

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

Département hydraulique



**MEMOIRE MASTER**

En vue de l'obtention du master en hydraulique

**Réalisé par :**

- **AIT ABED Ahcene.**

*Thème :*

**Application du modèle Dashboard sur les  
deux stations d'épuration de Boumerdes et  
Tipaza**

**Encadreur :**

**Mr. A.LEFKIR**

**Docteur (ENTP)**

**Président de jury :**

**Mr. A.BERMAD**

**Professeur (ENP)**

**Examineurs :**

**Mr. A.ALOUACHE**

**M.A.A (ENS KOUBA]**

**Mr. A.BENMOKHTAR**

**M.A.A (ENP)**

Promotion 2015

## ***Remerciements***

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

Je saisis cette occasion pour exprimer 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 notre encadreur le docteur **A.LEFKIR**, qui a accepté de m'encadrer avec patience durant la réalisation de ce travail.

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

J'exprime toute ma gratitude à Monsieur **A.BERMAD** qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.

J'exprime également notre gratitude aux membres du jury, qui m'ont honoré en acceptant de juger ce travail.

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

Que tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, trouvent ici l'expression de ma gratitude.

*Je dédie ce mémoire à :*

*Mes parents*

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

*Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.*

*Mes frères et sœurs Ahmed Mouloud et Soraya, qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de générosité et qui m'ont encouragé tout le long de mon périple.*

*Mon frère et ami Nacer que j'ai trouvé près de moi quand j'en avais le plus besoin et avec qui j'ai partagé les plus beaux moments de ma jeunesse.*

*Ma princesse Meriem, qui m'a toujours soutenu, supporté et encouragé, et qui a toujours été ma source d'inspiration.*

*Mon ami, binôme, camarade, confident et bras droit Samy avec qui j'ai partagé les bancs d'école depuis que j'étais très jeune et avec qui je vais quitter cette formidable école aujourd'hui.*

*Mes amis Yasser, Saleh, Samir et Mohamed avec qui j'ai grandi et avec qui j'ai tant partagé.*

*Ahcene*

## ملخص

محطة معالجة مياه الصرف الصحي هي بالتالي أداة لتحسين نوعية المياه التي تتطلب إدارة دقيقة وصارمة. في الواقع، هناك حاجة الفنيين والعمال المهرة للحصول على عوائد تنقية مرضية وبما يتفق مع معايير التصريف المطلوب. ولكن تطرح مشكلة دائما لمديري محطة معالجة مياه الصرف الصحي هي كيفية تصور تشغيل محطة لمعالجة مياه الصرف الصحي والكشف عن الاضطرابات؟ ثم كيفية مقارنة تشغيل اثنين أو أكثر من محطات معالجة مياه الصرف الصحي؟ في هذا السياق، سوف نركز عملي على الحكم على عمليات محطة معالجة مياه الصرف الصحي هما بومرداس و تيبازة، ثم مقارنة هذين لتحديد المحطة التي تلبى أهداف أكثر من المتوقع.

**الكلمات الرئيسية:** معالجة مياه الصرف الصحي، والتحليل متعدد المعايير، وأساليب التحليل الهرمي، تحليل المكون الرئيسي، وتحسين إدارة محطة لمعالجة مياه الصرف الصحي، ومؤشر الأداء، لوحة القيادة

## Résumé :

Une station d'épuration est 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 des **rendements épuratoires satisfaisants** et compatibles avec les **normes de rejets** exigés, mais un problème est toujours posé aux gérants des STEP, d'abord, comment visualiser le fonctionnement d'une station d'épuration et y détecter les perturbations ?, et ensuite comment comparer le fonctionnement de deux ou plusieurs stations d'épuration ? Dans ce contexte, mon travail s'intéressera à juger les fonctionnements des deux stations d'épuration, celle de Boumerdes et celle de Tipaza, et comparer ensuite ces deux derniers pour déterminer la station qui satisfait le plus les objectifs prévu.

**Mots clé :** Epuration des eaux usées, AHP, ACP, optimisation de la gestion d'une station d'épuration, indicateur de performance, Dashboard.

## Abstract:

A wastewater treatment plant (WWTP) is a tool to improve the quality of water that requires precise and rigorous management. Indeed, technicians and skilled workers are needed to obtain purification yields satisfactory and consistent with the required discharge standards. But a problem is always posed to the managers of STEP, first, how to visualize the operation of a wastewater treatment plant and detect disturbances? And then how to compare the operation of two or more sewage treatment plants? In this context, my work will focus on judging and comparing the operations of two wastewater treatment plants of Boumerdes and Tipaza, to determine the station that meets the most anticipated objectives.

**Key words:** Wastewater treatment, HPA, PCA, optimization of the management of a wastewater treatment plant, performance indicator, Dashboard.

## Sommaire

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale.....1

**CHAPITRE I : Synthèse du projet de fin d'étude**

**I.1.INTRODUCTION .....2**

**I.2 Elaboration du modèle .....3**

**CHAPITRE II : Théories de l'AHP et de l'ACP**

**II.1. L'analyse hiérarchique des procédés (AHP) .....16**

**II.2 Analyse en composantes principales.....19**

**CHAPITRE III : Présentation des stations d'épuration étudiées**

**III.1 La station d'épuration des eaux usées de Tipaza.....21**

**III.2 La station d'épuration des eaux usées de Boumerdes .....23**

**CHAPITRE IV : Application du modèle sur les deux stations d'épuration**

**IV.1 INTRODUCTION.....25**

**IV.2. Rectification .....26**

**IV.3 Application sur la STEP de Tipaza .....27**

**IV.4 Application sur la STEP de Boumerdes .....32**

**IV.5 Tableaux de bord des deux stations.....37**

**IV.6 Conclusion.....41**

**Conclusion générale.....42**

**Bibliographie**

**Annexe**

# Liste des Figures

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure I.01</b>	hiérarchie du modèle	<b>3</b>
<b>Figure I.02</b>	Cercle de corrélation résultant de l'application de l'ACP sur les données brutes.	<b>5</b>
<b>Figure I.03</b>	Cercle de corrélation résultant de l'application de l'ACP sur les rendements épuratoire de la STEP de Boumerdes.	<b>7</b>
<b>Figure I.04</b>	Priorités relatives aux critères (Expert Choice).	<b>8</b>
<b>Figure I.05</b>	Priorités relatives au critère charge polluante admise à la STEP.	<b>9</b>
<b>Figure I.06</b>	Priorités relatives au critère rendement épuratoire	<b>9</b>
<b>Figure I.07</b>	Priorités relatives au critère rejets dans l'environnement	<b>10</b>
<b>Figure I.08</b>	Sous critère Consommation d'énergie	<b>10</b>
<b>Figure I.09</b>	Organigramme du programme Matlab élaboré.	<b>13</b>
<b>Figure I.10</b>	Dashboard de la STEP de Boumerdes.	<b>13</b>
<b>Figure I.11</b>	Nouvelle hiérarchie de travail.	<b>14</b>
<b>Figure III.1</b>	Photo de la STEP par Google earth	<b>20</b>
<b>Figure III.2</b>	STEP de Boumerdes [Google Earth]	<b>22</b>
<b>Figure IV.1</b>	Visualisation du fonctionnement de la STEP de Tipaza par rapport à l'objectif global	<b>26</b>
<b>Figure IV.2</b>	Visualisation de la charge polluante admise à la STEP	<b>27</b>
<b>Figure IV.3</b>	Visualisation du rendement épuratoire	<b>28</b>
<b>Figure IV.4</b>	Visualisation des rejets dans l'environnement	<b>29</b>
<b>Figure IV.5</b>	Visualisation de la consommation énergétique	<b>30</b>
<b>Figure IV.6</b>	Visualisation du fonctionnement de la STEP de Boumerdes par rapport à l'objectif global	<b>31</b>
<b>Figure IV.7</b>	Visualisation de la charge polluante admise à la STEP	<b>32</b>
<b>Figure IV.8</b>	Visualisation du rendement épuratoire	<b>33</b>
<b>Figure IV.9</b>	Visualisation des rejets dans l'environnement	<b>34</b>
<b>Figure IV.10</b>	Visualisation de la consommation énergétique	<b>35</b>
<b>Figure IV.11</b>	Dashboard de la STEP de Tipaza pour l'équité des critères.	<b>36</b>
<b>Figure IV.12</b>	Dashboard de la STEP de Tipaza pour le scénario « avantage du critère rendement épuratoire ».	<b>37</b>
<b>Figure IV.13</b>	Dashboard de la STEP de Tipaza pour le scénario « avantage du critère consommation énergétique ».	<b>37</b>
<b>Figure IV.14</b>	Dashboard de la STEP de Boumerdes pour l'équité des critères.	<b>38</b>
<b>Figure IV.15</b>	Dashboard de la STEP de Boumerdes pour le scénario « avantage du critère rendement épuratoire ».	<b>39</b>
<b>Figure IV.16</b>	Dashboard de la STEP de Boumerdes pour le scénario « consommation énergétique ».	<b>40</b>

