



**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

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

**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**



**Mémoire présenté par :**

**MELIANI Zouhir**

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

**THEME**

**Contribution à l'amélioration du modèle  
d'apprentissage pour le diagnostic des  
STEP**

**Cas de l'énergie consommée**

**Président : Mr. EH.BENYOUSSEF**

**Professeur (ENP)**

**Encadreur : Mr. A.BERMAD**

**Professeur (ENP)**

**Examineurs:**

**Mr. A.LEFKIR**

**Docteur (ENTP)**

**Mr. M.AMITOUCHE**

**M.A.A (Université de Boumerdes)**

**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

*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 vous  
encouragements, vous 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 **Sœur** 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.

الكلمات الرئيسية: معالجة المياه العادمة، تحليل المكون الرئيسي (PCA)، الطاقة .

## 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 .

**Mots clé :** Epuration des eaux usées, analyse en composantes principales (ACP), énergie.

## 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 .

**Key words:** Water purification, Energy, Principal components analyze.

## Sommaire

<b>Introduction Générale</b> .....	<b>1</b>
<b>L'application de l'ACP sur les Données Cumulés de la STEP de Boumerdes et Tipaza</b>	
1. Introduction.....	<b>3</b>
2. Procédure de l'analyse en composantes principale.....	<b>3</b>
2.1. Données utilisées .....	<b>3</b>
2.2. Résultats de l'ACP .....	<b>3</b>
3. Application sur les données cumulées.....	<b>4</b>
3.1. Application de l'ACP sur les paramètres de pollution d'entrée (Eau brute) .....	<b>4</b>
3.1.1. Pas de temps journalier .....	<b>4</b>
3.1.2. Pas de temps mensuel .....	<b>8</b>
3.2. Application de l'ACP sur les paramètres de l'eau (Entré/Sortie).....	<b>12</b>
3.2.1. Pas de temps journalier.....	<b>12</b>
3.2.2. Pas de temps mensuel.....	<b>15</b>
3.3. Application de l'ACP sur les rapports d'élimination de pollution et Rendement énergétique.....	<b>16</b>
3.3.1. Pas de temps journalier.....	<b>16</b>
3.3.2. Pas de temps mensuel.....	<b>20</b>
<b>Conclusion Générale</b> .....	<b>24</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>25</b>

## Liste des Tableaux

<b>Tableau.1 :</b> Codification des variables (Eau brute).....	4
<b>Tableau. 2 :</b> Matrice de corrélation des paramètres de l'eau brute (journalier).....	5
<b>Tableau. 3 :</b> Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O de l'eau brute (journalier).....	5
<b>Tableau. 4 :</b> Variance totale expliquée (paramètres de l'eau brute-journalier).....	6
<b>Tableau. 5:</b> Matrice de corrélation entre les CP' et les variables de l'eau brute journalier....	6
<b>Tableau. 6:</b> Matrice de corrélation des paramètres de l'eau brute (mensuel).....	9
<b>Tableau. 7:</b> Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O de l'eau brute (mensuel).....	9
<b>Tableau. 8:</b> Variance totale expliquée (paramètres de l'eau brute- mensuel).....	10
<b>Tableau. 9 :</b> Matrice de corrélation entre les CP' et les variables de l'eau brute-mensuel....	10
<b>Tableau. 10:</b> Codification des variables (Eau brute-Eau épurée).....	12
<b>Tableau. 11:</b> Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Eau brute-Eau épurée/ journalier)....	13
<b>Tableau. 12:</b> Variance totale expliquée (Eau brute-Eau épurée/ journalier).....	13
<b>Tableau. 13:</b> Matrice de corrélation entre les CP' et les variables (Eau brute-Eau épurée/ journalier).....	14
<b>Tableau. 14:</b> Codification des variables (Rapport-Rendement énergétique/journalier).....	17
<b>Tableau.15:</b> Matrice de corrélation (Rapport-Rendement énergétique/journalier).....	17
<b>Tableau. 16:</b> Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport-Rendement énergétique/journalier).....	18
<b>Tableau. 17:</b> Variance totale expliquée (Rapport-Rendement énergétique/journalier).....	18
<b>Tableau. 18:</b> Matrice de corrélation entre les CP' et les variables (Rapport-Rendement énergétique/journalier).....	19
<b>Tableau. 19:</b> Matrice de corrélation (Rapport-Rendement énergétique/mensuel).....	21

<b>Tableau. 20</b> : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport-Rendement énergétique/mensuel).....	21
<b>Tableau. 21</b> : Variance totale expliquée (Rapport-Rendement énergétique/mensuel).....	21
<b>Tableau. 22</b> : Corrélation entre les CP' et les variables (Rapport-Rendement énergétique/mensuel).....	22

