

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



**Département Hydraulique**

Mémoire de projet de fin d'études

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

**Elaboration des indicateurs de performance  
d'une Station d'Epuration à boues activées :  
Station d'Elrabta - Jijel**

**Réalisé par :**

MALOUSSI Oussama

**Dirigé par :**

Pr. A.BERMAD

**Composition du jury :**

**Président** Mr. E.BENYOUSSEF

Professeur ENP

**Promoteur** Mr. A.BERMAD

Professeur ENP

**Examineurs** Mr. A.LEFKIR

Docteur ENSTP

Mme. A.HAMRICHE

Doctorante ENP

**Juin 2016**

## DEDICACES

*Je dédie ce travail*

*A mes très chers parents, qui m'ont tout donné, et qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui.*

*A mon frère Mouad ainsi qu'à mes sœurs Asma, Sara et Abir qui ont toujours été présents pour moi.*

*A mes amis Hawari, Hakim, Ghafour, Hichem avec lesquels j'ai passé des moments inoubliables.*

*A mes camarades et ma clique Boka, Raid, ELhadj, P'ti, Roki, Midou.*

*A toute ma famille, tous mes amis et à toute personne à qui je tiens.*

*Oussama*

## REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercie Allah le tout puissant qui m'a donné le courage, la volonté et la patience pour accomplir ce travail.

J'adresse également mes vifs remerciements à toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Je souhaite tout d'abord remercier mon encadreur le professeur **A.BERMAD**, qui a accepté de m'encadrer avec patience durant la réalisation de ce travail de fin d'études. Je tiens à le remercier aussi pour sa générosité en matière de formation. Ses conseils nous ont été très précieux.

Je remercie aussi Monsieur **A.LEFKIR**, Enseignant à l'ENSTP, pour m'avoir apporté une aide précieuse dans l'élaboration de ce mémoire, ainsi que pour ses conseils et ses encouragements tout au long de ces derniers mois.

Je tiens également à remercier Mme **A.HAMRICHE**, de m'avoir aidé tout au long de la préparation de mon mémoire avec ses compétences dans le domaine.

J'exprime toute ma gratitude à Monsieur **E.BENYOUSSEF** qui nous a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire et également aux membres du jury, qui m'ont honoré en acceptant de juger ce travail.

Enfin, un grand remerciement destiné aux enseignants et enseignantes, qui ont contribué à ma formation, depuis le cycle primaire jusqu'au cursus universitaire.

## ملخص :

محطة التصفية تسمح بمعالجة المياه المستعملة مهما كان أصلها. الهدف هو جمع هذه المياه ثم تصفيتها قبل التمكن من صرفها في البيئة الطبيعية دون خطر تلويث المحيط. محطة التصفية بالتالي أداة لتحسين نوعية المياه و التي تتطلب إدارة دقيقة و صارمة. في الواقع، هناك حاجة للتقنيين و العمال المهرة للحصول على فعالية في التصفية بثمن مقبول.

العمل الحالي يهدف إلى إعداد مؤشرات أداء لمحطة تصفية مياه بالطينة النشيطة و الذي سيساعد على التسير، الإدارة و الرصد و إعطاء أحكام على تشغيل المحطة.

سيتم تجسيد المشروع للمحطة بالاعتماد على منهجين احصائيين، "عملية التحليل الهرمي" جنباً إلى جنب مع "تحليل المكون الرئيسي" سيتم برمجة واجهة للحساب النهائي بهدف تسهيل العمل.

**الكلمات الرئيسية:** مؤشرات الأداء، محطة تصفية بالطينة النشيطة، الرابطة-جيجل، تحليل المكون الرئيسي، عملية التحليل الهرمي، تعليم الأداء.

## Abstract :

A wastewater treatment plant can treat wastewater whatever their origins. The goal is to collect the water and then purify it before discharging it into the natural environment without any risk of pollution. A wastewater treatment plant is a tool to improve the quality of water; it requires precise and rigorous management. Indeed, technicians and skilled workers are needed to obtain a treatment efficacy with an acceptable energy cost.

This work aims to develop performance indicators for an activated sludge STEP, which will assist in the management, control, and surveillance and judgment of operation of this STEP.

The project will concern Jijel's WWTP, based on two statistical approaches: "The analytic hierarchy process (AHP)" combined with "The principal component analysis (PCA)." A final calculation interface will be developed in order to make the work easier.

**Keywords:** Performance Indicators, WWTP activated sludge, Elrabta-Jijel, principal component analysis (PCA), the analytic hierarchy process (AHP), Performance Rating.

## Résumé :

Une station d'épuration permet de traiter les eaux usées quelque soient leurs origines. Le but est de collecter ces eaux, puis de les épurer avant de pouvoir les rejeter dans le milieu naturel sans risquer de polluer l'environnement. Une station d'épuration est donc un outil d'amélioration de la qualité de l'eau qui demande un pilotage précis et rigoureux. En effet, des techniciens et agents compétents sont nécessaires afin d'obtenir une efficacité d'épuration avec un coût d'énergie acceptable.

Le présent travail a pour objectif l'élaboration d'indicateurs de performance pour une STEP à boue activée, ce qui va aider à la gestion, au contrôle, et à la surveillance et jugement du fonctionnement de cette STEP.

Le projet sera réalisé pour la STEP de Jijel en se basant sur deux approches statistiques : « La méthode hiérarchique analytique (AHP) » combinée à « L'analyses en composantes principales (ACP) ». Une interface de calcul finale sera programmée dans le but de faciliter le travail.

**Mots clé :** Indicateurs de performance, Station d'épuration à boue activée, Elrabta-Jijel, Analyse en composante principale (ACP), La méthode hiérarchique analytique (AHP), Notation de performance.

## Sommaire

Liste des figures .....	9
Liste des tableaux .....	11
Introduction générale .....	14

### CHAPITRE I : Pollution de l'eau

<b>I.1. INTRODUCTION .....</b>	<b>17</b>
<b>I.1.1. Définition .....</b>	<b>17</b>
<b>I.2. ORIGINE DES EAUX USEES .....</b>	<b>17</b>
<b>I.2.1. Origine industrielle .....</b>	<b>18</b>
<b>I.2.2. Origine domestique .....</b>	<b>18</b>
<b>I.2.3. Origine agricole .....</b>	<b>18</b>
<b>I.2.4. Eaux de ruissellement .....</b>	<b>19</b>
<b>I.3. CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES .....</b>	<b>19</b>
<b>I.3.1. Paramètres physico chimiques .....</b>	<b>19</b>
I.3.1. 1. La température .....	19
I.3.1.2. PH (potentiel d'hydrogène) .....	20
I.3.1.3. La conductivité .....	20
I.3.1.4. L'oxygène dissous .....	21
<b>I.3.2. Paramètres de la pollution particulière .....</b>	<b>21</b>
I.3.2.1. La matière en suspension (MES) .....	21
I.3.2.2. La turbidité .....	22
I.3.2.3. La matières volatiles sèches (MVS) .....	22
<b>I.3.3. Paramètres de la pollution organique globale .....</b>	<b>23</b>
I.3.3.1. La demande Biochimique en Oxygène (DBO5) .....	23
I.3.3.2. La demande Chimique en Oxygène (DCO) .....	23
<b>I.3.4. Paramètres de la pollution dissoute .....</b>	<b>24</b>
I.3.4.1. Les différentes formes d'azote .....	24
I.3.4.2. Les composés phosphorés ....	24
<b>I.3.5. Paramètres de la pollution toxique .....</b>	<b>25</b>
I.3.5.1. Les Métaux lourds .....	25
I.3.5.2. Tensioactifs .....	26
I.3.5.3. Les hydrocarbures .....	26
<b>I.3.6. Les paramètres microbiologiques .....</b>	<b>26</b>
I.3.6. 1. Bactéries .....	26
I.3.6.2. Virus .....	27
I.3.6. 3. Les protozoaires .....	27

<b>I.4. COLLECTE DES EAUX USEES .....</b>	<b>27</b>
<b>I.4.1. Réseau unitaire .....</b>	<b>28</b>
<b>I.4.2. Réseau séparatif .....</b>	<b>28</b>
<b>I.5. CONCLUSION .....</b>	<b>29</b>

## **CHAPITRE II : Principe de fonctionnement d'une station d'épuration à boue activée**

<b>II.1. PRINCIPE .....</b>	<b>31</b>
<b>II.2. PROCEDE D'EPURATION .....</b>	<b>32</b>
<b>II.2.1. Le prétraitement .....</b>	<b>32</b>
II.2.1.1. Le dégrillage .....	32
II.2.1.2. Le dessablage .....	32
II.2.1.3. Le dégraissage-déshuilage .....	33
<b>II.2.2. Le traitement primaire .....</b>	<b>34</b>
II.2.2.1. Procédé de décantation physique .....	34
II.2.2.2. Procédé de décantation avec réactifs chimiques .....	35
<b>II.2.3. Le traitement secondaire .....</b>	<b>35</b>
II.2.3.1. Le traitement physico-chimique .....	36
II.2.3.2. Le traitement biologique .....	36
<b>II.2.4. Le traitement tertiaire .....</b>	<b>38</b>
II.2.4.1. Le traitement de l'azote .....	39
II.2.4.2. Elimination du phosphore .....	42
II.2.4.3. La désinfection .....	43
II.2.4.4. La filtration .....	43
<b>II.2.5. Le traitement de boue .....</b>	<b>44</b>
<b>II.3. CONCLUSION .....</b>	<b>46</b>

## **CHAPITRE III : Théories de l'analyse en composantes principales et de la méthode de hiérarchie analytique**

<b>III.1. INTRODUCTION .....</b>	<b>48</b>
<b>III.2. L'ANALYSE EN COMPOSANTE PRINCIPALE .....</b>	<b>48</b>
<b>III.2.2. Les méthodes factorielles .....</b>	<b>48</b>
<b>III.2.3. Définition et intérêt de l'ACP .....</b>	<b>49</b>
<b>III.2.4. La méthode d'ACP en quelques mots .....</b>	<b>50</b>
<b>III.2.5. Les données sont-elles en factorisation? .....</b>	<b>53</b>

<b>III.3. LA METHODE DE HIERARCHIE ANALYTIQUE .....</b>	<b>54</b>
<b>III.3.1. L'aide à la décision .....</b>	<b>54</b>
<b>III.3.2. L'aide à la décision multicritère .....</b>	<b>54</b>
<b>III.3.3. La méthode de hiérarchie analytique (AHP) .....</b>	<b>54</b>
<b>III.3.4. Pourquoi l'AHP ? .....</b>	<b>55</b>
<b>III.3.5. La démarche .....</b>	<b>56</b>
III.3.5.1. Décomposer le problème complexe en une structure Hiérarchique .....	56
III.3.5.2. Comparaison par paires des éléments .....	57
III.3.5.3. Déterminer les priorités .....	59
III.3.5.4. Evaluer la cohérence des jugements .....	60
III.3.5.5. Calculer le « poids » final .....	61
<b>III.4. CONCLUSION .....</b>	<b>61</b>

## **CHAPITRE IV : Présentation de la STEP de Jijel et critique des données**

<b>IV.1. PRESENTATION DE LA WILAYA DE JIJEL .....</b>	<b>63</b>
<b>IV.2. OFFICE NATIONAL DE L'ASSAINISSEMENT (ONA) .....</b>	<b>63</b>
<b>IV.3. VATEch WABAG .....</b>	<b>63</b>
<b>IV.4. LOCALISATION DE LA STEP D'ELRABTA .....</b>	<b>63</b>
<b>IV.5. CONSTRUCTION ET CHOIX D'IMPLANTATION DE LA STEP .....</b>	<b>65</b>
<b>IV.6. CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA STEP DE JIJEL .....</b>	<b>65</b>
<b>IV.7. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA STEP .....</b>	<b>66</b>
<b>IV.7. 1. Charge hydraulique .....</b>	<b>66</b>
<b>IV.7. 2. Charge polluante .....</b>	<b>66</b>
<b>IV.8. COLLECTE DES EAUX .....</b>	<b>67</b>
<b>IV.9. PROCEDE DE L'EPURATION .....</b>	<b>68</b>
<b>IV.10. PROCEDE DE TRAITEMENT ET DESCRIPTION DES OUVRAGES DE LA STATION .....</b>	<b>69</b>
<b>IV.10.1. Déversoir d'orage .....</b>	<b>69</b>
<b>IV.10.2. Station de relevage .....</b>	<b>69</b>
<b>IV.10.3. Le prétraitement .....</b>	<b>70</b>
IV.10.3.1. Le Dégrillage .....	70
IV.10.3.2. Le dessablage-déshuilage .....	71
<b>IV.10.4. Le traitement biologique .....</b>	<b>72</b>
IV.10.4. 1. Ouvrage de répartition (puits de contact) .....	72
IV.10.4. 2. Bassin d'aération .....	73
<b>IV.10.5. Décanteur secondaire .....</b>	<b>74</b>
<b>IV.10.6. Désinfection (bassin de chloration) .....</b>	<b>74</b>
<b>IV.10.7. Le traitement des boues .....</b>	<b>75</b>

IV.10.7.1. Recirculation des boues .....	75
IV.10.7.2. Evacuation des boues en excès .....	75
IV.10.7.3. Epaissement des boues .....	75
IV.10.7.4. Déshydratation des boues .....	76
<b>IV.10.8. Laboratoire d'analyse de la STEP .....</b>	<b>78</b>
IV.10.8.1. Méthode potentiométrique .....	79
IV.10.8.2. Méthode gravimétrique .....	79
IV.10.8.3. Méthode colorimétrique .....	80
IV.10.8.4. Méthode volumétrique .....	80
IV.10.8.5. Méthode manométrique (DB05) .....	81
<b>IV.11. CRITIQUE DES DONNEES .....</b>	<b>82</b>
<b>IV.11.1. Représentation graphique des variations journalières .....</b>	<b>83</b>
IV.11.1.1 Evolution du débit .....	83
IV.11.1.2 Evolution des paramètres physico-chimiques .....	84
IV.11.1.3 Evolution des paramètres de la pollution organique .....	88
IV.11.1.4. Evolution des paramètres de la pollution azotée et phosphorée .....	89
IV.11.1.5. Evolution de la consommation d'énergie .....	93
<b>IV.11.2. Détermination des valeurs singulières .....</b>	<b>94</b>
IV.11.2.1. Test des horsains de Grubbs et Beck .....	94
IV.11.2.2. Résultat du test pour la STEP de Jijel .....	95
<b>IV.11.3. Conclusion .....</b>	<b>96</b>

## **CHAPITRE V : Elaboration des indicateurs de performance pour la STEP de Jijel**

<b>V.1 INTRODUCTION .....</b>	<b>101</b>
<b>V.2. APPLICATION DE L'ACP SUR LES PARAMETRE DE LA POLLUTION D'ENTREE (EAU BRUTE) .....</b>	<b>101</b>
<b>V.2.1. Pas de temps mensuel .....</b>	<b>101</b>
V.2.1.1. Présentation des données .....	101
V.2.1.2. Résultats de l'ACP .....	102
<b>V.2.2. Pas de temps journalier .....</b>	<b>103</b>
V.2.2.1. Présentation des données .....	103
V.2.2.2. Résultats de l'ACP .....	103
<b>V.2.3. CONCLUSION .....</b>	<b>107</b>
<b>V.3. INDICATEUR DE PERFORMANCE .....</b>	<b>107</b>
<b>V.3.1. Introduction .....</b>	<b>107</b>
<b>V.3.2. Application de l'ACP .....</b>	<b>108</b>
V.3.2.1. Application de l'ACP entre l'énergie et la pollution rabattue .....	109



V.3.2.2. Application de l'ACP entre l'énergie et les débits de boue recirculée et en excès .....	112
V.3.2.3. Conclusion .....	114
<b>V.3.3. Application de l'AHP .....</b>	<b>114</b>
V.3.3.1. Construction de la hiérarchie .....	114
V.3.3.2. Matrice de jugement .....	116
<b>V.3.4. Le système de notation .....</b>	<b>123</b>
V.3.4.1. Notation de la consommation de l'énergie .....	123
V.3.4.2. Notation du respect des normes de rejet .....	127
<b>V.3.5. Calcul de la note finale de l'indicateur de la STEP de Jijel .....</b>	<b>128</b>
<b>V.3.6. L'application sur 9 expériences .....</b>	<b>128</b>
<b>V.3.7. Interface de calcul proposée pour la STEP de Jijel .....</b>	<b>131</b>
<b>V.4. DISCUSSION DES RESULTATS FINALS DE LA STEP DE JIJEL .....</b>	<b>132</b>
<b>V.5. CONCLUSION .....</b>	<b>134</b>
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>135</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>137</b>

### Liste des figures

#### CHAPITRE I : Pollution de l'eau

<b>Figure I.1 : Schéma d'un réseau séparatif et unitaire .....</b>	<b>16</b>
--	-----------

#### CHAPITRE II : Principe de fonctionnement d'une station d'épuration à boue activée

<b>Figure II.1 : Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées .....</b>	<b>18</b>
<b>Figure II.2 : Dégrilleur .....</b>	<b>19</b>
<b>Figure II.3 : Déssableur-déshuileur couloir .....</b>	<b>21</b>
<b>Figure II.4 : Bassin d'aération .....</b>	<b>24</b>

<b>Figure II.5</b> : Décanteur secondaire (clarificateur) .....	25
<b>Figure II.6</b> : Synoptique d'une boue activée - aération prolongée .....	25
<b>Figure II.7</b> : Table d'égouttage .....	32
<b>Figure II.8</b> : Déshydratation des boues .....	32

### **CHAPITRE III : Théories de l'analyse en composantes principales et de la méthode de hiérarchie analytique**

<b>Figure III.1</b> : Structure hiérarchique d'un problème selon la méthode AHP .....	44
---	----

### **CHAPITRE IV : Présentation de la STEP de Jijel et critique des données**

<b>Figure IV.1</b> : Image satellitaire de la STEP de Jijel .....	51
<b>Figure IV.2</b> : Photo aérienne de la STEP de Jijel .....	51
<b>Figure IV.3</b> : Schéma synoptique du système d'assainissement de la ville de Jijel .....	54
<b>Figure IV.4</b> : Schéma des procédés de traitement au niveau de la STEP .....	55
<b>Figure IV.5</b> : Déversoir d'orage muni d'une vanne de régulation de débit .....	56
<b>Figure IV.6</b> : Station de relevage .....	57
<b>Figure IV.7</b> : dégrilleur grossier .....	58
<b>Figure IV.8</b> : Dégrilleur fin .....	58
<b>Figure IV.9</b> : Dessableur-déshuileur .....	59
<b>Figure IV.10</b> : Ouvrage de répartition (puits de contact) .....	59
<b>Figure IV.11</b> : Bassin d'aération .....	60
<b>Figure IV.12</b> : Décanteur secondaire .....	61
<b>Figure IV.13</b> : Bassin de chloration .....	62
<b>Figure IV.14</b> : Epaisseur .....	63
<b>Figure IV.15</b> : System de pompage pour l'aspiration des boues en excès .....	63
<b>Figure IV.16</b> : Les différentes étapes de la déshydratation mécanique .....	64
<b>Figure IV.17</b> : Lits de séchage .....	65
<b>Figure IV.18</b> : 1) PH mètre 2) Conductivimètre .....	66
<b>Figure IV.19</b> : Pompe de filtration .....	66
<b>Figure IV.20</b> : Spectrophotomètre .....	67
<b>Figure IV.21</b> : Eprouvette du test .....	68
<b>Figure IV.22</b> : Appareil « DBO trak » et réfrigérateur .....	68
<b>Figure IV.23</b> : Evolution journalière de débit à l'entrée .....	70
<b>Figure IV.24</b> : Evolution journalière de débit à la sortie .....	71
<b>Figure IV.25</b> : Evolution journalière du Ph à l'entrée .....	71

<b>Figure IV.26</b> : Evolution journalière du Ph à la sortie .....	72
<b>Figure IV.27</b> : Evolution journalière de la conductivité à l'entrée .....	73
<b>Figure IV.28</b> : Evolution journalière de la conductivité à la sortie .....	73
<b>Figure IV.29</b> : Evolution journalière de la température à l'entrée .....	74
<b>Figure IV.30</b> : Evolution journalière de la température à la sortie .....	74
<b>Figure IV.31</b> : Evolution journalière des MES à l'entrée .....	75
<b>Figure IV.32</b> : Evolution journalière des MES à la sortie .....	75
<b>Figure IV.33</b> : Evolution journalière de la DBO5 à l'entrée .....	76
<b>Figure IV.34</b> : Evolution journalière de la DBO5 à la sortie .....	77
<b>Figure IV.35</b> : Evolution journalière de la DCO à l'entrée .....	77
<b>Figure IV.36</b> : Evolution journalière de la DCO à la sortie .....	78
<b>Figure IV.37</b> : Evolution journalière de l'NH4-N à l'entrée .....	79
<b>Figure IV.38</b> : Evolution journalière de l'NH4-N à la sortie .....	79
<b>Figure IV.39</b> : Evolution journalière de l'NO3-N à l'entrée .....	80
<b>Figure IV.40</b> : Evolution journalière de l'NO3-N à la sortie .....	80
<b>Figure IV.41</b> : Evolution journalière du Ptot à l'entrée .....	81
<b>Figure IV.42</b> : Evolution journalière du Ptot à la sortie .....	81
<b>Figure IV.43</b> : Evolution journalière du PO4-P à l'entrée .....	82
<b>Figure IV.44</b> : Evolution journalière du PO4-P à la sortie .....	82
<b>Figure IV.45</b> : Evolution journalière de la consommation d'énergie .....	83

## **CHAPITRE V : Elaboration des indicateurs de performance pour la STEP de Jijel**

<b>Figure V.1</b> : Cercle de corrélation n° 1 .....	92
<b>Figure V.2</b> : Cercle de corrélation n° 2 .....	93
<b>Figure V.3</b> : Cercle de corrélation n° 3 .....	93
<b>Figure V.4</b> : Cercle de corrélation n° 1 et 2 .....	98
<b>Figure V.5</b> : Corrélation de chaque paramètre avec le 1 <sup>er</sup> axe .....	98
<b>Figure V.6</b> : Cercle de corrélation n° 1 et 2 .....	101
<b>Figure V.7</b> : Organigramme présentant les différents niveaux de la hiérarchie .....	103
<b>Figure V.8</b> : Résultat d'exécution du programme sur Matlab .....	109
<b>Figure V.9</b> : Evolution des MES comparée à la norme .....	111
<b>Figure V.10</b> : Evolution de la DCO comparée à la norme .....	112
<b>Figure V.11</b> : Evolution de la DBO5 comparée à la norme .....	112
<b>Figure V.12</b> : Evolution de l'NH4-N comparée à la norme .....	113
<b>Figure V.13</b> : Evolution du PO4-P comparée à la norme .....	114
<b>Figure V.14</b> : Résultats d'essai sur l'interface pour la 1 <sup>ère</sup> et la 9 <sup>ème</sup> observation .....	119
<b>Figure V.15</b> : Variation des indicateurs de performance durant la période étudiée .....	121

## Liste des tableaux

### CHAPITRE I : Pollution de l'eau

<b>Tableau I.1</b> : Normes de rejet des paramètres physico-chimiques .....	<b>8</b>
<b>Tableau I.2</b> : Normes de rejet des paramètres de la pollution particulaire .....	<b>9</b>
<b>Tableau I.3</b> : Normes de rejet des paramètres de la pollution organique globale .....	<b>10</b>
<b>Tableau I.4</b> : Normes de rejet des différents paramètres azotés .....	<b>11</b>
<b>Tableau I.5</b> : Normes de rejet des différents paramètres phosphorés .....	<b>12</b>

### CHAPITRE III : Théories de l'analyse en composantes principales et de la méthode de hiérarchie analytique

<b>Tableau III.1</b> : Avantages et inconvénients de la méthode AHP .....	<b>42</b>
<b>Tableau III.2</b> : Echelle de jugement .....	<b>45</b>
<b>Tableau III.3</b> : La matrice de jugement relatif à un niveau .....	<b>46</b>
<b>Tableau III.4</b> : Indice aléatoire élaboré par Saaty .....	<b>47</b>

### CHAPITRE IV : Présentation de la STEP de Jijel et critique des données

<b>Tableau IV.1</b> : Caractéristiques générales de la STEP d'Elrabta-Jijel .....	<b>52</b>
<b>Tableau IV.2</b> : Valeurs nominales de la Charge hydraulique de la STEP d'Elrabta-Jijel .....	<b>53</b>
<b>Tableau IV.3</b> : Caractéristiques de l'eau brute .....	<b>53</b>
<b>Tableau IV.4</b> : Filières de traitement de la STEP .....	<b>55</b>
<b>Tableau IV.5</b> : Dimensions du bassin d'aération .....	<b>60</b>
<b>Tableau IV.6</b> : Les paramètres disponibles et leurs Statistiques descriptives.....	<b>69</b>
<b>Tableau IV.7</b> : Résultats du test de Grubbs et Beck pour la STEP de Jijel .....	<b>85</b>

### CHAPITRE V : Elaboration des indicateurs de performance pour la STEP de Jijel

<b>Tableau V.1</b> : Codification des variables (Eau brute) .....	<b>89</b>
---	-----------

<b>Tableau V.2</b> : Matrice de corrélation .....	<b>89</b>
<b>Tableau V.3</b> : Les résultats du test de sphéricité de Bartlett.....	<b>89</b>
<b>Tableau V.4</b> : Matrice de corrélation .....	<b>90</b>
<b>Tableau V.5</b> : Les résultats du test de sphéricité de Bartlett.....	<b>90</b>
<b>Tableau V.6</b> : Les résultats du test KMO .....	<b>91</b>
<b>Tableau V.7</b> : Valeurs propres .....	<b>91</b>
<b>Tableau V.8</b> : Corrélations entre les variables et les facteurs .....	<b>91</b>
<b>Tableau V.9</b> : Paramètres de pollution disponibles .....	<b>94</b>
<b>Tableau V.10</b> : Les paramètres de pollution ciblés pour l'énergie .....	<b>95</b>
<b>Tableau V.11</b> : Matrice de corrélation .....	<b>96</b>
<b>Tableau V.12</b> : Les résultats du test de sphéricité de Bartlett.....	<b>96</b>
<b>Tableau V.13</b> : Les résultats du test KMO.....	<b>97</b>
<b>Tableau V.14</b> : Valeurs propres .....	<b>97</b>
<b>Tableau V.15</b> : Corrélations entre les variables et les facteurs .....	<b>97</b>
<b>Tableau V.16</b> : Ordre d'importance des paramètres .....	<b>99</b>
<b>Tableau V.17</b> : Matrice de corrélation .....	<b>99</b>
<b>Tableau V.18</b> : résultats du test de sphéricité de Bartlett.....	<b>100</b>
<b>Tableau V.19</b> : résultats du test KMO.....	<b>100</b>
<b>Tableau V.20</b> : Valeurs propres .....	<b>100</b>
<b>Tableau V.21</b> : Corrélation entre les variables et les facteurs .....	<b>100</b>
<b>Tableau V.22</b> : Paramètre concernant chaque critère du niveau 1 .....	<b>102</b>
<b>Tableau V.23</b> : Matrice de jugement relative au critère de la consommation de l'énergie .....	<b>104</b>
<b>Tableau V.24</b> : Pondération des paramètres de l'énergie .....	<b>104</b>
<b>Tableau V.25</b> : Matrice de jugement relative au critère du respect des normes de rejet .....	<b>105</b>
<b>Tableau V.26</b> : Pondération des paramètres de rejet .....	<b>106</b>
<b>Tableau V.27</b> : Notation proposée pour les indicateurs élaborés .....	<b>110</b>
<b>Tableau V.28</b> : Intervalles de notation des MES .....	<b>111</b>
<b>Tableau V.29</b> : Intervalles de notation de la DCO .....	<b>112</b>
<b>Tableau V.30</b> : Intervalles de notation de la DBO5 .....	<b>113</b>
<b>Tableau V.31</b> : Intervalles de notation de l'NH4-N .....	<b>113</b>
<b>Tableau V.32</b> : Intervalles de notation du PO4-P .....	<b>114</b>
<b>Tableau V.33</b> : Intervalles de notation des paramètres de rejet .....	<b>115</b>
<b>Tableau V.34</b> : Tableau des paramètres mesurés pour les 9 observations .....	<b>116</b>
<b>Tableau V.35</b> : Tableau des résultats de calcul des notes des 9 observations .....	<b>116</b>
<b>Tableau V.36</b> : Calcul des notes finales de la STEP de Jijel (indicateurs) .....	<b>117</b>
<b>Tableau V.37</b> : Calcul des notes finales de la STEP de Jijel (indicateurs de l'énergie favorisé) .....	<b>118</b>
<b>Tableau V.38</b> : Résultats de la STEP l'échelle annuelle .....	<b>119</b>
<b>Tableau V.39</b> : Résultats de la STEP à l'échelle mensuelle .....	<b>120</b>

## INTRODUCTION GENERALE

De nos jours, les eaux usées doivent être épurées avant d'être renvoyées vers la mer et les cours d'eau. A ce stade, ces eaux doivent répondre à des normes de qualité fixées par les autorités responsables de la gestion des ressources en eau.

La gestion optimale d'une station d'épuration et la maîtrise des procédés et des étapes de traitement reste un but et un objectif à atteindre afin de protéger au mieux l'environnement et la santé publique et pourquoi pas réutiliser cette eau, avec le moindre de coût possible.

Les responsables et gérants des stations d'épurations ont toujours cherché à améliorer les performances du fonctionnement de ces dernières en fixant à chaque fois des objectifs tout en essayant de les atteindre. L'aspect économique (coût) ainsi que l'aspect environnemental (Rejet dans le milieu naturel) doivent être maîtrisés afin d'assurer une meilleure performance de la STEP.

L'objectif de notre travail est l'élaboration des indicateurs de performance pour la STEP de Jijel dans le but d'aider les gérants de celle-ci dans le jugement du fonctionnement et des prises de décisions afin qu'ils puissent atteindre les objectifs les plus performants.

Le premier chapitre est consacré aux différentes origines des eaux usées, à leur collecte, à leur caractéristique et aux paramètres qui entrent en jeu dans leur analyse.

Le deuxième chapitre présente le principe de fonctionnement d'une station à boue activée et les étapes de traitement d'une part, et les normes de rejet à respecter d'une autre part.

Le troisième chapitre explique les bases mathématiques des deux méthodes utilisées dans ce mémoire, à savoir, l'analyse en composantes principales (ACP) ainsi que la méthode d'hierarchie analytique (AHP).

Le quatrième chapitre a été consacré à la présentation de la STEP de Jijel et aux critiques et à l'interprétation des données recueillies.

L'élaboration et l'application de nos indicateurs de performance ont été expliqué dans le cinquième chapitre, on trouvera ainsi les différents résultats avec leurs interprétations en ce qui concerne la STEP de Jijel.

Enfin, une conclusion générale, dans laquelle on a résumé notre travail de recherche, tout en rappelant les méthodes suivies et l'objectif principal de cette étude.

## **CHAPITRE I : Pollution de l'eau**



## I.1. INTRODUCTION

En parlant de l'eau usée il semble important d'avoir une idée sur sa définition, son origine et ses caractéristiques, ainsi que les différentes méthodes utilisées pour son épuration.

### I.1.1. DEFINITION

Selon REJSEK (2002), les eaux résiduaires urbaines (ERU) ou eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine. Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques, industriels ou agricoles. [20]

Ramade (2000) définit les eaux usées comme étant des eaux ayant été utilisées pour des usages domestiques, industriels ou même agricole, constituant donc un effluent pollué et qui sont rejetées dans un émissaire d'égout. [19]

## I.2. ORIGINE DES EAUX USEES

L'eau, ainsi collectée dans un réseau d'égout, apparaît comme un liquide trouble, généralement grisâtre, contenant des matières en suspension d'origine minérale et organique à des teneurs extrêmement variables. En plus des eaux de pluies, les eaux résiduaires urbaines sont principalement d'origine domestique mais peuvent contenir des eaux résiduaires d'origine industrielle d'extrême diversité. Donc les eaux résiduaires urbaines (ERU) sont constituées par : [21]

- Des eaux résiduaires ou eaux usées d'origine domestique, industrielle ou agricole.
- Des eaux pluviales ou de ruissellement urbain.

Ces eaux usées quelle que soit leurs origines, sont généralement chargées en éléments indésirables, qui, selon leur quantité et selon leur composition, représentent un danger réel pour les milieux récepteurs. L'élimination de ces éléments exige de concevoir une chaîne de traitement. Toutefois, avant de concevoir tout procédé d'épuration, il est impératif de caractériser l'effluent à traiter, quantitativement et qualitativement.

### **I.2.1. ORIGINE INDUSTRIEL**

On comprend en entendant eaux résiduaires industrielles, toutes les eaux qui sont en principe rejetées par l'usine dans le milieu extérieur, après avoir contribué à la fabrication, au nettoyage, au transport, au refroidissement, etc., en excluant généralement les eaux pluviales sauf si elles sont polluées par des eaux de ruissellement suite aux lessivages des toitures d'usines à l'origine d'une forte pollution atmosphérique (cimenteries, centrales thermiques, etc.) ou des sites industriels en activité ou à l'abandon, contaminés par des substances diverses (composés azotés, hydrocarbures, sels métalliques). [22]

D'une façon générale, les eaux industrielles véhiculent souvent des produits chimiques toxiques (arsenic, acide sulfurique, du cyanure et divers métaux lourds). Elles posent à l'heure actuelle de multiples problèmes par leurs risques toxiques chez tous les êtres vivants, elles se différencient en fonction de l'utilisation de l'eau dans l'usine.

### **I.2.2. ORIGINE DOMESTIQUE**

Qui comprennent les effluents provenant de ménages ainsi que de bâtiments publics et d'autres installations, y compris les eaux de voirie pour le nettoyage des rues et pour l'extinction des incendies.

Elles constituent l'essentiel de la pollution et se composent : des eaux de cuisines qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes des substances alimentaires à base de matières organiques (glucides, lipides, protéines) et des produits détergents : des eaux de buanderie contenant principalement des détergents, des eaux de salle de bains, chargées en produits pour l'hygiène corporelle. Généralement de matières grasses hydrocarbonées. Des eaux de vannes, qui proviennent des sanitaires (WC), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composée azotés, phosphorés et en microorganismes.[20]

### **I.2.3. ORIGINE AGRICOLE**

L'agriculture est une source non négligeable de pollution des eaux, ces dernières contiennent des fertilisants, pesticides et autres produits chimiques utilisés pour augmenter la quantité et améliorer la qualité des produits agricoles. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargées d'engrais nitrates et phosphates, qui n'ont pas été retenus par le sol et

assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes superficielles le plus, et des eaux des cours d'eau ou des retenues.

#### **I.2.4. EAUX DE RUISSELEMENT**

Les eaux pluviales peuvent, elles aussi, être une source de pollution importante des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, elle entraîne des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...).[24]

Les eaux de pluie qui ruissellent sur les surfaces imperméabilisées, en général en zone urbaine, sont collectées par un réseau qui peut-être le même que celui qui collecte les eaux usées, ou non.

