
DCO (mg/l)	750	90	88.00
MES (mg/l)	350	30	91.43

IV.1.4. Description des procédés d'épuration au niveau de la station

Les eaux usées arrivent à la station par gravité ou par pompage, les étapes par lesquelles ces eaux usées passent dans la station de Boumerdes sont schématisées dans la figure suivante :

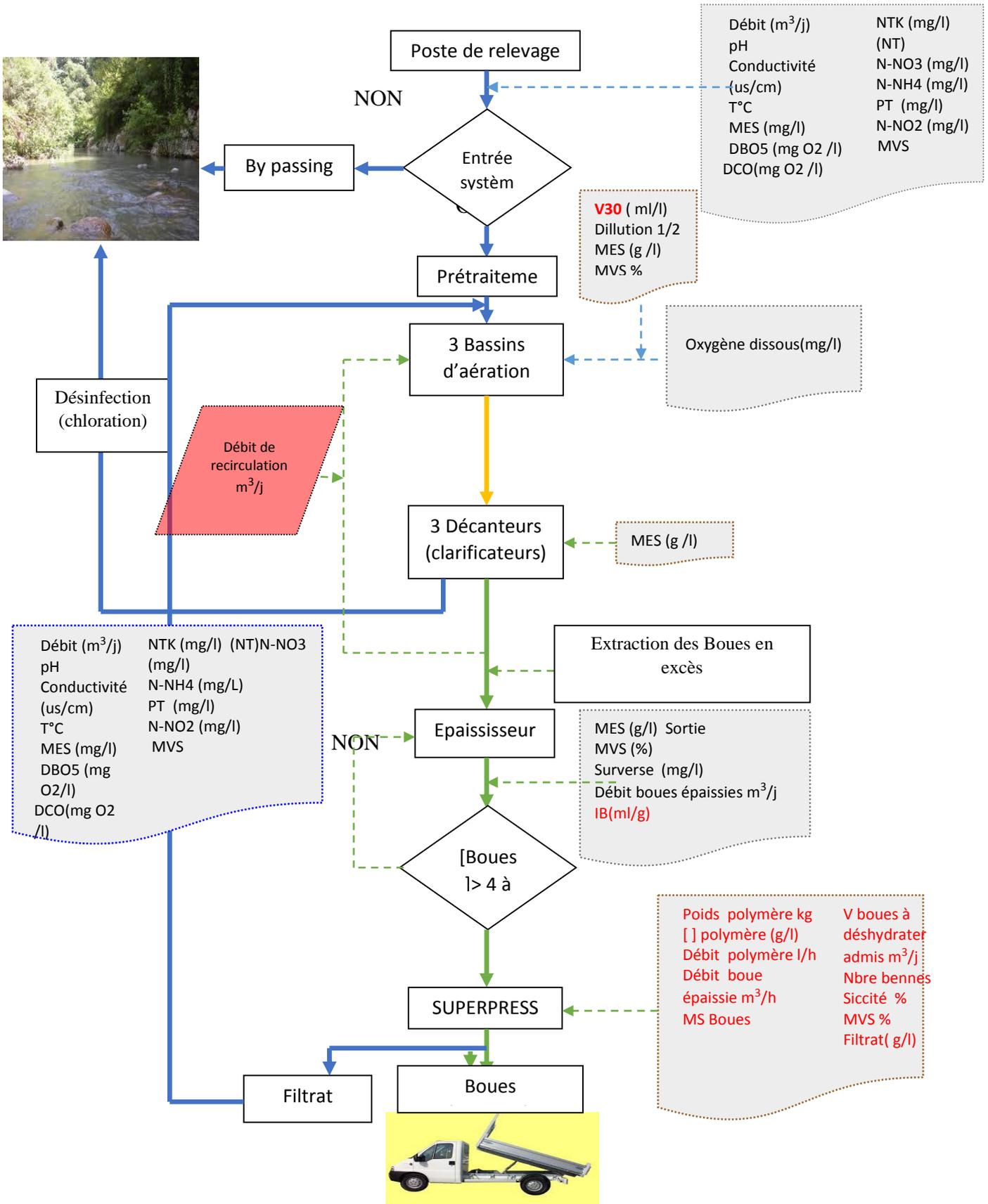


Figure IV.3 : Organigramme d'exploitation de la STEP de Boumerdes.

La STEP de Boumerdes comporte deux chaînes de traitement :

Traitement au fil de l'eau : le prétraitement, le traitement biologique à boues activées, décantation et désinfection.

Traitement au fil de boues : épaissement, déshydratation et lit de séchage.

A)-1 Traitement au fil de l'eau

➤ Arrivée des eaux et bassin d'orage

Une partie des effluents est pompée directement dans le canal d'alimentation du prétraitement d'une part et par gravité dans la bache de relevage d'autre part, et ce par deux conduites de diamètre 60 mm. Ce poste de relevage permet :

- L'alimentation du prétraitement en aval.
- Le By-pass total des installations par manœuvre d'un batardeau contrôlant l'entrée générale de la station.



Figure IV.4 : Bassin d'orage de la STEP de BOUMERDES

➤ Prétraitement

• Dégrillage :

L'ensemble de dégrillage comporte un dégrilleur automatique du type à champ courbe avec espacement entre barreaux de 20 mm. Les refus sont évacués par convoyeur à vis. En cas d'avarie ou d'entretien sur le dégrilleur automatique, un canal de by-pass équipé d'un dégrilleur de secours à champ droit à nettoyage manuel et espacement entre barreaux de 20 mm est utilisé.



Figure IV.5 : *Dégrilleur* du type à champ courbe.

- **Dessaleur-Déshuileur**

Ouvrage circulaire de forme Cylindro-conique qui permet l'élimination par décantation de la plus grande partie des sables de dimensions supérieures à 150 mm et l'élimination d'une grande partie des matières flottantes (graisses, écumes, etc.) dans la partie supérieure de l'ouvrage.



Figure IV.6 : *Dessableur-Déshuileur*.

➤ **Procédé biologique**

- **Bassins d'aération**

Les eaux prétraitées sont dirigées vers 3 bassins d'aération munis de turbines type « actirotor », aérateur à axe vertical et à vitesse lente, permettant l'aération prolongée de la culture bactérienne à l'origine du traitement. Les bassins reçoivent d'autre part la « liqueur mixte » constituée par la recirculation des boues provenant des clarificateurs finaux.

Caractéristiques : Nombre de bassins : 3, volume unitaire : 3600 m³, profondeur : 4.5 m, nombre d'aérateurs : 9.



Figure IV.7 : *Bassin d'aération.*

➤ **Clarification finale et ouvrage de recirculation**

Les eaux sortantes des ouvrages d'aération sont dirigées vers 3 clarificateurs de diamètre 24 m, les boues décantées au fond de chaque ouvrage sont dirigées à l'aide d'un racleur vers un puits central de collecte. Elles sont reprises par une tuyauterie les acheminant vers la bache de recirculation attenante aux bassins d'aération sous le nom de la liqueur mixte et une partie est extraite pour être envoyée vers l'épaississeur. Les eaux décantées sont recueillies par surverse dans une rigole périphérique pour être dirigée vers la désinfection et le canal de comptage.



Figure IV.8 : *Décanteur-Clarificateur.*

➤ **Traitement final**

• **Désinfection**

L'eau clarifiée transite vers un ouvrage en béton comportant un certain nombre de canaux en chicanes. Un premier canal permet la mesure du débit d'eau épurée. Une série de canaux en chicane permet d'assurer un contact prolongé entre l'eau à désinfecter et l'eau chlorée.

Une fois épurée l'eau est rejetée dans le milieu naturel.



Figure IV.9 : *Bassin de chloration.*

A)-2 Traitement au fil de boues

➤ Epaissement des boues

L'épaisseur n'est pas le dépotoir final du traitement de l'eau mais l'ouvrage intermédiaire indispensable entre la chaîne de traitement d'eau et la chaîne de traitement des boues.

Le diamètre de l'épaisseur de la STEP est de 13 m, la charge massique est de 30 kg/m²/j, concentration de sortie moyenne est de 20 g/l minimum avec un volume à transférer en déshydratation de 792 m³.

➤ Déshydratation mécanique des boues sur bandes presseuses

Les boues épaissies sont d'abord floculées avant d'être envoyées sur une bande presseuse SUPERPRESS. L'ajout de polymère en faible quantité est nécessaire afin d'améliorer la filtrabilité des boues.

La largeur de bande de la SUPERPRESS est de 2 m, la masse journalière de boues produites est de 4 t/j de boues sèches.



Figure IV.10 : *Presse à bande*

IV.2. STEP Tipaza (station de Chenoua)

IV.2.1. Localisation

La station d'épuration des eaux usées de la ville de Tipaza est administrativement localisée dans la daïra et la wilaya de Tipaza. Elle est géographiquement située dans la région de Chenoua à environ 70 kilomètres à l'ouest de la wilaya d'Alger.

Mise en service en janvier 2008, la STEP a pour missions de collecter et d'épurer les eaux usées domestiques des communes de Tipaza et de Nador.

Après la réalisation et la mise en service de la station d'épuration de Hadjout et suite à la réhabilitation de la STEP de Koléa, le projet de la STEP de la ville de Tipaza a été lancé.

Cette réalisation s'inscrit dans le prolongement des nombreuses actions menées par la ville de Tipaza en faveur du développement durable.

Depuis 2008, la station d'épuration de Tipaza est certifiée ISO 14001 /2004.



Figure IV.11 : Photo de la STEP par Google earth

IV.2.2. Caractéristiques Techniques

La station fonctionne à faible charge massique de 0.075 kg DBO5/ kg MVS à 70 000 EH (Equivalent Habitant) suivant le processus d'une aération prolongée à boues activées.

Les effluents sont de type urbain et parviennent à cette unité par l'intermédiaire d'un réseau de type unitaire, les eaux sont collectées dans une bache équipée de pompes immergées.

➤ **Charge hydraulique :**

En termes de charge hydraulique les caractéristiques de la station sont :

Débit moyen rejeté.....11200 m³/j
 Débit moyen horaires467 m³/h
 Débit de pointe au temps sec.....803 m³/h

➤ **Charges polluantes :**

En termes de charge polluante à l'entrée et à la sortie de la station, les caractéristiques de l'eau brute et épurée sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV.2 : Paramètres de pollution de conception de la station de Tipaza

	Entrée	Sortie	Abattement (%)
DBO5 (mg/l)	250	30	88
DCO (mg/l)	700	90	87
MES (mg/l)	300	30	90

IV.2.3. Description des procédés d'épuration au niveau de la station

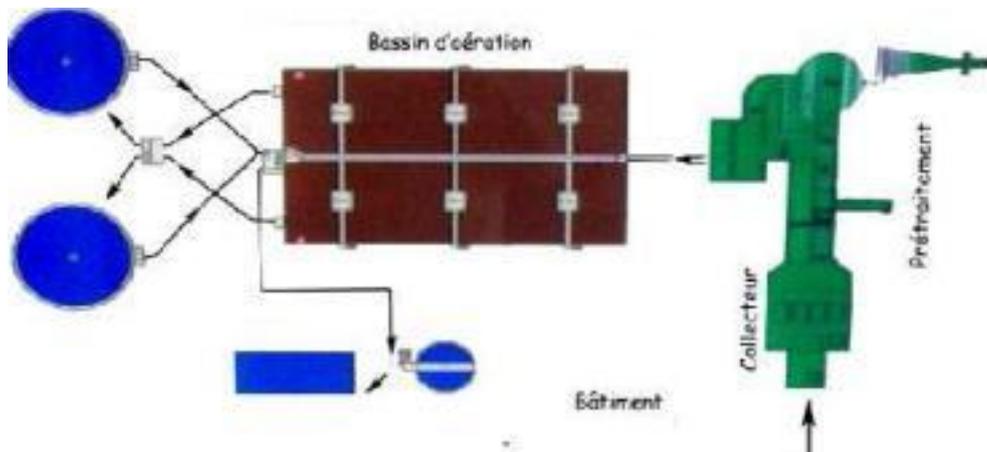


Figure IV.12 : Synoptique de la STEP de Tipaza

La STEP de Tipaza comporte deux chaînes de traitement :

- **Traitement au fil de l'eau :** le prétraitement, le traitement biologique à boues activées, décantation et désinfection
- **Traitement au fil de boues :** épaissement, déshydratation et lit de séchage

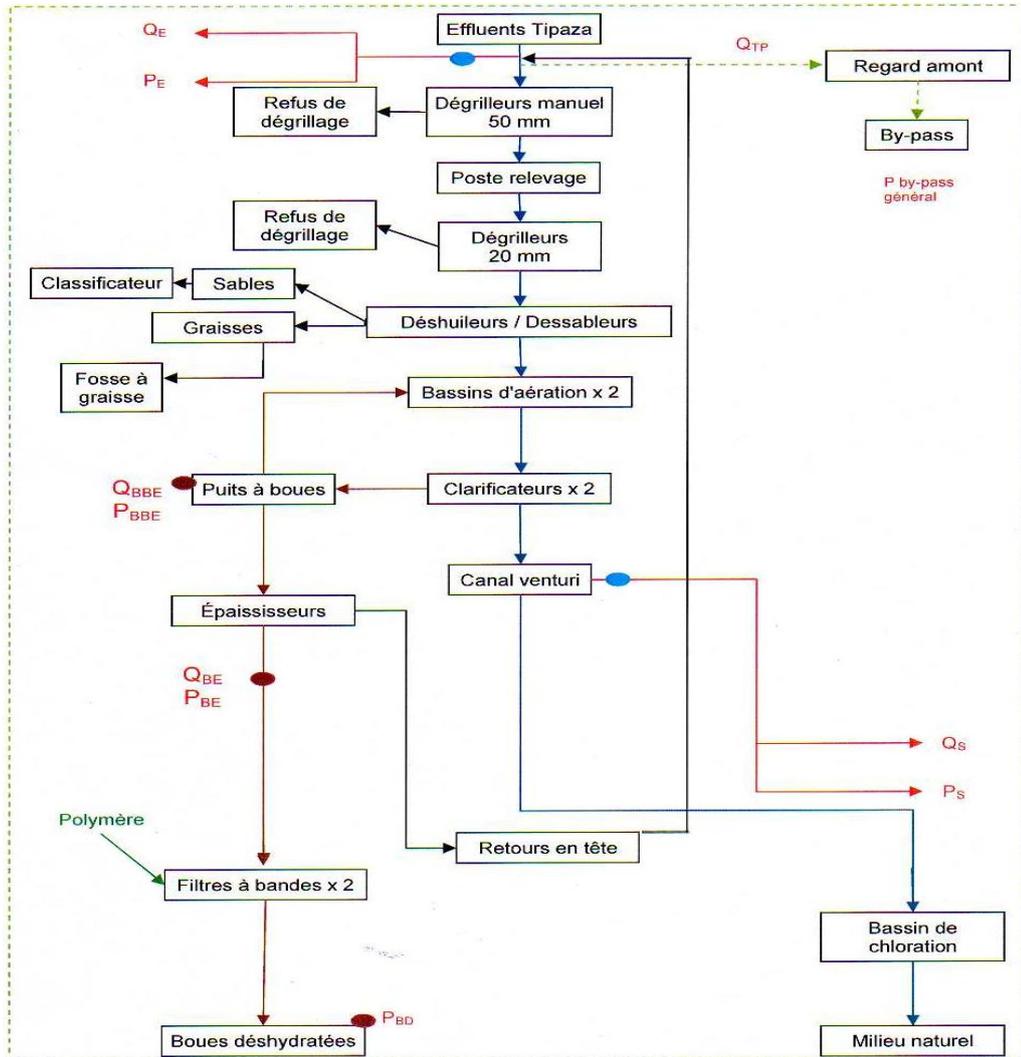


Figure IV.13 : Organigramme d'exploitation de la STEP de Tipaza

***CHAPITRE V : Statistiques et critiques
des données***

V.1. STEP de Boumerdes

V.1.1. Statistiques Descriptives

La STEP de Boumerdes a mis à notre disposition une série de données journalières des paramètres de la pollution à l'entrée et à la sortie, le débit, l'énergie consommée, les boues recirculées, et les boues en excès durant le processus d'épuration pour la période de Janvier 2006 à Décembre 2013 avec un certain nombre d'observations N pour chaque paramètre comme l'indique le tableau ci-dessous.

Tableau V.1 : Statistiques descriptives des paramètres de pollution de la STEP Boumerdes

	Unité	Paramètres Brutes					Paramètres Epurées				
		N	Min	Max	Moyenne	Ecart type	N	Min	Max	Moyenne	Ecart type
PH		1898	3,31	8,02	7,32	0,17	1894	6,39	7,96	7,29	0,16
T	°C	1897	7,55	35,93	20,53	3,97	1893	9,40	29,90	20,45	4,16
MES	mg/l	1861	40	2400	239,51	144,49	1865	1,00	100	13,85	7,31
DB05	mg/l	387	20	2500	244,96	170,62	411	1,00	55	10,80	8,46
DCO	mg/l	395	110	3264	484,99	280,33	424	1,00	164	46,06	24,69
NH4	mg/l	328	0,80	126,54	32,77	19,74	320	0,00	60,10	6,02	8,90
NO2	mg/l	386	0	2,50	0,22	0,26	384	0,00	9,40	0,49	0,98
NO3	mg/l	380	0	145,00	4,42	10,06	380	0,00	1529,15	41,30	172,96
NTK	mg/l	364	8,12	218,96	50,18	22,80	364	0,05	644	16,54	35,24
PO4	mg/l	386	0,35	64,44	7,07	5,50	386	0,13	22,40	3,26	2,58
Débit	m ³ /j	2705	0,00	20601	10247,63	4075,65	/	/	/	/	/
Energie	Kwh	2751	11	4985	3535,81	831,36	/	/	/	/	/
BR	m ³ /j	1795	3390	27170	17260	4288,85	/	/	/	/	/
Bex	m ³ /j	1631	2,09	936,43	336,18	224,14	/	/	/	/	/

V.1.2. Evolution des paramètres de pollution dans le temps

Dans le cadre de ce travail l'évolution de chaque paramètre en fonction du temps a été étudié ce qui nous a permis d'avoir une idée générale sur l'ensemble des données recueillies, les résultats sont résumés par des figures ci-dessous :

➤ **Evolution du PH**

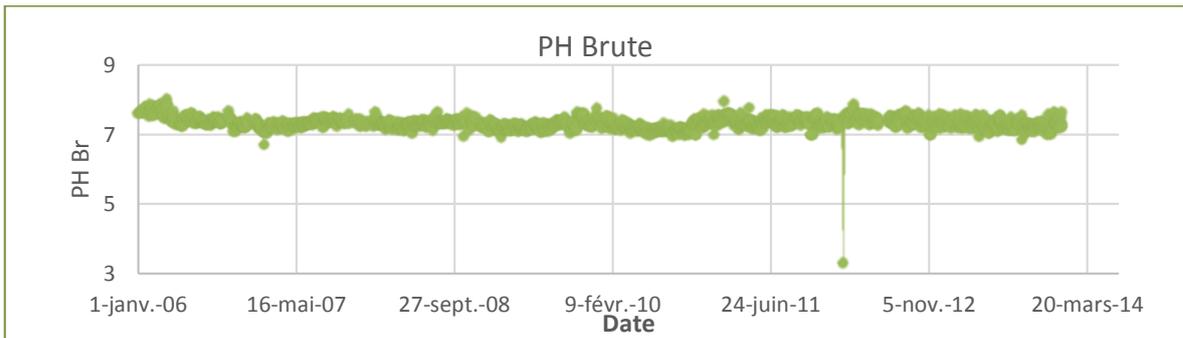


Figure V.1 : Evolution journalière du PH de l'eau brute (STEP Boumerdes).

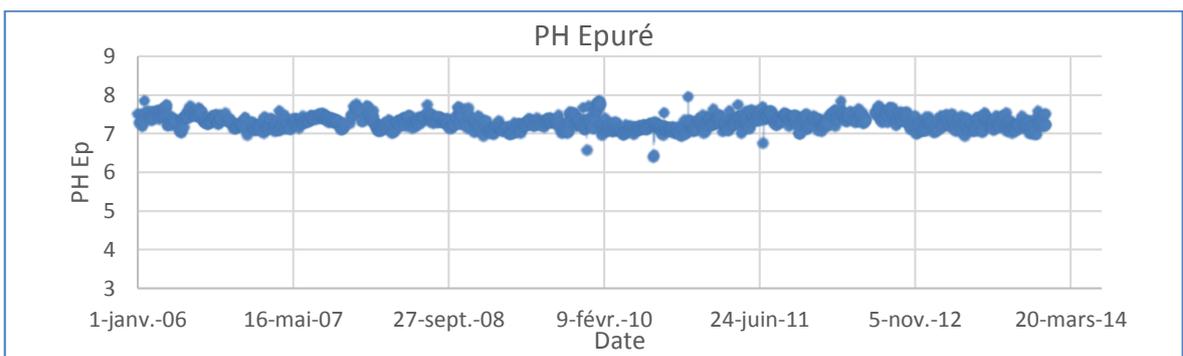


Figure V.2 : Evolution journalière du PH de l'eau épurée (STEP Boumerdes).

Les deux figures ci-dessus montrent que le PH de l'eau brute varie légèrement et oscille entre 6.4 et 8 avec une moyenne de 7.3. En l'an 2012 une diminution brusque à l'entrée (PH=3.3) a été détectée. Celle-ci étant douteuse, un test statistique (**Grubbs et Beck**) a été mené pour vérifier la qualité de cette donnée.

En comparant l'évolution du PH à l'entrée et à la sortie de la STEP, on remarque des fluctuations insignifiantes de ce paramètre, par conséquent celui-ci n'apportera aucune information pertinente pour la problématique étudiée, il ne sera pas pris en considération dans la suite de l'analyse des paramètres de la STEP.

➤ **Evolution de la température**

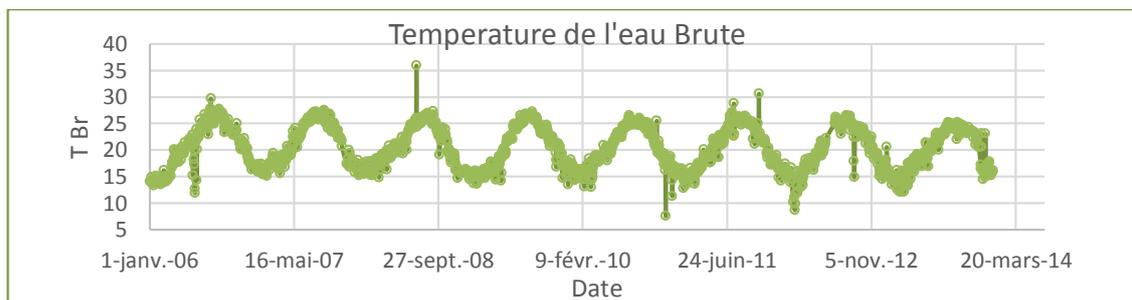


Figure V.3 : Variation journalière de la température de l'eau brute (STEP Boumerdes).

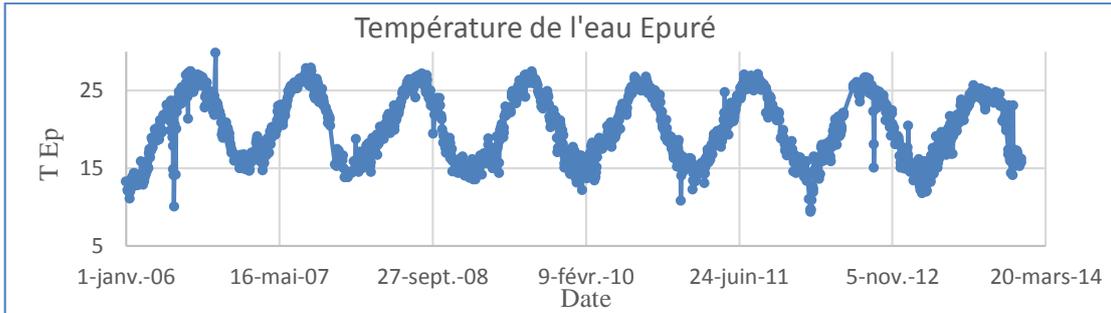


Figure V.4 : *Variation journalière de la température de l'eau épurée (STEP Boumerdes).*

On remarque que la variation de la température est cyclique à l'entrée comme à la sortie et oscille entre 13 et 28 °C à l'exception de certains cas où elle a atteint un minimum de 7.5 et un maximum de 35.9

On déduit que la température de l'eau brute et celle épurée est bien cyclique, celle-ci est tout simplement due aux variations saisonnières. Ceci nous permet de retirer ce paramètre de notre analyse car il n'influera pas sur la problématique étudiée.

➤ **Evolution des Matières En Suspension (MES)**

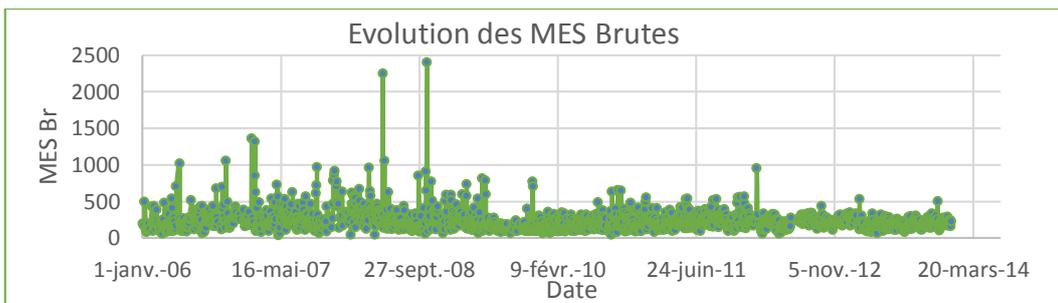


Figure V.5 : *Evolution journalière de la concentration en MES à l'entrée de la STEP Boumerdes.*

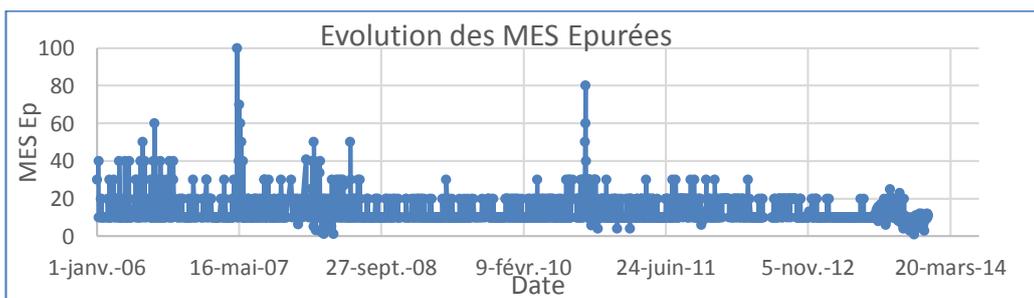


Figure V.6 : *Evolution journalière de la concentration en MES à la sortie de la STEP Boulerdes.*

La Concentration des MES des eaux brutes à l'entrée de la STEP a une moyenne de 239.5 mg/l et oscille entre 100 et 500 mg/l ce qui dépasse la concentration admissible par la STEP (350 mg/l). Certaines valeurs atteignent 2400 mg/l sont enregistrées et peuvent être expliquées par des phénomènes exceptionnels, comme l'augmentation du flux de MES par temps de pluie qui provient majoritairement de la remise en suspension des dépôts accumulés.

A la sortie de la STEP, la majorité des valeurs enregistrées sont inférieures à la norme de rejet qui est de 30 mg/l, avec exception de certains cas où les valeurs sont supérieures à cette dernière, ceci est dû à des arrêts accidentels du fonctionnement.