## Liste des Figures

<b>Figure.1 :</b> Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle journalière [1×2].....	7
<b>Figure. 2 :</b> Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle journalière [1×3].....	8
<b>Figure. 3 :</b> Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle mensuelle [1×2].....	11
<b>Figure. 4 :</b> Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle mensuelle [1×3].....	11
<b>Figure. 5:</b> Paramètres de pollution (Entrée-Sortie) à l'échelle journalière [1× 2].....	14
<b>Figure. 6:</b> Paramètres de pollution (Entrée-Sortie) à l'échelle mensuelle [1× 2].....	15
<b>Figure. 7:</b> Rapport-Rendement énergétique à l'échelle journalière [1×2].....	19
<b>Figure. 8:</b> Rapport-Rendement énergétique à l'échelle journalière [1×4].....	20
<b>Figure. 9:</b> Rapport-Rendement énergétique à l'échelle mensuelle [1×2].....	22
<b>Figure. 10:</b> Rapport-Rendement énergétique à l'échelle mensuelle [1×3].....	23

# Introduction générale

Les eaux usées, qu'elles soient d'origine domestique ou industrielle, sont collectées par un réseau d'assainissement complexe pour être traitées dans une station d'épuration avant d'être rejetées dans le milieu naturel.

En station, les traitements varient en fonction de la nature de ces eaux usées et de la sensibilité à la Pollution du milieu récepteur.

De nos jours la conception d'ouvrages de collecte et de traitement des eaux usées domestiques, réseaux d'assainissement et stations d'épuration, est pilotée par les objectifs de qualité du milieu récepteur. La biodégradation de la matière organique en milieu aquatique est un processus majeur dans le fonctionnement des écosystèmes, largement étudié à la fois dans le domaine des eaux naturelles et des eaux usées. Ce processus consommateur d'oxygène peut induire de fortes désoxygénations dans le milieu naturel, voire une anoxie complète ce qui provoque un stress intense pour les organismes vivants dans le milieu. En station d'épuration, l'évaluation de l'intensité de ce processus est essentielle car elle permet d'estimer la demande en oxygène nécessaire pour dégrader les eaux usées et donc la consommation d'énergie qui sera nécessaire pour fournir cet oxygène.

Un transfert inadéquat d'oxygène risque d'entraîner la détérioration de la qualité de l'effluent parce que la quantité d'oxygène présente ne suffira alors pas à satisfaire la demande biologique en oxygène et la demande en oxygène endogène de la masse biologique.

On effectue l'analyse de la capacité du système d'aération pour évaluer la capacité du système et déterminer les possibilités de réaliser des économies d'énergie.

L'optimisation énergétique nécessite donc de mieux comprendre l'impact des différents paramètres opératoires du système sur les performances de transfert d'oxygène des dispositifs utilisés. En présence de boues activées, les caractéristiques de ce milieu complexe impactent aussi significativement le transfert d'oxygène et la capacité d'oxygénation est toujours inférieure à celle mesurée en eau claire.

Dans ce travail, on s'intéresse particulièrement à diagnostiquer le fonctionnement de deux stations, 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.

# Introduction générale

Notre travail débute par une introduction générale où on a mis l'accent sur l'importance de la consommation d'oxygène au niveau de station d'épuration.

La partie pratique a été consacrée à l'application de l'ACP sur les données cumulées des deux STEP et présentée l'essentiel des résultats avec leur interprétation.

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

## **1. Introduction :**

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode d'analyse de données multivariées et quantitatives. Elle permet de décrire et d'explorer les relations qui existent entre plusieurs variables simultanément. La procédure s'appuie sur un tableau de données, constitué en lignes par des individus sur lesquels sont mesurées des variables quantitatives disposées en colonnes. Alors on cherche un nombre plus réduit de variables pour décrire efficacement les phénomènes d'un groupe de données.

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.

## **2. Procédure de l'analyse en composantes principales :**

### **2.1. Données utilisées :**

On dispose d'une série de données brutes des paramètres de pollution en (mg/l) : MES, DBO5, DCO, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup> de l'eau brute et de l'eau épurée (Entrée-Sortie), le débit de l'effluent (m<sup>3</sup>/j) ainsi que la boue de recirculation (m<sup>3</sup>/j), la boue en excès (m<sup>3</sup>) et l'énergie totale (Kwh) consommée durant le processus d'épuration, de janvier 2006 à décembre 2013.

### **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.

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

### 3. Application sur les données cumulées :

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

##### 3.1.1. Pas de temps journalier :

➤ **Présentation des données :**

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée sur le tableau des données journalières, qui contient 7 variables et 454 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.1** : Codification des variables (Eau brute).

<i>Variable</i>	<i>Code</i>
MES (Eau brute)	MESBr
DBO5 (Eau brute)	DBO5Br
DCO (Eau brute)	DCOBr
NH <sup>4+</sup> (Eau brute)	NH4Br
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (Eau brute)	NO2Br
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (Eau brute)	NO3Br
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (Eau brute)	PO4Br

## Application de l'ACP sur les données cumulées de la STEP de Boumerdes et de Tipaza

### ➤ Résultats de l'ACP :

Les résultats de l'analyse sont présentés ci-dessous

### ★ Matrice de corrélation :

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

	MESBr	DB05Br	DCOBr	NH4Br	NO2Br	NO3Br	PO4Br
MESBr	1,000						
DB05Br	0,556	1,000					
DCOBr	0,568	0,691	1,000				
NH4Br	0,285	0,455	0,499	1,000			
NO2Br	0,019	0,117	0,092	0,228	1,000		
NO3Br	0,090	0,050	0,028	-0,021	0,035	1,000	
PO4Br	0,351	0,377	0,443	0,417	0,174	-0,019	1,000

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 (0.161), 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. 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.	0,800	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	821,298
	ddl	21,000
	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».