# Liste des tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>page</b>
<b>Tableau I.01</b>	Matrice de comparaison entre les critères (niveau 1)	<b>4</b>
<b>Tableau I.02</b>	Matrice de comparaison entre les sous critères charge polluante admise à la STEP (niveau 2)	<b>6</b>
<b>Tableau I.03</b>	Matrice de comparaison pour les sous critères rendement épuratoire	<b>7</b>
<b>Tableau I.04</b>	Matrice de comparaison pour les sous critères rejets dans l'environnement	<b>8</b>
<b>Tableau II.1</b>	Echelle verbale des jugements (Saaty, 1984)	<b>16</b>
<b>Tableau II.2</b>	La matrice <i>B</i> des jugements relatifs pour chaque niveau (Saaty, 1984)	<b>16</b>
<b>Tableau II.3</b>	Les valeurs de l'indice de cohérence selon le nombre d'éléments comparés	<b>18</b>
<b>Tableau III.1</b>	Paramètres de pollution de conception de la station de Tipaza	<b>21</b>
<b>Tableau III.2</b>	Statistiques descriptives des paramètres de pollution de la STEP de Tipaza	<b>21</b>
<b>Tableau III.3</b>	Paramètres de pollution de conception de la station de Boumerdes	<b>23</b>
<b>Tableau III.4</b>	Statistiques descriptives des paramètres de pollution de la STEP Boumerdes	<b>23</b>
<b>Tableau IV.1</b>	Classement des notes par rapport à l'objectif global	<b>25</b>
<b>Tableau IV.2</b>	Classement des notes selon le critère charge polluante admise à la STEP	<b>26</b>
<b>Tableau IV.3</b>	Classement des notes selon le critère rendement épuratoire	<b>27</b>
<b>Tableau IV.4</b>	Classement des notes selon le critère rejets dans l'environnement	<b>28</b>
<b>Tableau IV.5</b>	Classement des notes selon le critère consommation énergétique	<b>39</b>
<b>Tableau IV.6</b>	Classement des notes par rapport à l'objectif global	<b>30</b>
<b>Tableau IV.7</b>	Classement des notes selon le critère charge polluante admise à la STEP	<b>31</b>
<b>Tableau IV.8</b>	Classement des notes selon le critère rendement épuratoire	<b>32</b>
<b>Tableau IV.9</b>	Classement des notes selon le critère rejets dans l'environnement	<b>33</b>

## **Introduction générale**

De nos jours, les eaux usées doivent être épurées avant d'être renvoyées vers les rivières ou la mer, où elles réintègrent le cycle de l'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 station d'épuration est un outil d'amélioration de la qualité de l'eau, et son souci principal est son pilotage, qui doit être le plus rigoureux et précis possible, la gestion optimale d'une station d'épuration et la maîtrise des procédés et étapes de traitement reste un but et un objectif à atteindre afin de protéger au mieux l'environnement et la santé publique.

Pour pouvoir gérer un ensemble de station d'épuration les responsables doivent avoir une vue d'ensemble du fonctionnement de celles-ci et même une comparaison entre elles, pour pouvoir piloter au mieux leur gestion, détecter les perturbations, et de prendre les bonne décisions.

Et c'est pour cela que nous avons choisis d'aborder cette thématique, et d'appliquer un modèle que nous avons déjà élaboré dans le cadre de mon projet de fin d'étude sur deux stations d'épuration des eaux usées, la station de Tipaza et celle de Boumerdes, et avoir par la suite une vision du fonctionnement générale de ces STEP et même spécifique selon des critère de jugement, et par la suite pourvoir effectuer une comparaison entre leurs politiques de gestion.

Nous avons commencé mon travail par une synthèse de mon PFE afin d'avoir une idée sur les étapes de travail du modèle élaboré, nous avons ensuite donné dans le deuxième chapitre des explication résumées sur les théories de l'AHP et de l'ACP qui sont les deux méthodes clés du modèle élaboré, le chapitre 03 vient ensuite donner une présentation des deux stations sur lesquelles mon travail va être effectué, puis le quatrième chapitre donne les principaux résultats et interprétation de mon travail sur les deux station.

Enfin, une conclusion générale, dans laquelle on a fait valoir notre étude de recherche, tout en précisant la méthode suivie et l'objectif principal de cette étude.

# **CHAPITRE I : Synthèse du projet de fin d'étude**

## I.1 Introduction :

Nous savons tous qu'une station d'épuration est un outil d'amélioration de la qualité de l'eau usée, et qui demande un pilotage rigoureux et précis, afin de la gérer avec la manière la plus optimale possible, et atteindre les objectifs prévus.

Et c'est pour cela que les gérants des stations d'épuration ont toujours cherché un moyen de contrôle et de surveillance de celle-ci, mais aussi un moyen d'aide à la décision.

Et c'est dans ce contexte que nous avons élaboré un outil qui répond à cette problématique, cet outil est un Dashboard d'une station d'épuration qui a été établis l'ors de mon PFE pour la station d'épuration de Boumerdes.

Un Dashboard ou « tableau de bord » est un ensemble d'indicateurs et d'information qui permettent d'avoir une vue d'ensemble sur un système donné, de détecter les perturbations, et de prendre les bonnes décisions, afin de parvenir à un objectifs prévu.

Cet objectif dans une station d'épuration peut être :

- Un control et une auto-surveillance de la STEP.
- L'appréciation des eaux usées entrantes à la STEP.
- Jugement des rendements épuratoire.
- Jugement des rejets dans l'environnement.
- Jugement de la consommation énergétique.

C'est donc :

- Un outil de contrôle pendant l'action.
- Un outil de communication entre responsables.
- Un outil d'aide à la décision.
- Un instrument de veille.

Pour atteindre l'objectif de notre travail, nous avons utilisé les possibilités et les avantages qu'offre l'analyse mathématique, en combinant deux méthodes «l'analyse hiérarchiques des procédés (AHP) » et « l'analyse en composantes principales » avec lesquelles on a pu développer un modèle qui nous a permis, avec l'exploitation des résultats obtenus, d'avoir le « **Dashboard de la station en question** » .

Le résultat final de cette combinaison est un classement des différents bilans d'analyses introduit dans le modèle, en passant par la pondération des critères et sous critères de décisions par rapport à un objectif global, je vais ici vous résumer les différentes étapes d'élaboration du Dashboard.

**I.2 Elaboration du modèle**

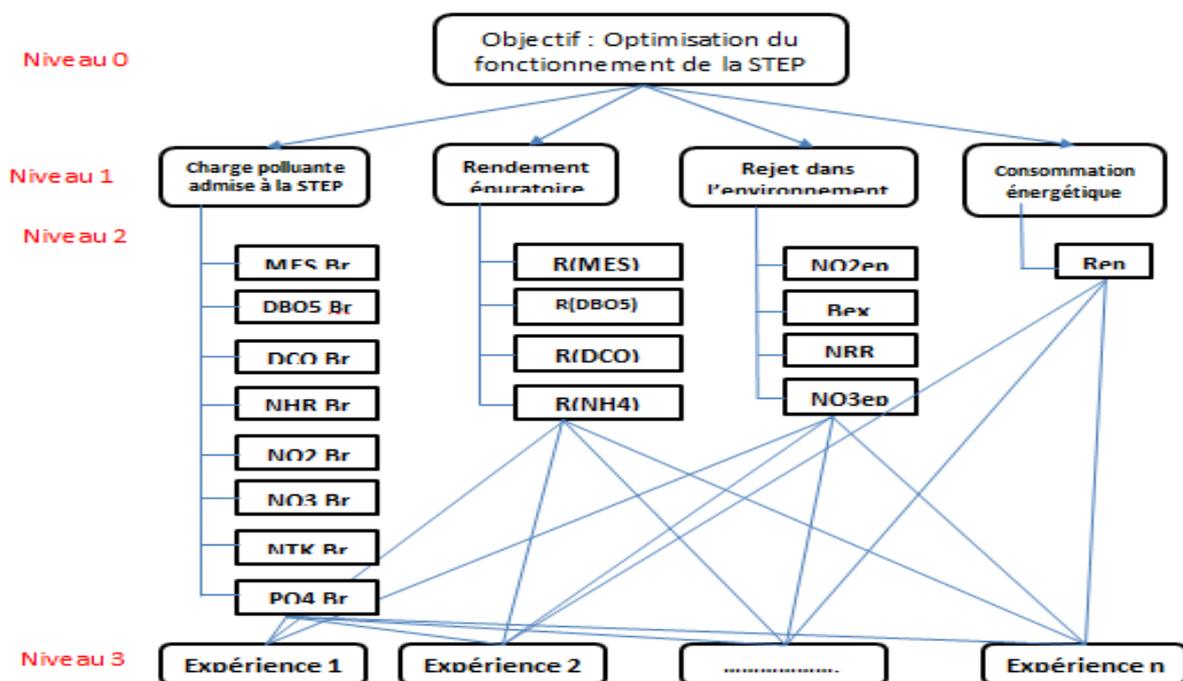
Le procédé d'élaboration de notre modèle a suivi les 5 étapes de la méthode AHP et nous allons voir ici comment nous avons combiné la méthode ACP à cette dernière.