➤ **Evolution de la DBO5**

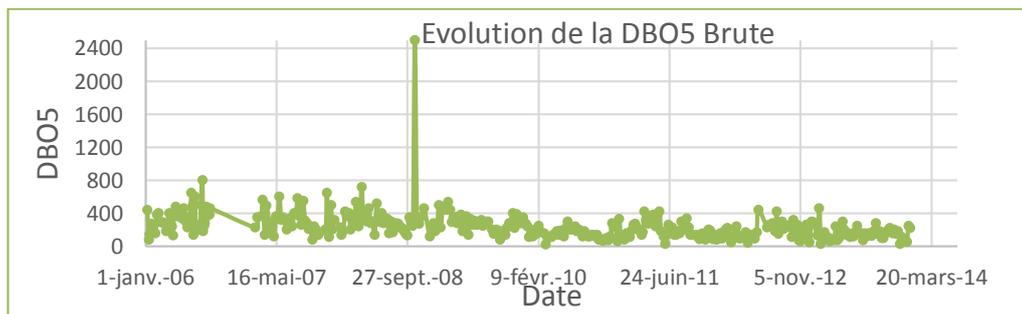


Figure V.7 : *Evolution de la Demande Biologique en Oxygène à l'entrée de la STEP Boumerdes.*

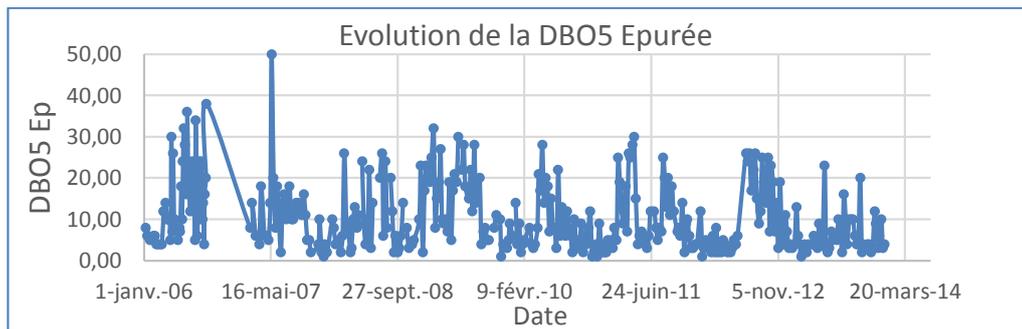


Figure V.8 : *Evolution de la Demande Biologique en Oxygène à la sortie de la STEP Boumerdes.*

La concentration de la demande biologique en oxygène (DBO5) de l'eau brute oscille entre 20 et 800 mg/l ce qui dépasse en majorité la concentration admissible par la STEP 270 mg/l, et tourne autour d'une moyenne de 245 mg/l. Un cas exceptionnel a été enregistré en 2008 où la concentration a atteint 2500 mg/l, celle-ci étant douteuse, un test statistique sera appliquée pour vérifier la fiabilité de cette donnée.

La DBO5 de l'eau épurée est généralement inférieure à la norme de rejet qui est de 30 mg/l, avec quelques exceptions dans les années 2006, 2007, et 2009 qui peuvent s'expliquer soit par une charge organique entrante supérieure à la charge nominale dont les microorganismes ne peuvent pas tout dégrader, soit par un problème au niveau du bassin d'aération.

➤ **Evolution de la DCO**

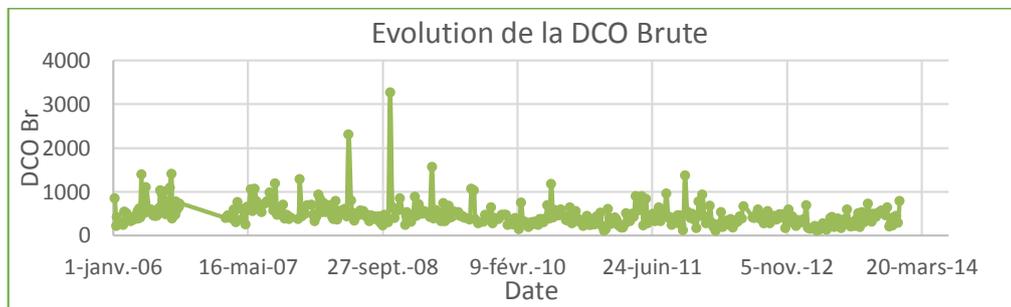


Figure V.9 : *Evolution de la Demande Chimique en Oxygène à l'entrée de la STEP de Boumerdes.*

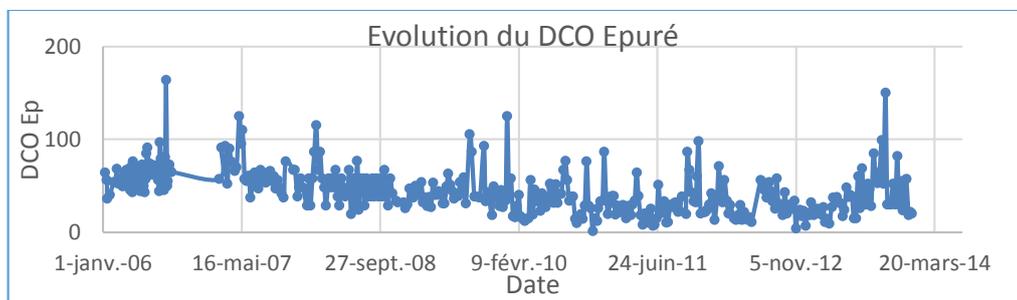


Figure V.10 : *Evolution de la Demande Chimique en Oxygène à la sortie de la STEP de Boumerdes.*

La concentration de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) de l'eau brute oscille entre 110 et 1500 mg/l, avec une moyenne de 485 mg/l. On remarque des valeurs exceptionnelles dépassant la concentration admissible par la STEP (750mg/l), qui ont été enregistré en 2008 et 2009. Celles-ci étant douteuses, un test statistique sera appliqué pour vérifier la fiabilité de ces données.

La DCO de l'eau épurée est généralement inférieure à la norme de rejet qui est de 90 mg/l [OMS] ou bien 120 mg/l [Journal Officiel], avec quelques exceptions dans les années 2006, 2007, 2009, et 2013, ceci est dû à une forte concentration en DCO qui ne peut pas être métabolisée par les bactéries (pollution industrielle).

➤ Evolution de l'ammonium (NH₄⁺)

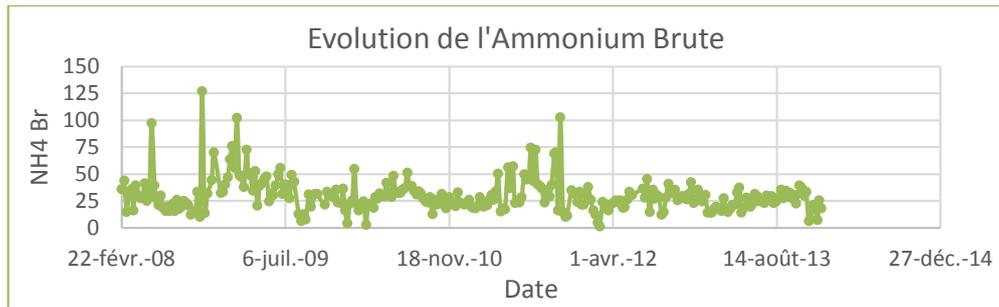


Figure V.11 : Evolution de l'ammonium (NH₄⁺) à l'entrée de la STE de Boumerdes.

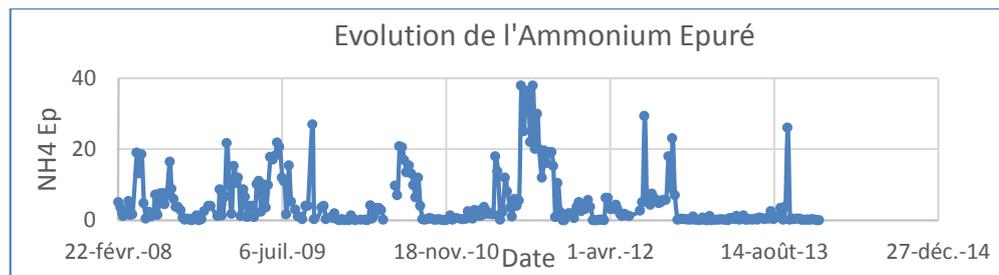


Figure V.12 : Evolution de l'ammonium (NH₄⁺) à la sortie de la STEP de Boumerdes.

Les concentrations d'ammonium brute oscillent entre 0.8 mg/l et 126.5 mg/l avec une moyenne de 32.77 mg/l, ces variations sont fonction de la température et du temps de séjour dans le réseau de collecte.

A la sortie de la STEP, les concentrations d'ammonium sont variables, allant de 0 mg/l à 60,1 mg/l avec une moyenne de 6.2 mg/l, celle-ci étant même supérieure à la norme de rejet qui est de 5 mg/l fixée par l'OMS. Ceci est dû à de fortes charges organiques qui entraînent nécessairement un degré de nitrification plus faible.

➤ Evolution du Nitrite (NO₂⁻)

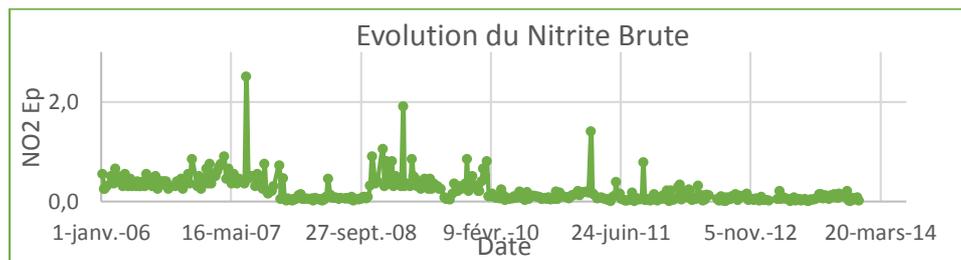


Figure V.13 : Evolution du Nitrite (NO₂⁻) à l'entrée de la STEP de Boumerdes.

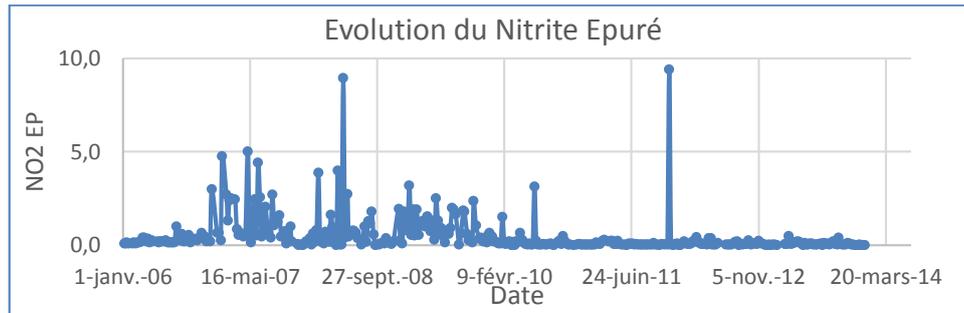


Figure V.14 : Evolution du Nitrite (NO_2^-) à la sortie de la STEP.

Les concentrations en nitrite brute varient entre 0,002 et 1 mg/l, avec des augmentations brusques pendant les années 2007, 2009 et 2011.

A la sortie de la STEP, ces concentrations varient de 0,003 à 5 mg/l, avec deux cas exceptionnels enregistrés, 8,84 mg/l en 2008 et 9,4 mg/l en 2011.

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

➤ **Variation du Nitrate (NO_3^-)**

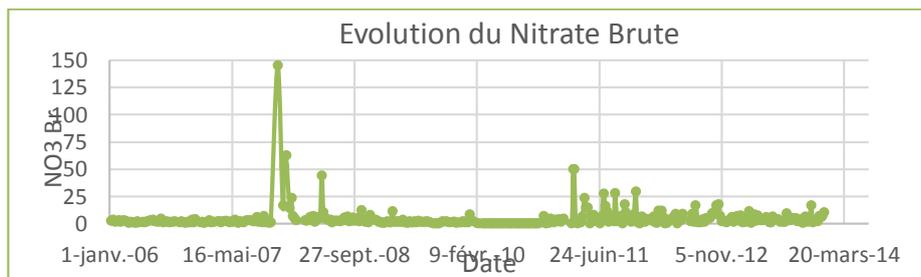


Figure V.15 : Evolution du Nitrate (NO_3^-) à l'entrée de la STEP.

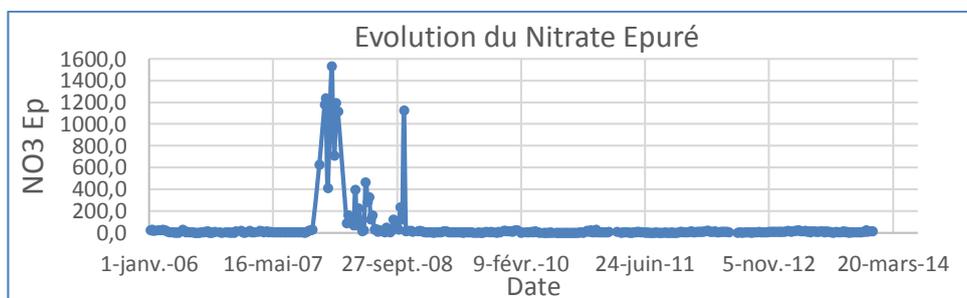


Figure V.16 : Evolution du Nitrate (NO_3^-) à la sortie de la STEP.

Les concentrations de nitrate brute oscillent entre 0,004 à 50 mg/l avec une moyenne de 4,42 mg/l à l'exception de certains cas pouvant atteindre les 145 mg/l en 2007.

Les concentrations de nitrate enregistrées à la sortie de la STEP oscillent entre 0,001 et 30 mg/l, dépassant par moment la norme de rejet qui est de 10 mg/l fixée par l'OMS.

La période d'Octobre 2007 à Novembre 2008 présente des variations considérables atteignant un pic de 1529 mg/l. Ce dépassement laisse supposer qu'il y a un problème de manque de maîtrise du temps d'aération.

➤ **Evolution de l'Azote Kjeldahl NTK**

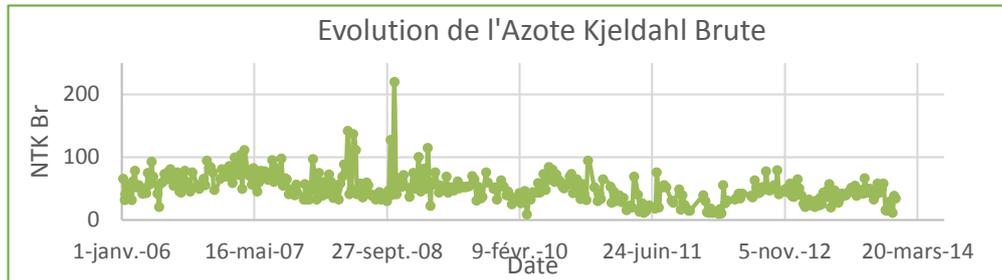


Figure V.17 : Evolution du NTK à l'entrée de la STEP de Boumerdes.

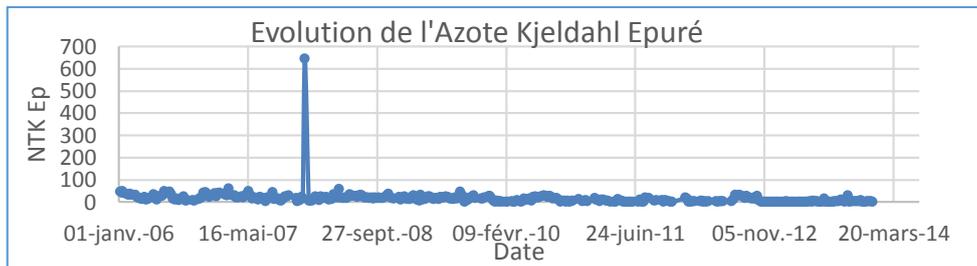


Figure V.18 : Evolution du NTK à la sortie de la STEP de Boumerdes.

Les concentrations en azote Kjeldahl brute oscillent entre 8.12 et 135.8 mg/l, avec une moyenne de 50.18 mg/l.

A la sortie de la STEP, les concentrations de l'azote Kjeldahl épuré sont généralement inférieures à la limite qui est de 40 mg/l, avec un pic enregistré en 2007 atteignant 644 mg/l, cette valeur étant douteuse, la fiabilité de cette mesure sera vérifiée par le test **Grubbs et Beck**. Le faible rabattement du NTK peut s'expliquer par une partie de l'azote organique soluble (réfractaire) qui est difficile à dégrader.

➤ **Evolution de l'ortho-phosphate (PO4³⁻)**

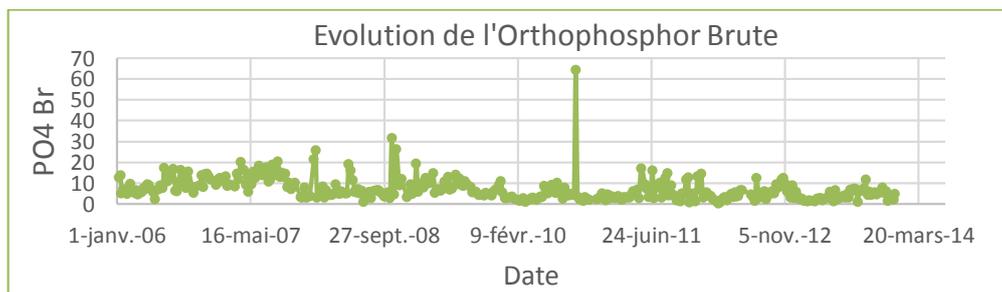


Figure V.19 : Evolution de PO4³⁻ à l'entrée de la STEP de Boumerdes.

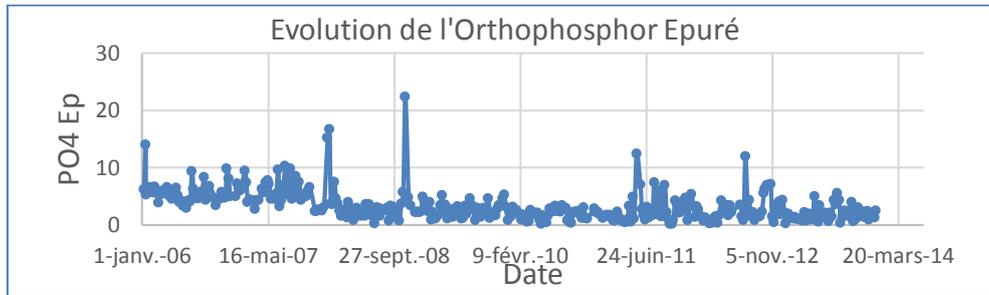


Figure V.20 : Evolution de PO_4^{3-} à la sortie de la STEP de Boumerdes.

Les concentrations de l'ortho-phosphate brute (PO_4^{3-}) oscillent entre 0.35 et 31.6 mg/l, avec une moyenne de 7.07 mg/l, à l'exception d'un pic de 64.44 mg/l enregistré en 2010.

A la sortie, les concentrations enregistrées varient généralement entre 0.13 et 15.21 mg/l, avec une pointe de 22.4 mg/l enregistrée en 2008. Ces valeurs sont inférieures à la norme qui est de 10 mg/l, avec certains dépassements qui peuvent être dû à un faible pourcentage de déphosphatation.

➤ Evolution du débit journalier

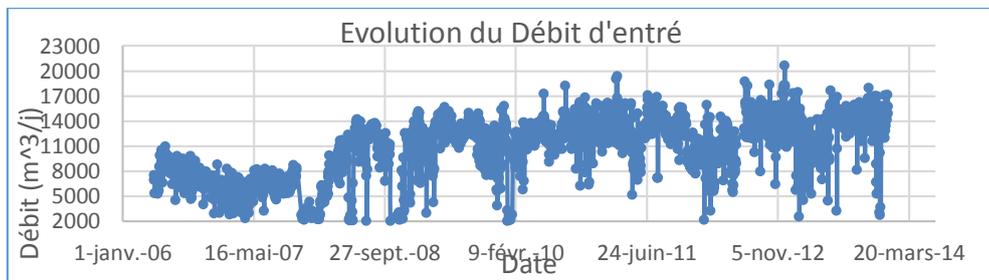


Figure V.21 : Evolution du débit d'entrée journalier de la STEP de Boumerdes..

Le débit de l'effluent varie entre 0 et 15000 m³ avec une moyenne de 10248 m³/j et certains dépassements de la capacité nominale, cela est dû à des précipitations intenses.

➤ Evolution de l'énergie

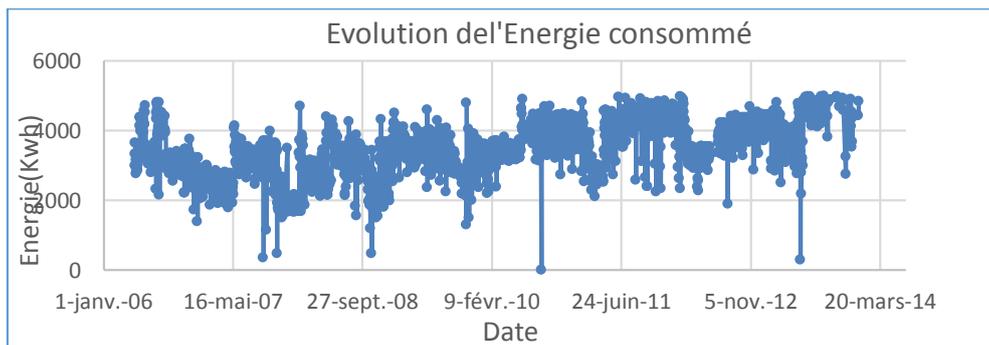


Figure V.22 : Evolution de l'énergie totale consommée à la STEP de Boumerdes

L'énergie totale consommée durant le processus d'épuration des eaux de la STEP de Boumerdes oscille entre 0 et 4985 Kwh autour d'une moyenne de 3535.81 Kwh. Les valeurs nulles enregistrées sont causées par des coupures d'électricité.

➤ **Evolution des Boues de recirculation :**

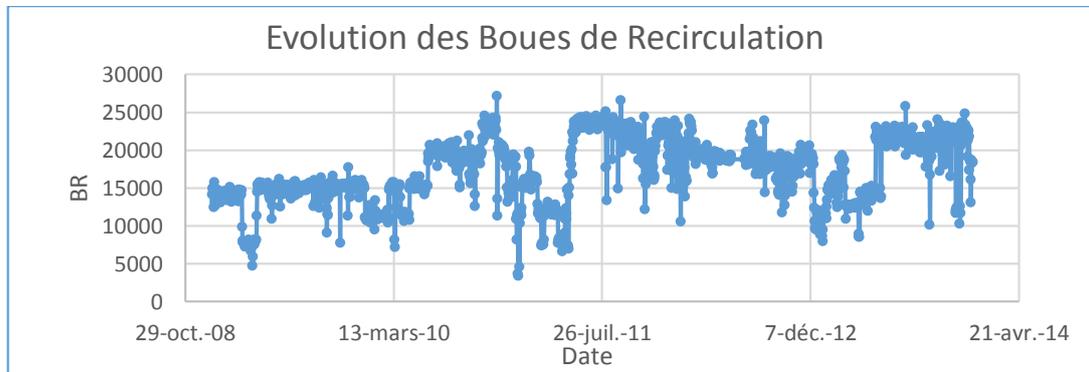


Figure V.23 : *Evolution des Boues de Recirculation à la STEP de Boumerdes*

Les boues de recirculation varient entre 3390 et 27170 m³/j avec une moyenne de 17260 m³/j

➤ **Evolution des Boues en excès :**

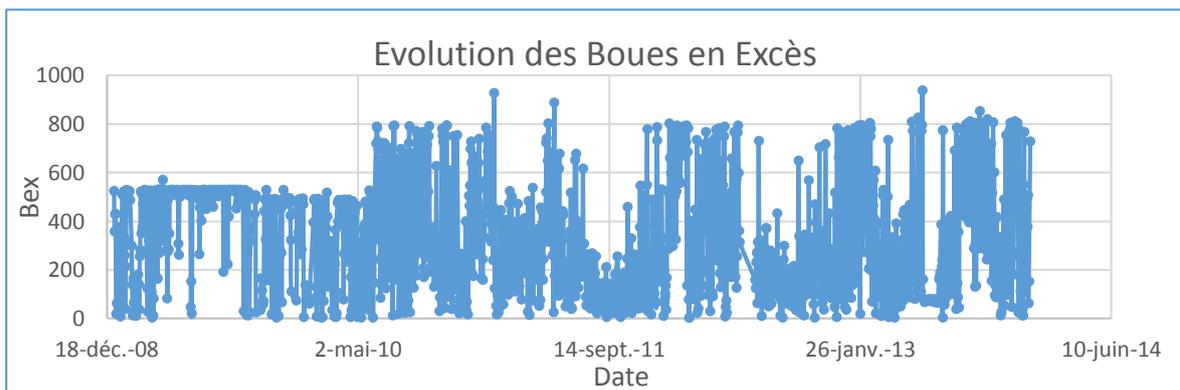


Figure V.24 : *Evolution des Boues en excès à la STEP de Boumerdes*

Les boues en excès varient entre 2.09 et 936.43 m³/j avec une moyenne de 336.18 m³/j

V.2. STEP de Tipaza

V.2.1. Statistiques Descriptives

Tableau V.2 : Statistiques descriptives des paramètres de pollution de la STEP de Tipaza

	Paramètres Brutes					Paramètres Epurés				
	N	Min	Max	Moyenne	Ecart type	N	Min	Max	Moyenne	Ecart type
PH	875	6,19	8,5	7,69	0,20	873	6,36	8,81	7,79	0,24
T	893	9,7	28,5	20,09	4,29	888	9,6	29,7	20,14	4,65
MES	904	2,64	2460	320,68	285,36	897	1	30	9,27	4,66
DBO5	225	30,32	490	163,07	78,58	221	0,5	23	5,05	3,80
DCO	219	71	850	338,06	138,98	216	4	88,3	33,35	17,60
NH4	195	4,5	56,5	23,04	8,74	188	0,1	9,5	1,25	1,65
NO2	202	0,005	14	0,50	1,68	160	0	4	0,16	0,45
NO3	200	0,006	41	1,83	3,20	193	0,002	24,8	8,19	5,39
PO4	192	0,5	32,4	8,39	5,01	191	0,11	39,7	7,79	6,15
Débit	1752	843	12936	5326,1	2138,4	/	/	/	/	/
Energie	1623	1657	7833	3538,8	1150,14	/	/	/	/	/
RB	1411	160	9920	4975,14	1451,83	/	/	/	/	/
Bex	541	123	984	431,27	232,29	/	/	/	/	/

V.2.2. Evolution des paramètres de pollution dans le temps

Les paramètres de pollution (PH et Température) ne seront pas pris en considération dans la suite de ce travaille comme pour la STEP de Boumerdes.

➤ **Evolution des MES**

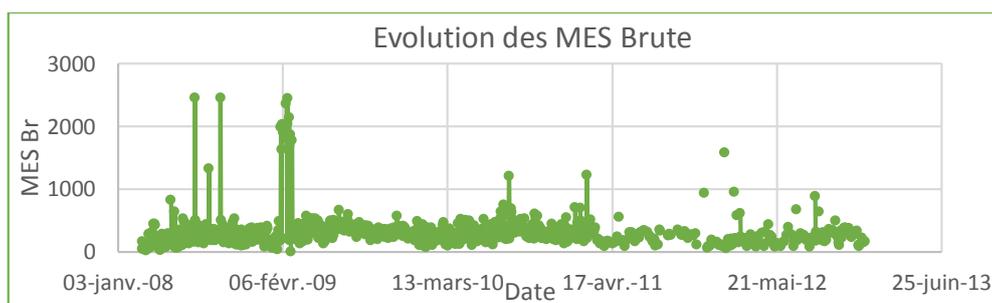


Figure V.25 : Evolution journalière de la concentration en MES à l'entrée de la STEP de Tipaza.