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

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

**Tableau. 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	2,923	41,753	41,753	2,923	41,753	41,753
2	1,073	15,326	57,079	1,073	15,326	57,079
3	1,013	14,471	71,550	1,013	14,471	71,550
4	,665	9,502	81,052			
5	,610	8,714	89,766			
6	,416	5,937	95,703			
7	,301	4,297	100,000			

En examinant l'apport de chaque composante, on remarque qu'avec trois (3) CP seulement, on peut expliquer 72 % 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. 5:** Matrice de corrélation entre les CP' et les variables de l'eau brute journalier.

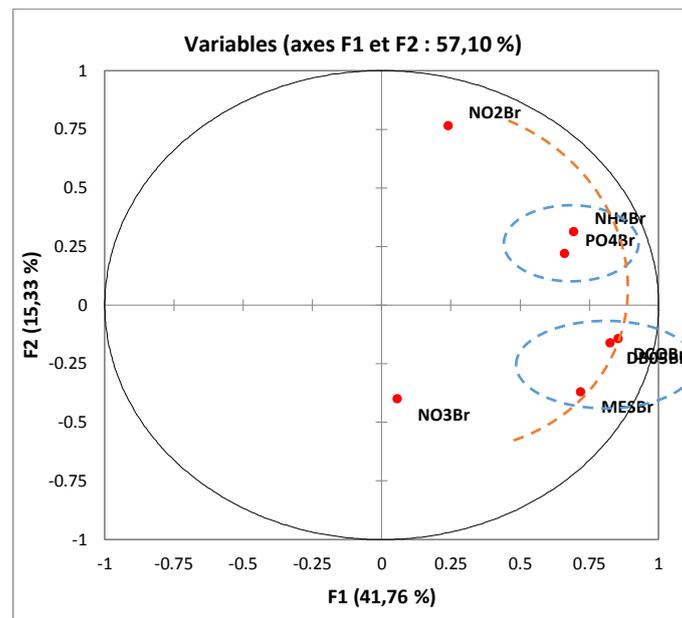
	CP'		
	1	2	3
DCOBr	0,86	-0,14	-0,08
DB05Br	0,83	-0,16	-0,03
MESBr	0,72	-0,37	-0,02
NH4Br	0,70	0,31	-0,02
PO4Br	0,66	0,22	-0,06
NO2Br	0,24	0,76	0,46
NO3Br	0,06	-0,40	0,89

## Application de l'ACP sur les données cumulées de la STEP de Boumerdes et de Tipaza

A partir de ce tableau, on remarque qu'il y a une bonne corrélation entre les variables (DCOBr, DBO5Br, 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.

### ★ Cercles de corrélation :

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



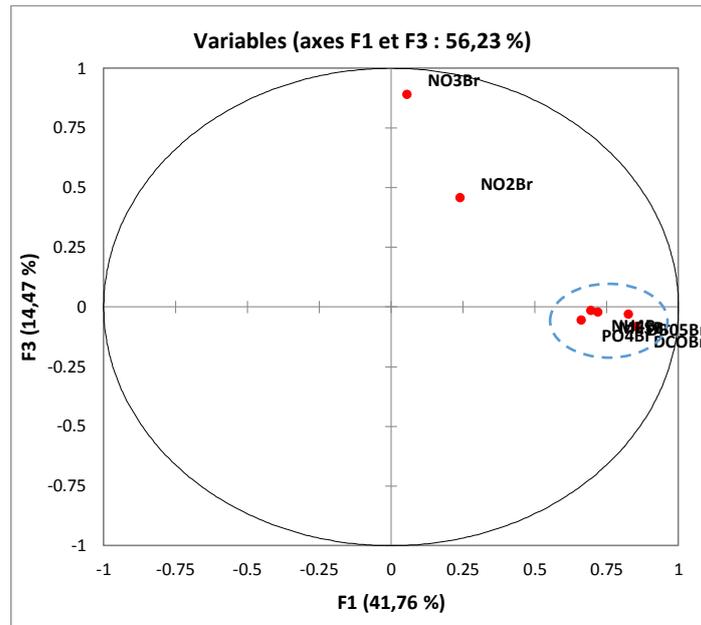
**Figure.1** : Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle journalière [1×2].

La projection des variables sur le plan factoriel (1×2) montre une formation de deux groupes opposés par rapport au premier axe. Le premier formé par les variables DCOBr, DBO5Br et MESBr caractérisant une pollution organique, le second formé par les variables NH4Br et PO4Br, caractérisant une pollution dissoute (azotée et phosphatée) 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 (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.

## Application de l'ACP sur les données cumulées de la STEP de Boumerdes et de Tipaza

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



**Figure. 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 composé de : DBO5Br, DCOBr, MESBr, NH4Br et PO4Br autour de l'axe (1), celui-ci permet de former des ratios en combinant ces différents paramètres.