On distingue :

- Les réseaux unitaires : un seul collecteur assure le transport des eaux usées et des eaux pluviales. La qualité et le volume des eaux qui arrivent alors à la station d'épuration sont très variables. Pour éviter qu'un débit supérieur à sa capacité n'arrive à la station d'épuration, des ouvrages de déviation (réservoirs et déversoirs d'orage) sont répartis sur le réseau.
- Les réseaux séparatifs : deux réseaux sont mis en place, l'un pour collecter les eaux usées, l'autre pour les eaux de ruissellement. En principe, seules les eaux usées arrivent à la station d'épuration pour traitement, c'est-à-dire que les eaux de pluie ne sont pas traitées mais rejetées directement. La station ne doit donc théoriquement recevoir qu'un effluent brut de qualité relativement régulière et de débit relativement bien déterminé.[23]

### **I.3. CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES**

#### **I.3.1. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES**

##### **I.3.1. 1. La température**

La température de l'eau joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz (par exemple à ce qui concerne l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique). La température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur de 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 degrés Celsius (°C). L'activité métabolique

des organismes aquatiques est donc également accélérée lorsque la température de l'eau augmente.

La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduaires chaudes. Des changements brusques de température de plus de 3°C s'avèrent souvent néfastes.

La température a une influence sur : [25]

- L'activité de la biomasse nitrifiante.
- Les propriétés de décantation : quand la température augmente, l'indice de décantation augmente car la densité des floccs diminue.
- La toxicité : l'effet toxique des substances chimiques est plus grand à température élevée.
- La demande biologique en oxygène : une augmentation de la température conduit à une augmentation de la consommation de l'O<sub>2</sub> dissous.

### **I.3.1.2. PH (potentiel d'hydrogène)**

Le PH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H<sup>+</sup> de l'eau, il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. Autrement dit, le pH est une mesure de l'acidité de l'eau. Donc le pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin), une solution neutre a une valeur de 7 comme pH à 25°C, elle est considérée comme la valeur médiane du pH. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés.

Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique, des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons. On admet généralement qu'un pH naturel situé entre 6,5 et 8,5 caractérise des eaux où la vie se développe de manière optimale.[26]

### **I.3.1.3. La conductivité**

Le paramètre de la conductivité de l'eau permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. Les sels les plus responsables de la salinité de l'eau sont le calcium (Ca<sup>2+</sup>), le magnésium (Mg<sup>2+</sup>), le sodium (Na<sup>+</sup>), les chlorures (Cl<sup>-</sup>), les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) et les bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). La conductivité d'une eau usée dépend essentiellement de la qualité

de l'eau potable utilisée et des activités industrielles de la population. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . [27],[26]

#### I.3.1.4. L'oxygène dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune, et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. Cette concentration en oxygène dissous est également fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau.[26]

**Tableau I.1** : Normes de rejet des paramètres physico-chimiques.[34]

Paramètre	Norme
Température	30°C : valeur limite de rejet direct dans le milieu récepteur [OMS]
Ph	6.5 < < 8.5 [OMS]
Conductivité	< 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [OMS]

### I.3.2. PARAMETRES DE LA POLLUTION PARTICULAIRE

#### I.3.2.1. La matière en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) des matières non solubilisées qui comportent à la fois des éléments organiques (MVS) et minéraux (MM), les premières sont généralement volatiles, elles peuvent être traitées par dégradation biologique, les dernières sont de natures minérales essentiellement inertes, peuvent être éliminés en grande partie par sédimentation.

Par leurs effets obscurcissants, les MES présentes dans les eaux diminuent l'efficacité de la photosynthèse qui contribue à l'aération de l'eau, les organismes vivants peuvent alors manquer d'oxygène ce qui baisse la productivité du milieu récepteur, comme elles peuvent également gêner la respiration des poissons.

La charge de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux.

### I.3.2.2. La turbidité

C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes (MES). Elle donne une première indication sur la teneur en matières colloïdales d'origine minérale ou organique.[29]

Techniquement, elle correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée ou absorbée par des particules.[30]

### I.3.2.3. La matières volatiles sèches (MVS)

C'est la fraction organique des MES, appelés «volatiles » car elles sont mesurées en volatilisant les MES dans un four. La mesure des MVS permet de distinguer la partie organique des MES de la partie minérale. Les MVS ne représentent que les particules de biomasse, vivante ou morte, ainsi que certaines particules organiques n'intervenant pas dans le processus de dépollution. [29]

Sa valeur a des conséquences sur le dimensionnement du réacteur biologique. La biomasse en suspension des boues activées pouvant facilement être estimée par une mesure de matières volatiles en suspension.

**Tableau I.2 :** Normes de rejet des paramètres de la pollution particulaire.[9]

Paramètre	Norme
MES	< 40 mg/l [OMS]
MVS	En Basse Saison, la valeur basse doit être supérieure à 1 à 1,5 g de MVS/l [J.O.R.A. 1996]
Turbidité	< 5 NTU

### I.3.3. PARAMETRES DE LA POLLUTION ORGANIQUE GLOBALE

Il y a plusieurs paramètres, on citera les deux plus importants :

#### I.3.3.1. La demande Biochimique en Oxygène (DBO5)

La DBO5 est la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C à l'obscurité et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon donnée, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie.

La DBO5 à la base c'est la DBO qui a été standardisée, mesurée au bout de 5 jours, considérée comme une période significative du processus global de biodégradation qui prend des semaines.

Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau, et il donne une indication indirecte de l'activité bactérienne.

#### I.3.3.2. La demande Chimique en Oxygène (DCO)

La DCO permet d'évaluer la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, en mesurant la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute cette matière organique biodégradable ou non, cette dernière est réalisée par un réactif ayant un pouvoir d'oxydation puissant (le permanganate de potassium ou le bichromate de potassium, à chaud :150°), la quantité de réactif consommée pour l'oxydation de cette matières présentes, exprimée en mg/l d'oxygène, correspond à la DCO.[31]

**Tableau I.3 :** Normes de rejet des paramètres de la pollution organique globale.[34]

Paramètre	Norme
<b>DBO5</b>	< 30 mg/l [OMS]
<b>DCO</b>	< 120 mg/l [OMS]

### I.3.4. PARAMETRES DE LA POLLUTION DISSOUE

#### I.3.4.1. Les différentes formes d'azote

L'azote dans les eaux usées peut avoir un caractère organique ou minéral, il peut être d'origine anthropique comme les rejets urbains et industriels ou naturel à partir de l'atmosphère, il se présente sous quatre formes :

- L'azote organique : c'est une forme de l'azote qu'on ne peut pas mesurer directement, on effectue généralement l'analyse de l'azote KJELDAHL (NK)

$$NK = N_{\text{org}} + N\text{-NH}_4^+$$

- L'azote ammoniacal ( $N\text{-NH}_4^+$ ) traduit un processus d'ammonification de la matière organique azotée. Les ions ammoniums subissent une nitrification par action des bactéries nitrifiantes.

- L'azote nitreux ( $N\text{-NO}_2^-$ ) provient d'une oxydation incomplète de l'azote ammoniacal ou par une réduction des nitrates par dénitrification. Les nitrites sont instables et rapidement transformés en nitrates.

- L'azote nitrique ( $N\text{-NO}_3^-$ ) est produit par une nitrification de l'azote ammoniacal. Il joue un rôle important dans le développement des algues et participe au phénomène d'eutrophisation.

**Tableau I.4 :** Normes de rejet des différents paramètres azotés.[34]

Paramètre	Norme
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	< 10 mg/l [OMS]
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	< 3 mg/l [OMS]
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	< 45 mg/l [OMS]
<b>NTK</b>	< 40 mg/l [OMS]

#### I.3.4.2. Les composés phosphorés

Les composés phosphorés sont le plus souvent d'origine artificielle (engrais, détergents, lessives, produits chimiques, etc.), mais ils peuvent être d'origine naturelle.

Les composés phosphorés existent dans les eaux naturelles et les eaux usées sous différentes formes à savoir :

- Les ortho-phosphates :  $\text{PO}_4^{3-}$



- Les poly-phosphates :  $(\text{PO}_4^{3-})_n$

La somme de ces diverses formes constitue le phosphore total (PT). Ces composés phosphorés favorisent la croissance des végétaux dans l'eau et la prolifération des algues, étouffant les autres organismes vivant dans l'eau, générant des odeurs et contribuant au phénomène d'eutrophisation.[12]

**Tableau I.5 :** Normes de rejet des différents paramètres phosphorés.[34]

Paramètre	Norme
<b>PO4-P</b>	< 10 mg/l [OMS]
<b>Ptot</b>	< 10 mg/l [OMS]

### I.3.5. PARAMETRES DE POLLUTION TOXIQUE

#### I.3.5.1. Les Métaux lourds

On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse  $5\text{g/cm}^3$ . Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse. Les plus toxiques d'entre eux sont le plomb, le cadmium et le mercure. [32]

Le suivi des concentrations des métaux lourds est particulièrement important vu leur toxicité et leur capacité de bioaccumulation le long de la chaîne alimentaire.

Contrairement aux polluants organiques, les métaux ne peuvent pas être dégradés biologiquement ou chimiquement. Cependant, leur précipitation engendrerait leur mélange avec les boues décantées. [26]

Les concentrations de ces métaux caractérisent certains types de pollution : [26]

- La présence de cuivre et de nickel indiquent l'existence de rejets provenant d'industries de traitement de surface des métaux.
- Le chrome indique l'existence de rejets provenant d'une tannerie.
- Le plomb est lié à des pollutions diffuses.

- Le zinc est évacué par des industries qui pratiquent la galvanisation ou la préparation d'alliages tels que le laiton et le bronze, il peut provenir également du contact entre les eaux de ruissellement et les matériaux galvanisés.
- Le cadmium peut notamment être rejeté par des usines de galvanoplastie et d'industries chimiques, de textiles et de teintures.

### **I.3.5.2. Tensioactifs**

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

La présence des tensioactifs dans les eaux usées affecte le transfert de l'oxygène dans les boues activées au niveau des bassins d'aération dans les stations d'épuration car ils réduisent la capacité d'oxygénation de 40 à 70% par rapport à l'eau claire. [33]

### **I.3.5.3. Les hydrocarbures**

Ce terme fait la plupart du temps référence aux huiles minérales qui comportent des substances telles que les alcanes, les alcènes, etc. Outre leur toxicité, ces substances peuvent limiter l'apport d'oxygène dans les eaux de surface lorsqu'elles sont présentes en concentrations élevées. Ces polluants incluent également les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ainsi que les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM). [26]

## **I.3.6. LES PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES**

Une eau usée est caractérisée aussi par :

### **I.3.6. 1. Bactéries**

Les bactéries sont les microorganismes les plus communément rencontrés dans les eaux usées. La concentration en bactéries pathogènes est très variable et peut atteindre 10<sup>4</sup> germes par litre. Parmi les pathogènes les plus détectées, les salmonelles, dont celles responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Les coliformes thermo-tolérants sont des germes témoins de contamination fécale communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau.

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

### **I.3.6.2. Virus**

Les virus sont des parasites intracellulaires qui ne peuvent se multiplier que dans leur cellule hôte. Leur concentration estimée dans les eaux usées urbaines est comprise entre 10<sup>3</sup> et 10<sup>4</sup> particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées restent difficiles, ce qui conduit à une sous-estimation de leur nombre réel.

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

### **I.3.6. 3. Les protozoaires**

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle vital une forme de résistance, appelée kyste qui peut être véhiculé par les eaux résiduaires. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées.

## **I.4. COLLECTE DES EAUX USEES**

Le but principal d'un réseau d'assainissement est de collecter les eaux usées afin de les conduire à une station d'épuration pour les traiter.

La collecte s'effectue par l'évacuation de ces eaux dans des canalisations spécifiques dites collecteurs.

Le transport des eaux usées dans les collecteurs se fait en général par gravité, dans le cas où la configuration du terrain ne permet pas un écoulement gravitaire (pente faible, contre-pente) on procède par la construction d'une station de relevage (vis d'Archimède) ou bien d'une

station de refoulement (pompage) afin de faciliter l'acheminement des eaux et éviter le risque de débordement lors de fortes pluies.

Deux systèmes fondamentaux de réseaux d'assainissement sont à distinguer pour la collecte des eaux usées :

- Le système unitaire.
- Le système séparatif

#### **I.4.1. RESEAU UNITAIRE**

L'évacuation de l'eau usée domestique et pluviale se fait dans une même canalisation, cette technique a comme avantage :

- Simplicité due à la présence d'une seule canalisation par rue.
- Un seul réseau à construire et à gérer (Avantage économique).

Par contre cette dernière présente en parallèle un inconvénient :

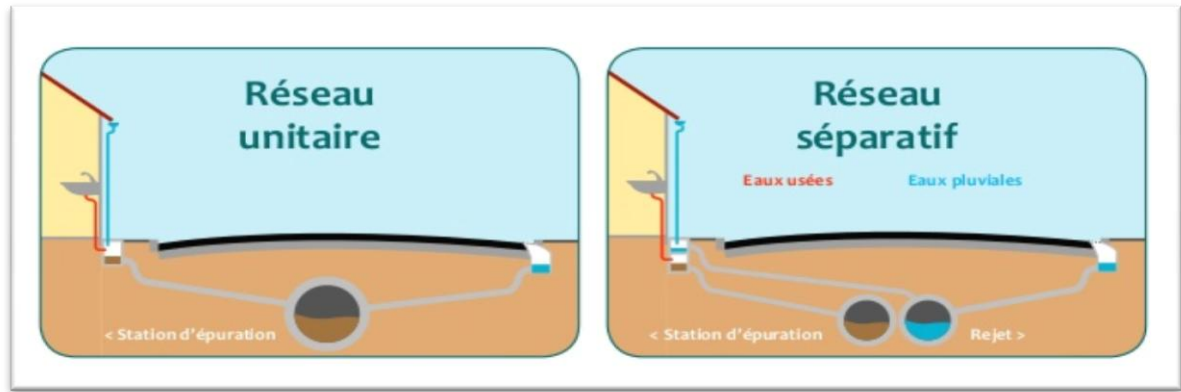
- La nécessité de tenir compte des fluctuations très importantes du débit des eaux pluviales dans la conception et le dimensionnement des collecteurs et des ouvrages de traitement (STEP).

#### **I.4.2. RESEAU SEPARATIF**

Un système des réseaux séparatifs consiste à évacuer les eaux usées et les eaux pluviales séparément, les eaux pluviales seront rejetées directement dans le cours d'eau (supposées propres) par contre les eaux usées issues des habitations sont collectées et évacuées vers une station de traitement avant leurs rejet dans le milieu naturel.

Ce système a l'avantage d'éviter le risque de débordement d'eaux usées dans le milieu naturel lorsqu'il pleut. Il permet de mieux maîtriser le flux et sa concentration en pollution et de mieux adapter la capacité des stations d'épuration.

Par contre, ce système présente toujours le principal inconvénient, car le coté économique de la construction et de suivi de ce genre de système n'est pas satisfaisant.



**Figure I.1** : Schéma d'un réseau séparatif et unitaire.[35]

## I.5. CONCLUSION

Lorsque nous rejetons les eaux après l'utilisation, quelque soit leurs origines, nous avons tendance à oublier les conséquences. Nous sommes responsables de plusieurs sources de pollution de l'eau et nous ne sommes pas assez conscients de notre très grande contribution à la pollution de l'eau.

Pour préserver nos ressources en eau, le patrimoine naturel ainsi que la qualité de la vie, il est impératif d'éliminer tout polluant contenu dans les eaux usées, pour cela, un processus est envisagé, afin de réduire au maximum la pollution de ces eaux usées, « l'Épuration des eaux usées ».

**CHAPITRE II : Principe de fonctionnement  
d'une station d'épuration à boue activée**

## II.1. PRINCIPE

Le procédé à boues activées est un système où les microorganismes flottent librement dans l'eau, sous forme des BIOFLOCS [5]. Le procédé, inventé à Manchester en 1914, reproduit industriellement l'effet épurateur des rivières, autrement dit, ce procédé à boues activées fonctionne en continu, dans lequel des micro-organismes sont mis en contact avec les eaux usées contenant des matières organiques.

De l'oxygène est injecté dans le mélange, permettant de fournir aux bactéries cet élément vital à leurs besoins respiratoires [5],[3]. Les bassins d'aération sont les réacteurs biologiques dans lesquels s'effectue la transformation de la matière organique par les microorganismes aérobies, ces dernières constituent un élément fondamental de la filière définie sous le terme de boues activées.

Donc, le principe des boues activées réside dans une intensification des processus d'auto-épuration que l'on rencontre dans les milieux naturels [6].



Figure II.1 : Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées.[18]

## II.2. PROCEDE D'EPURATION

### II.2.1. LE PRETRAITEMENT

#### II.2.1.1. Le dégrillage

Il s'agit de séparer les matières les plus volumineuses de l'eau brute, en le faisant passer à travers des barreaux dont l'espacement est déterminé en fonction de la nature de l'effluent [8].

Il permet :

- De protéger les ouvrages avals contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages et des dysfonctionnements dans les différentes unités de l'installation.
- De séparer et d'évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants, ou en compliquer l'exécution [5].



Figure II.2 : Dégrilleur

#### II.2.1.2. Le dessablage

L'objectif essentiel du dessablage est de retenir les particules de dimensions supérieures à 200  $\mu\text{m}$  afin de protéger les conduites et les pompes contre la corrosion et aussi éviter le colmatage des canalisations par une sédimentation au cours du traitement, et éviter de perturber les autres stades de traitement en particulier le réacteur biologique. [5].



Le fond du bassin est ensuite nettoyé par un racleur qui entraîne les graviers et les sables dans une nouvelle cuve, les séparant ainsi de l'eau à épurer. Les sables ainsi récoltés sont ensuite utilisés par les entreprises de travaux publics.

Il existe divers types de déssableurs selon leurs bassins :

- Déssableurs à couloirs: ce sont des canaux, à section généralement rectangulaire, dans lesquels on ralentit la vitesse de l'eau à moins de 0.3 m/s. Les sables déposés sont périodiquement évacués.
- Déssableurs rectangulaire à insufflation d'air : L'insufflation d'air provoque une rotation de liquide et crée ainsi une vitesse constante de balayage du fond. Le sable est extrait soit manuellement ou mécaniquement.
- Déssableurs circulaire : Ces appareils sont alimentés tangentiellement, les sables sont projetés vers la paroi et descendent en décrivant une spirale d'axe vertical, d'où ils sont évacués.

### II.2.1.3. Le dégraissage-déshuilage [9]

Les graisses et les huiles sont des produits hydrophobes ayant une densité légèrement inférieure à celle de l'eau. Ces propriétés sont bien exploitées dans les opérations de déshuilage-dégraissage où l'on injecte de fines bulles d'air dans le bassin dont les particules graisseuses et huileuses vont s'accumuler et remontent en surface. Un raclage superficiel permet leur élimination.

- Les graisses : sont des produits solides d'origine animale ou végétale. Elles sont présentes dans les eaux résiduaires urbaines et dans certaines eaux résiduaires industrielles, essentiellement agroalimentaires. Elles sont difficilement biodégradables et peuvent poser divers problèmes au cours du traitement : boues graisseuses, diminution des transferts d'oxygène, apparition de bactéries filamenteuses. Ces graisses provoquent également un dysfonctionnement des équipements et notamment des pompes.
- Les huiles : sont des produits liquides : huiles végétales, huiles minérales, hydrocarbures légers.

Remarque : le plus souvent les opérations de dessablage et de dégraissage-déshuilage sont regroupées dans un même bassin.



**Figure II.3 :** Déssableur-déshuileur couloir.[9]

## II.2.2. LE TRAITEMENT PRIMAIRE

Après les prétraitements, les effluents conservent une charge polluante dissoute et des matières en suspension, le traitement primaire élimine plus que la moitié de ces derniers, il constitue une pré-épuration non négligeable quoique insuffisante pour garantir la qualité du rejet au milieu naturel. [10]

Le processus principal du traitement primaire est la décantation, il existe deux types de décantation : [10]

- Décantation physique.
- Décantation avec réactifs chimiques.

### II.2.2.1. Procédé de décantation physique

La décantation est une technique de séparation de l'eau des particules solides charriées par cette eau et tous les autres corps pesants naturellement décantable. Cette technique est très répandue dans les usines d'épuration et de traitement des eaux.

Un mouvement uniformément acc el er e si la chute n'était pas contrariée par les forces de frottement crées par le déplacement des particules au sein de l'eau, forces dont l'effet rend la vitesse de chute uniforme. Cette vitesse est fonction de la dimension, de la forme extérieure et de la densité apparente de la particule, donc, finalement, les particules dont la densité est

supérieure à celle de l'eau (notion de la poussée d'Archimède), vont avoir tendance à s'accumuler au fond du décanteur sous l'effet de la pesanteur, elles seront éliminées du fond du bassin périodiquement. [10],[11]

### **II.2.2.2. Procédé de décantation avec réactifs chimiques**

Ces procédés de décantation consistent à alourdir les particules en suspension. Ils font appel aux techniques de coagulation ou de floculation-clarification. Les processus de coagulation et de floculation sont employés pour séparer les solides en suspension de l'eau lorsque la vitesse de décantation naturelle est trop lente ou nulle pour obtenir une clarification efficace.[10]

Donc, le but est de faire croître la taille des particules pour les amener à un niveau où elles pourront facilement être séparées par décantation ou filtration.

Les réactifs introduits dans les eaux usées ont un pouvoir adsorbant : autrement dit, ils ont pour effet de neutraliser les charges électriques portées par les substances colloïdales, charges qui, par répulsion électrostatique, maintiennent les particules à l'état dispersé. En outre, ils favorisent leur coagulation, accroissant ainsi leur taille et leur densité.

Les réactifs employés sont d'origine minérale (sulfate d'alumine, chlorure ferrique, chaux) ou organique et libèrent des ions positifs qui neutralisent le colloïde et précipitent en formant des flocons.

Les procédés physico-chimiques présentent l'avantage d'une mise en route rapide (10 heures environ) et d'une adaptation immédiate aux variations de débit de la charge des effluents à traiter.

### **II.2.3. LE TRAITEMENT SECONDAIRE**

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

Le traitement secondaire consiste en l'élimination de la pollution organique et minérale, il poursuit l'effluent provenant du décanteur primaire ou issu d'un prétraitement. Lors du traitement secondaire, la plupart des paramètres de pollution seront diminués. Les micro-

organismes utilisent les éléments nutritifs des eaux résiduaires comme nourriture pour produire de l'énergie vitale ou pour la synthèse de tissus cellulaires.

Suivant la nature de la charge polluante de l'effluent à traiter on distingue deux types de traitement:

- Le traitement physico – chimique.
- Le traitement biologique.

### **II.2.3.1. Le traitement physico–chimique**

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. En effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible.[13]

Le traitement chimique, coûteux et difficile à réaliser, s'applique plutôt aux eaux industrielles ou aux eaux usées contenant des résidus d'usine susceptibles d'entraver des processus biologiques.

Les rendements épuratoires sont excellents, car l'élimination des MES se situe entre 80% et 95%, celle des matières organiques entre 65% et 75%. Néanmoins, ce type de procédé entraîne une surproduction de boues, de 15 à 25% en plus, ainsi qu'une mauvaise élimination des matières organiques, en particulier de la pollution soluble.[12]

### **II.2.3.2. Le traitement biologique**

Quel que soit le procédé mis en œuvre, le principe de l'épuration par voie biologique consiste, dans un premier temps, à faire assimiler la pollution carbonée par des microorganismes, la pollution de l'eau est alors transformée en biomasse, par la suite, cette biomasse est extraite de l'eau sous forme de boue.

Le traitement biologique a pour but d'éliminer les matières organiques contenues dans l'eau, soit par voie aérobie (en présence d'oxygène), ou par voie anaérobie (en absence d'oxygène). L'utilisation des procédés biologiques découle de l'observation et de l'intensification du processus d'autoépuration des sols et cours d'eau, et fait généralement appel aux procédés aérobies par lesquels les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau, la dégradation est un phénomène

générateur de l'énergie nécessaire à la vie des micro-organismes, ces microorganismes emploient le carbone organique comme source d'énergie ainsi que pour la synthèse cellulaire.[14]

Les installations de traitement secondaires biologiques se présentent donc comme de très vastes cultures bactériennes où l'on met en contact une population bactérienne et l'effluent.[14]

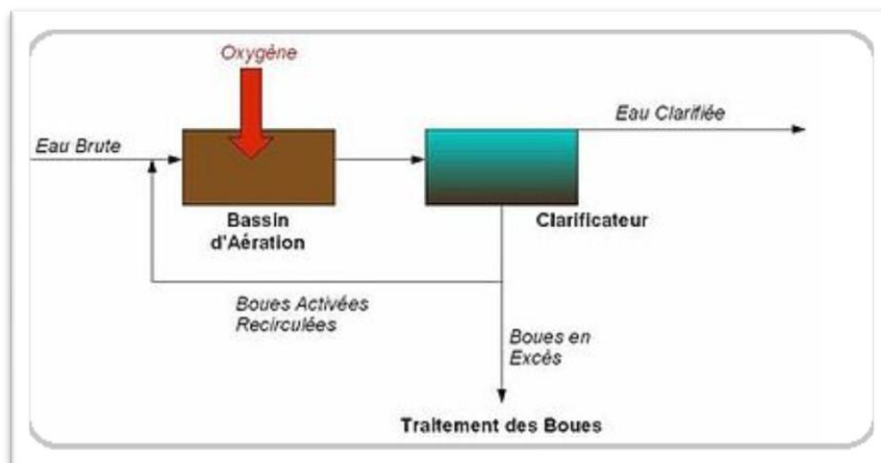
On distingue aussi les cultures fixées (lits bactériens, disques biologiques), et les cultures libres (lagunage aéré, boues activées (c'est le cas étudié)...).



**Figure II.4 :** Bassin d'aération.



**Figure II.5 :** Décanteur secondaire (clarificateur).



**Figure II.6 :** Synoptique d'une boue activée - aération prolongée.[6]

#### II.2.4. LE TRAITEMENT TERTIAIRE

En général, les techniques d'épuration, même les plus sévères, laissent passer dans l'eau épurée des matières organiques difficilement biodégradables qui échappent aux meilleures techniques du traitement secondaire.

A l'issue de ce dernier, l'eau traitée est parfois directement rejetée en milieu naturel. Autrement, elle subit un troisième niveau de traitement lorsque les eaux usées traitées sont rejetées dans une zone sensible ou destinées à usage particulier (zone de baignade, prise d'eau pour l'adduction de l'eau potable à proximité, irrigation agricole, besoins urbains, usage industriel).

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

Les techniques employées, souvent issues des traitements de potabilisation, peuvent être physiques (tamisage, microfiltration, adsorption sur charbon actif, membranes, rayonnement ultraviolet), chimiques (chlore, ozone, chaux, floculation).

#### **II.2.4.1. Le traitement de l'azote**

Il y a plusieurs techniques de séparation de l'azote, cette dernière peut être :

- physique (par décantation lorsqu'il est lié aux matières en suspension).
- physico-chimique (stripping sous forme de gaz ammoniac lorsque le pH est basique, oxydations et réductions chimiques).
- biologique (incorporation aux bactéries produites, transformation en nitrates puis en azote gazeux lors des processus de nitrification-dénitrification). [9]

##### *II.2.4.1.1. Elimination de l'azote par procédés biologiques*

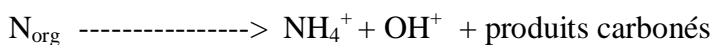
L'azote est le second polluant des eaux après le carbone et avant le phosphore.

L'élimination biologique de ce dernier est réalisée par l'intermédiaire de réactions enzymatiques qui se produisent dans des conditions bien définies, en présence ou absence d'oxygène, en deux étapes successives. Dans un premier stade, par l'intermédiaire de microorganismes strictement aérobies autotrophes se fait l'oxydation de l'ammoniaque en nitrate (nitrification) après ammonification préalable de l'azote organique. Les bactéries responsables (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*) sont caractérisées par un temps de génération élevé dépendant de la température. Dans un second stade, la réduction des nitrates en azote gazeux (dénitrification) est réalisée par des bactéries hétérotrophes en l'absence stricte d'oxygène, mais en présence d'un substrat carboné, se trouve généralement dans l'effluent brut.[16]

Pendant l'épuration biologique, l'azote organique  $N_{org}$  et l'azote ammoniacal  $NH_4^+$  se transforment en nitrites  $NO_2^-$  et en nitrates  $NO_3^-$  puis en azote moléculaire  $N_2$  (gazeux), selon les phases suivantes :

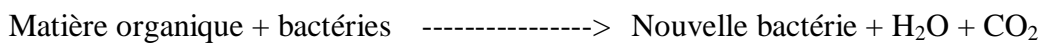
a) Ammonification

L'azote organique des eaux urbaines est principalement formé d'urée et d'acides aminés. Sous l'action des bactéries et par hydrolyse notamment, l'ammonification se réalise que le milieu soit oxydant (station d'épuration) ou non (collecteur) selon la réaction suivante :



b) Assimilation

La réaction d'assimilation de la matière organique par les bactéries hétérotrophes en présence d'oxygène dissous peut être représentée par la réaction suivante :



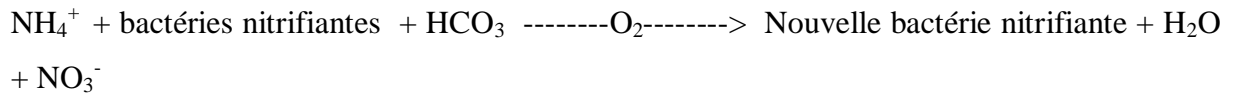
Donc, ces bactéries (protozoaires) qui assurent le traitement de la charge polluante organique ont besoin pour leur métabolisme de nombreux éléments chimiques. L'azote vient au premier rang de ces éléments puisqu'il est un composant important de la cellule bactérienne représentant environ 5 % de sa matière sèche. Les besoins en azote sont de l'ordre de 5 % de la DBO5 éliminée par la culture bactérienne. Prenons en compte l'apport supplémentaire de matières minérales et de la séquestration d'azote organique particulaire, les boues extraites des systèmes d'épuration biologique présentent une teneur en azote de l'ordre de 7 % des matières en suspension (MES) en moyenne.

L'assimilation, au sens large (incluant notamment la séquestration de l'azote organique particulaire réfractaire), conduit à une élimination de l'ordre de 25 % de l'azote des eaux brutes urbaines.

c) Nitrification biologique

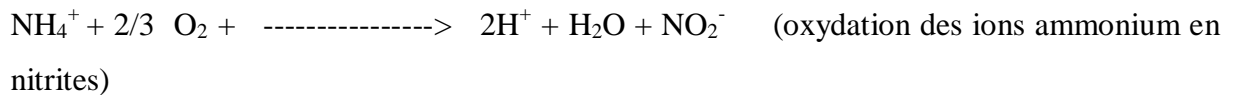
La réaction de nitrification de l'azote ammoniacal par les bactéries autotrophes nitrifiantes en présence d'oxygène dissous peut être représentée par la réaction suivante :



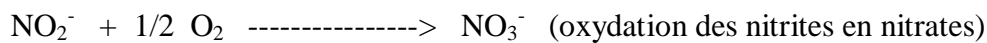


En réalité, cette réaction s'effectue en deux étapes successives : la nitrification et la nitrification, réalisée par des bactéries différentes selon les schémas ci-après :

Nitrification :

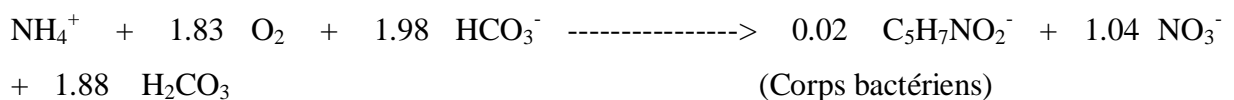


Nitrification :



Ces schémas sont simplificateurs dans la mesure où de nombreux stades intermédiaires interviennent, les bactéries réalisant l'oxydation en plusieurs étapes. Les formes de l'azote indiquées ici sont en pratique les seules présentes à des concentrations significatives dans les eaux usées. La nitrification est réalisée par des bactéries nitrifiantes. Jusqu'ici, Nitrosomonas, en particulier, mais également Nitrosococcus et Nitrospira étaient considérées comme jouant un rôle prépondérant dans ce processus. La nitrification est le fait des bactéries nitrifiantes du genre Nitrobacter.

Ces bactéries, dites autotrophes vis-à-vis du carbone, utilisent le carbone minéral comme seule source de carbone (essentiellement celui des bicarbonates). Globalement, la nitrification biologique peut être décrite par la réaction suivante :



La présence de CO<sub>2</sub> ou de carbonate est indispensable. La réaction ne peut se faire qu'en milieu aérobie.

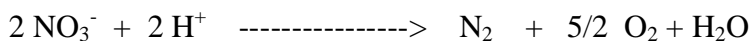
Il ressort de ce bilan que la nitrification biologique d'1 kg d'azote ammoniacal :

- Nécessite théoriquement 4,2 kg d'oxygène dont 80 % sont inclus dans les nitrates formés.
- S'accompagne d'une diminution de l'alcalinité (compensable par 3,9 kg de chaux vive CaO).

- Produit 170 g de bactéries nitrifiantes ce qui est très faible vis-à-vis de la production de boues générées lors de la dégradation de la charge organique carbonée.

#### d) Dénitrification

Vient ensuite la dénitrification conduisant à l'élimination totale de l'azote, qui est une réduction des nitrites et nitrates en azote gazeux qui se dégage dans l'atmosphère, selon la réaction suivante :



Les espèces dénitrifiantes ont la propriété d'utiliser, en cas de carence du milieu en oxygène (anoxie), celui de certains composés chimiques, notamment des nitrates. Les phases de nitrification et de dénitrification permettent l'élimination de 5% à 70% de l'azote sous la forme gazeuse N<sub>2</sub>.

Conditions de la dénitrification :

##### *II.2.4.1.2. Elimination de l'azote Par procédés physico-chimiques*

L'azote ammoniacal peut être éliminé d'une eau usée par dégazage (stripping), ou par chloration au point de rupture. Dans ce procédé, l'ammoniac est chimiquement oxydé en azote gazeux. Les résultats obtenus sur des eaux usées domestiques indiquent une conversion de l'ordre de 95 à 99 en azote gazeux.

##### **II.2.4.2. Elimination du phosphore**

Le phosphore est considéré comme étant le troisième polluant, en termes de quantité dans les eaux usées urbaines, après le carbone et l'azote.

L'élimination du phosphore, contenu dans les eaux usées urbaines, est très insuffisante à la suite d'une épuration secondaire classique (environ 10% du phosphore est éliminé au cours du traitement primaire et 20% au cours du secondaire). Les quantités de rejet dans le milieu récepteur imposent d'améliorer cette élimination.

En effet, dans l'eau, le phosphore se retrouve naturellement à l'état minéral mais à faible concentration (0,01mg/l). Mais l'utilisation " massive " de phosphates dans la fabrication des produits d'entretien et en agriculture pose des problèmes d'équilibre au milieu aquatique. Si

les phosphates ne sont pas directement nocifs, leur action est cependant néfaste de par la prolifération des algues qu'ils génèrent à la surface de l'eau limitant considérablement les échanges avec l'air et l'énergie solaire. Il contribue ainsi à l'eutrophisation des eaux.

La quantité de phosphore rejetée dans les eaux urbaines est de l'ordre de 3 à 4g par habitant et par jour (soit une concentration de l'ordre de 25mg/l pour le phosphore total).