**Etape 01 : Construction de la hiérarchie du modèle.**

Pour ce faire nous avons opté pour une hiérarchie à 4 niveau dont :

- Le niveau 0 : qui contient l'objectif global du modèle (optimisation du fonctionnement de la STEP).
- Le niveau 01 : contenant les 04 critères de jugement par rapport à l'objectif final.
- Le niveau 02 : qui englobe tous les sous critères de jugement par rapport aux critères pères respectifs.
- Le niveau 03 : qui contient les différentes alternatives à classer et à noter, ici les alternatives sont les différentes expériences ou bilans journaliers mesurés dans la STEP.

La figure I.01 suivante illustre la hiérarchie choisie :



**Figure I.01: hiérarchie du modèle**

**Etape 02 : Etablissement des matrices de comparaison par paires pour chaque niveau de la hiérarchie.**

Et on commence par le niveau 1 ou on aura à comparer les critères entre eux, pour notre modèle nous avons dans un premier temps opté pour une équité des critères, et donc une matrice de comparaison unitaire.

**Tableau I.01 : Matrice de comparaison entre les critères (niveau 1)**

	Charge polluante admise à la STEP	Rendement épuratoire	Rejets dans l'environnement	Consommation d'énergie
Charge polluante admise à la STEP	1	1	1	1
Rendement épuratoire	1	1	1	1
Rejets dans l'environnement	1	1	1	1
Consommation d'énergie	1	1	1	1

On passe ensuite à la comparaison par paire toujours, entre les sous critères (niveau 2), et on commence par ceux de la charge polluante admise à la STEP

Le critère charge polluante admise à la STEP est composé de 08 sous critères dont :

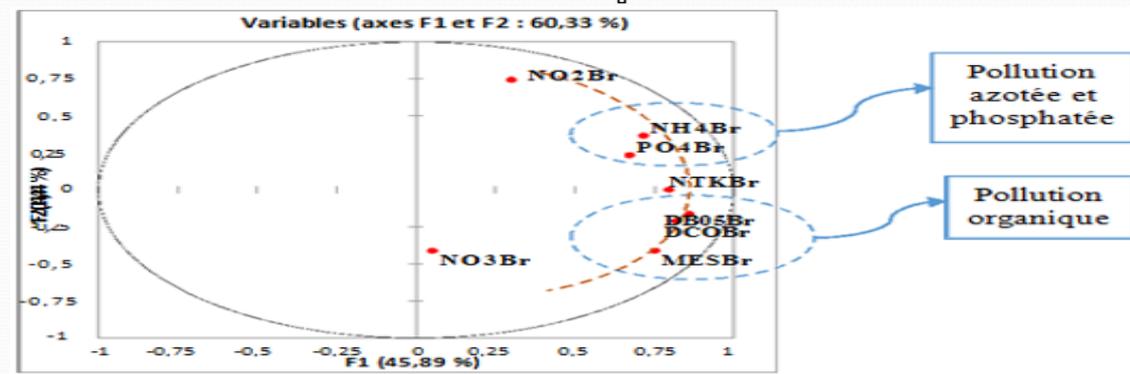
- La quantité de MES admise à la STEP (en mg/l) notée MESBr.
- La quantité de DBO5 admise à la STEP (en mg/l) notée DBO5Br.
- La quantité de DCO admise à la STEP (en mg/l) notée DCOBr.
- La quantité de NTK admise à la STEP (en mg/l) notée NTKBr.
- La quantité de NH4 admise à la STEP (en mg/l) notée NH4Br.
- La quantité de PO4 admise à la STEP (en mg/l) notée PO4Br.
- La quantité de NO3 admise à la STEP (en mg/l) notée NO3Br.
- La quantité de NO2 admise à la STEP (en mg/l) notée NO2Br.

Et pour pouvoir les comparer on doit apprécier l'apport de chacun d'eux dans le phénomène de la pollution de l'eau, un avis d'expert est donc nécessaire pour pouvoir le faire,

Mais ce dernier peut être remplacé par une méthode statistique, dite méthode d'analyse en composantes principale ACP.

Nous avons alors appliqué cette méthode sur les données brutes de la STEP de Boumerdes afin et nous avons obtenu le degré de participation de chaque 'un des éléments cités dans le paragraphe précédent dans le phénomène,

Le résultat final d'application de l'ACP sur les données brutes de la STEP de Boumerdes est le cercle de corrélation (Figure I.02) formé par les axes principaux (1 et 2),



**Figure I.02 : Cercle de corrélation résultant de l'application de l'ACP sur les données brutes.**

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

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

L'attribution des notes de Saaty lors de la comparaison par paire entre ces paramètres sera donc faite selon la distance de chaque élément par rapport à l'arc fictif (les paramètres le plus proche de l'arc fictive seront respectivement les mieux notés).

La Figure suivante désigne le cercle de corrélation résultant de l'application de l'ACP sur les données brutes de la STEP de Boumerdes.

On aura donc la matrice de comparaison des sous critère appartenant au critère charge polluante admise à la STEP suivante :

**Tableau I.02: Matrice de comparaison entre les sous critères charge polluante admise à la STEP (niveau 2)**

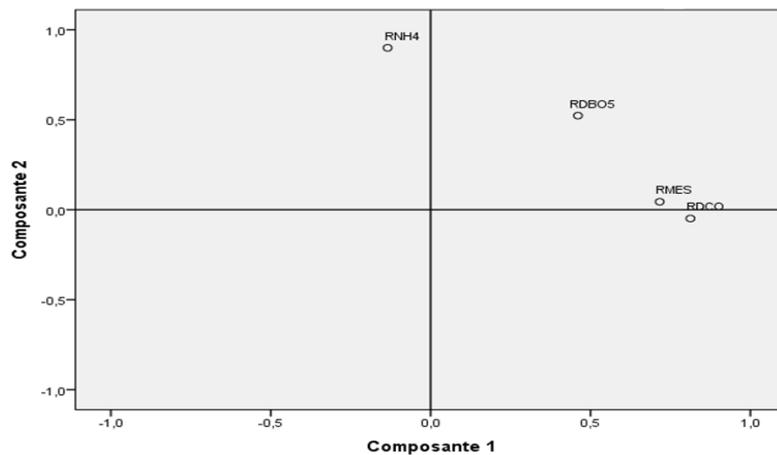
	MESBr	DBO5Br	DCOBr	NH4Br	NO2Br	NO3Br	NTKBr	PO4Br
MESBr	1	1	1	3	5	9	3	7
DBO5Br	1	1	1	3	5	9	3	7
DCOBr	1	1	1	3	5	9	3	7
NH4Br	1/3	1/3	1/3	1	3	7	1	5
NO2Br	1/5	1/5	1/5	1/3	1	7	1/3	5
NO3Br	1/9	1/9	1/9	1/7	1/7	1	1/9	1/5
NTKBr	1/3	1/3	1/3	1	3	9	1	7
PO4Br	1/7	1/7	1/7	1/5	1/5	5	1/7	1

Pour les sous critères du critère père rendement épuratoire est composé de 04 sous critères qui sont les rapports d'élimination de la pollution et dont on distingue :

- Le rapport d'élimination des « MES ».
- Le rapport d'élimination de la « DBO5».
- Le rapport d'élimination de la « DCO».
- Le rapport d'élimination de « NH4».