En outre, on remarque que le paramètre NO2Br est éloigné de l'axe (1) ce dernier représente une forme oxydée de l'azote difficile à maîtriser.

### 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) : « 127 observations × 7 variables », après élimination des données non concomitantes.

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

- ★ Résultats de l'ACP :
- ★ Matrice de corrélation :

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

Corrélation	MESBr	DB05Br	DCOBr	NH4Br	NO2Br	NO3Br	PO4Br
MESBr	1,000						
DB05Br	0,106	1,000					
DCOBr	0,185	0,777	1,000				
NH4Br	-0,034	0,456	0,543	1,000			
NO2Br	-0,186	-0,093	-0,118	0,237	1,000		
NO3Br	0,214	0,244	0,304	0,024	-0,007	1,000	
PO4Br	0,235	0,317	0,417	0,300	-0,308	-0,093	1,000

La matrice de corrélation a pour déterminant (0,122), 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. 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.	0,629	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	258,175
	ddl	21,000
	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 «moyen».

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

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

**Tableau. 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	2,569	36,693	36,693	2,569	36,693	36,693
2	1,398	19,976	56,669	1,398	19,976	56,669
3	1,165	16,649	73,318	1,165	16,649	73,318
4	0,802	11,457	84,775			
5	0,489	6,983	91,759			
6	0,382	5,454	97,213			
7	0,195	2,787	100,000			

En examinant l'apport de chaque composante, on remarque qu'avec trois (3) CP seulement, on peut expliquer 73 % de la variance totale.

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

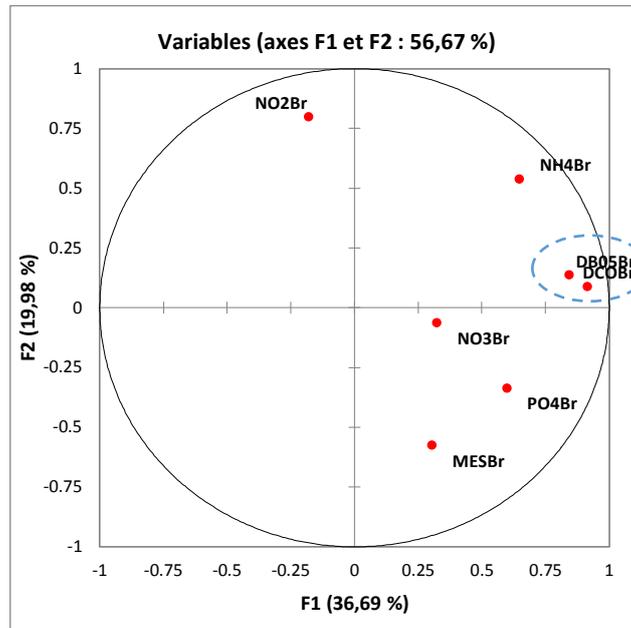
**Tableau. 9 :** Matrice de corrélation entre les CP' et les variables de l'eau brute-mensuel.

corrélation	CP'		
	1	2	3
DCOBr	0,916	0,087	0,063
DB05Br	0,846	0,135	0,063
NH4Br	0,650	0,537	-0,211
PO4Br	0,600	-0,338	-0,514
NO2Br	-0,177	0,795	0,195
MESBr	0,307	-0,577	0,302
NO3Br	0,326	-0,066	0,848

## Application de l'ACP sur les données cumulées de la STEP de Boumerdes et de Tipaza

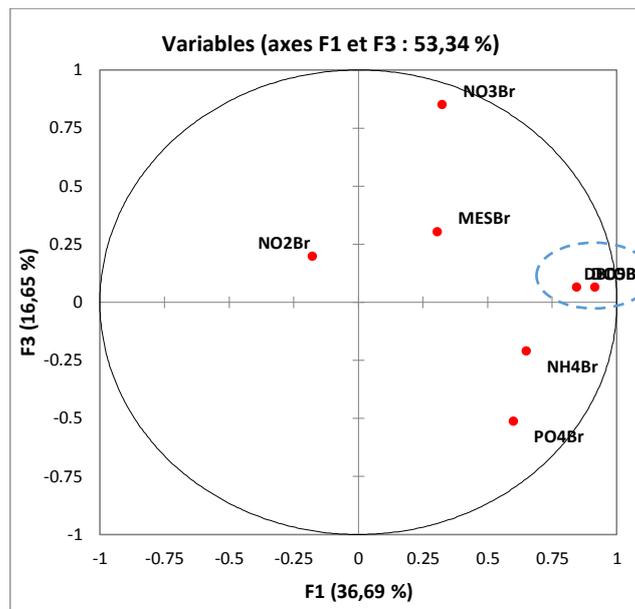
### ★ Cercles de corrélation :

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



**Figure. 3 :** 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. 4 :** Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle mensuelle [1×3].

## Application de l'ACP sur les données cumulées de la STEP de Boumerdes et de Tipaza

En analysant les cercles de corrélations (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.