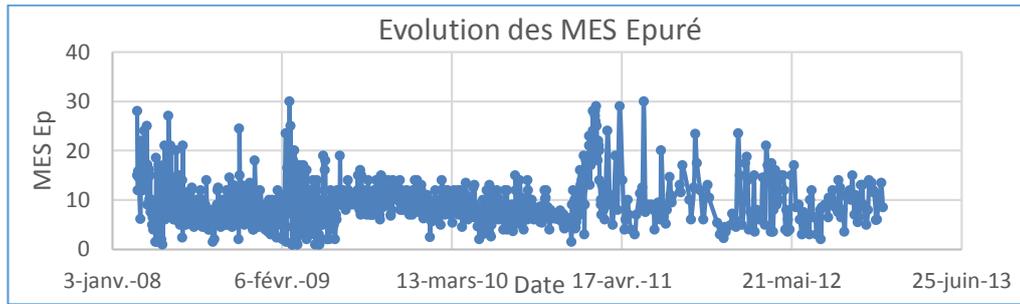


Figure V.26 : Evolution journalière de la concentration en MES à la sortie de la STEP de Tipaza.

La moyenne de la concentration des MES des eaux brutes à l’entrée de la STEP est de 320.68 mg/l. Celle-ci oscillent majoritairement entre 2.64 et 1000 mg/l ce qui dépasse la concentration admissible par la STEP. Certaines valeurs atteignant les 2460 mg/l sont enregistrées et peuvent s’expliquer par des phénomènes exceptionnels, comme l’augmentation du flux de MES par temps de pluie qui provient majoritairement de la remise en suspension des dépôts accumulés.

A la sortie de la STEP, les valeurs enregistrées sont inférieures à la norme de rejet (30mg/l) avec une moyenne de 9.27 mg/l.

➤ **Evolution de la DBO5**

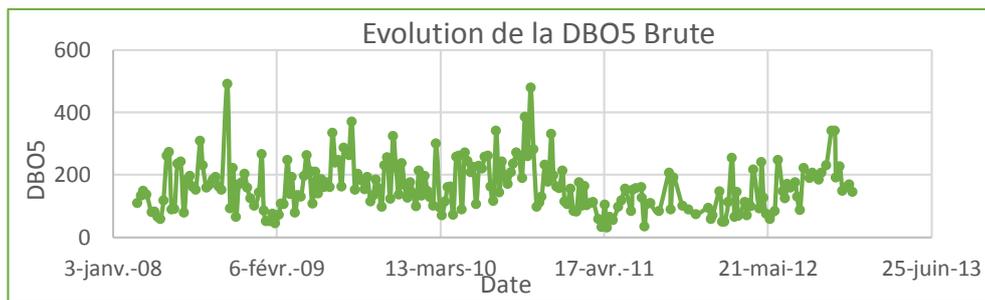


Figure V.27 : Evolution de la Demande Biologique en Oxygène à l’entrée de la STEP de Tipaza.

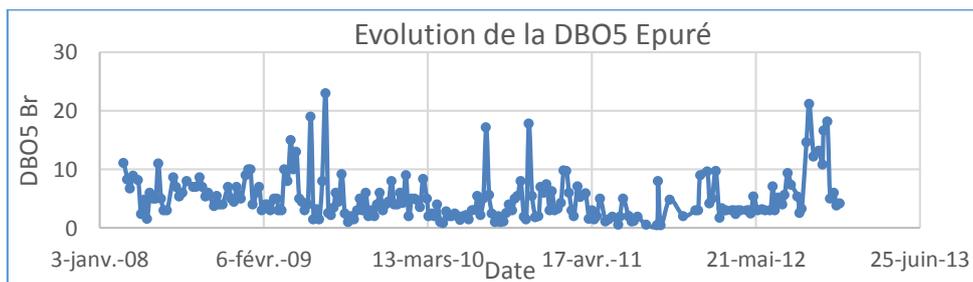


Figure V.28 : Evolution de la Demande Biologique en Oxygène à la sortie de la STEP de Tipaza.

La concentration de la demande biologique en oxygène (DBO5) de l'eau brute oscille entre 30.32 et 490 mg/l avec une moyenne de 163.07 mg/l.

La DBO5 de l'eau épurée est inférieure à la norme de rejet, avec une moyenne de 5.05 mg/l

➤ **Evolution de la DCO**

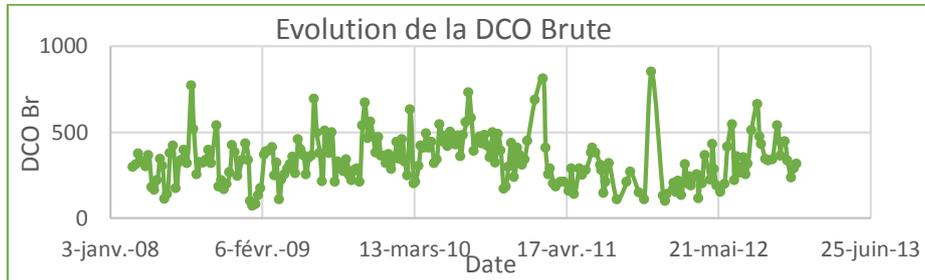


Figure V.29 : Evolution de la Demande Chimique en Oxygène à l'entrée de la STEP de Tipaza.

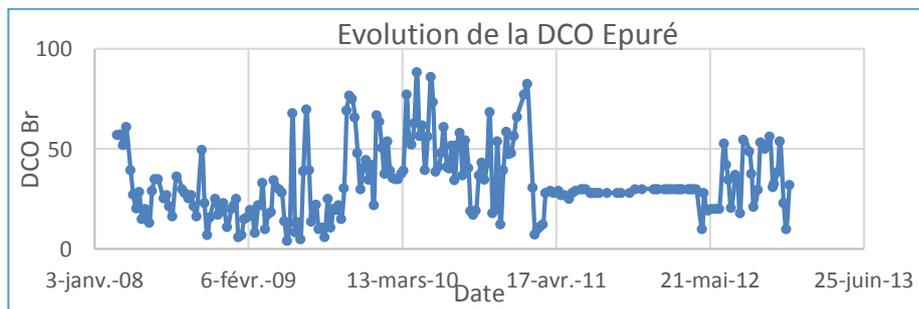


Figure V301 : Evolution de la Demande Chimique en Oxygène à la sortie de la STEP de Tipaza.

La concentration de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) de l'eau brute oscille entre 71 et 850 mg/l, avec une moyenne de 485 mg/l avec des dépassements de la concentration admissible par la STEP qui peuvent s'expliquer par les temps de pluie

La DCO de l'eau épurée est inférieure à la norme de rejet qui est de 90 mg/l, avec une moyenne de 33.35mg/l.

➤ **Evolution du l'Ammonium**

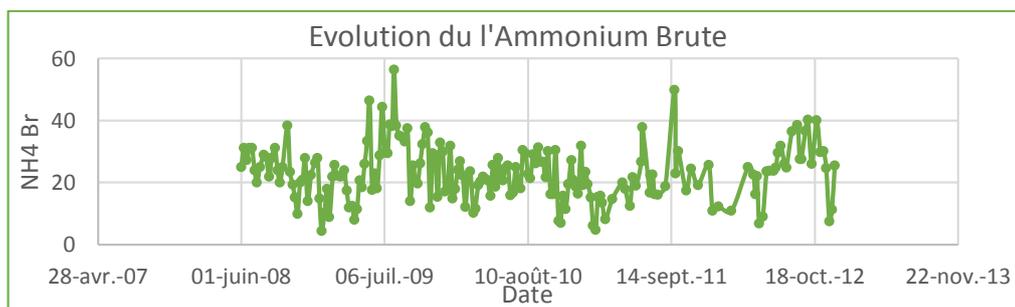


Figure V.31 : Evolution de l'ammonium (NH4⁺) à l'entrée de la STEP de Tipaza.

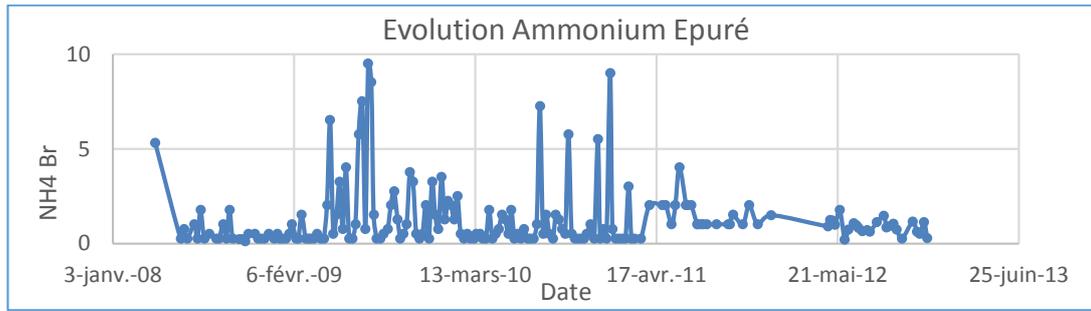


Figure V.32 : Evolution de l'ammonium (NH_4^+) à la sortie de la STEP de Tipaza

Les concentrations d'ammonium Brute oscillent entre 4.5 mg/l et 56.5 mg/l avec une moyenne de 23.04 mg/l, ces variations sont fonction de la température et du temps de séjour dans le réseau de collecte.

A la sortie de la STEP, les concentrations d'ammonium sont variables, allant de 0.1 mg/l à 9.5 mg/l avec une moyenne de 1.63 mg/l.

➤ Evolution du Nitrite

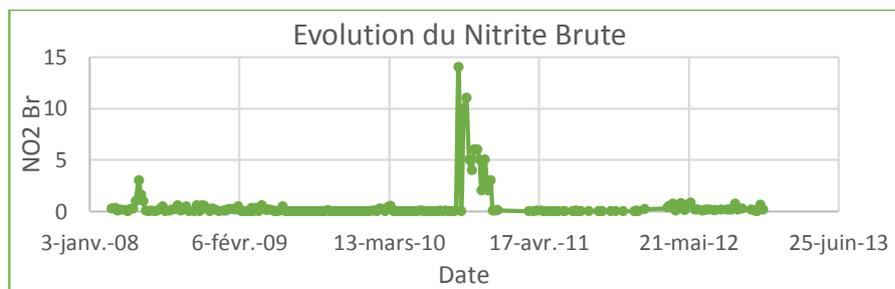


Figure V.33 : Evolution du Nitrite (NO_2^-) à l'entrée de la STEP de Tipaza.

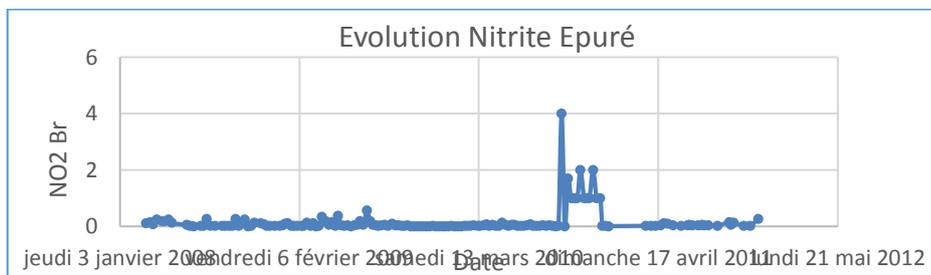


Figure V.34 : Evolution du Nitrite (NO_2^-) à la sortie de la STEP de Tipaza.

Les concentrations en nitrite brute varient entre 0,005 et 5 mg/l, avec des augmentations brusques en 2010 atteignant 14mg/l qui peuvent être expliqués par la nitrification dans le réseau d'assainissement.

A la sortie de la STEP, les concentrations en nitrites varient de 0 à 2 mg/l, avec un cas exceptionnel enregistré en 2010 atteignant 4mg/l, le Nitrite est en excès par rapport à la concentration de l'entrée, cela peut s'expliquer par sa forme qui est instable durant le processus de nitrification.

➤ **Evolution du Nitrate**

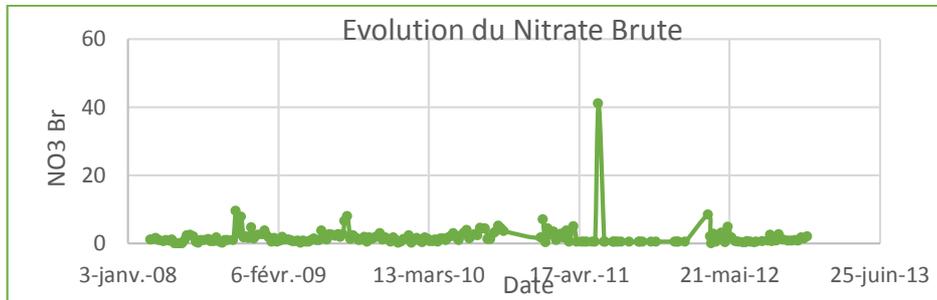


Figure V.35 : Evolution du Nitrate (NO_3^-) à l'entrée de la STEP de Tipaza.

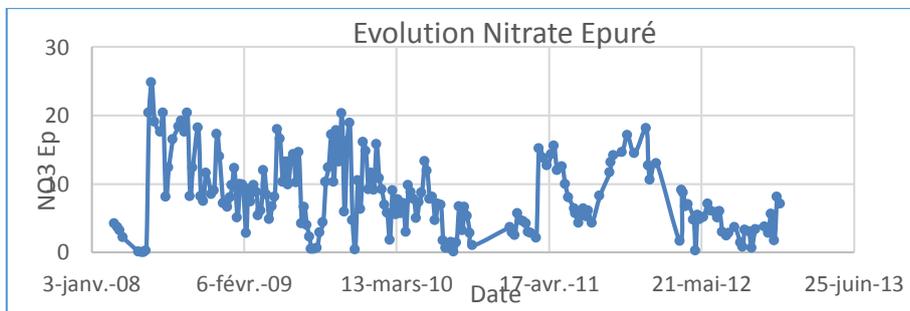


Figure V.36: Evolution du Nitrate (NO_3^-) à la sortie de la STEP de Tipaza.

Les concentrations de nitrate brute oscillent entre 0.006 à 9.5 mg/l avec une moyenne de 1.83 mg/l à l'exception d'un cas où elles atteignent un pic de 41 mg/l en 2011.

Les concentrations enregistrées à la sortie de la STEP oscillent entre 0.002 et 24.8 mg/l.

➤ **Evolution de l'ortho-phosphate**

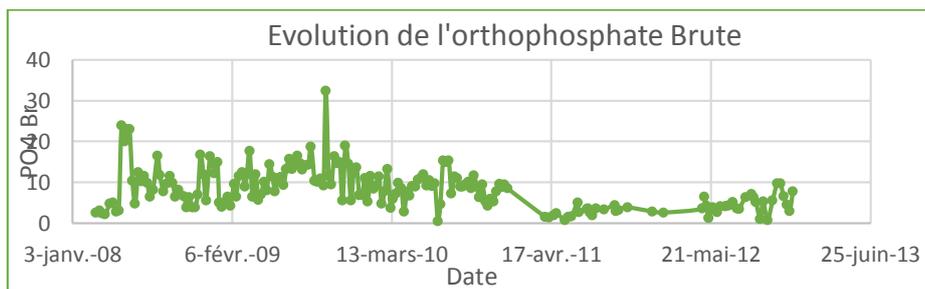


Figure V.37 : Evolution de PO_4^{3-} à l'entrée de la STEP de Tipaza.

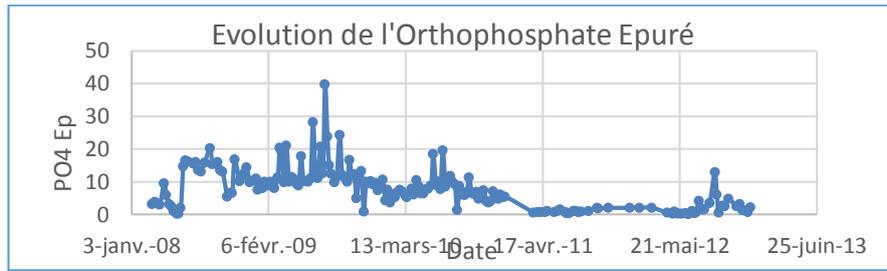


Figure V.38 : Evolution de PO_4^{-3} à la sortie de la STEP de Tipaza.

Les concentrations de l'ortho-phosphate brute (PO_4^{-3}) oscillent entre 0.5 et 32.4 mg/l, à, avec une moyenne de 8.39 mg/l.

A la sortie, les concentrations enregistrées varient généralement entre 0.11 et 39.7 mg/l, avec une moyenne de 7.79 mg/l. Ces valeurs sont inférieures à la norme qui est de 10 mg/l.

➤ **Evolution du Débit entrant**

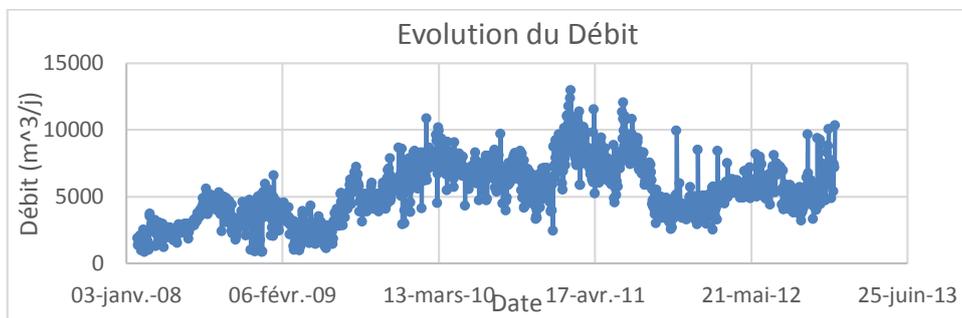


Figure V.39 : Evolution du débit d'entrée journalier de la STEP de Tipaza

Le débit de l'effluent varie entre 843 et 12936 m³ avec une moyenne de 5326.1 m³/j, on remarque certains dépassements de la capacité nominale, cela est dû à des précipitations intenses.

➤ **Evolution de l'Energie**

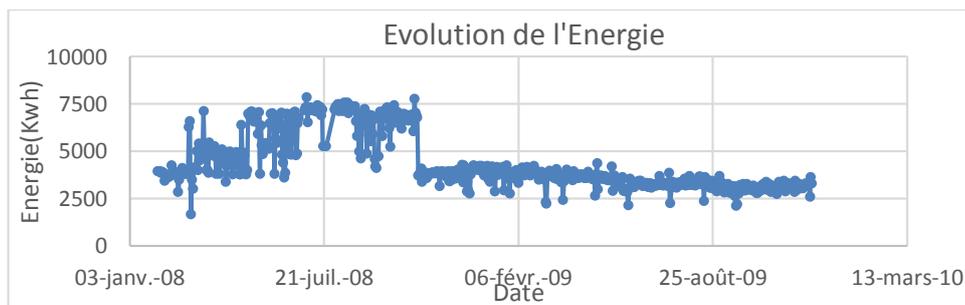


Figure V.40 : Evolution de l'énergie totale consommée à la STEP de Tipaza

L'énergie totale consommée durant le processus d'épuration des eaux de la STEP de Tipaza oscille entre 1655 et 7833 Kwh avec une moyenne de 4330 Kwh,

Les valeurs nulles enregistrées sont enlevées car elles sont causées par des coupures d'électricité.

➤ **Evolution des Boues de recirculation**

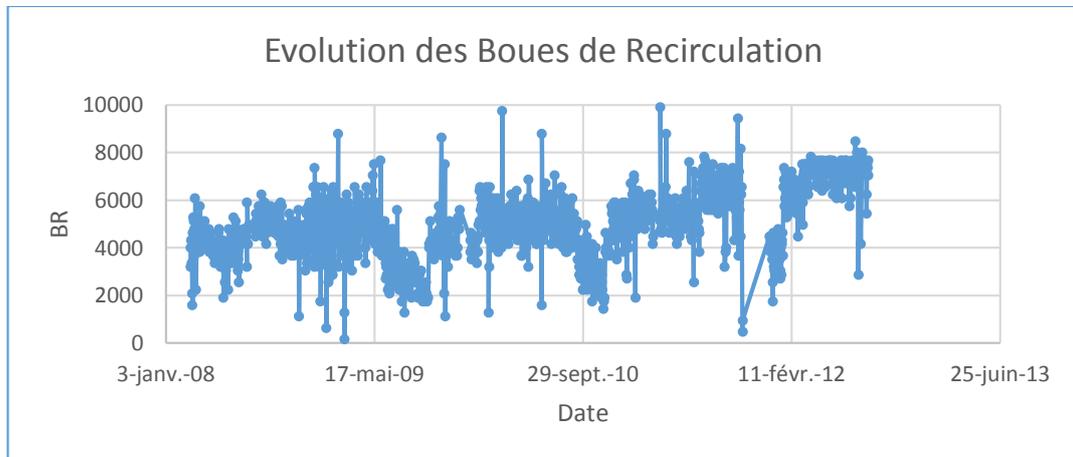


Figure V.41 : *Evolution des Boues de recirculation à la STEP de Tipaza*

Les boues de recirculation varient entre 160 et 9920 m³/j avec une moyenne de 4975,14 m³/j.

➤ **Evolution des Boues en excès**

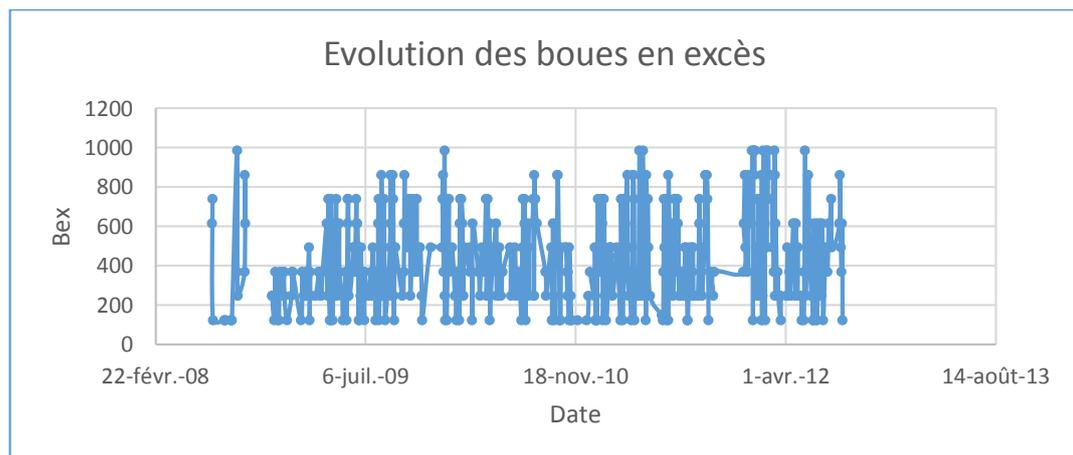


Figure V.42 : *Evolution des Boues en excès à la STEP de Tipaza*

Les boues en excès varient entre 123 et 984 m³/j avec une moyenne de 431.24 m³/j

➤ Histogrammes des rendements des paramètres de pollution des STEP

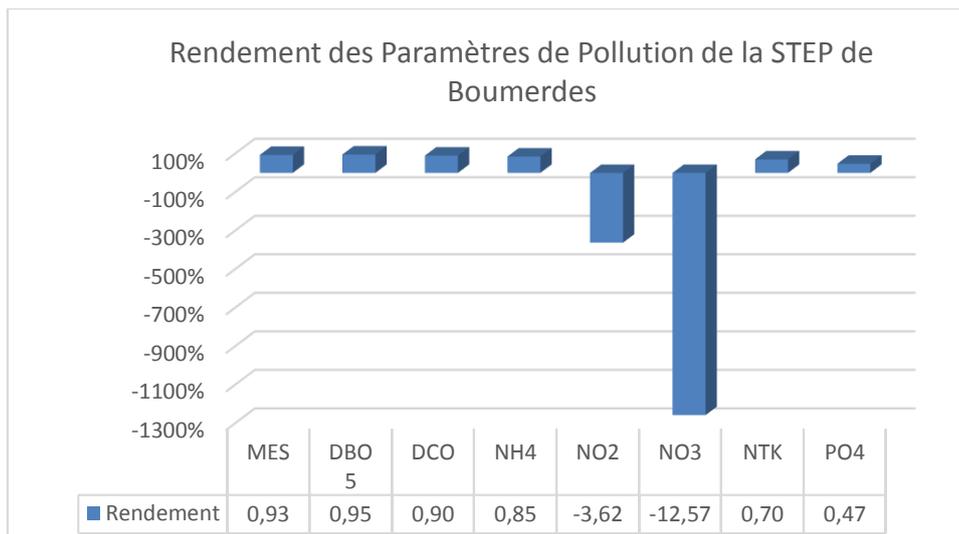


Figure V.43 : Histogramme de rendement des paramètres de pollution de la STEP de Boumerdes

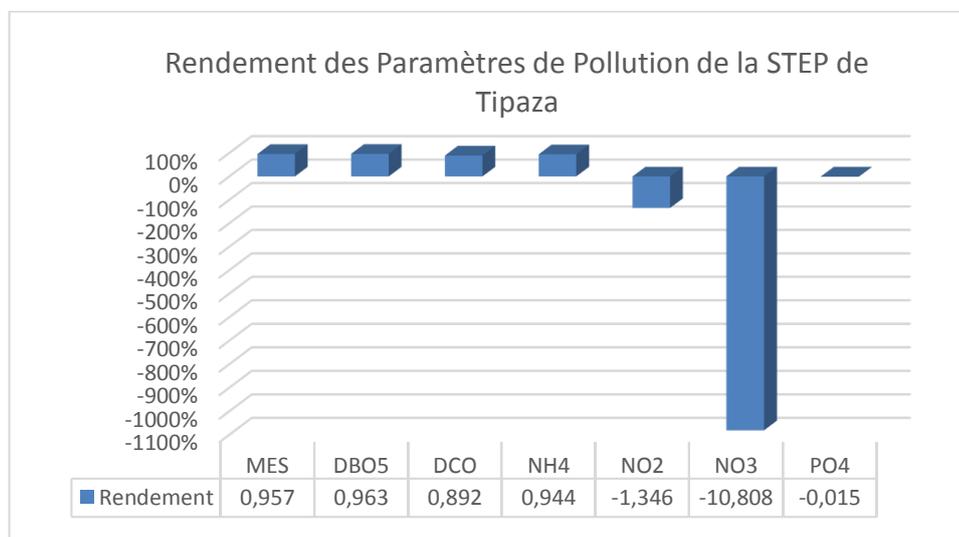


Figure V.44 : Histogramme de rendement des paramètres de pollution de la STEP de Tipaza

D’après l’analyse de ces deux figures on remarque que l’exploitation des deux STEP se basent essentiellement sur le rabattement de la pollution organique (DBO5, DCO, MES) selon la vocation de ces STEP. Cependant on note un excès en nitrate qui représente un danger dans les cours d’eau naturels (eutrophisation).

V.3. Détermination des valeurs singulières

Il arrive fréquemment que des erreurs se glissent dans les données de base et en dénaturent complètement le contenu. Cela peut se produire au cours de la mesure, ou de la saisie.

Il est important donc avant tout traitement de détecter les erreurs grossières de ce genre, afin que l'on puisse effectuer une analyse plus fine pour décider si cette donnée douteuse est aberrante et doit donc être éliminée, ou si c'est une donnée exceptionnelle, qui par conséquent doit être au contraire précieusement conservée. Dans notre étude on a opté pour le test de « **Grubbs et Beck** »

V.3.1. Test des horsains de Grubbs et Beck

Ce test est très utilisé pour sa simplicité, il peut signaler la présence de valeurs singulières appelées horsains, en calculant les statistiques suivants :

$$X_h = \exp(\bar{x} + K_n * s_x)$$

$$X_l = \exp(\bar{x} - K_n * s_x)$$

\bar{x} Et s_x : Sont respectivement, la moyenne et l'écart type des logarithmes naturels des éléments constituant l'échantillon.

K_n : Valeur statistique du test de Grubbs et Beck, tabulée pour différentes tailles d'échantillons et de niveaux de signification.