L'élimination peut se faire par voie biologique (décantation primaire et traitement secondaire) puis en co-précipitation par ajout, dans le bassin d'aération, de chlorure ferrique. Ce traitement physico-chimique est basé sur la capacité qui a le chlorure ferrique  $FeCl_3$  de se combiner avec les ions phosphates pour former un précipité de phosphate de fer  $FePO_4$ , sel très peu soluble dans l'eau et qui précipite à l'état colloïdal. Ce procédé, très employé aujourd'hui pour ses nombreux avantages économiques et techniques, a néanmoins l'inconvénient d'engendrer une surproduction de boues allant de 40% à 60%.

#### **II.2.4.3. La désinfection**

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

Dans le cas où il est désirable de protéger l'environnement ou lorsque l'on craint particulièrement l'émission de microorganismes particulièrement dangereux il faut procéder à une désinfection (désinfection par les produits chlorés, désinfection par l'ozone). [17]

#### **II.2.4.4. La filtration**

La filtration est un procédé de séparation solide-liquide par adhésion sur la surface d'un matériau granuleux traversé par le liquide à épurer. Dans l'épuration des eaux usées les filtres d'une façon générale sont utilisés pour séparer les flocons très fins qui restent en suspension après le décanteur secondaire conduisant à des précipitations.[17]

### II.2.5. LE TRAITEMENT DE BOUE

Une station d'épuration produit en moyenne deux litres de boues résiduelles par habitant et par jour. Les boues récupérées lors de la décantation, le traitement biologique et la clarification doivent être traitées.

Les trois catégories de boues : [7]

- Les boues de traitement primaire produites par décantation des matières en suspension, elles sont constituées essentiellement de matières organiques (70%) et minérales en suspension dans l'effluent, n'ayant pas subi de décomposition, elles sont très instables et putrescibles.
- Les boues de traitement physico-chimique (clarification) composées de matières organiques solubles ou colloïdales agglomérées dans les eaux traitées par addition d'un réactif coagulant (sels de fer ou d'ammonium). Elles contiennent 95% d'eau et 5% de matières solides qui sont constituées par 70 à 75% de matières organiques.
- Les boues issues de traitement biologique formées par les bactéries qui se sont nourries de matières organiques contenues dans l'eau usées.

Le traitement des boues a pour objectifs de :

- Réduire la fraction organique afin de diminuer leur pouvoir fermentescible et les risques de contamination (stabilisation).
- Diminuer leur volume total afin de réduire leur coût d'évacuation (déshydratation).
- Le but principal est de traiter ces boues produites de façon à les valoriser en agriculture pour l'amendement des sols et comme engrais, d'autant plus que leur mise en décharge est interdite pour les grandes agglomérations.

L'extraction des boues se fait depuis le clarificateur, trois fois par semaine. En fonctionnement dégradé, il est prévu de pouvoir extraire en direct depuis le bassin d'aération. L'épaississement est ensuite réalisé par égouttage sur deux tables d'égouttage. Il s'agit d'un système sommaire de pressage permettant d'obtenir des siccités de l'ordre de 6% à 7% sur des boues en excès préalablement conditionnées par des polymères.



**Figure II.7 :** Table d'égouttage.

La déshydratation des boues constitue la deuxième étape de réduction de leur volume. Elle s'opère sur des boues épaissies et conditionnées par des polymères et emploie un procédé de centrifugation. Les boues sont ensuite évacuées dans des bennes, enlevées par des camions.



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

L'usage de cette boue diffère d'une région à une autre selon les besoins, on distingue :

- L'épandage agricole, qui représente une valorisation de ce sous-produit fertilisant.
- L'élaboration de compost, par incorporation de paille ou de sciure.
- L'incinération, pour quelques grosses unités ou lorsqu'une installation locale existe déjà pour les ordures ménagères.
- La mise en décharge, solution qui devrait être progressivement abandonnée dans les années à venir.

### II.3. CONCLUSION

L'épuration biologique des eaux résiduaires par le procédé des boues activées est l'un des plus techniques utilisée en Algérie, elle repose sur l'activité d'une culture bactérienne aérobie, maintenue en suspension dans un ouvrage spécifique alimenté par l'effluent à traiter et appelé bassin d'aération.

Bien comprendre et expliquer le fonctionnement de la STEP et ces différentes étapes permet de bien observer, diagnostiquer et puis critiquer les résultats obtenus.

L'aération est l'élément clé d'une station d'épuration pour fournir l'oxygène aux microorganismes pour dégrader la pollution carbonée.

**CHAPITRE III : Théories de l'analyse en  
composantes principales et de la méthode de  
hiérarchie analytique**

### III.1. INTRODUCTION

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une technique mathématique de l'analyse de données. Elle cherche à synthétiser l'information contenue dans un tableau croisant des individus et des variables quantitatives.

L'ACP permet la confrontation d'un ensemble d'informations, ce qui est infiniment plus riche que leur examen séparé. Les représentations simplifiées de grands tableaux de données que cette méthode permet d'obtenir, s'avèrent un outil de synthèse remarquable.

L'analyse multicritère regroupe un ensemble d'outils opérationnels d'aide à la décision qui ont pour objectif principal d'orienter un décideur dans n'importe quelle situation à trancher entre plusieurs variantes et ainsi lui permettre de choisir la meilleure solution.

Le présent chapitre regroupe la théorie de la méthode d'analyse en composantes principales et de l'analyse multicritère AHP, nous allons tout d'abord faire le point sur la méthode de l'ACP puis nous passerons à la présentation du processus d'aide à la décision multicritère.[43]

### III.2. L'ANALYSE EN COMPOSANTE PRINCIPALE

#### III.2.2. LES METHODES FACTORIELLES

D'abord, on parlera des techniques de traitement de données multidimensionnelles. Ce sont les analyses factorielles qui permettent le plus efficacement de traiter un grand nombre de données, tant en termes d'individus considérés ( $n$  = nombre de lignes) que de variables caractérisant ces individus ( $p$  = nombre de colonnes).

L'analyse factorielle a un double objectif : [43]

- 1- Résumer le plus possible l'information contenue dans la matrice  $(n,p)$ .
- 2- Hiérarchiser l'information de sorte à perdre le moins possible de l'inertie initiale. Résumer signifie produire de nouvelles variables synthétiques (axes factoriels) qui sont fonction linéaire de plusieurs variables originales. Il s'agit donc d'un processus de réduction des dimensions. Si les variables initiales n'étaient pas du tout corrélées entre elles (variables totalement indépendantes) alors il ne serait possible de créer les axes factoriels. Ainsi, plus les



variables initiales sont étroitement corrélées et plus il sera possible de procéder à une bonne condensation des données de base.

Hiérarchiser signifie ordonner les axes factoriels selon leur plus ou moins grand degré de contribution à l'information, à l'inertie totale du nuage de points. Le premier axe est celui qui intègre le maximum d'information et qui présente la plus grande dispersion du nuage de points. Il est le meilleur résumé dans un espace à une dimension. Le deuxième axe est celui qui correspond au maximum d'information résiduelle, non contenue dans le 1<sup>er</sup> axe etc... Les deux premiers axes offrent donc la meilleure information possible dans le plan à deux dimensions. Comme le souligne clairement Tabachnik et Fidell (1989), l'analyse factorielle répond à un certain nombre de questions :

- Combien de facteurs (metadata) sont nécessaire pour donner une juste représentation des données, tout en réduisant le nombre de dimensions?
- Quelle proportion de la variance des données peut être expliquée par un certain nombre de dimensions majeures (facteurs)?
- Quelle est la signification de ces facteurs, comment peut-on les interpréter?
- Jusqu'à quel point la solution factorielle est conforme à la théorie que nous souhaitons vérifier?
- La structure factorielle reste-t-elle la même pour divers groupes?

### III.2.3. DEFINITION ET INTERET DE L'ACP [44]

L'analyse en Composantes Principales est une méthode d'analyse des données multi variées. Elle permet de décrire et d'explorer les relations qui existent entre plusieurs variables simultanément à la différence des méthodes bi variées qui étudient les relations potentielles entre deux variables. L'ACP cherche une solution pour refléter au mieux l'ensemble de la variance des variables mesurées, de sorte que les composantes soient orthogonales, c'est-à-dire indépendantes entre elles.

La procédure s'appuie sur un tableau  $R$  comprenant  $n$  individus et  $p$  variables ( $R_{i,j}$ ). Le but est de trouver un nombre plus réduit de variables pour décrire efficacement les phénomènes structurant d'un groupe de données.

En d'autres termes, nous cherchons les corrélations existant entre les p variables initiales pour rapprocher au sein de "composantes" (facteurs), les variables les plus proches entre elles. On regroupe donc les variables pour qu'elles composent des dimensions dans le but de réduire le nombre de caractéristiques décrivant les individus afin de mieux interpréter les données.

Les composantes (facteurs) sont en quelque sorte des méta-variables.

En pratique, chaque facteur qui correspond à une dimension du phénomène est défini par la meilleure combinaison linéaire de variables initiales expliquant la variance non expliquée par la dimension précédente. La première dimension (1er facteur) est celle qui correspond à la plus forte combinaison linéaire de certaines des variables initiales. On entend par plus forte combinaison, celle qui contribue le plus (en pourcentage) à l'explication de la variance totale, c'est-à-dire de l'inertie totale (information totale).

La deuxième dimension (2ème facteur) est celle qui correspond à 2<sup>ème</sup> combinaison linéaire de variables qui explique cette fois le meilleur pourcentage de l'information non expliquée par la 1<sup>ère</sup> dimension (variance résiduelle), etc.

#### III.2.4. LA METHODE D'ACP EN QUELQUES MOTS

1- Construction de la matrice initiale :  $R = [r_{ij}]$ ,  $i = 1 \dots n$  (individus)  $j = 1 \dots p$  (variables).

2- Calcul de la matrice :  $X = [x_{ij}]$ , matrice des données transformées par centrage et réduction et multiplication par la constante.

$$\frac{r_{ij} - \bar{r}_j}{\sigma_j}$$

Cette transformation permet d'éviter des distorsions dans les représentations, ce qui arrive lorsque les écarts-types entre les variables sont très différents, notamment lorsque les variables sont exprimées dans des unités très différentes (âge, revenu...). Cette transformation réduit donc l'effet des variables très dispersées sur la distance entre individus. Nous procédons donc à une **ACP normée**.

3- Calcul de la matrice  $C = X^t \cdot X$  = matrice des corrélations linéaires entre les variables deux à deux. Cette matrice est symétrique de dimension (p,p) et sa diagonale est formée de 1. La somme des éléments de la diagonale = trace de C = p (nombre de variables initiales).

4- Détermination des axes factoriels : pour cela, nous sommes amenés à calculer les valeurs propres et les vecteurs propres associés à la matrice de corrélation C.

Les valeurs propres  $\lambda$  sont obtenues en diagonalisant la matrice des corrélations. Diagonaliser la matrice C signifie calculer le vecteur  $\lambda$  tel que :

$|C - \lambda \cdot I| = 0$  avec I = matrice unitaire prenant les valeurs 1 sur la diagonale et 0 ailleurs. Si nous avons p variables initiales, la matrice  $|C - \lambda \cdot I|$  est de dimension (p,p) et nous obtenons alors p valeurs propres :  $\lambda_i$  avec  $i=1, \dots, p$

A la plus grande des valeurs propres est associé le 1<sup>er</sup> axe, à la seconde valeur propre est associé le 2<sup>ème</sup> axe etc.

Les vecteurs propres sont obtenus grâce au calcul du système d'équations :  $(C - \lambda \cdot I) \cdot U = 0$  à chaque valeur propre est donc associé un vecteur propre.

5- Pourcentage d'inertie : l'inertie totale qui mesure la dispersion du nuage est égale à la trace de la matrice de corrélation. Comme tous les termes de la diagonale de cette matrice sont nécessairement égaux à 1, il en résulte que la trace de la matrice C correspond au nombre de variables initiales.

→ Inertie totale =  $\text{tr } C = p$

Si nous voulons effectuer une analyse factorielle sur la base de 5 variables initiales, nous avons donc une inertie totale = 5.

Par ailleurs, on montre également que :

$$\text{Inertie totale} = \sum_j \lambda_j = p$$

De ce fait, nous pouvons calculer les pourcentages d'inertie associés à chaque axe. Ces pourcentages indiquent la part de l'inertie totale du nuage que restitue chaque axe factoriel, c'est-à-dire la contribution de chaque axe factoriel dans l'inertie totale.. Ils sont définis par :

Axe  $j$  avec  $j = 1 \dots p$ ,  $p = \frac{\lambda_j}{\text{tr } C} = \frac{\lambda_j}{P}$

Par définition le taux d'inertie le plus élevé est attaché au premier axe factoriel et ainsi de suite jusqu'au dernier axe.

**6- Sélection des axes :** Plusieurs critères peuvent être utilisés.

- Critère de Kaiser : on admet que seules les valeurs propres  $> 1$  doivent être retenues. Cela correspond au coude dans la courbe qu'on observe sur la carte factorielle (changement de pente : graphiquement).

- On se fixe pour chaque axe, une proportion minimale d'explication de la variance totale (inertie) :  $\lambda_i / p > X \%$ . Mais quel pourcentage minimum retenir ??

- On se fixe un pourcentage cumulé d'inertie totale à atteindre afin de ne pas perdre trop d'information. Quel seuil retenir ?? On admet souvent qu'il est nécessaire de retenir au moins 75% de l'inertie totale (environ). Il ne s'agit que d'un ordre de grandeur et non pas d'un critère strict et cela dépend également de la complexité des phénomènes étudiés.

**7-** De là, il est possible de calculer les coordonnées factorielles des variables sur les axes afin de pouvoir déterminer la contribution relative de chacune des variables initiales à la formation de chacun des axes.

La coordonnée de la variable initiale  $j$  sur l'axe  $i$  est donnée par la formule suivante :  
 $\text{coord}(j,i) = (\lambda_i)^{1/2} \cdot U_{j,i}$

Par ailleurs, on peut observer que pour chaque axe factoriel, la somme des carrés des coordonnées des variables initiales est égale à la valeur propre associée à l'axe.

Si donc, nous avons  $p$  variables initiales, nous aurons au niveau de l'axe 1, la relation suivante:

$$\sum_{j=1}^p \text{coord}^2(j,1) = \lambda_1 \text{ avec } \lambda_1 = \text{valeur propre associée au 1}^{\text{er}} \text{ axe.}$$

Par conséquent, la contribution absolue de la variable  $j$  à la formation du premier axe n'est autre que :

$$CTA(j,1) = \frac{coord^2(j,1)}{\lambda_1}$$

8- Selon un procédé identique, il est également possible de calculer les coordonnées factorielles des individus sur les axes. La projection de ces coordonnées dans les plans à deux dimensions permet de mettre en évidence les groupes d'individus qui présentent des comportements de même type, donc des distances peu éloignées.[44]

### III.2.5. LES DONNEES SONT-ELLES EN FACTORISATION ?

Chercher à savoir si la factorisation est possible est l'étape la plus importante de notre analyse :

Dans un premier temps, il convient d'observer la matrice de corrélation. Si plusieurs variables sont corrélées ( $> 0.5$ ), la factorisation est possible. Sinon, la factorisation n'a pas de sens et n'est donc pas conseillée. Pour tester la corrélation parfaite, il faut calculer le déterminant de la matrice. Notons que nous recherchons un déterminant petit, ce qui constitue un bon indice de l'existence de patrons de corrélations entre les variables, mais non égal à zéro.

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

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

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

Enfin, on utilise le test de sphéricité de Bartlett, dont l'échelle qui peut être utilisée est :

- Si la signification (Sig.) tend vers 0.000 c'est très significatif,
- Inférieur à 0.05, significatif,
- Entre 0.05 et 0.10, acceptable

- Au-dessus de 0.10, on rejette.

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

### **III.3. LA METHODE DE HIERARCHIE ANALYTIQUE**

#### **III.3.1. L'AIDE A LA DECISION**

L'aide à la décision est l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponses aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourants à éclairer la décision et normalement à prescrire, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, et les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part.[37]

Cette définition traduit le fait que les solutions proposées ne sont pas forcément des solutions optimales, on aide seulement le décideur à prendre une décision logique et ainsi choisir la meilleure solution.

#### **III.3.2. L'AIDE A LA DECISION MULTICRITERE**

Malczewski a défini cette notion comme suit « l'aide à la décision multicritère est un ensemble de procédures systématiques pour analyser les problèmes décisionnels complexes. La stratégie de base est de diviser le problème décisionnel en étapes concises et compréhensibles, d'analyser chaque étape et de les intégrer de manière logique pour produire une solution sensée ».[36]

#### **III.3.3. LA METHODE DE HIERARCHIE ANALYTIQUE (AHP)**

L'analyse multicritère AHP est un processus de hiérarchie analytique qui a été développé par Saaty (1982) afin d'aider les décideurs à faire un choix judicieux au niveau d'un problème faisant intervenir plusieurs critères. Bruce et al. (1989) la définissent comme suit:

- **Analyse (Analytic) :** la méthode AHP est un outil de prise de décision. En utilisant les mathématiques il est plus facile de comprendre et de décrire les choix à faire. Toutes les méthodes de description des décisions sont analytiques. La méthode est facile à mettre en œuvre malgré la complexité de sa structure mathématique.
- **Hiérarchie (Hierarchy) :** la méthode AHP organise le problème de la prise de décision selon des niveaux basés sur la compréhension de la situation par les décideurs. En résumant le problème sous forme de niveaux: objectif, critères, sous-critères, alternatives, le décideur peut analyser en profondeur des petits ensembles de décisions.
- **Procédé (Process) :** pour chaque problème de prise de décision on a besoin d'un procédé d'apprentissage, de débat et de révision de priorités. [38]

Le principe de la méthode AHP est simple: l'utilisateur exécute des comparaisons binaires entre les éléments de la hiérarchie, ensuite il transpose les résultats dans des matrices de comparaison à partir desquelles il extrait des vecteurs de priorité. En dernière étape, il calcule les poids relatifs des critères et établit la priorité des alternatives (solutions) qui font l'objet d'analyse.

La hiérarchie de la méthode AHP est souvent composée de trois niveaux : le premier niveau contient l'objectif, le deuxième niveau comprend les critères et les sous-critères et le troisième niveau contient les alternatives.

### III.3.4. POURQUOI L'AHP ?

Le choix de la méthode AHP est justifié en se basant sur le nombre important d'avantages qu'elle offre à ses utilisateurs, néanmoins la méthode AHP présente quelques limites. Le tableau III.1 illustre les avantages et les inconvénients de cette méthode :

**Tableau III.1 :** Avantages et inconvénients de la méthode AHP.

Avantages	Inconvénients
La seule méthode permettant de vérifier la cohérence des relations d'importance entre critères	Le choix d'échelle de 1 à 9 n'est pas justifié mathématiquement

La cohérence des choix est évaluée d'une façon systématique.	Le nombre de comparaisons augmente rapidement ce qui complique la tâche au sujet d'attribution des poids
La simplicité de mise en œuvre	
Possibilité d'ajouter ou d'éliminer des critères	
Les critères peuvent avoir des importances variables	
Le nombre de critères, sous-critères et alternatives n'est pas limité	
L'efficacité de la méthode dans la résolution des problèmes complexes	

### III.3.5. LA DEMARCHE

La procédure d'agrégation selon la méthode AHP comporte cinq étapes :

Etape 1 : Décomposer le problème complexe en une structure hiérarchique.

Etape 2 : Comparaison par paire des éléments. (Matrice de jugement)

Etape 3 : Déterminer les priorités. (Les poids)

Etape 4 : Évaluer la cohérence des jugements.

Etape 5 : Calculer le « poids » final.

#### III.3.5.1. Décomposer le problème complexe en une structure hiérarchique

On commence par décortiquer un système complexe en structure hiérarchique et ceci en déterminant les éléments du problème des plus généraux aux plus spécifiques, on procédera par la suite au classement de ces éléments par niveaux.

Dans le cas général la hiérarchisation comporte trois niveaux sous forme de pyramide, le plus haut représente l'objectif à atteindre, juste en-dessous on retrouve les critères et les sous-critères et c'est les éléments qui affectent la prise de décision et enfin comme troisième niveau et en bas de la pyramide on retrouve les alternatives.[39],[40]



En résumé cette première étape consiste à :

- Définir l'objectif cible (niveau 0).
- Définir les critères et les sous-critères de décision ou d'analyse (niveau 1).
- Définir les alternatives (Niveau 2).



**Figure III.1** : Structure hiérarchique d'un problème selon la méthode AHP.

### III.3.5.2. Comparaison par paires des éléments

Une fois la pyramide construite, on doit émettre des priorités pour chaque élément inscrit dans chaque niveau de la pyramide afin d'en déterminer l'importance de chaque élément.

Pour ce faire, l'évaluation de l'importance relative de chaque élément par rapport à un autre élément du même niveau se fait en comparant deux à deux ces derniers contribuant ainsi à la réalisation du niveau supérieur adjacent. Il faut donc choisir une échelle de valeurs pour spécifier le degré d'importance d'un élément par rapport à un autre. L'échelle de valeur (1 à 9) est adoptée.[40]

Cette échelle de valeur permet au décideur d'incorporer sa subjectivité, de contribuer par son expérience et ses connaissances lors de la détermination des importances relatives des éléments pour chaque niveau. Le choix de cette échelle repose sur notre capacité naturelle à établir des distinctions dans la force des relations qui existent entre les éléments.

Saaty propose une évaluation sur 5 niveaux selon le tableau suivant :

**Tableau III.2 :** Echelle de jugement.[40]

Description	Valeur numérique
Les deux éléments ont une importance égale	1
L'élément en ligne est un peu plus important que celui en colonne	3
L'élément en ligne est plus important que celui en colonne	5
L'élément en ligne est beaucoup plus important que celui en colonne	7
L'élément en ligne est absolument plus important que celui en colonne	9
L'élément en ligne est un peu moins important que celui en colonne	1/3
L'élément en ligne est moins important que celui en colonne	1/5
L'élément en ligne est beaucoup moins important que celui en colonne	1/7
L'élément en ligne est absolument moins important que celui en colonne	1/9
Dans certain cas, si nous avons des difficultés pour évaluer, on pourra affiner en rajoutant des valeurs intermédiaires.	2, 4, 6, 8

Remarque : Le Tableau III.2 donne une signification verbale des valeurs numériques de l'échelle.

Ainsi, à partir de cette échelle de valeurs, nous complétons une matrice de jugement  $M$ , à chaque niveau.

Pour un niveau on note la matrice carrée de jugement  $B = [b_{ji}]$   $m \times m$  où  $m$  est le nombre de critères.  $b_{ji}$  : le coefficient d'importance relative du critère  $C_j$  par rapport au critère  $C_i$ .

Le tableau suivant présente la matrice carrée de jugement :

**Tableau III.3** : La matrice de jugement relatif à un niveau.[40]

Critères	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	...	C <sub>m</sub>
C <sub>1</sub>	1	b <sub>12</sub>	b <sub>13</sub>	...	b <sub>1m</sub>
C <sub>2</sub>	1/b <sub>12</sub>	1	b <sub>23</sub>	...	b <sub>2m</sub>
C <sub>3</sub>	1/b <sub>13</sub>	1/b <sub>23</sub>	1	...	b <sub>3m</sub>
...	...	...	...	1	...
C <sub>m</sub>	1/b <sub>1m</sub>	1/b <sub>2m</sub>	1/b <sub>3m</sub>	...	1

### III.3.5.3. Déterminer les priorités

Une fois ces matrices comparatives créées, une mesure relative est dérivée de ces différents éléments. La mesure relative d'un élément à un niveau donné (critère fils), en lien avec l'élément du niveau adjacent plus élevé (critère père), constitue le poids du critère fils associé à ce niveau.

Pour définir ces poids, Saaty a proposé une méthode basée sur la détermination des valeurs propres  $\lambda$  de la matrice des jugements.

En effet, la détermination des poids à un niveau donné, caractérisé par une matrice des jugements  $M$  (où  $M = B$  dans notre cas) est effectuée comme suit :

- Résoudre l'équation  $\det [M - \lambda I] = 0$  et déterminer les valeurs propres de la matrice  $M$ . Avec  $\det$  (déterminant).

- Calculer le vecteur propre  $V$  relatif à la plus grande valeur propre :  $\lambda_{\max}$ .

Ainsi, les valeurs des composants du vecteur  $V$  représentent les poids des éléments du niveau en question.

Saaty a aussi montré que la valeur propre maximale  $\lambda_{\max}$  du problème de recherche des valeurs propres était réelle et supérieure à la taille de la matrice et en ajoutant la condition que la somme des poids doit être égale à 1, il a démontré que les valeurs des poids peuvent être obtenues par une autre technique qui consiste à :

- Normaliser la matrice de jugement par colonne en divisant chaque élément d'une colonne par la somme des éléments de cette même colonne.

- Calculer la moyenne arithmétique des nombres sur chaque ligne de la matrice normalisée obtenue précédemment.

Ainsi, la valeur de la moyenne obtenue pour une ligne correspond au poids de ce critère relativement à ce niveau.

#### III.3.5.4. Evaluer la cohérence des jugements

A ce stade, nous avons donc le « poids » de chacun des critères du niveau ciblé. La méthode AHP propose alors d'en valider la fiabilité du résultat en calculant un index de cohérence.

En effet, l'incohérence potentielle peut venir du fait qu'un critère peut ne pas être jugé de façon cohérente vis à vis d'un ou plusieurs autres. Cet indice va donc nous permettre de détecter des défauts importants dans notre calcul et notre évaluation.

L'indice de cohérence CI d'une matrice  $n \times n$  est:

$$RC = IC / RI$$

Avec :

- **RI, Indice aléatoire élaboré par Saaty** : Il indique le niveau de fiabilité d'une même évaluation effectuée à plusieurs reprises.

**Tableau III.4** : Indice aléatoire élaboré par Saaty.

<b>n</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>R.I</b>	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

- **IC, Index de Cohérence** : il représente le niveau de fiabilité de notre jugement.

- **RC, Ration de Cohérence** : En divisant IC par RI, on compare donc notre fiabilité réelle avec une fiabilité théorique.

Au plus ce ratio est proche de 0, au plus notre évaluation est cohérente. Saaty donne une valeur au plus de 10% d'erreur pour pouvoir accepter l'évaluation. Le cas contraire, il faudra refaire l'évaluation.

L'indice de cohérence se calcule de la manière suivante :

$$IC = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

- $\lambda_{\max}$  : Valeur propre maximale.
- $n$  : taille de la matrice

#### **III.3.5.5. Calculer le « poids » final**

Une fois l'ensemble des poids des critères par niveau est calculé, on va calculer le poids final en multipliant simplement les poids des critères du niveau le plus bas par les poids des critères correspondants des niveaux supérieurs.

Remarque : Les poids mesurés dans chaque niveau peuvent être utilisé directement dans ce même niveau sans avoir besoin de calculer un poids final du niveau supérieur.

### **III.4. CONCLUSION**

Le présent chapitre est une synthèse de deux méthodes qu'on a appliqué dans notre étude à savoir :

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

Nous avons abordé aussi les techniques et les fondements du concept de l'analyse multicritère, d'ailleurs plusieurs chercheurs et gérants d'entreprises se sont fiés à cette méthode. L'objectif principal de cette méthode est d'aider et d'orienter l'utilisateur dans ses prises de décision, notamment lorsqu'il s'agit d'un problème complexe, ce qui nous a poussés à choisir la méthode AHP comme un outil très puissant et très pratique qui va nous permettre d'organiser la gestion d'une STEP en considérant cette dernière comme une entreprise de production.

**CHAPITRE IV : Présentation de la STEP  
de Jijel et critique des données**

### **IV.1. PRESENTATION DE LA WILAYA DE JIJEL**

La wilaya de Jijel se situe dans le Nord Est du pays à 356 km de la capitale Alger, à 96 km de Bejaia et 146 km de Constantine, elle couvre une superficie de 2 397 km<sup>2</sup>, et est comprise entre les méridiens 5°25' et 6°30', à l'Est de Greenwich et entre les parallèles 36° 104 et 36°50' de l'hémisphère Nord. Elle est caractérisée par un climat méditerranéen pluvieux et froid en hiver, chaud et humide en été. La wilaya de Jijel connaît un développement urbain rapide évalué en 2008 à environ 636 948 habitants et 653 272 en 2009 qui engendre une évolution de l'alimentation en eau potable une augmentation des volumes d'eau usée rejetée qui a atteint 110000 m<sup>3</sup>/j en 2011. Par contre la population de la ville de Jijel a été estimée à 135 000 habitants (SCE, 2009) avec des volumes d'eau usée atteignent 9400 m<sup>3</sup>/j. La ville de Jijel est dotée d'une seule station d'épuration qui concerne les Communes de Jijel, Kaous, Texenna, et la localité de Tassoust. Une STEP à boue activée gérée avant par VATech WABAG et actuellement par l'office national de l'assainissement (ONA). [41]

### **IV.2. OFFICE NATIONAL DE L'ASSAINISSEMENT (ONA)**

L'office national de l'assainissement (l'ONA), joue un rôle primordial, étant un établissement public national à caractère industriel et commercial, il a été créé en avril 2001 sous la tutelle du ministère chargé des ressources en eau. Les missions qui incombent à l'ONA sont la gestion, l'exploitation et la maintenance des infrastructures d'épuration.[9]

### **IV.3. VATech WABAG**

VATech Wabag est une société multinationale indienne. Fondée en 1924, la société est une société de technologie de l'eau pure et de traitement de l'eau pour les utilisateurs municipaux et industriels. La société a réalisé plus de 6000 projets et est présente dans plus de 30 pays y compris l'Algérie.

### **IV.4. LOCALISATION DE LA STEP D'ELRABTA -JIJEL**

La station d'épuration est située à l'Ouest de la ville dans la région d'Elrabta à 2 km du chef-lieu de la wilaya, elle occupe environ 5,9 hectares et a été mise en service en juin 2008. La station d'épuration est destinée à traiter les eaux usées d'origine domestique de la ville de Jijel et ses environs. Soit actuellement les rejets d'une population équivalente à 150 000 habitants

en première phase, et une extension future de la station comme deuxième phase, à 225000 habitants.

La nature des eaux brutes arrivant à la station est généralement d'origine domestique, ces rejets viennent vers le réseau d'assainissement de la wilaya de Jijel, les eaux épurées sont déversées dans la mer.[9]



**Figure IV.1** : Image satellitaire de la STEP de Jijel.



**Figure IV.2** : Photo aérienne de la STEP de Jijel.



## IV.5. CONSTRUCTION ET CHOIX D'IMPLANTATION DE LA STEP

La station a été construite par deux entreprises Wabag et Cossider et l'étude d'implantation dans la région d'Elrabta (Ramlet Zouwaya) a été faite par le bureau d'étude Hydrotraitement sous l'accord de la direction d'hydraulique de la wilaya de Jijel.

Plusieurs facteurs ont incité les responsables de l'étude à implanter cette STEP sur ce site, dont les plus importants sont : l'isolement de la station par rapport aux habitations pour éviter les problèmes des odeurs, le raccordement adéquat du système d'assainissement et la protection de la côte méditerranéenne.

## IV.6. CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA STEP DE JIJEL

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques générales de la station d'Elrabta-Jijel, ainsi que la capacité nominale de cette station :

**Tableau IV.1** : Caractéristiques générales de la STEP d'Elrabta-Jijel.

<b>Milieu récepteur</b>	La mer
<b>Localité concernée par le traitement</b>	Communes de Jijel, Kaous, Texenna, et localité de Tassoust
<b>Nature des eaux brutes</b>	Urbaines
<b>Capacité de la station</b>	150 000 EQ/H 30 000 m <sup>3</sup> /j.
<b>Superficie de L'assiette</b>	5.9 Hectare
<b>Groupement de réalisation :</b> - Génie civil - Equipements	- COSIDER Canalisation - VA Tech WABAG
<b>Type du dispositif d'assainissement de la ville</b>	Unitaire
<b>Système d'épuration</b>	Boues activées à très faible charge (Aération prolongée)
<b>Alimentation en eau usée</b>	Gravitaire et par refoulement jusqu'à la station
<b>Date de mise en service</b>	Juin 2008.
<b>Date de transfert de la station à l'ONA</b>	dimanche 1 novembre 2009

## IV.7. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA STEP

La station fonctionne à faible charge massique de l'ordre de 0,07 kg DBO5 / kg MVS, à faible débit suivant le processus d'une aération prolongée à boue activées, ce processus permet d'obtenir une bonne efficacité d'élimination de la DBO5 et une stabilisation des boues.

La STEP a été dimensionnée pour une eau ayant les caractéristiques de base suivantes :

### IV.7. 1. CHARGE HYDRAULIQUE

Les valeurs nominales de la Charge hydraulique de la STEP d'Elrabta-Jijel pour la phase actuelle, ainsi que pour la phase d'extension sont rapportées dans le tableau suivant :

**Tableau IV.2 :** Valeurs nominales de la Charge hydraulique de la STEP d'Elrabta-Jijel.

Paramètre	Unité	Valeur du paramètre	
		Phase 1	Phase 2
Nombre d'équivalent habitant	EH	150.000	225.000
Débit moyen rejeté	m <sup>3</sup> /j	30.000	45.000
Débit de pointe au temps sec	m <sup>3</sup> /j	1.960	2.940
Débit de pointe au temps de pluie	m <sup>3</sup> /j	3.750	6.251

### IV.7. 2. CHARGE POLLUANTE

Les valeurs nominales de la Charge polluante de la STEP d'Elrabta-Jijel pour la phase actuelle, ainsi que pour la phase d'extension sont rapportées dans le tableau suivant :

**Tableau IV.3 :** Caractéristiques de l'eau brute.

Paramètre	Unité	Valeur du paramètre	
		Phase 1	Phase 2
Concentration de la DB05	g/m <sup>3</sup>	300	300
Charge massique de DB05	Kg/j	9000	13 500
Concentration de la DCO à l'entrée	g/m <sup>3</sup>	600	600
Charge massique de DCO à l'entrée	Kg/j	18 000	27 000
Concentration de NTK à l'entrée	g/m <sup>3</sup>	55	55
Charge massique de NTK	Kg/j	1650	2 475
Charge massique de MES	Kg/j	12 000	15 570

## IV.8. COLLECTE DES EAUX

Le réseau d'assainissement de la ville de Jijel est à 92% unitaire et à 8% séparatif. Le linéaire total du réseau est de 113 Km. Le bassin versant est caractérisé par huit sous bassins dont la moitié se déverse au milieu naturel. Donc la collecte se fait presque à travers un seul collecteur qui assure le transport à la fois des eaux domestiques et pluviales. Ce réseau unitaire est également économique car son dimensionnement est calculé en fonction des eaux pluviales dont le débit est plus important que celui des eaux domestiques.

Le réseau est majoritairement gravitaire, il contient cinq stations de relevage, dont trois sont raccordées à la STEP.

On dénombre 56 rejets directs, essentiellement concentrés sur l'Oued « Mautas ». Le volume d'eau rejeté directement dans le milieu naturel est estimé à 3 000 m<sup>3</sup>/j (SCE, 2009). Par contre, le volume journalier arrivant à la STEP est de l'ordre de 9 400 m<sup>3</sup>/j.