On a aussi fait appel à l'analyse en composantes principales pour établir la matrice de jugement

Le résultat obtenu est le cercle de corrélation (Figure I.03)



**Figure I.03 : Cercle de corrélation résultant de l'application de l'ACP sur les rendements épuratoire de la STEP de Boumerdes.**

D'après cette figure on remarque, un rapprochement du rapport R(MES) et celui de R(DCO), alors que le R(DBO5) en est éloigné, et le R(NH4) l'encore plus. Comme le R(MES), est le rapport caractérisant l'élimination de la pollution, les jugements porté sur la matrice de comparaison entre ces rapports seront établis selon que les paramètres sont proches ou loin du rapport R(MES) dans le cercle de corrélation, et les notes seront attribuées graduellement selon la distance et suivant l'échelle Saaty.

On aura donc la matrice de jugement par paire

**Tableau I.03 : Matrice de comparaison pour les sous critères rendement épuratoire**

	RMES	RDCO	RDBO5	RNH4
RMES	1	3	7	9
RDCO	1/3	1	5	7
RDBO5	1/7	1/5	1	3
RNH4	1/9	1/7	1/3	1

Pour le critère rejets dans l'environnement Nous avons opté pour une équité des sous critères, vu leur importances égale dans l'objectifs de la STEP mais aussi pour leur indépendances.

**Tableau I.04: Matrice de comparaison pour les sous critères rejets dans l'environnement**

	NO2ep	Bex	Nombre de rendement respectés	NO3ep
NO2ep	1	1	1	1
Bex	1	1	1	1
Nombre de rendement respectés	1	1	1	1
NO3ep	1	1	1	1

Pour les comparaisons entres les expériences (niveau 3) par rapport à chaque sous critères l'attribution des notations de l'échelle de Saaty a été effectués selon des intervalles bien définis, et vu l'importance et la complexité de pouvoir les faire pour de nombreuse expériences manuellement, un programme sous Matlab a été élaboré pour le réaliser.

**Etape 03 : Détermination les priorités relatives pour les niveaux 1 et 2 de la hiérarchie.**

Pour ce faire on a du se référé au logiciel « Expertchoice » qui nous permet par la simple introduction des matrices de comparaison d'avoir un classement des éléments et cela pour chaque niveau de la hiérarchie.

**- Priorités du Niveau 1**

Pour ce niveau de la hiérarchie, les priorités relatives des critères **Charge polluante admise à la STEP, Rendement épuratoire, Rejets dans l'environnement** et **Consommation d'énergie** sont égales et valent **0.25** ce qui est considéré comme logique puisqu'on leur a donné le même poids.



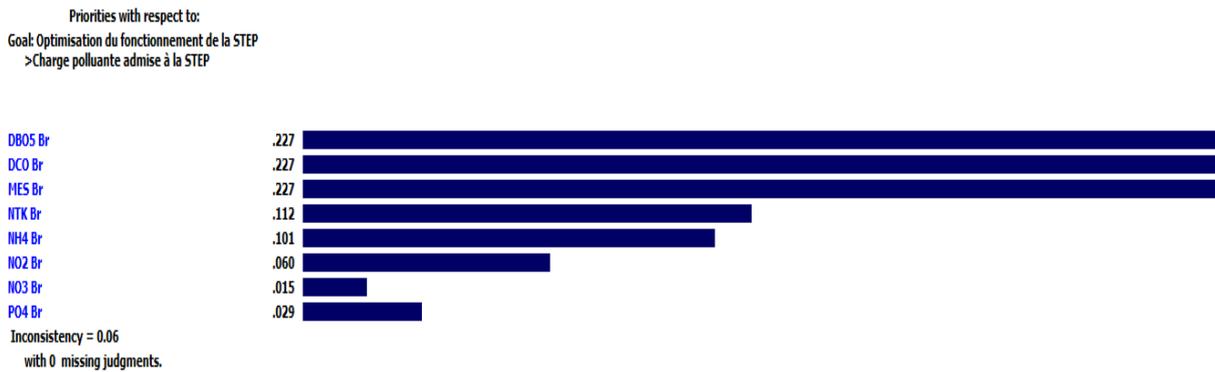
**Figure I.04 : Priorités relatives aux critères (Expert Choice).**

D'après le logiciel, le ratio de cohérence est égal à **0.08**. Il est strictement inférieur à la limite supérieure qui est de 0,1. Les jugements sont donc considérés comme cohérents.

- **Priorités du Niveau 2**

**Sous critères Charge polluante admise à la STEP**

Les vecteurs de priorités obtenus à l'issu des comparaisons par paires des sous-critères par rapport au critère **charge polluante admise à la STEP** sont illustrés dans la figure ci-dessous :



**Figure I.05 : Priorités relatives au critère charge polluante admise à la STEP.**

D'après cette figure, nous constatons que la **DBO5 Br**, la **DCO Br** et les **MES Br** sont les sous-critères les plus importants avec une priorité partagée et égale à **0.277** suivi des sous-critères **NTKBr** et **NH4Br** avec des priorités respectivement égales à **0.112** et **0.101**. Ensuite, viennent ceux qui ont une influence moindre sur le critère père, Il s'agit des sous-critères **NO2Br**, **NO3Br** et **PO4Br**.

Le ratio de cohérence est égal à **0.06**, ce qui est strictement inférieur à la limite supérieure 0,1. Les jugements sont donc considérés comme cohérents.

**Sous critères Rendement épuratoire**

Les vecteurs de priorités obtenus à l'issu des comparaisons par paires des sous-critères par rapport au critère **rendement épuratoire** sont illustrés dans la figure ci-dessous :



**Figure I.06 : Priorités relatives au critère rendement épuratoire.**

D'après celle-ci, nous constatons que **R(MES)** est le sous-critère les plus important avec une priorité de **0.583** suivi du sous-critère **R(DBO5)** avec une priorité égale à **0.29**. Viennent ensuite ceux qui ont une influence moindre sur le critère père, à savoir **R(DCO)** et **R(NH4)**.

Le ratio de cohérence est égal à **0.06**, ce qui est strictement inférieur à la limite supérieure 0,1. Les jugements sont donc considérés comme cohérents.

### Sous critères Rejets dans l'environnement

Les vecteurs de priorités obtenus à l'issu des comparaisons par paires des sous-critères par rapport au critère **rejets dans l'environnement** sont illustrés dans la figure ci-dessous :

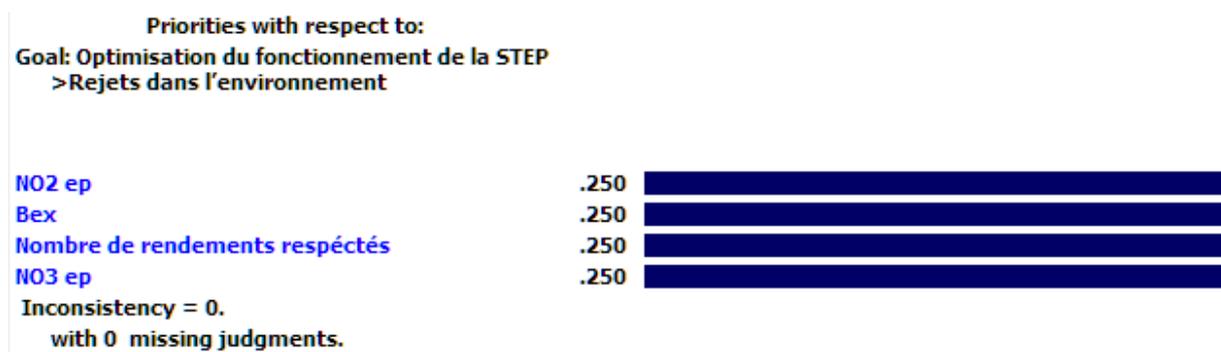


Figure I.07 : Priorités relatives au critère rejets dans l'environnement.

D'après la celle-ci, nous remarquons que les sous-critères **NO2ep**, **Bex**, **Nombre de rendements respectés** et **NO3ep** ont la même priorité du fait qu'on leur a accordé le même poids au départ vu qu'ils ont une importance égale.

Le ratio de cohérence est donc égal à **0** ce qui est strictement inférieur à la limite supérieure 0,1. Les jugements sont donc considérés comme cohérents.

### Sous critère Consommation d'énergie

On ne pourra pas faire de comparaisons par paires dans ce cas vu qu'on a un seul sous critère **Ren** (Rendement énergétique), on se contentera donc de faire rentrer la matrice des alternatives (expériences) associée.

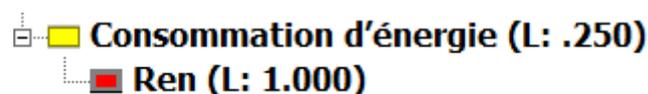


Figure I.08 : Sous critère Consommation d'énergie.