Au niveau de risque de 10%, l'approximation polynomiale suivante a été proposée par Bobée (1991) :

$$K_n = 3.62201 + 6.28446 * n^{1/4} - 2.49835 * n^{1/2} + 0.491436 * n^{3/4} - 0.037911 * n$$

n : Taille de l'échantillon.

Les valeurs de la chronique étudiée doivent appartenir à l'intervalle $[X_l, X_h]$.

Dans le cas où l'une des valeurs n'appartient pas à cet intervalle, on conclura que celle-ci est une valeur horsain.

V.3.2. Résultat du test pour la STEP de Boumerdes

Le tableau suivant résume les résultats obtenus après l'application du test de Grubbs et Beck.

Tableau V.3 : Résultats du test de Grubbs et Beck pour la STEP de Boumerdes

	Eaux Brute					
	\bar{x}	s_x	N	Kn	Xl	Xh
PH Br	1,991	0,027035	1898	5,6193	6,29	8,52
T Br	3,002	0,201026	1897	5,6246	6,50	62,37
MES Br	5,363	0,460074	1861	5,8133	14,71	3095,41
DBO Br	5,335	0,588928	387	10,5554	0,41	103929,86
DCO Br	6,066	0,476385	395	10,5528	2,83	65725,74
NH4 Br	3,334	0,582795	328	10,5615	0,06	13210,53
NO2 Br	-2,151	1,223360	386	10,5557	0,00	47230,63
NO3 Br	0,416	1,872466	380	10,5574	0,00	583258719,41
NTK Br	3,811	0,482069	364	10,5607	0,28	7347,76
PO4 Br	1,718	0,707345	386	10,5557	0,00	9744,62
	Eaux Epuré					
PH Ep	1,986	0,021902	1894	5,6404	6,44	8,25
T Ep	2,996	0,211821	1893	5,6457	6,05	66,17
MES Ep	2,531	0,419302	1865	5,7924	1,11	142,57
DB05 Ep	2,075	0,812349	411	10,5463	0,00	41884,92
DCO Ep	3,670	0,608485	426	10,5387	0,06	23923,65
NH4 Ep	0,357	2,148149	321	10,5606	0,00	10172567929,62
NO2 Ep	-1,917	1,605547	384	10,5563	0,00	3373185,15
NO3 Ep	1,533	1,832409	380	10,5574	0,00	1168458452,43
NTK Ep	2,008	1,615397	364	10,5607	0,00	190946809,07
PO4 Ep	0,901	0,796594	386	10,5557	0,00	11041,93
Débit	9,048	0,848297	2707	0,7718	2000	16363,32
Énergie	8,144	0,282468	2751	0,4785	1000	5000
BR	9,722	0,287313	1795	6,1525	2848,19	97717,05
Bex	5,420	1,127753	1638	6,9230	2	555604,05

Remarque :

Les valeurs de X_l et X_h sont déterminé à partir du teste de Grubbs et Beck ainsi que l'ordre de grandeur de chaque paramètre

➤ **Les valeurs singulières :**

L'application du test de Grubbs et Beck au pas du temps journalier en suivant l'ordre de grandeur de chaque paramètre nous a permis de détecter une valeur singulière du paramètre PH de l'eau brute qui est de 3,31, cette dernière s'écarte de la normale, on ne pourra en aucun cas avoir un effluent assez acide car un PH inférieur à 5 affecte directement la croissance des micro-organismes.

Pour tous les paramètres de pollution cités ci-dessous, les valeurs dont l'ordre de grandeur est soit inférieur ou supérieur à un certain seuil, seront considérées comme étant douteuses et seront éliminées par conséquent de notre analyse.

- MES < 100 mg/l ou MES > 1000 mg/l
- DBO5 < 100 mg/l ou DBO > 800 mg/l
- DCO > 1100 mg/l
- NH4 > 100 mg/l
- NO3 > 100 mg/l.

D'autres paramètres à expliquer présentent des valeurs douteuses qui seront-elles aussi éliminées de notre analyse tels que :

- l'énergie pour les valeurs : 0, 11, 359, et 476 Kwh qui après enquête, il s'avère que pour les valeurs faibles, c'est soit des coupures de courant ou des arrêts de fonctionnement de la station, alors que pour les valeurs moyennes c'est des jours d'inondations au niveau de la STEP de Boumerdes.
- le débit pour les valeurs 0 et < 2000 m³/j, il s'avère après enquête que les valeurs nulles correspondent aux jours où le débitmètre était en panne et toutes les valeurs de débit en dessous de 2000 m³/j correspondent aux jours du by-pass au niveau de la STEP d'après les archives consultées.
- les boues de recirculation pour les valeurs 81280 m³/j et 105817 m³/j, ce sont probablement des erreurs de saisie.

V.3.3 Résultat du test pour la STEP de Tipaza

Le tableau suivant résume les résultats obtenus après l'application du test de Grubbs et Beck.

Tableau V.4 : Résultats du test de Grubbs et Beck pour la STEP de Tipaza

	Eaux Brute					
	\bar{x}	s_x	N	Kn	Xi	Xh
PH Br	2,0391	0,0257	875	9,79	5,98	9,88
T Br	2,9759	0,2237	893	9,74	2,22	173,30
MES Br	5,5757	0,5977	904	9,71	0,79	87648,21
DBO Br	4,9739	0,5101	225	10,51	0,68	30721,30
DCO Br	5,7326	0,4456	219	10,50	2,87	33246,04
NH4 Br	3,0552	0,4304	195	10,47	0,23	1922,78
NO2 Br	-2,8198	1,8317	202	10,48	0,00	12944195,13
NO3 Br	0,0696	1,1062	200	10,48	0,00	115832,19
PO4 Br	1,9208	0,7067	192	10,47	0,00	11124,79
	Eaux Epuré					
PH Ep	2,0523	0,0310	873	9,80	5,75	10,54
T Ep	2,9745	0,2406	888	9,76	1,87	204,70
MES Ep	2,0978	0,5384	897	9,73	0,04	1537,10
DB05 Ep	1,3757	0,7178	221	10,50	0,00	7432,75
DCO Ep	3,3565	0,5823	216	10,50	0,06	12943,66
NH4 Ep	-0,3201	0,9917	188	10,46	0,00	23236,16
NO2 Ep	-3,4492	1,7094	159	10,41	0,00	1704308,58
NO3 Ep	1,7254	1,1960	193	10,47	0,00	1536852,20
PO4 Ep	1,5754	1,1913	191	10,46	0,00	1254969,26
Débit	8,4848	0,4661	1752	6,37	248,71	94217,53
Énergie	8,3255	0,3005	648	10,28	187,88	90695,00
BR	9,1147	0,1439	351	10,56	1987,06	41560,59
Bex	5,3032	0,8532	135	10,36	0,03	1386959,28

➤ **Les valeurs singulières**

Pour les paramètres de pollution cités ci-dessous, les valeurs dont l'ordre de grandeur est soit inférieur ou supérieur à un certain seuil, seront considérées comme étant douteuses et seront éliminées par conséquent de notre analyse.

- MES < 100 mg/l ou MES > 1000 mg/l
- NO3 >10 mg/l

***CHAPITRE VI : Application de l'ACP
sur les données de la STEP de Boumerdes
et Tipaza***

VI.1. Introduction :

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) fait partie des analyses descriptives multivariées. Le but de cette analyse est de résumer le maximum d'informations possibles et en perdant le moins possible pour :

- Faciliter l'interprétation d'un grand nombre de données initiales ;
- Donner plus de sens aux données réduites.

Notre étude traite un phénomène temporel et spatial, où les variables varient en fonction du temps et en fonction du lieu de mesure (*STEP Boumerdes et Tipaza*), et notre analyse sera appliquée sur deux échelles de temps : journalier et mensuel.

VI.2.Procédure de l'analyse en composantes principales :

VI.2.1. Données utilisées :

On dispose d'une série de données brutes des paramètres de pollution en (mg/l) : MES, DBO5, DCO, NH₄, NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄⁻, NTK de l'eau brute et de l'eau épurée (Entrée-Sortie), le débit de l'effluent (m³/j) ainsi que la boue de recirculation (m³/j), la boue en excès (m³) et l'énergie totale (Kwh) consommée durant le processus d'épuration, de janvier 2006 à décembre 2013 (*STEP Boumerdes*), et de mars 2008 à décembre 2012 (*STEP Tipaza*).

VI.2.2.Résultats de l'ACP :

Après application de l'ACP, on obtient les tableaux suivants :

- Matrice de corrélation ;
- Variance totale expliquée par les valeurs propres ;
- Matrice de corrélation entre les composantes principales centrées réduites et les variables ;
- Cercles de corrélation.

VI.3.Application sur les données de la STEP de Boumerdes :

VI.3.1.Application de l'ACP sur les paramètres de pollution d'entrée (Eau brute) :

VI.3.1.1.Pas de temps journalier :

➤ **Présentation des données :**

Une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée sur le tableau des données journalières, qui contient 8 variables et 274 observations de l'eau brute, après avoir éliminé toutes les données non concomitantes.

Pour faciliter la manipulation des variables, on affecte à chacune d'elles un code qui l'identifie, la liste des variables avec leurs codes correspondants est présentée dans le tableau suivant:

Tableau VI .1 : Codification des variables (Eau brute).

<i>Variable</i>	<i>Code</i>
MES (Eau brute)	MESBr
DBO5 (Eau brute)	DBO5Br
DCO (Eau brute)	DCOBr
NH⁴⁺ (Eau brute)	NH4Br
NO₂⁻ (Eau brute)	NO2Br
NO₃⁻ (Eau brute)	NO3Br
NTK (Eau brute)	NTKBr
PO₄⁻³ (Eau brute)	PO4Br

➤ **Résultats de l'ACP :**

Les résultats de l'analyse sont présentés ci-dessous :

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

★ Matrice de corrélation :

Tableau VI .2 : Matrice de corrélation des paramètres de l'eau brute (journalier).

Corrélation	MESBr	DB05Br	DCOBr	NH4Br	NO2Br	NO3Br	NTKBr	PO4Br
MESBr	1,000							
DB05Br	0,656	1,000						
DCOBr	0,662	0,698	1,000					
NH4Br	0,325	0,455	0,545	1,000				
NO2Br	0,030	0,146	0,130	0,345	1,000			
NO3Br	0,130	0,035	0,031	-0,034	0,020	1,000		
NTKBr	0,481	0,590	0,609	0,535	0,155	0,005	1,000	
PO4Br	0,403	0,379	0,468	0,444	0,262	-0,001	0,482	1,000

L'ACP se met en œuvre sur la matrice de variance-covariance ou sur la matrice de corrélation. Nous allons nous intéresser à la matrice de corrélation. Il ne suffit pas d'avoir un tableau croisant des variables quantitatives et des individus pour appliquer une ACP ; encore faut-il que ce tableau vérifie au préalable certains critères.

Le calcul du déterminant se fait automatiquement sous SPSS. Il suffit, lorsque nous voulons faire une ACP, de le préciser dans l'option « Descriptive ». Il en est de même pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O.

La matrice de corrélation a pour déterminant (0,05), on déduit qu'elle n'est pas singulière.

Pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI .3 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O de l'eau brute (journalier).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0,841	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	806,037
	ddl	28,000
	Signification de Bartlett	0,000

On remarque que la signification de Bartlett tend vers (0.000), et le KMO globale de la matrice se situe dans la fourchette «très bien».

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

La matrice de corrélation est une matrice symétrique et diagonale, elle permet après diagonalisation de calculer les valeurs propres ainsi que la contribution à la variance en termes de pourcentage. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

★ **Variance totale expliquée par les valeurs propres :**

Tableau VI .4 : Variance totale expliquée (paramètres de l'eau brute-journalier).

Composante	Valeurs propres initiales			Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus		
	Total	% de la variance	% cumulés	Total	% de la variance	% cumulés
1	3,671	45,891	45,891	3,671	45,891	45,891
2	1,155	14,442	60,332	1,155	14,442	60,332
3	1,000	12,506	72,838	1,000	12,506	72,838
4	0,620	7,756	80,594			
5	0,566	7,071	87,665			
6	0,419	5,235	92,900			
7	0,294	3,678	96,578			
8	0,274	3,422	100,000			

L'analyse de variance montre qu'à partir de (8) variables réelles constituant la matrice des données, on aboutit à trois (3) variables fictives, dites composantes principales restituant près de 73% de l'information globale, les autres composantes contribuent très faiblement à l'explication de la variance totale, alors leur rejet n'entraîne qu'une perte d'informations minime.

★ **Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :**

Tableau VI .5 : Matrice de corrélation entre les CP' et les variables de l'eau brute journalier.

corrélation	CP'		
	1	2	3
DCOBr	0,861	-0,164	-0,089
DB05Br	0,820	-0,212	-0,080
NTKBr	0,795	0,002	-0,092
MESBr	0,753	-0,412	-0,008
NH4Br	0,716	0,366	0,022
PO4Br	0,673	0,236	0,049
NO2Br	0,300	0,745	0,421
NO3Br	0,052	-0,412	0,893

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

A partir de ce tableau, on remarque qu'il y a une bonne corrélation entre les variables (DCOBr, DBO5Br, NTKBr, MESBr, NH4Br, PO4Br) et la première composante d'une part et les variables NO2Br et NO3Br avec la deuxième et la troisième composante respectivement d'autre part.

Pour bien expliquer les constats tirés à partir du **tableau (VI.5)**, on passe aux représentations graphiques en traçant les cercles de corrélations dans les trois plans factoriels (1×2), (1×3) et (2×3).

★ Cercles de corrélation :

Cercle (1) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×2) :

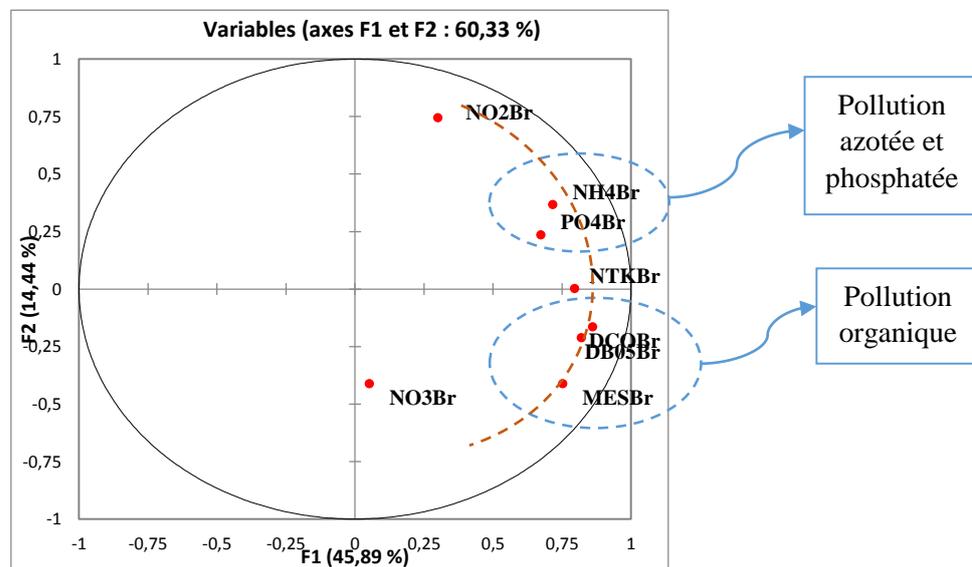


Figure VI.1 : Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle journalière [1×2].

Le cercle de corrélation formé par les axes principaux (1 et 2), montre deux groupes opposés par rapport au premier axe. L'un formé par les composés azotés (NH4Br) et phosphatés (PO4Br) caractérisant une pollution dissoute, l'autre formé par (DCOBr), (DBO5Br), (MESBr) caractérisant une pollution organique. On déduit alors que le plan factoriel formé par les axes (1 et 2) donne une information sur l'origine de la pollution.

En outre, on remarque que l'axe (1) définit un gradient de pollution décroissant de droite à gauche, et que les paramètres de la pollution organique sont disposés sur un arc fictif ayant un gradient de pollution élevé par rapport aux autres paramètres, ceci s'explique par le caractère domestique ou urbain de l'effluent arrivant à la STEP.

Cercle (2) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×3) :

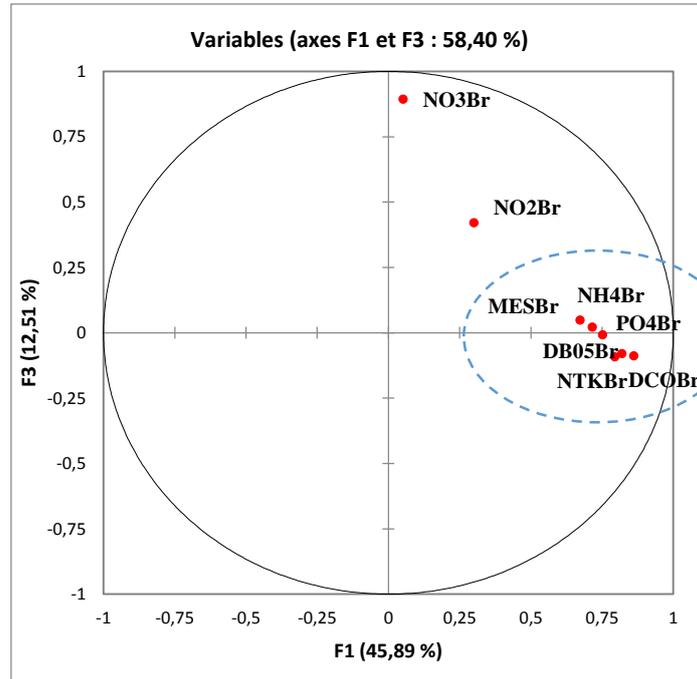


Figure VI .2 : Paramètres de pollution de l’eau brute à l’échelle journalière [1×3].

En examinant le cercle (2), on constate un regroupement de variables composées de : DBO5Br, DCOBr, NTKBr, MESBr, NH4Br et PO4Br autour de l’axe (1), celui-ci permet de former des ratios en combinant ces différents paramètres, par exemple le ratio DCO/NTK influence la cinétique de nitrification et donc le degré d’abattement de l’azote global. Plus ce ratio est faible, plus la vitesse de nitrification est élevée.

Le ratio NTK/DBO est lié à la cinétique de dénitrification. Une valeur faible de ce ratio désigne l’efficacité du procédé d’élimination de l’azote organique donc le taux de nitrification sera important.

Le ratio DBO5/NH4/PO4 (C/N/P) exprime l’équilibre nutritionnel, le métabolisme bactérien s’accompagne de besoins azotés sous forme d’azote ammoniacal et de besoins phosphorés sous forme d’orthophosphates dans des proportions bien précises.

En outre, on remarque que les paramètres NO2Br et NO3Br sont éloignés de l’axe (1) ces derniers représentent des formes oxydées de l’azote difficiles à maîtriser.

Cercle (3) : Projection des variables sur le plan factoriel (2×3) :

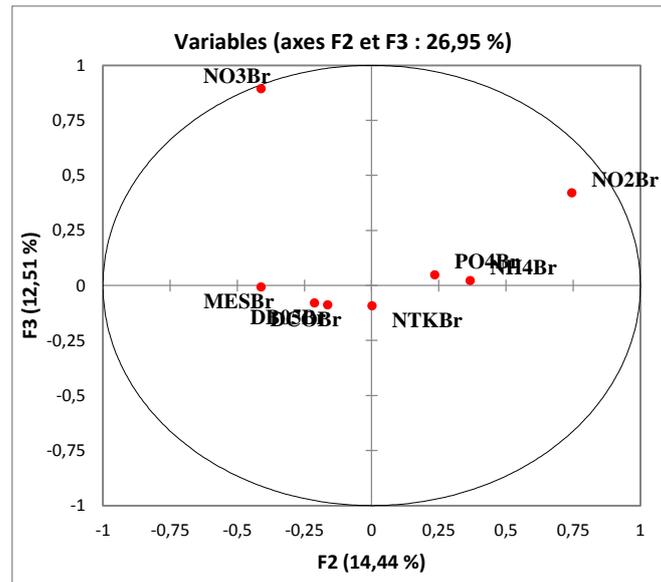


Figure VI .3 : Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle journalière [2×3]

Le cercle de corrélation formé par les axes principaux (2 et 3), ne donne pas d'informations appropriées. Car la plupart des variables se rapprochent du centre.

➤ **Conclusion :**

Les résultats de l'analyse des paramètres de l'eau brute, au pas de temps journalier, ont montré que la pollution de l'eau qui arrive à la STEP est organique caractérisant un effluent domestique.

Le regroupement des variables autour d'un axe permet de former de nouveaux indicateurs de pollution sous forme de ratios, ces derniers permettent d'identifier les insuffisances et d'améliorer le rendement de différentes installations du traitement des eaux usées.

VI.3.1.2.Pas de temps mensuel :

➤ **Présentation des données :**

On dispose d'un tableau de données mensuelles des paramètres de pollution à l'entrée de la STEP (Eau brute) : « 80 observations × 8 variables », après élimination des données non concomitantes.

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

➤ Résultats de l'ACP :

Les résultats de l'analyse sont présentés ci-dessous :

★ Matrice de corrélation :

Tableau VI .6: Matrice de corrélation des paramètres de l'eau brute (mensuel).

Corrélation	MESBr	DB05Br	DCOBr	NH4Br	NO2Br	NO3Br	NTKBr	PO4Br
MESBr	1,000							
DB05Br	0,537	1,000						
DCOBr	0,644	0,775	1,000					
NH4Br	0,167	0,354	0,471	1,000				
NO2Br	-0,261	-0,266	-0,337	0,103	1,000			
NO3Br	0,645	0,215	0,289	-0,053	-0,072	1,000		
NTKBr	0,363	0,574	0,646	0,209	-0,799	0,034	1,000	
PO4Br	0,281	0,395	0,547	0,465	-0,347	-0,094	0,514	1,000

La matrice de corrélation a pour déterminant (0,006), nous déduisons qu'elle n'est pas singulière. Pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI .7: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O de l'eau brute (mensuel).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0,709	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	381.366
	ddl	28,000
	Signification de Bartlett	0,000

On remarque que la signification de Bartlett tend vers (0.000), et le KMO globale de la matrice se situe dans la fourchette «bien».

L'étape suivante consiste à diagonaliser la matrice de corrélation, pour pouvoir calculer les valeurs propres.

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

★ **Variance totale expliquée par les valeurs propres :**

Tableau VI .8: Variance totale expliquée (paramètres de l'eau brute- mensuel).

Composante	Valeurs propres initiales			Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus		
	Total	% de la variance	% cumulés	Total	% de la variance	% cumulés
1	3,723	46,543	46,543	3,723	46,543	46,543
2	1,504	18,800	65,343	1,504	18,800	65,343
3	1,309	16,362	81,705	1,309	16,362	81,705
4	0,559	6,989	88,693			
5	0,403	5,041	93,734			
6	0,232	2,897	96,631			
7	0,173	2,160	98,791			
8	0,097	1,209	100,000			

En examinant l'apport de chaque composante, on remarque qu'avec trois (3) CP seulement, on peut expliquer 81 % de la variance totale.

L'étape suivante consiste à déterminer la corrélation entre les composantes principales centrées réduites (CP') et les variables centrées réduites des données brutes.

★ **Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :**

Tableau VI .9 : Matrice de corrélation entre les CP' et les variables de l'eau brute-mensuel.

corrélation	CP'		
	1	2	3
DCOBr	0,908	0,058	0,187
NTKBr	0,813	-0,298	-0,401
DB05Br	0,807	0,068	0,159
MESBr	0,710	0,578	0,029
PO4Br	0,666	-0,443	0,173
NO3Br	0,322	0,863	-0,045
NO2Br	-0,574	0,223	0,731
NH4Br	0,454	-0,285	0,722

En analysant la matrice de corrélation entre les trois (3) CP' et les variables centrées réduites des variables brutes, on remarque que : Les variables DCOBr, DBO5Br, NTKBr, MESBr et PO4Br sont bien corrélées avec la première composante.

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

Les variables NO3Br et MESBr sont corrélées avec la deuxième composante, alors que les variables NO2Br et NH4Br sont bien corrélées avec la troisième composante.

Pour visualiser les résultats tirés à partir de la matrice de corrélation entre les CP' et les variables, on passe aux représentations graphiques en traçant les différents cercles de corrélation.

★ Cercles de corrélation :

Cercle (1) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×2) :

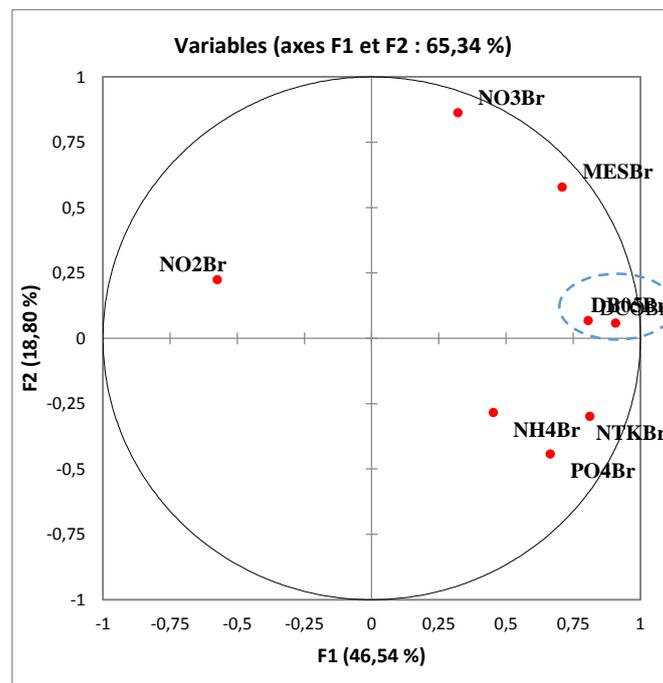


Figure VI.4 : Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle mensuelle [1×2].

En analysant le cercle de corrélation formé par les deux axes principaux (1 et 2), on remarque que les variables DCOBr et DBO5Br sont très proches formant même un ratio DCO/DBO5 qui permet d'évaluer la biodégradabilité de la matière organique d'un effluent donné. En effet, une valeur faible du ratio DCO/DBO5 implique la présence d'une grande proportion de matières biodégradables ce qui permet d'envisager un traitement biologique.

Cercle (2) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×3) :

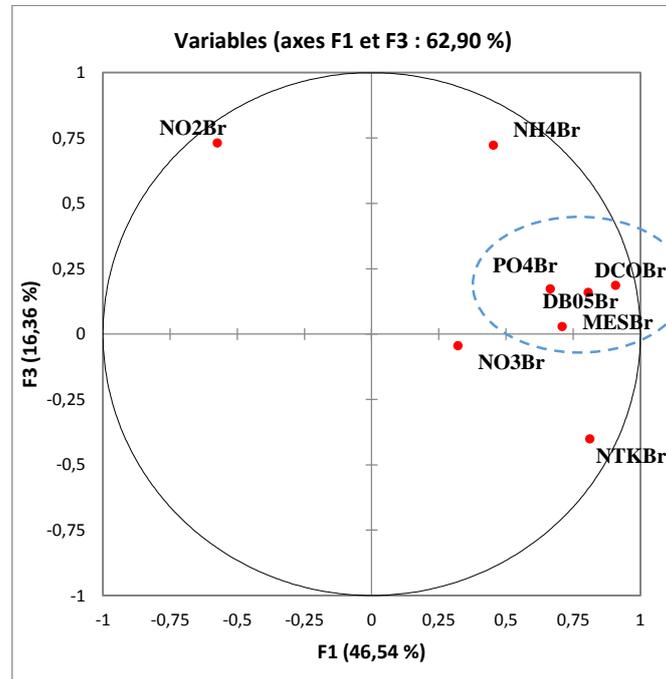


Figure VI .5: Paramètres de pollution de l’eau brute à l’échelle mensuelle [1×3].