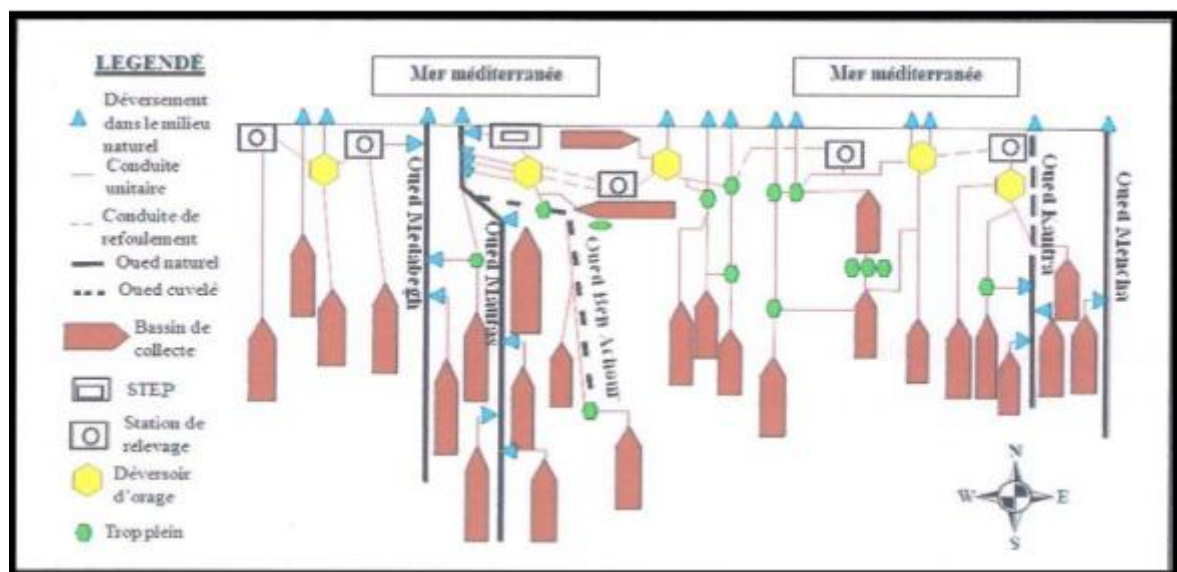


Figure IV.3 : Schéma synoptique du système d'assainissement de la ville de Jijel.[1]

IV.9. PROCEDE DE L'EPURATION

Les eaux usées arrivent à la station par gravité ou par pompage, les étapes de l'épuration par lesquelles passe cette eau dans la station d'Elrabta-Jijel sont schématisées dans la figure suivante :

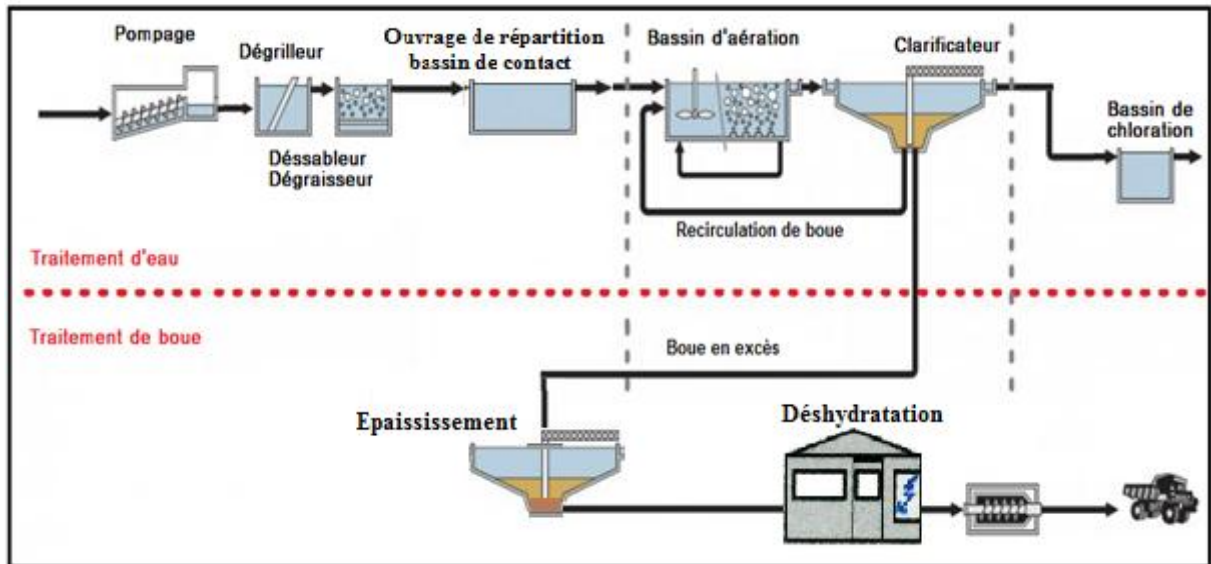


Figure IV.4 : Schéma des procédés de traitement au niveau de la STEP.

Tableau IV.4 : Filières de traitement de la STEP.

Filière eau	Filière boues
Ouvrage de réception	Recirculation et extraction des boues en excès
Dégrillage grossier (mécanisé)	Épauississement des boues (Avec Herse)
Dégrillage fin (mécanisé)	Lits de séchage (18 lits de secours)
Dessablage déshuilage aéré	Déshydratation Mécanique filtre à bande et table d'égouttage
Bassin d'aération (12 Aérateurs de surface la Puissance unitaire =75KW)	
Clarificateurs (02 Décanteurs de type racleur)	
Désinfections	
Relevage de tête	
Comptage des eaux brutes et épurées.	
Préleveurs automatiques pour échantillonnage	
Groupe électrogène	

## IV.10. PROCEDE DE TRAITEMENT ET DESCRIPTION DES OUVRAGES DE LA STATION

### IV.10.1. DEVERSOIR D'ORAGE

Le déversoir d'orage est prévu à l'extérieur de la station, le rôle de cet ouvrage est la protection du système contre les surplus des eaux usées. Les ouvrages hydrauliques sont dimensionnés pour un débit de 25 000 m<sup>3</sup>/h pour la première phase, un débit à ne pas dépasser sous peine de dysfonctionnement de la station.

Le surplus d'eau est collecté dans un « déversoir d'orage » pour être évacué dans une conduite vers l'oued « Chaabat ben Achour », pour finir par rejoindre la .



**Figure IV.5 :** Déversoir d'orage muni d'une vanne de régulation de débit.

### IV.10.2. STATION DE RELEVAGE

Elle comporte quatre pompes qui fonctionnent en alternance selon la variation du débit entrant.

La commande des quatre pompes s'effectue par une sonde ultra sonique installée en haut du puits. Elles permettent de relever les eaux brutes admises dans la station pour les injectées dans le circuit du traitement.

Le passage de l'eau de la bache au prétraitement se fait par le biais de ces pompes puis l'eau circule gravitairement vers les ouvrages (Dessableur-Déshuileur,...).



**Figure IV.6 :** Station de relevage.

### **IV.10.3. LE PRETRAITEMENT**

Il est destiné à séparer les eaux résiduaires :

- Des matières solides volumineuses risquant d'obstruer les canalisations de l'installation.
- Des matières flottantes et les polluants liquides (huiles, hydrocarbures) non miscibles à l'eau et généralement moins dense qu'elle.

#### **IV.10.3.1. Le Dégrillage**

Il permet de séparer les matières volumineuses de l'eau. Son principe est extrêmement simple, puisqu'il consiste à faire passer l'eau brute à travers des grilles composées de barreaux placés verticalement ou inclinés de 60 à 80° sur l'horizontale. L'espacement des barreaux varie de 10 à 100 mm. La vitesse moyenne de passage de l'eau entre les barreaux est comprise entre 0.6 et 1m/s.

La station d'Elrabta comporte deux types de dégrilleurs :

- Le dégrilleur grossier : Il existe deux dégrilleurs automatiques grossiers assurant la rétention mécanique de déchets volumineux (papiers, plastique, bois...etc.) de dimension supérieur à 50 mm. Les matières de vidanges, sont stockées dans la fosse de dépotage construite en tête de la station et sont évacuées en incinération.
- Le dégrilleur fin : Il comporte trois dégrilleurs, deux dégrilleurs fonctionnent automatiquement et l'autre manuellement (de secours). Déposé sur le même axe en communication hydraulique direct avec le dessableur-déshuileur, afin de retenir mécaniquement tous les petits

corps étrangers de dimension supérieur à 10 mm, qui peuvent perturber le fonctionnement des installations.



**Figure IV.7** : Dégrilleur grossier.



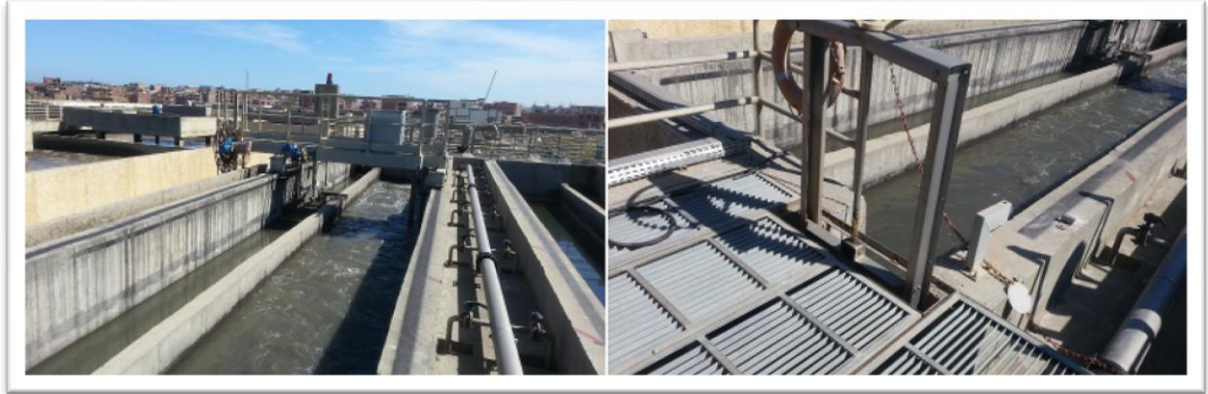
**Figure IV.8** : Dégrilleur fin.[9]

#### IV.10.3.2. Le dessablage-déshuilage

La station d'Elrabta compte deux dessableurs-déshuileurs installés cote à cote. Chacun est muni d'un système d'injection d'air sous forme de microbulles permettant l'ascension et la flottation des huiles /graisses à la surface. Les matières lourdes (graviers et sables) décantent en bas du bassin.

L'ouvrage est muni d'un :

- Système « air lift » pour extraire les résidus après un raclage du fond du bassin, Ils seront évacués dans un classificateur après passage par un « égouttoir ».
- Système de racleur superficiel, pour accumuler les graisses et les déversés dans des bennes.



**Figure IV.9** : Dessableur-déshuileur.

#### **IV.10.4. LE TRAITEMENT BIOLOGIQUE**

Le procédé de traitement biologique utilisé au niveau de la station d'Elrabta est un procédé à boues activées.

La zone de traitement biologique comporte deux ouvrages principaux : le puits de contact (l'ouvrage de répartition) et les bassins d'aération :

##### **IV.10.4. 1. Ouvrage de répartition (puits de contact)**

C'est la première étape de traitement biologique. La dépollution n'a pas encore débuté, mais il est nécessaire d'assurer un mélange « intime » des eaux usées en provenance du prétraitement avec les boues de retour afin d'amorcer l'épuration biologique et d'éviter la prolifération d'algues.



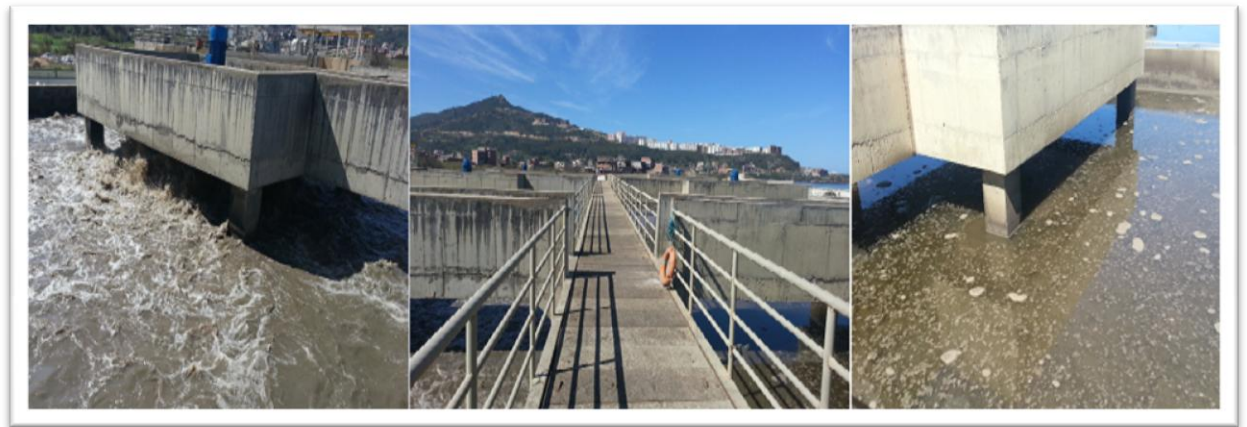
**Figure IV.10** : Ouvrage de répartition (puits de contact).[9]



#### IV.10.4.2. Bassin d'aération

Le mélange eaux usées-boues activées collectées dans l'ouvrage de répartition est déversé dans les bassins d'aération (réacteurs biologiques) dans lesquels s'effectue la transformation de la matière organique par les microorganismes aérobies. Ils constituent un élément fondamental de la filière définie sous le terme de boues activées. Une bonne gestion de l'aération permet également d'assurer les réactions de nitrification et de dénitrification.

La station d'épuration d'Elrabta-Jijel comporte deux grands bassins d'aération chacun dispose de six aérateurs identiques de surface permettant l'oxygénation de l'eau.



**Figure IV.11** : Bassin d'aération.

Le tableau ci-dessous présente les dimensions de chaque bassin d'aération :

**Tableau IV.5** : Dimensions du bassin d'aération.[9]

Désignation	unité	Valeur
Charge massique	kg DBO5 / kg MVS	0,07
MES	g /l	5
Charge en DBO5	kg/j	9000
Nombre de Bassin	/	2
Hauteur d'eau	m	4,5
Longueur droit	m	66
Longueur	m	44
Volume totale	m <sup>3</sup>	26136

#### IV.10.5. DECANTEUR SECONDAIRE

La STEP est dotée de deux décanteurs cylindro-coniques équipés de racleurs de fond appelés clarificateurs. La liqueur mixte de boues activées est dirigée vers ces ouvrages de décantation secondaire dans le but de séparer l'eau épurée des boues qu'elle contient. La liqueur mixte est introduite dans le centre, l'eau clarifié déborde en périphérie dans une double goulotte de reprise et les boues se déposent sur le radier et seront racless vers le centre de l'ouvrage ou elles s'épaississent légèrement.



**Figure IV.12 :** Décanteur secondaire.

#### IV.10.6. DESINFECTION (BASSIN DE CHLORATION)

L'eau qui sort des décanteurs secondaires sera désinfectée, cette désinfection a pour objectif principal d'hygiéniser les eaux épurées, afin de protéger les zones sensibles de rejet (la mer) ou pour une éventuelle réutilisation de ces eaux.

La désinfection se fait par l'injection de l'eau de javel (hypochlorite de sodium) ou le chlore gazeux à l'entrée du bassin de chloration afin de détruire les germes pathogènes et donc obtenir une eau épurée à la sortie de la STEP qui devra correspondre à la norme exigée.

Remarque : Il est à signaler que la chloration au niveau de la STEP est suspendue actuellement.



**Figure IV.13 :** Bassin de chloration.

## **IV.10.7. LE TRAITEMENT DES BOUES**

### **IV.10.7.1. Recirculation des boues**

Pour assurer un traitement biologique efficace, il faut maintenir une concentration constante (voisine de 5g/l) dans le bassin d'aération. Pour cela, il est nécessaire de recirculer une partie des boues qui sont extraites du décanteur secondaire vers l'entrée du bassin d'aération (boues recirculées), ce qui permet de respecter une charge massique de fonctionnement considérée ou de limiter le temps de séjour dans les décanteurs pour garantir une bonne qualité et un âge de boue bien défini.

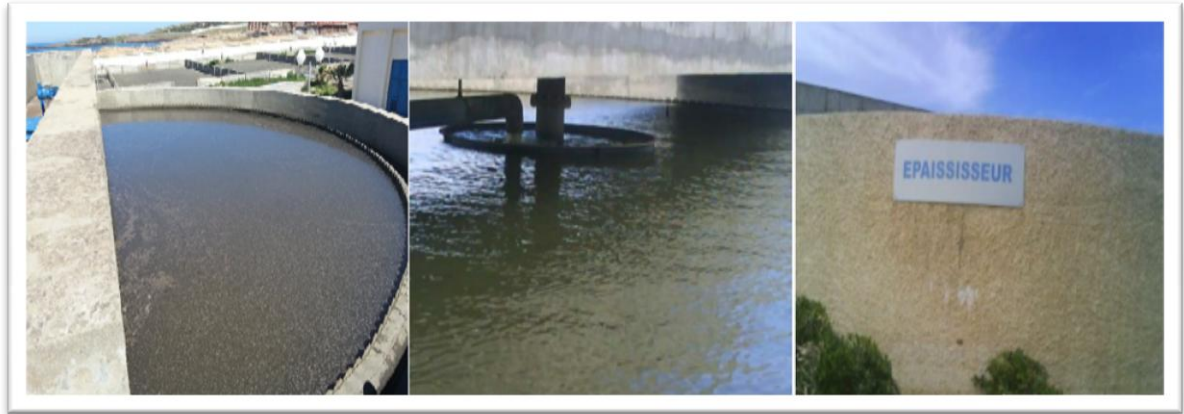
### **IV.10.7.2. Evacuation des boues en excès**

La biomasse augmentant chaque jour avec la quantité de la pollution retenue. Il est donc nécessaire d'enlever régulièrement les boues excédentaires pour maintenir un taux de MES stable dans le bassin d'aération, et d'éviter conséquemment l'accumulation et le débordement du lit de boue dans les décanteurs.

### **IV.10.7.3. Epaissement des boues**

L'objectif principale d'épaissement des boues est de réduire le volume de ces dernières et ainsi d'augmenter leur concentration, cette opération concerne les boues en excès, elles seront pompées à une concentration de 10 g/l de la sortie de décanteur secondaire et acheminées vers l'épaisseur pour assurer un épaissement de la boue sous l'action de la pesanteur

(pression d'eau) et simultanément par «raclage» qui assure la séparation des deux phases boue et eau. Concernant cette STEP, la concentration à la sortie de l'épaississeur est de 30 à 35g/l.



**Figure IV.14 :** Epaississeur.

#### IV.10.7.4. Déshydratation des boues

Les boues épaissies sont ramenées au centre de l'ouvrage pour faire la déshydratation (naturelles et ou mécaniques), cette dernière permet de diminuer la teneur en eau des boues et d'atteindre une siccité allant de 15 à 40%.



**Figure IV.15 :** Systeme de pompage pour l'aspiration des boues en excès.[9]

Déshydratation mécanique des boues : elle correspond en fait à une augmentation forte de siccité, en modifiant l'état physique des boues, celles-ci passant de l'état liquide à l'état pâteux ou solide. Cette opération est assurée par des filtres à bandes. Après un mélange avec des polymères, la boue est déversée sur un tapis roulant qui assure l'élimination de toute trace d'eau. Le but de cette opération est le séchage des boues pendant la période pluvieuse, et donc obtenir une boue parfaitement floculée, pâteuse avec une siccité de 18 à 20%.



**Figure IV.16 :** Les différentes étapes de la déshydratation mécanique.

Déshydratation naturelle (lits de séchage) : C'est le procédé le plus utilisé le long de l'année sauf en période pluvieuse, car il est peu onéreux et très facile à mettre en œuvre. Il consiste en une filtration gravitaire couplée à un séchage de la boue épaissie épanchées sur des aires rectangulaire appelées « lits de séchages » en couches superposées n'excédant pas les 50 cm d'épaisseur.

La STEP compte dix-huit lits de séchage rectangulaire (15m x 30m). Le lit est constitué d'une couche de sable de filtration disposée sur une couche support de gravillons. Cette dernière sert aussi à protéger un réseau de canalisation ou seront drainées les eaux récupérées de la boue. L'élimination de l'humidité résiduaire s'opère grâce à l'effet d'évaporation et d'égouttage de la boue.



**Figure IV.17** : Lits de séchage.[9]

#### **IV.10.8. LABORATOIRE D'ANALYSE DE LA STEP**

Le laboratoire est une partie importante de la station, c'est là que les analyses de l'eau brute et de l'eau épurée sont effectuées. Les analyses sont pratiquées quotidiennement afin d'avoir des informations sur les eaux brutes qui rentrent dans la station, les eaux épurées à la sortie du bassin d'aération et les eaux épurées à la sortie de la station, et aussi des boues.

Les analyses effectuées sur les échantillons brutes et traités sont : température, pH, conductivité, MES, MVS, DBO5 et DCO ainsi que les différents paramètres indésirables (nitrates, nitrites, azote total, phosphate total, ortho phosphate), et autres paramètres caractéristiques y compris les paramètres qui concernent la boue.

##### **IV.10.8.1.Méthode potentiométrique**

Cette méthode met en œuvre le plus souvent des électrodes spécifiques qui sont utilisées par immersion dans l'eau, elles permettent de mesurer : le potentiel d'oxydoréduction PH, l'oxygène, et la conductivité. Le couplage de ces sondes à une unité centrale de saisie de donnée permet de suivre sur le site l'évolution de la qualité de l'eau dans le temps.

- Le PH : est mesuré avec PH mètre de marque HACH.

- La température : elle est mesurée directement et simultanément à l'aide de conductivimètre. Les résultats sont exprimés en °C.

La conductivité électrique, salinité, solides dissous totaux (TDS) : elles sont mesurées directement à l'aide d'un conductivimètre de marque HACH (HQIUD), les résultats sont exprimés en  $\mu\text{s}/\text{cm}$  pour la conductivité, en  $\text{mg}/\text{l}$  pour les TDS est en % pour la salinité.



**Figure IV.18 :** 1) PH mètre 2) Conductivimètre.[9]

#### IV.10.8.2. Méthode gravimétrique

Son principe est basé sur la mesure d'une masse d'un volume directement proportionnel à l'élément recherché. Parmi les applications, la mesure des MES, après séparation solide-liquide.

- MES : la détermination des MES de l'eau brute s'effectue par filtration à l'aide d'un dispositif de filtration sous vide en passant par une étuve, par contre la concentration des MES de l'eau épurée est mesurée directement à l'aide un spectrophotomètre.



**Figure IV.19 :** Pompe de filtration.[9]

### IV.10.8.3. Méthode colorimétrique

C'est la méthode analytique la plus utilisée en analyse d'eau. Elle nécessite la mise en œuvre préliminaire d'une réaction colorée spécifique d'élément recherché. Elle s'appuie sur le fait que toute solution colorée traversée par un faisceau de lumière absorbée est proportionnelle à la concentration du composé coloré recherché.

La demande chimique en oxygène (DCO): pour mesurer la DCO, on utilise des tests en cuve commerciales (LCK 114) ou l'eau est injectée dans ces tubes puis la lecture se fait dans un spectrophotomètre VIS DR-2800. On utilise la même méthode pour mesurer les paramètres suivants : nitrites (NO<sub>2</sub>-N), nitrates (NO<sub>3</sub>-N), l'azote totale (Ntot), les orthophosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), le phosphore totale (Ptot), tel que chaque paramètre possède un test en cuve spécial qui contient des substances propres à lui.

Note : Le Spectrophotomètre au niveau de la STEP a été en panne durant la période 2010 à 2013 ce qui a causé un grand manque de mesures des paramètres.



Figure IV.20 : Spectrophotomètre.[9]

### IV.10.8.4. Méthode volumétrique

- C'est la mesure d'un volume d'une solution titrée d'un élément recherché, de nombreux paramètres sont déterminés par volumétrie (chlorures, alcalinité,...).

- Indice de boue (IB) : si la concentration de la boue dans l'éprouvette dépasse les 900 ml, on fait une dilution. On agite et on prélève 500 ml. On complète par de l'eau du clarificateur.

On obtient ainsi l'indice de boue qui est le volume occupé par un gramme de boue décantée (ml/g).





**Figure IV.21** : Eprouvette du test.[9]

#### IV.10.8.5. Méthode manométrique (DB05)

Une quantité d'eau est versée, dans une bouteille fermée avec un bouchon muni d'un capteur de pression, le volume choisi est fonction de la gamme de mesure souhaitée.

L'appareil de mesure « DBO Trak » est placée dans un réfrigérateur maintenu à 20°C. On suit ensuite, en fonction du temps, tous les jours pendant cinq jours pour la DB05, la consommation d'O<sub>2</sub>, qui se traduit par une diminution de la pression d'air. L'oxygène des matières organiques par les micros organismes provoquent la formation de CO<sub>2</sub> qui sera piégé par des cristaux d'hydroxyde de lithium. Les résultats de la DB05 seront lus directement par affichage de l'appareil « DBO Trak » après cinq jours.



**Figure IV.22** : Appareil « DBO trak » et réfrigérateur.[9]

### IV.11. CRITIQUE DES DONNEES

La STEP de Jijel a mis à notre disposition une série de données journalières de mesure de différents paramètres à l'entrée et à la sortie durant la période (2008 - 2014).

Dans le cadre de ce travail, nous avons procédé à une analyse générale de ces données : une critique visuelle des graphique de variation des paramètres en fonction du temps, et une application des méthodes statistiques pour déterminer les paramètre et les observations exploitables et à retenir.

Dans cette étude, la chronologie n'est pas exigée, car, chaque observation va être étudiée indépendamment de l'autre.

Au début, nous avons procédé à l'élimination des paramètres qui n'ont pas un nombre suffisant d'observations pour notre étude, ou qui ne sont pas exploitable. Les paramètres pris en considération sont résumés dans le tableau suivant :

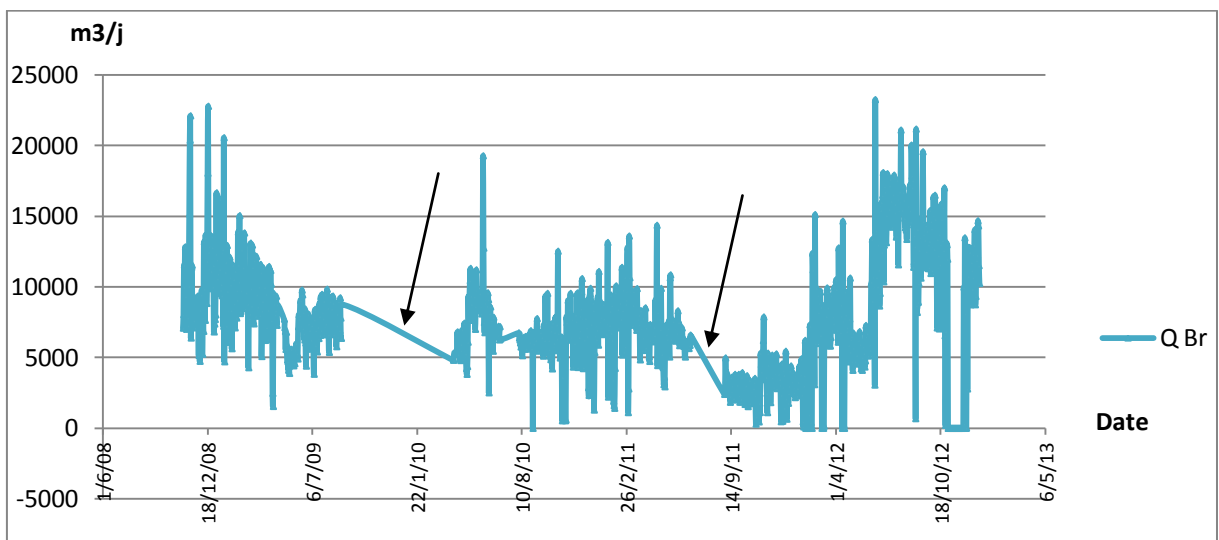
**Tableau IV.6 :** Les paramètres disponibles et leurs Statistiques descriptives.

Param	Min	Max	Moy	Ecart Type	Param	Min	Max	Moyenne	Ecart Type	Unité
<b>Q Br</b>	1548	20558	8418,8	2701,96	<b>Q Ep</b>	1290	15410	7593,99	2573,08	m <sup>3</sup> /j
<b>T Br</b>	10,7	27,8	18,07	4,53	<b>T Ep</b>	1,4	28,1	17,98	5,33	° C
<b>pH Br</b>	4,47	8,75	7,41	0,43	<b>pH Ep</b>	4,36	8,49	7,5	0,48	-
<b>Cond Br</b>	629	2430	1311,18	224,85	<b>Cond Ep</b>	737	2085	1185,7	174,58	μS/cm
<b>MES Br</b>	131	747	345,87	98,87	<b>MES Ep</b>	1	13	4,09	2,15	mg/l
<b>DCO Br</b>	351	839	520	117,92	<b>DCO Ep</b>	38	99	70	12	mg/l
<b>DBO5 Br</b>	112	448	264,85	60,74	<b>DBO5 Ep</b>	1	12	4,6	2,04	mg/l
<b>Ntot Br</b>	6,21	38,19	24,94	6,72	<b>Ntot Ep</b>	0,175	6,94	3,09	1,22	mg/l
<b>NH4-N Br</b>	21	67,01	46,43	10,75	<b>NH4-N Ep</b>	0,02	3,27	0,51	0,47	mg/l
<b>NO3-N Br</b>	0,48	34,16	4,78	6,71	<b>NO3 Ep</b>	0,01	30,65	3,38	7,68	mg/l
<b>Ptot Br</b>	1,2	16,94	9,56	2,66	<b>Ptot Ep</b>	1,2	10,29	4,8	1,5	mg/l
<b>PO4-P Br</b>	7,93	34,32	20,52	5,28	<b>PO4-P Ep</b>	3	18,44	9,69	2,7	mg/l
<b>En El tot</b>	1226	2630	2045,95	350,52						kWh/j

### IV.11.1. REPRESENTATION GRAPHIQUE DES VARIATION JOURNALIERE

Celle-ci va concerner la période 2008-2012, car, durant la période 2013-2014, il y a eu de nouveaux branchement de réseau d'assainissement ; d'autres stations de relevage ont été mises en marche, ce qui a engendré une différence dans la charge de la pollution entrante, donc, dans le but de garder l'homogénéité des données, on a éliminé les deux années 2013-2014.

#### IV.11.1.1 Evolution du débit



**Figure IV.23 :** Evolution journalière de débit à l'entrée.

Comme illustré sur cette figure, les périodes hivernales présentent une augmentation du débit due à l'augmentation de la pluviométrie.

Les périodes en flèches sont des périodes qui manquent de mesures, c'est des périodes à éliminer.

On peut remarquer qu'il y a des mesures douteuses, dans le cas où ces dernières ne seront pas éliminées dans cette étape de critique, un test statistique (**Grubbs et Beck**) sera utilisé afin de vérifier la qualité de ces mesures, et qui détectera ces valeurs.

Les périodes qui présentent des débits nuls représentent des valeurs manquantes comblées par des zéros, ou des valeurs nulles à cause du by-passe d'un débit qui dépasse la valeur nominale de la STEP.

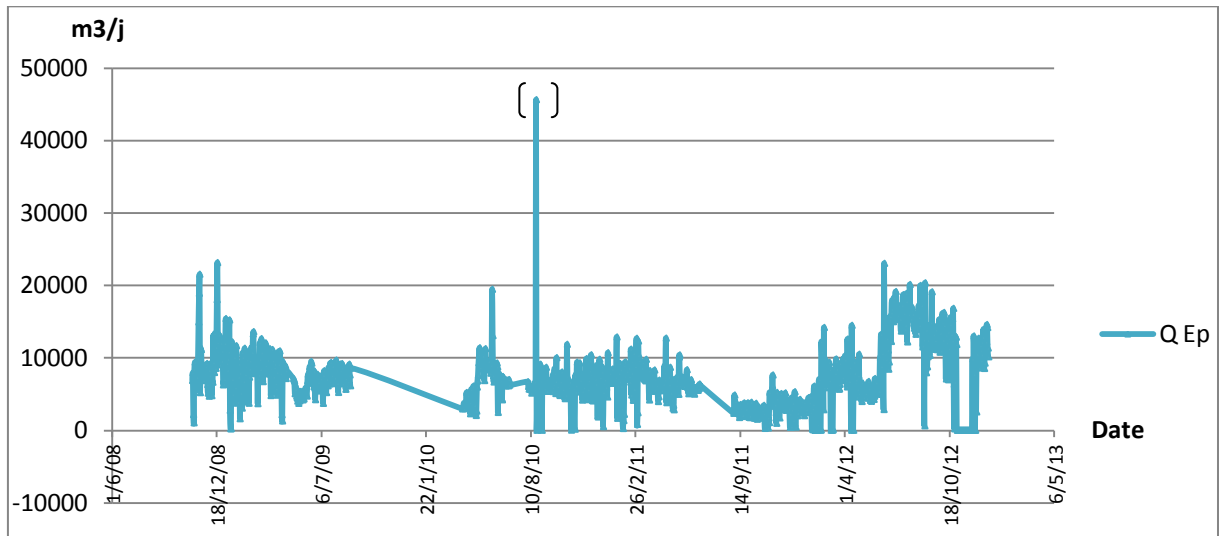


Figure IV.24 : Evolution journalière de débit à la sortie.

Les crochets représentent une valeur extrême étrange qui peut être due à une mesure faussé, et qui va être éliminé soit directement, soit après l'application du test statistique mentionné précédemment.

