

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
École Nationale Polytechnique



Département Hydraulique
Laboratoire de Matériaux de Génie Civil et Environnement

Mémoire de Projet de Fin d'Études
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique

**Diagnostic de la filière boue de la STEP de
Béni Messous par l'Analyse en Composantes
Principales**

MOULAI LAKHDAR Souhila

Sous la direction de Mr. Abdelmalek BERMAD

Professeur

Et Mr. Rafik OULEBSIR

Co promoteur

Présenté et soutenu publiquement le 06/10/2020

**Composition du
Jury :**

Président
promoteur

Mr. Abdelkader NAMANE
Mr. Abdelmalek BERMAD

Professeur ENP
Professeur ENP

Co Promoteur

Mr. R. OULEBSIR

Doctorant USTHB

Examineurs

Mr. Abdelouahab LEFKIR

MCA ENSTP

Examineurs

Mr SAHNOUN Ali Yacine

MCA ENP

ENP 2020

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
École Nationale Polytechnique



Département Hydraulique
Laboratoire de Matériaux de Génie Civil et Environnement

Mémoire de Projet de Fin d'Études
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique

**Diagnostic de la filière boue de la STEP de
Béni Messous par l'Analyse en Composantes
Principales**

MOULAI LAKHDAR Souhila

Sous la direction de Mr. Abdelmalek BERMAD

Professeur

Et Mr. Rafik OULEBSIR

Co promoteur

Présenté et soutenu publiquement le 06/10/2020

**Composition du
Jury :**

Président
promoteur

Mr. Abdelkader NAMANE
Mr. Abdelmalek BERMAD

Professeur ENP
Professeur ENP

Co Promoteur

Mr. R. OULEBSIR

Doctorant USTHB

Examineurs

Mr. Abdelouahab LEFKIR

MCA ENSTP

Examineurs

Mr SAHNOUN Ali Yacine

MCA ENP

ENP 2020

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents.

Ma mère qui m'a consacré tout son cœur, tout son Espoir qui se compte en termes de soupirs infinis. Mon Ange qui, jamais ne se plaint, ne Demande de contrepartie, à part que je sois comme elle a tant espéré. À celle qui n'a jamais Cessé de prier Dieu pour que tous mes pas soient couronnés de succès et mes vœux soient Exaucés

Mon père qui sans lui je ne serais pas arrivé jusqu'ici. J'espère toujours Rester fidèle aux valeurs morales qu'il m'a apprises.

*À toute ma famille pour leur soutien tout au long de ma carrière.
À tous mes amis avec qui j'ai passé des années inoubliables.*

Merci d'être toujours là pour moi

Remerciements

Je voudrais tout d'abord remercier le bon DIEU qui m'a donné la force, le courage et la volonté pour compléter ce modeste travail.

Mes remerciements vont également à ma chère famille qui a le droit de recevoir mes chaleureux remerciements pour le courage et le sacrifice qu'elle a consentie pendant la durée de mes études en leurs souhaitant une longue vie pleine de joie et de santé.

*Une grande part de mes remerciements est destinée à mon promoteur **Mr. BERMAD Abdelmalek**, à qui j'exprime toute ma reconnaissance et ma gratitude, tout d'abord d'avoir accepté de m'encadrer en me donnant ainsi la chance de travailler dans son équipe de recherche, ensuite de m'avoir apporté son aide qui m'a été très précieuse, notamment sa manière d'expliquer en simplifiant tout ce qui apparait difficile et dur à comprendre.*

Je le remercie aussi pour son amabilité et sa grande disponibilité.

*Je tiens également à remercier mon Co-promoteur Monsieur **Rafik OULEBSIR** pour le soutien, l'aide et les conseils qu'il m'a prodigué pour la réalisation et l'élaboration de ce mémoire.*

Mes remerciements s'adressent aussi aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'avoir accepté de juger ce travail.

Enfin, Je tiens à remercier tous les professeurs, également tous le personnel administratif du département hydraulique et de L'ENP qui m'ont aidé et guidé le long de 3 années de spécialité.

ملخص

بعد تطهير مياه الصرف الصحي، تواجه البيئة مشكلة كبيرة في صرف حمأة الصرف الصحي المنفصلة عن المياه الملوثة.

اهتم العديد من الباحثين حول العالم، وحتى في الجزائر، بإدارة الحمأة وإعادة استخدامها لأغراض مختلفة

تهدف دراستنا إلى تشخيص قطاع الحمأة لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي في بني مسوس من أجل تحسينه. يعتبر النهج الرياضي، في هذه الحالة، تحليل المكونات الرئيسية من أجل الكشف عن الاختلالات المحتملة على مستوى محطة معالجة مياه الصرف الصحي من وجهة نظر الحمأة الناتجة أثناء عملية التنقية.

مفتاح الكلمات: محطة معالجة مياه الصرف الصحي، قطاع الطين، التحسين، تحليل المكونات الرئيسية.

ABSTRACT

After cleaning the wastewater, the environment has as huge problem the rejecting of sewage sludge separated from the polluted water.

Several researchers around the world, and even in Algeria, have taken an interest in the management and reuse of WWTP sludge for various purposes.

Our study aims to diagnose the sludge sector of the Beni Messous wastewater treatment plant (WWTP) in order to optimize it. A mathematical approach is considered, in this case, the Principal Component Analysis in order to detect any dysfunctions at the WWTP level from the point of view of the sludge produced during the purification process.

Keywords: WWTP, sludge Sector, optimization, Principal Component Analysis (PCA).

Résumé

Après avoir dépollué une eau usée, l'environnement est confronté à un énorme problème de rejet de la boue résiduaire séparée de l'eau polluée.

Plusieurs chercheurs de par le monde, et même en Algérie se sont intéressés à la gestion et à la réutilisation des boues des STEP à diverses fins.

Notre étude a pour objectif de diagnostiquer la filière Boue de la STEP de Beni Messous dans le but de l'optimiser. Une approche mathématique est envisagée, en l'occurrence, l'Analyse en Composantes Principales afin de déceler d'éventuels dysfonctionnements au niveau de la STEP du point de vue de la boue produite au cours du processus d'épuration.

Mots clés : STEP, Filière Boue, optimisation, Analyse en Composantes Principales (ACP).

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des Annexes

INTRODUCTION GENERALE.....	15
----------------------------	----

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES ET LES BOUES D'EPURATI-ON

I.1. Les eaux usées :.....	18
I.1.1 Origine: :.....	19
I.1.1.1 Eaux usées d'origine domestique :.....	19
I.1.1.2 Eaux industrielles :.....	19
I.1.1.3 Eaux de ruissellement:.....	19
I.1.1.4 Eaux agricoles:.....	19
I.1.2 Les procédés du traitement des eaux usées :.....	20
I.1.2.1 Prétraitement :.....	20
I.1.2.1.1 Dégrillage :.....	20
I.1.2.1.2 Le tamisage :.....	20
I.1.2.1.3 Le dessablage :.....	20
I.1.2.1.4 Le dégraissage ou déshuilage:.....	20
I.1.2.2 Traitement primaire :.....	21
I.1.2.3 Traitement secondaire :.....	22
I.1.2.4 Traitement tertiaire :.....	23
I.2 Les boues résiduaires :.....	24
I.2.1 Définition :.....	24
I.2.2 Origine et formation :.....	24

TABLE DES MATIERES

I.2.3	Les types de boues :.....	25
I.2.3.1	Les boues primaires :.....	25
I.2.3.2	Les boues physico-chimiques :.....	25
I.2.3.3	Les boues primaires :.....	25
I.2.3.4	Les boues mixtes:.....	25
I.2.3.5	Les boues d'aération prolongée:.....	25
I.2.4	Composition des boues :.....	25
I.2.4.1	Matières organiques :.....	25
I.2.4.2	Éléments fertilisants et amendements :.....	26
I.2.4.3	Contaminants chimiques organiques et inorganiques:.....	26
I.2.4.4	Micro-organisme pathogène :.....	26
I.2.5	Les caractéristiques physico-chimiques des boues :.....	26
I.2.5.1	Caractéristiques chimiques :.....	26
I.2.5.2	Caractéristiques physiques :.....	27
I.2.6	Principales voies de traitement :.....	27
I.2.6.1	Procédés de réduction de la teneur en eau :.....	28
I.2.6.1.1	L'épaississement :.....	29
I.2.6.1.2	Déshydratation :.....	30
I.2.6.1.3	La stabilisation :.....	31
I.2.6.1.4	La déshydratation naturelle (lits de séchage):.....	32
I.2.6.1.5	Séchage :.....	32
I.2.6.1.6	Incinération :.....	32
I.3	conclusion :.....	32

CHAPITRE II : L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

II.1.	Introduction.....	34
II.2.	Définition:.....	36
II.3.	Définition algébrique : :.....	37
II.4.	Définition géométrique : :.....	38
II.5.	Notions d'individu et de caractère :.....	39

TABLE DES MATIERES

II.6.	Application de L'ACP :	.....	39
II.7.	Quand utiliser l'ACP ?	.....	40
II.8 .	Principe.....	.....	40
II.9.	Les étapes de l'ACP	.....	41
II.10.	but	.....	41
II.11.	Principaux résultats :	.....	42
II.12.	Étude de variables.	.....	42
II.12.1	Étude de cercles des corrélations	.....	42
II.13.	Analyse des résultats :	.....	42
II.14.	Représentation graphique	.....	44
II.15.	Conclusion	.....	44.

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA STEP DE BENI MESSOUS

III.1	Introduction.....	46
III.2.	STEP de Béni Messous :.....	46
III.2.5.	Caractéristiques techniques et données de base du constructeur ..:	50
III.2.6.	Codification des paramètres étudiés	50
III.2.7.	Les étapes du procédé d'épuration :	53
III.3.	principe de traitement.....	54
III.3.1	principe de traitement.....	54
III.3.2.	Statistiques et critiques des données :	57
III.3.2.1	Statistiques Descriptives	57
III.3.2.2.	Évolution des paramètres de pollution dans le temps.....	63
III.4	conclusion.....	63

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1	Introduction	.....	65
IV.2	Identification de données brutes.....	65	
IV.2.1	Paramètres mesurés concernant les eaux brutes ;	.....	65

TABLE DES MATIERES

IV.2.2 Paramètres mesurés dans la phase du traitement biologique ;	65
IV.2.3 Paramètres mesurés dans la phase du traitement des boues (au niveau : du décanteur primaire, décanteur secondaire, l'épaississeur et stabilisateur+ la phase des polymères ajoutés) ;	65
IV.2.4 Paramètres mesurés concernant l'énergie d'aération et l'énergie de stabilisateurs	65
IV.3 Lancement des ACP :	66
IV.3.1 ACP totale.....	66
IV.3.2 ACP par partie.....	67
IV.3.3 ACP deux à deux	67
IV.4 Résultats de l'ACP.....	67
IV.5 Application de la méthode de l'analyse en composantes principales sur les données de la station de Béni-Messous	67
IV.5.2.Application de l'ACP sur tous les paramètres :	67
IV.5.2.1 l'ACP par partie :	67
IV.5.2.2 l'ACP deux à deux.....	85.
IV.6 Conclusion	89
Conclusion générale	91
Bibliographie	96

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux :

Chapitre III : Présentation de la STEP de Béni Messous

Tableau III. 1 : Caractéristiques techniques de la station de Béni Messous

Tableau III. 2: Codification des variables (Eau brute).

Tableau III. 3: Codification des variables (traitement primaire).

Tableau III. 4: Codification des variables (traitement des boues-1-)

Tableau III. 5: Codification des variables (traitement des boues-2-).

Tableau III. 6: Codification des variables (partie énergétique)

Tableau III. 7: Concentrations admissibles des paramètres de pollution.

Tableau III. 8: Statistiques des paramètres des données des eaux brutes.

Tableau III. 9: Statistiques des paramètres des données de Traitement primaire.

Tableau III. 10 : Statistiques des paramètres des données de Traitement des boues-1-

Tableau III. 11: Statistiques des paramètres des données de Traitement des boues-2

Tableau III. 12: Statistiques des paramètres des données de l'énergie consommée

Chapitre IV : Résultats et discussion

Tableau IV. 1: Matrice de corrélation des paramètres de l'eau brute

Tableau IV. 2: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (les eaux brutes).

Tableau IV. 3: Variance totale expliquée (paramètres de l'eau brute).

Tableau IV. 4: Matrice de corrélation entre les CP' et les variables de l'eau brute journalier.

Tableau IV. 5: Matrice de corrélation des paramètres de traitement biologique.

Tableau IV. 6: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (traitement biologique).

Tableau IV. 7: Variance totale expliquée (paramètres de traitement biologique).

Tableau IV. 8: Matrice de corrélation entre les CP' et les variables du traitement biologique

Tableau IV. 9 : Matrice de corrélation des paramètres de traitement des boues -1-.

Tableau IV. 10: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (traitement des boues-1-).

Tableau IV. 11: Variance totale expliquée (paramètres de traitement des boues-1-).

Tableau IV. 13 : Matrice de corrélation entre les CP' et les variables du traitement des boues-1-.

Tableau IV. 14: Matrice de corrélation des paramètres de traitement des boues -2-.

Tableau IV. 15: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (traitement des boues-2-)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau IV. 16: Variance totale expliquée (paramètres de traitement des boues-2-).

Tableau IV. 17 : Matrice de corrélation entre les CP' et les variables du traitement des boues-2-.

Tableau IV. 18 : Matrice de corrélation des paramètres de la partie énergétique -1-.

Tableau IV. 19 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (l'énergie consommée -1-).

Tableau IV. 20 : Variance totale expliquée (l'énergie consommée -1-)

Tableau IV. 21: Matrice de corrélation entre les CP' et les variables de l'énergie d'aération

Tableau IV. 22 : Matrice de corrélation des paramètres de partie énergétique -2-.

Tableau IV. 23: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (l'énergie consommée -2-).

Tableau IV. 24: Variance totale expliquée (l'énergie consommée -2-)

Tableau IV. 25: Matrice de corrélation entre les CP' et les variables de stabilisateur d'aération.

Tableau IV. 26 : Matrice de corrélation des paramètres de traitement des boues-1- et partie partie énergétique

Tableau IV. 27: Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (l traitement des boues-1- et partie partie énergétique).

Tableau IV. 28: Variance totale expliquée (traitement des boues-1- et partie partie énergétique)

Tableau IV. 29: Matrice de corrélation entre les CP' et les variables de traitement des boues-1- et partie partie énergétique

LISTE DES FIGURES

Liste des figures :

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées et les boues d'épuration

Figure I.1. Schéma représentatif des étapes du prétraitement. (caue60.com).

Figure I.2. : Coupe longitudinale d'un décanteur.

Figure.I.3. : Étapes du traitement secondaire.

Figure.I.4. : Traitement tertiaire

Figure I.5 : Enchaînement des opérations unitaires du traitement des boues.

Figure I.6. : Épaississement des boues.

Figure I.7. : Déshydratation des boues.

Figure I.8. Schéma d'une station d'épuration intégrant l'ensemble des étapes de traitement

CHAPITRE II : L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

Figure II.1 : Exemple d'un cercle des corrélations.

Chapitre III : Présentation de la STEP de Béni Messous

Figure III.1 : Localisation géographique de la STEP de Béni-Messous.

Figure III.2 : Vue d'ensemble des ouvrages de la STEP de Béni Messous par Satellite....

Figure III .3 : Schéma Synoptique de la STEP de Béni Messous.

Figure III.4 : Turbine en fonctionnement.

Figure III .5 : Décanteur-Clarificateur

Figure III.6 : Évolution journalière de débit des boues primaires dans la STEP.

Figure III.7 : Évolution journalière de MES des boues primaires dans la STEP.

Chapitre IV : Résultats et discussion

Figure IV.1 : Application de l'ACP totale aux données recueillies au niveau de la STEP

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

Figure IV.3 : Paramètres du traitement biologique à l'échelle journalier [1×2].

Figure IV.4 : Paramètres du traitement des boues -1- à l'échelle journalier [1×2].

Figure IV.5 : Paramètres du traitement des boues -2- à l'échelle journalier [1×2].

Figure IV.6: Paramètres de l'énergie d'aération à l'échelle journalière [1× 2].

LISTE DES FIGURES

Figure IV.7 : Paramètres de stabilisateur d'aération à l'échelle journalière [1 × 2].

Figure IV.8 : Paramètres Traitement des boues -1- et la partie énergétique à l'échelle journalière [1 × 2].

LISTE DES ANNEXES

Liste des Annexes

- Annexe 1 : Représentations graphiques d'évolution des paramètres des eaux brutes*
- Annexe 2 : Représentations graphiques d'évolution des paramètres du traitement primaire*
- Annexe 3 : Représentations graphiques d'évolution des paramètres du traitement des boues ..*
- Annexe 4 : Représentations graphiques d'évolution énergétique.*

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est un bien précieux qui subit diverses pollutions et dégradations : les écosystèmes et la santé des personnes en sont directement impactés. Les pollutions présentes dans l'eau sont d'origines diverses : industrielle, domestique ou agricole (Bassompierre, 2007).

L'épuration des eaux usées s'est donc imposée pour préserver la qualité des milieux naturels et notamment les eaux de surface et souterraines. L'eau épurée est actuellement en majorité rejetée.

Dans les stations d'épuration des eaux usées (STEP), l'ultime étape de traitement consiste à séparer l'eau claire des boues résiduelles chargées de polluants minéraux et organiques. Celles-ci sont considérées comme un produit final évacué par une STEP vers un endroit bien déterminé tout en passant par une certaine caractérisation.

La collecte et le traitement des eaux usées engendrent une diversité de refus : matières de curage des réseaux, matières de vidange des installations autonomes, refus de prétraitement et boues des stations d'épuration.

Les boues d'épurations sont considérées comme des sous-produits majoritaires et inévitables d'assainissement des eaux usées.

Le type de boues produites dépend du type de procédé de traitement des eaux et des équipements de traitement des boues.

Le parc des stations d'épuration en Algérie est constitué de plus de 170 STEP, dont 142 STEP gérées par l'ONA et les autres sont gérées par la SEAAL, DAPE.

À titre indicatif, à fin 2015, la production des boues, au niveau des 58 STEP de type boues activées gérées par l'ONA, était de 54 000 tonnes de matières sèches par an, et a atteint en 2016, une quantité de 90 000 tonnes de matières sèches par an, produites par 63 stations à boues activées.

Le principal objectif du traitement des boues en station d'épuration est d'en réduire le volume pour limiter les quantités à stocker (voire à épandre), et de les stabiliser pour en améliorer les caractéristiques physiques (amélioration de leur tenue en tas) et arrêter la biodégradation dont elles sont le lieu.

INTRODUCTION GENERALE

Dans ce contexte, notre travail s'est intéressé particulièrement au diagnostic de fonctionnement de la filière « Boues » de la station d'épuration de Béni Messous, par une approche mathématique appelée « Analyse en Composantes Principales », pour détecter d'éventuelles anomalies de fonctionnement, lors de la production continue des boues, afin de pouvoir l'optimiser, en réduisant leur volume, et pour faciliter leur transport.

Pour s'affranchir de cette tâche, nous proposons d'adopter la démarche suivante :

Après une introduction générale, mettant l'accent sur la problématique de la surproduction des boues par les stations d'épuration et leur devenir, nous avons scindé ce mémoire de fin d'études en quatre chapitres :

- Le premier est destiné aux définitions de l'ensemble des notions utilisées dans le domaine d'épuration des eaux usées et plus précisément l'origine des boues destinées à la caractérisation.
- Dans le deuxième chapitre, nous avons décrit l'une des méthodes d'analyse des données utilisées, afin de diagnostiquer le fonctionnement de la filière étudiée, en l'occurrence, l'Analyse en Composantes Principales (ACP), qui est une méthode statistique basée sur la réduction du nombre de variables étudiées afin de pouvoir les interpréter simplement.
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude qui est la station d'épuration de Béni-Messous avec une synthèse de ses caractéristiques et une analyse des données recueillies auprès de cette dernière.
- Enfin, dans le dernier chapitre sont exposés les résultats et discussions de l'application de l'ACP sur les données de la zone d'étude.

Le manuscrit se termine par une conclusion générale dans laquelle, on présente les principaux résultats tirés de ce travail, ainsi que les perspectives pour la suite à donner à ce mémoire de fin d'études.

CHAPITRE I :
GENERALITES SUR LES
EAUX USEES ET LES BOUES
D'EPURATION

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES ET LES BOUES D'EPURATION

I.1. Les eaux usées :

L'eau usée est une eau dont les caractéristiques physiques, chimiques ou biologique sont dégradées suite à son utilisation dans différents domaines (domestique, agricole, industriel, etc.). Pour cette raison, ces eaux usées devront être traitées avant d'être restituée au milieu naturel et éviter ainsi de causer d'autres pollutions notamment des sols et de l'atmosphère.

I.1.1 Origine :

Elles peuvent être ressortie de plusieurs origines tels que :

- ✓ les eaux domestiques ;
- ✓ les eaux industrielles ;
- ✓ les eaux de ruissellement ;
- ✓ les eaux agricoles.

I.1.1.1 Eaux usées d'origine domestique

Les eaux usées d'origine domestique comprennent :

- Les eaux ménagères (eaux de cuisine, de lessive, de toilette,...)
- Les eaux vannes (en provenance des WC, matières fécales et urines).

I.1.1.2 Eaux industrielles

Les eaux industrielles sont celles en provenance des diverses usines de fabrication ou de transformation.

I.1.1.3 Eaux de ruissellement

Les eaux de ruissellement comprennent essentiellement les eaux de pluie. La pollution des eaux de ruissellement est variable dans le temps, plus forte au début d'une précipitation qu'à la fin par suite de nettoyage des aires balayées par l'eau.

I.1.1.4 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 phosphates, 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.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES ET LES BOUES D'EPURATION

I.1.2 Les procédés du traitement des eaux usées

Le processus d'épuration des eaux usées comprend trois grandes étapes :

- ✓ le prétraitement ;
- ✓ le traitement primaire ;
- ✓ le traitement secondaire ;
- ✓ le traitement tertiaire ;

I.1.2.1 Prétraitement

Les prétraitements ont pour objectif d'éliminer les éléments les plus grossiers. Il s'agit des déchets volumineux (dégrillage), des sables et graviers (dessablage) et des graisses (dégraissage-déshuilage). (Nakib, 2018)

I.1.2.1.1 Dégrillage

Le dégrillage est réalisé en faisant passer les eaux usées au travers d'une grille caractérisée par l'écartement de ses barreaux, 30 à 100 mm, 10 à 25 mm, 3 à 10 mm pour un dégrillage grossier, moyen ou fin respectivement ; l'espacement des barreaux étant choisi en fonction de la qualité du dégrillage désiré et de la quantité de déchets générée. Ces éléments sont ensuite éliminés avec les ordures ménagères. (Nakib, 2018)

I.1.2.1.2 Le tamisage

Le tamisage, qui utilise des grilles avec de plus faibles espacements, peut compléter cette phase du prétraitement. Son objectif est de retenir les déchets transportés par les eaux et protéger les ouvrages aval. Le tamisage est un dégrillage poussé par filtration des eaux brutes sur toile, treillis ou tôle perforée, à mailles plus ou moins fines. (Nakib, 2018)

I.1.2.1.3 Le dessablage

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

Les particules sont ensuite aspirées par une pompe. Les sables récupérés sont essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés, selon la qualité du lavage. (Nakib, 2018)

I.1.2.1.4 Le dégraissage ou déshuilage

L'eau passe dans un bassin, où les graisses seront récupérées en surface. Les bassins sont équipés d'un pont automoteur et de pompes aératrices. Ces pompes, installées le long de chaque ouvrage, diffusent de fines bulles d'air qui favorisent la remontée des graisses et corps flottants

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES ET LES BOUES D'EPURATION

en surface. Le pont automoteur assure un raclage de surface pour pousser les flottants sur des goulottes et bâches de pompage. Les produits récupérés sont évacués en vue d'un traitement ultérieur (Traitement des boues), Les eaux sont alors évacuées et continuent leur assainissement dans la station. (Nakib, 2018).