En examinant le cercle (2), on constate un regroupement de variables composé de : DBO5Br, DCOBr, MESBr, et PO4Br autour de l’axe (1), celui-ci permet de former des ratios en combinant ces différents paramètres, par exemple, le ratio MES/DBO indique la répartition de la pollution particulaire représentée par les MES et la pollution organique représentée par la DBO5, Les valeurs de ce ratio varient en fonction du phénomène de sédimentation - érosion au sein du réseau ainsi qu’au lessivage du sol.

➤ **Conclusion :**

L’analyse des paramètres de l’eau brute au pas de temps mensuel, a permis d’obtenir de nouveaux indicateurs de pollution sous forme de ratios qui synthétisent d’avantage les différents paramètres, et permettent une meilleure appréciation de la pollution, et une accumulation d’informations issues de stations différentes.

VI.3.2. Application de l'ACP sur les paramètres de l'eau (Entré/Sortie) :

VI.3.2.1. Pas de temps journalier :

➤ **Présentation des données :**

Une analyse en composante principale (ACP) a été effectuée sur le tableau des données journalières, qui contient 16 variables et 254 observations de l'eau brute et épurée, après avoir éliminé toutes les données non concomitantes.

On affecte à chacune de ces variables un code qui l'identifie.

Tableau VI .10: Codification des variables (Eau brute-Eau épurée).

<i>Variable</i>	<i>Code</i>
Paramètre eau brute	Paramètre Br
Paramètre eau épurée	Paramètre Ep

➤ **Résultats de l'ACP :**

★ **Matrice de corrélation :**

La matrice de corrélation a pour déterminant (0,015), nous déduisons qu'elle n'est pas singulière. et Pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI .11: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Eau brute-Eau épurée/ journalier).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0,731	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	1037,615
	ddl	120
	Signification de Bartlett	0,000

On remarque que la signification de Bartlett tend vers (0.000), et le KMO globale de la matrice se situe dans la fourchette «bien».

L'étape suivante consiste à diagonaliser la matrice de corrélation, pour pouvoir calculer les valeurs propres.

**CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de
Boumerdes et Tipaza**

★ **Variance expliquée par les valeurs propres :**

Tableau VI .12: Variance totale expliquée (Eau brute-Eau épurée/ journalier).

Composante	Valeurs propres initiales			Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus		
	Total	% de la variance	% cumulés	Total	% de la variance	% cumulés
1	3,994	24,963	24,963	3,994	24,963	24,963
2	1,880	11,747	36,710	1,880	11,747	36,710
3	1,384	8,652	45,361	1,384	8,652	45,361
4	1,219	7,617	52,978			
5	1,096	6,849	59,827			
6	0,964	6,023	65,849			
7	0,856	5,348	71,198			
8	0,806	5,038	76,235			
9	0,729	4,558	80,793			
10	0,639	3,996	84,789			
11	0,566	3,540	88,330			
12	0,493	3,079	91,409			
13	0,457	2,855	94,264			
14	0,380	2,376	96,640			
15	0,293	1,830	98,470			
16	0,245	1,530	100,000			

★ **Corrélation entre les CP' et les variables centrées réduites :**

Tableau VI .13: Matrice de corrélation entre les CP' et les variables (Eau brute-Eau épurée/ journalier).

corrélation	CP'		
	1	2	3
NH4Br	0,772	-0,232	0,003
NTKBr	0,710	0,094	0,032
DCOBr	0,686	0,163	-0,160
PO4Br	0,669	0,056	-0,493
DB05Br	0,653	0,024	0,113
NH4Ep	0,605	-0,369	0,290
PO4Ep	0,486	0,058	-0,274
NO2Br	0,438	-0,132	-0,129
NO2Ep	0,412	-0,026	-0,036
MESEp	0,214	0,041	-0,209
NO3Ep	0,085	0,727	0,181
NO3Br	0,058	0,689	0,315
MESBr	0,390	0,475	-0,295
NTKEp	0,240	0,460	0,387
DCOEp	0,377	-0,034	0,532
DB05Ep	0,423	-0,430	0,479

★ **Cercle de corrélation :**

Cercle (1) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×2) :

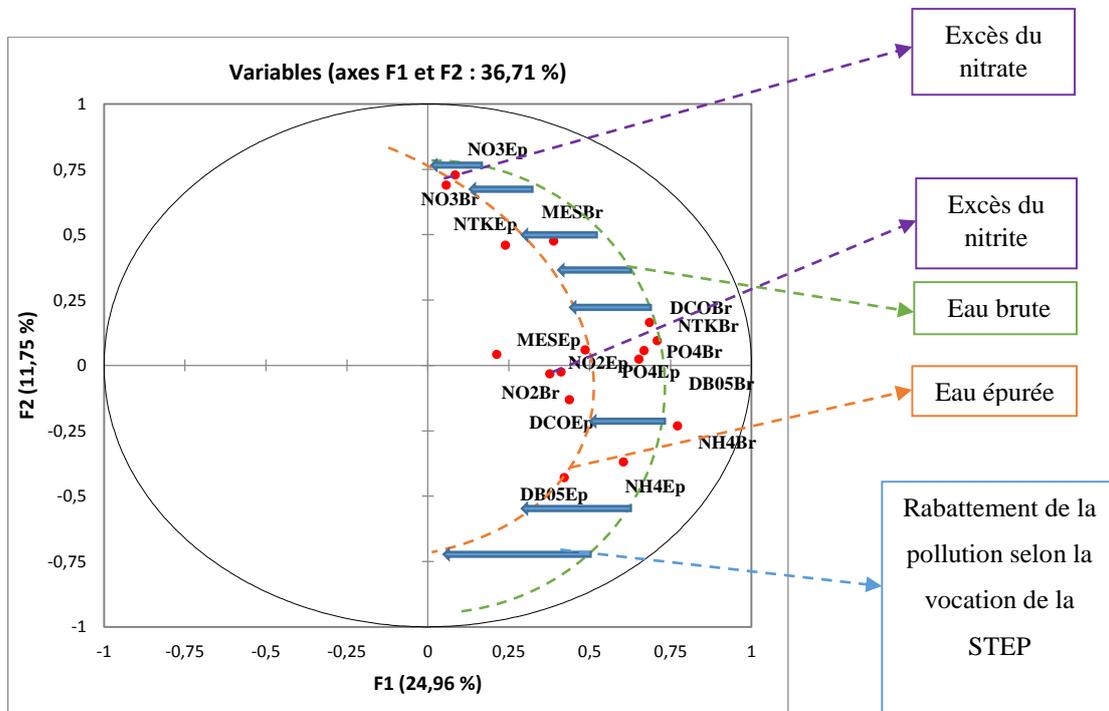


Figure VI .6: Paramètres de pollution (Entrée-Sortie) à l'échelle journalière [1 × 2].

La projection des variables sur le plan factoriel (1×2) montre que les paramètres de pollution de l'eau brute et épurée sont disposés sur deux arcs fictifs respectivement, tel que Les équidistances entre ces deux arcs fictifs définissent le rabattement de la pollution selon la vocation de la STEP, contrairement aux paramètres NO3, et NO2 dont le processus n'est pas bien maîtrisé vu qu'ils se présentent en excès.

VI.3.2.2.Pas de temps mensuel :

➤ **Présentation des données :**

On dispose d'un tableau de données mensuelles «80 observations × 16 variables». Après application de l'ACP et la vérification de trois critères, on obtient les mêmes résultats qu'à l'échelle journalière avec de légères différences. On se limite à montrer le cercle de corrélation dans le plan factoriel formé par les axes principaux (1 et 2).

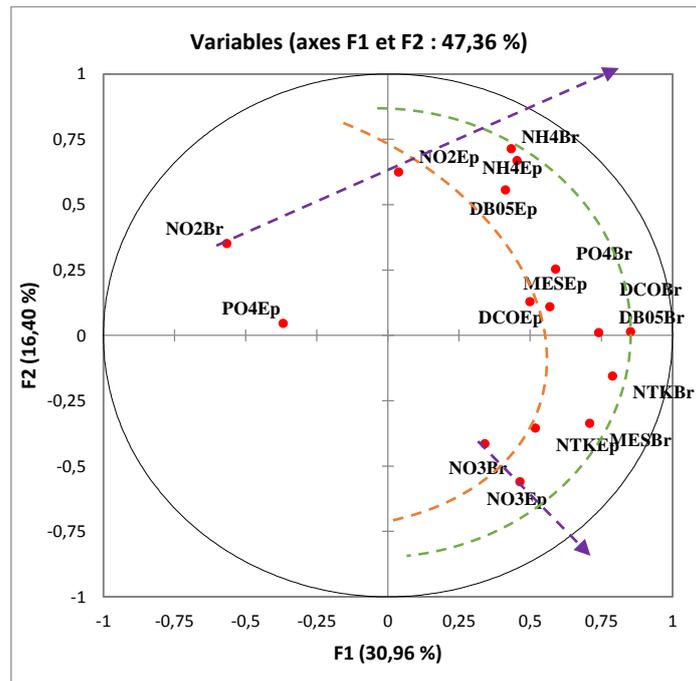


Figure VI .7: Paramètres de pollution (Entrée-Sortie) à l'échelle mensuelle [1× 2].

On remarque une disposition des paramètres de l'eau brute et épurée sur deux arcs fictifs respectivement, avec des exceptions pour NO3 et NO2 qui sont en excès.

➤ **Conclusion :**

Les résultats de l'analyse des paramètres de l'eau brute et épurée, au pas de temps journalier et mensuel, ont montré que le manque de maîtrise au niveau de la filière biologique conduit à un dépassement des normes de rejets des paramètres NO2 et NO3 à la sortie de la STEP, et ont permis de mettre en évidence les faibles performances du processus de dénitrification et l'absence de la zone anaérobie.

Les équidistances entre deux arcs fictifs (Eau brute-Eau épurée), définissant le rabattement de la pollution, autrement dit, le rapport d'élimination de la pollution. Partant de là, on déduit que l'ACP montre que les « rapports d'élimination » peuvent être de nouvelles variables qui contribuent mieux à l'explication du procédé d'épuration.

VI.3.3. Application de l'ACP sur les rapports d'élimination de pollution et Rendement énergétique :

Pour le diagnostic de la STEP, on peut s'intéresser aux paramètres suivants qui constituent des variables expliquées permettant d'apprécier le bon fonctionnement ou non de la STEP:

- L'énergie nécessaire à fournir pour atteindre les objectifs de traitement.
- La quantité de boues à recycler vers les bassins d'aération.
- La dose d'oxygènes à injecter au niveau des bassins d'aération.
- Le volume de boues en excès.

VI.3.3.1. Pas de temps journalier :

➤ Présentation des données :

Après avoir formé tous les rapports d'élimination pour chaque paramètre de pollution, on dispose d'un tableau de données « 245 observations × 9 variables ».

Rapport d'élimination d'un paramètre [%] = 1 - (concentration du paramètre dans l'eau épurée [mg/l] / concentration du paramètre dans l'eau brute [mg/l]).

On aura donc :

- Variable à expliquer : Rendement énergétique [KWh/m³].

Rendement énergétique [KWh/m³] = énergie consommée [KWh/j] / Débit d'entrée [m³/j].

- Variables explicatives : Rapports d'élimination de la pollution.

On associe à chaque variable, un code qui l'identifie. La liste des variables avec leurs codes sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI .14: Codification des variables (Rapport-Rendement énergétique/journalier).

<i>Variables</i>	<i>Codes associés</i>
Rendement énergétique	Ren
Rapport (MES)	R(MES)
Rapport (DBO5)	R(DBO5)

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

Rapport (DCO)	R(DCO)
Rapport (NH4⁺)	R (NH4)
Rapport (NTK)	R (NTK)
Rapport (NO2⁻)	R (NO2)
Rapport (NO3⁻)	Rex (NO3)
Rapport (PO4⁻)	R (PO4)

➤ **Résultats de l'ACP**

★ **Matrice de corrélation :**

Tableau VI .15: Matrice de corrélation (Rapport-Rendement énergétique/journalier).

Corrélation	R(MES)	R(DBO)	R(DCO)	R(NH4)	R(NO2)	Rex(NO3)	R(NTK)	R(PO4)	Ren
R(MES)	1,000								
R(DBO)	0,191	1,000							
R(DCO)	0,216	0,185	1,000						
R(NH4)	0,013	0,130	-0,100	1,000					
R(NO2)	-0,070	-0,070	0,016	-0,049	1,000				
Rex(NO3)	-0,069	0,044	-0,056	0,273	-0,050	1,000			
R(NTK)	-0,031	-0,067	0,018	0,110	0,039	-0,063	1,000		
R(PO4)	0,119	0,074	0,198	-0,150	-0,082	-0,042	0,006	1,000	
Ren	0,090	0,193	0,054	0,117	-0,057	0,041	-0,149	-0,119	1,000

La matrice de corrélation a un déterminant de valeur (0.644), et pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI .16: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport-Rendement énergétique/journalier).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0.550	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	105.766
	ddl	36
	Signification de Bartlett	0,000

On remarque que la signification de Bartlett tend vers (0.000), et le KMO globale de la matrice est médiocre.

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

★ Variance expliquée par les valeurs propres :

Tableau VI .17: Variance totale expliquée (Rapport-Rendement énergétique/journalier).

Composante	Valeurs propres initiales			Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus		
	Total	% de la variance	% cumulés	Total	% de la variance	% cumulés
1	1,568	17,417	17,417	1,568	17,417	17,417
2	1,477	16,412	33,829	1,477	16,412	33,829
3	1,122	12,470	46,299	1,122	12,470	46,299
4	1,042	11,572	57,872	1,042	11,572	57,872
5	0,940	10,439	68,311			
6	0,795	8,835	77,146			
7	0,752	8,360	85,507			
8	0,699	7,770	93,276			
9	0,605	6,724	100,000			

En examinant l'apport de chaque composante, on remarque qu'avec 4 CP on arrive à expliquer 58 % de la variance totale.

★ Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :

Tableau VI .18: Matrice de corrélation entre les CP' et les variables (Rapport-Rendement énergétique/journalier).

corrélation	CP'			
	1	2	3	4
R(MES)	0,635	-0,040	0,093	0,139
R(DBO)	0,626	0,306	0,053	0,141
R(DCO)	0,622	-0,252	0,159	0,209
R(NH4)	-0,039	0,711	0,426	0,117
Rex(NO3)	-0,072	0,585	0,251	-0,320
Ren	0,349	0,483	-0,438	0,222
R(PO4)	0,406	-0,433	0,292	-0,421
R(NTK)	-0,192	-0,134	0,746	0,350
R(NO2)	-0,235	-0,176	-0,091	0,703

En analysant la matrice de corrélation entre les CP' et les variables, on remarque que les variables R(MES), R(DBO), R(DCO) sont corrélées positivement avec la première composante.

La deuxième composante est corrélée positivement avec les variables Ren, Rex(NO3), R(NH4), alors que les variables R(NTK) et R(NO2) sont corrélées avec la troisième et la quatrième composante respectivement.

Pour bien visualiser ces constats, on passe aux représentations graphiques en traçant les cercles de corrélation.

★ **Cercle de corrélation :**

Cercle (1) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×2) :

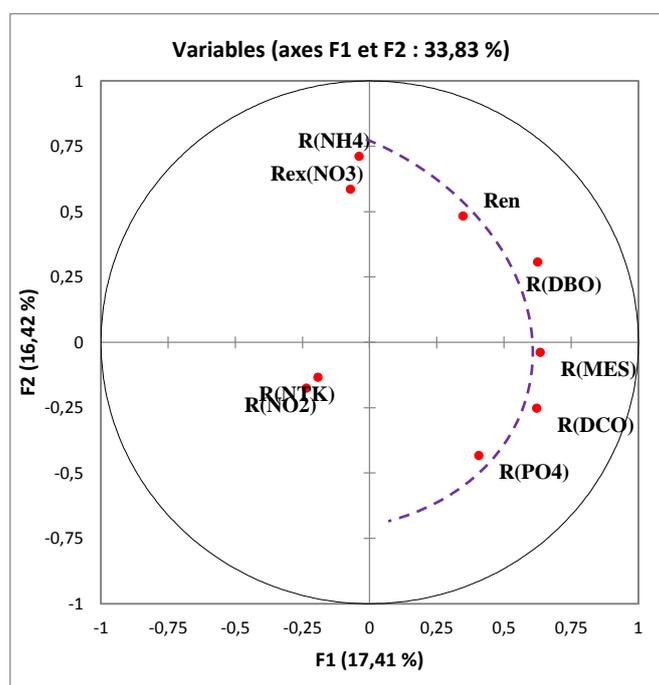


Figure VI .8: Rapport-Rendement énergétique à l'échelle journalière [1×2].

Le cercle de corrélation formé par les axes principaux (1 et 2) montre que les rapports d'élimination de pollution (R(MES), R(DBO), R(DCO), R(NH4), R(PO4)) et le rendement énergétique (Ren) sont disposés sur un arc fictif, ceci montre que le rendement énergétique est lié au rapport d'élimination de la matière organique exprimé par (R(DBO5), R(DCO), R(MES)), ainsi que le rapport d'élimination de l'ammonium exprimé par R(NH4) ou degré de nitrification et le rapport d'élimination de l'orthophosphate exprimé par R(PO4).

Cercle (2) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×3) :

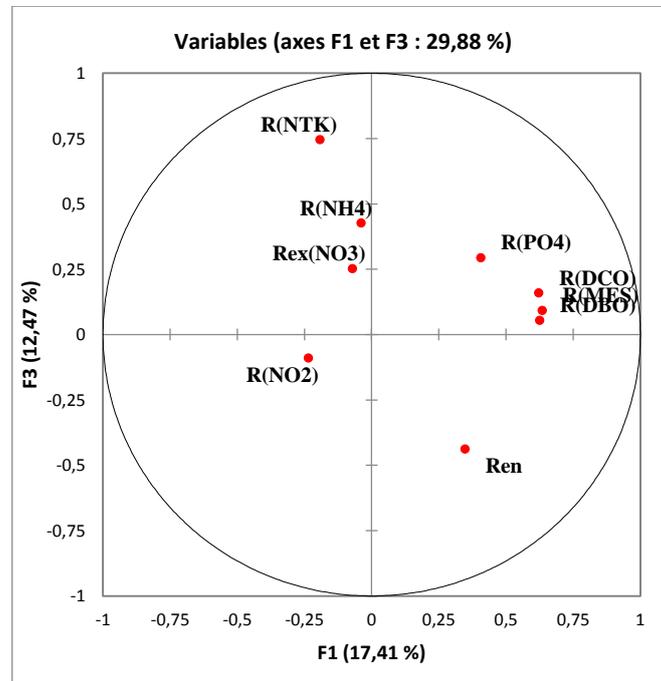


Figure VI.9: Rapport-Rendement énergétique à l'échelle journalière [1×3].

En examinant le cercle de corrélation formé par les axes (1 et 3), les mêmes constatations sont faites que pour le cercle (1) concernant les variables Ren, R(MES), R(DBO), R(DCO), R(NH4), R(PO4) avec de légères différences.

➤ **Conclusion :**

A travers les résultats obtenus par les cercles de corrélation (1) et (2) on peut dire que l'analyse des rapports montre que le poste d'aération est le poste qui consomme énormément d'énergie au niveau de la STEP, car la dégradation de la matière organique, et la réaction de nitrification se produisent au niveau de ce bassin d'aération.

VI.3.3.2.Pas de temps mensuel :

➤ **Présentation des données :**

Après avoir calculé tous les rapports d'élimination pour chaque paramètre de pollution, on obtient un tableau de données « 78 observations × 9 variables ».

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

➤ **Résultats de l'ACP :**

★ **Matrice de corrélation :**

Tableau VI .19: Matrice de corrélation (Rapport-Rendement énergétique/mensuel).

Corrélation	R(MES)	R(DBO)	R(DCO)	R(NH4)	R(NO2)	Rex(NO3)	R(NTK)	R(PO4)	Ren
R(MES)	1,000								
R(DBO)	0,295	1,000							
R(DCO)	0,321	0,150	1,000						
R(NH4)	0,253	0,371	0,106	1,000					
R(NO2)	-0,129	-0,094	0,027	0,016	1,000				
Rex(NO3)	0,018	0,161	-0,108	0,398	-0,171	1,000			
R(NTK)	-0,019	-0,118	0,137	-0,071	-0,228	-0,008	1,000		
R(PO4)	-0,028	-0,185	0,186	-0,228	-0,282	0,058	0,704	1,000	
Ren	0,293	0,379	0,027	0,101	0,023	0,120	-0,046	0,001	1,000

La matrice de corrélation a un déterminant de valeur (0.15), et pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI .20 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport-Rendement énergétique/mensuel).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0,521	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	138,876
	ddl	36
	Signification de Bartlett	0,000

On remarque que la signification de Bartlett tend vers (0.000), et le KMO globale de la matrice est médiocre.

En diagonalisant la matrice de corrélation, on calcule les valeurs propres ainsi que la variance expliquée en termes de pourcentage de chaque valeur.

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

★ **Variance expliquée par les valeurs propres :**

Tableau VI .21 : Variance totale expliquée (Rapport-Rendement énergétique/mensuel).

Composante	Valeurs propres initiales			Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus		
	Total	% de la variance	% cumulés	Total	% de la variance	% cumulés
1	2,136	23,730	23,730	2,136	23,730	23,730
2	1,889	20,987	44,717	1,889	20,987	44,717
3	1,294	14,382	59,099	1,294	14,382	59,099
4	0,980	10,885	69,984	0,980	10,885	69,984
5	0,862	9,572	79,556			
6	0,642	7,136	86,692			
7	0,571	6,346	93,039			
8	0,387	4,300	97,338			
9	0,240	2,662	100,000			

L'analyse montre qu'avec 4 CP on arrive à expliquer 70% de la variance totale.

★ **Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :**

Tableau VI .22 : Corrélation entre les CP' et les variables (Rapport-Rendement énergétique/mensuel).

corrélation				
	1	2	3	4
R(DBO)	0,714	0,251	-0,034	-0,176
R(NH4)	0,666	0,167	0,286	0,479
R(MES)	0,517	0,418	-0,391	-0,005
R(PO4)	-0,544	0,726	0,033	-0,051
R(NTK)	-0,484	0,706	0,041	0,054
R(NO2)	0,085	-0,524	-0,358	0,194
Rex(NO3)	0,344	0,253	0,731	0,162
R(DCO)	0,136	0,436	-0,614	0,457
Ren	0,491	0,262	-0,129	-0,664

En projetant les variables sur les plans factoriels formés par les axes principaux, on obtient les cercles de corrélation.

★ **Cercles de corrélation :**

Cercle (1) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×2) :

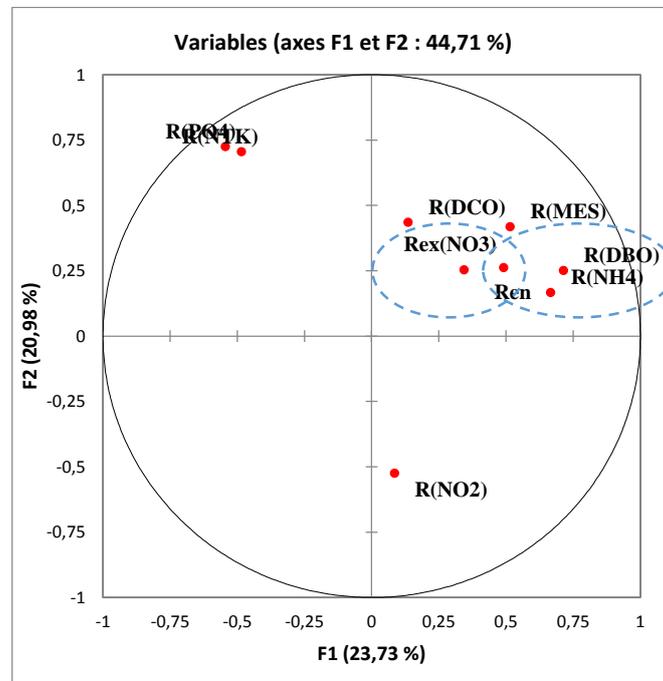


Figure VI .10: Rapport-Rendement énergétique à l'échelle mensuelle [1×2].

Le cercle de corrélation formé par les axes principaux (1 et 2), montre la formation de deux groupes par rapport au premier axe, l'un formé par Les composés (R(DBO), R(NH4), Ren) , et pour que R(DBO5) et R(NH4) soient importants, on doit assurer une quantité assez importante d'oxygène, donc le rendement énergétique est lié essentiellement à la quantité d'oxygène fournie au niveau des bassins d'aération.

L'autre formé par les composés (Rex(NO3), Ren), montre que l'excès du nitrate est corrélé avec le rendement énergétique, une augmentation de Rex(NO3), entraine une augmentation de la facture énergétique.

Cercle (2) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×3) :

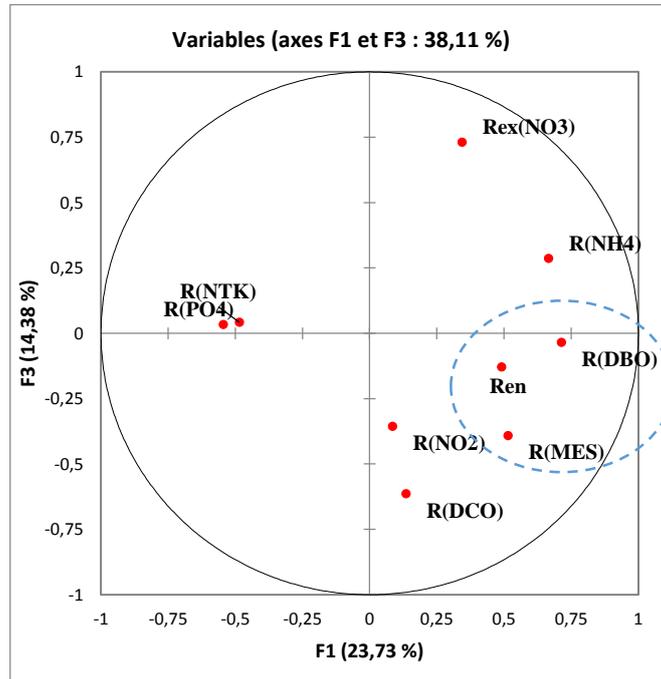


Figure VI .11: Rapport-Rendement énergétique à l'échelle mensuelle [1×3].

En examinant le cercle de corrélation formé par les axes (1 et 3), les mêmes constatations sont faites que pour le cercle (1) concernant les variables Ren , R(DBO), R(MES) , avec de légères différences .

Cercle (3) : Projection des variables sur le plan factoriel (2×3) :

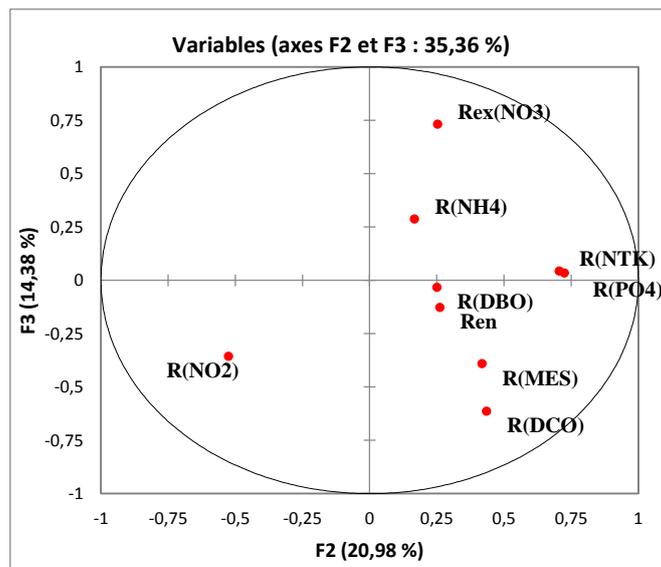


Figure VI .12: Rapport-Rendement énergétique à l'échelle mensuelle [2×3].

Le cercle corrélation formé par les axes (2 et 3) ne donne pas une information claire sur la variable Ren car cette dernière se rapproche du centre du cercle.