#### IV.11.1.2 Evolution des paramètres physico-chimiques

##### IV.11.1.2.1 Le Ph

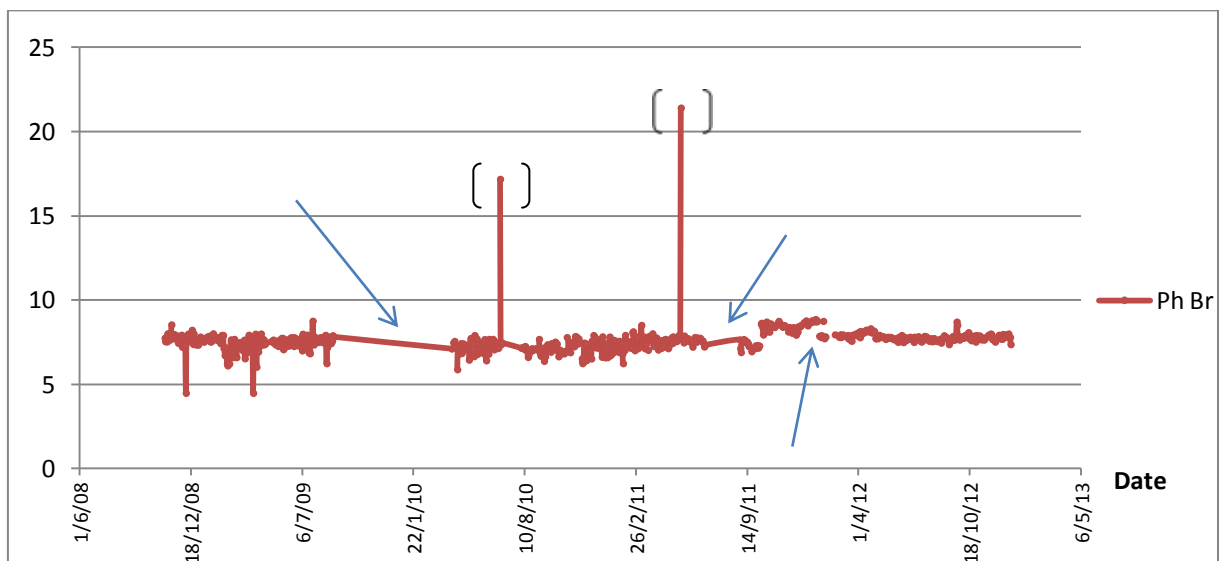
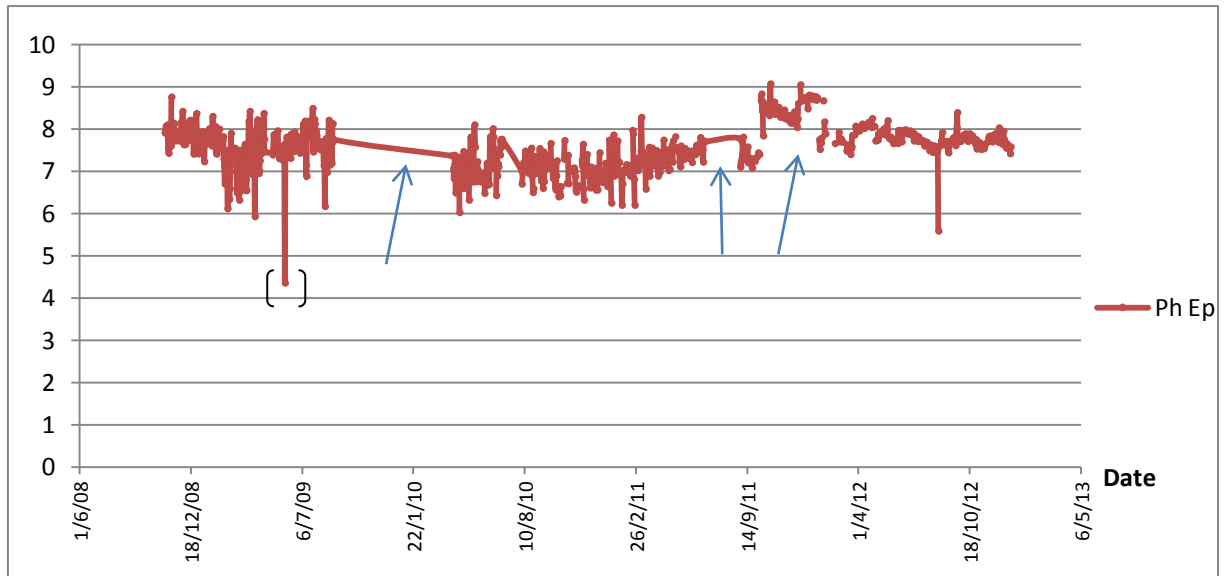


Figure IV.25 : Evolution journalière du Ph à l'entrée.



**Figure IV.26 :** Evolution journalière du Ph à la sortie.

Le Ph de l'eau brute varie légèrement et oscille entre 4 et 22 avec une moyenne de 7,57, et entre 4 et 9 pour l'eau épurée avec une moyenne de 7,54, néanmoins quelques fluctuations brusque sont détectées et repérées par des crochets. Comme on peut le remarquer aussi, les périodes ciblées par des flèches sont des périodes qui manquent de mesures, c'est des périodes à éliminer afin d'augmenter la fiabilité de nos données.

A la fin de l'observation de ces deux graphes, quelques valeurs ont été éliminées :

Ph Br = 17,7 et 21,4 et Ph Ep = 0 (valeurs comblées par 0)

IV.11.1.2.2. La conductivité

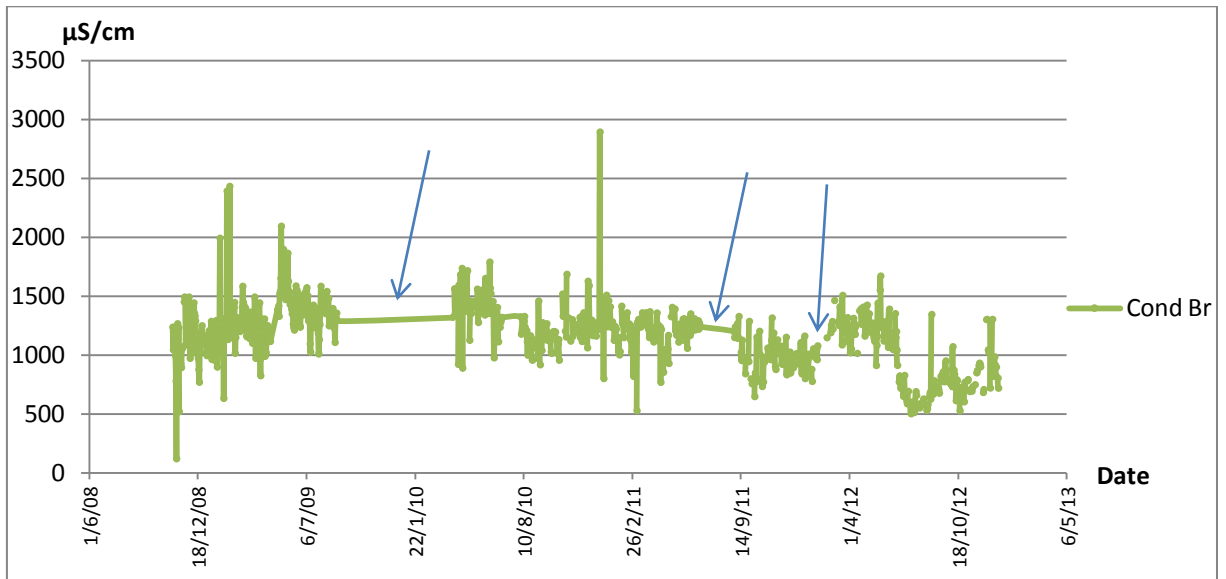


Figure IV.27 : Evolution journalière de la conductivité à l’entrée.

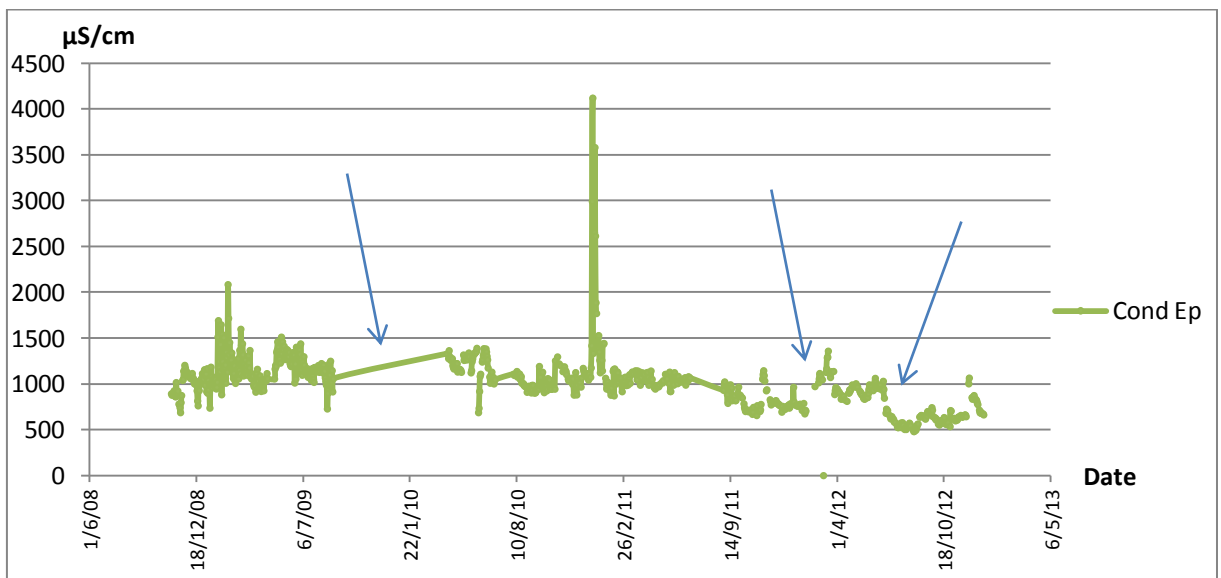


Figure IV.28 : Evolution journalière de la conductivité à la sortie.

Les valeurs de la conductivité de l’eau à l’entrée et à la sortie de la STEP sont comprises entre 450 et 4200  $\mu\text{S/cm}$ , une moyenne de 1163 à l’entrée et de 1019 à la sortie qui présente dans la plupart des observation une baisse, une seule valeur douteuse a été éliminée : Cond = 116  $\mu\text{S/cm}$ , cette dernière n’apparaît pas dans les mesures à la sortie de STEP ce qui explique qu’elle est douteuse, l’autre grande valeur n’est pas douteuse vu qu’une autre grande valeur à

la sortie de la STEP pour la même expérience a été mesurée. Pour la plupart des observations, la norme de la conductivité à la sortie de la STEP est respectée.

IV.11.1.2.3. La température

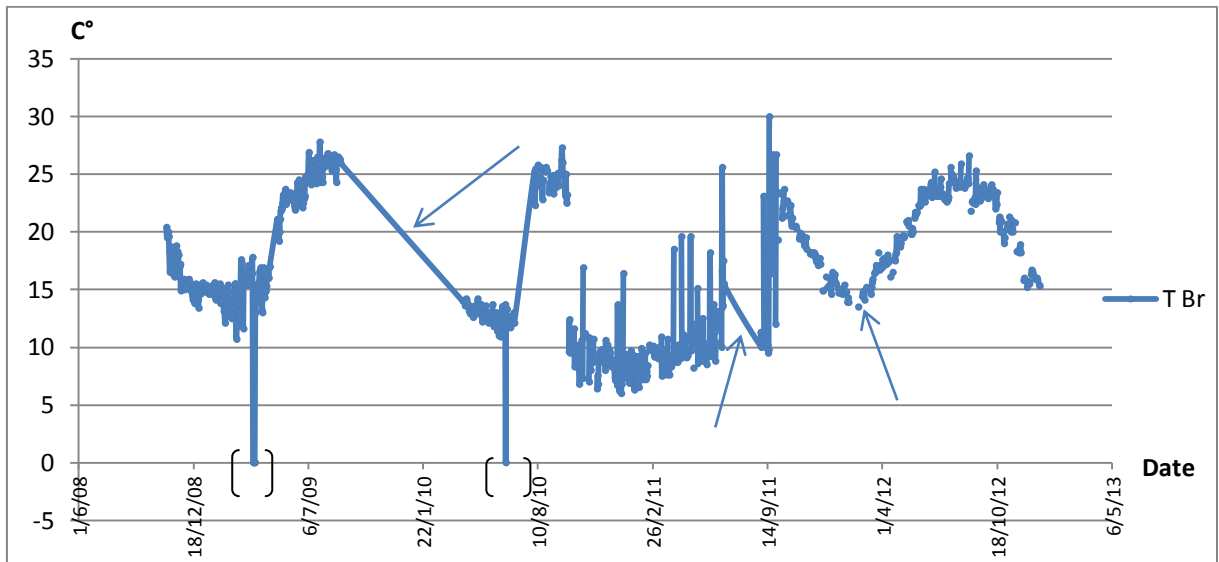


Figure IV.29 : Evolution journalière de la température à l’entrée.

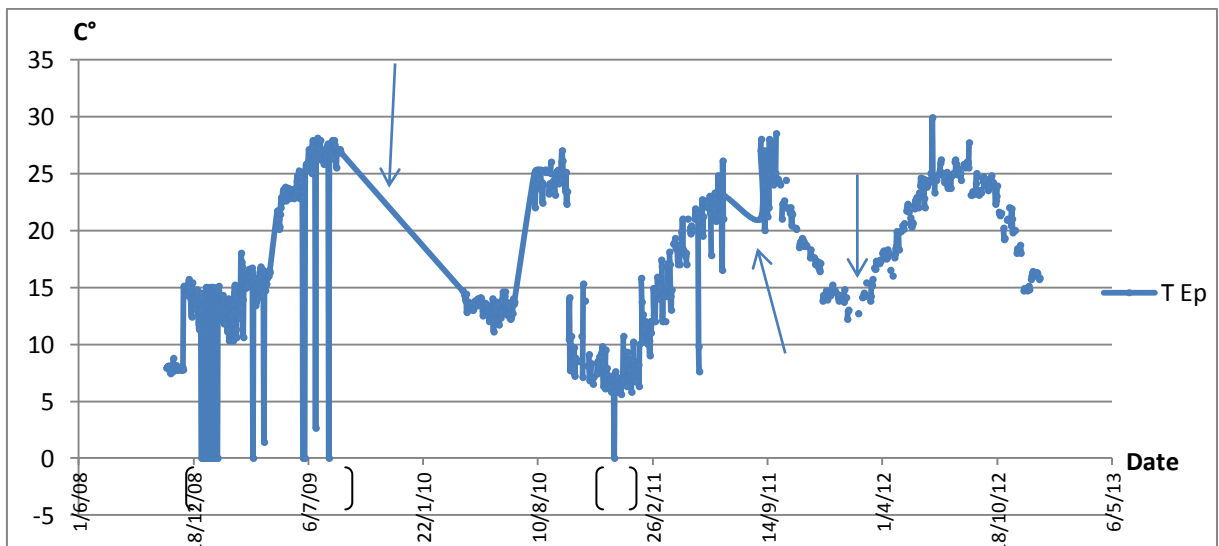


Figure IV.30 : Evolution journalière de la température à la sortie.

La valeur de la température à l’entrée et à la sortie de la STEP est comprise entre 5 et 36 °c avec une moyenne de 17,12°c à l’entrée et 17,78°c à la sortie, les points entre crochet c’est des mesures manquantes comblées par des zéros, à éliminer, et les vides remarqués dans les graphes sont des observations ou la mesure n’as pas été effectué.

Malgré la mauvaise qualité de cette donnée qu'on dispose, on remarque que la variation de la température est cyclique, elle est due tout simplement aux variations saisonnières.

IV.11.1.3 Evolution des paramètres de la pollution organique

IV.11.1.3.1. Les MES

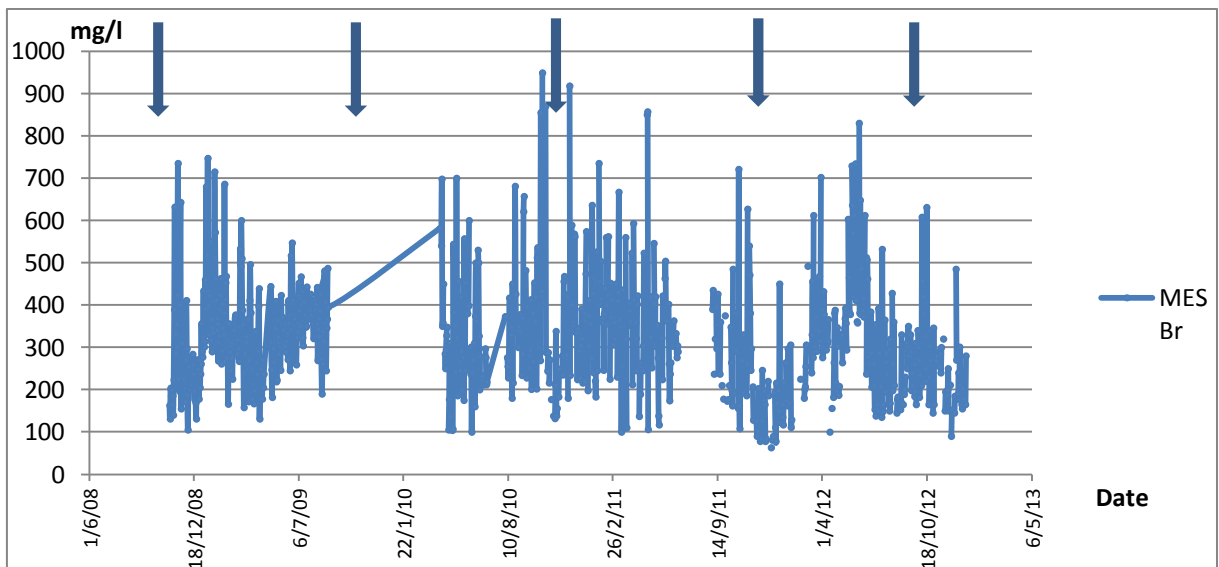


Figure IV.31 : Evolution journalière des MES à l'entrée.

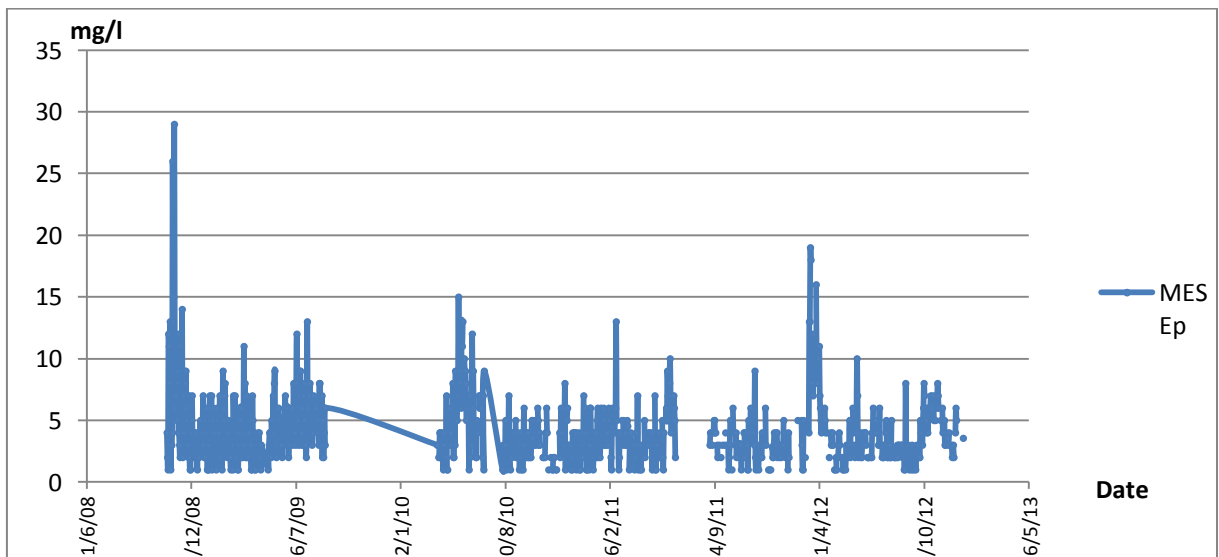


Figure IV.32 : Evolution journalière des MES à la sortie.



L'évolution des MES à l'entrée et à la sortie de la STEP montre une augmentation de concentration durant les périodes hivernales (représenté en flèches bleus).

Toute autre augmentation en concentration des MES non explicable ou hors période hivernale peut être due à autre chose comme l'implantation d'un chantier à l'amont de la STEP, malheureusement, on ne dispose pas de ce type de données (historique de la STEP et des défaillances) pour confirmer l'information.

Toute période représenté par des lignes continues est une période ou on ne dispose pas de donnée, ou bien la mesure n'a même pas été effectuée.

Une moyenne de 320mg/l a été calculée pour l'entrée et de 4mg/l pour la sortie, A la sortie de la STEP, toutes les valeurs enregistrées sont inférieures à la norme de rejet qui est de 40 mg/l [OMS], elles sont même très inférieures à la norme (4mg/l de moyenne) ce qui explique un excès d'épuration en consommant de l'énergie.

#### IV.11.1.3.2. La DBO5

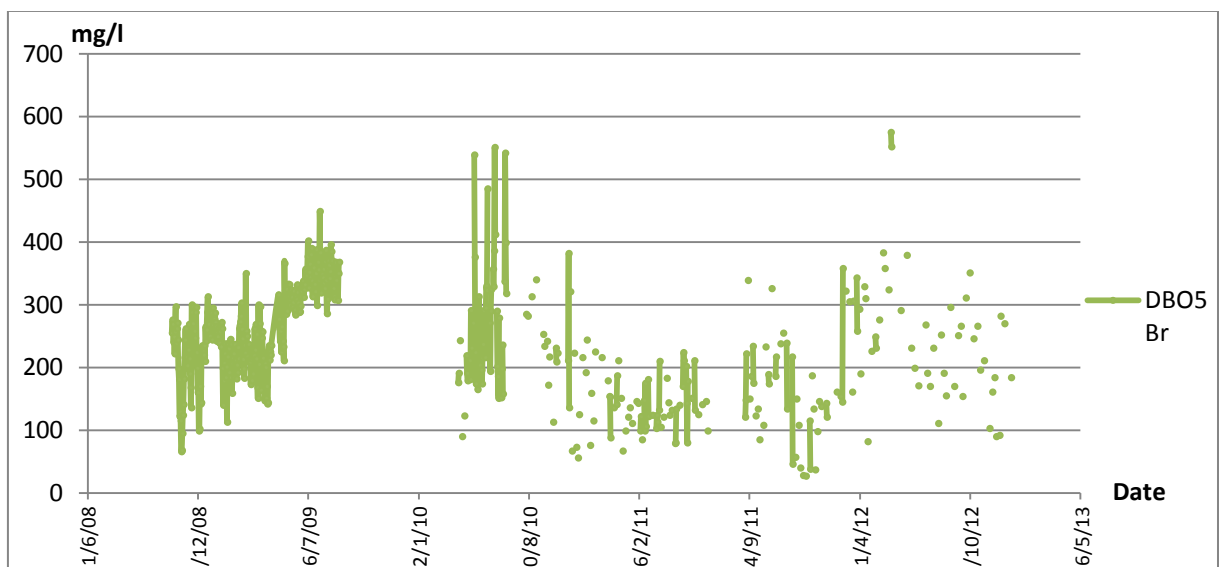


Figure IV.33 : Evolution journalière de la DBO5 à l'entrée.

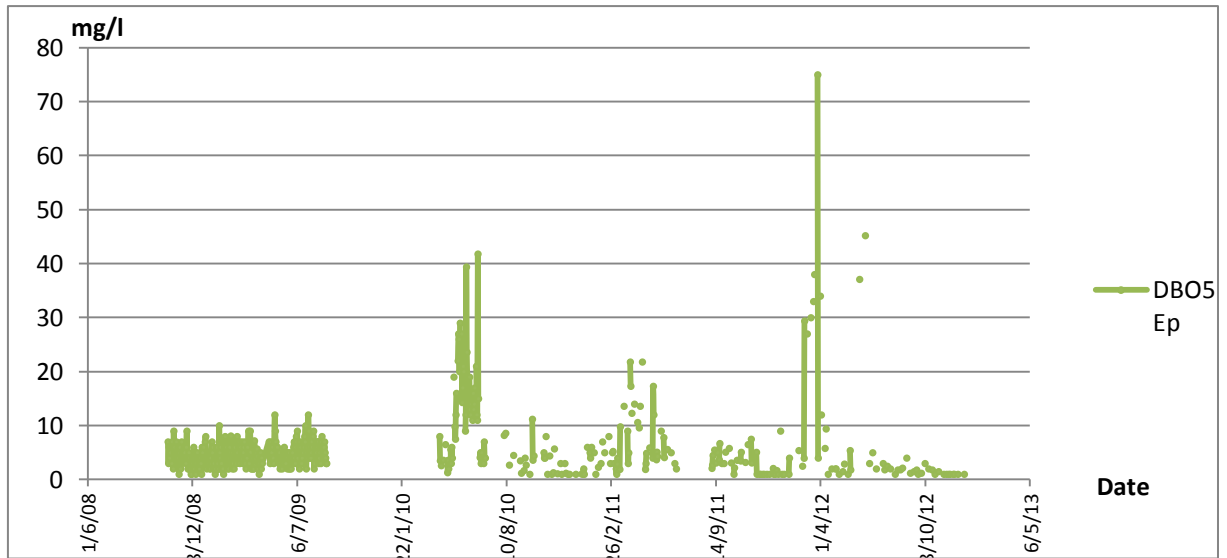


Figure IV.34 : Evolution journalière de la DBO5 à la sortie.

A l'entrée de la STEP de Jijel, les valeurs de la DBO5 enregistrées varient fortement et oscillent entre 26 et 580 mg/l avec une moyenne de 235, l'épuration de l'eau a permis de diminuer la concentration en DBO5 pour atteindre des valeurs inférieures à la norme 30mg/l [OMS], les valeurs sont comprises entre 1 et 75 avec une moyenne de 5,58 (une seule valeur (75 mg/l) a dépassé la norme).

IV.11.1.3.3. La DCO

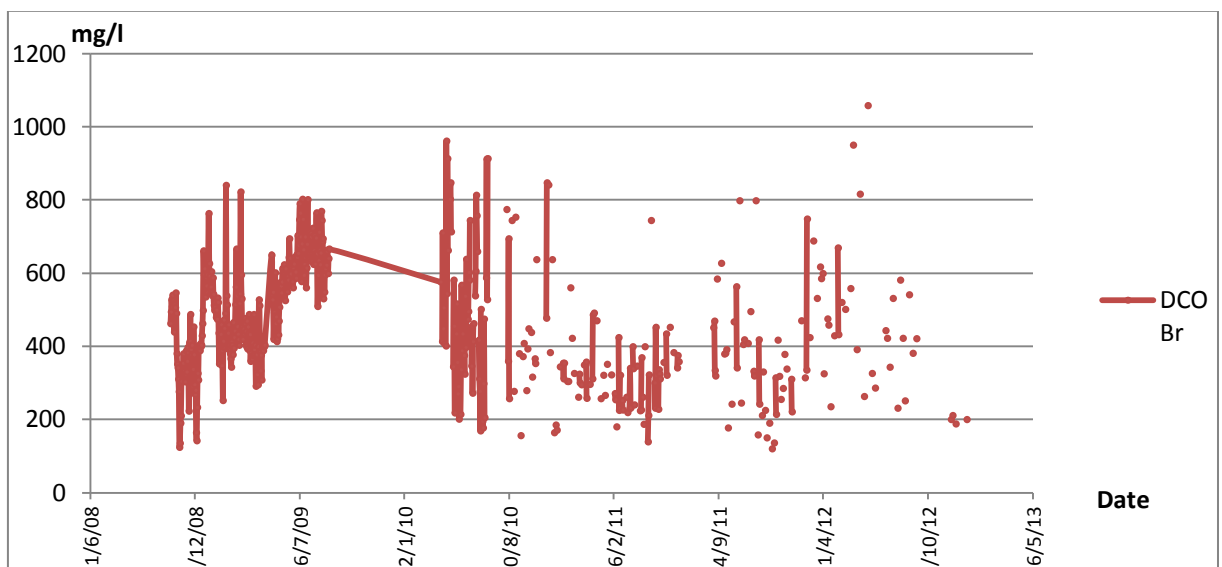
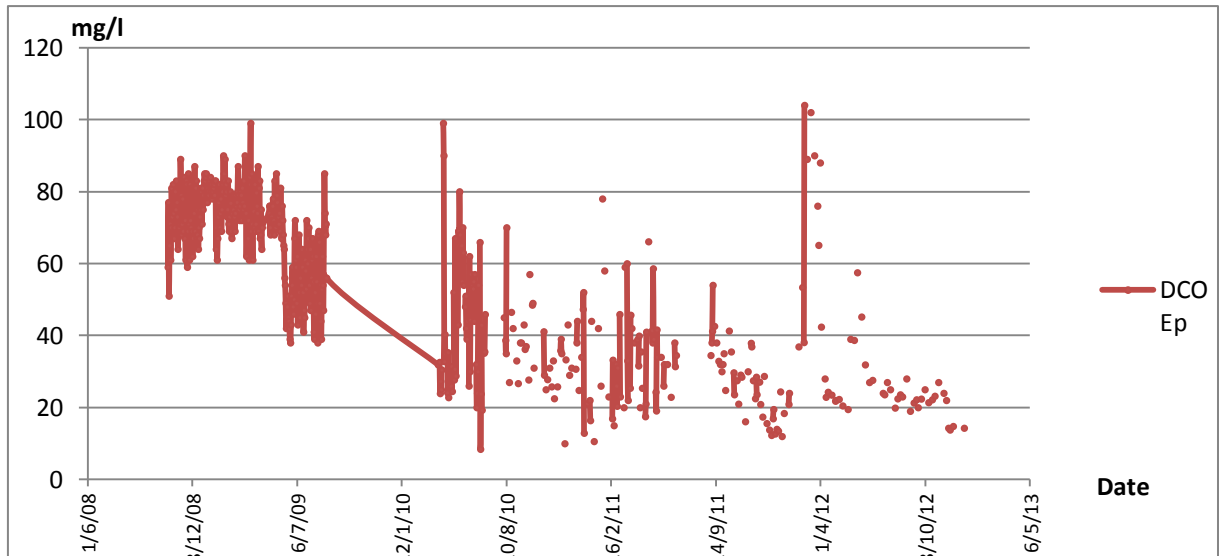


Figure IV.35 : Evolution journalière de la DCO à l'entrée.



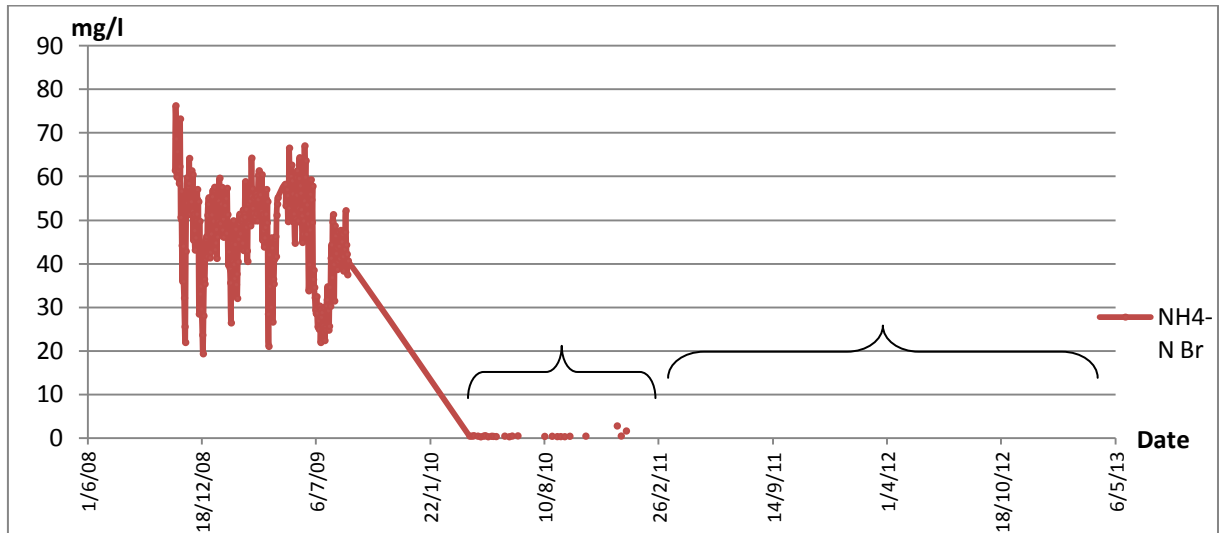
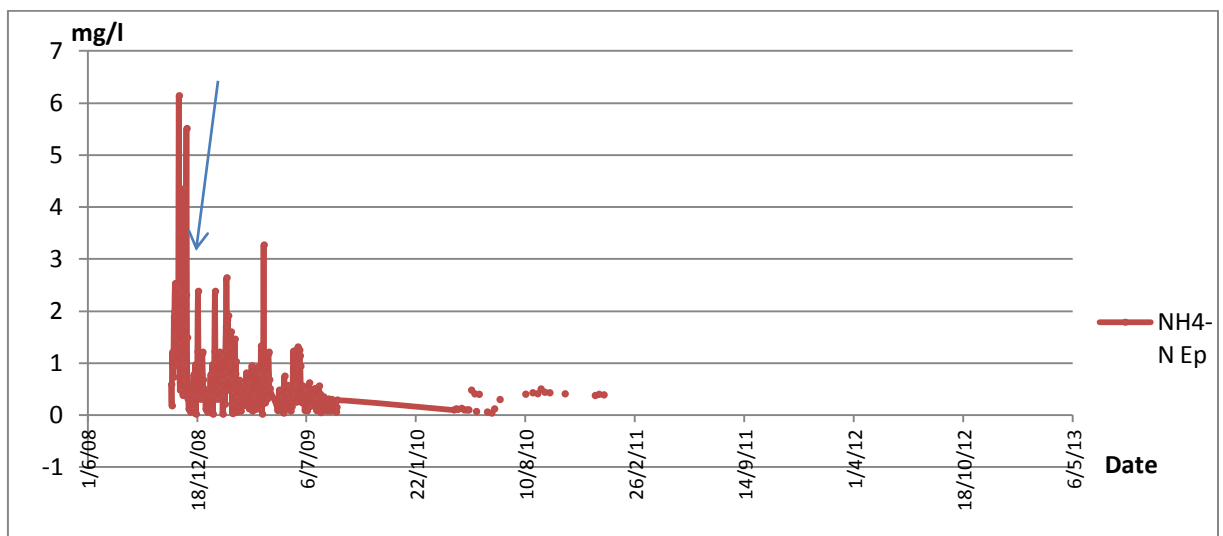
**Figure IV.36** : Evolution journalière de la DCO à la sortie.

Les valeurs de la DCO enregistrées à l'entrée de la STEP varient entre 119 mg/l et 1057mg/l avec une moyenne de 458mg/l.

A la sortie, ces concentrations varient entre 8mg/l et 104mg/l avec une moyenne d'environ 53mg/l. Ces valeurs sont inférieures à 120mg/l, considérée comme valeur limite de rejet direct fixée par l'OMS.

Toute valeur de concentration en DCO non diminué suffisamment durant le processus de l'épuration peut être due à une forte concentration qui ne peut pas être métabolisée par les bactéries (par exemple : 1054mg/l). (Pollution industrielle).

## IV.11.1.4. Evolution des paramètres de la pollution azotée et phosphorée

IV.11.1.4.1. L'NH<sub>4</sub>-NFigure IV.37 : Evolution journalière de l'NH<sub>4</sub>-N à l'entrée.Figure IV.38 : Evolution journalière de l'NH<sub>4</sub>-N à la sortie.

A l'entrée de la station les concentrations d'ammonium varient entre 0,24 mg/l et 76 mg/l avec une moyenne de 42 mg/l, ces variations sont fonction de la température et du temps de séjour dans le réseau de collecte et du taux de la pollution azotée initial. Une bonne nitrification est remarquée depuis la période repérée par une flèche dans le 2<sup>ème</sup> graphique.

La période repérée par une petite accolade est une période qui présente des valeurs de mesures très petite, elle est considérée comme une période douteuse à éliminer.

La période repérée par une grande accolade est une période qui manque de mesure, et qui est par conséquent éliminée.