### ➤ **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 des stations cumulées 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, ces derniers permettent d'identifier les insuffisances et d'améliorer le rendement de différentes installations du traitement des eaux usées.

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

### **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 14 variables et 399 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. 10:** 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 (0,061), 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-après :

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

**Tableau. 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.	0,684	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	1098,359
	ddl	91,000
	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 «moyen».

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

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

**Tableau. 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	3,262	23,300	23,300	3,262	23,300	23,300
2	1,514	10,812	34,112	1,514	10,812	34,112
3	1,345	9,607	43,720	1,345	9,607	43,720
4	1,194	8,528	52,247	1,194	8,528	52,247
5	1,150	8,212	60,459			
6	1,006	7,185	67,643			
7	,871	6,219	73,862			
8	,760	5,427	79,289			
9	,686	4,898	84,187			
10	,627	4,482	88,669			
11	,501	3,582	92,250			
12	,405	2,890	95,141			
13	,366	2,613	97,754			
14	,315	2,246	100,000			

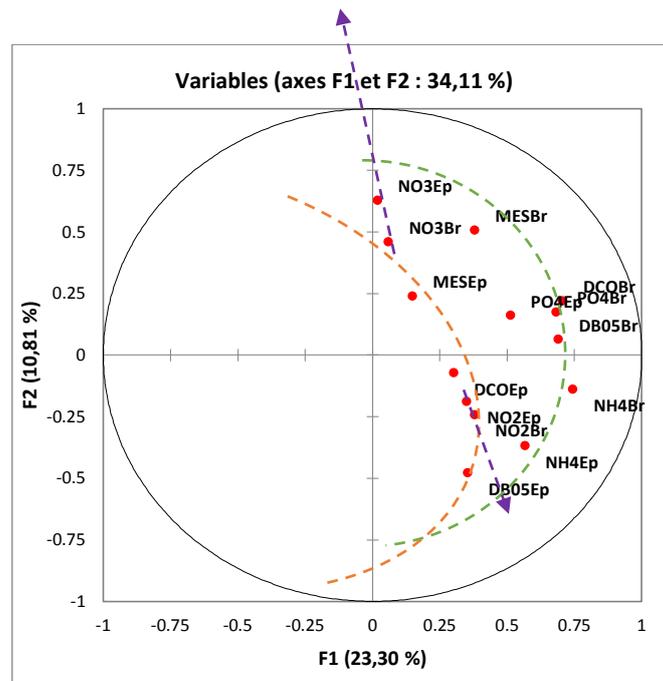
**★ Corrélation entre les CP' et les variables centrées réduites :**

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

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

	CP'			
	1	2	3	4
NH4Br	0,747	-0,14	-0,064	-0,073
DCOBr	0,709	0,219	-0,036	-0,211
DB05Br	0,692	0,062	0,046	-0,106
PO4Br	0,685	0,172	0,032	-0,207
NH4Ep	0,568	-0,37	-0,398	0,217
NO3Ep	0,022	0,627	-0,088	0,298
MESBr	0,383	0,507	0,071	-0,267
DB05Ep	0,356	-0,479	-0,36	0,225
NO2Ep	0,353	-0,193	0,669	0,318
NO2Br	0,382	-0,246	0,665	0,224
NO3Br	0,062	0,459	0,045	0,638
MESEp	0,152	0,238	-0,227	0,369
DCOEp	0,305	-0,073	-0,3	0,334
PO4Ep	0,515	0,159	-0,037	-0,162

On se limite à montrer le cercle de corrélation dans le plan factoriel formé par les axes principaux (1 et 2).



**Figure. 5:** Paramètres de pollution (Entrée-Sortie) à l'échelle journalière [1× 2].

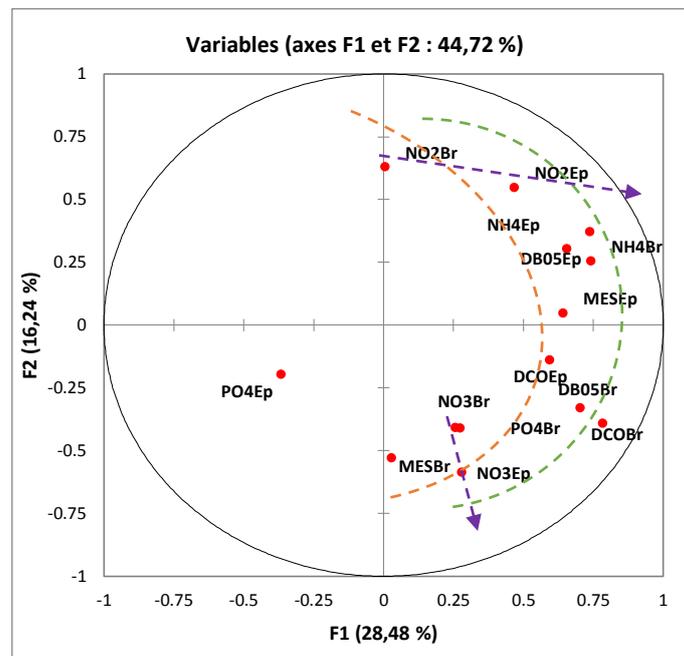
## Application de l'ACP sur les données cumulées de la STEP de Boumerdes et de Tipaza

On remarque une disposition des paramètres de l'eau brute et épurée sur deux arcs fictifs respectivement, avec des exceptions pour NO<sub>3</sub> et NO<sub>2</sub> qui sont en excès.