➤ **Conclusion :**

À partir des remarques et des résultats obtenus, on peut conclure que le degré de nitrification dépasse les normes au niveau de la STEP de Boumerdes ce qui génère une pollution : nitrate (NO₃) en excès, ceci est dû à une sur-aération, qui a pour conséquence d'une part une réduction des zones d'anaérobie et d'autre part une surconsommation d'énergie.

VI.3.4. Application de l'ACP sur les rapports d'élimination de pollution et la recirculation des boues :

VI.3.4.1. Pas de temps journalier :

➤ **Présentation des données :**

Après avoir calculé tous les rapports d'élimination par jour pour chaque paramètre de pollution, on obtient un tableau de données « 205 observations × 9 variables ».

- Variable à expliquer : Taux de recirculation des boues [%].

Taux de recirculation des boues [%] = Débit recirculé [m³/j] / Débit d'entrée [m³/j].

- Variables explicatives : Rapports d'élimination de la pollution.

On affecte à la variable «Taux de recirculation des boues» un code : TRB, et on garde la codification précédente des variables explicatives.

En appliquant une ACP sur le fichier de données, on aboutit aux résultats présentés ci-dessous.

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

★ **Matrice de corrélation :**

Tableau VI .23: Matrice de corrélation (Rapport- Taux de recirculation des boues /journalier).

Corrélation	R(MES)	R(DBO)	R(DCO)	R(NH4)	R(NO2)	Rex(NO3)	R(NTK)	R(PO4)	TRB
R(MES)	1,000								
R(DBO)	0,148	1,000							
R(DCO)	0,270	0,162	1,000						
R(NH4)	0,009	0,135	-0,016	1,000					
R(NO2)	0,055	-0,022	-0,028	-0,098	1,000				
Rex(NO3)	-0,080	0,015	-0,039	0,340	-0,051	1,000			
R(NTK)	0,117	0,148	0,083	0,414	-0,035	0,022	1,000		
R(PO4)	0,214	0,062	0,178	-0,082	-0,069	-0,013	-0,124	1,000	
TRB	0,059	0,103	0,079	0,006	0,074	-0,009	0,106	-0,088	1,000

La matrice de corrélation a pour déterminant (0,521), nous déduisons qu'elle n'est pas singulière.

Pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI .24 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport- Taux de recirculation des boues /journalier).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0,540	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	130,432
	ddl	36
	Signification de Bartlett	0,000

On remarque que la signification de Bartlett tend vers (0.000), et le KMO globale de la matrice est médiocre.

La matrice de corrélation permet après diagonalisation de calculer les valeurs propres ainsi que la contribution à la variance en termes de pourcentage. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

★ **Variance expliquée par les valeurs propres :**

Tableau VI .25 : Variance totale expliquée (Rapport - Taux de recirculation des boues /journalier).

Composante	Valeurs propres initiales			Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus		
	Total	% de la variance	% cumulés	Total	% de la variance	% cumulés
1	1,679	18,654	18,654	1,679	18,654	18,654
2	1,545	17,166	35,820	1,545	17,166	35,820
3	1,196	13,289	49,109	1,196	13,289	49,109
4	0,956	10,627	59,736	0,956	10,627	59,736
5	0,914	10,158	69,894			
6	0,836	9,283	79,178			
7	0,746	8,290	87,468			
8	0,663	7,366	94,834			
9	0,465	5,166	100,000			

L'analyse de la variance totale expliquée, montre que quatre (4) composantes principales contiennent 60% d'informations.

★ **Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :**

Tableau VI .26: Matrice de corrélation entre les CP' et les variables (Rapport - Taux de recirculation des boues /journalier)

corrélation	CP'			
	1	2	3	4
R(NH4)	0,711	-0,436	-0,161	0,084
R(NTK)	0,700	-0,166	0,225	-0,283
R(DBO)	0,502	0,260	0,077	-0,068
R(MES)	0,350	0,625	0,013	0,130
R(DCO)	0,345	0,596	-0,060	-0,001
R(PO4)	0,011	0,557	-0,535	0,205
TRB	0,241	0,096	0,605	0,074
R(NO2)	-0,141	0,093	0,560	0,665
Rex(NO3)	0,335	-0,429	-0,379	0,598

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

En analysant la matrice de corrélation entre les CP' et les variables, on remarque que les variables R(NH₄), R(DBO₅), R(NTK) sont corrélées positivement avec la première composante, et les variables R(MES), R(DCO), R(PO₄) sont corrélées positivement avec la deuxième composante. Alors que la troisième composante est corrélée positivement avec les variables R(NO₂), TRB et négativement avec R(PO₄), et les variables R(NO₂), Rex(NO₃) sont corrélées positivement avec la quatrième composante.

Pour bien visualiser ces constats, on passe aux représentations graphiques en traçant les cercles de corrélation.

★ Cercles de corrélation :

Cercle (1) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×2) :

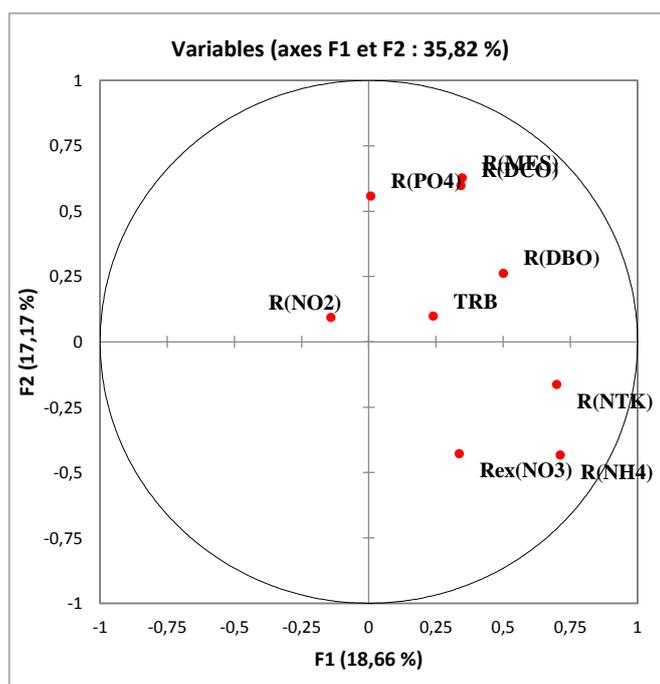


Figure VI .13: Rapport - Taux de recirculation des boues /à l'échelle journalière [1×2].

Le cercle corrélation formé par les axes (1 et 2) ne donne pas d'informations claires sur la variable TRB car cette dernière se rapproche du centre du cercle.

Cercle (2) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×3) :

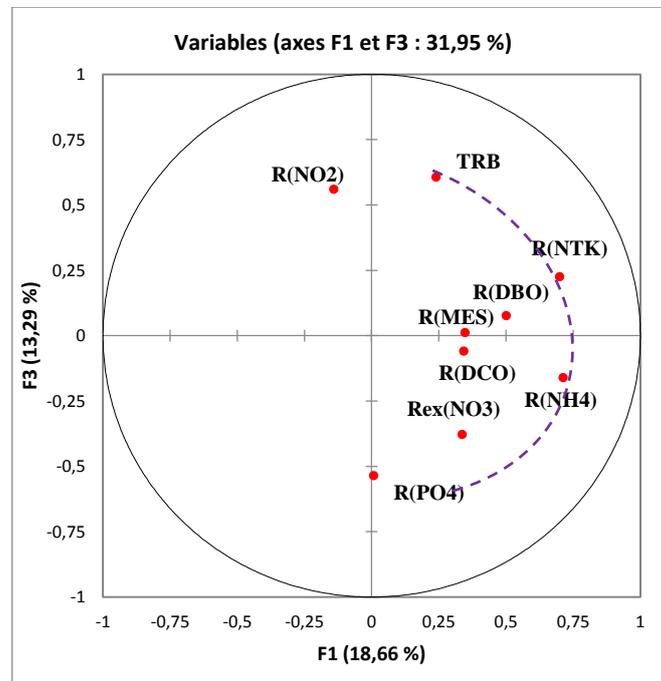


Figure VI .14: Rapport- Taux de recirculation des boues /à l'échelle journalière [1×3].

Le cercle de corrélation formé par les axes principaux (1 et 3) montre que les rapports d'élimination de pollution (R(NTK), R(NH4)), et le Taux de recirculation des boues (TRB) sont disposés sur un arc fictif, ceci confirme que le Taux de recirculation des boues est lié au rapport d'élimination de l'ammonium exprimé par R(NH4) ou degré de nitrification.

Cercle (3) : Projection des variables sur le plan factoriel (2×3) :

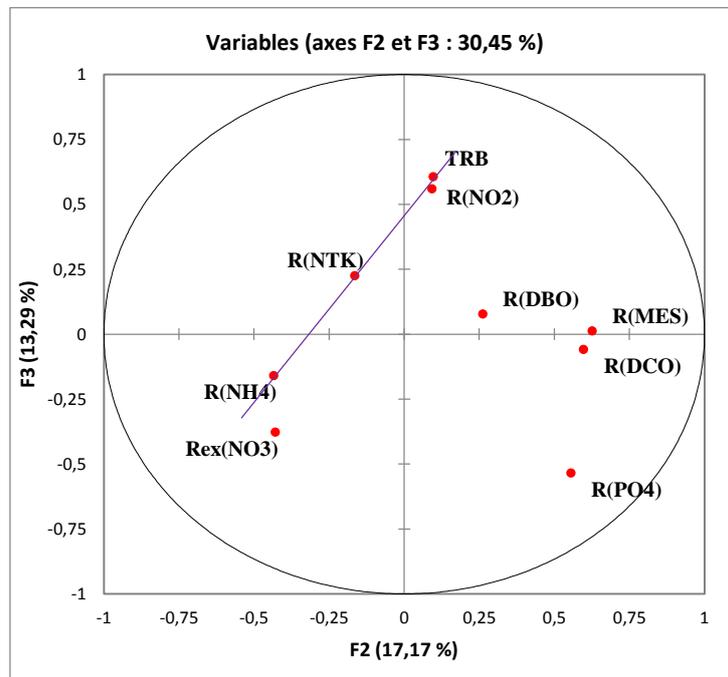


Figure VI .15: Rapport- Taux de recirculation des boues /à l'échelle journalière [2×3].

A partir du cercle (3), formé par les axes principaux (2 et 3), on constate une disposition linéaire de variables R(NTK), R(NH4) ,R(NO2) et TRB .

➤ **Conclusion :**

A travers les résultats obtenus en analysant les différents cercles de corrélation, on peut dire que pour assurer une nitrification importante, il faut favoriser l'accroissement de la biomasse nitrifiante.

VI.3.4.2.Pas de temps mensuel :

➤ **Présentation des données :**

Après avoir calculé tous les rapports d'élimination pour chaque paramètre de pollution, on obtient un tableau de données « 58 observations × 9 variables ».

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

➤ **Résultats de l'ACP :**

★ **Matrice de corrélation :**

Tableau VI .27: Matrice de corrélation (Rapport- Taux de recirculation des boues / mensuel).

Corrélation	R(MES)	R(DBO)	R(DCO)	R(NH4)	R(NO2)	Rex(NO3)	R(NTK)	R(PO4)	TRB
R(MES)	1,000								
R(DBO)	0,191	1,000							
R(DCO)	0,246	0,140	1,000						
R(NH4)	0,166	0,321	0,056	1,000					
R(NO2)	0,012	0,018	-0,007	-0,042	1,000				
Rex(NO3)	-0,094	0,120	-0,124	0,454	-0,071	1,000			
R(NTK)	-0,019	-0,119	0,142	-0,062	-0,239	-0,029	1,000		
R(PO4)	-0,155	-0,293	0,189	-0,262	-0,249	-0,008	0,781	1,000	
TRB	-0,118	0,277	-0,011	-0,228	0,105	-0,203	-0,081	-0,120	1,000

La matrice de corrélation a un déterminant (0,113), nous déduisons qu'elle n'est pas singulière.

Pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI .28: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport- Taux de la recirculation des boues /mensuel).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.		0.485
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	116,016
	ddl	36
	Signification de Bartlett	0,000

On remarque que la signification de Bartlett tend vers (0.000), et le KMO globale de la matrice est acceptable.

★ **Variance expliquée par les valeurs propres :**

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

**CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de
Boumerdes et Tipaza**

Tableau VI .29 : Variance totale expliquée (Rapport - Taux de recirculation des boues /mensuel.

Composante	Valeurs propres initiales			Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus		
	Total	% de la variance	% cumulés	Total	% de la variance	% cumulés
1	2,165	24,060	24,060	2,165	24,060	24,060
2	1,671	18,571	42,631	1,671	18,571	42,631
3	1,414	15,715	58,346	1,414	15,715	58,346
4	1,115	12,388	70,734	1,115	12,388	70,734
5	0,868	9,643	80,377			
6	0,679	7,539	87,916			
7	0,503	5,590	93,506			
8	0,429	4,766	98,272			
9	0,156	1,728	100,000			

En examinant l'apport de chaque composante, on remarque que pour avoir près de 71% de la variance totale, il suffit de prendre en considération les (4) premières CP.

★ Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :

Tableau VI .30 : Matrice de corrélation entre les CP' et les variables (Rapport - Taux de recirculation des boues /mensuel).

corrélation	CP'			
	1	2	3	4
R(PO4)	0,905	0,178	0,074	0,132
R(NTK)	0,791	0,300	0,189	0,207
R(NH4)	-0,446	0,739	-0,048	0,066
Rex(NO3)	-0,200	0,646	-0,444	0,243
R(NO2)	0,352	-0,362	0,031	-0,246
R(DCO)	0,138	0,217	0,721	-0,140
R(MES)	-0,223	0,274	0,595	-0,451
TRB	-0,159	-0,527	0,307	0,660
R(DBO)	-0,515	0,234	0,452	0,521

Cercle (1) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×2) :

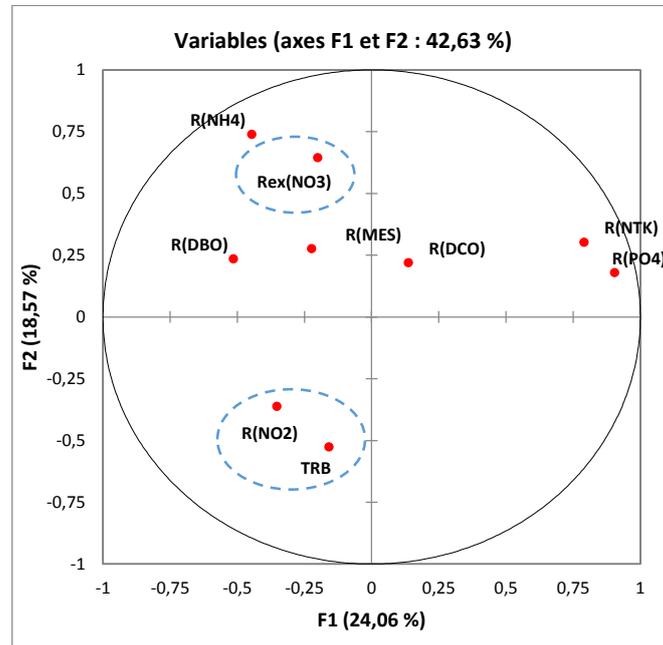


Figure VI .16: Rapport- Taux de recirculation des boues /à l'échelle mensuelle [1×2].

A partir du cercle (1), formé par les axes principaux (1 et 2), on constate un regroupement de variables R(NO2) , TRB .

Cercle (2) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×3) :

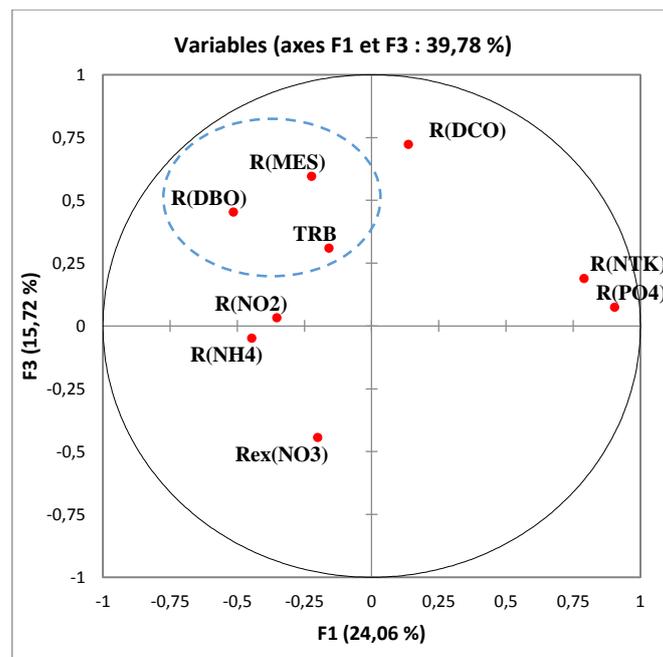


Figure VI .17: Rapport- Taux de recirculation des boues /à l'échelle mensuelle [1×3].

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

On remarque bien que la variable TRB est regroupée avec les deux variables R(DBO) et R(MES). Partant de là, on peut dire que le Taux de recirculation des boues est lié au rapport d'élimination de la matière organique.

➤ **Conclusion :**

À partir des remarques et des résultats obtenus, on peut conclure que le rapport d'élimination de la matière organique se fait par la recirculation des boues, qui ramène les boues encore «actives » dans les réacteurs biologiques afin de les réensemencer en bactéries, en quantité suffisante, au regard de la pollution à traiter.

La sur-aération au niveau de la STEP de Boumerdes génère un abattement faible des nitrates et un très bon rendement des pollutions carbonées qui conduit à une recirculation excessive des boues, cette dernière a pour conséquence :

- Réduction de la concentration des boues extraites dans le clarificateur.
- Instabilité hydraulique en clarification.
- Surconcentration des boues dans le bassin d'aération.

VI.3.5. Application de l'ACP sur les rapports d'élimination de pollution et les boues en excès :

VI.3.5.1.Pas de temps journalier :

➤ **Présentation des données :**

Après avoir formé tous les rapports d'élimination pour chaque paramètre de pollution, on dispose d'un tableau de données « 193 observations × 9 variables ».

- Variable à expliquer : volume de boues en excès [m³].
- Variables explicatives : Rapports d'élimination de la pollution.

On affecte à la variable «volume de boues en excès» un code : Bex, et on garde la codification précédente des variables explicatives.

CHAPITRE VI **Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza**

★ **Matrice de corrélation :**

Tableau VI .31: Matrice de corrélation (Rapport- volume de boues en excès /journalier).

Corrélation	R(MES)	R(DBO)	R(DCO)	R(NH4)	R(NO2)	Rex(NO3)	R(NTK)	R(PO4)	Bex (m3)
R(MES)	1,000								
R(DBO)	0,109	1,000							
R(DCO)	0,287	0,261	1,000						
R(NH4)	-0,054	0,125	-0,067	1,000					
R(NO2)	0,054	-0,028	-0,026	-0,096	1,000				
Rex(NO3)	-0,080	0,004	-0,035	0,349	-0,050	1,000			
R(NTK)	0,078	0,118	0,094	0,407	-0,034	0,019	1,000		
R(PO4)	0,220	0,057	0,147	-0,137	-0,066	-0,016	-0,139	1,000	
Bex (m3)	0,117	0,019	-0,012	0,009	-0,101	0,155	-0,139	0,153	1,000

La matrice des corrélations a un déterminant (0, 47), Pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI .32: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport-volume de boues en excès /journalier)

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0.527	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	142,04
	ddl	36
	Signification de Bartlett	0,000

★ **Variance expliquée par les valeurs propres :**

Tableau VI .33 : Variance totale expliquée (Rapport- volume de boues en excès /journalier).

Composante	Valeurs propres initiales			Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus		
	Total	% de la variance	% cumulés	Total	% de la variance	% cumulés
1	1,660	18,448	18,448	1,660	18,448	18,448
2	1,588	17,642	36,091	1,588	17,642	36,091
3	1,311	14,562	50,653	1,311	14,562	50,653
4	0,979	10,878	61,531			
5	0,888	9,861	71,392			
6	0,787	8,741	80,133			
7	0,739	8,215	88,347			
8	0,600	6,668	95,015			
9	0,449	4,985	100,000			

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

★ **Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :**

Tableau VI .34 : Corrélation entre les CP' et les variables (Rapport- volume de boues en excès /journalier).

corrélation	CP'		
	1	2	3
R(NH4)	0,788	0,307	0,126
R(NTK)	0,569	0,406	-0,372
R(PO4)	-0,493	0,337	0,344
R(DCO)	-0,266	0,662	-0,216
R(DBO)	0,046	0,596	-0,146
R(MES)	-0,365	0,589	-0,062
Bex (m3)	-0,149	0,182	0,717
Rex(NO3)	0,478	0,133	0,559
R(NO2)	-0,130	-0,156	-0,375

★ **Cercles de corrélation :**

Cercle (1) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×2) :

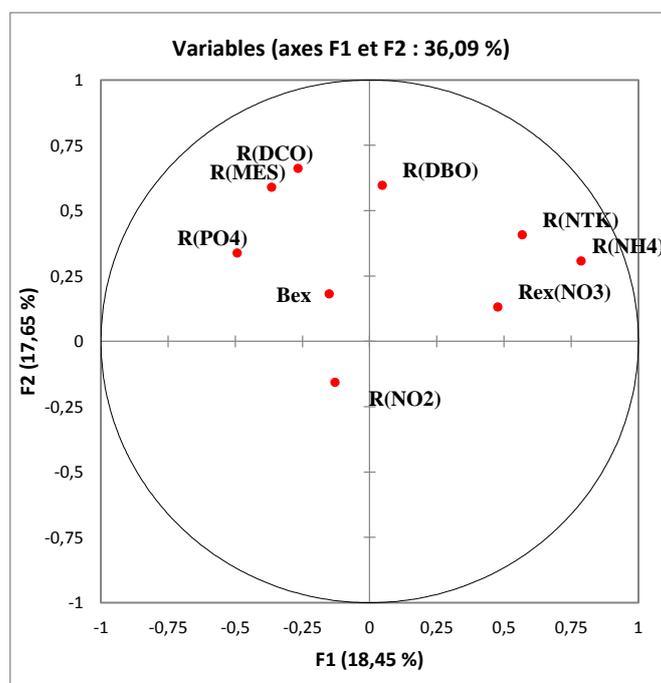


Figure VI .18: Rapport –volume de boues en excès /à l'échelle journalière [1×2].

Le cercle corrélation formé par les axes (1 et 2) ne donne pas d'information claire sur la variable Bex car cette dernière se rapproche du centre du cercle.

Cercle (2) : Projection des variables sur le plan factoriel (2×3) :

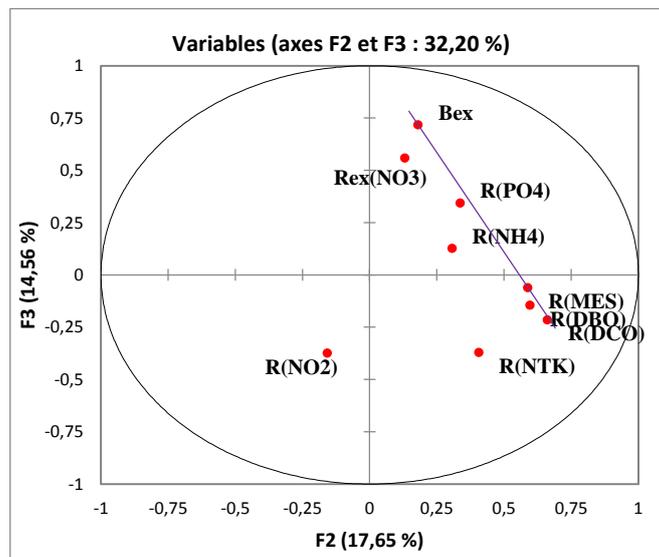


Figure VI .19: Rapport – volume de boues en excès /à l'échelle journalière [2×3].

A partir du cercle (2), formé par les axes principaux (2 et 3), on constate une disposition linéaire de variables R(DCO), R(DBO) ,R(MES) et Bex . Ceci montre que la concentration des boues est liée au volume de l'extraction.

VI.3.5.2.Pas de temps mensuel :

Après avoir calculé tous les rapports d'élimination pour chaque paramètre de pollution, on obtient un tableau de données « 58 observations × 9 variables ».

➤ **Résultats de l'ACP :**

★ **Matrice de corrélation :**

La matrice des corrélations a un déterminant (0,1), Pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI. 35 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport- volume de boues en excès /mensuel).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.		0,472
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	122,626
	ddl	36
	Signification de Bartlett	0,000

**CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de
Boumerdes et Tipaza**

★ Variance expliquée par les valeurs propres :

Tableau VI .36 : Variance totale expliquée (Rapport- volume de boues en excès / mensuel).

Composante	Valeurs propres initiales			Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus		
	Total	% de la variance	% cumulés	Total	% de la variance	% cumulés
1	2,173	24,142	24,142	2,173	24,142	24,142
2	1,750	19,446	43,588	1,750	19,446	43,588
3	1,449	16,105	59,693	1,449	16,105	59,693
4	0,983	10,917	70,611			
5	0,855	9,501	80,111			
6	0,742	8,239	88,351			
7	0,509	5,660	94,011			
8	0,395	4,386	98,397			
9	0,144	1,603	100,000			

★ Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :

Tableau VI .37 : Corrélation entre les CP' et les variables (Rapport- volume de boues en excès / mensuel).

corrélation	CP'		
	1	2	3
R(PO4)	0,858	0,366	0,060
R(NTK)	0,713	0,544	0,146
R(NH4)	-0,549	0,511	0,190
R(DBO)	-0,544	0,321	0,357
Rex(NO3)	-0,332	0,649	-0,274
Bex (m3)	-0,215	0,637	-0,271
R(NO2)	-0,303	-0,361	-0,077
R(DCO)	0,164	-0,001	0,796
R(MES)	-0,233	0,015	0,688

★ Cercles de corrélation :

Cercle (1) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×2) :

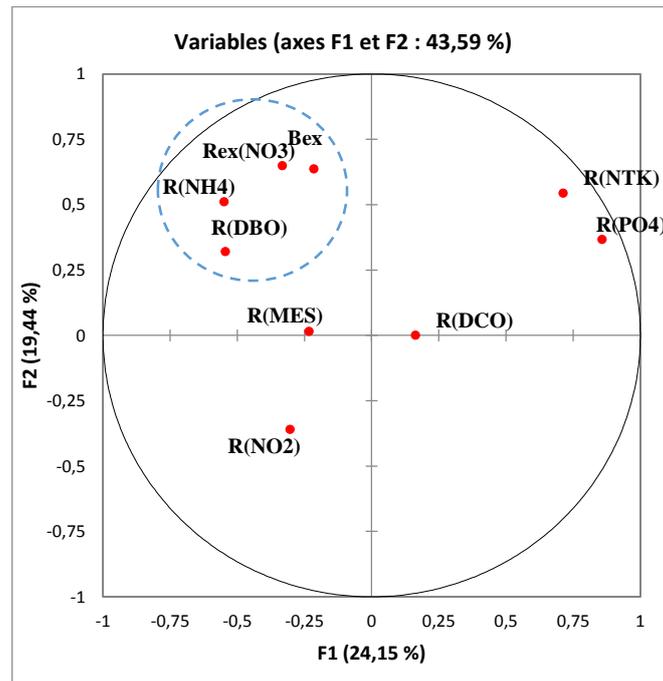


Figure VI .20: Rapport – volume de boues en excès /à l'échelle mensuelle [1×2].

On remarque bien que la variable Bex est regroupée avec les variables R(NH4), R(DBO) et Rex(NO3) Partant de là, on peut dire que le volume de boues en excès est lié au rapport d'élimination de la matière organique exprimé par R(DBO), ainsi que le rapport d'élimination de nitrate en excès exprimé par Rex(NO3).