L'objectif est la séparation des graisses et des eaux, la protection des ouvrages aérés (imperméable à l'O₂) et la salubrité.

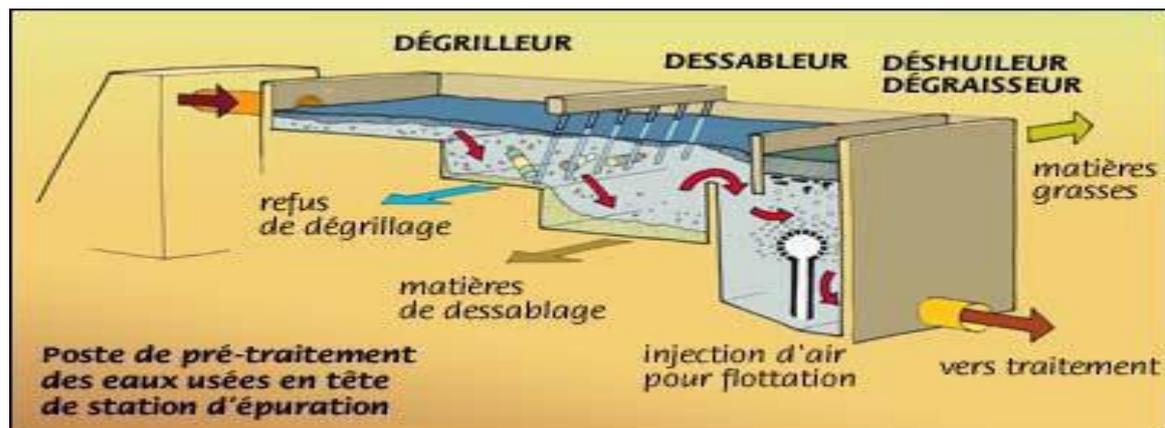


Figure I.1. Schéma représentatif des étapes du prétraitement. (caue60.com).

I.1.2.2 Traitement primaire

Une fois ces étapes de dégrossissage réalisées, des procédés physiques ou physico-chimiques ont lieu et visent à éliminer, par décantation la charge de matière organique et minérale en suspension. C'est ce que l'on appelle le traitement primaire. Ces traitements ne permettent d'obtenir qu'une épuration partielle des eaux usées. L'eau va alors passer dans des bassins décanteurs, à faible vitesse permettant ainsi, la sédimentation des particules au fond des décanteurs, et leur enlèvement via des pompes. (Zhen, 2008)

Au terme de ce traitement, l'eau a perdu la plupart des matières en suspension mais elle est encore chargée de pollution dissoute. (Zhen, 2008)

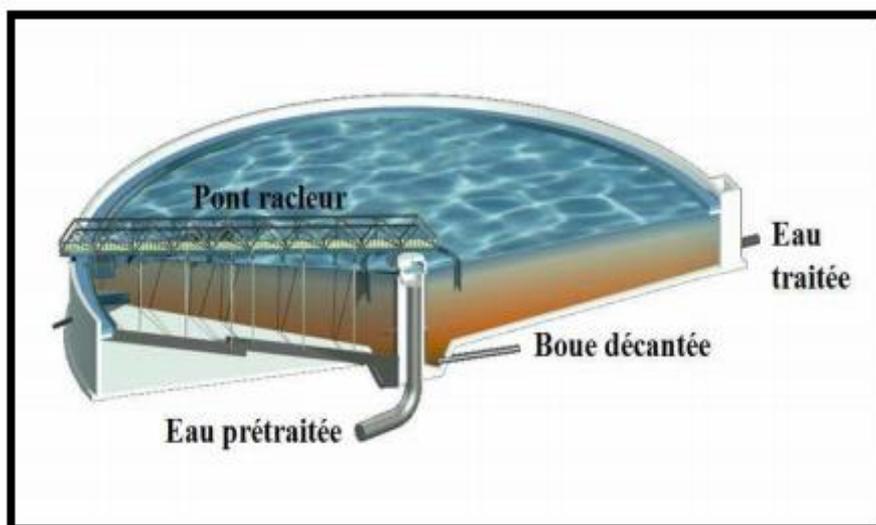


Figure I.2. Coupe longitudinale d'un décanteur. (Ait-Younes, 2012)

I.1.2.3 Traitement secondaire

Le traitement secondaire, qui fait suite au traitement primaire dans le déroulement séquentiel des procédés d'épuration des eaux usées, vise à épurer l'eau, en réutilisant les méthodes d'autoépuration existant naturellement. Les bactéries présentes dans l'eau vont, en effet, être mises à contribution pour dégrader la matière organique. Il existe différents systèmes parachevant le traitement primaire.

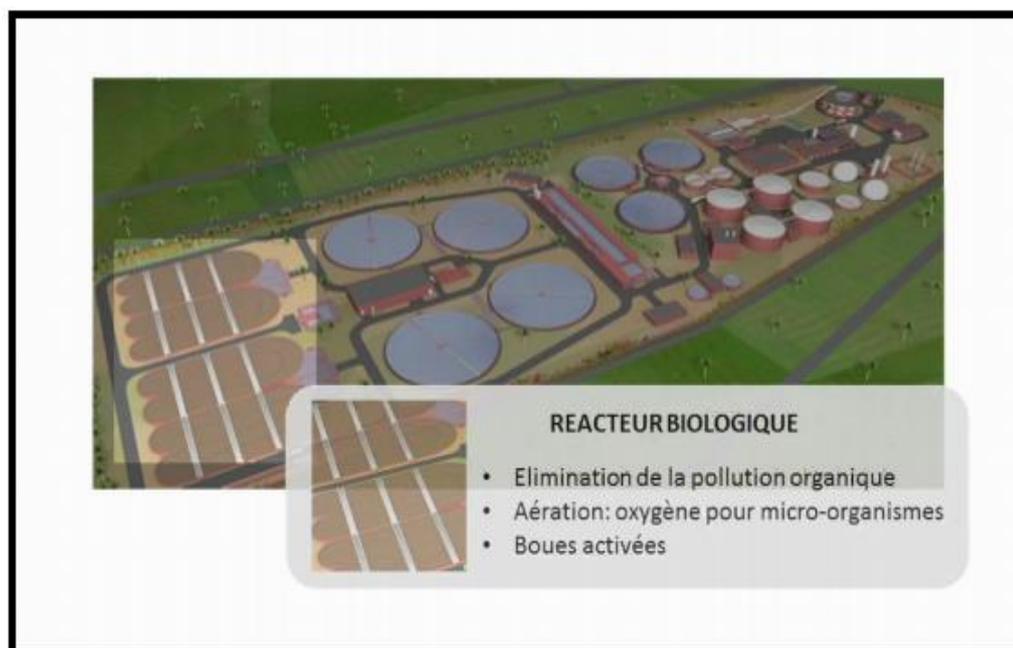


Figure.I.3. Étapes du traitement secondaire. (Ait-Younes, 2012)

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES ET LES BOUES D'EPURATION

I.1.2.4 Traitement tertiaire

Un traitement tertiaire sert à éliminer le phosphore résiduel ou les micropolluants primaires (micro-organismes) ou chimiques (molécules) encore présent dans les eaux traitées et qui menacent ou interdisent les usages envisagés. Dans le cas des micropolluants primaires, on parle de « désinfection » de l'eau lorsqu'il s'agit d'en diminuer la charge bactérienne et virale.

Ainsi en fonction des processus de traitement d'épuration des eaux usées, trois grandes catégories de boues peuvent être distinguées :

- **Les boues de traitement primaire** : Elles sont produites par simple décantation des matières en suspension (MES) contenues dans les eaux usées.

- **Les boues de traitement physico-chimique** : Les boues de traitement physico-chimique, ou boues secondaires, sont issues de l'agglomération des matières organiques particulières ou colloïdales contenues dans les eaux par l'addition d'un réactif coagulant dont les plus courants sont les acides, les bases et les sulfates d'aluminium ou de fer, les chlorures ferreux ou ferriques, etc. Les boues sont ensuite séparées par décantation.

- **Les boues de traitement biologique** : Elles sont essentiellement formées par les résidus de bactéries « cultivées » dans les ouvrages d'épuration. Ces bactéries se nourrissent des matières organiques contenues dans les eaux usées et les digèrent.

D'une façon générale, les boues sont composées de particules solides non retenues par les prétraitements. Elles sont essentiellement composées d'eau, de matières organiques non dégradées, de matières minérales dissoutes ou insolubles et d'éléments indésirables tels que les éléments de traces métalliques (ETM) et les composés de traces organiques (CTO). Les CTO des boues sont plus ou moins dégradés par l'activité microbologique du sol. Cependant, au même titre que les ETM, les CTO peuvent devenir toxiques à haute dose pour les organismes des sols.

En raison de leur instabilité biologique, les boues doivent faire l'objet de traitements supplémentaires indispensables pour réduire leur teneur en eau, pour stabiliser la matière organique. Une réduction des teneurs en eau des boues est nécessaire pour diminuer la quantité stockée et pour améliorer leurs caractéristiques physiques par épaissement. Cet épaissement peut se faire par voie gravitaire, par voie mécanique (égouttage, flottation, tableau d'égouttage, centrifugation), par déshydratation (centrifugation, filtre à bande ou sur filtre-presse) ou encore par séchage (évaporation par voie naturelle ou thermique) (Zhen, 2008)



Figure.I.4. Traitement tertiaire. (Ait-Younes, 2012)

I.2 Les boues résiduelles

I.2.1. Définition :

On peut définir la boue comme un mélange d'eau et de matières solides, séparé par des procédés naturels ou artificiels des divers types d'eau qui la contiennent. Elles sont issues du traitement des eaux usées domestiques et/ou industrielles. En effet, l'eau consommée ou utilisée par l'homme à l'échelle domestique ou industrielle génère inévitablement des déchets. Les eaux usées sont recueillies par les égouts et dirigées vers les stations d'épuration afin d'être purifiées avant leur réintroduction dans le milieu naturel. (Huang, 2006)

I.2.2. Origine et formation

Les boues résiduelles peuvent être considérées comme des substances extraites à partir des eaux usées afin de pouvoir récupérer dans le milieu naturel une eau épurée (Anred, 1982). Le traitement primaire de décantation des eaux prétraitées sous l'influence de la pesanteur forme les boues primaires (Zekad, 1982), au cours du traitement biologique les particules dissoutes sont fixées et métabolisées par les micro-organismes (bactéries) en présence d'oxygène, cette biomasse bactérienne est séparée par une décantation pour donner les boues secondaires, les deux types de boues issues de ce procédé sont mélangés pour donner les boues mixtes. Les

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES ET LES BOUES D'EPURATION

boues issues d'une épuration physico-chimique sont dites boues de coagulation (Anred, 1982), celles-ci sont riches en résidus formés de réactifs chimiques (Sbih, 1990).

I.2.3. Les types de boues

I.2.3.1 Les boues primaires

Ce sont les dépôts récupérés par une simple décantation des eaux usées (dans les décanteurs-digesteurs par exemple). Elles présentent des concentrations élevées en matières minérales (sable, terre...) mais aussi en matière organique pouvant évoluer.

I.2.3.2. Les boues physico-chimiques

Elles ressemblent aux boues primaires sauf que durant le traitement de l'eau usée, il a été rajouté un réactif (sels de fer, d'aluminium, et autres agents flocculants) pour agglomérer les fines particules et améliorer la décantation.

I.2.3.3 Les boues biologique

Elles sont aussi appelées boues secondaires, elles proviennent d'une épuration biologique des eaux (boues activées, disques biologique, lits bactériens...). Ces boues, de concentrations médiocres (10 g/l), sont très organiques car elles sont principalement constituées de corps bactériens et de leurs sécrétions.

On distingue aussi :

I.2.3.4 Les boues mixtes

Constituées d'un mélange de boues primaires et biologique, elles proviennent de la plupart des stations de traitement complètes.

I.2.3.5 Les boues d'aération prolongée

Obtenues sans décantation primaire avec des matières polluantes intensivement aérées. Celles-ci sont peu concentrées, moins organiques et donc moins susceptibles de produire des nuisances. On les appelle « bio-solides » quand les boues sont traitées. (Belaid, 2012)

I.2.4 Composition des boues

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux résiduaire, du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration. Généralement les boues résiduaires sont composées de différents éléments, et parmi eux, on peut citer :

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES ET LES BOUES D'EPURATION

I.2.4.1 Matières organiques

La concentration en matière organique peut varier de 30 à 80 %. Celle-ci est constituée de matières particulaires éliminées par séparation physique (gravité) en fonction de la densité dans les boues primaires, des lipides et des protéines. **(Bouaissa, 2015)**

I.2.4.2 Éléments fertilisants et amendements

D'après les analyses appliquées, les boues peuvent couvrir, en totalité les besoins des cultures en azote, en phosphore, potasse, en calcium et en magnésium ou peuvent aussi corriger des carences à l'exception de celle en potassium. **(Bouaissa, 2015)**

I.2.4.3 Contaminants chimiques organiques et inorganiques

Ces mêmes éléments traces métalliques (cuivre, zinc, chrome, et nickel) indispensables au développement des végétaux et des animaux peuvent se révéler toxiques. Ainsi on trouve dans les boues, une multitude de polluants organiques (HAP, PH halâtes, PCB, etc.). Ainsi, un polluant peut être défini comme un élément toxique dont la nocivité n'apparaît qu'à partir d'une certaine concentration.

La nature et la concentration des eaux usées en polluants organiques et inorganiques sont très dépendantes des activités raccordées au réseau. La plupart des contaminations chimiques sont d'origines industrielles et dans une moindre mesure d'origines domestiques, et par décantation lors du traitement, ces contaminants chimiques se retrouvent dans les boues à de très grandes concentrations par rapport aux eaux usées. **(Bouaissa, 2015)**

I.2.4.4 Micro-organisme pathogène

Les boues contiennent des milliards de microorganismes vivants nécessaires pour effectuer le processus d'épuration. Seul une infime partie est pathogène (virus, bactéries, etc...). Généralement ils sont présents dans les matières fécales rejetées dans les réseaux d'eaux usées et se trouvent dans les boues brutes. **(Bouaissa, 2015)**

I.2.5 Les caractéristiques physico-chimiques des boues

I.2.5.1 Caractéristiques chimiques

Une boue est aussi représentée par plusieurs données numériques qui permettent de la caractériser

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES ET LES BOUES D'EPURATION

- **Siccité** : Les boues sont constituées d'eau et de matières sèches. La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Ainsi une boue avec une siccité de 10% présente une humidité de 90%.
- ❖ Les boues liquides : siccité de 0 à 10 % ;
- ❖ Les boues pâteuses : siccité de 10 à 25% ;
- ❖ Les boues solides : siccité de 25 à 80% ;
- ❖ Les boues sèches : siccité supérieure à 80% ;
- **Matières volatiles sèches (MVS)** : La matière sèche est constituée de matières minérales et de matières organiques qui sont appelées matières volatiles sèches. La concentration en MVS est un taux par rapport à la matière sèche totale. Le suivi de ce taux permet de connaître la stabilité d'une boue. Plus le taux de MVS est faible, plus la boue est facile à épaissir ou à déshydrater, mais plus son exo-thermicité en incinération est faible. Il reste alors dans le creuset les sels minéraux sous forme de cendres.

I.2.5.2 Caractéristiques physiques

Les caractéristiques physiques des boues d'épuration dépendent de leur teneur en eau, si elle dépasse 90%, elles se comportent comme un liquide. En dessous de cette teneur d'eau (<90%), les boues se comportent comme un liquide non newtonien avec un flux plutôt plastique que visqueux. Il existe des tests de caractérisation spécifique, permettant de classer une boue déterminée parmi trois états physiques conventionnels : liquide, plastique, solide avec retrait (friable). (Ait Younes, 2012)

I.2.6 Principales voies de traitement

Comme le montre la figure I.5, le traitement des boues d'épuration consiste la plupart du temps, à enchaîner des opérations unitaires de réduction de volume, de dégradation de la matière sèche ou de stabilisation.

- La réduction de volume est classiquement obtenue à travers des opérations de séparation de phases liquide/solide par décantation, filtration ou évaporation rencontrées dans les techniques d'épaississement, de déshydratation et de séchage thermique.
- La dégradation des matières organiques de la boue par des procédés biologique (digestion, compostage) ou thermiques (incinération à 850 C, oxydation par voie humide de boues liquides épaissies sous 45 bar à 250 C) conduira également à un volume final moindre.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES ET LES BOUES D'EPURATION

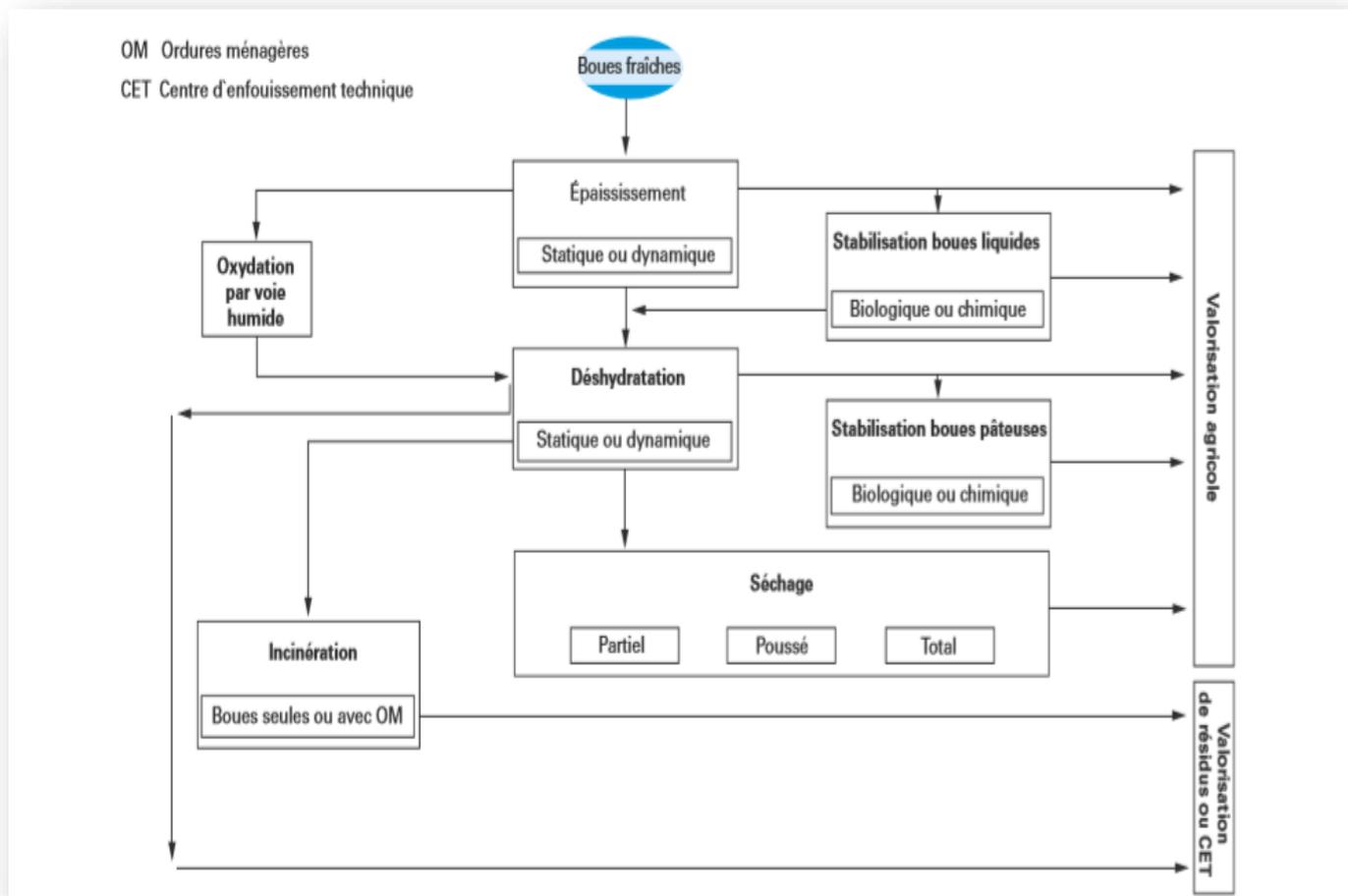


Figure I.5 Enchaînement des opérations unitaires du traitement des boues.
(Technique de l'ingénieur, 2014).

Par ailleurs, la boue épauissée peut être stabilisée. Cette opération minimise la masse de matières et réduit les nuisances olfactives et micro primaires. La digestion dans un ouvrage anaérobie, moyennant un temps de séjour de l'ordre de 20 jours demeure la technique la plus courante. Après déshydratation, le volume à évacuer se trouve alors réduit d'un tiers environ.

I.2.6.1 Procédés de réduction de la teneur en eau

Pour réduire les volumes à manipuler, différents procédés sont mis en œuvre comprenant, par ordre croissant d'efficacité et de coût, l'épauissement, la stabilisation, la déshydratation et le séchage. (Nekili, 2015).

En amont de ces procédés, des traitements dits de conditionnement sont souvent utilisés pour favoriser la séparation liquide-solide.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES ET LES BOUES D'EPURATION

I.2.6.1.1 L'épaississement

L'épaississement est la première étape du traitement par concentration, il réduit le volume à transférer sur la filière et permet d'obtenir une boue dont la concentration varie de 15 à 100 g/l. elle peut être donc pompée.

L'épaississement concerne essentiellement les boues fraîches. Cette opération peut être effectuée par simple épaississement gravitaire dans un ouvrage cylindrique, ou bien mécaniquement :

- par tableau ;
- par tambour d'égouttage ;
- par centrifugation ;
- par flottation, moyennant l'ajout d'un polymère organique à charge cationique.

• L'épaississement statique gravitaire

Il s'effectue par décantation dans une cuve cylindrique à fond conique, sous la seule action de la pesanteur, alimenté par la boue issue du clarificateur munie d'une vitesse 0.5 m/h (elle peut atteindre 1 m/h au maximum), la boue épaissie est évacuée par le bas.

- C'est un traitement délicat, s'il n'est pas fait correctement génère des dysfonctionnements ;
- Les boues peuvent être difficile à épaissir et à déshydrater s'il y'a des développements filamenteux (siccité faible induit un volume stocké important) ;

• L'épaississement dynamique (Nekili, 2015)

Il est assuré par une grille/tableau d'égouttage. Cette épaississement demande une attention dans la préparation du floculant avec une bonne estimation des quantités de polymères et de chaux.

Il est réalisé sous l'action de forces mécaniques, et s'effectue selon différentes méthodes :

- ✓ Par flottation : de fines bulles d'air permettent à la boue de remonter en surface, par captation. Ce procédé est principalement réservé aux boues primaires de faible densité.
- ✓ Par égouttage : la boue floculée est épaissie par égouttage sur une toile filtrante.
- ✓ Par centrifugation : la boue floculée est épaissie sous l'effet de la force centrifuge.