IV.11.1.4.2. L'NO<sub>3</sub>-N

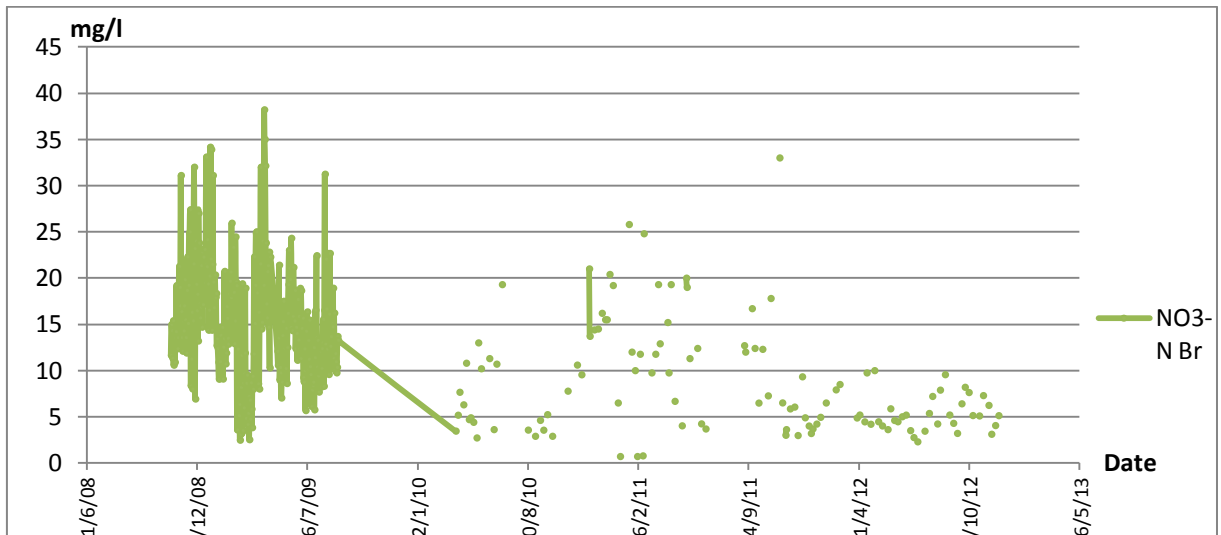


Figure IV.39 : Evolution journalière de l'NO<sub>3</sub>-N à l'entrée.

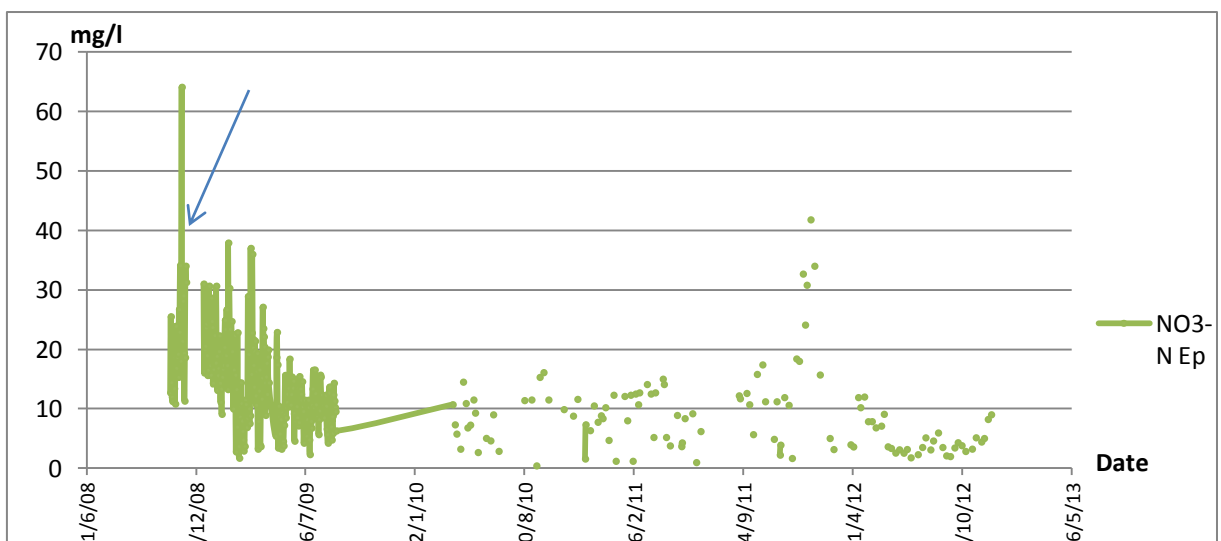


Figure IV.40 : Evolution journalière de l'NO<sub>3</sub>-N à la sortie.

La même période éliminée, à cause du manque des mesures du paramètre NH<sub>4</sub>-N, engendre l'élimination des autres y compris le NO<sub>3</sub>-N.

La concentration de l'NO<sub>3</sub>-N dans la période qui reste varie entre 0,71mg/l et 38,2mg/l à l'entrée de la STEP avec une moyenne de 13,32mg/l, et varie entre 0,41mg/l et 64,1mg/l avec une moyenne de 12,68 à la sortie de la STEP.

Des augmentations en concentration de l'NO<sub>3</sub>-N sont parfois remarquées, ceci est du généralement à un excès d'aération au niveau du bassin d'aération qui nécessite une régularisation surtout dans un cas où la station ne dispose pas de bassin d'anoxie.

A la sortie de la STEP, les concentrations de l'NO<sub>3</sub>-N ont baissé durant la même période qui présente une baisse de la concentration de l'NH<sub>4</sub>-N ce qui implique une bonne gestion de l'aération dans cette période.

IV.11.1.4.3. Le Ptot

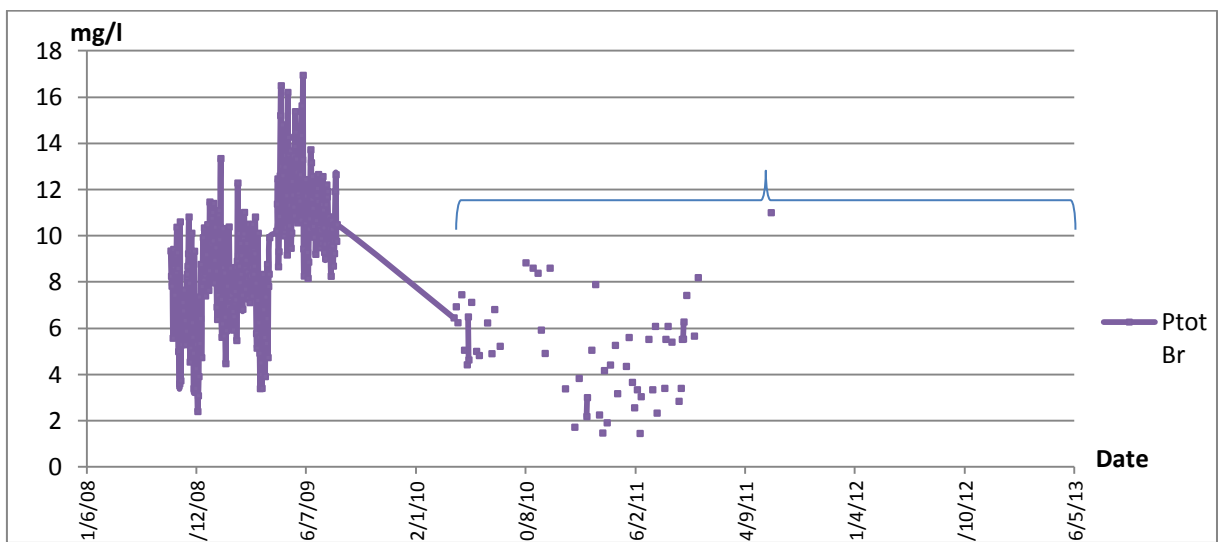


Figure IV.41 : Evolution journalière du Ptot à l'entrée.

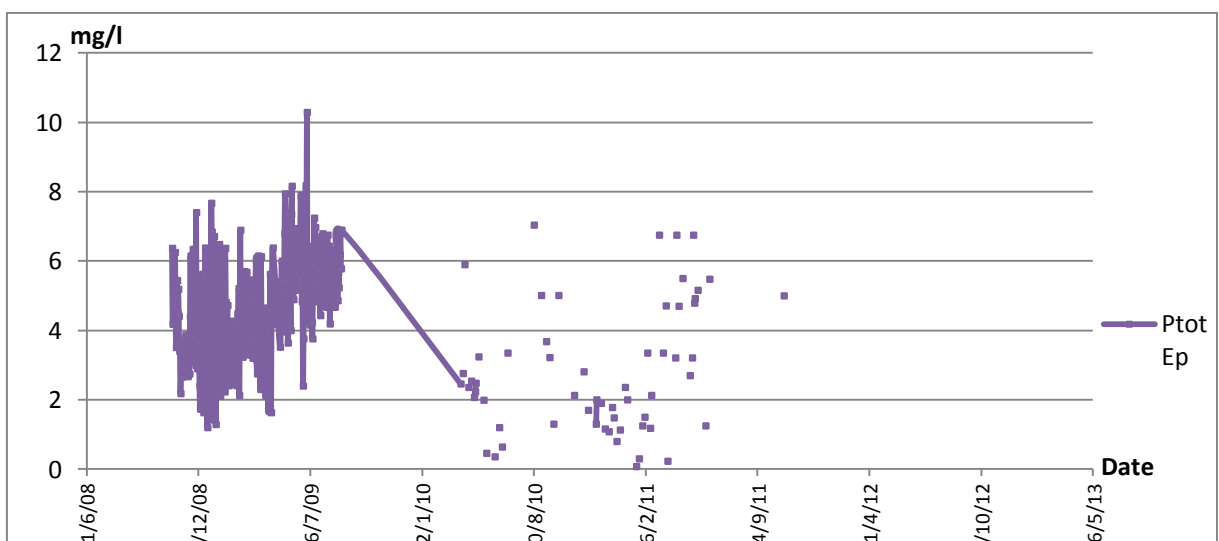


Figure IV.42 : Evolution journalière du Ptot à la sortie.

A l'entrée de la STEP d'Elrabta-Jijel, la concentration du phosphore total oscille entre 1,45 mg/l et 16,94 mg/l avec une moyenne de 8,42 mg/l, la période éliminée pour les autres concerne aussi le phosphore totale.

A la sortie, la concentration du phosphore total oscille entre 0,07 mg/l et 10,29 mg/l avec une moyenne de 4,39 mg/l, un abattement suffisant de la pollution dans la plupart des observations ce qui a aidé à respecter souvent les normes de rejet.

Les données manquantes concernent la même période éliminé auparavant.

IV.11.1.4.5. Le PO4-P

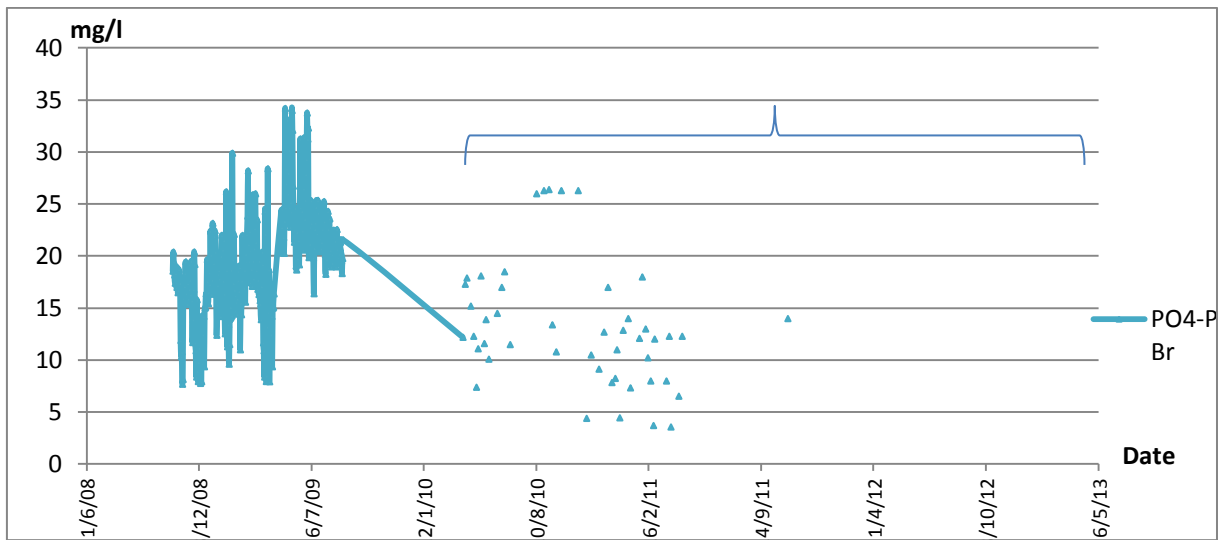


Figure IV.43 : Evolution journalière du PO4-P à l'entrée.

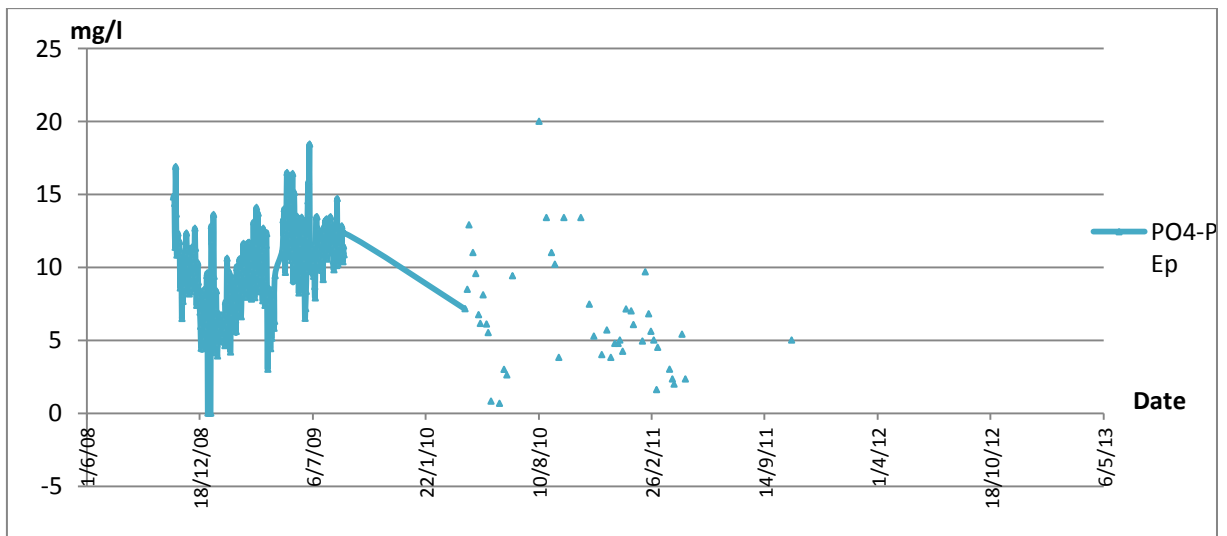
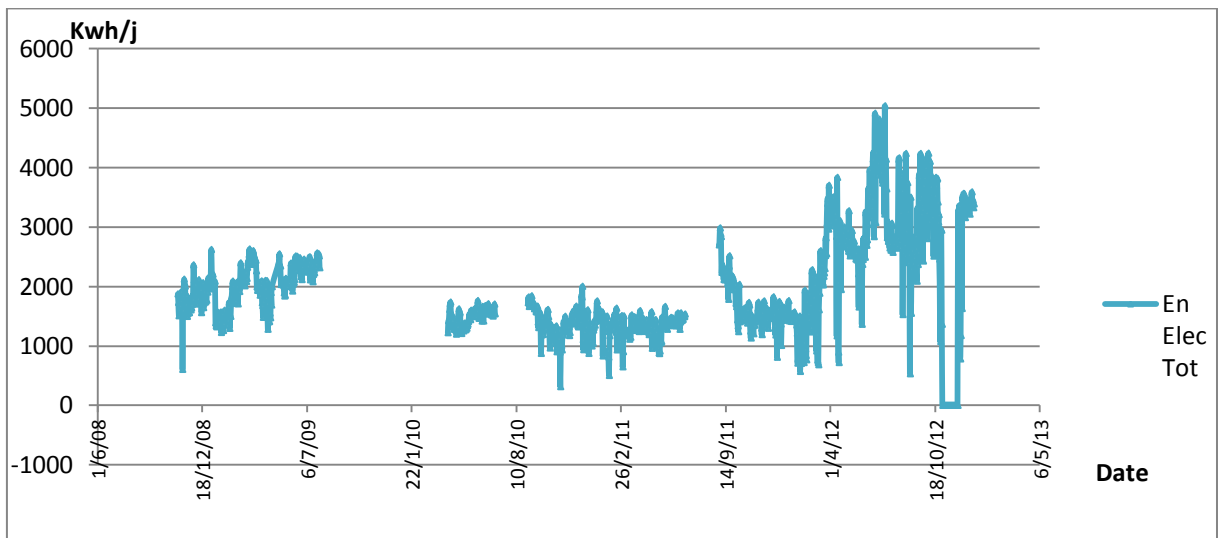


Figure IV.44 : Evolution journalière du PO4-P à la sortie.

A l'entrée de la STEP, les valeurs de PO<sub>4</sub>-P oscillent autour d'une moyenne de 18,32 mg/l, avec une valeur maximale de 34,2 mg/l. A la sortie, les valeurs de PO<sub>4</sub>-P enregistrées varient généralement entre 0,66 et 20 mg/l, avec une pointe de 9,42 mg/l. Ces valeurs dépassent, dans pas mal d'observation, la norme qui est de 10 mg/l [OMS], ce dépassement qui est dû à un faible rendement de déphosphatation.

#### IV.11.1.5. Evolution de la consommation d'énergie



**Figure IV.45 :** Evolution journalière de la consommation d'énergie.

La consommation de l'énergie varie entre 314Kwh/j et 5039 Kwh/j avec une moyenne de 1959,6Kwh/j.

Les périodes éliminées pour les autres paramètres étudiés avant vont l'être aussi pour l'énergie.

Toute observation à valeur nulle représente une valeur manquante comblée par zéro. Les observations à faible consommation d'énergie représentent des périodes d'arrêt de la station ou des périodes où l'eau a été by-passée.

La consommation de l'énergie présente une augmentation durant l'année 2012 qui peut être due à un changement de taux de la pollution à l'entrée de la STEP.



### IV.11.2. DETERMINATION DES VALEURS SINGULIERES

Après avoir critiqué les données graphiquement, il est important avant notre traitement de faire une analyse plus fine pour décider s'il y a des données douteuses qui doivent être éliminées, ou non, pour cela, on a appliqué le test de « Grubbs et Beck ».[42]

#### IV.11.2.1. Test des horsains de Grubbs et Beck

Le test de Grubbs (1950, 1969, 1972) a été mis au point pour permettre de déterminer si la valeur la plus grande, la valeur la plus petite, la valeur la plus grande ou la plus petite, ou dans le cas du test de Grubbs double, si les deux valeurs les plus grandes, ou si les deux plus petites peuvent être considérées comme extrêmes (ou aberrantes). Ce test suppose que les données correspondent à un échantillon provenant d'une population qui suit une loi normale.[42]

Les valeurs singulières appelées horsains, sont déduites en calculant les statistiques suivantes :

$$X_h = \exp(\bar{X} + K_n * S_x)$$

$$X_l = \exp(\bar{X} - K_n * S_x)$$

$\bar{X}$  et  $S_x$  : Sont respectivement, la moyenne et l'écart type des logarithmes naturels des éléments constituant l'échantillon.

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

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

$$K_n = 3.62201 + 6.28446 * n(1/4) - 2.49835 * n(1/2) + 0.491436 * n(3/4) - 0.037911 * n$$

$n$  : Taille de l'échantillon.

Les valeurs de la chronique étudiée doivent appartenir à l'intervalle  $[X_l, X_h]$ . Dans le cas où l'une des valeurs n'appartient pas à cet intervalle, on conclura que celle-ci est une valeur horsain.[42]

## IV.11.2.2. Résultat du test pour la STEP de Jijel

Tableau IV.7 : Résultats du test de Grubbs et Beck pour la STEP de Jijel.

Paramètre	Moy	Ecart Type	Kn	Xh	Xl
<b>Q Br</b>	8,98	0,34	140,02	3,62E+24	1,73E-17
<b>Q Ep</b>	8,84	0,51	140,02	4,16E+34	1,15E-27
<b>T Br</b>	2,86	0,25	140,02	1,47E+16	2,09E-14
<b>T Ep</b>	2,84	0,35	140,02	3,44E+22	8,50E-21
<b>pH Br</b>	2,00	0,06	140,02	5,25E+04	1,04E-03
<b>pH Ep</b>	2,01	0,07	140,02	1,46E+05	3,83E-04
<b>Cond Br</b>	7,16	0,16	140,02	1,35E+13	1,24E-07
<b>Cond Ep</b>	7,07	0,14	140,02	5,42E+11	2,54E-06
<b>MES Br</b>	5,80	0,32	140,02	5,03E+21	2,18E-17
<b>MES Ep</b>	1,27	0,58	140,02	5,24E+35	2,41E-35
<b>DCO Br</b>	6,21	0,26	140,02	1,64E+18	1,52E-13
<b>DCO Ep</b>	4,20	0,27	140,02	2,27E+18	1,95E-15
<b>DBO5 Br</b>	5,54	0,26	140,02	1,32E+18	4,94E-14
<b>DBO5 Ep</b>	1,46	0,51	140,02	2,67E+31	6,94E-31
<b>Ntot Br</b>	3,20	0,37	140,02	4,90E+23	1,24E-21
<b>Ntot Ep</b>	1,10	0,61	140,02	7,49E+37	1,21E-37
<b>NH4-N Br</b>	3,55	1,11	140,02	7,11E+68	1,72E-66
<b>NH4-N Ep</b>	-1,11	0,94	140,02	2,48E+56	4,42E-58
<b>NO3 Br</b>	1,00	0,92	140,02	1,73E+56	4,28E-56
<b>NO3 Ep</b>	-0,83	1,72	140,02	3,31E+104	5,73E-106
<b>Ptot Br</b>	2,19	0,32	140,02	1,55E+20	5,14E-19
<b>Ptot Ep</b>	1,45	0,46	140,02	6,30E+28	2,90E-28
<b>PO4-P Br</b>	2,95	0,29	140,02	1,05E+19	3,50E-17
<b>PO4-P Ep</b>	2,19	0,41	140,02	4,06E+25	1,95E-24
<b>Débit Boues de retour</b>	8,64	0,37	140,02	1,59E+26	1,99E-19
<b>Débit Boue en excès</b>	6,21	0,77	140,02	3,08E+49	8,10E-45
<b>En El tot</b>	7,59	0,19	140,02	1,01E+15	3,88E-09

L'application du test de Grubbs et Beck au pas du temps journalier de chaque paramètre a donné des résultats qui vérifient largement la bonne qualité des données testées, ceci est dû à la filtration et au critère de données et à l'élimination des valeurs douteuses graphiquement avant l'application du test de « Grubbs et Beck ».

**IV.11.3. CONCLUSION**

La critique des données est une étape importante à faire avant leur exploitation, elle permet de détecter des valeurs faussées à cause de la mauvaise mesure ou saisie, et d'augmenter la fiabilité des données, ce qui assure un meilleur résultat lors du traitement.

A la fin de cette étape de la critique des données de la STEP de Jijel, on a pu garder 188 observations journalières, dont les paramètres mentionnés ci dessus sont tous mesurés à l'entrée et à la sortie ce qui est un nombre appréciable vu la période étudiée, surtout que notre traitement n'exige pas une chronologie.

**CHAPITRE V : Elaboration des indicateurs  
de performance pour la STEP de Jijel**

## V.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons passer à l'élaboration des indicateurs de performance pour la STEP de Jijel, pour cela, on va d'abord caractériser l'eau brute qui arrive à la STEP, ensuite on va proposer un système de notation qui va nous permettre de juger le fonctionnement de la STEP de Jijel du côté consommation de l'énergie et du côté respect des normes de rejets.

La notation proposée concerne chaque paramètre mesuré indépendamment. Pour sortir avec une note finale pour chaque indicateur de performance, on a utilisé deux méthodes, l'AHP et l'ACP. Un programme Matlab a été développé pour l'AHP, et le logiciel XLSTAT a été utilisé pour l'ACP.

A la fin de ce chapitre, une interface qui résume le travail a été élaborée en utilisant le langage de programmation C#. Les résultats obtenus lors de l'application de nos indicateurs sur la STEP de Jijel vont être discutés.

## V.2. APPLICATION DE L'ACP SUR LES PARAMETRE DE LA POLLUTION D'ENTREE (EAU BRUTE)

### V.2.1. PAS DE TEMPS MENSUEL

#### V.2.1.1. Présentation des données

On dispose d'un tableau de données mensuelles des paramètres de pollution à l'entrée de la STEP (eau brute) : « 12 observations × 8 variables.

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

**Tableau V.1** : Codification des variables (Eau brute).

Code	Variable
MES Br	MES d'eau brute
DCO Br	DCO d'eau brute
DBO5 Br	DBO5 d'eau brute
Ntot Br	Ntot d'eau brute
NH4-N Br	NH4-H d'eau brute
NO3-N Br	NO3-N d'eau brute
Ptot Br	Ptot d'eau brute
PO4-P Br	PO4-P d'eau brute

**V.2.1.2. Résultats de l'ACP****Tableau V.2** : Matrice de corrélation.

Variabiles	MES Br	DCO Br	DBO5 Br	Ntot Br	NH4-N Br	NO3-N Br	Ptot Br	PO4-P Br
<b>MES Br</b>	<b>1</b>	0,670	0,450	0,493	-0,146	0,631	0,281	0,146
<b>DCO Br</b>	0,670	<b>1</b>	0,959	0,644	-0,307	0,173	0,750	0,652
<b>DBO5 Br</b>	0,450	0,959	<b>1</b>	0,640	-0,314	0,040	0,810	0,732
<b>Ntot Br</b>	0,493	0,644	0,640	<b>1</b>	0,249	0,272	0,846	0,781
<b>NH4-N Br</b>	-0,146	-0,307	-0,314	0,249	<b>1</b>	0,203	0,243	0,285
<b>NO3-N Br</b>	0,631	0,173	0,040	0,272	0,203	<b>1</b>	-0,025	-0,185
<b>Ptot Br</b>	0,281	0,750	0,810	0,846	0,243	-0,025	<b>1</b>	0,981
<b>PO4-P Br</b>	0,146	0,652	0,732	0,781	0,285	-0,185	0,981	<b>1</b>

La matrice de corrélation a pour déterminant ( $\det = 1,476E-35$ ), un résultat considéré acceptable.

D'après les résultats obtenus sur le logiciel XLstat, les tests de sphéricité de Bartlett et KMO ne vérifient pas la condition de factorisation, nos données ne sont pas factorisables.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau V.3** : Les résultats du test de sphéricité de Bartlett.

<b>Khi<sup>2</sup> (Valeur observée)</b>	-Inf
<b>Khi<sup>2</sup> (Valeur critique)</b>	41,3371
<b>DDL</b>	28
<b>alpha</b>	0,05

En ce qui concerne les résultats du test KMO, le logiciel n'a même pas fait de calculs.

Le résultat négatif des deux tests peut être dû au nombre de valeur limité à l'échelle mensuelle (12 valeurs), par conséquent, les autres résultats de l'ACP ne vont pas être pris en considération dans notre caractérisation de la pollution.

## V.2.2. PAS DE TEMPS JOURNALIER

### V.2.2.1. Présentation des données

On dispose d'un tableau de données journalières des paramètres de pollution à l'entrée de la STEP (Eau brute) : « 199 observations × 8 variables ».

### V.2.2.2. Résultats de l'ACP

Tableau V.4 : Matrice de corrélation.

Variabiles	MES Br	DCO Br	DBO5 Br	Ntot Br	NH4-N Br	NO3-N Br	Ptot Br	PO4-P Br
MES Br	1	0,435	0,299	0,354	-0,043	0,270	0,241	0,207
DCO Br	0,435	1	0,823	0,504	-0,058	0,171	0,610	0,550
DBO5 Br	0,299	0,823	1	0,500	-0,080	0,076	0,619	0,556
Ntot Br	0,354	0,504	0,500	1	0,268	0,233	0,635	0,531
NH4-N Br	-0,043	-0,058	-0,080	0,268	1	0,161	0,267	0,265
NO3-N Br	0,270	0,171	0,076	0,233	0,161	1	0,010	-0,077
Ptot Br	0,241	0,610	0,619	0,635	0,267	0,010	1	0,784
PO4-P Br	0,207	0,550	0,556	0,531	0,265	-0,077	0,784	1

La matrice de corrélation a pour déterminant ( $\det = 0,0185$ ), une valeur considérée acceptable.

Les résultats que le logiciel XLstat a donné pour le test de sphéricité de Bartlett sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau V.5 : Les résultats du test de sphéricité de Bartlett.

<b>Khi<sup>2</sup> (Valeur observée)</b>	775,9034
<b>Khi<sup>2</sup> (Valeur critique)</b>	41,3371
<b>DDL</b>	28
<b>p-value</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
<b>alpha</b>	0,05

En observant le tableau, les résultats sont jugés acceptables, le test de sphéricité de Bartlett est jugé réussi.

Les résultats obtenus pour le test KMO sont les suivants :

Tableau V.6 : Les résultats du test KMO.

<b>MES Br</b>	0,7635
<b>DCO Br</b>	0,7582
<b>DBO5 Br</b>	0,7651
<b>Ntot Br</b>	0,8695
<b>NH4-N Br</b>	0,5427
<b>NO3-N Br</b>	0,4819
<b>Ptot Br</b>	0,8082
<b>PO4-P Br</b>	0,8071
<b>KMO</b>	<b>0,7752</b>

Le KMO globale de la matrice se situe dans la fourchette «bien», représenté en rouge dans le tableau. Le test est jugé réussi. Les autres résultats de l'ACP peuvent être pris en considération pour notre étude.

Après la diagonalisation, on aura nos valeurs propres (en tenant compte des 8 variables), ainsi que la contribution à la variance en terme de pourcentage. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau V.7 : Valeurs propres.

	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F6</b>	<b>F7</b>	<b>F8</b>
Valeur propre	3,683	1,280	1,240	0,646	0,440	0,353	0,198	0,159
Variabilité (%)	46,043	16,001	15,497	8,079	5,506	4,407	2,474	1,993
% cumulé	46,043	62,044	77,541	85,620	91,126	95,533	98,007	100,000

En examinant l'apport de chaque composante, on remarque que les trois 1<sup>ers</sup> axes donnent plus de 77% de l'information totale, avec des valeurs propres supérieures à 1, c'est les axes à conserver, et qui satisfaisaient nos besoins dans l'analyse.

Tableau V.8 : Corrélations entre les variables et les facteurs.

	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F6</b>	<b>F7</b>	<b>F8</b>
<b>MES Br</b>	<b>0,485</b>	<b>-0,498</b>	0,333	0,624	-0,116	0,000	0,019	-0,055
<b>DCO Br</b>	<b>0,844</b>	-0,321	-0,124	-0,159	-0,196	-0,150	-0,019	0,289
<b>DBO5 Br</b>	<b>0,821</b>	-0,247	-0,254	-0,263	-0,112	-0,214	-0,027	-0,267
<b>Ntot Br</b>	<b>0,775</b>	0,128	0,235	0,046	0,542	-0,159	-0,081	0,030
<b>NH4-N Br</b>	0,203	<b>0,762</b>	<b>0,493</b>	0,067	-0,267	-0,245	-0,005	-0,007
<b>NO3-N Br</b>	0,186	-0,281	<b>0,829</b>	-0,386	-0,031	0,220	-0,005	-0,025
<b>Ptot Br</b>	<b>0,863</b>	0,281	-0,131	0,004	0,036	0,190	0,350	-0,005
<b>PO4-P Br</b>	<b>0,801</b>	0,339	-0,214	0,083	-0,096	0,338	-0,260	-0,013



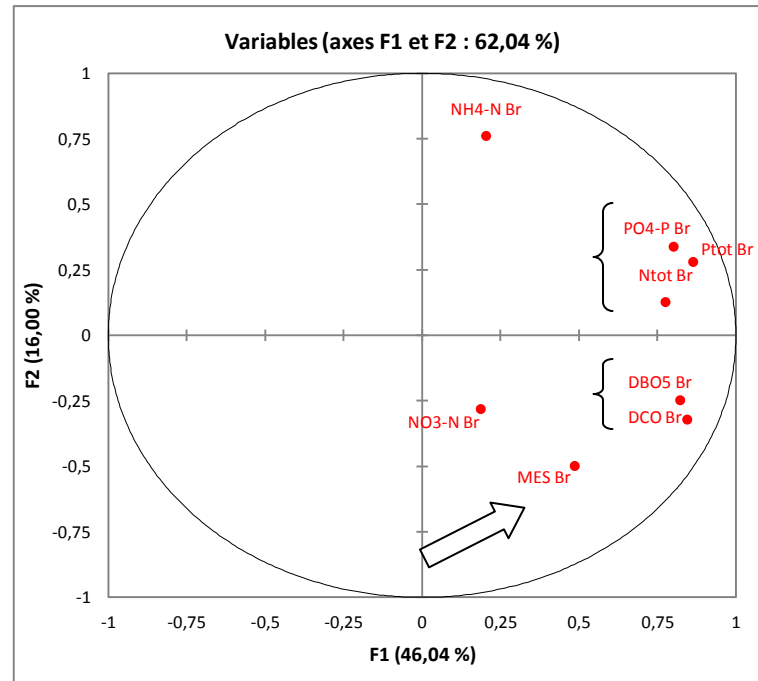


Figure V.1 : Cercle de corrélation n° 1.

En analysant la corrélation entre les variables et les facteurs au pas de temps journalier, et en analysant les cercles de corrélation, on remarque un groupement (DCO, DBO5) de la pollution organique avec un éloignement du paramètre des MES à cause de sa corrélation avec l'axe 2, Cet éloignement du paramètre MES du groupement de la pollution organique et sa corrélation avec le 2<sup>ème</sup> axe explique que la quantité des MES présente dans l'eau brute n'a pas toujours la même origine que l'autre pollution organique, mais aussi elle est due à d'autre phénomène comme l'érosion du sol dans les périodes hivernales ou l'installation de quelques chantier à l'amont de la STEP, donc ce paramètre des MES n'est pas toujours corrélé avec les autres paramètres de pollution et s'éloigne des groupement dans la représentation graphique, ceci apparait clairement dans la matrice de corrélation (**Tableau V.4**, en couleur rouge et bleus).

Par contre, les paramètres (Ntot, PO4-P, Ptot) forment un autre groupement en restant bien corrélés avec l'axe 1, ils représentent la pollution phosphorée et azotée, au même temps, les paramètres (NH4-N, NO3-N) sont bien corrélés avec le 3<sup>ème</sup> et le 2<sup>ème</sup> axe, ces derniers représentent une autre formes de la pollution azotée qui apparait dans les réseaux d'assainissement avant d'atteindre la STEP, et qui n'est pas une formes initiales.

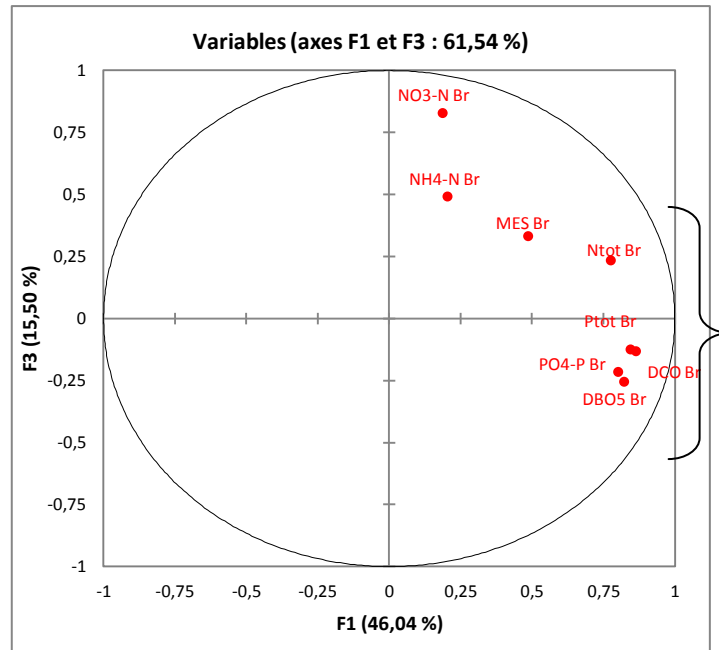


Figure V.2 : Cercle de corrélation n° 2.