### Etape 04 :

Le calcul des indices de cohérence de toutes les matrices et qu'on a trouvés toujours inférieur à 0.1, ce qui démontre la cohérence dans nos choix.

**Etape 05 :**

Enfin vient l'étape 5 qui consiste à déterminer les notes relatives des expériences sur lesquelles on a appliqué notre modèle par rapport à l'objectif final.

Cette étape consiste à établir un vecteur de notation des alternatives (expériences) par rapport aux sous critères de chaque critère (charge polluante admise à la STEP, rendement épuratoire, rejets dans l'environnement, consommation d'énergie).

Nous devons d'abord élaborer les matrices de comparaison des alternatives par rapport à tous les sous critères,

Pour chaque sous critère nous allons définir une sous échelle d'attribution des notes de l'échelle de Saaty, et que nous avons définis :

- **Pour les sous critères du critère charge polluante admise**

Pour tous les sous critères charge polluante admise à la STEP les comparaisons par paires seront faite selon l'importance de la différence entre les deux quantités du paramètre considéré arrivants à la station, les différences calculées seront notées respectivement « **diff-MES, diff-DBO5, diff-DCO, diff-NH4, diff-NO3, diff-NO2, diff-PO4** », et les notes de l'échelle de Saaty seront données selon l'intervalle auquel elles appartiennent, comme résumé dans **le tableau A.1** donné en annexe .

- **Pour les sous critères R(MES), R(DBO5), R(DCO), R(NH4)**

Pour les rapports d'élimination les notes qu'on donnera seront selon le respect de la norme de rejets dans les deux expériences comparées, pour cela on va comparer les deux rendements par rapport à leur distance du rendement selon la norme, sachant que ce dernier est égal à:

Rendement selon la norme d'un paramètre [%] =  $1 - \frac{\text{ce que doit être la concentration du paramètre dans l'eau épurée selon la norme de rejets [mg/l]}}{\text{concentration du paramètre dans l'eau brute [mg/l]}}$ .

Les deux rendements à comparer seront respectivement notés **R1 et R2**, et ceux selon la norme seront respectivement notés **R1n et R2n**.

Pour l'élaboration d'une échelle de notation on aura pour chaque deux rendements identiques quatre cas possibles, et les notations sont données selon l'intervalle auquel appartient les variable calculées (XR1, XR2, YR1, YR2) pour les quatre cas, elles sont résumés dans **le tableau A.2** donné en annexe.

- **Pour le sous critère Bex**

Pour le sous critère boue en excès la comparaison sera faite selon que les expériences à prendre en considération ont respecté la limite de rejets (fixé à 300 m<sup>3</sup> pour la STEP de Boumerdes) ou pas. Pour l'élaboration d'une échelle de notation on aura pour chaque deux

valeurs de boues (notées **Bex1 et Bex2**) mesurées quatre cas possibles, et les notations sont données selon l'intervalle auquel appartient les variable calculées (XB1, XB2, YB1, YB2) comme résumé dans **le tableau A.3** donné en annexe.

- **pour le sous critère NO3ep**

Pour ce sous critères on compare les expériences par paire et on donnera les notations selon le degré du respect de chacune d'elles de la norme de rejet (qui est pour le NO3 de 2mg/l) par rapport à l'autre et les notes sont données selon l'intervalle auquel appartient les variable calculées (XN1, XN2, YN1, YN2) pour les quatre cas, elles sont résumés dans **le tableau A.4** donné en annexe, (les deux mesures de NO3ep sont respectivement notées **NO3ep\_1 et NO3pe\_2**).

- **Pour le sous critère NO2ep**

Pour ce sous critères on compare les expériences par paire et on donnera les notations selon le degré du respect de chacune d'elles de la norme de rejet (qui est pour le NO2 de 1mg/l) par rapport à l'autre et les notations sont données selon l'intervalle auquel appartient les variable calculées (XN1, XN2, YN1, YN2) pour les quatre cas, elles sont résumés dans **le tableau A.5** donné en annexe, (les deux mesures de NO3ep sont respectivement notées **NO2ep\_1 et NO2pe\_2**).

- **pour le sous critère nombre de rendement respectés :**

On compare dans ce cas les nombres de rendement respectés, c'est-à-dire qui ont satisfait la norme, et donc ceux qui sont supérieur à ceux selon la norme qu'on a déjà donnée précédemment pour les deux expériences. Les notes de l'échelle de Saaty sont alors données selon la différence entre les deux nombres, elles sont résumées dans **le tableau A.6** donné en annexe, (les deux nombres de rendements respectés sont respectivement notés **NBRR1 et NBRR2**).

- **pour le critère rendement énergétique :**

Pour ce sous critère, la comparaison sera faite selon que les expériences à prendre en considération ont respecté la limite du rendement énergétique exigé dans la station (fixé à 0.6 m<sup>3</sup> pour la STEP de Boumerdes) ou pas, Pour l'élaboration d'une échelle de notation on aura pour chaque deux rendements quatre cas possibles, et les notations sont données selon l'intervalle auquel appartient les variable calculées (XE1, XE2, YE1, YE2) pour les quatre cas, elles sont résumés dans **le tableau A.7** donné en annexe, (les deux rendements énergétiques comparés sont respectivement notés **Ren1 et Ren2**)

Comparer les différentes expériences (bilans journaliers) par rapport à tous les sous critères et selon les échelles déjà établis précédemment, est une tâche complexe à réaliser manuellement, nous avons alors élaboré un programme sous **Matlab**, qui nous permet avec la simple introduction du tableau contenant les différentes mesures d'avoir les matrices de comparaison pour tous les sous critères, et aussi les notes relatives de celles-ci, selon chaque sous critère , critère, et enfin l'objectif final.

Le programme fonctionne selon l'organigramme suivant :

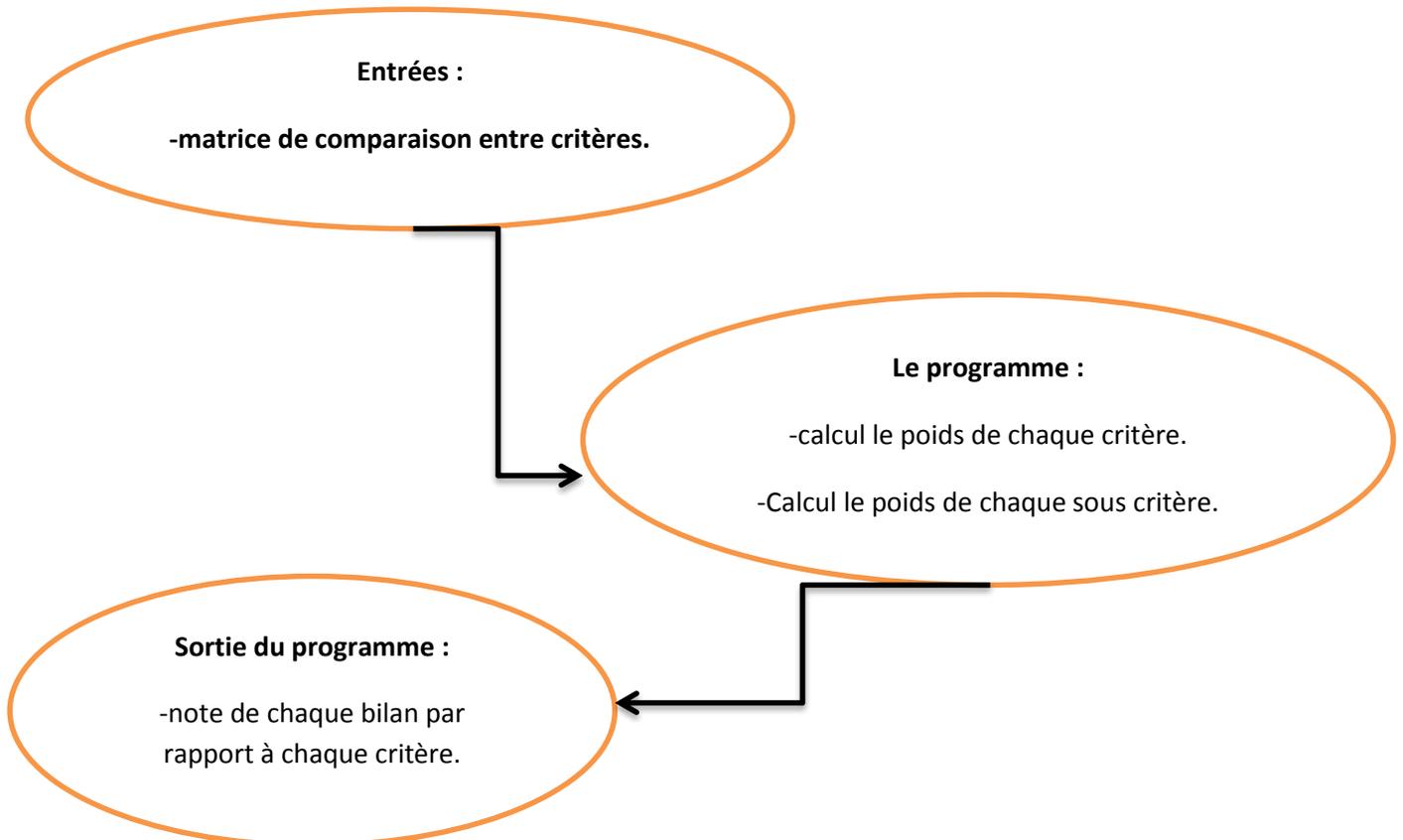


Figure I.09 : Organigramme du programme Matlab élaboré.