Figure I.6. Épaississement des boues. (Laredj, 2013)

I.2.6.1.2 .Déshydratation

Les boues produites dans les stations d'épuration restent toujours liquide. La réduction du coût de leur évacuation passe alors par une réduction de cette humidité, c'est à dire obtenir les taux de siccité les plus élevées afin de rendre le produit solide ou pâteux, cette réduction est réalisé à l'aide de procédés de déshydratation qui diffèrent selon les principes de fonctionnement. (**Duchêne, 1990**)

Soit en faisant appel aux éléments naturels : Lits de séchage ;

Soit par des procédés mécaniques :

- Égouttage à travers un support filtrant (**système drainant**).
- Filtration sous vide (filtration sous dépression).
- Filtration sous pression (filtre presse, filtre à bandes presseuses, presse continue).
- Décantation accélérée (centrifugeuse).

Selon (**Levesque, 1982**), il est pratiquement indispensable d'assurer un conditionnement préalable concernant les procédés mécaniques.

Le choix entre ces techniques, sera fonction des principaux paramètres suivants :

- Destination ultérieure de la boue.
- Siccité finale et consistance de la boue déshydratée.
- Production et taux de capture.
- Aussi l'autonomie, l'encombrement et le coût.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES ET LES BOUES D'EPURATION

La déshydratation : permet de poursuivre l'opération d'épaississement jusqu'à un état pâteux, les boues sont alors de 15 à 35 % de siccité selon le type de boue et l'appareillage sélectionné.

Ces techniques exigent l'ajout de polymère, ou encore de chaux et de chlorure ferrique, dans le cas des filtres à plateaux. La déshydratation constitue souvent l'étape limitante de la filière. Une siccité minimale peut en effet être imposée contractuellement (généralement > 30%) en vue de l'évacuation de la boue.

En vue d'une incinération dans des conditions d'auto combustibilité. L'ajout de la chaux, à hauteur de 200 à 600 kg de Ca(OH)_2 par tonne de matière sèche, est alors souvent pratiqué et permet une stabilisation chimique de la boue déshydratée.



Figure I.7. Déshydratation des boues (Maloussi, 2016)

I.2.6.1.3 La stabilisation : (Marcos Von Sperling, 2007)

La stabilisation se fait soit à l'aide d'oxygène d'où l'appellation aérobie, soit sans oxygène et qui est nommée anaérobie. Elle permet la limitation de la fermentation à partir d'une réduction du taux de la matière organique au moyen d'une transformation de celle-ci en matière minérale par l'intermédiaire des bactéries.

Pour le type de boues secondaires ou mixtes : la réduction de la matière organique passe jusqu'à 60 % de la matière sèches totales.

Les processus de stabilisation peuvent être divisés en :

- stabilisation biologique : des bactéries spécifiques favorisent la stabilisation de la fraction biodégradable de la matière organique
- stabilisation chimique : l'oxydation chimique de la matière organique accomplit la stabilisation des boues.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES ET LES BOUES D'EPURATION

- stabilisation thermique : la chaleur stabilise la fraction volatile des boues.

La digestion anaérobie mésophile est le principal processus de stabilisation des boues utilisé dans le monde. La digestion aérobie des boues d'épuration est moins populaire que la digestion anaérobie, et rencontre des applications pour la stabilisation des boues primaires en excès dans les usines de boues activées pour l'élimination biologique des nutriments. Le compostage est courant dans les usines municipales de traitement des déchets solides et est également utilisé.

On peut distinguer deux voies de stabilisation :

- l'élimination, ou la destruction, accélérée et contrôlée d'une partie des matières organiques, et plus précisément, des matières à évolution bactérienne rapide ;
- l'inactivation importante des germes pathogènes présents dans la boue et responsables de sa fermentation.

Le biogaz produit lors de la stabilisation anaérobie des boues est une manière de valoriser l'énergie produite par le traitement des boues de stations d'épuration (**Actu-Environnement,2010**).

I.2.6.1.4 La déshydratation naturelle (lits de séchage)

La déshydratation sur lits est régie dans un premier temps par un phénomène de filtration gravitaire et de drainage jusqu'à une teneur en eau de 80 % durant un temps de 1 à 5 jours selon la nature de la boue. Dans un deuxième temps un séchage atmosphérique par évaporation se produit et termine la déshydratation des boues Cette deuxième phase dépend directement des conditions dont le paramètre essentiel est l'humidité relative de l'air au contact de la boue. (**Gaid, 1984 ; Bechac et al, 1984**).

I.2.6.1.5 Séchage

Il conduit à une réduction de volume jusqu'à plus de 60 %, voire 90 % de siccité si nécessaire. Il peut être aussi utilisé en couplage avec un four afin de dépasser la siccité requise (supérieure à 30 %) pour rendre la boue toujours auto combustible.

I.2.6.1.6 Incinération

Elle réduit enfin la quantité finale de boues aux seules matières minérales. Elle peut être réalisée sur l'usine d'épuration, ou en Co-incinération avec les ordures ménagères (OM) dans certaines conditions (proximité du four).

I.3 conclusion

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES ET LES BOUES D'EPURATION

Après avoir terminé la définition des deux traitements consacrés respectivement à l'eau usée et la boue, notre futur travail sera focalisé à l'étude de la filière boue dans une STEP par la méthode de l'analyse en composantes principales.

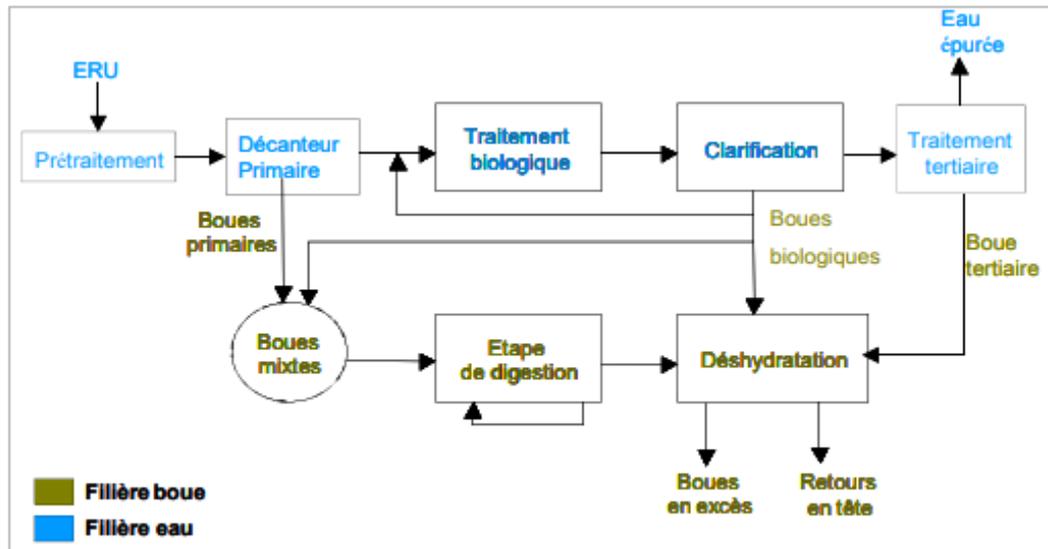


Figure I.8. Schéma d'une station d'épuration intégrant l'ensemble des étapes de traitement (Canler, 2013).

**CHAPITRE II : L'ANALYSE
EN COMPOSANTES
PRINCIPALES**

CHAPITRE II : L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

II.1. Introduction

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode de la famille de l'analyse des données et plus généralement de la statistique multi variée, qui est utile pour la compression et la classification des données. Le problème consiste à réduire la dimensionnalité d'un ensemble des données (échantillon) en trouvant un nouvel ensemble de variables plus petit que l'ensemble original des variables, qui néanmoins contient la plupart de l'information de l'échantillon. L'ACP consiste à transformer des variables liées entre elles (dites "corrélées" en statistique) en nouvelles variables indépendantes les unes des autres (donc "non corrélées"). Ces nouvelles variables, appelées composantes principales ou axes, sont ordonnées par fraction de l'information totale que chacune contient (**Baira, 2011**).

Elle est souvent utilisée pour réduire un ensemble de données, et dans l'agrégation de l'information, en identifiant un petit nombre de facteurs qui expliquent la plupart des variances observées dans le plus grand nombre de variables manifestes.

Dans ce chapitre, on va présenter l'une des méthodes de l'analyse de données, c'est l'Analyse en Composantes Principales, ses notions de base ainsi que son intérêt.

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.

II.2. Définition

L'ACP est une méthode descriptive permettant d'analyser un tableau de données quantitatives conduisant à des représentations graphiques. Un tableau de données, une matrice de données ou un tableau « individus-variables » est un tableau rectangulaire composé de lignes et de colonnes. Dans chaque case, à l'intersection d'une ligne et d'une colonne, se trouve une donnée, en général codée numériquement (**De Boek, 2009**). L'ACP est un outil de réduction de

CHAPITRE II : L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

dimensionnalité d'un ensemble de variables quantitatives. Elle explore les liaisons entre les variables (en fonction de leurs corrélations) et les ressemblances entre les individus (en fonction de leurs distances). (De Boeck, 2009)

Cette méthode permet de faire le traitement statistique de données, dont le but de représenter et d'expliquer les liaisons statistiques entre les phénomènes. Elle permet d'identifier des variables sous-jacentes, ou facteurs qui expliquent les corrélations à l'intérieur d'un ensemble de variables observées. (Baira, 2011).

II.3. Définition algébrique :

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

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

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

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

\bar{X}_j : Moyenne de la $j^{\text{ème}}$ variable.

$$\sigma_{x_j}^2 = \sum_{i=1}^N p_i (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$$

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

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

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

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

CHAPITRE II : L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

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

II.5. Notions d'individu et de caractère

- **Individu**

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

L'individu "i" est décrit par le vecteur appartenant à \mathbb{R}^p :

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

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

Si l'ensemble des individus doit être homogène, l'ensemble des variables peut être hétérogène. (**Hamriche, 1993**).

- **Caractère**

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

Le caractère (ou variable) "j" est décrit par le vecteur de \mathbb{R}^N :

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

Ainsi si l'ensemble des individus doit être homogène, l'ensemble des variables peut être hétérogène (**Hamriche, 1993**).

II.6. 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. (**Zemouri, 2003**)

Nous distinguons deux aspects principaux de l'ACP :

CHAPITRE II : L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

- 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, 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.
 - ❖ Préviation.
 - ❖ Simulation.

II.7. Quand utiliser l'ACP ?

L'ACP a l'avantage d'être une méthode pour laquelle il n'y a aucun paramètre à préciser au départ. Elle permet également d'analyser les associations entre un très grand nombre de profils d'expression (plusieurs milliers) sans aucun problème et est implémentée dans de nombreux outils conviviaux comme J-Express (**Dysvik & Jonassen, 2001**). Pour ces raisons, c'est sans doute la première méthode à appliquer à un jeu de données que l'on souhaite mieux comprendre. Le résultat de l'ACP donne une première idée de la structure des données et peut orienter les analyses ultérieures, comme par exemple choisir un nombre de groupes pertinent pour la classification (**Lelandais, 2005**).

II.8. Principe

L'idée principale de la décomposition orthogonale propre est de trouver un ensemble de vecteurs de base ortho normaux et ordonnés dans un sous espace sans perte conséquente d'information où l'on exprimera de manière optimale les vecteurs aléatoires de données en utilisant les premiers vecteurs de base obtenus. C'est une méthode qui souligne les similarités ainsi que les différences des données dans un espace à grandes dimensions où l'on n'a pas le luxe de la représentation graphique en identifiant la dépendance des structures des observations stochastiques multidimensionnelles dans le but d'avoir sa description compacte.

Elle est communément considérée comme un outil de visualisation des données, cependant c'est aussi un moyen :

CHAPITRE II : L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

- De décorréler ces données ; dans le nouvel espace, constitué des nouveaux axes.
- De débruiter ces données, en considérant que les axes que l'on oublie sont des axes bruités.

Cette technique peut être vue de deux points de vue : celui de maximiser la variance ou encore celui de minimiser l'erreur quadratique moyenne. Les composantes principales sont représentées dans le nouvel espace, Elles sont décorrélées et ordonnées dans le sens décroissant de la variance (**Duby, 2006**).

II.9. Les étapes de l'ACP

Une ACP se décompose selon les étapes suivantes :

- Etape 1 : calcul de la matrice des corrélations entre les variables. Celle-ci fournit les premiers éléments de description des associations existant entre les variables. L'ACP permettra d'obtenir une synthèse de ces liaisons.

- Etape 2 : calcul des valeurs propres associées à la matrice des corrélations. Les valeurs propres (ou inertie liée à un facteur) sont les variances des coordonnées de points individus sur l'axe correspondant. Ce sont donc des indices de dispersion du nuage des individus dans la direction définie par l'axe. Il est souvent intéressant de regarder la décroissance des valeurs propres. En effet, si les données sont peu structurées, le nuage a une forme « régulière » qui s'observe par une décroissance régulière des valeurs propres. Dans ces conditions, l'analyse factorielle ne fournira pas de résultat intéressant.

- Etape 3 : calcul des vecteurs propres associés .Ceux-ci représentent les axes factoriels du nouvel espace, combinaison linéaire des variables initiales. On procède alors axe par axe à partir des vecteurs propres associées aux plus grande valeurs propres, pour définir les composantes principales.

L'examen du plan factoriel permet de visualiser les corrélations entre les variables et d'identifier des groupes d'individus ayant pris les mêmes valeurs pour les même variables. (**Ameur, 2012**).

CHAPITRE II : L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

II.10. Le but :

L'ACP 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. (Ameur, 2012)

II.11. Principaux résultats :

En général une ACP fournit trois sources de renseignements, toutes nécessaires à l'interprétation : (Bermad, 2004).

- 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.

II.12. Étude des variables

L'examen de corrélation entre les variables initiales et les axes principaux permet de déterminer les structures des variables. Les résultats sont présentés par les cercles de corrélations.

II.12.1. Étude des cercles de corrélation

- ✓ Le Cercle de corrélation désigne la projection du nuage des variables sur le plan factoriel.
- ✓ Dans le cas d'une ACP centrée réduite, les axes des variables ne dépassent jamais le cercle.
- ✓ Les flèches qui touchent le cercle sont bien représentées alors que celles qui ne touchent pas sont mal corrélées.

CHAPITRE II : L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

- ✓ L'étude des cercles de corrélation permet de connaître les variables corrélées entre elles ou non.
- ✓ L'angle formé par l'axe synthétisé (composante principale) et l'axe de variable se traduit par le coefficient de corrélation.
- ✓ Les éléments situés près du pourtour du cercle indiquent des corrélations peu différentes de 1 entre les éléments associés.
- ✓ Les éléments opposés sur le cercle indiquent des corrélations négatives également proches de 1.
- ✓ Les éléments situés proche du centre du cercle indiquent au contraire des deux cas précédents, une absence de corrélation.

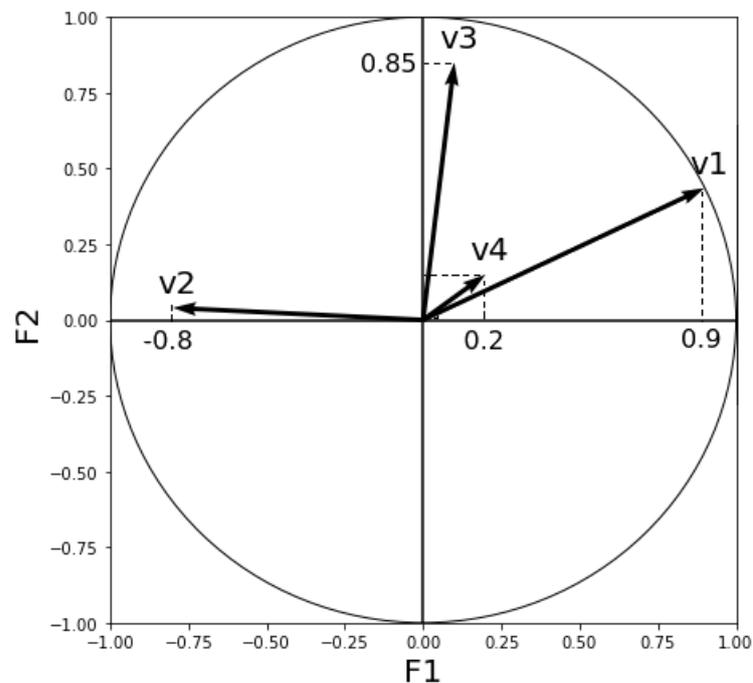


Figure II.1 : Exemple d'un cercle des corrélations. (Open classroom, 2019).

II.13. 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 ?

CHAPITRE II : L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

❖ Les données sont-elles en factorisation :

Au début, il faut voir la matrice de corrélation. D'où la déduction suivante :

- La majorité des variables sont corrélées (> 0.5) \Rightarrow la factorisation est possible.
- La majorité des variables ne sont pas corrélées (< 0.5) \Rightarrow la factorisation n'a pas de sens et n'est donc pas conseillée.
- Une corrélation parfaite \Rightarrow un déterminant de la matrice est très petit mais n'est pas nul.

Une deuxième méthode a été mentionnée qui est l'indice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) \cong 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 :

- Inacceptable \Rightarrow $KMO < 0,5$
- Médiocre \Rightarrow $0.5 < KMO < 0,6$
- Moyen \Rightarrow $0.6 < KMO < 0,7$
- Bien \Rightarrow $0.7 < KMO < 0,8$
- Très bien \Rightarrow $0.8 < KMO < 0,9$
- Et excellent \Rightarrow $KMO > 0.9$

Enfin, on utilise le test de sphéricité de Bartlett,

- si la signification $\sim 0.000 \Rightarrow$ c'est très significatif,
- la signification $< 0.05 \Rightarrow$ significatif,
- $0.05 < \text{la signification} < 0.10 \Rightarrow$ acceptable
- la signification $> 0.10 \Rightarrow$ on rejette.

Toutefois le test est très sensible au nombre de cas, il est presque toujours significatif lorsque le nombre de cas est grand. (Durand, 2005).

CHAPITRE II : L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

❖ 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 du cumulé de la variabilité, on s'arrête dans l'axe qui comprend 80 % de la variabilité.
- 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 :

On donne un sens à un axe grâce à une recherche lexicale à partir des coordonnées des variables et des individus.

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. (**Ludovic, 2002**).

II.14. Représentation graphique

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

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

$$COV(X_j, C_k) = \left(\lambda_k^{\frac{1}{2}}\right) \cdot V_k(j)$$

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

CHAPITRE II : L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

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

C'_1 : Composante principale normée ;

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

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

Nous pouvons aussi observer la répartition des individus selon les principaux axes choisis. Ainsi deux individus seront proches dans l'espace RP, 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. **(Bouveyron, 2006)**

II.15. Conclusion

L'ACP est un outil extrêmement puissant de compression et de synthèse de l'information, très utile lorsque l'on est en présence d'une somme importante de données quantitatives à traiter et interpréter. C'est l'une des méthodes d'analyse multi variée.

L'ACP est une méthode de traitement statistique de données dont le but est de représenter et d'expliquer les liaisons statistiques entre les phénomènes. Elle permet d'identifier des variables sous-jacentes, ou facteurs qui expliquent les corrélations à l'intérieur d'un ensemble de variables observées. Elle est souvent utilisée pour réduire un ensemble de données, et dans l'agrégation de l'information, en identifiant un petit nombre de facteurs qui expliquent la plupart des variances observées dans le plus grand nombre de variables manifestes.

Cette méthode sera appliquée par la suite afin d'accomplir notre but visé qui est le diagnostic de la STEP de Béni Messous.

**CHAPITRE III : PRESENTATION
DE LA STEP DE BENI MESSOUS**

III.1. Introduction

Ce chapitre consiste à présenter la STEP de Béni-Messous, sa localisation, sa situation climatologique, son principe du traitement, ainsi qu'une critique des données recueillies au niveau de cette STEP.

III.2. STEP de Béni Messous

III.2.1 Localisation géographique

La station d'épuration de Béni-Messous est située sur le territoire de la commune d'Ain Bénian à environ 15 km à l'Ouest de la ville d'Alger, en bordure de la mer Méditerranée et à l'embouchure de l'Oued Béni Messous. Elle occupe une superficie de terrain de 13 hectares environ.

La commune d'Ain Bénian fait partie de la Daira de Chéraga, elle est limitée :

- Au Nord, par la mer méditerranée ;
- Au Sud, par la commune de Chéraga;
- À l'Ouest, par la commune de Staouali;
- À l'Est, par la commune d'Ain Bénian.

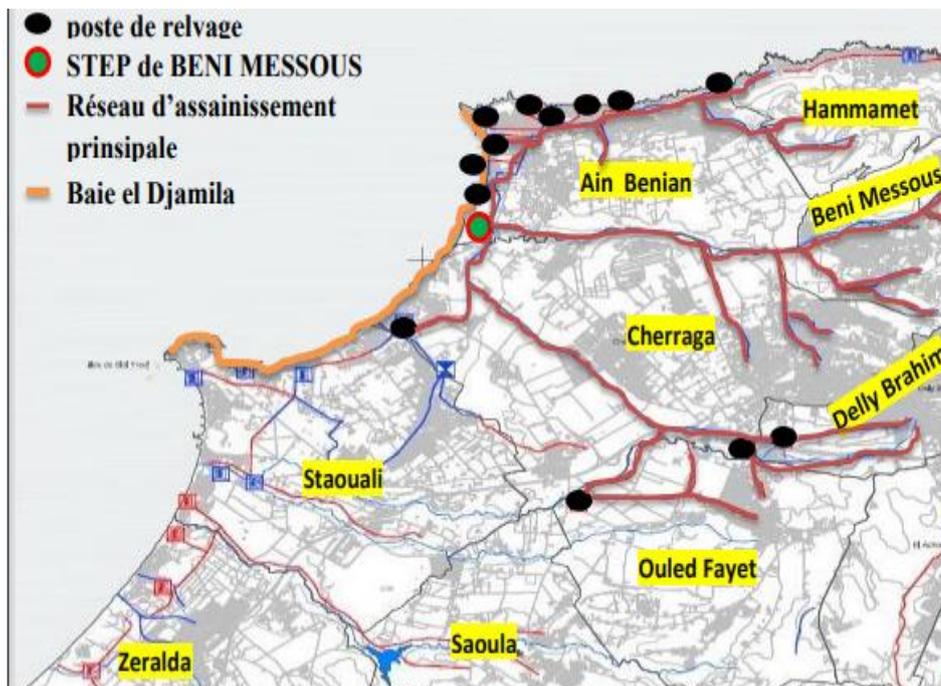


Figure III.1 : Localisation géographique de la STEP de Béni-Messous.