Pour ce 2<sup>ème</sup> cercle de corrélation, on remarque un rapprochement de tous les paramètres de pollutions (à part NH4-N et NO3-N) vu la forte corrélation entre eux, et qui caractérise une eau domestique. Ce rapprochement est remarqué surtout pour les deux paramètres DCO et DBO5 avec l'éloignement du paramètre d'MES pour les mêmes raisons mentionnées précédemment pour elles.

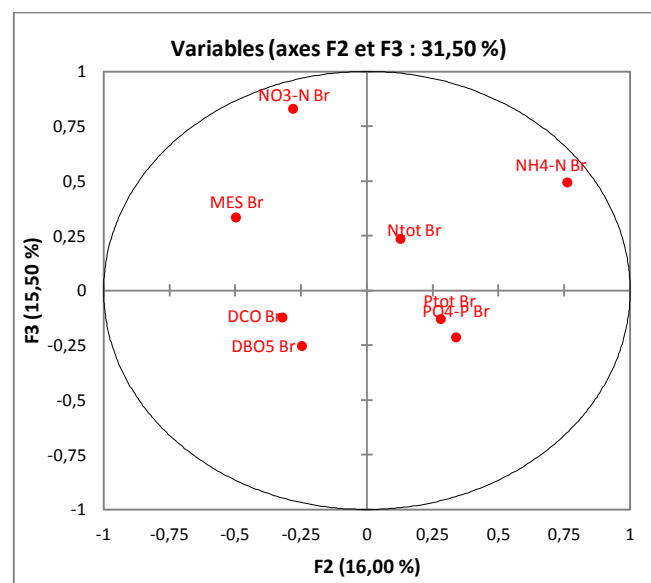


Figure V.3 : Cercle de corrélation n° 3.

Ce 3<sup>ème</sup> cercle ne donne pas vraiment une information importante, mais pour les deux param-

ètres DCO et DBO5, on remarque toujours leur groupement, ceci peut aider à former un ratio entre les deux : par exemple, le ratio DCO/DBO5, qui permet d'évaluer la biodégradabilité d'un effluent donné, et au même temps résume l'information donnée par les deux paramètres et évite sa redondance.

### V.2.3. CONCLUSION

On peut dire, à partir de l'analyse des paramètres de l'eau brute au pas de temps journalier, que la pollution de l'eau qui arrive à la STEP caractérise un effluent domestique de pollution organique, et phosphorée et azotée, ce qui justifie le but pour lequel la STEP a été conçu.

Les regroupements remarquables des variables permettent de former de nouveaux indicateurs de pollution sous forme de ratios, ces derniers vont synthétiser encore les différents paramètres de pollution avec une meilleure appréciation.

## V.3. INDICATEUR DE PERFORMANCE

### V.3.1. INTRODUCTION

Pour pouvoir faire un diagnostic global et efficace concernant le fonctionnement de la STEP, et afin de détecter des anomalies ou des dysfonctionnements, un indicateur de performance a été élaboré, ce dernier permet d'évaluer la performance et la qualité d'un processus, et de juger le fonctionnement de la STEP en donnant une note pour chaque observation.

On dispose de 188 observations des paramètres de pollution mesurés correctement à l'entrée et à la sortie de la STEP (Brute et Epurée).

**Tableau V.9 :** Paramètres de pollution disponibles.

Les paramètres à données disponibles
MES
DCO
DBO5
Ntot
NH4-N
NO3-N
Ptot
PO4-P

### V.3.2. APPLICATION DE L'ACP

Dans le but de trouver l'apport de chaque paramètre de pollution éliminé dans la consommation de l'énergie, ou autrement dit ; pour trouver l'influence de l'abattement de chaque paramètre de pollution sur la consommation de l'énergie, on doit se baser sur, soit l'avis d'un expert ou des pourcentages connus déjà faits, qui peuvent dépendre de chaque station, soit sur les résultats d'une ACP faite entre la quantité de pollution éliminé (rabattement) et l'énergie consommée.

Dans notre cas, on a choisi la deuxième méthode vu la disponibilité des données entrée-sortie nécessaires.

Pour cela, on a éliminé quelques paramètres :

- Le Ntot, qui peut fausser la procédure vu que cette donnée engendre les différentes formes de l'azote (Norg, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N...), donc elle ne représente pas vraiment l'élimination ou l'apparition d'une forme azotée.
- Le NO<sub>3</sub>-N, qui est la forme la plus oxydée de l'azote, son augmentation représente souvent un excès d'énergie et une mauvaise gestion de l'aération dans le bassin d'aération, ce qui rend la consommation d'énergie non représentative de la pollution éliminée (une énergie en excès non justifiée).
- Le Ptot, dans le but d'éviter la redondance de l'information, le paramètre PO<sub>4</sub>-P qui est le plus ciblé, pourra justifier la consommation de l'énergie pour la pollution phosphorée.

On a gardé donc 5 paramètres :

**Tableau V.10** : Les paramètres de pollution ciblés pour l'énergie.

Les paramètres Utilisés
MES
DCO
DBO5
NH <sub>4</sub> -N
PO <sub>4</sub> -P

Parmi les observations disponibles, on remarque qu'il y a des observations dont le paramètre d'NO<sub>3</sub>-N augmente en passant par le traitement (une énergie en excès non justifiée), ces observations vont fausser les calculs et doivent être éliminées, vu que l'énergie ne représente pas un rabattement d'un paramètre de la pollution mais une injection d'O<sub>2</sub> non justifiée.

Remarque : Les observations sélectionnées ne sont pas des cas dont l'énergie est optimale, mais des expériences qui nécessitent une consommation d'énergie pour éliminer de la pollution, et non pas une énergie consommée en excès.

### V.3.2.1. Application de l'ACP entre l'énergie et la pollution rabattue

**Tableau V.11 :** Matrice de corrélation.

Variables	MES Ra	DCO Ra	DBO5 Ra	NH4-N Ra	PO4-P Ra	En
MES Ra	<b>1</b>	0,439	0,503	0,616	0,445	0,136
DCO Ra	0,439	<b>1</b>	0,869	0,642	0,704	0,322
DBO5 Ra	0,503	0,869	<b>1</b>	0,696	0,655	0,279
NH4-N Ra	0,616	0,642	0,696	<b>1</b>	0,633	0,170
PO4-P Ra	0,445	0,704	0,655	0,633	<b>1</b>	0,239
En	0,136	0,322	0,279	0,170	0,239	<b>1</b>

Le déterminant de la matrice est acceptable : (det = 0,030).

Les résultats pour le test de sphéricité de Bartlett sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau V.12 :** Les résultats du test de sphéricité de Bartlett.

<b>Khi<sup>2</sup> (Valeur observée)</b>	643,0720
<b>Khi<sup>2</sup> (Valeur critique)</b>	24,9958
<b>DDL</b>	15
<b>p-value</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
<b>alpha</b>	0,05

D'après le tableau, il est clair que le test de sphéricité de Bartlett est réussi.

Les résultats obtenus pour le test KMO sont les suivant :

Tableau V.13 : Les résultats du test KMO.

<b>MES Ra</b>	0,8518
<b>DCO Ra</b>	0,7528
<b>DBO5 Ra</b>	0,7730
<b>NH4-N Ra</b>	0,8490
<b>PO4-P Ra</b>	0,8932
<b>En</b>	0,9098
<b>KMO</b>	<b>0,8161</b>

Le KMO globale de la matrice se situe dans la fourchette «très bien», représenté en rouge dans le tableau. Le test est jugé réussi. Les autres résultats de l'ACP peuvent être pris en considération pour notre étude.

Tableau V.14 : Valeurs propres.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valeur propre	3,607	0,941	0,646	0,383	0,304	0,119
Variabilité (%)	60,121	15,684	10,762	6,377	5,064	1,991
% cumulé	60,121	75,805	86,568	92,945	98,009	100,000

Tableau V.15 : Corrélations entre les variables et les facteurs.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MES Ra	<b>0,684</b>	-0,316	<b>0,616</b>	-0,026	-0,230	0,014
DCO Ra	<b>0,892</b>	0,097	-0,289	-0,192	-0,128	0,242
DBO5 Ra	<b>0,901</b>	0,012	-0,203	-0,296	-0,046	-0,238
NH4-N Ra	<b>0,846</b>	-0,230	0,117	0,032	0,464	0,038
PO4-P Ra	<b>0,823</b>	-0,019	-0,224	0,505	-0,120	-0,049
En	<b>0,373</b>	<b>0,882</b>	0,281	0,035	0,051	-0,009

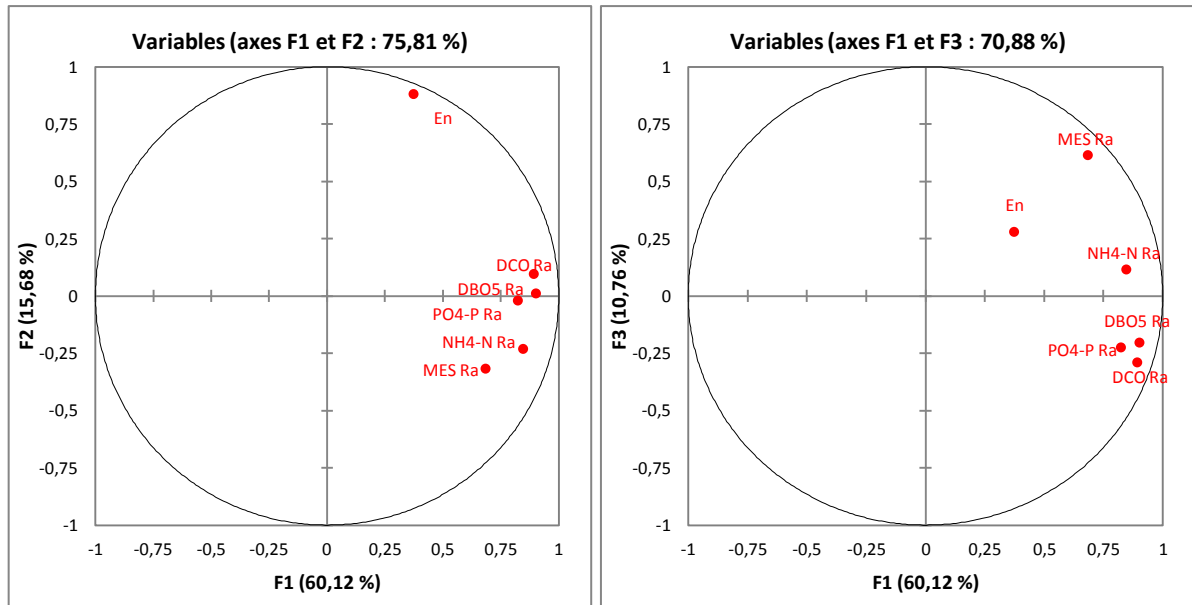


Figure V.4 : Cercle de corrélation n° 1 et 2.

En examinant le **Tableau V.12**, et selon les deux cercles de corrélation les plus significatives, on a décidé de parler de la répartition de l'énergie en terme de corrélation avec le 1<sup>er</sup> et le 2<sup>ème</sup> axe, car les cercles ne donnent pas vraiment une information sur l'ordre d'importance des paramètres par rapport à la consommation de l'énergie.

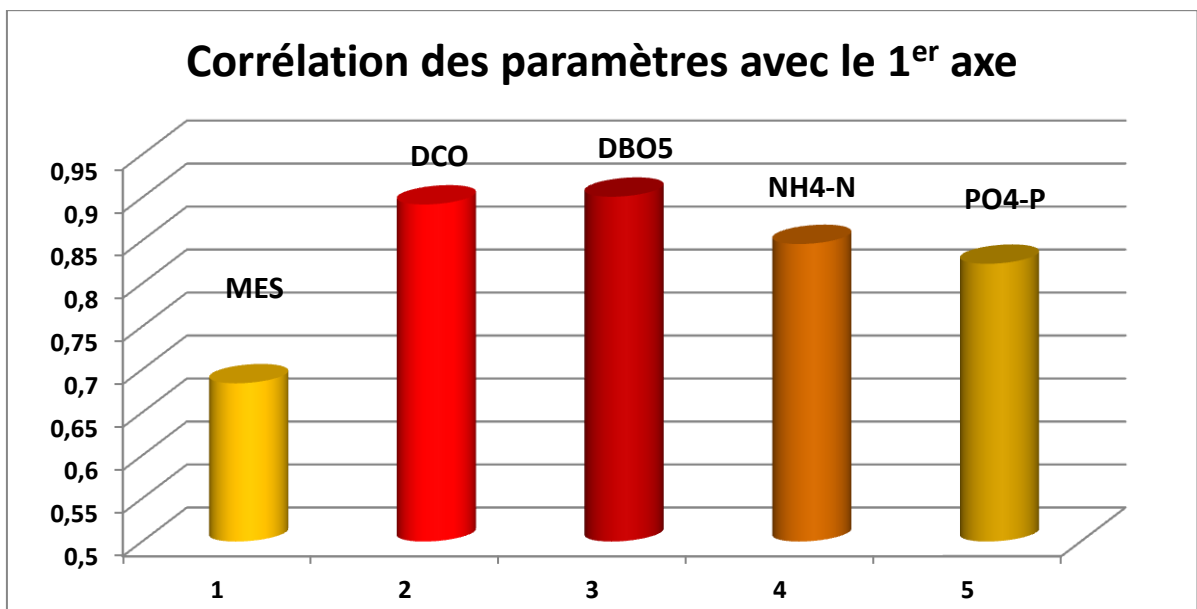


Figure V.5 : Corrélation de chaque paramètre avec le 1<sup>er</sup> axe.

Le classement des cinq paramètres va suivre leur corrélation, il est représenté dans le tableau suivant :

**Tableau V.16 :** Ordre d'importance des paramètres.

Paramètre	Ordre d'importance
<b>DBO5</b>	1
<b>DCO</b>	2
<b>NH4-N</b>	3
<b>PO4-P</b>	4
<b>MES</b>	5

On voit que l'énergie est corrélée à 0,373 avec le 1<sup>er</sup> axe, celui qui donne 60% de l'information totale, et on remarque que les autres paramètres ont chacun une corrélation donnée avec le même axe, ce qui a représenté la répartition de la consommation d'énergie selon ces paramètres.

On remarque aussi que l'énergie est très corrélée avec le 2<sup>ème</sup> axe qui donne 15% de l'information (0,882 comme corrélation), ceci s'explique par le fait que la donnée utilisée concerne l'énergie totale consommée, et non l'énergie des aérateurs, donc, l'énergie pourra être consommée ailleurs.

Pour justifier cette supposition, on a appliqué une ACP pour expliquer la consommation d'énergie dans le pompage des boues ou l'épaississement, les données disponibles pour cela sont les débits de boue recirculée et de boue en excès, qui sont pompés et épaissis en consommant de l'énergie.

### V.3.2.2. Application de l'ACP entre l'énergie et les débits de boue recirculée et en excès

**Tableau V.17 :** Matrice de corrélation.

Variables	En	B R	B E
En	<b>1</b>	0,201	0,208
B R	0,201	<b>1</b>	0,250
B E	0,208	0,250	<b>1</b>

Le déterminant de la matrice est grand et n'est pas acceptable ( $\det = 0,87$ ), on doit au moins vérifier les deux autres tests.



**Tableau V.18** : résultats du test de sphéricité de Bartlett.

<b>Khi<sup>2</sup> (Valeur observée)</b>	24,7985
<b>Khi<sup>2</sup> (Valeur critique)</b>	7,8147
<b>DDL</b>	3
<b>p-value</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
<b>alpha</b>	0,05

**Tableau V.19** : résultats du test KMO.

En	0,6149
B R	0,6285
B E	0,5855
<b>KMO</b>	<b>0,6095</b>

Les résultats du test de sphéricité de Bartlett sont acceptables.

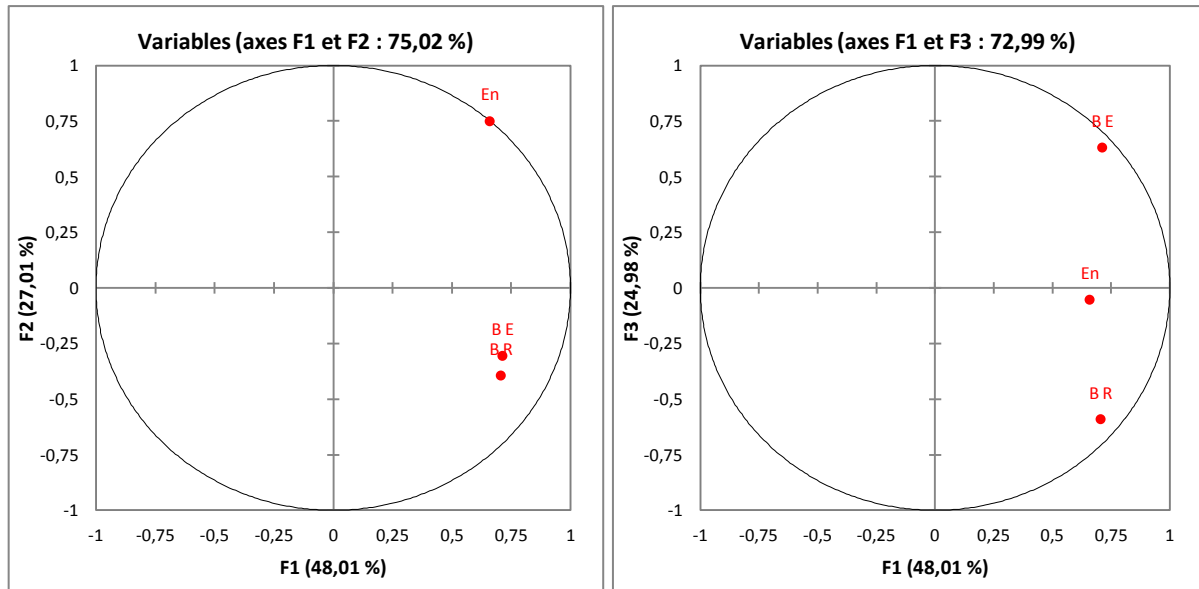
Le KMO globale de la matrice se situe dans la fourchette «moyen», représenté en rouge dans le tableau. Même si que la valeur du déterminant est grande, l'ensemble des tests est jugé réussi. Les autres résultats de l'ACP peuvent être pris en considération pour notre étude.

**Tableau V.20** : Valeurs propres.

	F1	F2	F3
Valeur propre	1,440	0,810	0,750
Variabilité (%)	48,007	27,010	24,983
% cumulé	48,007	75,017	100,000

**Tableau V.21** : Corrélation entre les variables et les facteurs.

	F1	F2	F3
En	<b>0,659</b>	<b>0,750</b>	-0,052
B R	<b>0,706</b>	-0,393	-0,589
B E	<b>0,713</b>	-0,305	0,632



**Figure V.6 :** Cercle de corrélation n° 1 et 2.

La forte corrélation de débit des boues pompées avec l'énergie consommée explique notre supposition (corrélation de l'énergie avec un deuxième axe).

On remarque que l'énergie est toujours très corrélée avec le 2<sup>ème</sup> axe, ce qui confirme aussi que l'énergie totale consommée est lié non seulement de l'élimination de la pollution et du pompage des boues, mais aussi à d'autres paramètres dont on ne dispose malheureusement pas de données pour le vérifier.

### V.3.2.3. Conclusion

L'application de l'ACP sur l'énergie totale consommée et les paramètres de pollution rabattus nous a permis de faire une comparaison entre les paramètres de pollution et leur importance dans la consommation de l'énergie, ceci va nous permettre de former notre matrice de jugement, cette dernière va constituer la base de calculs des poids dans la méthode AHP qu'on utilisera par la suite.

D'après les résultats obtenus, on peut dire que la consommation de l'énergie n'est pas reliée seulement au rabattement de la pollution, mais aussi à d'autre paramètres, ceci s'explique par le fait qu'on a utilisé comme donnée l'énergie totale consommée dans la STEP et non seulement l'énergie des aérateurs.

### V.3.3. APPLICATION DE L’AHP

#### V.3.3.1. Construction de la hiérarchie

Nous avons construit trois niveaux hiérarchiques à savoir :

- Niveau 0 : Jugement de la performance de fonctionnement de la STEP.

- Niveau 1 : Jugement des deux critères établis :

\* La consommation de l’énergie.

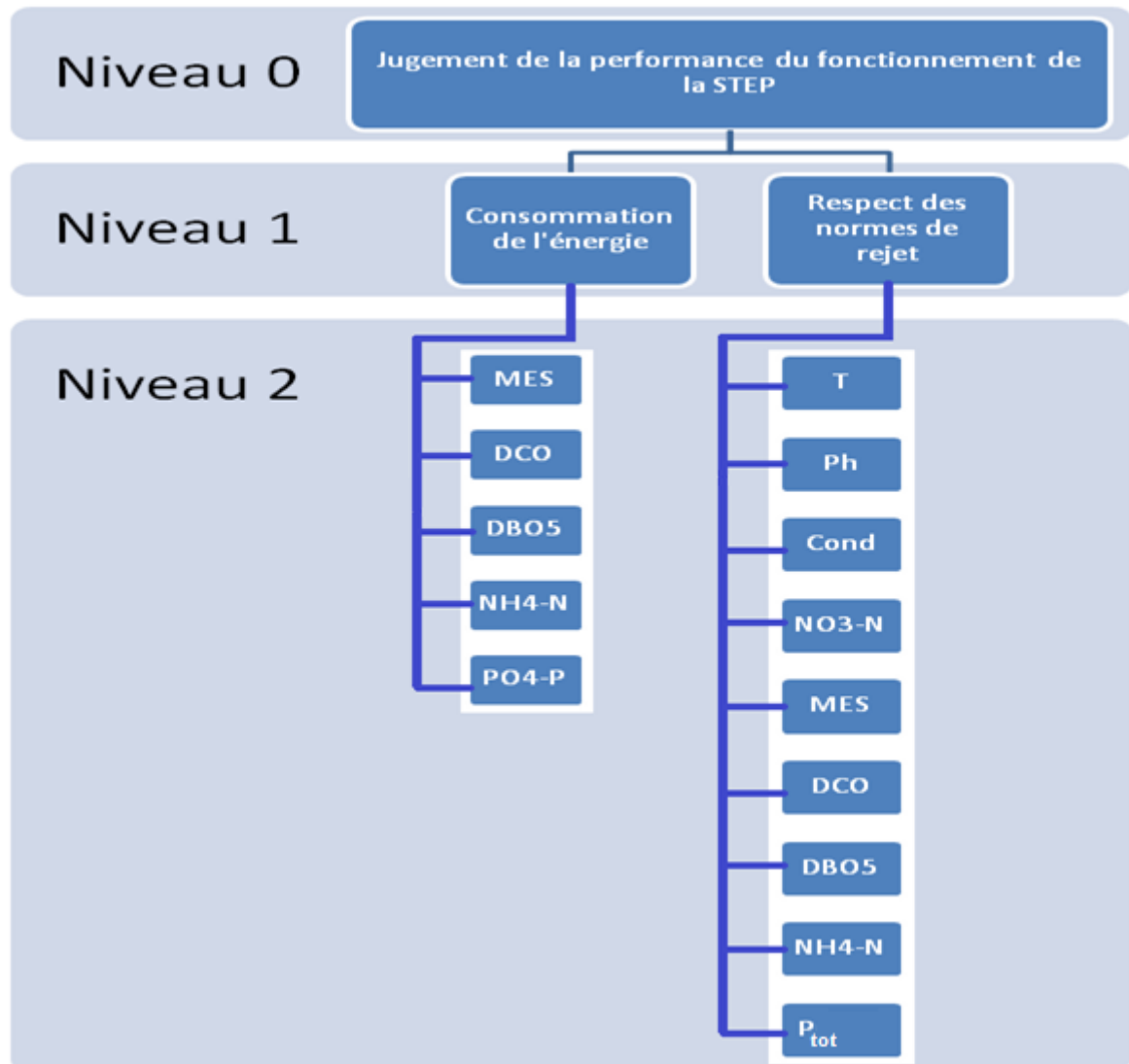
\*Le respect des normes de rejet.

- Niveau 2 : Jugement de chaque paramètre représentant ces deux critères :

**Tableau V.22** : Paramètre concernant chaque critère du niveau 1.

<b>Consommation de l’énergie</b>	<b>Respect des normes de rejet</b>
MES	T
DCO	Ph
DBO5	Cond
NH4-N	DBO5
PO4-P	MES
	DCO
	NH4-N
	NO3-N
	Ptot

La figure suivante représente le schéma de la hiérarchie :



**Figure V.7 :** Organigramme présentant les différents niveaux de la hiérarchie.

### V.3.3.2. Matrice de jugement

Une fois la hiérarchie de l'objectif, des critères et des sous critères établie, l'étape suivante consiste à construire des matrices de comparaison par paire dans chaque niveau dont le but est d'établir des priorités entre les différents éléments du problème (des pondérations), c'est les matrices de jugement.

Pour chaque critère du niveau 1, on va former une matrice de jugement qui compare les paramètres du critère deux à deux entre eux.

Afin de pouvoir apporter un jugement aux diverses comparaisons, on va utiliser l'échelle proposée par Saaty (Tableau III.1, Chapitre III).

Commençons par le niveau 1 de la hiérarchie, ce dernier qui contient que deux critères ne nécessitent pas un calcul des pondérations, donc, on va attribuer à chaque critère la même pondération : 0,5.

Pour le niveau 2, on a deux matrices de jugement, une pour chaque ensemble de paramètres.

#### V.3.3.2.1. Matrice de jugement des paramètres de consommation de l'énergie

**Tableau V.23** : Matrice de jugement relative au critère de la consommation de l'énergie.

	MES	DCO	DBO5	NH4-N	PO4-P
MES	1	1/3	1/4	1/2	1/2
DCO	3	1	1/2	2	2
DBO5	4	2	1	3	3
NH4-N	2	1/2	1/3	1	1
PO4-P	2	1/2	1/3	1	1

Cette matrice a été formée à la base d'une comparaison faite par pair selon l'ordre d'importance des paramètres (en utilisant l'ACP), (Tableau V.13, même chapitre), et selon l'échelle proposée (de 1 à 9).

Après avoir traité la matrice sur Excel par la méthode mentionnée précédemment (§ III.3.5.3 chapitre III), on a obtenu les pondérations suivantes :

**Tableau V.24** : Pondération des paramètres de l'énergie.

Paramètre	Poids
MES	0,0794076
DCO	0,24419982
DBO5	0,40173298
NH4-N	0,1373298
PO4-P	0,1373298

#### V.3.3.2.2. Test de cohérence

On calcule le ratio de cohérence :

$$RC = IC / RI \quad (\text{§ III.3.5.4, chapitre III})$$

En utilisant Matlab, on a pu traiter la matrice de jugement pour avoir les valeurs propres, la valeur propre la plus grande  $\lambda_{\max} = 5,0331$ .

$$CI = 0.0083$$

Pour  $n = 5$ ,  $RI = 1,12$  (Tableau III.4, chapitre III)

$$RC = 0,0074 = 0,74\% < 10\%$$

Note évaluation est donc cohérente vu que RC est inférieur à 10%.

#### V.3.3.2.3. Matrice de jugement des paramètres du respect des normes de rejet

Dans le cas des rejets, se baser sur les résultats d'une ACP n'est pas représentative, car l'importance de chaque paramètre par rapport à l'autre n'apparaît pas sur les mesures de ces paramètres de rejet, un avis d'expert est exigé pour comparer les paramètres l'un par rapport à l'autre et faire notre matrice de jugement, ces comparaisons entre les paramètres et leurs importances peuvent varier selon la destination de l'eau épurée (Mer, irrigation, ...).

**Tableau V.25 :** Matrice de jugement relative au critère du respect des normes de rejet.

	T	Ph	Cond	MES	DBO5	DCO	NH4-N	NO3-N	Ptot
T	1	1	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3
Ph	1	1	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3
Cond	1	1	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3
MES	5	5	5	1	1	1	3	3	3
DBO5	5	5	5	1	1	1	3	3	3
DCO	5	5	5	1	1	1	3	3	3
NH4-N	3	3	3	1/3	1/3	1/3	1	1	1
NO3-N	3	3	3	1/3	1/3	1/3	1	1	1
Ptot	3	3	3	1/3	1/3	1/3	1	1	1

En utilisant la méthode mentionnée précédemment (§ III.3.5.3 chapitre III), et en traitant la matrice sur Excel, on a eu les pondérations suivantes :

Tableau V.26 : Pondération des paramètres de rejet.

Le paramètre	Le poids
T	0,03538544
Ph	0,03538544
Cond	0,03538544
DBO5	0,21111524
MES	0,21111524
DCO	0,21111524
NH4-N	0,08683265
NO3-N	0,08683265
Ptot	0,08683265

#### V.3.3.2.4. Test de cohérence

La valeur propre la plus grande  $\lambda_{\max} = 9,1155$

CI = 0,0144

Pour n = 9, RI = 1,45

RC = 0,0099 = 0,99% < 10%

Note évaluation est cohérente vu que RC est inférieur à 10%.

#### V.2.3.2.5. Programme d'application sur Matlab

Pour résumer les étapes précédentes pour le calcul des matrices de jugement et des poids, on a développé un programme Matlab dont le code est le suivant :

```
E(5,5)=zeros;%declaration de la 1ere matrice de jugement
R(9,9)=zeros;%declaration de la 2eme matrice de jugement

%remplissage de la 1ere matrice de jugement
E(1,2)=input('entrez le degre d'importance de Saaty des MES par
rapport au DCO ');
E(1,3)=input('entrez le degre d'importance de Saaty des MES par
rapport au DBO5 ');
.
.
.
.
```

```

E(3,5)=input('entrez le degré d'importance de Saaty des DBO5
par rapport au PO4-P ');
E(4,5)=input('entrez le degré d'importance de Saaty des NH4-N
par rapport au PO4-P ');

%remplissage de la 2eme matrice de jugement
R(1,2)=input('entrez le degré d'importance de Saaty des T par
rapport au Ph ');
R(1,3)=input('entrez le degré d'importance de Saaty des T par
rapport au Cond ');
.
.
.
.

R(7,9)=input('entrez le degré d'importance de Saaty des NH4-N
par rapport au Ptot ');
R(8,9)=input('entrez le degré d'importance de Saaty des NO3-N
par rapport au Ptot ');

%remplissage
for i=1:4
    for j=(i+1):5
        E(j,i)=1/(E(i,j));
    end
end

for i=1:5
    E(i,i)=1;
end

%teste de coherence pour la 1ere matrice de jugements
[aE,bE]=eig(E);
ICE=((bE(1,1)-5)/4)/1,12;
RCE=ICE/1.12;

%remplissage
for i=1:8
    for j=(i+1):9
        R(j,i)=1/(R(i,j));
    end
end

for j=1:9
    R(j,j)=1;
end

%teste de coherence pour la 2eme matrice de jugements
[aR,bR]= eig(R);
ICR=((bR(1,1)-9)/8)/1,41;

```



```
RCR=ICR/1.45
```

```
%calcul des poids pour les deux matrices
```

```
SE(1,5)=zeros;
```

```
SR(1,9)=zeros;
```

```
for i=1:5
```

```
    SE(i)=sum(E(:,i));
```

```
end
```

```
for j=1:9
```

```
    SR(j)=sum(R(:,j));
```

```
end
```

```
for i=1:5
```

```
    for j=1:5
```

```
        E(i,j)=E(i,j)/SE(j);
```

```
    end
```

```
end
```

```
for i=1:9
```

```
    for j=1:9
```

```
        R(i,j)=R(i,j)/SR(j);
```

```
    end
```

```
end
```

```
PE(1,5)=zeros;
```

```
PR(1,9)=zeros;
```

```
for i=1:5
```

```
    PE(i)=sum(E(i,:)/5);
```

```
end
```

```
for j=1:9
```

```
    PR(j)=sum(R(j,:)/9);
```

```
end
```

```
%affichage des resultats du tets de coherence
```

```
if RCE<0.1
```

```
    disp('la 1ere matrice est coherente ')
```

```
else disp('la 1ere matrice nest pas coherente ')
```

```
end
```

```
if RCR<0.1
```

```
    disp('la 2eme matrice est coherente ')
```

```
else disp('la 2eme matrice nest pas coherente ')
```

```
end
```

```
%affichage des resultats de calcul des poids
```

```

disp('les poids de la premiere matrice sont les suivant: ')
PE
disp('les poids de la deuxieme matrice sont les suivant: ')
PR

```

Les résultats obtenus après l'application du programme sur les mêmes données sont les suivants :

```

RCE =
0.0074
RCR =
0.0099
la 1ere matrice est coherente
la 2eme matrice est coherente
les poids de la premiere matrice sont les suivant:
PE =
0.0794    0.2442    0.4017    0.1373    0.1373
les poids de la deuxieme matrice sont les suivant:
PR =
0.0354    0.0354    0.0354    0.2111    0.2111    0.2111    0.0868    0.0868    0.0868

```

Annotations:

- Indice de cohérence de la 1<sup>ère</sup> matrice (points to 0.0074)
- Indice de cohérence de la 2<sup>ème</sup> matrice (points to 0.0099)
- Teste de cohérence (bracketed around the coherence test results)
- Les poids de la 1<sup>ère</sup> matrice (points to the PE row)
- Les poids de la 2<sup>ème</sup> matrice (points to the PR row)

**Figure V.8 :** Résultat d'exécution du programme sur Matlab.

On remarque que les résultats obtenus en utilisant le programme sur Matlab sont les mêmes que ceux obtenus sur Excel, ces résultats seront à la base de faire une interface de calcul par la suite.