Nous avons fait une application sur quatre expériences choisies au hasard, et nous avons obtenus le Dashboard suivant :

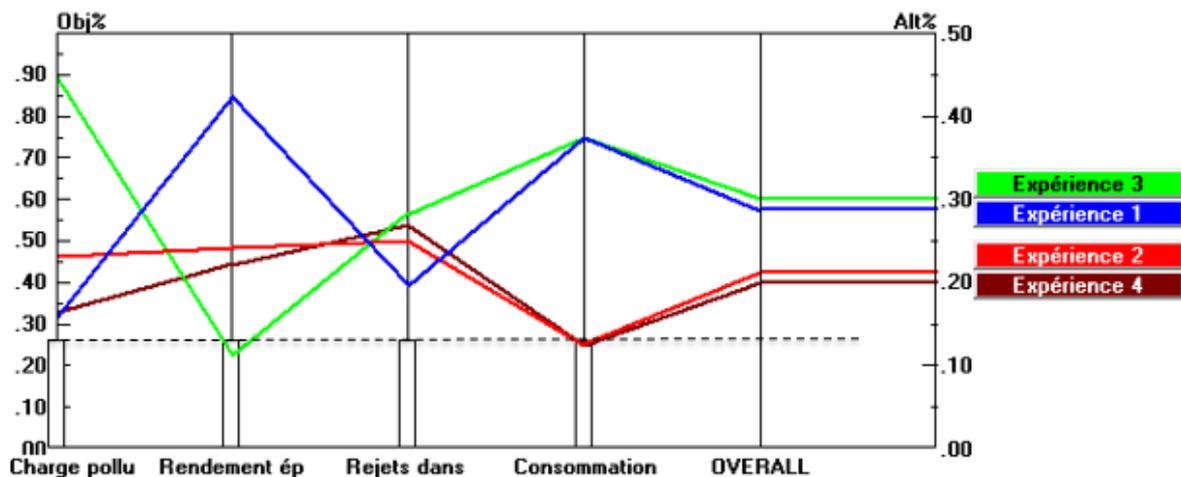


Figure I.10 : Dashboard de la STEP de Bouterdes.

La figure 10 montre le classement des expériences auxquelles on a appliqué le modèle élaboré, par rapport à l'objectif global (à droite) et par rapport à chaque critère par les courbes colorées pour chaque expérience ainsi que les différentes notes par l'axe vertical (Alt%), et à

gauche sur l'axe (Obj%) on a l'échelle de pondération des critères, celle-ci est représentée par les histogrammes (pour l'application réalisée, la valeur est à 0.25 pour tous les critères vu qu'on a opté pour une équité de ceux-ci).

## **CHAPITRE II : Théories de l'AHP et de l'ACP**

## Introduction

Le modèle élaboré est le fruit de la combinaison de deux méthodes, l'analyse hiérarchique des procédés (AHP), qui nous a permis d'effectuer une analyse multicritères de notre problème, et l'analyse en composante principale (ACP) qui a aidée à apporter les jugements nécessaire au procédé de l'AHP.

### II.1 L'analyse hiérarchique des procédés (AHP) :

L'AHP est une méthode multicritère d'aide à la décision qui considère plusieurs critères afin de prendre la meilleur décision, elle a été créé en 1970 par Thomas Saaty, et elle est utilisée pour prendre des décisions complexes qui reposent sur plusieurs critères, car elle facilite l'analyse des solutions en les structurant de façon hiérarchique selon les critères choisis.

L'AHP passe par 5 grandes étapes :

**Etape 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.

**Etape 2 : Comparaison par paire des éléments :** Une fois la pyramide construite, l'homme qui fait l'étude doit émettre des priorités pour chaque élément inscrit dans chaque niveau de la pyramide afin d'en déterminer l'importance.

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 (1-9) est adoptée.

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 T.L., 1984]

Tableau II.1 : Echelle verbale des jugements (Saaty, 1984)

Valeur numérique	Définition	Description
1	Egalement important (aucune préférence)	Les deux critères contribuent autant au niveau supérieur.
3	Légèrement plus important	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent légèrement un élément par rapport à un autre.
5	Fortement plus important	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent fortement un critère par rapport à un autre.
7	Très fortement plus important	Un critère est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique.
9	Absolument plus important (une préférence absolue)	Les preuves favorisant un critère par rapport à un autre sont aussi convaincantes que possible.
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines	Un compromis est nécessaire entre deux appréciations.
Valeurs inverses	Utilisées pour montrer la dominance du second élément par rapport au premier.	Si $x$ est la valeur du jugement quand $C_i$ est comparé à $C_j$ , alors $1/x$ est la valeur de jugement quand $C_j$ est comparé à $C_i$

Le Tableau 1 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. Le nombre de matrices dépend du nombre d'éléments présents à chaque niveau. Le rang de la matrice de chaque niveau dépend du nombre d'éléments présents au niveau inférieur.

Pour chaque on note la matrice carrée des jugements  $B = [b_{jl}]_{m \times m}$  où  $m$  est le nombre d'éléments à comparer.  $b_{jl}$  : le coefficient d'importance relative de l'élément  $C_j$  par rapport à l'élément  $C_l$ . Le tableau 2 présente la matrice carrée des jugements.

Tableau II.2 : La matrice  $B$  des jugements relatifs pour chaque niveau (Saaty, 1984)

Elements	$C_1$	$C_2$	....	$C_m$
$C_1$	1	$b_{12}$		$b_{1m}$
$C_2$	$1/b_{12}$	1		$b_{2m}$
.....			1	
$C_m$	$1/b_{1m}$	$1/b_{2m}$		1

**Etape 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  $M = B$  pour le niveau (1) et  $M = Dj$  pour le niveau (2)), 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 (les poids des critères si on se situe au niveau (1)  $V = W$  ou les poids des actions si on est au niveau (2)  $V = \psi$ ). [Saaty T.L., 1984]

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. Puis, en résolvant le système  $B V = \lambda_{max} I V$  pour le niveau (1) et  $DjV = \lambda_{max} I V$  pour le niveau (2), 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 des jugements 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 correspondant à un critère du niveau inférieur définit le poids de ce critère relativement au critère du niveau supérieur. [Saaty T.L., 1984]

**Etape 4 : Évaluer la cohérence des jugements :** La cohérence des résultats doit également être vérifiée. Pour chacune des matrices de jugement  $B$  et  $Dj$ , on peut calculer un indice de cohérence. Pour une matrice donnée, on retient sa valeur propre maximale  $\lambda_{max}$ . L'indice de cohérence  $CI$  d'une matrice  $m \times m$  est :

$$CI = \frac{\lambda_{max} - m}{m - 1} \quad (1) \quad l : \text{nombre d'éléments comparés}$$

Le ratio de cohérence est ensuite calculé en utilisant la formule :  $CR = \frac{CI}{RI}$  (2)

Où  $RI$  est l'indice de cohérence obtenu par un grand nombre de simulations et dont les valeurs sont données dans le tableau suivant :

**Tableau II.3: Les valeurs de l'indice de cohérence selon le nombre d'éléments comparés**

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

En calculant ce ratio, on peut vérifier la cohérence des valeurs de la matrice de jugement. Il fournit une mesure de la probabilité que la matrice a été complétée purement au hasard. [Saaty T.L., 1984, traduit par Dahan L., "Décider face à la complexité : une approche analytique multicritère d'aide à la décision", Paris]

**Etape 5: Synthétiser les priorités :** Une fois que les priorités locales, pour tous les critères figurant dans la hiérarchie, ont été déterminées, AHP calcule un score d'évaluation globale attaché à chacune des alternatives identifiées.