Cercle (2) : Projection des variables sur le plan factoriel (2×3) :

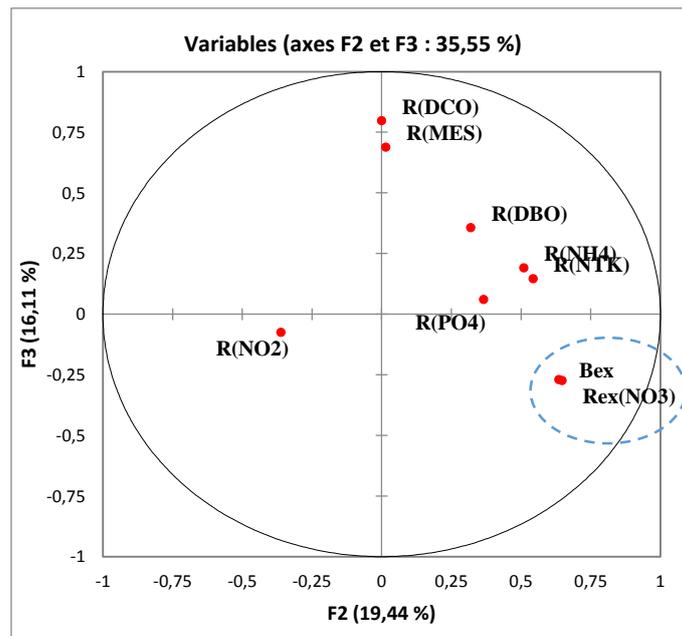


Figure VI .21: Rapport – volume de boues en excès /à l'échelle mensuelle [2×3].

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

A partir du cercle (2), formé par les axes principaux (2 et 3), on constate un regroupement des variables Rex(NO3), Bex .

➤ **Conclusion :**

A travers les résultats obtenus en analysant les différents cercles de corrélation, on peut dire que :

- plus la concentration des boues dans le bassin est élevée on lance l'extraction.
- plus la concentration des boues dans le bassin est basse on lance la recirculation.

La sur-aération au niveau de la STEP de Boumerdes génère un abattement faible des nitrates à cause de l'absence des zones d'anaérobie et un très bon rendement des pollutions carbonées donc des extractions plus fréquentes, qui ont pour conséquence :

- Dégradation de la qualité de l'eau traitée.
- Mauvaise décantation des boues.
- Faible épaissement des boues.

VI.4. Application sur les données de la STEP de Tipaza :

VI.4.1. Application de l'ACP sur les paramètres de pollution d'entrée (Eau brute) :

VI.4.1.1. Pas de temps journalier :

➤ **Présentation des données :**

Une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée sur le tableau des données journalières, qui contient 7 variables et 161 observations de l'eau brute, après avoir éliminé toutes les données non concomitantes.

Pour faciliter la manipulation des variables, on garde la codification précédente des paramètres de pollution d'entrée de la STEP de boumerdes.

➤ **Résultats de l'ACP :**

★ **Matrice de corrélation :**

Tableau VI .38 : Matrice de corrélation des paramètres de l'eau brute (journalier).

Corrélation	MESBr	DBO5Br	DCOBr	NH4Br	NO2Br	NO3Br	PO4Br
MESBr	1,000						
DBO5Br	0,532	1,000					
DCOBr	0,455	0,674	1,000				
NH4Br	0,280	0,449	0,412	1,000			
NO2Br	-0,033	0,065	0,022	-0,035	1,000		
NO3Br	0,004	0,075	0,027	0,028	0,086	1,000	
PO4Br	0,268	0,366	0,369	0,348	-0,022	-0,032	1,000

La matrice de corrélation a pour déterminant (0.23), nous déduisons qu'elle n'est pas singulière. Pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

Tableau VI .39: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O de l'eau brute (journalier).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0.780	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	230, 502
	ddl	21
	Signification de Bartlett	0,000

On remarque que la signification de Bartlett tend vers (0.000), et le KMO globale de la matrice se situe dans la fourchette «bien».

L'étape suivante consiste à diagonaliser la matrice de corrélation, pour pouvoir calculer les valeurs propres.

★ Variance totale expliquée par les valeurs propres :

Tableau VI .40: Variance totale expliquée (paramètres de l'eau brute-journalier).

Composante	Valeurs propres initiales			Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus		
	Total	% de la variance	% cumulés	Total	% de la variance	% cumulés
1	2,696	38,512	38,512	2,696	38,512	38,512
2	1,106	15,795	54,308	1,106	15,795	54,308
3	0,919	13,135	67,442	0,919	13,135	67,442
4	0,795	11,354	78,797			
5	0,650	9,282	88,079			
6	0,525	7,498	95,577			
7	0,310	4,423	100,000			

En examinant l'apport de chaque composante, on remarque qu'avec trois (3) CP seulement, on peut expliquer 68 % de la variance totale.

CHAPITRE VI **Application de l'ACP sur les données de la STEP de
Boumerdes et Tipaza**

★ **Matrice de corrélation entre CP' et les variables :**

Tableau VI.41 : Corrélation entre les CP' et les variables (Paramètres de l'eau brute-journalier).

corrélation	CP'		
	1	2	3
DBO5Br	0,853	0,117	0,023
DCOBr	0,820	0,040	0,038
MESBr	0,694	-0,044	-0,019
NH4Br	0,665	-0,069	-0,089
PO4Br	0,607	-0,168	0,081
NO2Br	0,011	0,734	0,666
NO3Br	0,052	0,719	-0,677

★ **Cercles de corrélation :**

Cercle (1) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×2) :

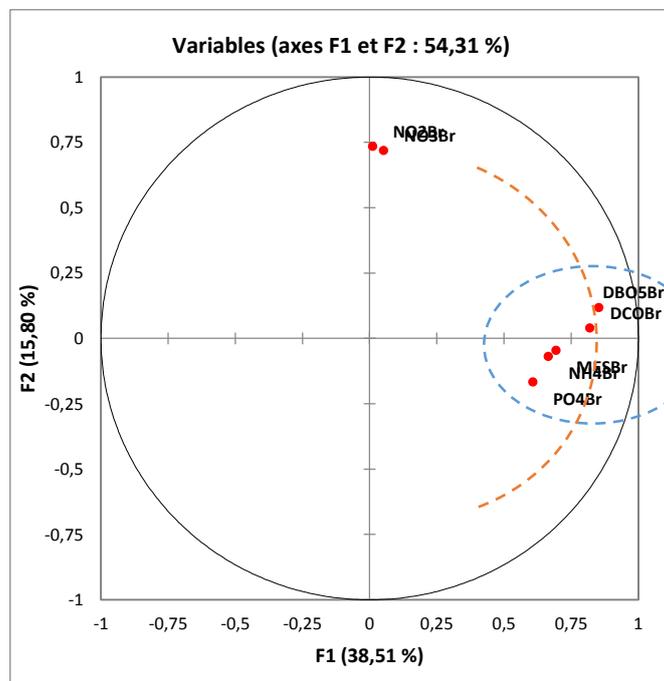


Figure VI .22: Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle journalière [1×2].

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

En examinant le cercle (1), on remarque que l'axe (1) définit un gradient de pollution décroissant de droite à gauche, et que les paramètres de la pollution organique (DCOBr, DBO5Br) sont disposés sur un arc fictif ayant un gradient de pollution élevé par rapport aux autres paramètres, ceci s'explique par le caractère domestique ou urbain de l'effluent arrivant à la STEP.

Cercle (2) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×3) :

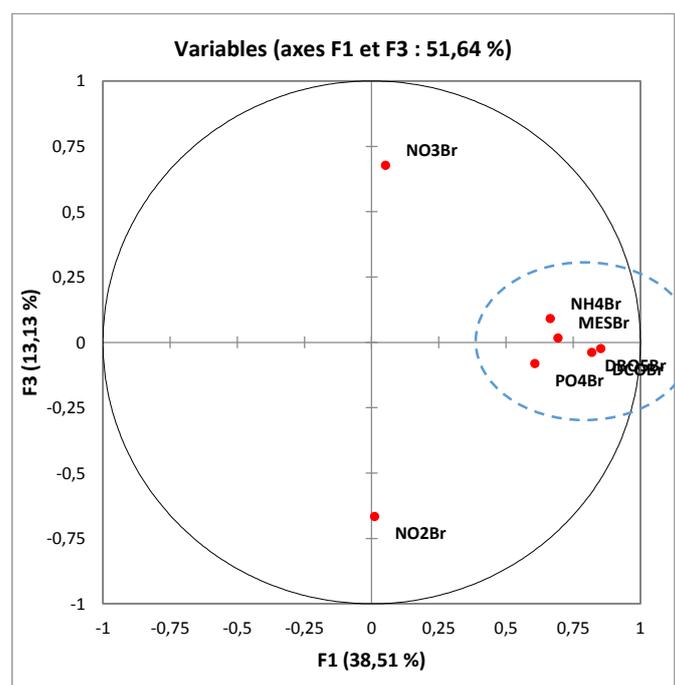


Figure VI .23: Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle journalière [1×3].

En examinant le cercle (2), on remarque une condensation des variables autour de l'axe (1), avec des exceptions de NO3Br et NO2Br qui sont éloignés, ces derniers représentent des formes oxydées de l'azote difficiles à maîtriser.

VI.4.1.2.Pas de temps mensuel :

➤ **Présentation des données :**

On dispose d'un tableau de données mensuelles des paramètres de pollution à l'entrée de la STEP de Tipaza (eau brute) : « 46 observations × 7 variables », après avoir éliminé toutes les données non concomitantes.

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

★ Matrice de corrélation :

La matrice de corrélation a pour déterminant (0,172), nous déduisons qu'elle n'est pas singulière. Pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI .42: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O de l'eau brute (mensuel).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.		0.666
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	73,648
	ddl	21
	Signification de Bartlett	0,000

★ Variance totale expliquée par les valeurs propres :

Tableau VI .43 : Variance totale expliquée (paramètres de l'eau brute- mensuel).

Composante	Valeurs propres initiales			Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus		
	Total	% de la variance	% cumulés	Total	% de la variance	% cumulés
1	2,658	37,97	37,97	2,658	37,97	37,97
2	1,141	16,296	54,267	1,141	16,296	54,267
3	1,008	14,397	68,663	1,008	14,397	68,663
4	0,875	12,499	81,163			
5	0,632	9,025	90,187			
6	0,47	6,721	96,908			
7	0,216	3,092	100			

★ Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :

Tableau VI .44 : Matrice de corrélation entre les CP' et les variables (Paramètres de l'eau brute-mensuel).

corrélation	CP'		
	1	2	3
DBO5Br	0,878	0,113	-0,141
DCOBr	0,849	-0,099	0,037
PO4Br	0,718	-0,336	-0,048
NH4Br	0,687	0,104	-0,294
MESBr	0,195	-0,655	0,601
NO3Br	0,298	0,593	0,164
NO2Br	0,230	0,463	0,714

★ **Cercles de corrélation :**

Cercle (1) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×2) :

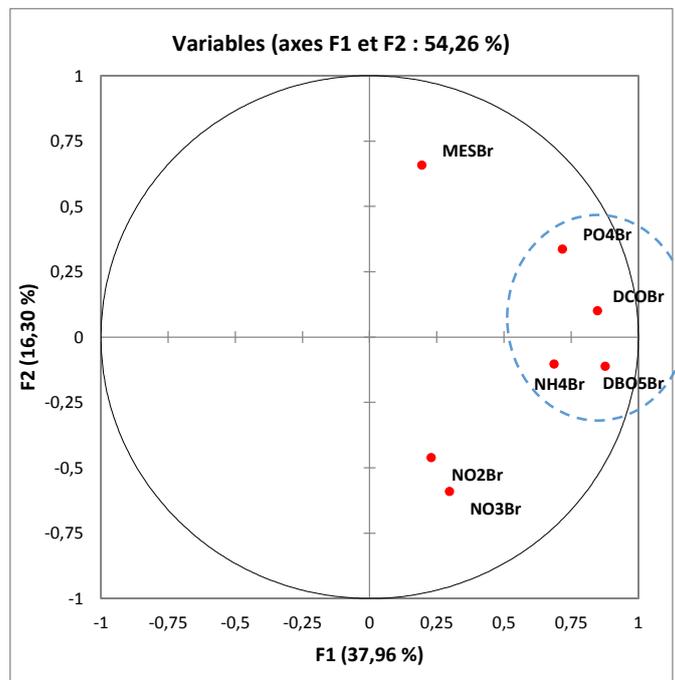


Figure VI .24: Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle mensuelle [1×2].

Cercle (2) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×3) :

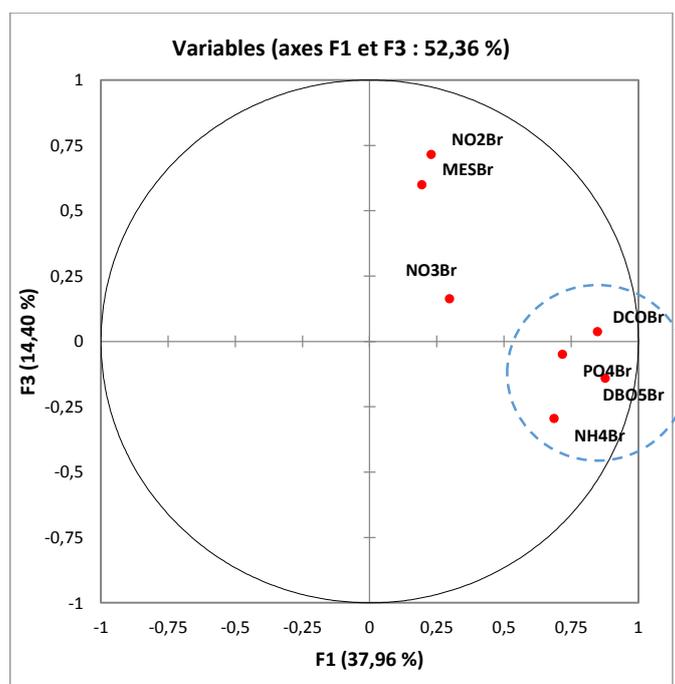


Figure VI .25: Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle mensuelle [1×3].

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

En analysant les cercles (1) et (2), on constate un regroupement de variables composé de : DBO5Br, DCOBr, NH4Br et PO4Br autour de l'axe (1), celui-ci permet de former des ratios en combinant ces différents paramètres.

➤ **Conclusion :**

On peut dire qu'à partir de l'analyse des paramètres de l'eau brute, au pas de temps journalier et mensuel, que la pollution de l'eau qui arrive à la STEP de Tipaza est organique caractérisant un effluent domestique.

Le regroupement des variables autour de l'axe (1) permet de former de nouveaux indicateurs de pollution sous forme de ratios qui synthétisent d'avantage les différents paramètres, et permettent une meilleure appréciation de la pollution, et une accumulation d'informations issues de stations différentes.

VI.4.2. Application de l'ACP sur les paramètres de l'eau (Entré/Sortie) :

VI.4.2.1. Pas de temps journalier :

➤ **Présentation des données :**

Une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée sur le tableau des données journalières, qui contient 14 variables et 127 observations de l'eau brute et épurée, après avoir éliminé toutes les données non concomitantes.

On affecte à chacune de ces variables un code qui l'identifie.

Tableau VI.45 : Codification des variables (Eau brute-Eau épurée).

<i>Variable</i>	<i>Code</i>
Paramètre eau brute	Paramètre Br
Paramètre eau épurée	Paramètre Ep

★ **Matrice de corrélation :**

La matrice de corrélation a pour déterminant (0.006), nous déduisons qu'elle n'est pas singulière. Pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de
Boumerdes et Tipaza**

Tableau VI .46: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Eau brute-Eau épurée/ journalier).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.		0.561
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	608,871
	ddl	91
	Signification de Bartlett	0,000

On remarque que la signification de Bartlett tend vers (0.000), et le KMO globale de la matrice se situe dans la fourchette «médiocre».

★ Variance expliquée par les valeurs propres :

Tableau VI .47: Variance totale expliquée (Eau brute-Eau épurée/journalier).

Composante	Valeurs propres initiales			Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus		
	Total	% de la variance	% cumulés	Total	% de la variance	% cumulés
1	2,838	20,271	20,271	2,838	20,271	20,271
2	2,027	14,477	34,748	2,027	14,477	34,748
3	1,532	10,946	45,694	1,532	10,946	45,694
4	1,450	10,360	56,054			
5	1,207	8,618	64,672			
6	1,007	7,192	71,864			
7	0,894	6,387	78,252			
8	0,708	5,060	83,311			
9	0,645	4,606	87,917			
10	0,559	3,992	91,909			
11	0,504	3,599	95,507			
12	0,338	2,411	97,918			
13	0,249	1,777	99,696			
14	0,043	0,304	100,000			

En examinant l'apport de chaque composante, on remarque qu'en ne considérant que trois CP, on arrive à expliquer presque 46% de la variance totale.

CHAPITRE VI **Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza**

★ **Corrélation entre les CP' et les variables centrées réduites :**

Tableau VI .48 : Matrice de corrélation entre les CP' et les variables (Eau brute-Eau épurée/journalier).

corrélation	CP'		
	1	2	3
DBO5Br	0,801	0,065	-0,116
DCOBr	0,764	0,017	-0,273
NH4Br	0,688	-0,065	-0,049
PO4Br	0,673	-0,149	0,265
MESBr	0,385	-0,052	-0,165
NO2Br	0,081	0,964	0,157
NO2Ep	0,131	0,952	0,170
NO3Ep	0,049	0,181	-0,594
MESEp	-0,046	-0,018	-0,556
PO4Ep	0,479	-0,135	0,531
DBO5Ep	0,177	-0,173	0,395
NO3Br	-0,166	-0,243	0,305
NH4Ep	0,434	-0,086	-0,063
DCOEp	0,187	-0,104	-0,307

★ **Cercle de corrélation :**

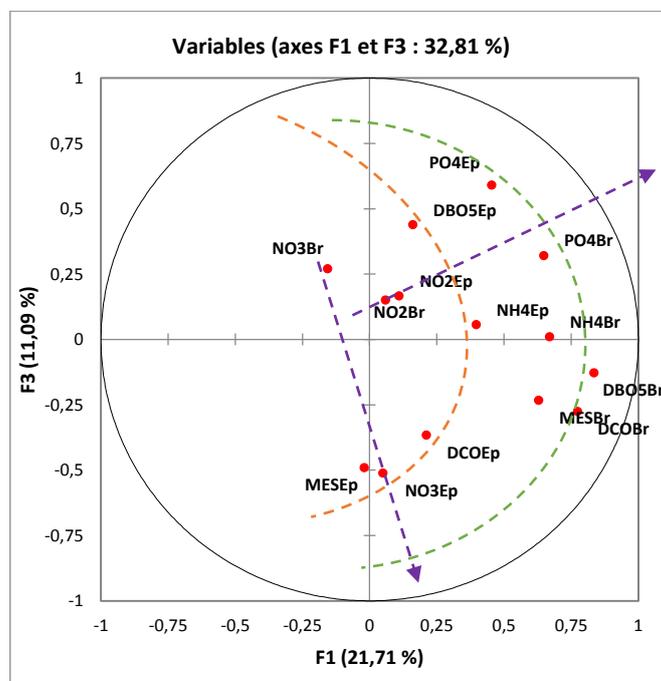


Figure VI .26: Paramètres de pollution (Entrée-Sortie) à l'échelle journalière [1×3].

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

On remarque une disposition des paramètres de l'eau brute et épurée sur deux arcs fictifs respectivement, avec des exceptions pour NO₃ et NO₂ qui sont en excès.

➤ **Conclusion :**

On conclut donc qu'il y a un manque de maîtrise au niveau des bassins biologiques, ce qui conduit à un dépassement des normes de rejets des paramètres NO₃ et NO₂ à la sortie de la STEP de Tipaza, ceci est dû à une absence de la zone anaérobie.

Les équidistances entre deux arcs fictifs (Eau brute-Eau épurée), définissant le rabattement de la pollution, autrement dit, le rapport d'élimination de la pollution. Partant de là, on déduit que l'ACP montre que les « rapports d'élimination » peuvent être de nouvelles variables qui contribuent mieux à l'explication du procédé d'épuration.

VI.4.2.2. Pas de temps mensuel :

➤ **Présentation des données :**

On dispose d'un tableau de données mensuelles « 35 observations × 14 variables ».

★ **Matrice de corrélation :**

La matrice de corrélation a pour déterminant ($1.38.10^{-5}$). Pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI .49 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Eau brute-Eau épurée/mensuel).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0,376	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	318,899
	ddl	91
	Signification de Bartlett	0,000

Le KMO globale de la matrice se situe dans la fourchette «Inacceptable».

Dans ce cas, une ACP serait injustifié, et devrait donner des résultats non concluants.

VI.4.3. Application de l'ACP sur les rapports d'élimination de pollution et Rendement énergétique :

VI.4.3.1. Pas de temps journalier :

➤ **Présentation des données :**

Après avoir formé tous les rapports d'élimination pour chaque paramètre de pollution, on dispose d'un tableau de données « 117 observations × 8 variables ».

On aura donc :

- Variable à expliquer : Rendement énergétique [KWh/m3].
- Variables explicatives : Rapports d'élimination de la pollution.

Pour faciliter la manipulation des variables, on garde la codification précédente adoptée pour la STEP de Boumerdes.

En appliquant une ACP sur le fichier de données, on aboutit aux résultats présentés ci-dessous.

★ **Matrice de corrélation :**

Tableau VI .50 : Matrice de corrélation (Rapport-Rendement énergétique/ journalier).

corrélation	R(MES)	R(DBO)	R(DCO)	R(NH4)	R(NO2)	Rex(NO3)	R(PO4)	Ren
R(MES)	1,000							
R(DBO)	0,116	1,000						
R(DCO)	0,028	0,150	1,000					
R(NH4)	0,237	0,167	0,049	1,000				
R(NO2)	0,015	0,023	0,050	0,200	1,000			
Rex(NO3)	-0,043	-0,060	-0,075	-0,029	-0,056	1,000		
R(PO4)	-0,106	0,220	-0,098	-0,009	0,031	-0,143	1,000	
Ren	0,083	-0,177	0,279	0,203	-0,008	0,125	-0,369	1,000

La matrice de corrélation a pour déterminant (0,547). Pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

Tableau VI .51 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport-Rendement énergétique/ journalier).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.		0,506
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	67,936
	ddl	28
	Signification de Bartlett	0,000

★ Variance expliquée par les valeurs propres :

Tableau VI .52: Variance totale expliquée (Rapport-Rendement énergétique/ journalier).

Composante	Valeurs propres initiales			Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus		
	Total	% de la variance	% cumulés	Total	% de la variance	% cumulés
1	1,661	20,759	20,759	1,661	20,759	20,759
2	1,481	18,510	39,270	1,481	18,510	39,270
3	1,065	13,318	52,588	1,065	13,318	52,588
4	1,016	12,697	65,284	1,016	12,697	65,284
5	0,939	11,739	77,023			
6	0,742	9,274	86,297			
7	0,623	7,788	94,085			
8	0,473	5,915	100,000			

★ Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :

Tableau VI .53 : Corrélation entre les CP' et les variables (Rapport-Rendement énergétique/ journalier).

corrélation	CP'			
	1	2	3	4
Ren	0,818	-0,067	-0,137	0,052
R(PO4)	-0,697	0,310	-0,058	0,038
R(DBO)	-0,233	0,646	-0,210	-0,381
R(NH4)	0,355	0,627	0,360	0,059
Rex(NO3)	0,238	-0,359	0,333	-0,243
R(DCO)	0,414	0,287	-0,756	0,035
R(NO2)	0,074	0,399	0,235	0,771
R(MES)	0,306	0,446	0,363	-0,456

Cercle (1) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×2) :

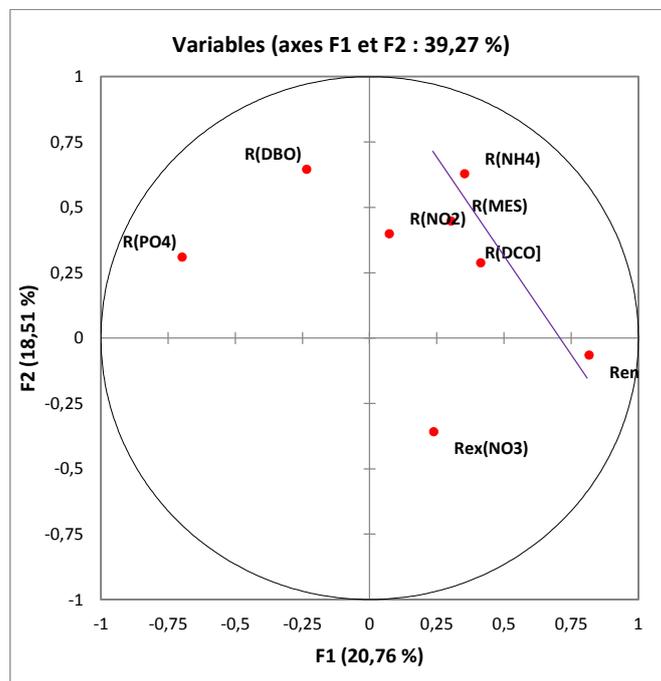


Figure VI .27: Rapport-Rendement énergétique à l'échelle journalière [1×2].

Cercle (2) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×4) :

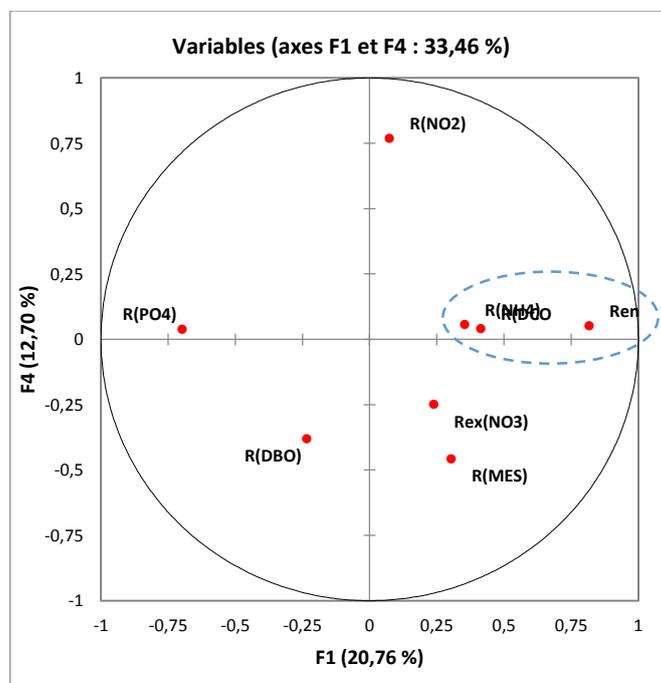


Figure VI .28: Rapport-Rendement énergétique à l'échelle journalière [1×4].

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

En analysant les cercles (1) et (2), on confirme que le rendement énergétique est lié au rapport d'élimination de la matière organique exprimé par R(DCO), ainsi que le rapport d'élimination de l'ammonium exprimé par R(NH₄) ou degré de nitrification.

VI.4.3.2.Pas de temps mensuel :

➤ **Présentation des données :**

Après avoir calculé tous les rapports d'élimination pour chaque paramètre de pollution, on obtient un tableau de données de « 26 observations × 8 variables ».