### V.3.4. LE SYSTEME DE NOTATION

Une notation de 0 à 5 a été proposé :

**Tableau V.27** : Notation proposée pour les indicateurs élaborés.

Note	Jugement
5	excellent
$4 \leq < 5$	très bon
$3 \leq < 4$	bon
$2 \leq < 3$	moyen
$0 \leq < 2$	mauvais

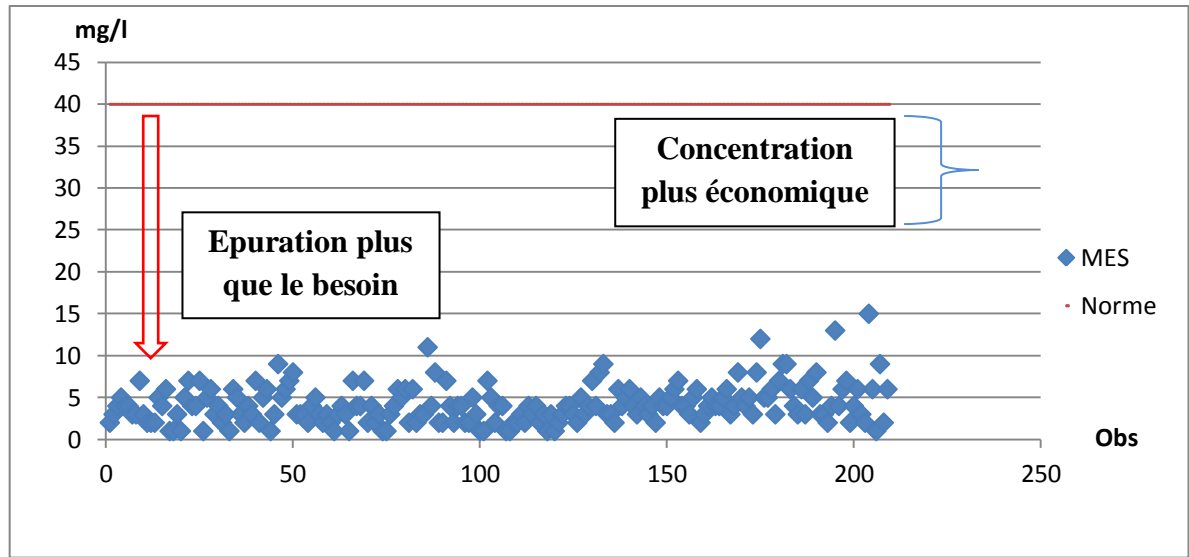
#### V.3.4.1. Notation de la consommation de l'énergie

L'énergie va être jugée de façon à pouvoir observer sa consommation en excès. Le paramètre de pollution éliminé va jouer le rôle d'indicateur.

Pour cela, on a procédé à une méthode qui se base sur l'évolution des paramètres de la pollution à la sortie de la STEP durant le temps, cette évolution a permis d'observer l'abattement de la pollution par rapport à la norme de rejet de chaque paramètre.

En traçant les courbes de l'évolution de ces paramètres, on remarque qu'ils sont éliminés plus que notre besoin (le besoin est d'atteindre une concentration juste au dessous de la norme), plus qu'on s'éloigne de la norme vers le zéro, plus qu'on consomme de l'énergie pour rien vu que notre eau vérifie déjà le but.

V.3.4.1.1 Evolution des MES



**Figure V.9 :** Evolution des MES comparée à la norme.

On se basant sur la figure ci dessus, la notation est la suivante :

**Tableau V.28 :** Intervalles de notation des MES.

C (mg/l)	Note
30 <	5
20 < <= 30	4
10 < <= 20	3
0 < <= 10	1

Il est clair que la note diminue en consommant plus d'énergie (En se rapprochant du 0).

V.3.4.1.2 Evolution de la DCO

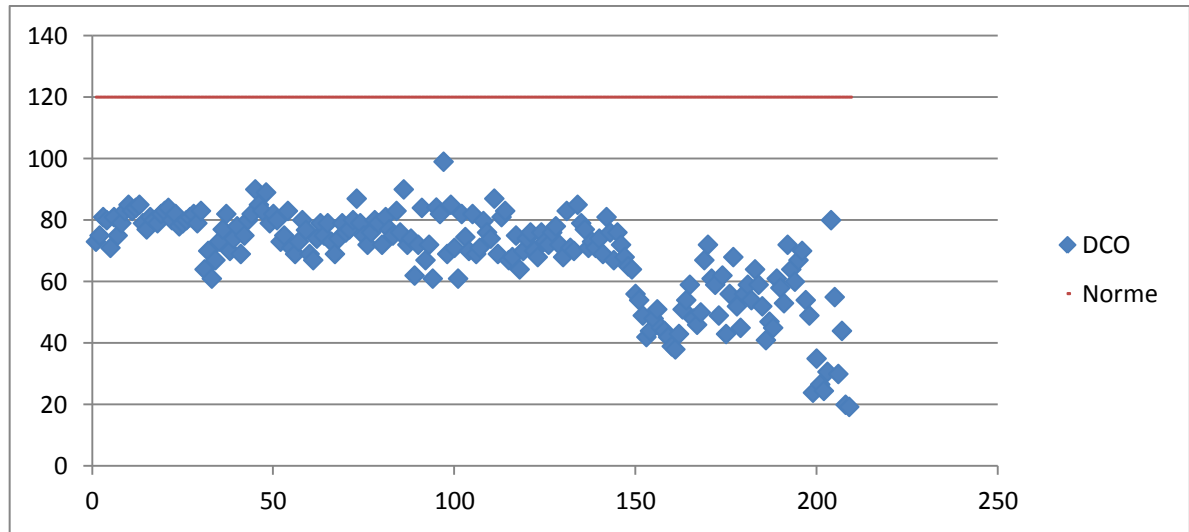


Figure V.10 : Evolution de la DCO comparée à la norme.

La notation de la DCO est représentée dans le tableau suivant :

Tableau V.29 : Intervalles de notation de la DCO.

C (mg/l)	Note
80 <	5
60 < <= 80	4
20 < <= 60	3
0 < <= 20	1

V.3.4.1.3 Evolution de la DBO5

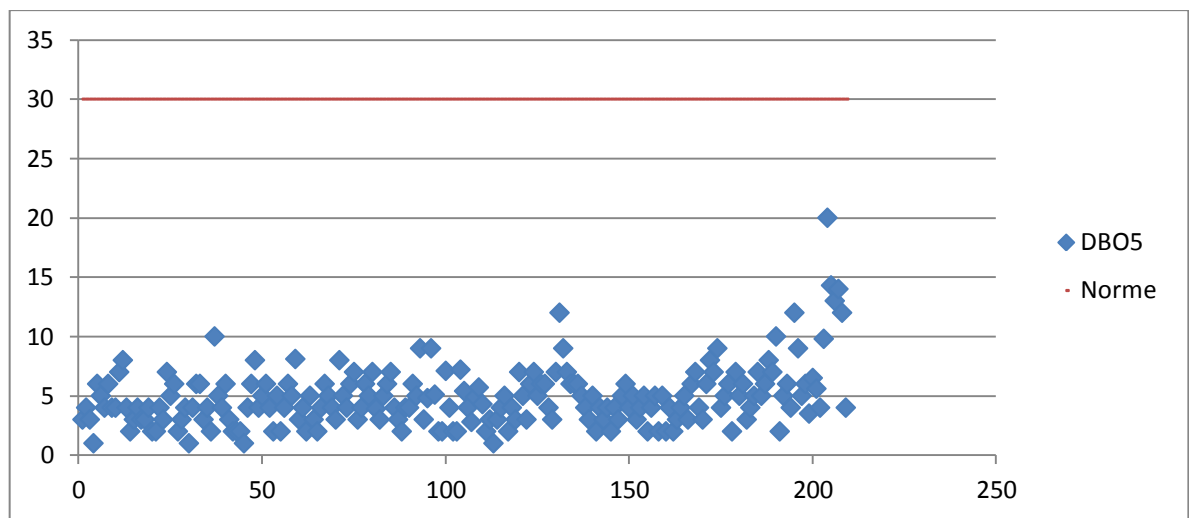


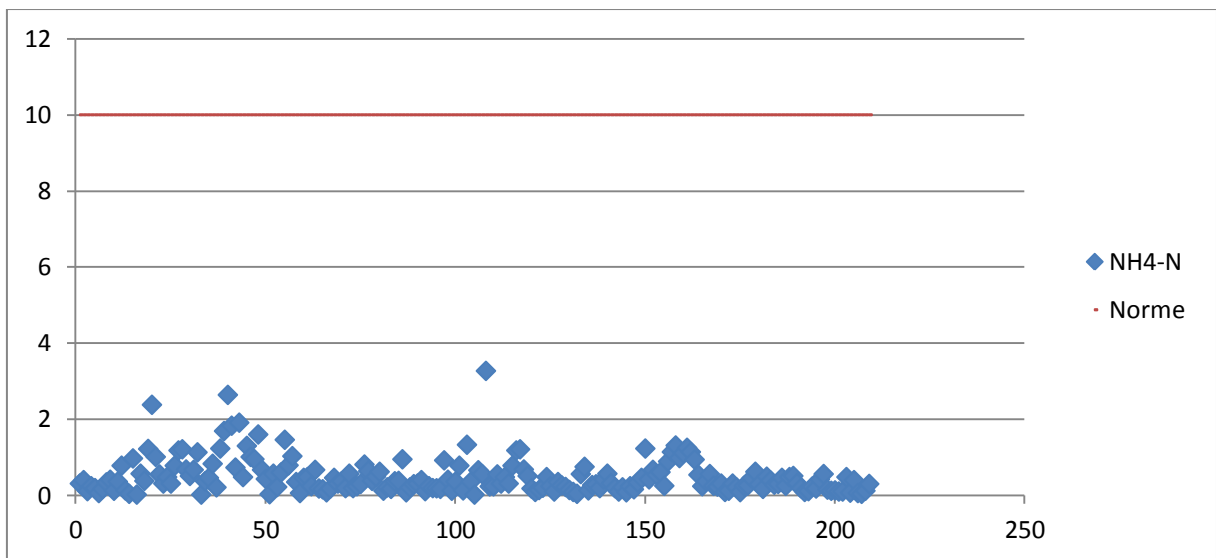
Figure V.11 : Evolution de la DBO5 comparée à la norme.

La notation de la DBO5 est la suivante :

**Tableau V.30 :** Intervalles de notation de la DBO5.

C (mg/l)	Note
25 <	5
15 < <= 25	4
5 < <= 15	3
0 < <= 5	1

V.3.4.1.4 Evolution de l’NH4-N



**Figure V.12 :** Evolution de l’NH4-N comparée à la norme.

La notation de l’NH4-N :

**Tableau V.31 :** Intervalles de notation de l’NH4-N.

C	Note
6 <	5
4 < <= 6	4
2 < <= 4	3
0 < <= 2	1

## V.3.4.1.5 Evolution du PO4-P

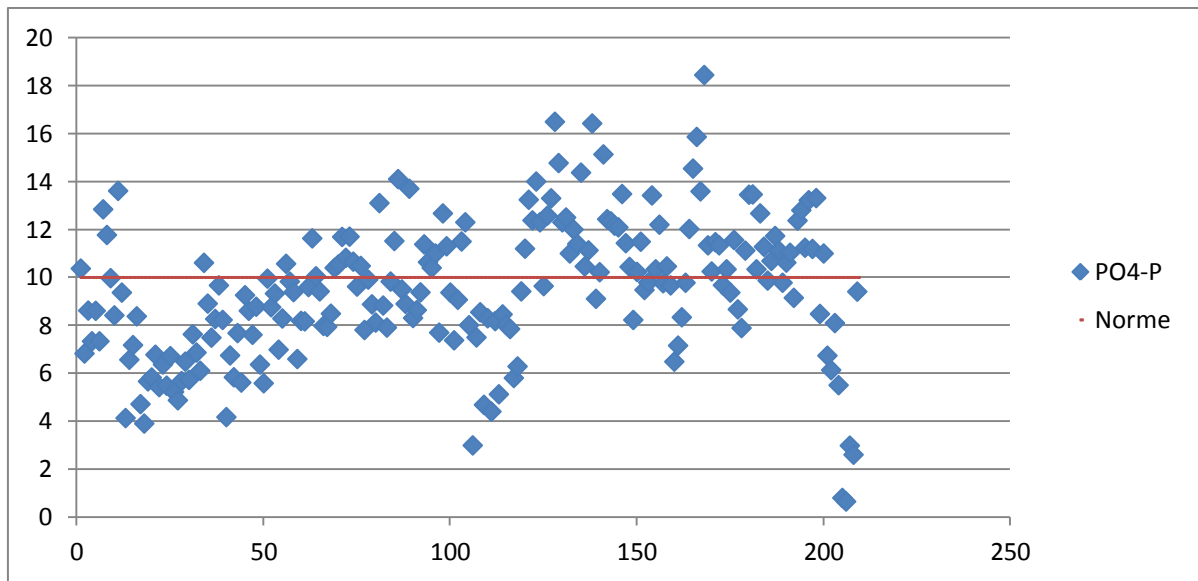


Figure V.13 : Evolution du PO4-P comparée à la norme.

La notation du PO4-P :

Tableau V.32 : Intervalles de notation du PO4-P.

C (mg/l)	Note
$6 <$	5
$4 < \leq 6$	4
$2 < \leq 4$	3
$0 < \leq 2$	1

## V.3.4.2. Notation du respect des normes de rejet

En ce qui concerne le rejet, on a choisit les intervalles de notation des différents paramètres de pollution en se basant sur l'importance donnée au respect des norme de chaque paramètre dans la STEP, le tableau suivant résume ces intervalles :

Tableau V.33 : Intervalles de notation des paramètres de rejet.

Paramètre / Note	0	3	4	5
T (c°)	T > 35	35 < T ≤ 30	/	T ≤ 30
Ph	Ph > 9,5	8,5 < Ph ≤ 9,5 et 5,5 < Ph < 6,5	/	6,5 ≤ Ph ≤ 8,5
Cond (µS/cm)	Cond > 2100	2000 < Cond ≤ 2100	/	Cond ≤ 2000
MES (mg/l)	C > 45	40 < C ≤ 45	30 < C ≤ 40	C ≤ 30
DBO5 (mg/l)	C > 35	30 < C ≤ 35	20 < C ≤ 30	C ≤ 20
DCO (mg/l)	C > 140	120 < C ≤ 140	80 < C ≤ 120	C ≤ 80
NH4-N (mg/l)	C > 12	10 < C ≤ 12	6 < C ≤ 10	C ≤ 6
NO3-N (mg/l)	C > 12	10 < C ≤ 12	6 < C ≤ 10	C ≤ 6
Ptot (mg/l)	C > 12	10 < C ≤ 12	6 < C ≤ 10	C ≤ 6

### V.3.5. CALCUL DE LA NOTE FINALE DE L'INDICATEUR DE LA STEP DE JIEJL

La note finale de l'indicateur de performance de la STEP va être calculé en calculant pour chaque niveau la moyenne pondérée entre les paramètres de chaque critère du niveau, à la fin, on aura deux notes dans le niveau 1, la note de la consommation de l'énergie et la note du respect des normes de rejet, ces deux notes vont donner la note finale de l'indicateur de performance en calculant la moyenne pondérée entre eux (pour notre cas, les deux notes ont la même importance, ils ont un poids de 0,5 chacune).

### V.3.6. L'APPLICATION SUR 9 EXPERIENCE

L'application du modèle élaboré sur neuf différentes expériences choisies au hasard mesurées dans la STEP de Jijel, et ses résultats sont représenté dans le tableau suivant :



Tableau V.34 : Tableau des paramètres mesurés pour les 9 observations.

Paramètre	MES	DCO	DBO5	NH4-N	PO4-P	T	pH	Cond	NO3-N	Ptot
Unité	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	° C	-	µS/cm	mg/l	mg/l
Date										
01/01/2009	2	73	3	0,31	10,37	15,4	7,42	1124	31	5,32
05/01/2009	4	71	6	0,19	8,61	14,9	7,49	1110	23,61	6,31
12/01/2009	2	84	8	0,78	9,37	14,4	7,68	737	24,61	5,74
02/02/2009	3	70	6	1,13	6,87	14	7,41	1647	0,19	2,48
05/04/2009	4	61	3	0,19	10,64	13,4	7,42	967	0,3	4,62
15/06/2009	7	42	4	0,54	9,79	23,4	7,31	1219	0,27	6,78
17/07/2009	3	52	7	0,3	9,87	26,4	7,83	1098	0,19	4,83
12/05/2010	15	80	20	0,07	5,51	13,5	8,1	1339	1,14	1,99
24/06/2010	6	19,3	4	0,3	9,41	12,3	7,11	1130	0,34	3,35

L'étape suivante consiste à calculer, pour les différentes expériences et pour chaque paramètre, la note correspondante, les résultats obtenus après avoir traité les données sur Excel sont les suivants :

Tableau V. 35 : Tableau des résultats de calcul des notes des 9 observations.

	Consommation de l'énergie					Respect des normes de rejet								
	MES	DCO	DBO5	NH4-N	PO4-P	T	pH	Cond	MES	DBO5	DCO	NH4-N	NO3-N	Ptot
01/01/2009	1	4	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	0	5
05/01/2009	1	4	3	1	5	5	5	5	5	5	5	5	0	4
12/01/2009	1	5	3	1	5	5	5	5	5	5	4	5	0	3
02/02/2009	1	4	3	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
05/04/2009	1	4	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
15/06/2009	1	3	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
17/07/2009	1	3	3	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
12/05/2010	3	4	4	1	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
24/06/2010	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Pour calculer les notes finales des deux critères, on calcule les moyennes pondérées des notes de chaque critère en utilisant les poids calculé auparavant (Tableau V.19, Tableau V.21), et pour calculer la note finale de la STEP, on calcule la moyenne des deux notes des deux critères (même pondération), les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau V.36 : Calcul des notes finales de la STEP de Jijel (indicateurs).

Date	Consommation de l'énergie	Respect des normes de rejets	Note finale de la STEP de Jijel
01/01/2009	2,28	4,57	3,42
05/01/2009	3,09	4,48	3,78
12/01/2009	3,33	4,35	3,84
02/02/2009	3,09	5,00	4,04
05/04/2009	2,28	5,00	3,64
15/06/2009	2,04	4,91	3,48
17/07/2009	2,84	5,00	3,92
12/05/2010	2,29	5,00	3,65
24/06/2010	1,55	5,00	3,27

Les résultats obtenus présentent une variation des notes entre 3,27 et 4,04, pour exploiter ces résultats, il est préférable de faire plusieurs test ou mesure dans le but de trouver une solution optimale qui maximise l'indicateur final. Un respect des normes en excès provoque un excès de consommation d'énergie, et vice versa, ce qui pousse à chercher un équilibre entre les deux (optimum), ce dernier sera détecté facilement après avoir testé les indicateurs plus qu'une fois en essayant de les faire converger vers une meilleure note.

Dans le cas de la STEP de Jijel, le respect de norme de rejets est pris comme priorité en négligeons les excès en consommation d'énergie. Dans autre cas ou la consommation de l'énergie est considéré plus importante, chercher un optimum est obligatoire. Pour cela, et pour avoir une note représentative, on a essayé de faire le même travail sur les 9 expériences en favorisant la note de l'énergie : 2/3 comme pondération pour l'énergie et 1/3 pour le respect des normes de rejet.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau V.37** : Calcul des notes finales de la STEP de Jijel (indicateurs de l'énergie favorisé).

Date	Consommation de l'énergie	Respect des normes de rejets	Note finale de la STEP de Jijel
01/01/2009	2,28	4,57	2,85
05/01/2009	3,09	4,48	3,43
12/01/2009	3,33	4,35	3,59
02/02/2009	3,09	5,00	3,56
05/04/2009	2,28	5,00	2,96
15/06/2009	2,04	4,91	2,76
17/07/2009	2,84	5,00	3,38
12/05/2010	2,29	5,00	2,97
24/06/2010	1,55	5,00	2,41

En donnant plus d'importance à la consommation de l'énergie, les indicateurs finaux des 9 expériences ont connu des baisses à cause de la baisse de la note de l'indicateur de la consommation d'énergie, on est souvent dans une note moyenne, ce qui explique un mauvais fonctionnement de la STEP notamment la consommation d'énergie.

### V.3.7. INTERFACE DE CALCUL PROPOSEE POUR LA STEP DE JIJEL

Afin de rendre notre travail facilement exploitable, toutes les procédures faites pour le calcul des deux indicateurs et pour le calcul de l'indicateur final de la STEP de Jijel ont été résumées dans une simple interface qui facilite la manipulation, faite en langage de programmation « c# ». Deux observations parmi les 9 observations ont été testées dans l'interface, les résultats sont les suivants :



Figure V.14 : Résultats d’essai sur l’interface pour la 1<sup>ère</sup> et la 9<sup>ème</sup> observation.

L’avantage de l’interface est de faciliter la visualisation et le jugement du fonctionnement de la STEP de Jijel et de sa performance pour chaque observation à partir d’une exploitation et du traitement des paramètres mesurés afin de sortir avec une note finale.

#### V.4. DISCUSSION DES RESULTATS FINALS DE LA STEP DE JIJEL

En calculant les indicateurs élaborés pour toutes les données des observations de la STEP de Jijel, et en donnant le même poids pour les deux indicateurs, on trouve ce qui suit :

Tableau V.38 : Résultats de la STEP l’échelle annuelle.

L'année	Consommation de l'énergie	Respect des normes de rejet	Note finale de la STEP de Jijel
2009	2,53	4,87	3,70
2010	2,44	4,99	3,72

Tableau V.39 : Résultats de la STEP à l'échelle mensuelle.

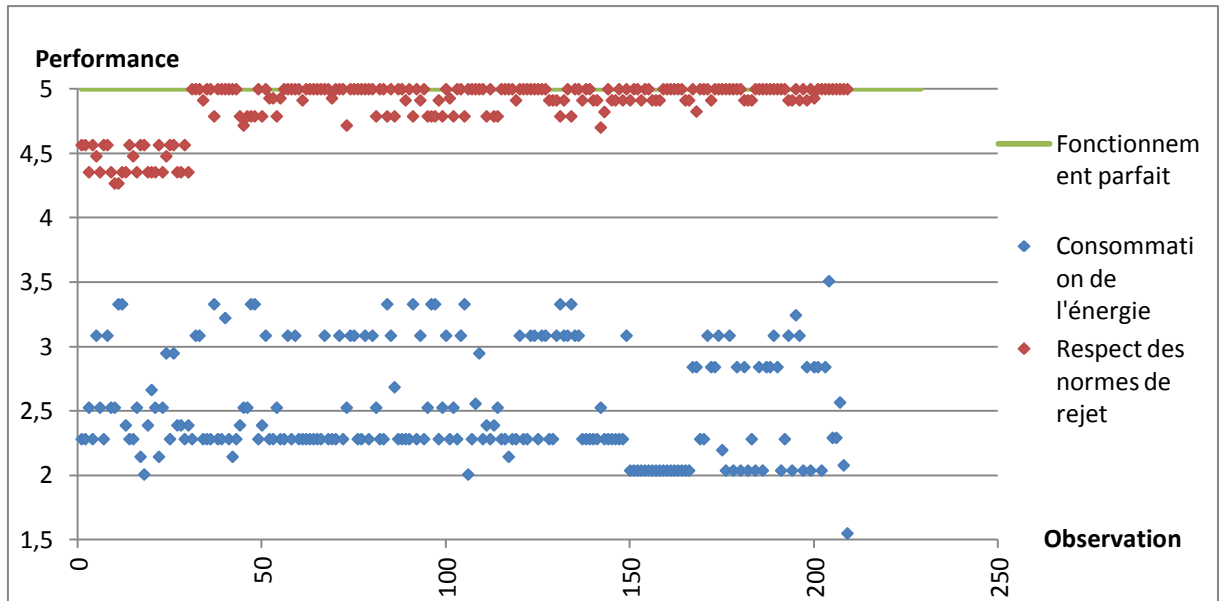
Le mois	Consommation de l'énergie	Respect des normes de rejet	Note finale de la STEP de Jijel
janv-09	2,52	4,45	3,48
févr-09	2,57	4,93	3,75
mars-09	2,55	4,96	3,76
avr-09	2,56	4,92	3,74
mai-09	2,82	4,95	3,89
juin-09	2,22	4,94	3,58
juil-09	2,57	4,98	3,77
avr-10	2,44	4,98	3,71
mai-10	2,88	5,00	3,94
juin-10	2,12	5,00	3,56

Les résultats des indicateurs obtenus à l'échelle annuelle et mensuelle sont tous compris entre 3 et 4, dans une zone de performance bonne, vu qu'on a donnée à chaque critère la même importance, mais, la non prise en considération de l'énergie consommée durant les processus de l'épuration est très clair, alors que le fait de respecter les normes plus que nos besoins en consommant plus d'énergie est absurde avec la notion de l'optimisation.

La note du respect des normes de rejet est très bonne comparant avec la note de la consommation de l'énergie.

Vu que les notes des deux indicateurs sont corrélées inversement, notre but consiste à essayer d'augmenter la note de la consommation de l'énergie en gardant les bonnes valeurs de la note du respect des normes de rejets, autrement dit, chercher une valeur optimale de l'indicateur final de la performance de la STEP.

La variation des notes des deux indicateurs de performance en pas de temps journalier a été représenté sur le graphe suivant :



**Figure V.15 :** Variation des indicateurs de performance durant la période étudiée.

Les valeurs des deux indicateurs de performance à l'échelle journalière varient entre 2 et 3,5 pour l'indicateur de la consommation de l'énergie, et entre 4 et 5 pour le deuxième indicateur. Cette observation du fonctionnement de la STEP à l'échelle journalier a permis de confirmer celle faite à l'échelle mensuelle et annuelle afin de conclure que cette STEP ne fonctionne pas d'une façon performante en ce qui concerne la consommation de l'énergie et ne prend pas en considération la notion de l'optimisation et l'économie de l'énergie.

## V.5. CONCLUSION

L'élaboration des deux indicateurs de performance ainsi que l'indicateur final de la STEP de Jijel, est passée par plusieurs étapes avant d'être enfin applicable. On a utilisé les deux méthodes ACP et AHP pour arriver à exploiter les mesures journalières des paramètres qu'offre la STEP de Jijel et juger son fonctionnement.

La méthode AHP a été à la base du calcul des pondérations utilisées pour faire la moyenne pondérée pour chaque indicateur. Cette dernière se base sur la matrice des comparaisons paires par paires entre les paramètres. En ce qui concerne le respect des normes de rejet, la matrice de comparaison a été formulé directement selon l'importance des paramètres entre eux dans la STEP, par contre, pour l'énergie, l'ordre d'importance de chaque paramètre dépendait de sa participation à la consommation de l'énergie, pour cela, on a fait appel à la méthode d'ACP.

Pour faciliter la tâche de l'AHP plus, on a développé un programme Matlab qui nécessite comme entrées l'ordre d'importance des paramètres entre eux et donne comme sortie les matrices de jugement et les coefficients de pondération de chaque paramètre.

Une interface programmée en langage C# a été élaboré afin de simplifier au responsable l'utilisation directe des valeurs des paramètres mesurés au niveau de la STEP de Jijel et de sortir avec un jugement du fonctionnement de cette dernière.

L'application des deux indicateurs et de l'indicateur final sur les données de la STEP de Jijel a fait apparaître que le fonctionnement de cette dernière respecte largement les normes de rejet en négligeant l'excès en consommation d'énergie électrique dans une notion lointaine de l'optimisation.

## CONCLUSION GENERALE

L'épuration des eaux usées est un ensemble de techniques qui visent à dépolluer les eaux usées pour les rejeter dans le milieu naturel, c'est une reproduction du phénomène de l'autoépuration naturel, que ce soit par des cultures libres tel que les boues activées et les lagunages naturels, ou par des procédés à cultures fixées tel que les disques biologiques, le filtre planté de roseaux etc...

La station d'épuration des eaux usées de Jijel est une station à boues activées, son épuration repose sur la dégradation aérobie de la pollution par mélange des microorganismes épurateurs et de l'effluent à traiter, et est assurée par différents ouvrages dont le plus important est le bassin d'aération qui permet l'abattement de la pollution carbonée, la nitrification, lors des phases aérées, et la dénitrification lors des phases non aérées afin d'éliminer la pollution azotée, Il élimine également une partie de la pollution phosphorée par voie biologique.

Dans cette étude nous avons élaboré deux indicateurs de performance pour la STEP de Jijel, un outil qui va aider à sa gestion, à son contrôle, à la surveillance de son fonctionnement, et à prendre les bonnes décisions pour toutes les situations rencontrées.

Pour atteindre notre objectif, nous avons utilisé les possibilités et les avantages qu'offre l'analyse de données, en combinant deux méthodes l'AHP et l'ACP, avec lesquelles on a pu développé un modèle de surveillance de la STEP par deux indicateurs, ce modèle a été résumé dans une interface qui facilite la manipulation des données, et leurs introduction pour avoir des résultats significatifs et représentatifs.

Le suivi du fonctionnement de la STEP de Jijel en utilisant ces deux indicateurs de performance a permis de conclure que cette STEP respecte énormément les normes de rejets et d'une façon très bonne, par contre elle a un taux de consommation d'énergie très important vu que ce dernier est susceptible d'être diminué en gardant toujours les normes respectées. Cette gestion de la STEP donne une mauvaise note de l'indicateur de la consommation d'énergie et une note moyenne de performance de la STEP en générale.



## **Bibliographie**

- [1] M. Cherrared, T.Zekiouk, B.Chocat, « Durabilité des systèmes d’assainissement algériens, Etude de l’aspect fonctionnel du système de la ville de Jijel », Laboratoire d’Hydraulique Appliquée et d’Environnement, Université A.Mira, Université de Lyon, Novatech 2010.
- [2] E.Wennerholm, « Performance Indicator Analysis as a Basis for Process Optimization and Energy Efficiency in Municipal Wastewater Treatment Plants » université d’Uppsala, février 2014.
- [3] A. Gaid, « Epuration biologique des eaux usées urbaines », publication international N° 1247 05/ 84, 2005.
- [4] J-C.BO EGLIN, « Traitement biologique des eaux résiduaires », Revue technique de l’ingénieur, 10 Décembre 1998.
- [5] N.SAHTOUT, « Etude de station de traitement des eaux à boues activées : Optimisation de l’aération et la clarification en vue d’une bonne décantabilité des boues », Thèse de magister, Université BADJI MOKHTAR-ANNABA, 2012.
- [6] Mise en œuvre de la directive du Conseil n° 91/271 « Procédés extensif d’épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités », relative au traitement des eaux urbaines résiduaires, 21 mai 1991.
- [7] N.LAREDJ, « Application de l’Analyse en Composantes Principales (ACP) pour le diagnostic du fonctionnement de la station d’épuration de Boumerdes », Mémoire de fin d’études en vue de l’obtention du diplôme d’Ingénieur d’Etat en Hydraulique, ENPA 2013.
- [8] C.Gomella, H.Guerrée, « Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales, Edition Eyrolles », 1982.
- [9] W.BOUMALEK, «Etude des indicateurs de performance de la station d’épuration de la ville de Jijel », Projet de fin d’étude en vue de l’obtention du diplôme d’ingénieur d’état en Hydraulique, ENPA, 2014.
- [10] Y.libes, « les eaux usées urbaines et leur épuration ».
- [11] M.Degrement, « Technique de l’eau », Technique et documentation édition, Paris, 1992.

## Bibliographie

- [12] M.DESHAYES, « Guide pour l'établissement des plans d'assurance de la qualité dans le cadre de la réalisation des stations d'épuration de type boues activées en lots séparés », Mémoire de Projet de Fin d'Etudes, INSA Strasbourg, 2008.
- [13] C.Claude, « Les traitements de l'eau (procédés physico-chimique et biologique) », Edition Ellipses, 1999.
- [14] Commission Européenne, « Procédés intensifs d'épuration des eaux usées adaptées aux petites et moyennes collectivités », office nationale des publications officielles des communautés européennes, Office international de l'eau, 2001.
- [15] Memotec n° 24, « L'élimination de la pollution azotée des eaux résiduaires urbaines », révision à date : 01/01/2006.
- [16] T.Meslem, « Elimination de l'azote et du phosphore contenus dans les eaux usées urbaines », document de l'ONA, 2012.
- [17] C.GOMELLA, H. GUERREE, « les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales : 2. Le traitement », Paris, 1978.
- [18] Y.IABBADENE, «Etude des performance épuratoires de la station d'épuration de REGHAÏA (W.ALGER) », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique, 2014.
- [19] F.Ramade, « Dictionnaire encyclopédique des pollutions », Ediscience international Paris, 2000.
- [20] F.REGSEK, « analyse des eaux, aspect réglementaire et techniques », Edition Scrérén CRDPA Quitaine, Bordeaux, 2002.
- [21] J.RODIER, « L'analyse de l'eau », Édition Dunod, Paris, 2005.
- [22] J-L.ROUBATY, J-C. BOEGLIN « Pollution industrielle de l'eau - Caractérisation, classification, mesure », Article publié le 10/01/2007.

## **Bibliographie**

[23] S.BAUMONT, J-P.CAMARD, A.LEFRANC, A.FRANCONI, « Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France », Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France, 2005.

[24] BONTOUX, « Introduction à l'étude des eaux douces : eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson » Edition technique et documentation Lavoisier, 1993.

[25] G.DERONZIER, S.SCHETRITE, Y.RACAULT, J-P.CANLER, A.LZENARD, A.HEDUIT, P.DUCHENE, « Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités », FNDAE n° 25, Document technique.

[26] « Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface », Cadre général Fiche 2, Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement/observatoire des données de l'environnement.

[27] R.SALGHI, « Différentes filières de traitement des eaux », Cours à l'école nationale des sciences appliquées Agadir.

[28] « Les différents types de boues d'épuration et leurs traitements, fiche technique, assainissement, ADEME.

[29] Y.Ait-Amiri, « Etude des indicateurs de performance de la station d'épuration de Baraki », Projet de fin d'étude en vue de l'obtention d'un diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique, ENPA, 2012.

[30] « Water & Health Series: Filtration Facts », United States Environmental Protection Agency, 2007, [http://www.epa.gov/safewater/faq/pdfs/fs\\_healthseries\\_filtration.pdf](http://www.epa.gov/safewater/faq/pdfs/fs_healthseries_filtration.pdf)

[31] N. GHADBANE, « Les eaux usées urbaines », Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de magister, Université Mohamed Boudiaf, Faculté des sciences et des sciences de l'ingénieur.

[32] M. Gérard et plusieurs de ses collègues, Rapport d'information n° 261 fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scient.tech, déposé le 5 avril 2001.

## **Bibliographie**

- [33] M-S-O .BELAHMADI, « étude de la biodégradation du dichlorophénoI par le micro-biote des effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d'Ibn Ziad », Mémoire de Magister en Microbiologie appliquée et biotechnologie microbienne, Université Mentouri, 2004.
- [34] R.LEFKIR, « Utilisation de l'intelligence artificielle pour la modélisation du processus de traitement biologique des eaux usées urbaines : cas de la STEP de BOUMERDES (ALGERIE) », Thèse doctorat en science faculté de chimie, 2016.
- [35] Communauté de Communes du Pays du Clermont « Travaux rue du Donjon », Réunion Publique, 3 avril 2013.
- [36] L.Y.Maystre, D.Bollinger, « Aide à la négociation multicritère, coll "gérer l'environnement" », PPUR, Lausanne, 1999.
- [37] B.Roy, « Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision », Economica, Paris, 1985.
- [38] L.G.Bruce, E.A.Wasil, P.T.Haker, « The Analytic Hierarchy Process: Applications and Studies », Springer-Verlag, New York, 1989.
- [39] T.L.Saaty, « The analytic hierarchy process », 1980.
- [40] L.G.Vargas, T.L.Saaty, « Prediction, projection and forecasting », 1991.
- [41] Site officiel de la wilaya de Jijel : <http://www.jijeldz.org/jijel/>
- [42] A. AIT-ABED, S.CHELIL, «Élaboration d'un Dashboard pour la gestion de la STEP de Boumerdes par l'analyse multicritère », projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique, ENPA, 2014.
- [43] Site de l'ADEME : [www.ademe.fr/partenaires/Boues/Pages/f14.html](http://www.ademe.fr/partenaires/Boues/Pages/f14.html)
- [44] M-N.Duquenne, « Analyse des Données », Document interne / MN Duquenne, Université de Thessalie, Département d'Aménagement D'Urbanisme et Développement Régional, 2011 – 2012.