Le classement des actions peut être établi en calculant la moyenne pondérée (par les poids des critères) des notes attribuées aux actions. On note pour une action  $ai$  son poids global  $\varphi_i$ .

Il est calculé par l'équation suivante :

$$\varphi_i = \sum_{j=1}^m \psi_{ij} x w_j \quad (3)$$

Le classement des actions est obtenu en rangeant les valeurs des poids globaux par ordre décroissant. [Saaty T.L., 1984]

## II.2 Analyse en composantes principales

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) fait partie du groupe de méthodes descriptives multidimensionnelles appelées méthodes factorielles.

Elle propose à partir d'un tableau rectangulaire de données comportant les valeurs de  $m$  variables quantitatives pour  $p$  unités (appelées aussi individus), des représentations géométriques de ces unités et de ces variables. Ces données peuvent être issues d'une procédure d'échantillonnage ou bien de l'observation d'une population entière. Les représentations des unités permettent de voir s'il existe une structure non connue a priori, sur cet ensemble d'unités de façon analogue, les représentations des variables permettent d'étudier les structures de liaisons linéaires sur l'ensemble des variables considérées. Ainsi on cherchera si l'on peut distinguer des groupes dans l'ensemble des unités en regardant quelles sont les unités qui se ressemblent, celles qui se distinguent des autres. Pour les variables, on cherchera quelles sont celles qui sont très corrélées entre elles, celles qui au contraire ne sont pas corrélées aux autres. [Arnaud MARTIN, 2004]

**Procédé d'application de l'ACP**

- 1- Formation de la matrice des données brutes [X] (composé par le croisement de N individus x P variables).
- 2- Calcul des paramètres statistiques :(moyenne, écart type).
- 3- Calcul des variables centrées réduites :  $X_{CR} = \frac{X - \bar{X}}{\sigma}$
- 4- Calcul des coefficients de corrélation :

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

- 5- Calcul des valeurs propres et des vecteurs propres de la matrice de corrélation obtenue.
- 6- Calcul des composantes principale, avec :  
CP = matrice des variables centrées réduites (NxP) x matrice des vecteurs propres (NxN).
- 7- Calcul des composantes principales centrées réduites.

$$CP' (i,j) = \frac{CP(i,j)}{\sqrt{Vp(j)}}$$

Avec  $Vp(j)$  : la valeur propre correspondant à l'individu j.

- 8- Calcul de la matrice de corrélation entre CP' et  $X_{CR}$  (cor (CP',  $X_{CR}$ )).
- 9- Tracé des cercles de corrélation.

## **CHAPITRE III : Présentation des stations d'épuration étudiées**

### III.1 La station d'épuration des eaux usées de Tipaza :

La station d'épuration des eaux usées de la ville de Tipaza se situe dans la région de Chenoua, de la Wilaya de Tipaza, à environ 70 kilomètres à l'ouest de la wilaya d'Alger.

Elle est mise en service en janvier 2008, et elle a pour missions de collecter et d'épurer les eaux usées domestiques des communes de Tipaza et de Nador.

Et il est à noter que depuis 2008, la station d'épuration de Tipaza est certifiée ISO 14001 /2004.



Figure III.1 : Photo de la STEP par Google earth

### Caractéristiques Techniques

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

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

#### > Charge hydraulique :

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

Débit moyen rejeté ..... 11200 m<sup>3</sup>/j

Débit moyen horaires ..... 467 m<sup>3</sup>/h

Débit de pointe au temps sec ..... 803 m<sup>3</sup>/h

#### > Charges polluantes :

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

**Tableau III.1 : Paramètres de pollution de conception de la station de Tipaza**

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

### Description statistique de la série de donnée de la station de Tipaza (station de Chenoua)

Les données recueillies de la station d'épuration de Tipaza sont les différentes mesures du laboratoire de la station depuis sa mise en service, la taille de l'échantillon diffère selon les paramètres mesurés vu que ceux-ci ne sont pas mesurés tous ensemble dans les mêmes journées, car les bilans effectués dans le laboratoire sont différents.

Il est à noter que le nombre de journées dans lesquelles on a mesuré tous les paramètres de pollution dont nous aurons besoin pour l'application de notre modèle est de 46.

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

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

### III.2 La station d'épuration des eaux usées de Boumerdes :

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

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

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



Figure III.2: STEP de Boumerdes [Google Earth]

#### Caractéristiques Techniques

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

L'eau à traiter possède les caractéristiques suivantes :

- Volume journalier ..... 15000 m<sup>3</sup>/j
- Débit moyen 24 h ..... 625 m<sup>3</sup>/h
- Débit de pointe temps sec ..... 1063 m<sup>3</sup>/h
- Débit de pointe temps de pluie ..... 1944 m<sup>3</sup>/h

#### Paramètres de pollution de conception

La station d'épuration a été conçue pour épurer les eaux usées et les rejeter selon les caractéristiques suivantes :

**Tableau III.3 : Paramètres de pollution de conception de la station de Boumerdes**

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

**Description statistique de la série de donnée de la station de Boumerdes**

Pour de ce travail nous avons utilisé une série de données journalières des paramètres de pollution à l'entrée et à la sortie de la STEP de Boumerdes, contenant des valeurs de janvier 2006 à décembre 2013.

Les caractéristiques statistiques des différents paramètres mesurés à cette station sont données dans le tableau III.4.

Il est à noter que le nombre de journées dans lesquelles on a mesuré tous les paramètres de pollution dont nous aurons besoin pour l'application de notre modèle est de 221.

**Tableau III.4 : Statistiques descriptives des paramètres de pollution de la STEP Boumerdes**

	Unité	Paramètres Brutes					Paramètres Epurées				
		N	Min	Max	Moyenne	Ecart type	N	Min	Max	Moyenne	Ecart type
PH		1898	3,31	8,02	7,32	0,17	1894	6,39	7,96	7,29	0,16
T	°C	1897	7,55	35,93	20,53	3,97	1893	9,40	29,90	20,45	4,16
MES	mg/l	1861	40	2400	239,51	144,49	1865	1,00	100	13,85	7,31
DBO5	mg/l	387	20	2500	244,96	170,62	411	1,00	55	10,80	8,46
DCO	mg/l	395	110	3264	484,99	280,33	424	1,00	164	46,06	24,69
NH4	mg/l	328	0,80	126,54	32,77	19,74	320	0,00	60,10	6,02	8,90
NO2	mg/l	386	0	2,50	0,22	0,26	384	0,00	9,40	0,49	0,98
NO3	mg/l	380	0	145,00	4,42	10,06	380	0,00	1529,15	41,30	172,96
NTK	mg/l	364	8,12	218,96	50,18	22,80	364	0,05	644	16,54	35,24
PO4	mg/l	386	0,35	64,44	7,07	5,50	386	0,13	22,40	3,26	2,58
Débit	m <sup>3</sup> /j	2705	0,00	20601	10247,63	4075,65	/	/	/	/	/
Energie	Kwh	2751	11	4985	3535,81	831,36	/	/	/	/	/
BR	m <sup>3</sup> /j	1795	3390	27170	17260	4288,85	/	/	/	/	/
Bex	m <sup>3</sup> /j	1631	2,09	936,43	336,18	224,14	/	/	/	/	/

**CHAPITRE IV : Application du modèle sur les  
deux stations d'épuration.**

### IV.1 Introduction

Il s'agit d'appliquer le modèle élaboré sur les données mesurées dans la STEP de Boumerdes et de Tipaza, et avoir un classement et des notations de tous les bilans de mesures de chaque STEP.

Pour ce faire nous introduisons le tableau des différents bilans mesurés au niveau de chaque station dans le modèle élaboré, ce dernier nous donnera les résultats souhaité, avec lesquels nous aurons le tableau de bord de chaque station, et même un jugement du fonctionnement de chaque STEP, selon chaque critère et selon l'objectif final, on pourra par la suite effectuer une comparaison entre les fonctionnements des deux stations.

Le travail sera effectué sous le programme Matlab que nous avons élaboré, vu l'importance et la complexité des différentes comparaisons à faire selon chaque sous critère, puis chaque critère, et pour l'objectif final, les résultats finaux du programme sont les notes respectives de chaque bilan de la STEP qu'on va exploiter par la suite.

### IV.2 Rectification

Pour le jugement des rejets dans l'environnement nous avons apporté une petite correction dans la hiérarchie en dessous du critère « rejets dans l'environnement » ou nous avons supprimé les sous critères « NO<sub>2</sub>ep » et « NO<sub>3</sub>ep » et nous les avons intégré avec le sous critère « nombre de rendement respectés » qui devient alors « **respects des normes de rejets** » ce dernier considèrera le nombre de rendement selon la norme respectés ainsi que le respect ou non des normes de rejets de NO<sub>2</sub> et NO<sub>3</sub>.