➤ **Résultats de l'ACP :**

★ **Matrice de corrélation :**

La matrice de corrélation a pour déterminant (0,075). Pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI .54 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport-Rendement énergétique/mensuel).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0,418	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	55,550
	ddl	28
	Signification de Bartlett	0,001

★ **Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :**

Tableau VI .55 : Corrélation entre les CP' et les variables (Rapport-Rendement énergétique/mensuel).

corrélation	CP'		
	1	2	3
Ren	0,794	0,419	0,099
R(PO ₄)	-0,695	-0,376	0,064
R(DCO)	0,689	-0,367	-0,157
R(MES)	0,581	-0,479	-0,415
Rex(NO ₃)	-0,211	0,610	0,291
R(DBO)	-0,387	-0,594	-0,295
R(NO ₂)	0,026	-0,476	0,760
R(NH ₄)	0,373	-0,407	0,650

Cercle (1) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×3) :

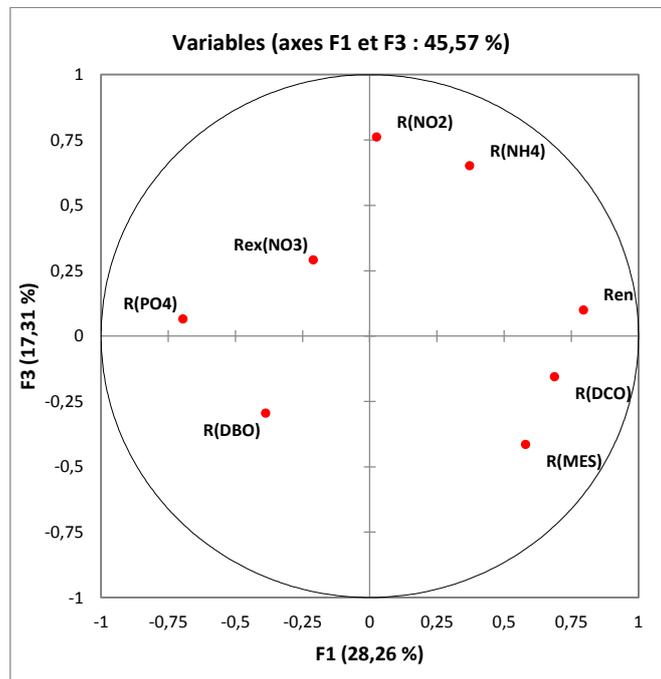


Figure VI .29: Rapport-Rendement énergétique à l'échelle mensuelle [1×3].

Cercle (2) : Projection des variables sur le plan factoriel (2×3) :

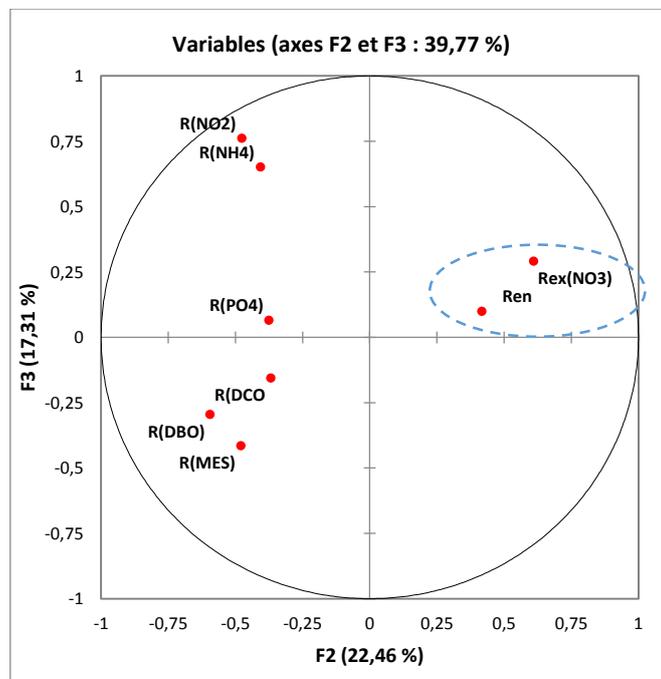


Figure VI .30: Rapport-Rendement énergétique à l'échelle mensuelle [2×3].

Le cercle de corrélation formé par les axes principaux (2 et 3), montre une formation d'un groupe par rapport au deuxième axe, qui est formé par les composés (Rex(NO₃), Ren), ceci confirme que l'excès du nitrate est corrélé avec le rendement énergétique, une augmentation de Rex(NO₃), entraîne une augmentation de la facture énergétique.

➤ **Conclusion :**

À partir des remarques et des résultats obtenus, on peut dire que le degré de nitrification dépasse les normes au niveau de la STEP de Tipaza ce qui génère une pollution : nitrate (NO₃) en excès, ceci est dû à une sur-aération, qui a pour conséquence d'une part une réduction des zones d'anaérobie et d'autre part une surconsommation d'énergie.

VI.4.4. Application de l'ACP sur les rapports d'élimination de pollution et la recirculation des boues :

VI.4.4.1. Pas de temps journalier :

➤ **Présentation des données :**

Après avoir calculé tous les rapports d'élimination par jour pour chaque paramètre de pollution, on obtient un tableau de données « 111 observations × 8 variables ».

- Variable à expliquer : Taux de recirculation des boues [%].
- Variables explicatives : Rapports d'élimination de la pollution.

On affecte à la variable «Taux de recirculation des boues» un code : TRB, et on garde la codification précédente des variables explicatives.

En appliquant une ACP sur le fichier de données, on aboutit aux résultats présentés ci-dessous.

★ **Matrice de corrélation :**

La matrice de corrélation a pour déterminant (0,648), nous déduisons qu'elle n'est pas singulière. Pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

Tableau VI .56 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport- Taux de recirculation des boues /journalier).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0,492	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	46,179
	ddl	28
	Signification de Bartlett	0,017

On remarque que la signification de Bartlett tend vers (0.017), et le KMO globale de la matrice se situe dans la fourchette «acceptable».

★ Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :

Tableau VI .57 : Corrélation entre les CP' et les variables (Rapport- Taux de recirculation des boues /journalier).

corrélation	CP'			
	1	2	3	4
R(NH4)	0,648	0,273	-0,341	0,197
R(DBO)	0,624	-0,312	0,117	-0,355
Rex(NO3)	-0,328	0,322	-0,235	-0,022
TRB	0,050	0,719	0,278	0,147
R(PO4)	0,261	-0,696	0,140	0,173
R(DCO)	0,354	0,336	0,714	-0,271
R(MES)	0,457	0,261	-0,529	-0,410
R(NO2)	0,422	0,074	0,021	0,751

Cercle (1) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×2) :

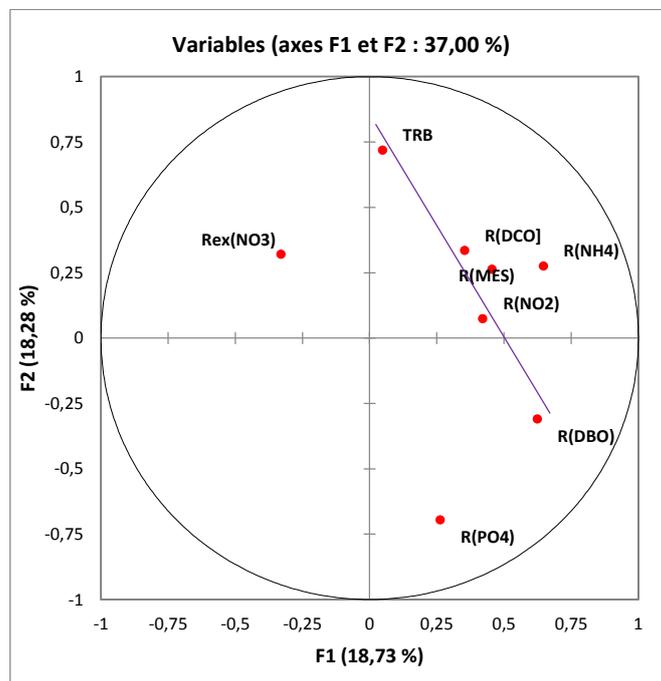


Figure VI .31: Rapport- Taux de recirculation des boues à l'échelle journalière [1×2].

Cercle (2) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×4) :

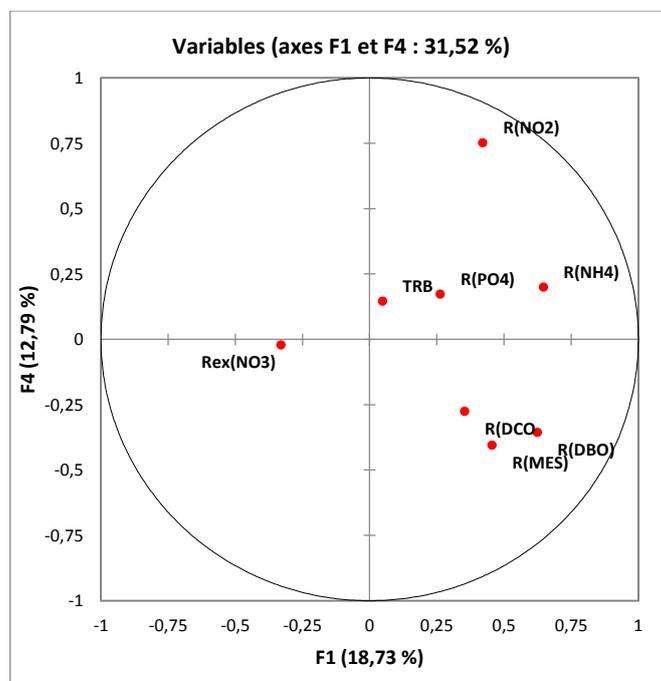


Figure VI .32: Rapport- Taux de recirculation des boues à l'échelle journalière [1×4].

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

A partir du cercle (1), formé par les axes principaux (1 et 2), on constate une disposition linéaire des variables TRB , R(DBO5), R(MES) et R(DCO).

VI.4.4.2.Pas de temps mensuel :

➤ Présentation des données :

Après avoir calculé tous les rapports d'élimination pour chaque paramètre de pollution, on obtient un tableau de données de « 35 observations × 8 variables ».

★ Matrice de corrélation :

La matrice de corrélation a pour déterminant (0,228). Pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI .58 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport- Taux de recirculation des boues / mensuel).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0,528	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	45,158
	ddl	28
	Signification de Bartlett	0,021

★ Cercles de corrélation :

les cercles de corrélation à l'échelle mensuelle donnent les mêmes constatations qui sont faites pour les cercles à l'échelle journalière , concernant les variables TRB , R(DBO5), R(MES) et R(DCO) avec de légères différences.

➤ Conclusion :

Les résultats de l'analyse des paramètres, au pas de temps journalier et mensuel, ont montré que La sur-aération au niveau de la STEP de Tipaza génère un très bon rendement des pollutions carbonées, qui conduit à une recirculation excessive des boues, cette dernière a pour conséquence :

- Réduction de la concentration des boues extraites dans le clarificateur.
- Instabilité hydraulique en clarification.
- Surconcentration des boues dans le bassin d'aération.

VI.4.5. Application de l'ACP sur les rapports d'élimination de pollution et les boues en excès :

VI.4.5.1. Pas de temps journalier :

➤ **Présentation des données :**

Après avoir formé tous les rapports d'élimination pour chaque paramètre de pollution, on dispose d'un tableau de données « 54 observations × 8 variables ».

- Variable à expliquer : volume de boues en excès [m³].
- Variables explicatives : Rapports d'élimination de la pollution.

On affecte à la variable «volume de boues en excès» un code : Bex, et on garde la codification précédente des variables explicatives.

En appliquant une ACP sur le fichier de données, on aboutit aux résultats présentés ci-dessous.

★ **Matrice de corrélation :**

La matrice de corrélation a un déterminant (0,372), nous déduisons qu'elle n'est pas singulière.

Pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI. 59 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport-volume de boues en excès /journalier)

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0.409	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	48,930
	ddl	28
	Signification de Bartlett	0,008

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

★ Variance totale expliquée par les valeurs propres :

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau VI .60: Variance totale expliquée (Rapport-volume de boues en excès / journalier).

Composante	Valeurs propres initiales			Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus		
	Total	% de la variance	% cumulés	Total	% de la variance	% cumulés
1	1,663	20,785	20,785	1,663	20,785	20,785
2	1,519	18,993	39,778	1,519	18,993	39,778
3	1,268	15,845	55,623	1,268	15,845	55,623
4	1,115	13,935	69,557	1,115	13,935	69,557
5	0,846	10,577	80,134			
6	0,744	9,295	89,429			
7	0,537	6,717	96,146			
8	0,308	3,854	100,000			

★ Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :

Tableau VI .61 : Corrélation entre les CP' et les variables (Rapport- volume de boues en excès /journalier).

corrélation	CP'			
	1	2	3	4
R(NO2)	0,815	-0,354	-0,177	-0,062
R(DCO)	-0,739	-0,063	-0,216	0,100
R(MES)	0,124	-0,776	-0,315	0,328
Rex(NO3)	0,094	0,543	-0,342	0,457
R(NH4)	-0,095	-0,508	-0,184	-0,353
R(PO4)	0,047	-0,121	0,861	-0,172
Bex	0,455	0,072	0,314	0,580
R(DBO)	-0,458	-0,463	0,316	0,542

★ Cercle de corrélation :

Cercle (1) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×4) :

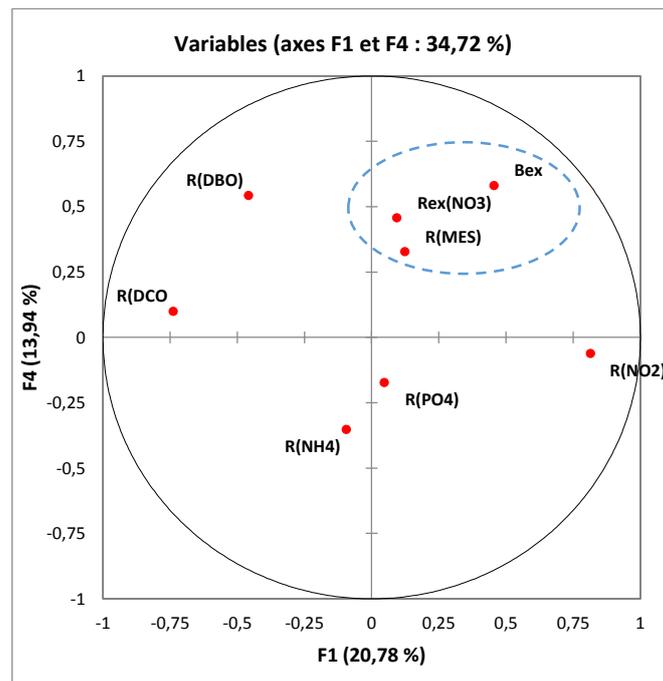


Figure VI .33: Rapport- volume de boues en excès à l'échelle journalière [1×4].

Cercle (2) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×2) :

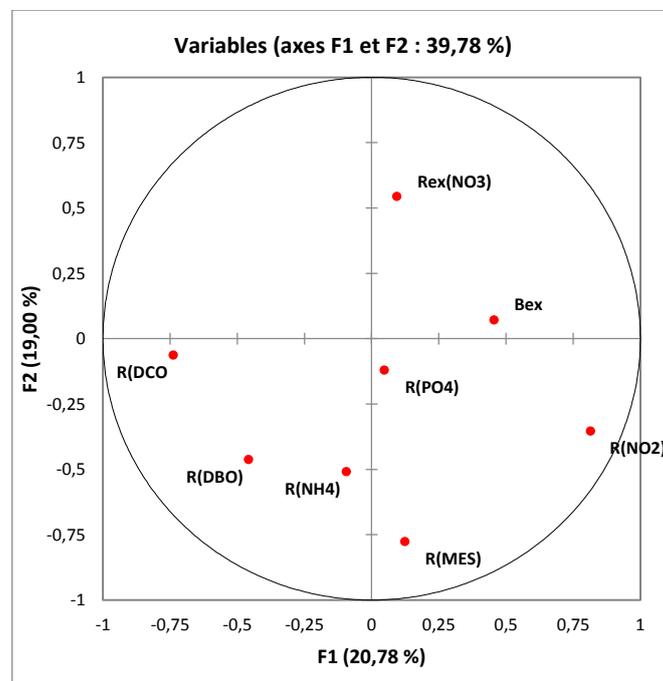


Figure VI .34: Rapport- volume de boues en excès à l'échelle journalière [1×2].

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

On remarque bien que la variable Bex est regroupée avec les deux variables R(MES) et Rex(NO3). Partant de là, on peut dire que le volume de boues en excès est lié au rapport d'élimination de nitrate en excès exprimé par Rex(NO3).

VI.4.5.2. Pas de temps mensuel :

➤ **Présentation des données :**

Après avoir calculé tous les rapports d'élimination pour chaque paramètre de pollution, on obtient un tableau de données de « 34 observations × 8 variables ».

★ **Matrice de corrélation :**

La matrice de corrélation a pour déterminant (0,255). Pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O, les résultats obtenus sous SPSS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI .62 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport- volume de boues en excès / mensuel).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0.415	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	40, 312
	ddl	28
	Signification de Bartlett	0,062

★ **Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :**

Tableau VI .63 : Corrélation entre les CP' et les variables (Rapport- volume de boues en excès / mensuel).

corrélation	CP'			
	1	2	3	4
R(DCO)	0,780	-0,052	-0,169	0,182
R(MES)	0,746	0,189	-0,379	-0,167
R(PO4)	-0,530	0,732	0,037	-0,019
R(DBO)	-0,071	0,672	-0,085	-0,379
R(NO2)	0,296	0,318	0,724	0,159
R(NH4)	0,481	0,078	0,655	-0,002
Bex	-0,388	-0,106	0,019	0,690
Rex(NO3)	-0,285	-0,570	0,328	-0,583

Cercle (1) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×2) :

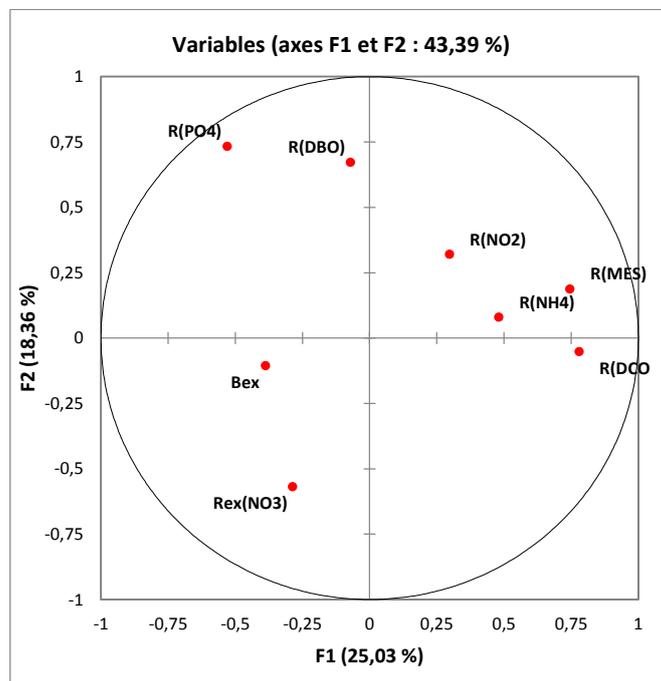


Figure VI .35: Rapport- volume de boues en excès à l'échelle mensuelle [1×2].

Cercle (2) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×3) :

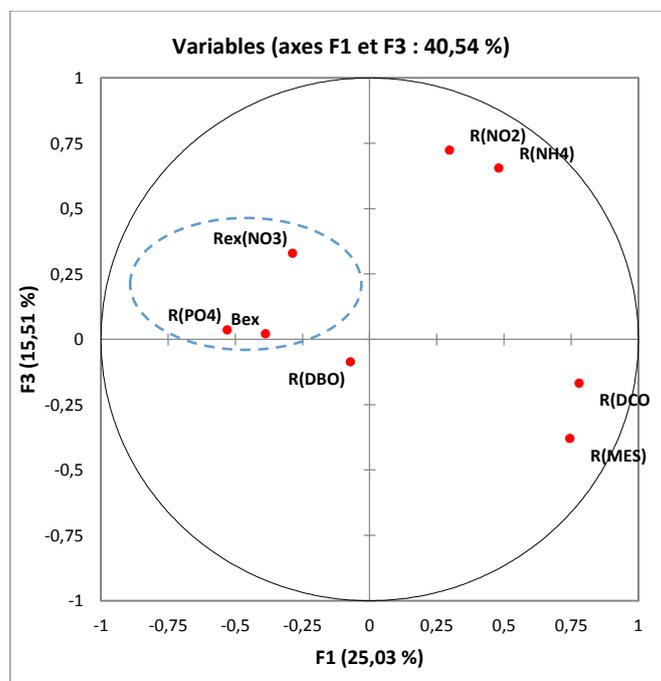


Figure VI .36: Rapport- volume de boues en excès à l'échelle mensuelle [1×3].

CHAPITRE VI Application de l'ACP sur les données de la STEP de Boumerdes et Tipaza

➤ **Conclusion :**

La sur-aération au niveau de la STEP de Tipaza génère un abattement faible des nitrates à cause de l'absence des zones d'anaérobie et un très bon rendement des pollutions carbonées donc des extractions plus fréquentes, qui ont pour conséquence :

- Dégradation de la qualité de l'eau traitée.
- Mauvaise décantation des boues.
- Faible épaissement des boues.

Conclusion générale

Le traitement des eaux usées par cultures microbiennes en suspension est utilisé pour éliminer biologiquement la matière organique, l'azote et le phosphore. Les boues activées constituent la référence des traitements biologiques aérobies en cultures libres. Un procédé de boues activées comporte : un ou plusieurs réacteurs, clarificateurs (décantation des boues), systèmes de recirculation de boues qui maintiennent de la concentration de la biomasse bactérienne dans le réacteur.

Dans cette étude nous avons établi un diagnostic du fonctionnement des stations de Boumerdes et Tipaza pour la détection des anomalies et des dysfonctionnements afin d'améliorer leur rendement. Notre étude s'intéresse principalement aux paramètres : énergie consommée, quantité de boues à recycler vers les bassins d'aération et le volume d'extraction des boues durant le processus d'épuration, en effectuant une analyse en composantes principales (ACP) sur l'ensemble des paramètres mesurés au niveau de ces stations .

L'analyse statistique des données et le suivi des évolutions des différents paramètres à l'entrée et à la sortie de la STEP de Boumerdes et de Tipaza ont permis de constater que les rendements épuratoires restent en général satisfaisants et répondent aux objectifs des stations en termes de rejets, à l'exception de l'abattement de la pollution azotée qui pose souvent un problème au procédé par boues activées.

L'application de l'Analyse en composantes principales aux différents paramètres des stations et à différents pas de temps a permis d'obtenir :

- Des nouveaux indicateurs de pollution permettant d'identifier les insuffisances et d'améliorer le rendement des différentes installations de traitement des eaux usées.
- Une sur-aération provoquant, d'une part, une surconsommation d'énergie, et d'autre part, une réduction des zones anaérobies et l'augmentation, par conséquent, de la pollution azotée.
- Une recirculation excessive des boues au niveau des stations qui a pour conséquence : une réduction de la concentration des boues extraites dans le clarificateur, instabilité hydraulique en clarification, Surconcentration des boues dans le bassin d'aération.

Conclusion générale

- Un très bon rendement des pollutions carbonées dû à une sur-aération, provoque des extractions plus fréquentes qui ont pour conséquence : une mauvaise décantation des boues, et un faible épaissement des boues.

La détection des dysfonctionnements, nous a amené à proposer certaines approches d'optimisation et d'amélioration sur les stations :

- Optimiser l'aération en mettant en place un asservissement par sonde d'oxygène avec une installation de capteurs instantanés de pollutions organiques et azotées au niveau des bassins biologiques.
- Tenir compte de la décroissance des teneurs en O₂ dissous lors des arrêts des systèmes d'aération pour optimiser un temps d'anoxie et d'améliorer le processus de dénitrification.
- Assure une régulation automatique opérationnelle de la recirculation des boues durant le procédé d'épuration, pour limiter le temps de séjour dans le clarificateur et garantir une bonne qualité de boues.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bernard BAUDOT, Prudencio PERERA, « Procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités », Office des publications officielles des Communautés européennes, Office international de l'eau 2001.
- [2] «Boues de station d'épuration : technique, valorisation et élimination», AMORCE, Série Technique DT 51 Novembre 2012.
- [3] Joseph PRONOST, Rakha PRONOST, Laurent DEPLAT, Jacques MALRIEU, Jean-Marc BERLAND, «Stations d'épuration dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation », Document technique, FNDAE N° 22 bis Décembre 2002.
- [4] Olivier Alexandre, Catherine Boutin, Philippe Duchène, Cécile Lagrange, Abdel Lakel, Alain Liénard, Dominique Orditz, « Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités », Document technique 1997.
- [5] «Conception et Dimensionnement : Nitrification - Dénitrification – Déphosphatation», Office international de l'eau 2005.
- [6] «Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées », Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales, Document technique, FNDAE N° 29.
- [7] DESHAYES Matthieu, « Guide pour l'établissement des Plans d'Assurance de la Qualité dans le cadre de la réalisation des stations d'épuration de type boues activées en lots séparés », Mémoire de Projet de Fin d'Etudes, Année universitaire 2007/2008 .INSA Strasbourg.
- [8] C.GOMELLA et H. GUERREE, « les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales : Le traitement », 1978 Paris.
- [9] «Les différents types de boues d'épuration et leurs traitements», fiche technique, assainissement. ADEME.
- [10] Y.THARRAULT, « Diagnostic de fonctionnement par analyse en composantes principales : Application à une station de traitement des eaux usées», Thèse de Doctorat ,Institut National Polytechnique de Lorraine, 11 Décembre 2008.

BIBLIOGRAPHIE

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

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

[13] METAHRI. Mohammed Saïd, «Elimination simultanée de la pollution azoté et phosphatée des eaux usées par des procédés mixtes», Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi –Ouzou, 2012.

[14] «Conception et Dimensionnement : caractérisation des eaux usées», Office international de l'eau 2005.

[15] «La pollution et l'épuration de l'eau », Agence de l'eau Loire-Bretagne.

[16] DJEDDI. Hamsa, Université Mentouri Constantine, « Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines », Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine, 2006/2007.

[17] Khalid EL AMRANI, « La pollution de l'eau et ses impacts », Formation, (Eau & Développement Durable), 22-23 novembre 2007.

[18] Bernard PY, « Statistique descriptive, Nouvelle méthode pour bien apprendre et Réussir ».4^{ème} édition. Ed ECONOMICA, Paris, 1999.

[19] Frédéric Dazy, Jean -François le Barzic, « L'analyse des données évolutives, méthodes et applications », éditions Technip, Paris1996.

[20] Jean Marie Bourche et Gilbert Saporta « L'analyse des données »,2^{ème} édition.1983.

[21] Jean de Lagarde, « Initiation à l'analyse des données »,3^{ème} édition, Paris, 1998.

[22] Ludovic Lebart, Alain Morineau, Marie Piron, « Statistique exploratoire multidimensionnelle », 2^{ine} édition, Paris, 1997.

BIBLIOGRAPHIE

- [23] Abolghasem ALIGHARDASHI, «Composés pharmaceutiques et eaux usées urbaines», Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, 2007.
- [24] K. Djabelkhir, «Contribution à la Réhabilitation de la Station d'Épuration de STAOUELI», Mémoire de Projet de Fin d'Étude, ENP Alger, 2007.
- [25] Ludovic LE MOAL «L'Analyse en Composantes Principales », 2002.
- [26] Claire Durand, « L'analyse factorielle et l'analyse de fidélité», juillet 2005.
- [27] « Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface », Cadre général Fiche 2. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement /observatoire des données de l'environnement
- [28] BELAHMADI Mohamed Seddik Oussama, « étude de la biodégradation du dichlorophénol par le micro-biote des effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d'Ibn Ziad », Mémoire de Magister en Microbiologie appliquée et biotechnologie microbienne, université Mentouri, 16 Juin 2004.
- [29] Philippe Duchène « Dysfonctionnement biologiques dans les stations d'épuration a boues activées », Actes du colloque Lyon-21 octobre 1994.
- [30] A.BLANDIN et J.MERESSE, pôle environnement Laurent Burget-Mountain Riders.
- [31] Site Web de la Fondation de l'Eau Potable Sûre www.safewater.org
- [32] N. LAREDJ, «Application de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour le diagnostic du fonctionnement de la station d'épuration de Boumerdes », Mémoire de Projet de Fin d'Étude, ENP Alger, 2013.