III.2.2 Situation climatologique de la zone d'étude

III.2.2.1 Température de l'air

La température est un paramètre d'importance capitale pour le bon fonctionnement de la station. Le métabolisme des microorganismes est ralenti aux basses températures. Par ailleurs, des dysfonctionnements apparaissent lorsque la température de l'air excède les 35°C. La température minimale moyenne inter annuelle est de 11,9°C. **(Ferhani, 2014)**

III.2.2.2 Le vent

Le vent est un facteur important, car il favorise le brassage, mais il est un vecteur des nuisances olfactives. Son action érosive n'en est pas moindre. Il est donc indispensable de connaître la direction et l'intensité des vents pour prévoir les dispositifs de protection de la station. Les directions dominantes du vent par rapport à la station sont le Nord. **(Ferhani, 2014)**

III.2.2.3 Insolation

L'effet du soleil est indispensable à la photosynthèse réalisée par les algues. Il influence fortement la température de l'eau ainsi que l'évaporation et intervient également sur la durée journalière de l'épuration. Néanmoins, l'ensoleillement n'entre pas directement dans les calculs de dimensionnement des bassins. Il est traduit par l'effet de la température. **(Ferhani, 2014)**

III.2.2.4 Évaporation

L'évaporation est une donnée très importante qui est en relation directe avec le volume d'eau épuré. Si l'évaporation est supérieure à 5 mm par jour, la concentration des matières dissoutes augmente considérablement et peut affecter le processus d'épuration. L'évaporation moyenne de la région est de 3 mm par jour. **(Ferhani, 2014)**

III.2.3 Le bassin versant

La zone d'étude est un sous bassin versant de l'Oued Béni-Messous. Ce dernier s'étend de Bouzaréah à Chéraga entre des altitudes maximale et minimale variant de 360 à 100 m au niveau de l'exutoire. Son thalweg principal, en l'occurrence l'Oued Béni Messous, est longue de 5.72 km ; sa pente moyenne est de 4.63 et draine une superficie totale de 18.23 km². Le périmètre de ce bassin est estimé à 17.98 km. La pluie moyenne inter annuelle selon la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord se situe entre les isohyètes 700 et 800 mm. **(Ferhani, 2014)**

III.2.4 Capacité de traitement

La station de Béni-Messous traite les eaux usées rejetées de :

- la commune de Beni-Messous (100%) ;
- la commune Chéraga (80%) ;
- la commune Dély-Brahim (80%) ;
- Bouzaréah (40%) ;



Figure III.2 : Vue d'ensemble des ouvrages de la STEP de Béni Messous par Google Earth. (Bennaceur, 2019)

File Eau :

1. Déversoir d'orage / Dégrillage.
2. Dessableur / déshuileur.
3. Décanteur primaire : 02 décanteurs primaires.
4. Bassin d'aération : 02 bassins avec 3 aérateurs de surface (Turbines) pour chacun.

File Boue :

5. Clarificateur : 02 Clarificateurs
6. Déshydratation : 03 Filtres à bandes

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA STEP DE BENI MESSOUS

7. Stabilisation : 02 bassins de stabilisation de la boue avec 3 aérateurs de surface pour chacun.
8. Épaississeur : 02 épaisseurs hydrostatiques **Traitement de l'odeur**
9. Bio filtres.

Désinfection :

10. Filtration sur sable et traitement UV.

III.2.5. Caractéristiques techniques et données de base du constructeur

La station de Béni Messous a été dimensionnée pour fonctionner à moyenne charge, soit $C_m = 0,25$ à $0,3$ kg DBO5/kg MVS/jour, à capacité nominale. La connaissance réelle de la charge à traiter (inférieure à la charge nominale), permet de déterminer le taux de boue à maintenir dans le bassin d'aération. Dans le cas d'une réelle sous charge de la station (phase de démarrage par exemple), un fonctionnement à plus faible charge peut s'envisager.

Les caractéristiques techniques de la STEP sont résumées dans les tableaux suivants :

Tableau III. 1 : Caractéristiques techniques de la station de Béni Messous

Paramètres	Entrée
Débit nominal (m ³ /j)	50 400
Débit moyen horaire (m ³ /h)	2 100
Débit de pointe de temps sec (m ³ /h)	2 750
Débit de pointe de temps de pluie (m ³ /h)	5 500

III.2.6. Codification des paramètres étudiés

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 III.2 : Codification des variables (Eau brute)

Variable	Code
----------	------

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA STEP DE BENI MESSOUS

Débit d'entrée	QE
pH (eau brute)	pHbr
Conductivité (eau brute)	Cond br
La température	T
Matières en suspension	MES
MES (eaux brutes)	MES EBR
Demande chimique en oxygène	DCO
Demande biologique en oxygène	DBO
DCO (eau brute)	DCO EBR
Valeurs manquantes	VM
Azote kjeldahl total brute	NGL br
Azote-Nitrate brute	N-NO3 br
Azote-Ammoniacal brute	N-Nh4 br
Phosphore-phosphate brute	P-PO4 br
Phosphore total	PT

Tableau III.3: Codification des variables (traitement primaire).

Variable	Code
Volume 30 minutes (bassin1)	V30 B1
MES traitements primaires (bassin1)	MES TP (B1)
Indice Molhman (bassin 1)	IM B1
Matières volatiles sèches (bassin1)	MVSTP (B1)
Class Volume 30 (bassin1)	classV30 <100 B1
Dilution (bassin1)	Dilution1/2 B1
Indice de boue	IB
Volume 30 minutes (bassin2)	V30 B2
MES traitement primaire (bassin2)	MES TP (B2)
Indice Molhman (bassin 2)	IM B2

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA STEP DE BENI MESSOUS

Débit total (boue recirculée)	Débit total (BR)
MES traitement primaire (boue recirculée)	MES TP (BR)

Tableau III.4 : Codification des variables (traitement des boues-1-)

Variable	Code
Débit des boues primaires	QBP
MES traitement des boues (boues primaires)	MES TDB (BP)
Débit de boues en excès	QBE
MES traitement des boues (boues en excès)	MES TDB (BE)
Débit des boues épaissies	QBEP
MES traitement des boues (boues épaissies)	MES TDB (BEP)
Débit des boues stabilisées	Q (BSTAB)
MES traitement des boues (boues stabilisées)	MES TDB (STAB)
Temps de séjour (boues stabilisées)	TS (STAB)

Tableau III.5: Codification des variables (traitement des boues-2-).

Variable	Code
Poids de polymère utilisé	Gpolym
Débit du polymère	Qpolym
Débit du polymère PP 6.2	Qpolym6.2
Débit d'alimentation 1 de la boue à déshydrater	QABdés1
Débit d'alimentation 2 de la boue à déshydrater	QABdés2
Matière Sèche Boues stabilisées	MSbs
Volume des boues à déshydrater admis	VBàdés
Quantité de boues à déshydrater	QntBdés
Nombre de bennes évacué	Nbvé
Poids de boues déshydratés (humide)	Gbdés (h)
Siccité des boues déshydratées	Siccité

Tableau III.6 : Codification des variables (partie énergétique).

		Variable	Code
énergie aérateur	bassin d'aération N°=1	Bassin d'anoxie 3.1	AS3.1
		Bassin d'anoxie 3.2	AS3.2
		Bassin d'anoxie 3.3	AS3.3
	bassin d'aération N°=2	Bassin d'anoxie 3.4	AS3.4
		Bassin d'anoxie 3.5	AS3.5
		Bassin d'anoxie 3.6	AS3.6
énergie stabilisateur	bassin d'aération N°=1	Bassin d'anoxie 3.7	AS6.1
		Bassin d'anoxie 3.8	AS6.2
	bassin d'aération N°=2	Bassin d'anoxie 3.9	AS6.3
		Bassin d'anoxie 3.10	AS6.4

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

Tableau III. 7 : Concentrations admissibles des paramètres de pollution.(Bennaceur,2019).

Paramètres	Entrée		Sortie secondaire		Sortie tertiaire	
	Concentration (mg/l)	Flux (T/j)	Concentration (mg/l)	Flux (T/j)	Concentration (mg/l)	Flux (T/j)
MES	297	30	3	5	0.5	2
DBO5	248	25	30	3	20	2
DCO	496	50	120	12.1	100	10

III.2.7. Les étapes du procédé d'épuration :

Les eaux usées arrivent à la station par gravité ou par pompage, et passent par différentes étapes de traitement qui sont schématisées dans la Synoptique suivante :

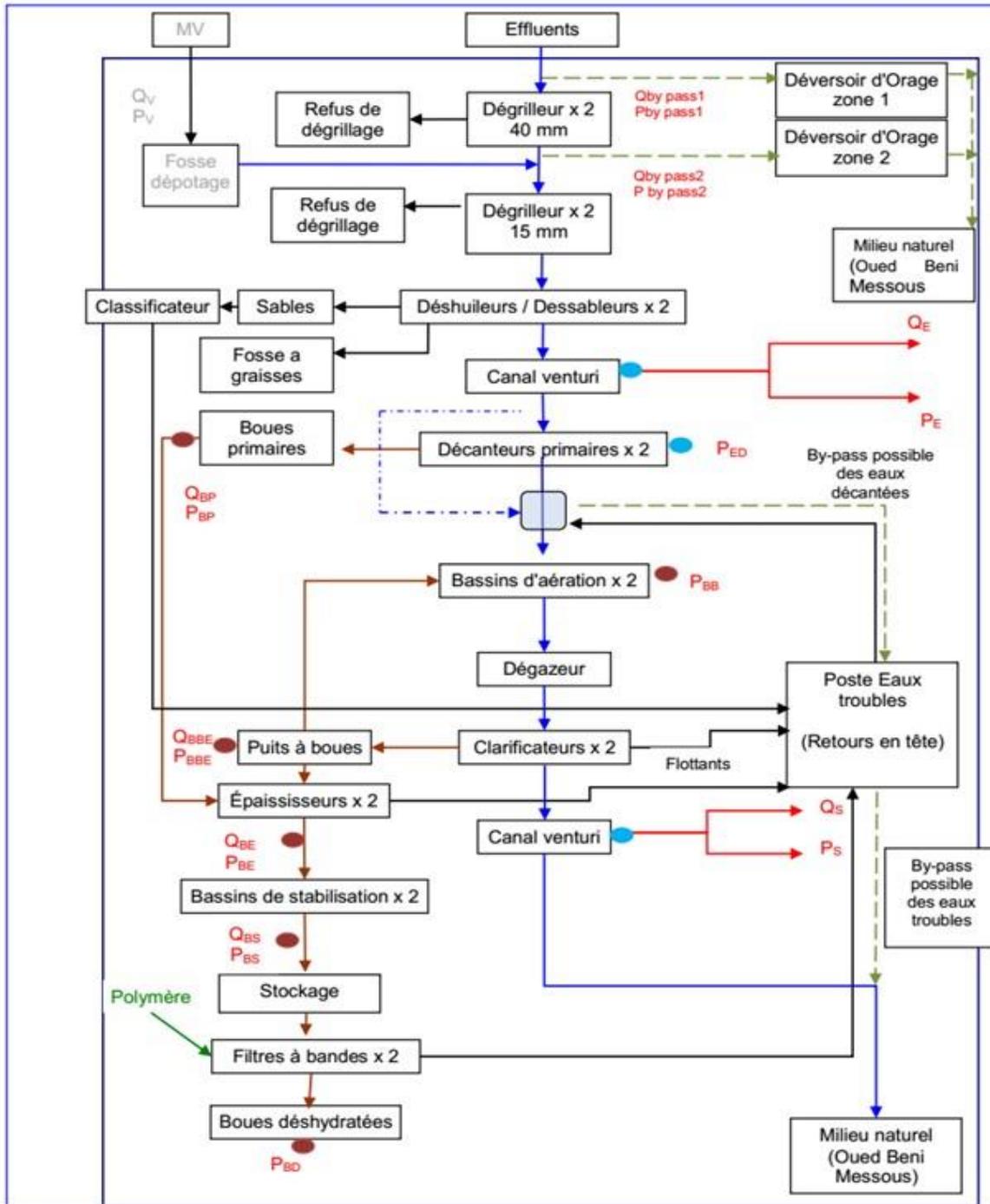


Figure III .3 : Schéma Synoptique de la STEP de Béni Messous.
(Bennaceur, 2019)

III.3. Principe de traitement

III.3.1. Principe de traitement

La STEP de Béni Messous comporte deux filières de traitement :

1. **Traitement « Filière Eau »** : le prétraitement, le traitement primaire à boues activées, décantation et désinfection.

2. **Traitement « Filière Boues »** : épaissement, déshydratation et lit de séchage.

Le descriptif des filières et le procédé de traitement sont précisés ci-après.

a) **Filière Eau**

- Arrivée gravitaire équipée d'un déversoir d'orage ;
- Pré-dégrillage x 2 de 40 mm ;
- Dégrilleur x 2 de 15 mm ;
- Déshuileur / Dessableur x 2 ;
- Réception des matières de vidange ;
- Canal de comptage de type Venturi (eaux brutes) ;
- Ouvrage de répartition ;
- Décanteurs primaires x 2 ;
- Bassins d'aération x 2 avec 3 aérateurs de surface pour chacun ;
- Clarificateurs x 2 ;
- Canal de comptage de type Venturi (eaux traitées) ;

b) **Filière Boues**

- Poste de pompage des boues primaires ;
- Poste de recirculation des boues primaires ;
- Poste d'extraction des boues primaires en excès ;
- Épaisseurs des boues x 2 ;
- Stabilisation aérobie x 2 ;
- Bâche de stockage des boues à déshydrater ;
- Filtres à bandes x 2 ;
- Aire de production des boues ;

3. **Bassin d'aération :**

Les eaux prétraitées sont dirigées vers 2 bassins d'aération fonctionnant en parallèle : 2 x (55,5 m x 15,5m) sur une profondeur de 4,58m, soit une capacité de 2 x 3940 m³ = 7887 m³.

Chaque bassin est équipé de 3 turbines lentes de surface (soit 6 au total), d'apport spécifique unitaire brut de 130 kg O₂/h (données constructeur). Cette aération est assurée par 6 aérateurs

de surface dont la fonction est double : aération et brassage des boues activées, afin d'éviter toute décantation de la biomasse. La régulation de l'aération s'effectue soit au moyen de sondes à oxygène (2 par bassin), implantées l'une en milieu de bassin, l'autre en sortie ou en mode tranche horaire. En sortie des deux bassins d'aération, la liqueur mixte (boue primaire/eau épurée) transite par un ouvrage rectangulaire de répartition, qui fait également office de dégazeur, avant l'alimentation des 2 clarificateurs. Le rôle du dégazeur est d'éviter le relargage de bulle d'air résiduelle dans le clarificateur qui pourrait empêcher la décantation finale des boues. La concentration de la boue doit être maintenue constante dans le bassin d'aération en tolérant une variation de +/- 0,5g/L (des concentrations excessives peuvent être pénalisantes pour l'aération d'une part et l'étape suivante de clarification d'autre part).



Figure III.4 : Turbine en fonctionnement (Bennaceur, 2019).

4. Clarificateurs

Après la phase de contact entre l'eau décantée et la biomasse active dans le bassin d'aération, Les eaux sortantes sont dirigées vers 2 clarificateurs circulaires de diamètre unitaire 55 m, une surface unitaire d'un clarificateur de 2375 m², une hauteur cylindrique de 3,95 m et un volume unitaire de 9384 m³, soit un volume total de 18 768 m³. Chaque clarificateur est équipé d'un pont raclé radial. La recirculation est assurée au moyen de deux vis d'Archimède (1 de secours) d'un débit max de 2 200 m³/h. Le taux de recirculation maximum possible pour le débit moyen horaire est de 105 % et de 40 % pour le débit de pointe par temps de pluie. Ces équipements possèdent des variateurs de fréquence qui permettent de moduler le

débit (débit minimum = 1 500 m³/h). Chaque vis dispose de sa propre fosse équipée de détecteurs niveau bas. Deux pompes d'extraction des boues en excès de débit unitaire 102 m³/h sont implantées dans les fosses avec détecteur de niveau bas. Les boues en excès doivent être extraites le plus régulièrement possible vers l'épaississeur. Un contrôle du voile de boue présent dans les clarificateurs permet de vérifier l'évacuation constante des boues et d'éviter le passage en anaérobiose.



Figure III.5 – Décanteur-Clarificateur (Bennaceur, 2019).

III.3.2. Statistiques et critiques des données :

III.3.2.1. Statistiques Descriptives

Avant de diagnostiquer la filière boue de la station de Béni Messous, nous avons effectué une analyse sur ses données, afin de déceler d'éventuelles valeurs douteuses. Cette analyse s'est faite sur une série de données de 3106 valeurs s'étalant du 01/07/2008 au 31/12/2016, recueillies auprès de la SEAAL.

Les caractéristiques choisies dans l'identification des statistiques de chaque paramètre sont :
Le minimum, le maximum, la moyenne, l'écart type, les valeurs observés et le pourcentage de valeurs manquantes.

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA STEP DE BENI MESSOUS

Paramètres des eaux brutes

Tableau III. 8 : Statistiques des paramètres des données des eaux brutes.

Paramètres	Unité	Max	Min	Moy	σ	Val. Obs	VM%
QE	m ³ /j	72890	0	31210.1	10482	3106	2.6
pH.br	-	14	5.5	7.7	0.3	3106	55
Cond br	(us/cm)	21000	1.4	1473.3	848	3106	55
Tbr	°C	29	1.5	16.2	4.5	3106	60
MESEBR	(mg/l)	1351	25.	221.5	152.6	3106	55.8
DBO BR	(mg O ₂ /l)	770	21.4	167,3	71,3	3106	70,6
DCOEBR	(mg O ₂ /l)	960	28.8	277	108.5	3106	55.7
NGL br	(mg/l)	283	11,8	41,7	20,0	3106	88,5
N-NO3 br	(mg/l)	21,6	0,1	1,8	1,7	3106	88,6
N-Nh4 br	(mg/l)	58	0,1	21,1	7,4	3106	92,4
P-PO4 br	(mg/l)	67	0,6	5,0	5,6	3106	89,2
PT	(mg/l)	13	1,2	4,3	1,9	3106	94,7
MES dissous	(mg/l)	503	2,8	65,4	44,7	3106	91,1
DBO5dissous	(mgO ₂ /l)	203	5,6	76,7	28,8	3106	91,7

Interprétation :

On remarque que le paramètre le plus mesuré parmi les données recueillies, est le débit d'entrée, avec des mesures journalières régulières.

Traitement primaire :

Tableau III. 9 : Statistiques des paramètres des données de Traitement primaire.

Paramètres	Unité	Max	Min	Moy	Σ	Val. Obs	VM%
V30 B1	(ml/l)	930	15	224.3	164.5	3106	35.5
MES B1	(g/l)	9.4	0.5	3	1.2	3106	33.8

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA STEP DE BENI MESSOUS

MVSTP(B)	%	18	86	50,6	8,5	3106	81.2
classV30<100 B1	-	1	0	0,982	0,132	3106	98.2
Dilution1/2 B1	-	310	12	162,23	39,66	3106	90.5
IM B1	(ml/g)	395	6.25	79.5	56	3106	40
IB B1	(ml/g)	337.8	0	100.3	48.9	3106	93.3
V30 B2	(ml/l)	920	20	237.7	170.8	3106	35.3
MES B2	(g/l)	10.5	0.5	3.1	1.2	3106	33.7
classV30<100B2	-	1	0	0.02	0.1	3106	1
Dilution 1/2 B2	%	300	41	157.8	35.8	3106	88.1
IM B2	(ml/g)	500	0	82	57.7	3106	39.8
IB B2	(ml/g)	196	0	80.4	35.8	3106	90.5
MVS TP(B1)	%	80	0.43	50.5	8.6	3106	81.3
Q total BR	(m ³ /j)	86504	3000	34942.6	6135.3	3106	3.4
MES BR	(g /l)	30	0,7	3.8	1.9	3106	34.6
MVS TB(BR)	%	85.7	0.43	51.4	9.7	3106	81.8

Interprétation :

Pour les deux bassins d'aération on remarque une approximation dans les valeurs, cela nous renseigne sur la qualité des mesures au sein des bassins.

L'aspect de la forte décantation de la boue épurée permet d'obtenir des volumes considérables en 30 minutes et donc des indices significatifs (indice de boue et indice de Molhman).

Au contraire, les concentrations de MES mesurées dans ces bassins sont faibles.

Traitement des boues

Tableau III. 10 Statistiques des paramètres des données de Traitement des boues-1-

Paramètres	Unité	Max	Min	Moy	σ	Val. obs	VM%
QBP	(m ³ /j)	1676	0	375.6	70981.4	3106	10
MES BP	(g /l)	330	0	6.5	211	3106	42
MVS TDB(BP)	(%)	90	10	43.4	13.3	3106	88.3

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA STEP DE BENI MESSOUS

QBE	(m ³ /j)	2138	0	979.3	163360	3106	27.4
MES excès	(g/l)	19.2	0	3.4	2.6	3106	48.4
QB (EP)	(m ³ /j)	1000	0	130.9	9591	3106	12.7
MES (BEP)	(g/l)	253	2.7	47.6	430.2	3106	35.6
MVS TDB(BEP)	(%)	84	18	50.8	10.9	3106	82.8
Surverse épaissies	(mg/L)	8750	0,1	461.2	971.7	3106	91.2
QB (Stab)	(m ³ /j)	516	0	137.6	9517.7	3106	23.9
MES (Stab)	(g/l)	179.8	7.2	41.8	323.9	3106	37.9
MVS TDB(stab)	(%)	74	17	42,7	8,8	3106	83.5
TS (Stab)	-	4922	0.1	50.3	40974.8	3106	76.3

Interprétation :

Les boues provenant des décanteurs primaire et secondaire sont admises dans une Filière de traitement qui comporte l'épaississement, la stabilisation et la déshydratation.

D'après les données du tableau, on remarque que les valeurs les plus importantes sont celles du débit de boues primaires car celles-ci proviennent du décanteur primaire et correspondent en grande partie au piégeage de la pollution particulaire d'entrée. Dans le cas où la pollution colloïdale doit être piégée, l'ajout de réactifs chimiques (coagulants et flocculants) est nécessaire (récotte globale de tous type de déchets), puis on a les débits de boues en excès qui se produisent à partir des débits de boues primaires non recyclées et les débits de boues primaires.

Ensuite, on a les mesures des débits de boues au sein de leur propre traitement (épaississement et stabilisation).

Enfin, il est important de connaître le temps de séjour de ces boues pour compter le temps nécessaire à la boue pour qu'elle soit décantée.

Tableau III. 11 : Statistiques des paramètres des données de Traitement des boues-2

Paramètres	Unité	Max	Min	Moy	σ	Val. Obs	VM%
Gpolym	(Kg)	150	25	30,6	14,1	3106	46
[polym]	(g/l)	3,43	2	2,2	0,4	3106	96.6
Qpolym	(l/h)	14000	6	1547,8	539,7	3106	49.7
Qpolym 6.2	(l/h)	18000	6	1568,6	724,8	3106	54.4

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA STEP DE BENI MESSOUS

QABdés1	(m ³ /h)	1700	7	61,2	218,6	3106	53
QABdés2	(m ³ /h)	1000	7	30,9	76,1	3106	55
MSbs	(g/l)	180	7,2	41,5	17,6	3106	35.5
VBdés	(m ³ /j)	516	1	151,7	91,2	3106	30.2
QntBdés	(kg/j)	151400	68	6156,4	4941	3106	32.8
Gbdés(h)	(kg)	544783	489	2606	18410,8	3106	33.5
Nbvé	-	22	1	4,6	2333	3106	33.7
Siccité	-	50,5	13	21,8	3,6	3106	38.2
MVS TDB	(%)	10	73	41,9	9,4	3106	84,6
Nombre de voyages évacués vers agriculteur	-	1	10	3,7	2,3	3106	94,8
Poids total sur balance	(Kg)	2,5	352780	16212,1	36737,1	3106	94,2
Boues évacuées vers la décharge	-	0	352780	19118,1	64687,2	3106	98,8

Interprétation :

Dans cette partie du traitement des boues, on passe au dosage en polymères qui a pour but d'obtenir des floes volumineux par pontage et par action coagulante, ce dosage varie de 1/9 kg/tonnes de MES.