### VI.3.2.2. Pas de temps mensuel :

#### ➤ Présentation des données :

On dispose d'un tableau de données mensuelles «116 observations × 14 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. 6:** Paramètres de pollution (Entrée-Sortie) à l'échelle mensuelle [1 × 2].

## Application de l'ACP sur les données cumulées de la STEP de Boumerdes et de Tipaza

### ➤ 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 NO<sub>2</sub> et NO<sub>3</sub>.

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.

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

#### **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 «332 observations × 8 variables».

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

On aura donc :

- Variable à expliquer : Rendement énergétique [KWh/m<sup>3</sup>].

Rendement énergétique [KWh/m<sup>3</sup>] = énergie consommée [KWh/j] / Débit d'entrée [m<sup>3</sup>/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-après :

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

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

Variables	Codes associés
Rendement énergétique	Ren
Rapport (MES)	R(MES)
Rapport (DBO5)	R(DBO5)
Rapport (DCO)	R(DCO)
Rapport (NH4+)	R (NH4)
Rapport (NO2-)	R (NO2)
Rapport (NO3-)	Rex (NO3)
Rapport (PO4-)	R (PO4)

➤ **Résultats de l'ACP**

★ **Matrice de corrélation :**

**Tableau.15 :** 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)	0,176	1,000						
R(DCO)	0,217	0,178	1,000					
R(NH4)	0,047	0,149	-0,073	1,000				
R(NO2)	-0,045	-0,038	0,025	0,015	1,000			
Rex(NO3)	-0,058	0,011	-0,080	0,267	-0,055	1,000		
R(PO4)	0,060	0,092	0,114	-0,143	-0,046	-0,096	1,000	
Ren	0,087	0,095	0,116	0,156	-0,038	0,082	-0,211	1,000

La matrice de corrélation a un déterminant de valeur (0,69), 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-après :

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

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

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0,56	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	139,91
	ddl	28
	Signification de Bartlett	0,000

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

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

**Tableau. 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	1,508	18,851	18,851	1,508	18,851	18,851
2	1,475	18,435	37,286	1,475	18,435	37,286
3	1,071	13,383	50,669	1,071	13,383	50,669
4	0,991	12,391	63,060	0,991	12,391	63,060
5	0,820	10,255	73,314			
6	0,806	10,076	83,391			
7	0,686	8,576	91,966			
8	0,643	8,034	100,000			

En examinant l'apport de chaque composante, on remarque qu'avec 4 CP on arrive à expliquer 63 % de la variance totale.

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

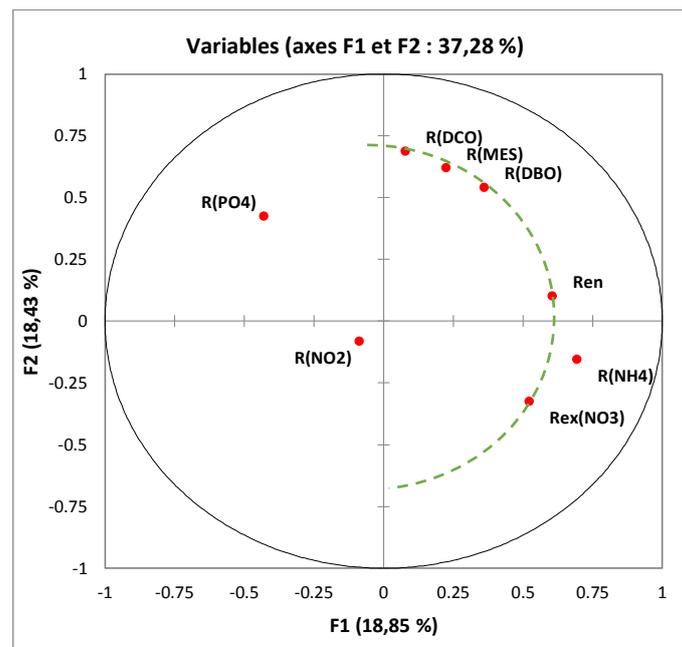
★ **Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :**

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

	CP'			
	1	2	3	4
R(NH4)	0,70	-0,15	0,21	0,33
Ren	0,61	0,10	-0,40	-0,35
Rex(NO3)	0,52	-0,33	0,41	0,15
R(DCO)	0,08	0,69	-0,24	0,01
R(MES)	0,23	0,62	-0,04	-0,07
R(DBO)	0,36	0,54	0,24	0,25
R(PO4)	-0,43	0,42	0,51	0,23
R(NO2)	-0,09	-0,08	-0,57	0,78