De nettes améliorations en siccité et consommation en polymères peuvent être obtenues dans des proportions qui varient selon le procédé. La réduction des volumes peut alors être cumulée avec la réduction des masses, c'est-à-dire, lors du processus de déshydratation.

Partie énergétique

Tableau III. 12 : Statistiques des paramètres des données de l'énergie consommée

Paramètres	Unité	Max	Min	Moy	σ	Val. Obs	VM%
AS3.1	(kwh)	477	8	12,1	9,305	3106	5.2
AS3.2	(kwh)	29	0	11,6	3,481	3106	5.8
AS3.3	(kwh)	31	0	12,7	5,842	3106	6.8
AS3.4	(kwh)	30	0	11,3	3,783	3106	5.6
AS3.5	(kwh)	27	0	10,6	3,869	3106	6.4

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA STEP DE BENI MESSOUS

AS3.6	(kwh)	30	0	12,3	5,874	3106	5.6
AS6.1	(kwh)	37	0	13,0	4,644	3106	21.6
AS6.2	(kwh)	37	15	13,4	4,806	3106	22.1
AS6.3	(kwh)	41	0	13,1	4,797	3106	22.1
AS6.4	(kwh)	37	0	12,8	4,591	3106	22

Interprétation :

Le rôle de l'énergie consommée par la boue lors de l'aération prolongée, c'est la prolifération de la biomasse biodégradable cela peut engendrer une immense quantité de boues (boues en excès).

Traitement des données :

Après avoir présenté les statistiques des 70 paramètres recueillies auprès de la SEAAL, nous avons été contraints d'éliminer certains paramètres qui ne sont pas concomitants avec le reste des paramètres, ou qui présentent peu de valeurs (dont le % de valeurs manquantes dépasse les 2/3 des valeurs observées) pour permettre une étude fiable. Citons à titre d'exemple, la DBO5, tous les composants azoté et phosphaté MES dissous, DCO dissous, DBO dissous, les classes V30 < 100 pour les deux bassins, la surverse, les MVS...etc. Nous avons aussi procédé à l'élimination de quelques valeurs extrêmes qui nous ont semblé douteuses.

Au final, ce traitement nous a permis, d'éliminer 27 paramètres sur les 70 recueillies, et de construire des tableaux constitués de différents paramètres identifiés, qui seront utilisés comme données d'entrée lors de l'application de l'Analyse en Composantes Principales.

III.3.2.2. Évolution des paramètres de pollution dans le temps

Évolution de débit des boues primaires

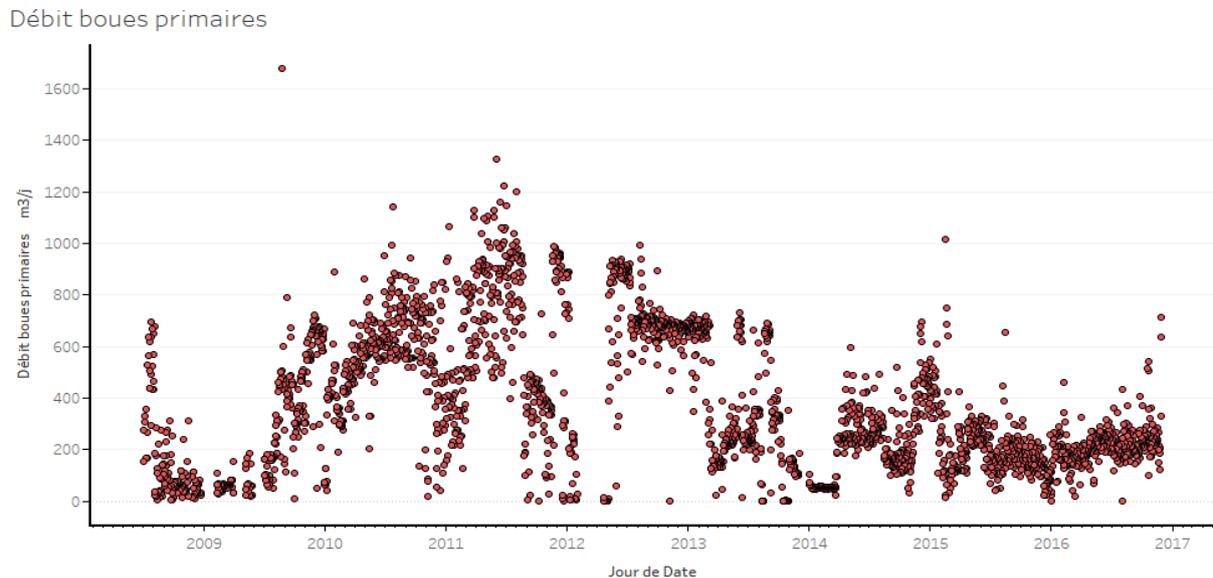


Figure III.6–Évolution journalière de débit des boues primaires dans la STEP.

Pour l'évaluation du débit de boues primaires, les valeurs oscillent entre 0 et 1676 m³/j avec une des mesures intenses lors de la mise en service de la station.

Comme déjà dit, ce débit est généré à partir de la pollution initiale recueillie par la station.

Évolution des MES dans la phase de production des boues primaires

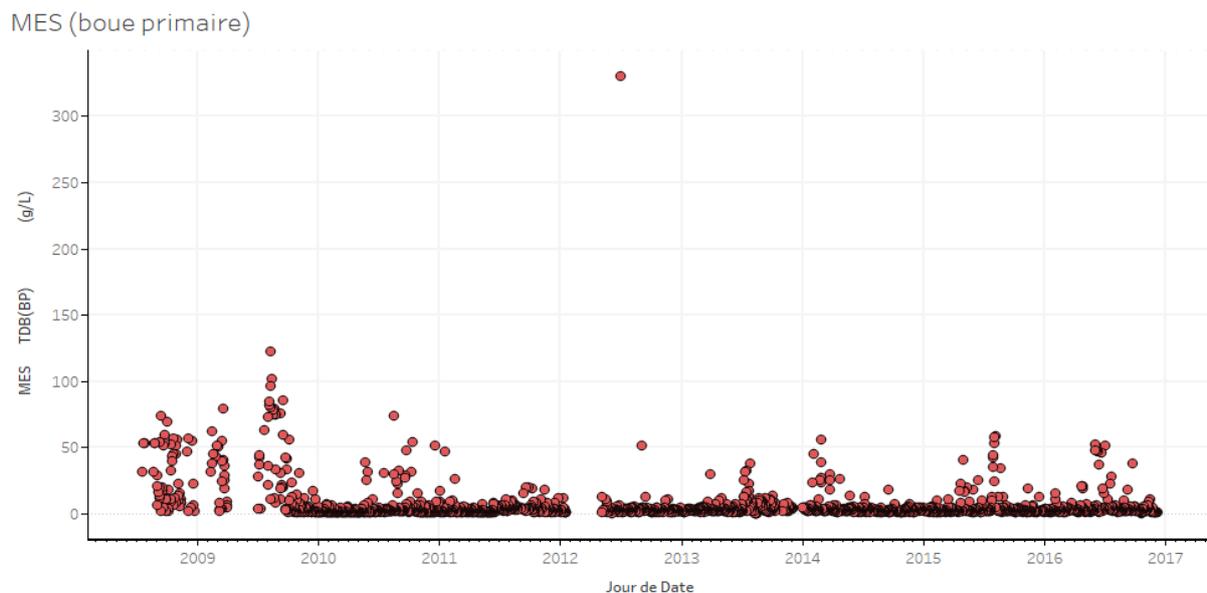


Figure III.7–Évolution journalière de MES des boues primaires dans la STEP.

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA STEP DE BENI MESSOUS

Pour les MES de boues primaires, on note qu'il n'y a pas de variation au cours de la mise en service de la STEP, car le but visé dans le décanteur primaire c'est de faire décanter un maximum de résidus pour avoir la boue primaire.

✚ Remarque :

La totalité des paramètres mesurés, au niveau de la STEP de Béni Messous, ne posent pas de problème, car toutes les valeurs extrêmes ont déjà été préalablement éliminées, dans la partie traitement des données. Dans cette partie, on a juste présenté, à titre d'exemple, les graphiques de l'évolution de deux paramètres étudiés, alors que la représentation graphique des autres paramètres est donnée en annexe. (Voir annexe)

III.4 conclusion

Après avoir terminé la présentation de la STEP, Dans le chapitre suivant on va établir tout un diagnostic de fonctionnement de la filière boue de celle –ci afin de pouvoir l'améliorer.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION



IV.1 Introduction

Pour atteindre notre objectif de diagnostic de la filière “Boue” de la station de Béni-Messous, nous avons procédé à l’analyse des données recueillies, par la méthode de l’Analyse en Composantes Principales. Nous espérons à travers cette démarche, déceler d’éventuels dysfonctionnements dans le processus de production des boues, dans le but d’en réduire leur volume, pour limiter les quantités à stocker et faciliter aussi leur transport.

IV.2 Identification de données brutes

Avant d’appliquer la méthode de l’Analyse en Composantes Principales, nous avons identifié, en premier lieu, les différents paramètres mesurés dans la STEP, et sur lesquels on s’est basé pour mener notre diagnostic :

IV.2.1 Paramètres concernant les eaux brutes ;

- Débit d’entrée (m^3/j), pH, Conductivité (us/cm), Température ($^{\circ} C$), MES (mg/l), DCO (mg de O_2 /l).

IV.2.2 Paramètres de la phase du traitement primaire ;

- V30 (ml/L), MES (g/L), indice de Mohlman (ml/g) pour le bassin d’aération -1-, V30 (ml/L), MES (g/L), indice de Mohlman (ml/g) pour le bassin d’aération -2-, Débit total de la Boue recirculée (m^3/j), MES de la Boue recirculée (g /L).

IV.2.3 Paramètres de la phase du traitement des boues (au niveau des décanteurs primaire et secondaire, de l’épaississeur, du stabilisateur, et de la phase des polymères ajoutés) ;

- Débit des boues primaires (m^3/j), MES des boues primaires (g/L), Débit de boues en excès (m^3/j), MES de boues en excès (g/L), Débit des boues épaissies (m^3/j), MES des boues épaissies (g/L), Débit des boues stabilisées (m^3/j), MES des boues stabilisées (g /L).
- Poids du polymère utilisé (kg), Débit du polymère (1 L/h), Débit du polymère (l/h) PP 6,2 Débit d'alimentation 1 de la boue à déshydrater (m^3/h), Débit d'alimentation 2 de la boue à déshydrater (m^3/h), MS des boues stabilisées (g/L), Volume des boues à déshydrater admis (m^3/j), Quantité de boues à déshydrater en MS (kg/j), Poids de boues déshydratées (humide) (kg), Siccité des boues déshydratées.

IV.2.4 Paramètres concernant l’énergie d’aération et l’énergie de stabilisateurs

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

- L'énergie totale (Kwh) consommée durant le processus d'épuration

IV.3 Lancement des ACP :

IV.3.1 ACP totale

Après avoir éliminé tous les paramètres dont le nombre de valeurs étaient faibles ou contenaient beaucoup de valeurs manquantes à l'aide de logiciel « XLSTAT », on a appliqué une ACP sur la totalité des paramètres décrits ci-dessus, on a remarqué que le nombre d'observation par le logiciel pour exécuter l'ACP est très peu, parce que les valeurs manquantes ne sont en fait pas concomitantes entre les paramètres. (Il ne reste que 9 valeurs parmi les 3106 valeurs observées).

Par conséquent, les valeurs retenues ne peuvent faire l'objet d'une analyse fiable et ne peut représenter la série de données mesurées.

Observations/variables table: Workbook = ACP.tot.xlsx / Sheet = tab.brute / Range = tab.brute!\$A\$3:\$AD\$3110 / 3107 rows and 30 columns								
Number of removed observations: 3098								
PCA type: Pearson (n)								
Type of biplot: Correlation biplot / Coefficient = n/p								
Summary statistics								
Summary statistics:								
Variable	Observations	with missing	without missing	Minimum	Maximum	Mean	std. deviation	
Date	9	0	9	41036,000	41241,000	41164,000	65,860	
Tbr °C	9	0	9	13,900	22,700	18,844	3,256	
QE*MES EBR	9	0	9	0,000	15,901	5,684	5,107	
QE*DCO EBR	9	0	9	0,000	20,287	7,775	5,699	
MES TB moy	9	0	9	2,200	3,650	2,828	0,468	
QE*MES TB	9	0	9	7,178	169,663	44,372	52,872	
Débit total l	9	0	9	9,000	157,280	72,101	59,023	
Débit boues	9	0	9	59,000	2484,000	1122,833	886,080	
Débit boues	9	0	9	2,000	348,000	169,778	145,851	
Débit des bo	9	0	9	138,600	7865,000	2708,867	3040,215	
Débit des bo	9	0	9	5265,000	4434768,000	655980,000	1442571,352	
Débit du pol	9	0	9	6,000	432,000	352,667	138,058	

Figure IV.1 : Application de l'ACP totale aux données recueillies au niveau de la STEP

Pour y remédier, nous avons opté pour l'application de l'ACP sur des groupes de paramètres représentant chaque étape du traitement, et dont les dates des valeurs observées doivent être semblables.

IV.3.2 ACP par partie

Cette ACP a été fait sur chaque étape de traitement des eaux indépendamment de l'autre (i.e. ACP pour les paramètres des eaux brutes, ACP pour les paramètres du traitement primaire, ACP pour les paramètres du traitement des boues et ACP pour la partie énergétique).

IV.3.3 ACP deux à deux

Pour comprendre mieux les corrélations entre ces paramètres nous avons choisis de passer à ce genre d'ACP (deux à deux) tel que le choix des parties a été fait sous la base du suivi du procès de fonctionnement de la station d'épuration pour la filière boue.

Les résultats d'ACP se montrent comme suit :

- ACP pour : les paramètres des eaux brutes pour + les paramètres du le traitement primaire ;
- ACP pour : les paramètres du le traitement primaire + les paramètres du traitement des boues ;
- ACP pour : les paramètres du traitement des boues + la partie énergétique ;

Remarque : on a opté dans cette étude pour une ACP normée (transformation des variables brutes en variables centrées réduites) pour homogénéiser les variables.

IV.4 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.

IV.5 Application sur les données de la STEP de Béni-Messous :

IV.5.1. Application de l'ACP sur tous les paramètres :

IV.5.1.1. l'ACP par partie :

- Les données concernant les eaux brutes

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

Une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée sur le tableau des données journalières, qui contient 6 variables (MES, DCO, T °C, Conductivité, QE, pH) de 1184 observations de l'eau brute.

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

Tableau IV .1 : Matrice de corrélation des paramètres de l'eau brute

Variabiles	QE	Phbr	Cond br	Tbr	MES EBR	DCO EBR
QE	1					
Phbr	0.032	1				
Cond br	0.040	0.233	1			
Tbr	0.424	-0.011	-0.016	1		
MES EBR	0.062	0.018	-0.023	0.039	1	
DCO EBR	0.023	-0.004	0.137	0.025	0.545	1

Pour le test de sphéricité de Bartlett et l'indice K-M-O nous les avons déterminés à l'aide du logiciel XLSTAT.

La matrice de corrélation a pour déterminant (0,52), 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 XLSTAT sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.2 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (les eaux brutes).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.		0.478
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	59650.7
	ddl	5
	Signification de Bartlett	0

Selon la règle de K-M-O, On remarque que la signification de Bartlett tend vers (0.000), et le KMO globale de la matrice est faible.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau IV.3 : Variance totale expliquée (paramètres de l'eau brute).

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	1,6	1,4	1,23	0,8
Variabilité (%)	26,6	23,17	20,49	13,13
Cumulé %	26,6	49,76	70,25	83,38

On remarque d'après le tableau ci-dessus que les 4 premiers axes permettent d'expliquer la majorité de la variance.

La règle optée pour cette sélection est la suivante : "On choisit le nombre d'axes en fonction du cumul de la variabilité, on s'arrête dans l'axe qui comprend 80% de la variabilité"

Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :

Tableau IV.4 : Matrice de corrélation entre les CP' et les variables de l'eau brute.

Corrélation	CP'			
	1	2	3	4
QE	0.384	0.752	0.032	-0,015
Phbr	0.116	-0.012	0.767	0,625
Cond br	0.216	-0.072	0.762	-0,585
Tbr	0.351	0.766	-0.077	-0,007
MES EBR	0.790	-0.312	-0.218	0,200
DCO EBR	0.801	-0.367	-0.083	-0,120

Cercle de corrélation

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

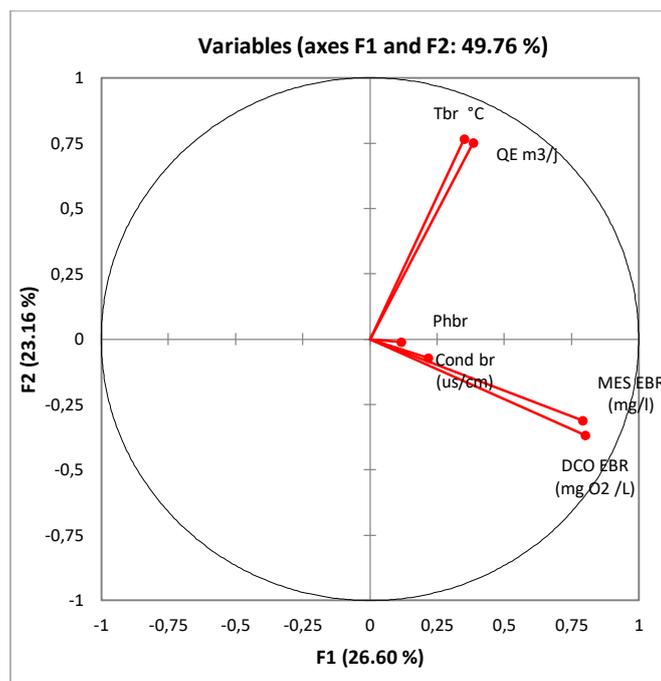


Figure IV.2 : Paramètres de pollution de l'eau brute à l'échelle journalière [1× 2].

En analysant la matrice de corrélation (entre les deux composantes principales) et aussi le cercle de corrélation (formé par les axes principaux (1 et 2)) ainsi que les variables centrées réduites des variables brutes, il s'avère que :

Les variables DCO, MES brutes sont bien corrélées avec la première composante et forment un groupe commun caractérisant la pollution organique, celui-ci est opposé au groupe formé par les variables QE et T°C qui ont aussi une bonne corrélation avec la deuxième composante. En comparant les variables des 2 groupes, on remarque qu'elles sont orthogonales les unes par rapport aux autres, ce qui signifie leur non corrélation (R proche de 0).

Le pH et la conductivité ne reflètent pas une bonne information car ils sont proches de l'origine (Bennaceur, 2019).

- **le traitement primaire**

Le tableau du traitement primaire comporte 8 variables et 1779 observations

Tableau IV .5 : Matrice de corrélation des paramètres de traitement primaire.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

Variables	V30 B1	MES TB B1	IM B1	V30 B2	MES TB B2	IM B2	Débit total BR	MES TB BR
V30 B1	1							
MES TP B1	0.135	1						
IM B1	0.828	-0.292	1					
V30 B2	0.927	0.100	0.780	1				
MES TP B2	0.116	0.899	-0.264	0.135	1			
IM B2	0.788	-0.271	0.933	0.833	-0.282	1		
Débit total BR	-0.053	-0.337	0.086	0.038	-0.286	0.134	1	
MES TB BR	0.068	0.686	-0.217	0.040	0.663	-0.232	-0.272	1

La matrice de corrélation a pour déterminant ($6.25.10^{-5}$), 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 XLSTAT sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV. 6 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (traitement primaire)

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0.484	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	116552.5
	ddl	7
	Signification de Bartlett	0

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

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau IV.7 : Variance totale expliquée (paramètres de traitement primaire).

	F1	F2
Valeur propre	3,65	2,7
Variabilité (%)	45,57	34,07
Cumulé %	45,57	79,64

On remarque d'après le tableau ci-dessus que les deux premières composantes suffisent à expliquer 80% de la variance

Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :

Tableau IV .8 : Matrice de corrélation entre les CP' et les variables du traitement primaire.

Corrélation	CP'	
	1	2
V30 B1	0.838	0.484
MES TB(B1)	-0.354	0.876
IM B1	0.957	0.079
V30 B2	0.846	0.455
MES TB(B2)	-0.341	0.864
IM B2	0.964	0.070
Débit total BR	0.191	-0.429
MES TB(BR)	-0.325	0.758

Les corrélations positives sont données sur les axes comme suit :

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

- L'axe F1, le volume V30 ainsi que l'indice de Mohlman, pour les deux bassins d'aération, sont très bien corrélés $\Rightarrow Im = V30/[MS]$

Im:l'indice de Mohlman.

V30: le volume de boue activée décantée pendant 30 min.

[MS] : concentration de la matière sèche.

- L'axe F2 et les MES (MES B1, MES B2 et MES de la boue recirculée) présentent une forte corrélation, car les eaux sont de même nature.

Cercle de corrélation

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

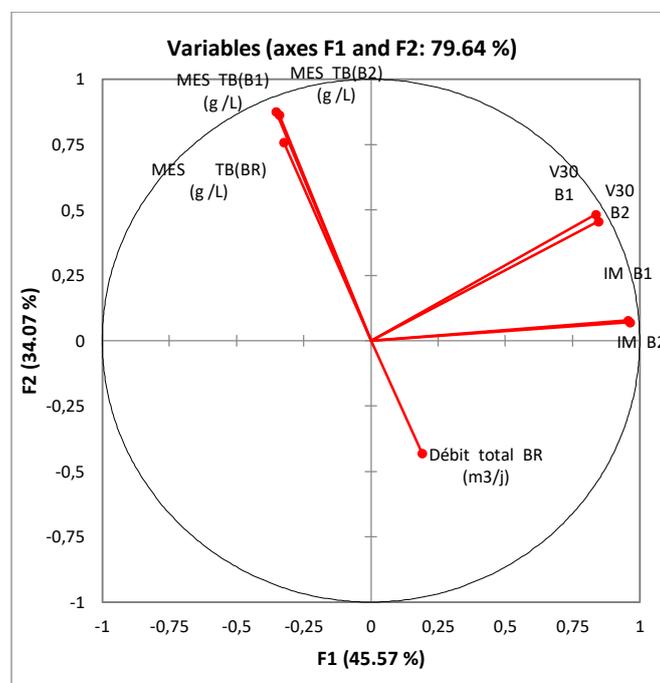


Figure IV.3 : Paramètres du traitement primaire à l'échelle journalière [1×2].

En Analysant les cercle de corrélation on trouve qu'il y'a une indépendance entre le V30 et les MES des deux bassins, indiquant que la concentration en MES n'influent pas sur le phénomène de décantation car la décantation dans ce cas est prévu pour des boues (avec des quantités énormes) cela favorise la décantation par gravité et n'attends pas la suspension solide à se déposer

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

Cela peut être justifié par la surproduction des boues dans cette STEP et par conséquent, l'apparition du problème du dépôt de MES lors du traitement → problème dans le traitement de la STEP.

- **le traitement des boues**

Le tableau du traitement des boues parties -1- comporte 8 variables et 1258 observations.

Tableau IV .9: Matrice de corrélation des paramètres de traitement des boues -1-.

Variables	QBP	MES TDB(BP)	QBE	MES TDB(BE)	QBEP	MES TDB(BEP)	Qstab	MES TDB(stab)
QBP	1							
MES TDB(BP)	-0.079	1						
QBE	-0.417	0.050	1					
MES TDB(BE)	0.082	0.082	-0.113	1				
QBEP	-0.293	0.077	0.330	0.085	1			
MES TDB(BEP)	0.355	0.056	-0.306	0.445	-0.156	1		
Qstab	-0.318	0.037	0.306	0.100	0.684	-0.171	1	
MES TDB(stab)	0.518	0.020	-0.421	0.365	-0.275	0.712	-0.295	1

La matrice de corrélation a pour déterminant (0.088), 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 XLSTAT sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV. 10 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (traitement des boues-1-).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0.727
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé 31567.399

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

	ddl	7
	Signification de Bartlett	0

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

Tableau IV.11 : Variance totale expliquée (paramètres de traitement des boues-1-).

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	2,94	1,62	0,99	0,76
Variabilité (%)	36,7	20,3	12,	9,52
Cumulé %	36,7	57,0	69,4	79

Le tableau ci-dessus indique que les 4 premières composantes principales suffisent à expliquer 80 % de la variance.

Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :

Tableau IV .12 : Matrice de corrélation entre les CP' et les variables du traitement des boues-1-.

Corrélation	CP'			
	1	2	3	4
QBP	0.698	-0.062	-0.184	0,440
MES TDB(BP)	-0.037	0.270	0.925	0,260

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

QBE	-0.659	0.100	0.104	-0,412
MES TDB(BE)	0.330	0.707	-0.013	-0,383
QBEP	-0.592	0.602	-0.189	0,302
MES TDB(BEP)	0.712	0.482	0.003	-0,148
Qstab	-0.601	0.591	-0.240	0,267
MES TDB(stab)	0.829	0.307	-0.028	0,002

À partir de ce tableau on remarque que les débits de boues, sont tous corrélés négativement avec le premier axe sauf pour le débit des boues primaires, cela pourrait indiquer le fait que les boues primaire ne suivent pas les étapes de traitement de la filière boues. L'indépendance relative entre les MES des boues en excès et les boues épaissies et stabilisées, peut être due au traitement subis qui augmente les concentrations en MES. Pour le deuxième axe, nous remarquons que les MES des boues en excès et le débit de boues épaissies sont corrélés positivement avec ce dernier, ceci s'explique par le fait que plus l'eau est chargé en MES, plus la quantité de boues à extraire est plus grande.

Une corrélation négative a été remarqué entre le débit des boues en excès et l'axe F1 et le débit des boues primaires. Cela est dû à la génération du débit des boues primaires à partir du celui des boues en excès.

Une forte corrélation est observée entre les variables (MES TDB (BE), Débit boues épaissies (QBEP), et le débit des boues stabilisées (Qstab)) et l'axe F2, ainsi que les MES TDB(BP) et l'axe F3.

Cercle de corrélation

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

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

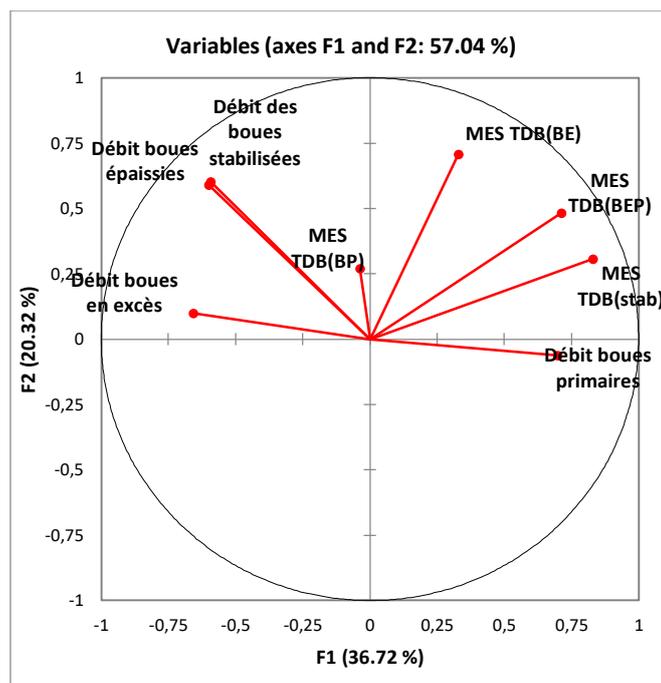


Figure IV.4 : Paramètres du traitement des boues -1- à l'échelle journalière [1x2].

Le cercle de corrélation donne deux informations qui sont :

- Tous les types de MES sont positivement corrélés entre eux car elles sont de la même nature

Le débit des boues : épaisées, en excès, et stabilisées se produisent à partir des boues primaires d'où la proportion inverse entre eux.

Tableau IV .13 : Matrice de corrélation des paramètres de traitement des boues -2-.

Le tableau du traitement des boues partie -2-comporte 10 variables et 669 observations.

Variabes	Gpolym	Qpolym	Qpolym6,2	QABdés1	QABdés2	MSbs	VBàdés	QntBdés	Gbdés(h)	siccité
Gpolym	1									
Qpolym	0,425	1								
Qpolym6,2	0,405	0,964	1							
QABdés1	0,025	0,035	-0,002	1						
QABdés2	0,101	0,199	0,189	0,280	1					

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

MSbs	0,527	0,423	0,423	-0,136	-0,296	1				
VBàdés	0,491	0,160	0,132	0,238	0,455	-0,035	1			
QntBdés	0,773	0,418	0,397	0,096	0,164	0,611	0,710	1		
Gbdés(h)	0,663	0,374	0,331	0,179	0,294	0,321	0,766	0,789	1	
siccité	0,413	0,374	0,369	-0,102	-0,269	0,540	0,036	0,399	0,214	1

La matrice de corrélation a pour déterminant ($1.68.10^{-4}$), 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 XLSTAT sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV. 14 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (traitement des boues-2-)

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.		0.701
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	54419.667
	ddl	9
	Signification de Bartlett	0

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

Tableau IV.15 : Variance totale expliquée (paramètres de traitement des boues-2-).

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

	F1	F2	F3
Valeur propre	4,24	2,1	1,35
Variabilité (%)	42,39	21,02	13,46
Cumulé %	42,39	63,41	76,87

Les 3 premiers axes suffisent à expliquer la grande majorité de la variance.

Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :

Tableau IV .16 : Matrice de corrélation entre les CP' et les variables du traitement des boues-2-.

Corrélation	CP'		
	1	2	3
Gpolym	0.830	-0.010	-0.248
Qpolym	0.711	-0.245	0.630
Qpolym6,2	0.688	-0.274	0.643
QABdés1	0.107	0.505	0.164
QABdés2	0.225	0.710	0.435
MSbs	0.623	-0.577	-0.207
VBàdés	0.617	0.656	-0.230
QntBdés	0.903	0.114	-0.306
Gbdés(h)	0.810	0.363	-0.216
siccité	0.519	-0.548	-0.150

D'après la matrice de la corrélation on remarque qu'on a une corrélation positive entre les axes et les variables suivantes :

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

- L'axe F1, les polymères, MS de boues stabilisées, quantité et volume de boues à déshydrater et le poids de boues déshydratés ainsi que la siccité.
- L'axe F2, Débits d'alimentation 1 et 2 de la boue à déshydrater, Volume des boues à déshydrater, alors que les MS de boues stabilisées et la siccité sont corrélées négativement avec l'axe 2.
- Quant à l'axe F3, il est bien corrélé aux débits de polymères et de polymères PP6.2.

Cercle de corrélation

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

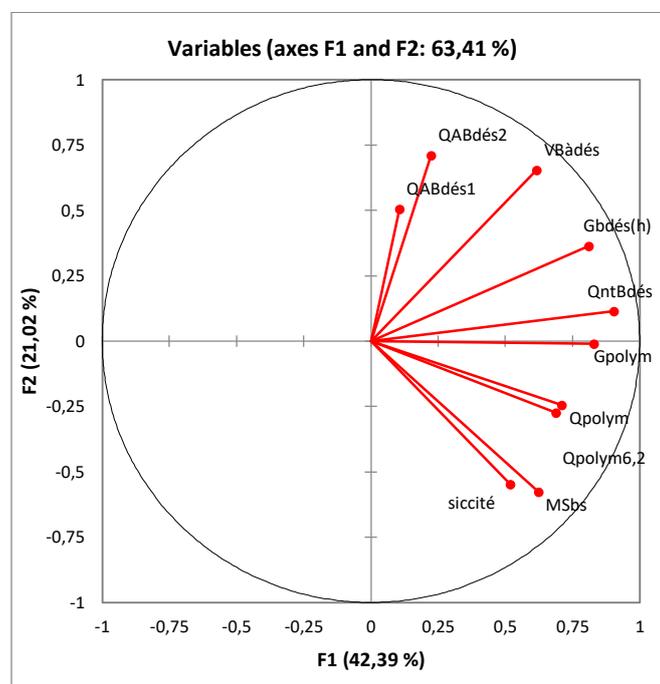


Figure IV.5 : Paramètres du traitement des boues -2- à l'échelle journalière [1×2].

Le cercle de corrélation montre que tout ce qui concerne les boues à déshydrater sont positivement corrélés entre eux (quantité poids et volume) ainsi qu'on remarque que les débits d'alimentation déshydrater 1 et 2 sont bien corrélés avec ces derniers

Mais ces paramètres sont corrélés négativement avec les débits de polymères et les matières sèches.

Le fonctionnement de la centrifugeuse lors de la déshydratation nécessite une consommation minimale du polymère qui contribue à la production de la matière sèche et donc le pourcentage la siccité. L'alimentation de la centrifugeuse s'ajoute en fonction du volume de boues destiné à la déshydratation.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

- **Les données concernant la partie énergétique**

Le tableau de la consommation énergétique partie-1-comporte 6 variables et 2887 observations.

Tableau IV .17: Matrice de corrélation des paramètres de la partie énergétique -1-.

Variabes	AS3.1	AS3.2	AS3,3	AS3,4	AS3,5	AS3,6
AS3.1	1					
AS3.2	0.236	1				
AS3,3	0.152	0.450	1			
AS3,4	0.260	0.709	0.437	1		
AS3,5	0.210	0.832	0.374	0.661	1	
AS3,6	0.132	0.415	0.842	0.342	0.272	1

La matrice de corrélation a pour déterminant (0.028), 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 XLSTAT sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV. 18 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (l'énergie consommée -1-).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.		0.697
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	4510.199
	ddl	5
	Signification de Bartlett	0

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

Tableau IV.19 : Variance totale expliquée (l'énergie consommée -1-).

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

	F1	F2
Valeur propre	3,15	1,18
Variabilité (%)	62,93	23,62
Cumulé %	62,93	86,55

Le tableau ci-dessus indique que les deux premiers axes suffisent à expliquer la majorité de la variance.

Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :

Tableau IV .20: Matrice de corrélation entre les CP' et les variables de l'énergie d'aération

Corrélation	CP'	
	1	2
AS3.1	0.354	-0.255
AS3.2	0.874	-0.292
AS3,3	0.753	0.590
AS3,4	0.809	-0.285
AS3,5	0.808	-0.409
AS3,6	0.688	0.672

On remarque tous les aérateurs sont corrélé avec le premier axe sauf celui le premier, cette dernière incohérence peut être due à la mauvaise qualité des données.

Cercle de corrélation

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

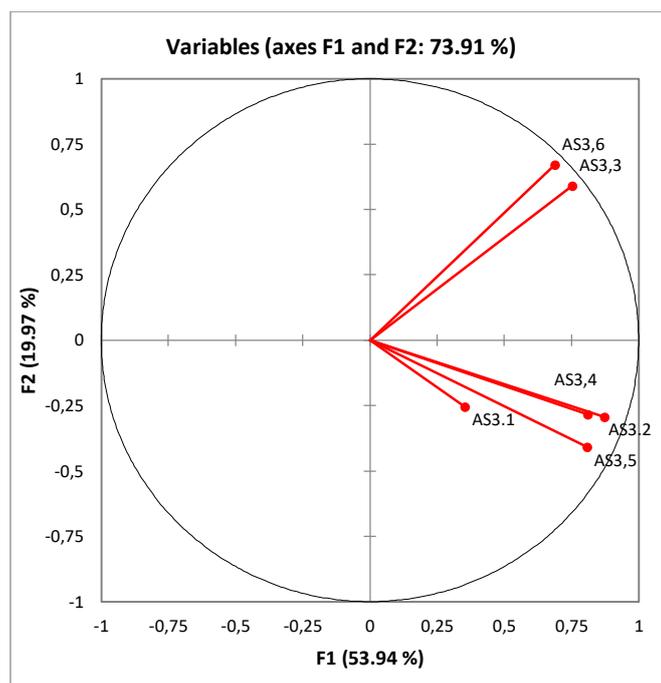


Figure IV.6 : Paramètres de l'énergie d'aération à l'échelle journalière [1× 2].

À partir du cercle de corrélation, formé par les axes principaux (1 et 2), on constate que les horaires de fonctionnement des regroupements respectives des bassins AS3,6 et AS3,3 et les bassins AS3,1,AS3,2,AS3,4 et AS3,5 sont symétriques par rapport au premier axe.

Le tableau la consommation énergétique partie-2-comporte 4 variables et 2411 observations.

Tableau IV .21: Matrice de corrélation des paramètres de partie énergétique -2-.

Variables	AS6.1	AS6.2	AS6.3	AS6.4
AS6.1	1			
AS6.2	0.823	1		
AS6.3	0.811	0.918	1	
AS6.4	0.817	0.918	0.934	1

La matrice de corrélation a pour déterminant (0.005), on déduit qu'elle n'est pas singulière.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

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

Tableau IV. 22 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (l'énergie consommée -2-).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.		0.87
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	7.635
	ddl	3
	Signification de Bartlett	0

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

Tableau IV.23 : Variance totale expliquée (l'énergie consommée -2-

	Valeur propre	Variabilité (%)	Cumulé %
F1	3,61	90.32	90.32

Le tableau suivant indique que le premier axe F1 permet d'expliquer 90.325 % de la variance totale du nuage de points. L'essentiel de l'information est fourni par l'axe F1.

Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :

Tableau IV .24 : Matrice de corrélation entre les CP' et les variables de stabilisateur d'aération.

Corrélation	CP'
	1
AS6.1	0.905
AS6.2	0.964
AS6.3	0.965

AS6.4	0.966
-------	-------

L'axe F1 présente une forte corrélation avec toutes les variables de stabilisateur d'aération

Cercle de corrélation

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

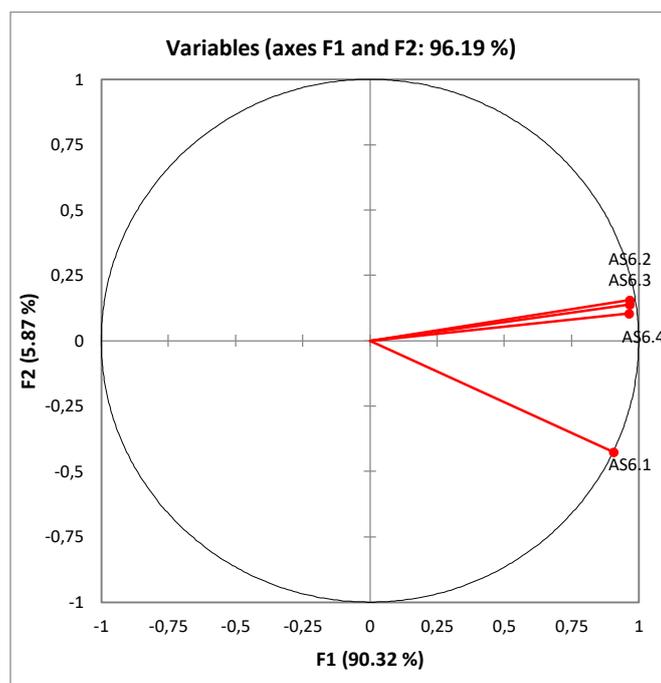


Figure IV.7 : Paramètres de stabilisateur d'aération à l'échelle journalière [1× 2].

À partir du cercle de corrélation, formé par les axes principaux (1 et 2), on a la même constatation que la première pour les horaires de fonctionnement des bassins AS6,1, AS6,2, AS6,3 et AS6,4.

IV.5.1.2 de l'ACP deux à deux :

Après avoir effectué le type d'ACP précédent, nous avons suggéré ce deuxième type pour mieux comprendre les corrélations entre les paramètres et obtenir un fiable résultat.

Mais on n'a pas constaté une information pertinente sauf celle la suivante :

Traitement des boues -1- et l'énergie d'aération

Le tableau du traitement des boues partie -1- et énergie d'aération comporte 14 variables et 1214 observations.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau IV .25: Matrice de corrélation des paramètres de Traitement des boues -1- et la partie énergétique

Variables	QBP *MES TDB(BP)	QBE *MES TDB(BE)	QBEP *MES TDB(BEP)	Qstab *MES TDB(stab)	AS3.1	AS3.2	AS3,3	AS3,4	AS3,5	AS3,6	AS6.1	AS6.2	AS6.3	AS6.4
QBP *MES TDB(BP)	1													
QBE *MES TDB(BE)	-0,079	1												
QBEP *MES TDB(BEP)	0,029	0,085	1											
Qstab *MES TDB(stab)	0,226	0,162	0,279	1										
AS3.1	0,035	-0,027	0,018	0,016	1									
AS3.2	0,135	-0,087	0,088	0,119	0,174	1								
AS3,3	0,039	0,112	0,054	0,045	0,066	0,329	1							
AS3,4	0,134	-0,097	0,078	0,086	0,171	0,669	0,281	1						
AS3,5	0,140	-0,057	0,051	0,091	0,149	0,741	0,207	0,611	1					
AS3,6	0,015	0,079	0,034	0,031	0,050	0,276	0,782	0,122	0,068	1				
AS6.1	0,107	-0,122	0,085	0,115	-0,010	0,357	0,167	0,300	0,258	0,123	1			
AS6.2	0,089	-0,191	0,079	0,092	-0,026	0,315	0,102	0,242	0,256	0,041	0,709	1		
AS6.3	0,120	-0,212	0,044	0,071	-0,026	0,320	0,120	0,266	0,250	0,065	0,698	0,939	1	
AS6.4	0,110	-0,209	0,046	0,089	-0,022	0,334	0,128	0,254	0,253	0,077	0,702	0,920	0,927	1

La matrice de corrélation a pour déterminant ($2.7 \cdot 10^{-4}$), 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 XLSTAT sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV. 26 : Test de sphéricité de Bartlett et K-M-O (Traitement des boues -1- et la partie énergétique).

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.	0.777	
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	22,362
	ddl	13
	Signification de Bartlett	0

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

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

Tableau IV.27 : Variance totale expliquée (Traitement des boues -1- et la partie énergétique).

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valeur propre	4,260	2,142	1,508	1,369	0,996	0,921
Variabilité (%)	30,427	15,299	10,771	9,781	7,111	6,575
Cumulé %	30,427	45,726	56,497	66,279	73,390	79,965

Le tableau ci-dessus indique que pour expliquer la majorité de la variance, il faut avoir l'information des 6 axes.

Matrice de corrélation entre les CP' et les variables :

Tableau IV .28 : Matrice de corrélation entre les CP' et les variables de (Traitement des boues -1- et la partie énergétique).

Corrélation	CP'					
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Débit boues primaires *MES TDB(BP) kg/j	0,210	0,078	-0,207	0,333	0,811	-0,083
Débit boues en excès *MES TDB(BE) kg/j	-0,211	0,264	0,257	0,406	-0,387	-0,161

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

Débit des boues épaissie *MES TDB(BEP) kg/j	0,126	0,116	0,017	0,642	-0,307	0,208
Débit des boues stab *MES TDB(stab) kg/j	0,172	0,132	-0,038	0,785	0,117	0,012
AS3.1	0,088	0,293	-0,274	-0,094	0,009	0,869
AS3.2	0,675	0,504	-0,293	-0,092	-0,094	-0,128
AS3,3	0,349	0,626	0,587	-0,113	0,105	0,016
AS3,4	0,585	0,457	-0,384	-0,096	-0,096	-0,124
AS3,5	0,575	0,441	-0,467	-0,082	-0,134	-0,212
AS3,6	0,252	0,573	0,676	-0,126	0,161	0,067
AS6.1	0,778	-0,236	0,130	0,051	-0,053	0,013
AS6.2	0,852	-0,427	0,127	0,022	-0,060	0,054
AS6.3	0,858	-0,414	0,131	-0,013	-0,011	0,045
AS6.4	0,858	-0,402	0,139	-0,004	-0,016	0,049

Cercle de corrélation

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

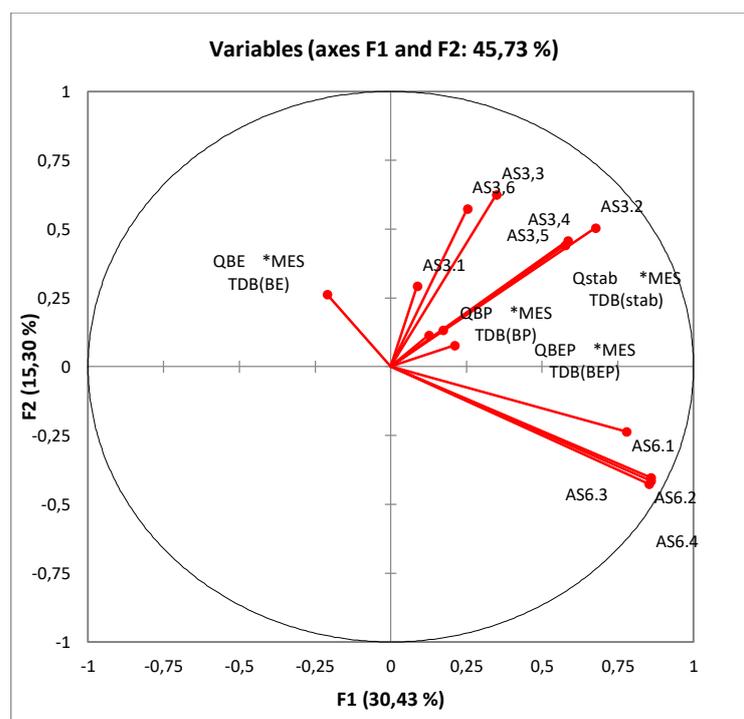


Figure IV.8 : Paramètres Traitement des boues -1- et la partie énergétique à l'échelle journalière [1× 2].

L'angle droit formé entre le groupe des heures de fonctionnement des bassins d'aération prolongés pour l'épuration des eaux usées et celles des stabilisateurs des boues donne l'indépendance de ces deux groupes car ils ne fonctionnent pas de la même manière.

La corrélation positive remarquée entre le groupe des heures de fonctionnement des bassins d'aération et l'ensemble des débits de boues combinés avec leurs MES peut être interprété par la nécessité de l'énergie prise par la biomasse lors de l'épuration des boues.

Une corrélation négative a été remarqué entre le débit des boues en excès sur l'axe F1 et le débit des boues primaires. Ce qui justifie l'obtention du débit des boues primaires à partir du celui des boues en excès.

IV.6 Conclusion

À travers les résultats obtenus en analysant les différents cercles de corrélation, et la matrice de corrélation entre CP' et les variables, ainsi que les variations expliquées, on a pu établir les constatations suivantes :

-La corrélation entre les MES et la DCO et l'axe F1, caractérise une pollution organique au niveau de la STEP ce qui signifie qu'on a affaire à une effluent urbain.

-La décantation gravitaire est due à la forte pollution aggravée par l'eau résiduaire ce qui permet de générer une quantité considérable de boues. Parmi elles, on a les boues primaires, qui sont générées à partir des boues en excès.