★ **Cercle de corrélation :**

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



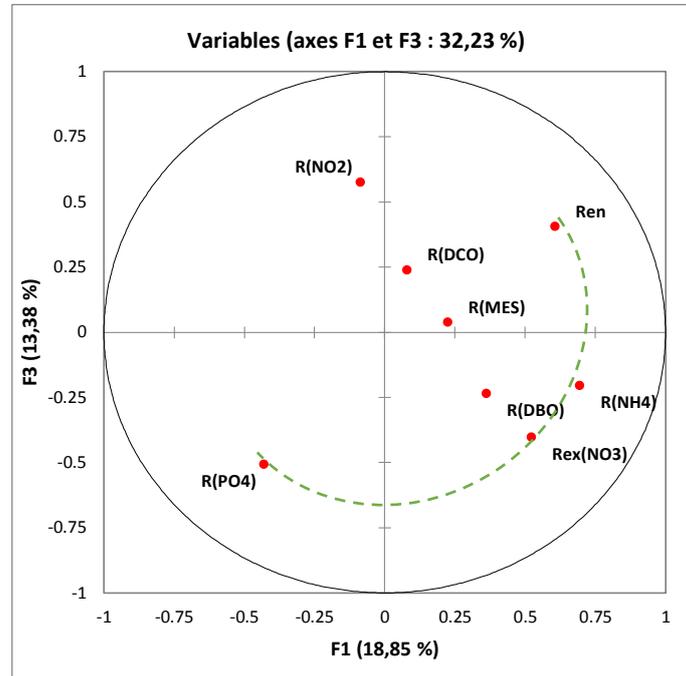
**Figure. 7:** Rapport-Rendement énergétique à l'échelle journalière [1×2].

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)) et le rendement énergétique (Ren) et le Rendement de nitrate en excès (Rex(NO3)) sont disposés sur un arc

## Application de l'ACP sur les données cumulées de la STEP de Boumerdes et de Tipaza

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 rendement de Nitrate en excès Rex(NO3)

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



**Figure. 8 :** Rapport-Rendement énergétique à l'échelle journalière [1×3].

En analysant les cercles (2), on remarque aussi que le rendement énergétique est lié au rapport d'élimination de la matière azotée et phosphatée.

### 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 « 115 observations × 8 variables ».

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

- Résultats de l'ACP :
- ★ Matrice de corrélation :

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

Corrélation	R(MES)	R(DBO)	R(DCO)	R(NH4)	R(NO2)	Rex(NO3)	R(PO4)	Ren
R(MES)	1,000							
R(DBO)	0,353	1,000						
R(DCO)	0,200	0,038	1,000					
R(NH4)	0,386	0,405	0,031	1,000				
R(NO2)	-0,049	-0,065	0,046	0,053	1,000			
Rex(NO3)	0,119	0,115	0,063	-0,130	0,200	1,000		
R(PO4)	-0,117	-0,088	-0,042	-0,104	-0,167	-0,089	1,000	
Ren	0,415	0,137	0,083	0,277	0,037	0,021	0,138	1,000

La matrice de corrélation a un déterminant de valeur (0,401), 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. 20 :** Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Rapport-Rendement énergétique/mensuel).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0,560	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	100,940
	ddl	28
	Signification de Bartlett	0,000

- ★ Variance expliquée par les valeurs propres :

**Tableau. 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	2,049	25,612	25,612	2,049	25,612	25,612
2	1,329	16,612	42,224	1,329	16,612	42,224
3	1,089	13,618	55,842	1,089	13,618	55,842
4	0,959	11,990	67,832	0,959	11,990	67,832
5	0,935	11,690	79,521			
6	0,727	9,086	88,607			
7	0,473	5,912	94,518			
8	0,439	5,482	100,000			

## Application de l'ACP sur les données cumulées de la STEP de Boumerdes et de Tipaza

L'analyse montre qu'avec 4 CP on arrive à expliquer 68% de la variance totale.

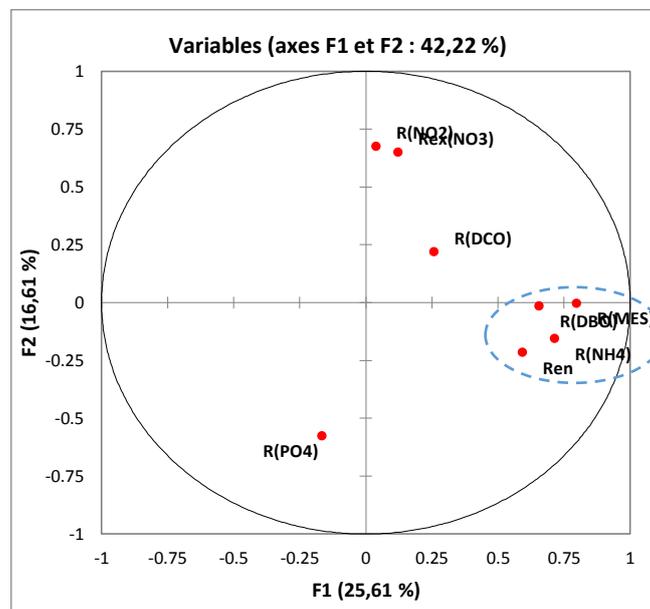
### ★ Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :

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

corrélation	CP'			
	1	2	3	4
R(MES)	0,800	-0,006	0,131	-0,102
R(NH4)	0,716	-0,158	-0,343	0,120
R(DBO)	0,657	-0,017	-0,313	-0,006
Ren	0,594	-0,218	0,460	0,328
R(NO2)	0,040	0,674	0,075	0,421
Rex(NO3)	0,123	0,648	0,328	0,191
R(PO4)	-0,165	-0,579	0,557	0,274
R(DCO)	0,260	0,217	0,470	-0,733

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

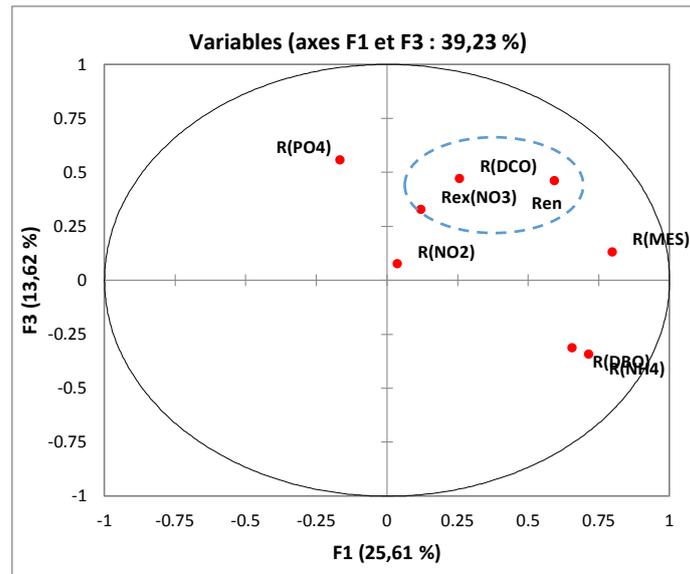
### Cercle (1) : Projection des variables sur le plan factoriel (1×2) :



**Figure. 9:** Rapport-Rendement énergétique à l'échelle mensuelle [1×2].

## Application de l'ACP sur les données cumulées de la STEP de Boumerdes et de Tipaza

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



**Figure. 10:** Rapport-Rendement énergétique à l'échelle mensuelle [1×3].

En analysant les cercles (1) et (2), on confirme que le rendement énergétique est lié au rapport d'élimination de la matière organique, ainsi que le rapport d'élimination de l'ammonium.

En outre que l'excès du nitrate est corrélé avec le rendement énergétique, une augmentation de Rex(NO3), entraîne une augmentation de la facture énergétique.

### ➤ Conclusion :

Le regroupement constaté, de la variable rendement énergétique avec le rapport d'élimination de la matière organique, d'une part, et avec l'excès en nitrate, d'autre part, permet de conclure que la performance du procédé d'épuration relative à la consommation énergétique est liée en premier lieu au rabattement de la pollution organique, ce qui constitue un premier indicateur de performance. On conclut, aussi, que la surconsommation d'énergie peut être contrôlée par l'excès de nitrate, ce dernier, peut constituer une "lampe témoin" de la sur-aération.

## Conclusion générale

L'aspect aléatoire des paramètres étudiés et leur complexité ne peuvent être expliqués par un modèle linéaire tel que proposé par l'ACP, ceci explique les faibles indices de factorisation obtenus .

Une accumulation des données a pour le but d'agrandir la taille d'échantillon, afin d'améliorer ce modèle linéaire pour le diagnostic des STEP.

Notre étude s'intéresse principalement au paramètre: énergie consommé durant le processus d'épuration, en effectuant une analyse en composantes principales (ACP) sur l'ensemble des paramètres des stations cumulées.

L'application de l'Analyse en composantes principales aux différents paramètres des stations cumulées à différents pas de temps a permis d'obtenir :

- La part majoritaire de la consommation énergétique des stations d'épuration à boues activées est liée à l'aération. Celle-ci peut atteindre jusqu'à 70% de la consommation énergétique totale de la station.
- Surconsommation d'énergie peut être contrôlée par l'excès de nitrate, ce dernier, peut constituer une "lampe témoin" de la sur-aération.

Les innovations technologiques de ces dernières années, notamment au niveau du suivi en continu des concentrations des formes de l'azote ( $\text{NH}_4^+$  et  $\text{NO}_3^-$ ), permettent une régulation directe de l'oxygène sur la charge à traiter et limitent ainsi la consommation énergétique du procédé.

## 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<sup>ème</sup> édition. Ed ECONOMICA, Paris, 1999.
- [19] Frédéric Dazy, Jean -François le Barzic, « L'analyse des données évolutives, méthodes et applications », éditions Technip, Paris 1996.
- [20] Jean Marie Bourche et Gilbert Saporta « L'analyse des données », 2<sup>ème</sup> édition. 1983.
- [21] Jean de Lagarde, « Initiation à l'analyse des données », 3<sup>ème</sup> édition, Paris, 1998.
- [22] Ludovic Lebart, Alain Morineau, Marie Piron, « Statistique exploratoire multidimensionnelle », 2<sup>ème</sup> 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 2.4-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](http://www.safewater.org)