-Le fonctionnement de la centrifugeuse nécessite une consommation minimale du polymère ce qui contribue à la production de la matière sèche et donc le pourcentage la siccité.

-La corrélation du groupe des heures de fonctionnement des bassins d'aération et l'ensemble des débits de boues combinés avec leurs MES donne l'information de la nécessité de l'énergie prise par la biomasse lors de l'épuration des boues.

-La boue de cette station étant considérée comme boue à siccité moyenne à caractère solide.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Une fois arrivées sur une Station d'Épuration, les eaux usées subissent différentes étapes de traitement pour devenir une eau épurée apte à être accueillie par le milieu naturel sans impact environnemental.

Les premières étapes de traitement mettent en jeu des dispositifs physiques faisant intervenir des grilles, pour retenir les particules de grosse taille. Les éléments plus fins (sables) sont ensuite piégés par décantation.

La consommation de la pollution par les bactéries va engendrer une épuration des eaux mais également un accroissement de la quantité de bactéries. La quantité excédentaire de bactéries épuratrices également nommée « biomasse », doit être extraite, sous forme de boue liquide.

Des procédés de concentration et de déshydratation des boues liquides vont conduire à la production d'une boue pâteuse contenant des éléments fertilisants.

La production de ces boues constitue d'ailleurs un bon indicateur de l'efficacité du fonctionnement de la station.

Le principal objectif du traitement des boues en station d'épuration est d'en réduire le volume pour limiter les quantités à stocker (voire à épandre), et de les stabiliser pour en améliorer les caractéristiques physiques (amélioration de leur tenue en tas) et arrêter la biodégradation dont elles sont le lieu.

Si les infrastructures ou les caractéristiques des boues ne permettent pas cette valorisation, elles sont placées en centre de stockage.

C'est dans l'optique de répondre à la problématique de traitement des boues qu'a été initié ce projet de fin d'études.

En effet, nous avons appliqué une technique d'analyse des données, en l'occurrence, l'Analyse en Composantes Principales (ACP), qui sert à réduire les variables du phénomène et identifier les corrélations qui existent entre les différents paramètres de mesure lors du traitement des boues, pour essayer de déceler d'éventuels dysfonctionnements dans les différentes étapes de la filière Boue d'une STEP, et d'évaluer ses performances épuratoires.

Pour cela, on a considéré la station de Béni Messous comme cas d'étude, vu que celle-ci, par exemple, a reçu en moyenne 33.400 m³/jour en 2013 et a produit 8.800 tonnes de boues à 22.9 % de siccité, avec un rendement d'élimination de la pollution de 95%.

Ce travail a été fait avec le logiciel XLSTAT. Version 2016.02.28451.

On a entamé notre diagnostic, par une analyse statistique des données, qui est un préalable à toute étude fiable. Celle-ci nous a permis de constater que les paramètres de pollution organique de l'eau épurée, étaient satisfaisants et répondaient aux objectifs de la station en termes de normes de rejets. Seuls quelques paramètres de pollution ne respectaient pas les normes, et c'est le problème majeur de l'ensemble des procédés par boues activées.

Après avoir éliminé tous les paramètres dont le nombre de valeurs était faible ou contenait beaucoup de valeurs manquantes, ou non concomitantes, on a remarqué que le nombre d'observations retenues ne pouvait pas faire l'objet d'une analyse fiable et ne pouvait pas représenter la série de données mesurées.

Pour y remédier, on a appliqué une ACP sur des groupes de paramètres représentant chaque étape du traitement, et dont les dates des valeurs observées devaient être semblables.

La première ACP a été faite sur les paramètres des eaux brutes, les résultats obtenus montrent que les variables DCO, MES brutes sont bien corrélées avec la première composante et forment un groupe commun caractérisant la pollution organique, alors que le pH et la conductivité n'apporte pas de nouvelles informations car ils sont proches de l'origine.

La deuxième ACP a été appliquée aux paramètres du traitement primaire, et montre qu'il y'a une indépendance entre le volume de boue activée décantée V30 et les MES des deux bassins, indiquant que la concentration en MES n'a aucune influence sur le phénomène de décantation (prévue pour des boues), cela favorise la décantation par gravité, mais pas la suspension solide à se déposer.

Lors de la troisième ACP, on s'est intéressé aux paramètres du traitement des boues et on a remarqué :

- Une interdépendance entre les MES des boues épaissies et stabilisées, et une indépendance de MES des boues en excès et primaires avec les variables citées ci-dessus.
- Plus l'eau est chargée en MES, plus la quantité de boues à extraire est plus grande.
- Tous les types de MES sont de même nature
- Les débits des boues épaissies, en excès, et stabilisées se produisent à partir du débit de boues primaires d'où la proportion inverse entre eux.

- Lors du processus de déshydratation d'une certaine quantité, le fonctionnement de la centrifugeuse nécessite une consommation de polymère ce qui contribue à la production de la matière sèche (% de la siccité).
- La quantité d'oxygène fournie par les aérateurs s'ajuste en fonction du volume de boues à traiter.

La quatrième et dernière application de l'ACP s'est focalisée sur les paramètres de la partie énergétique. On a remarqué :

- Que tous les aérateurs se comportent de la même manière, sauf le premier, cette incohérence est probablement due à la mauvaise qualité des données.

Afin de déceler d'éventuelles relations pouvant exister entre les paramètres des différentes phases du traitement de l'eau, on s'est proposé d'appliquer l'ACP non pas à chaque phase de traitement, mais de combiner des phases deux à deux entre elles, ce choix a été fait sur la base du suivi du processus de fonctionnement de la station d'épuration pour la filière boue. Par conséquent, on a effectué les ACP suivantes :

- ACP pour : les paramètres des eaux brutes + les paramètres du le traitement primaire ;
- ACP pour : les paramètres du traitement primaire + les paramètres du traitement des boues ;
- ACP pour : les paramètres du traitement des boues + la partie énergétique ;

Malheureusement, les résultats trouvés dans cette 2eme partie de l'analyse, n'ont apporté aucune autre information pertinente au diagnostic de la filière Boue sauf pour le cas Traitement des boues 1 et l'énergie d'aération ou l'on a remarqué :

- L'indépendance entre les groupes des bassins d'aération prolongés pour l'épuration des eaux usées et celui des stabilisateurs des boues, car ils ne fonctionnent pas de la même manière.
- Le regroupement entre le groupe des bassins d'aération et l'ensemble des débits de boues combinés avec leurs MES peut être interprétée par la nécessité de l'énergie prise par la biomasse lors de l'épuration des boues.
- Que la relation qui existe entre les débits des boues en excès et des boues primaires, est dû à la génération du débit des boues en excès à partir des boues primaires.

En outre, on a pu constater que la décantation gravitaire, est due à la forte pollution aggravée par l'eau résiduaire, ce qui permet de générer une quantité considérable de boues, qui a besoin pour son déshydratation d'un dosage du polymère ajouté, et une consommation énergétique dans les bassins d'aération.

Enfin, il paraît que la boue recueillie est moyennement sèche car la siccité est moyenne. Cela est dû soit au mauvais dosage en polymère soit au mauvais fonctionnement de la centrifugeuse.

Comme perspective, on peut dire que les futures travaux devront se concentrer sur la modélisation du phénomène .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1- ANRED. La valorisation agricole des boues de la station d'épuration. Cahier technique, page-63,1982.
- 2- AMEUR,Slim .Contribution de l'analyse multivariée à l'étude de la régression et la classification supervisée des données environnementales. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master : génie électrique. Msila : Université de Msila-Faculté de technologie, page-100, 2012.
- 3- ATI,Sabrina. Étude de l'effet des boues résiduelles sur sol cultivé : Dynamique du phosphore et son utilisation en zone semi – aride. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister : sciences agronomiques. Batna : Université El Hadj Lakhdar,page-63, 2010.
- 4- AZOUZZI, Marouane., AIT YOUNS, Omar. Valorisation des boues de la station d'épuration de la ville de Marrakech. Mémoire de fin d'études : Eau & environnement. Marrakech : Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences et Techniques Département des Sciences de la Terre, Laboratoire Géoressources, page-75, 2012.
- 5- BAIRA « étude corrélatrice des paramètres physico-chimiques pour le contrôle et la surveillance des eaux propres » Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master, Université de M'sila, Juin2011.
- 6- BALAMANE. Abdelilah « Sélection D'attributs par dimension fractale », Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en informatique.Université de Québec, décembre 2007.
- 7- BASSOMPIERRE . Procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote à la validation de modèles. Thèse Doctorat. Institut National Polytechnique De Grenoble, page25-42, 2007.
- 8- BECHAC J.P., AL, Traitement des eaux usées. Paris, France, Edition Eyrolles, page-281. 1984
- 9- BELAID, Djamel. Boues des stations d'épuration de l'or brun pour nos champs. Article, 2012.
- 10-BELGHAOUTI, Tayeb. Caractérisation physico-chimique et valorisation d'une boue de station d'épuration. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister :

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- hydraulique. Oran : université des sciences de la technologie-Mohamed Boudiaf-Faculté d'architecture et Génie civil, page-135, 2013.
- 11-BENNACEUR, Sofiane, Optimisation de la consommation énergétique du processus d'épuration par boues activées par le Gradient Boosting cas de la STEP Béni Messous. Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat : hydraulique. Alger : Ecole Nationale Polytechnique, page-84, 2019,
- 12-BERMAD, Abdelmalek. 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. Alger : École Nationale Polytechnique, 2004.
- 13-BOUAISSA, Mohamed. Traitement des boues de la station d'épuration d'Alhoceima. Projet de fin d'étude. Faculté des sciences et technologies. mohamed premier oujda. 2015
- 14-BOUDOUKHA. BELHADJ. BENKADJA. Impact d'une pollution anthropique et d'une contamination naturelle sur la qualité des eaux du barrage de Zit Enba : Est algérien, La houille Blanche n°4, page-34-41,2012.
- 15-BOUYEYRON,Charles. Modélisation et classification des données de grande dimension application à l'analyse d'images. Thèse de Doctorat : mathématiques appliquées. Université joseph fourier – grenoble 1, page-183, 2006.
- 16-CHIH-HAUNG., YI-FONG. Adsorption of a cationic dye (méthylène blue) onto spent activated clay. Journal of Hazardous Materials, page355–362, 2006.
- 17- DUBY, ROBIN « Analyse en Composantes Principales » université Paris, juillet 2006.
- 18-CLAIRE, Durand, L'analyse factorielle et l'analyse de fidélité, livre : cours et mémoires gratuits.page10, juillet 2005
- 19-CLEVERSON, VON SPERLING.,FERNANDES, Sludge treatment and disposal. Article, page-258, 2007.
- 20-DAGNELIE . Statistique théorique et appliquée. Tome 2 : Inférence statistique à une et à deux dimensions. Bruxelles, De Boeck, page736, 2006.
- 21-DIDIER, Busca , STEPHANIE ,Toutain. Analyse factorielle simple en sociologie : Méthodes d'interprétation et études de cas. Livre, page-272, 2009.
- 22-DUCHENE ., Les systèmes de traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités. Documentation technique du FNDAE. n° 09, page 8-9,1990.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

23-FERHANI , Ramdane. Valorisation agricole des boues résiduelles de la STEP de Béni Messous Wilaya d'Alger. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master : génie des procédés. Blida : Université de Blida 1-Faculté de technologie, page-60, 2014.

24-Le traitement des boues d'épuration Publié le 06/09/2010 consulté le 07/10/2020

Disponible sur le site :

<https://www.actu-environnement.com/ae/dossiers/traitement-des-boues/traitement-boues-epuration.php4->

25-GAID, L'épuration biologique des eaux usées urbaines. Edition OPU, Alger, Tome 1, page-261,1984.

26-GUYARD, Arnaud. Régression linéaire. Cours de statistique, Université de Rennes 2, 2012-2013.

27-HAMIDI. Ouiza. Conception d'un code de calcul pour le dimensionnement des stations d'épuration à boues activées. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master : hydraulique. Blida : Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique, page-64, 2017.

28-HAMRICHE.Amel. 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 pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état : hydraulique. Alger : Ecole Nationale Polytechnique, 1993.

29-J.P. Canler - J.M. Perret.La réduction de boues par voie biologique par le procédé MycET- Document de Synthèse .2013

30-JU-ZHEN., LI-MING. Removal of methylene blue dye from aqueous solution by adsorption onto sodium humate/polyacrylamide/clay hybrid hydrogels, Bioresource Technology, page-2182–2186, 2008.

31-LAREDJ, Nesrine. Application de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour le diagnostic du fonctionnement de la station d'épuration de Boumerdes. Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat : hydraulique. Alger : Ecole Nationale Polytechnique,page-129,2013.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

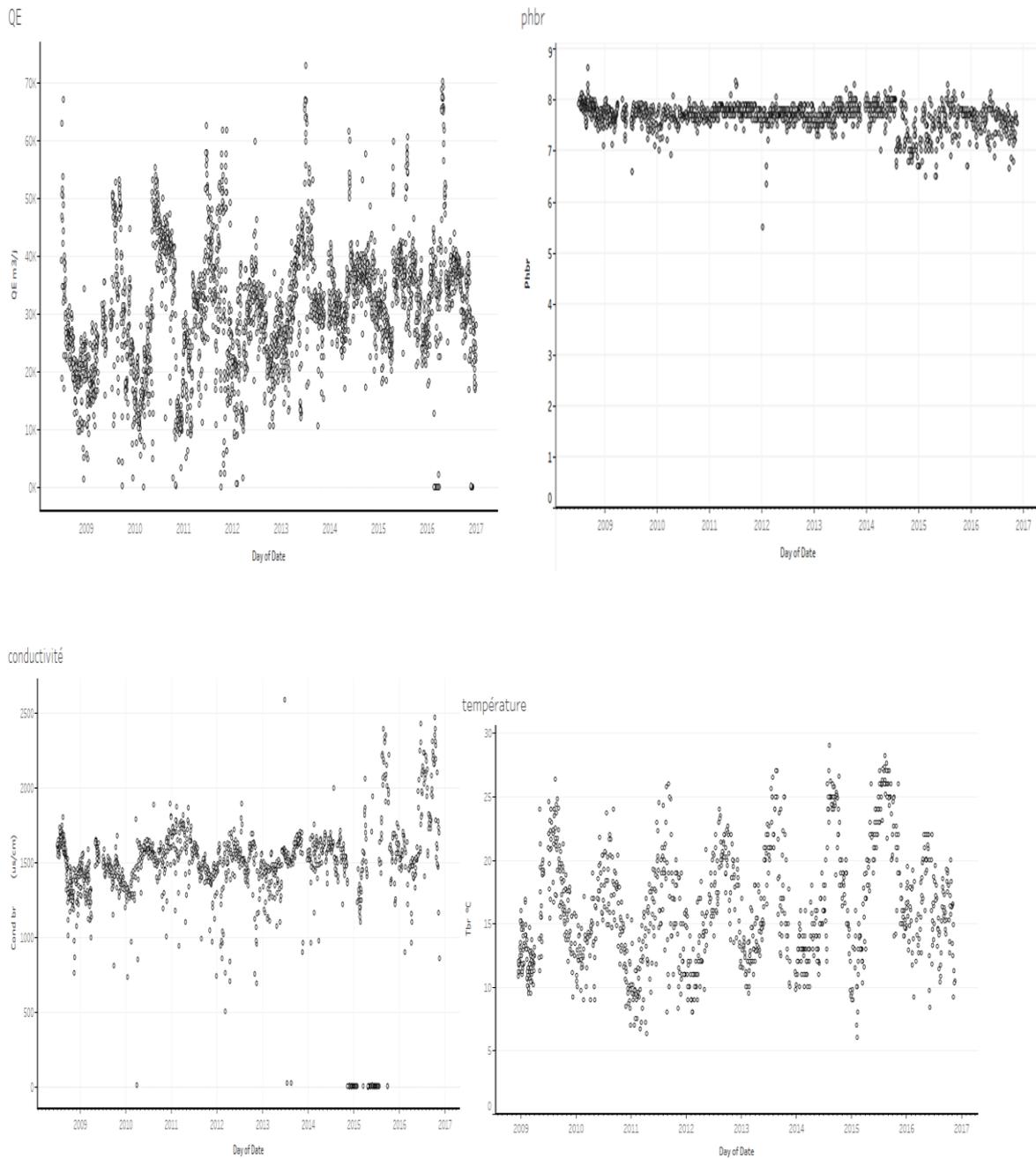
- 32-LELANDAIS. Analyse comparative, intra et inter espèces, de transcriptases de levures. Thèse Doctorat, Université Paris Diderot, 2005.
- 33-LEVESQUE L., Traitement des boues de station de production d'eau potable. Association française pour l'étude des eaux, page-68 ,1982.
- 34-LUDOVIC., LE MOAL. L'Analyse en Composantes Principales. L'ACP sous SPSS, 2002.
- 35-MALOUSSE , Oussama. Elaboration des indicateurs de performance d'une Station d'Épuration à boues activées : Station d'Elrabta – Jijel. Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat : hydraulique. Alger : Ecole Nationale Polytechnique, page- 140 ,2016,.
- 36-MELIANI, Zouhir., SERIKMA. Khaled , Caractérisation des paramètres de décision pour le diagnostic des STEP par l'Analyse en Composantes Principales (ACP) Cas des STEP de Boumerdes et Tipaza. Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat : hydraulique. Alger : Ecole Nationale Polytechnique, page-176 , 2014
- 37-NAKIB. Cours traitement des eaux résiduaires. Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2018.
- 38-NEKILI, Aida. Digestion anaérobie mésophile des boues liquide de premier bassin de la station de lagunage de la ville d'Adrar (sud-ouest de l'Algérie): optimisation de la concentration du substrat. Projet de fin d'étude .2015.
- 39-Office National d'Assainissement. Salon International des énergies renouvelables, des propres et du développement durable, 2017.
- Disponible sous l'adresse :
- <https://www.ona-dz.org/Nouvel-article,2599.html>.
- 40-Interprétez le cercle des corrélations, [En ligne], consulté le (10/09/2020)
- Disponible sous l'adresse :
- openclassrooms.com/fr/courses/4525281-realisez-une-analyse-exploratoire-de-donnees/5278723-interpretez-le-cercle-des-corrrelations
- 41-PAUCHET, RAOUL, ROUSTAN. Gestion de l'eau (Réf. Internet 42234). Article page-115.
- 42-PASSAVANT, Traitement des eaux et des boues Technique pour L'homme et la nature Précis d'écologie végétate. Edition Masson Paris, 1994

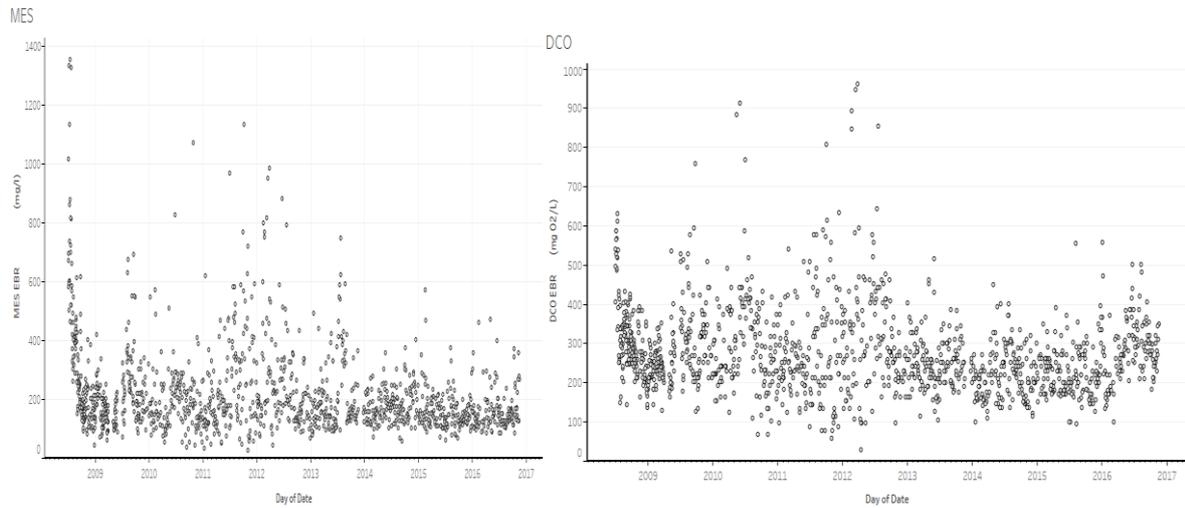
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 43-RAMDANI, Nadia. Contribution à l'étude des boues urbaines de la station d'épuration des eaux usées résiduaires-effet sur la fertilité d'un sol sableux. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister : sciences de l'environnement et climatologie. Oran : université des sciences de la technologie, page-154, 2007.
- 44-SBIH, Etude de la biodegradation des boues résiduaires de station d'épuration : effet pour la biodisponibilité du phosphore pour le végétal. Mémoire DAA. INAPG et INRA Grignon, page-39, 1990.
- 45-SOUAR, Brahim. Clustérisation par KPI pour l'optimisation du procédé d'épuration par boue activée. Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat : hydraulique. Alger : Ecole Nationale Polytechnique, page-124, 2017.
- 46-VADEMICUM, Références à l'usage des inspecteurs chargés de la protection de l'environnement. Edition ministère de l'intérieur, 1990.
- 47-ZEKAD ..Etude de la dynamique de la teneur en métaux dans un sol brun lessivé après utilisation des résidus urbains. Thèse de doctorat pp. 31-66. 1982
- 48-ZEMOURI, Contribution à la surveillance des systèmes de production à l'aide des réseaux de neurones dynamique, Application à l'e-maintenance. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 2003.

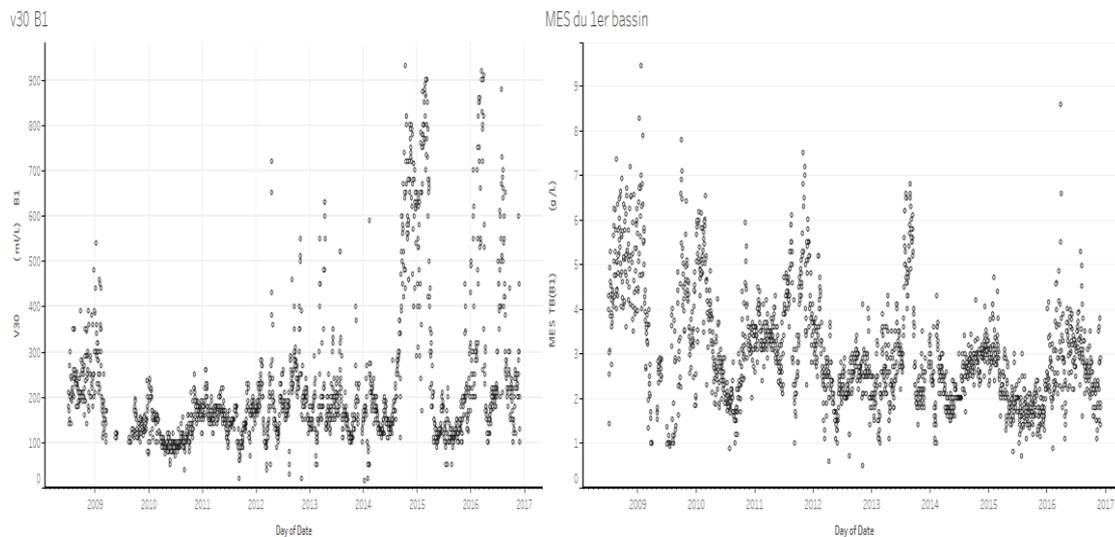
Liste des annexes

Annexe.1 : représentations graphiques d'évolution des paramètres des eaux brutes

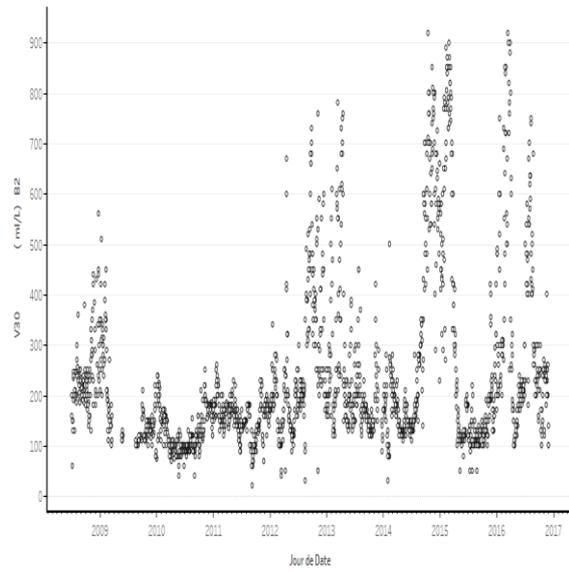




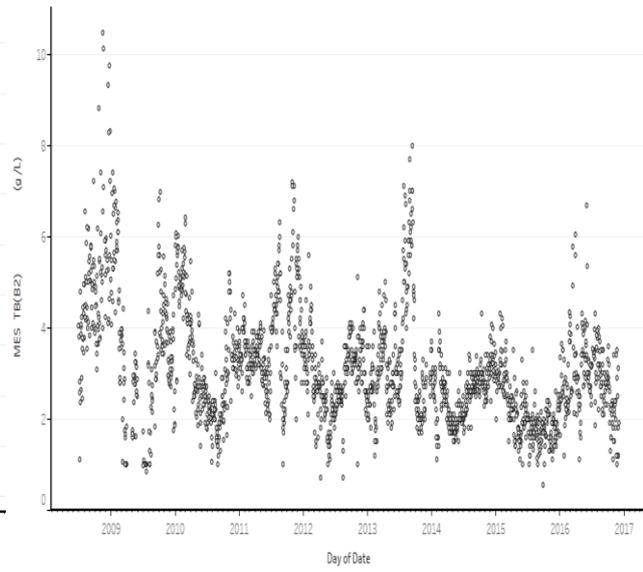
Annexe.2.représentations graphiques d'évolution des paramètres du traitement primaires



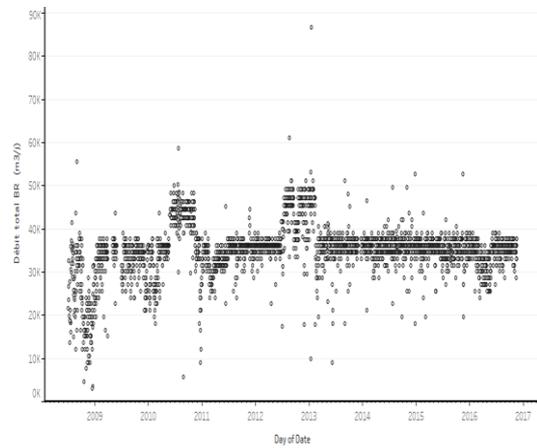
V30 B2



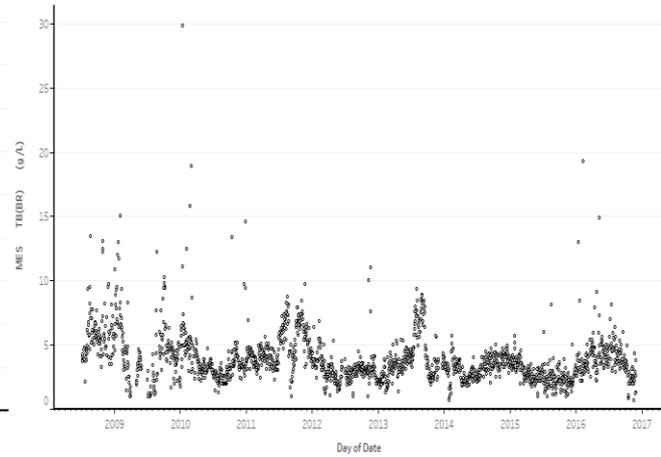
MES.B2



débit de boues recirculés

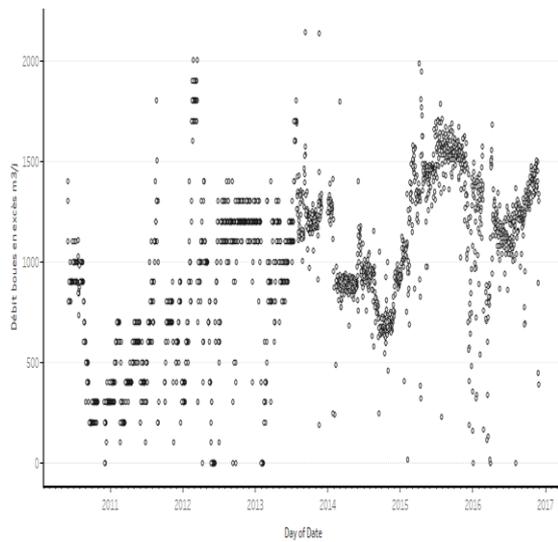


MES TB(BR)

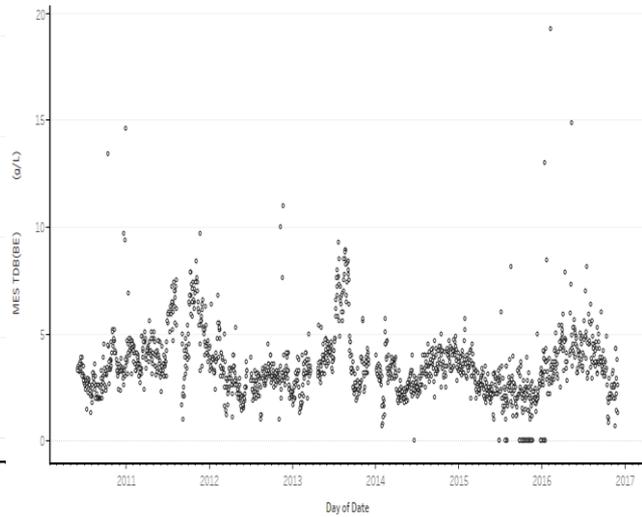


Annexe.3.répresentations graphiques d'évolution des paramètres du traitement des boues.

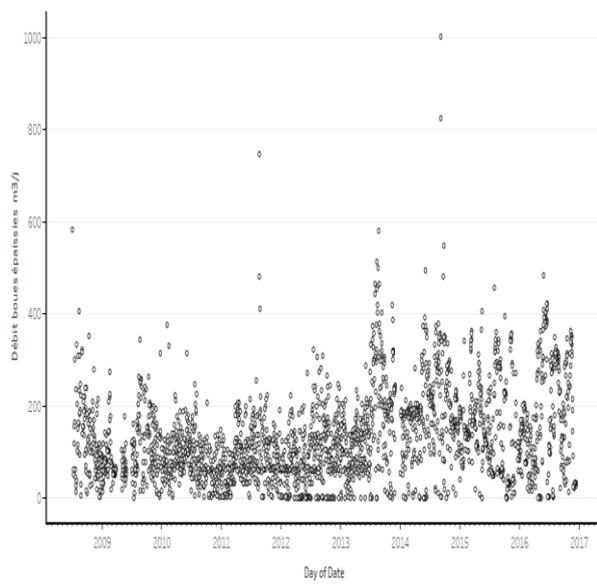
Débit boues en excès



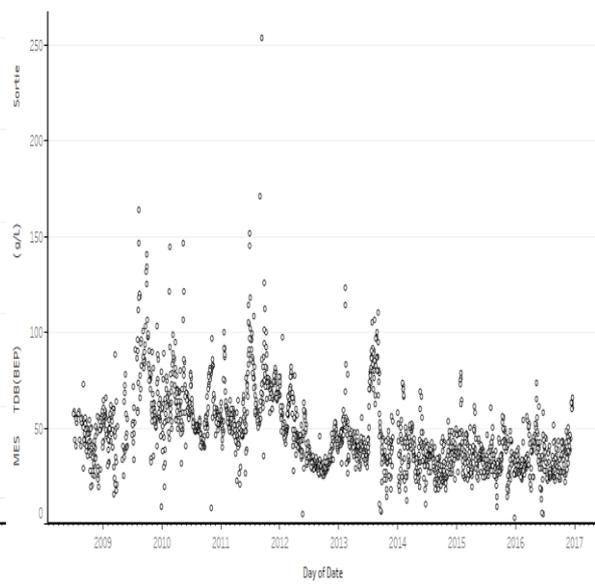
MES (boue en excès)



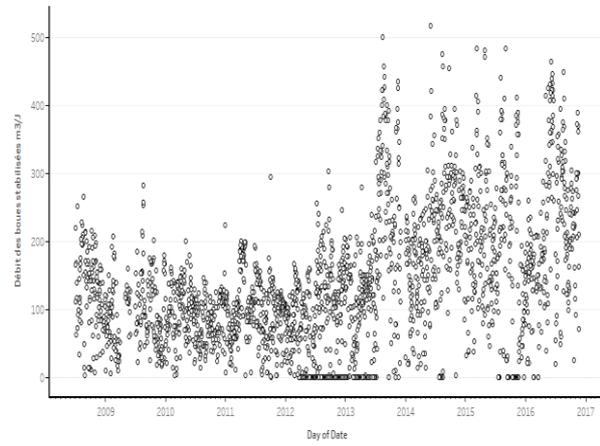
Débit boues épaissies



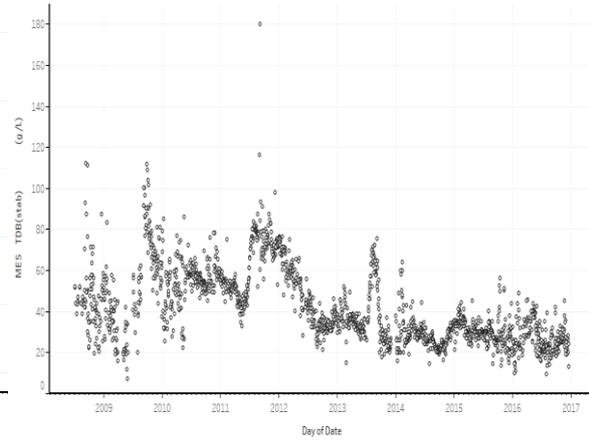
MES (boue épaissie)



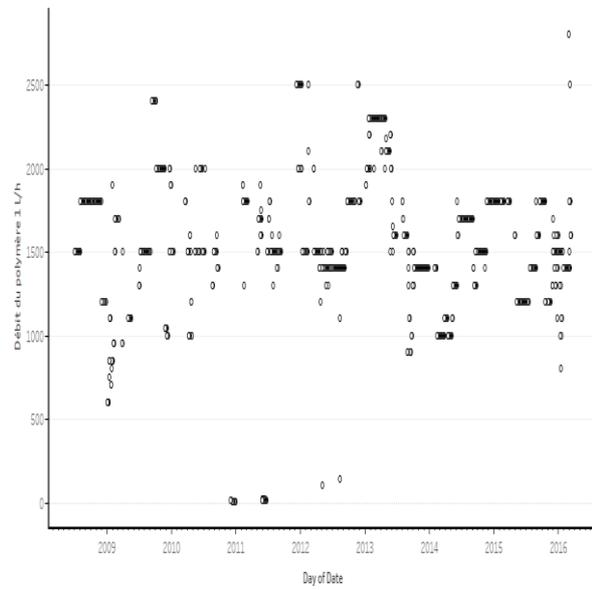
Débit des boues stabilisées



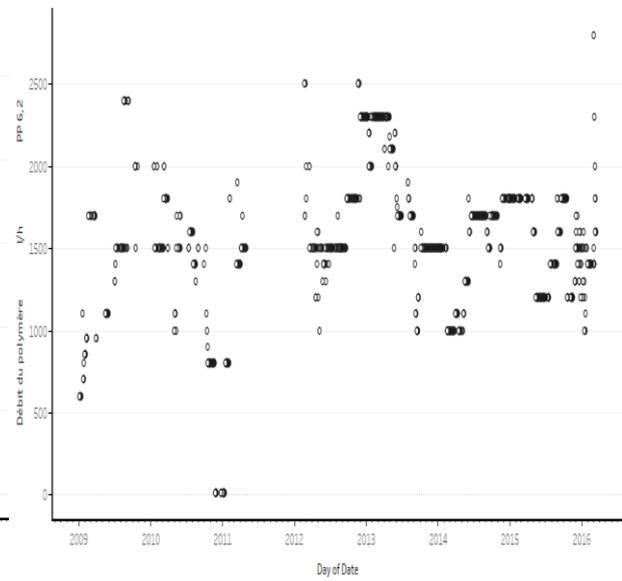
MES (boues stabilisées)



Débit du polymère 1 L/h

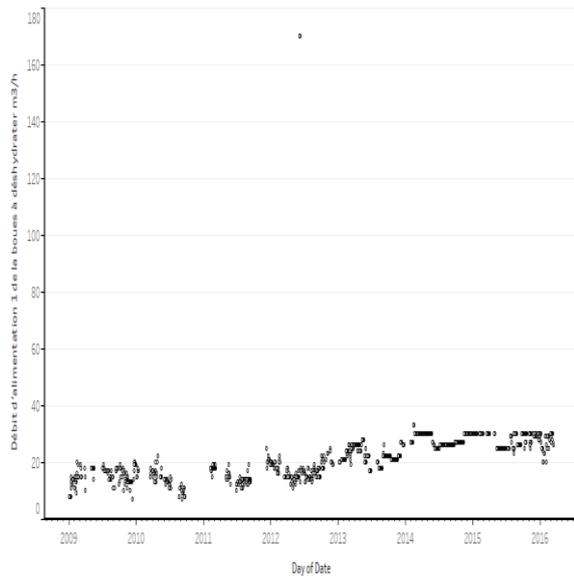


Débit du polymère 1/h PP 6,2

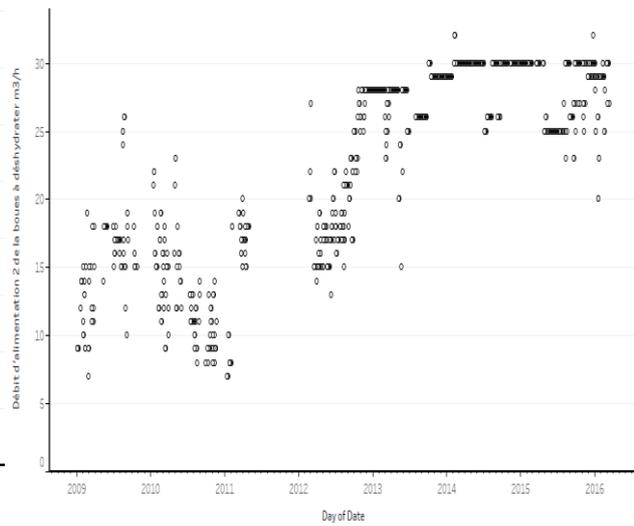


LISTES DES ANNEXES

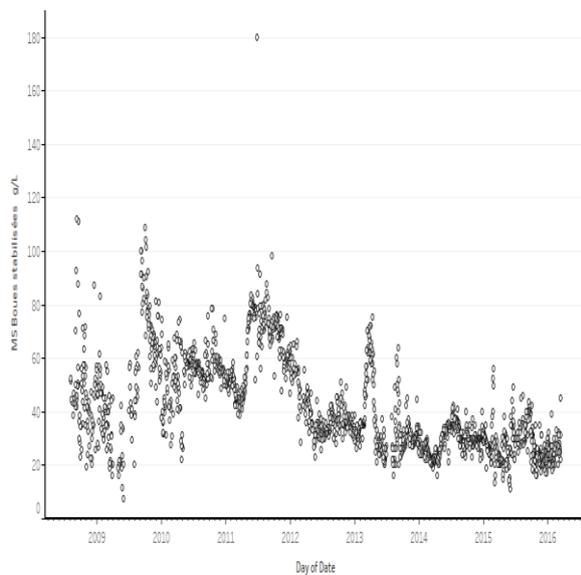
Débit d'alimentation 1 de la boues à déshydrater m3/h



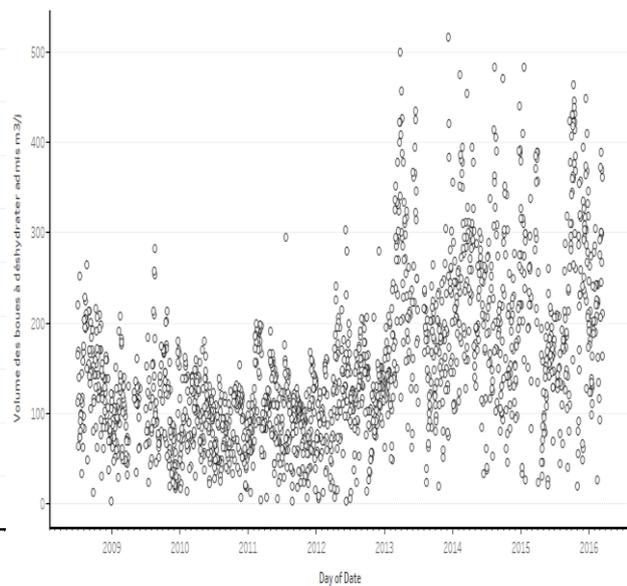
Débit d'alimentation 2 de la boues à déshydrater m3/h



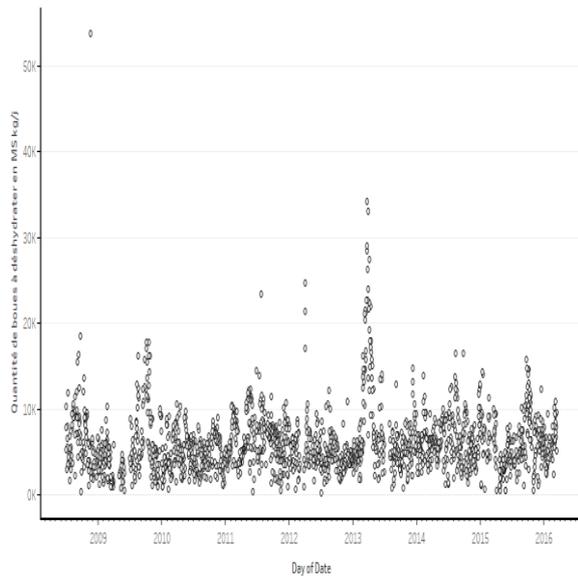
MS Boues stabilisées



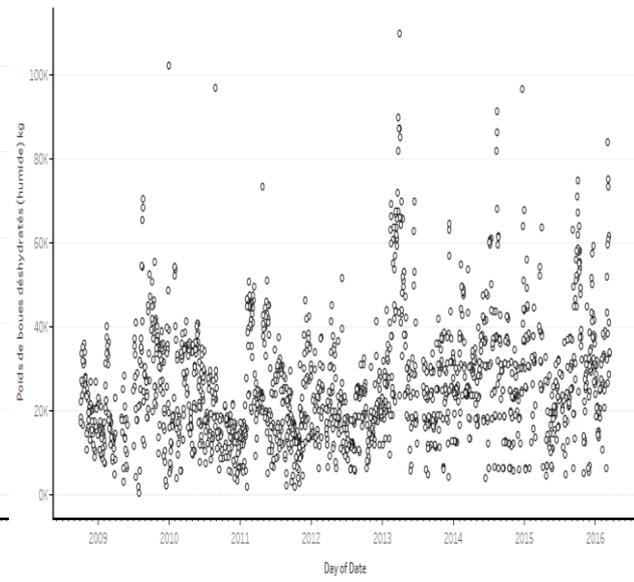
Volume des boues à déshydrater admis m3/j



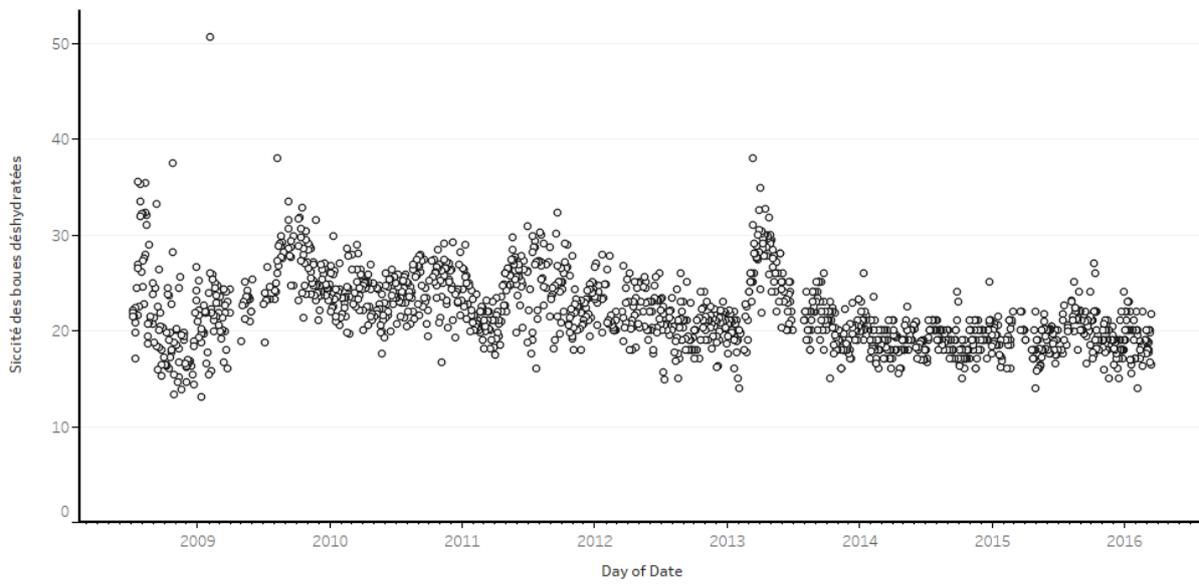
Quantité de boues à déshydrater



Poids de boues déshydratés (humide) kg

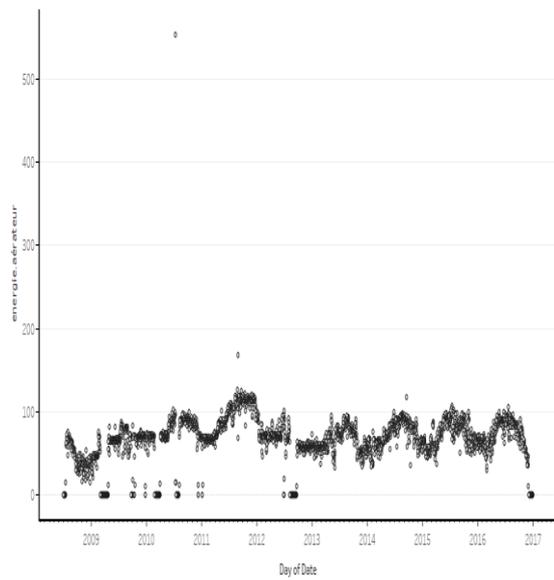


siccité



Annexe.4.représentations graphiques d'évolution énergétique

Energie (aérateur)



aération (stabilisation)