Un autre changement dans la hiérarchie de travail est la suppression du paramètre NTKBr des sous critères de la charge polluante admise à la STEP, car ce dernier ne figure pas dans la série de données mesurées dans la STEP de Tipaza

La nouvelle hiérarchie est donnée dans la figure I.11 suivante, et il est a noté que le nouveau sous critère « **respects des normes de rejets** », ainsi que le sous critère « Bex » auront le même poids de **0.5** par rapport au critère rejets dans l'environnement.

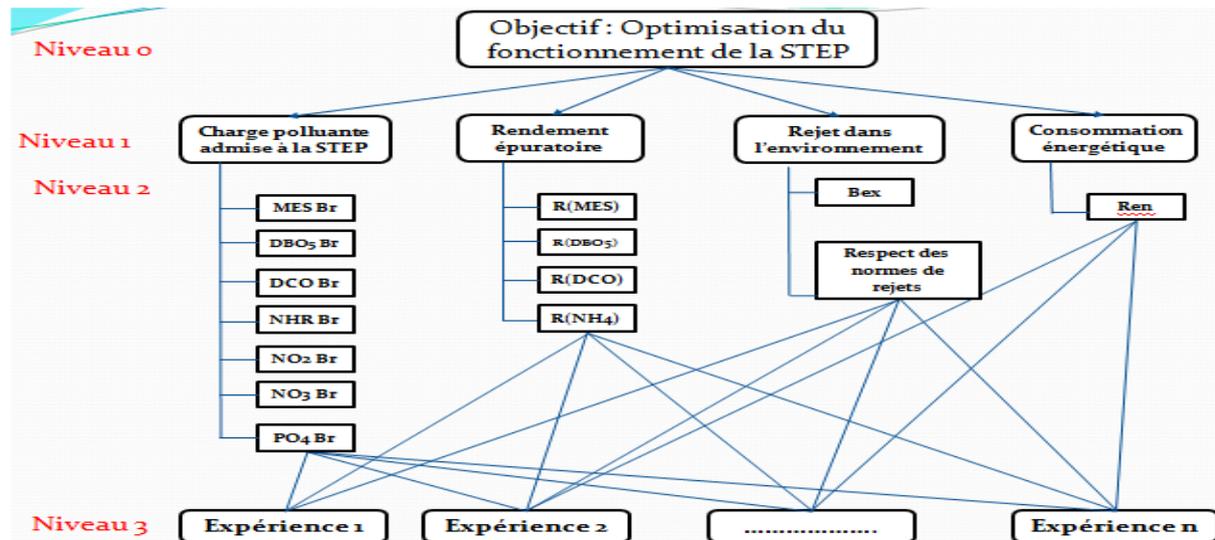


Figure I.11 : Nouvelle hiérarchie de travail.

### Possibilité d'exploitation

Afin d'exploiter les résultats du modèle, nous allons définir des indicateurs de performance pour chaque station selon chaque critère de jugement puis selon l'objectif final,

Cet indicateur est défini comme étant une note de référence par rapport à laquelle seront jugées les autres notes des bilans mesurés.

Pour ce faire les notes des bilans obtenus sont d'abord ordonnées dans des classes d'intervalles, on calcul ensuite les fréquences absolues de chaque classe, l'indicateur de performance sera alors le centre de la classe de notes la plus fréquente.

Après avoir déterminé la valeur de cet indicateur, toutes les expériences ayant obtenu une note supérieure à sa valeur sont considérées comme bonnes, celles qui obtiennent une note inférieure sont considérées comme mauvaises.

Les classes sont déterminées selon les étapes suivantes :

- 1- On détermine la donnée la plus grande et la donnée la plus petite et on détermine l'amplitude de notre échantillon.
- 2- On divise cette amplitude en un nombre convenable d'intervalles de même grandeur. Le nombre d'intervalles se situe entre 5 et 20 selon les cas. On utilise souvent la formule suivante :

$$k = 1 + \frac{10 * \log N}{3}$$

Règle de Sturges

Où k=nombre d'intervalles et N=grandeur ou taille de l'échantillon.

- 3- On détermine le nombre d'observations (ou de données) dans chaque intervalle, c'est à dire, la fréquence absolue de chaque classe.

Les résultats de des applications sont résumés dans ce qui suit :

### Remarque :

Pour ne pas encombrer le document avec beaucoup de tableau les notes des bilans obtenus après application du modèle sont résumées dans les tableaux donnés en annexes, ici je ne vais vous exposer que les résultats des classements et détermination des indicateurs de performance.

Nous avons suivi les étapes d'application précédente, et nous avons obtenu les notes de tous les bilans par rapport à l'objectif global, et par rapport à chaque critère, pour les deux stations d'épuration, mais pour ne pas encombrer le document avec beaucoup de tableau nous n'allons pas vous présenter ici toutes les notes obtenus, mais juste les résultats après classement de celles-ci dans des classes.

### IV.3. Application sur la STEP de Tipaza

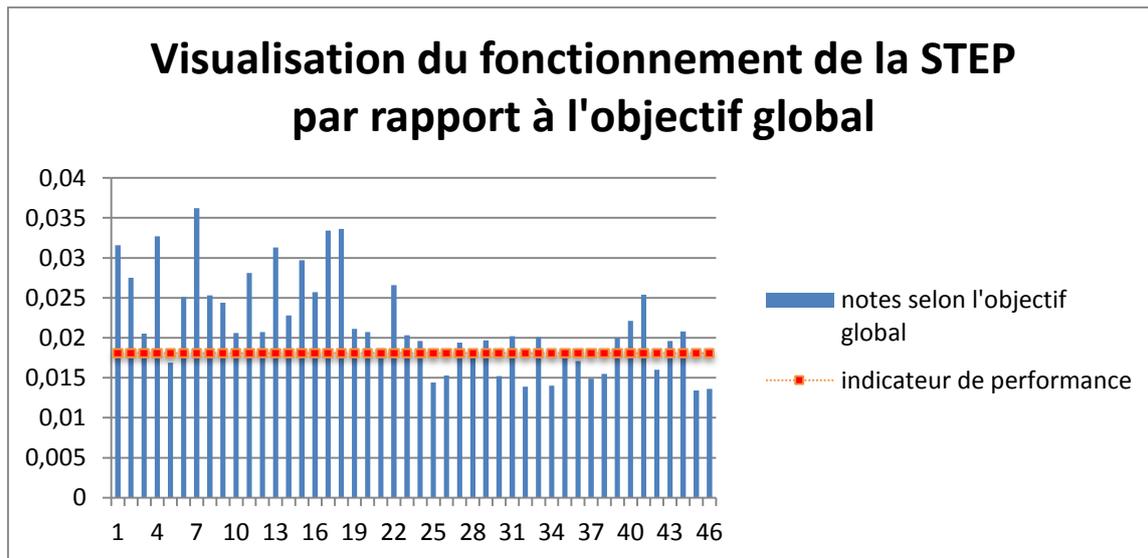
#### Classement des notes par rapport à l'objectif global :

**Tableau IV.1 : Classement des notes par rapport à l'objectif global**

numéro des classes	classes	centres des classes	fréquences	fréquences relatives
1	0,0133-0,01655	0,01493	10	0,217
2	0,01655-0,01981	0,01819	12	0,261
3	0,01981-0,02307	0,02144	9	0,196
4	0,02307-0,02632	0,02470	5	0,109
5	0,02632-0,02958	0,02796	3	0,065
6	0,02958-0,03284	0,03121	4	0,087
7	0,03284-0,03609	0,03447	2	0,043

On remarque du tableau précédent que la classe la plus fréquente est la classe 2 dont le centre est égal à **0.0181**, on définit alors cette valeur comme étant la note indicatrice de la performance de la STEP par rapport à l'objectif global.

Les résultats pour les différentes notes sont présenté da la figure IV.1 suivante qui présentes toutes les notes obtenus pour la STEP selon le l'objectif final par des histogrammes par ordre chronologique (en bleu), et qui sont coupé par une ligne horizontale indiquant la valeur de l'indicateur déterminée précédemment (en rouge), on peut alors visualiser le nombre d'expériences qui sont en dessous, et celle en dessus de celle-ci.



**Figure IV.1 : Visualisation du fonctionnement de la STEP de Tipaza par rapport à l'objectif global**

De la figure précédente on peut remarquer que 71 % des bilans mesurés ont obtenus des notes supérieures à l'indicateur de performances, et seulement 29 % sont en dessous de cette valeur.

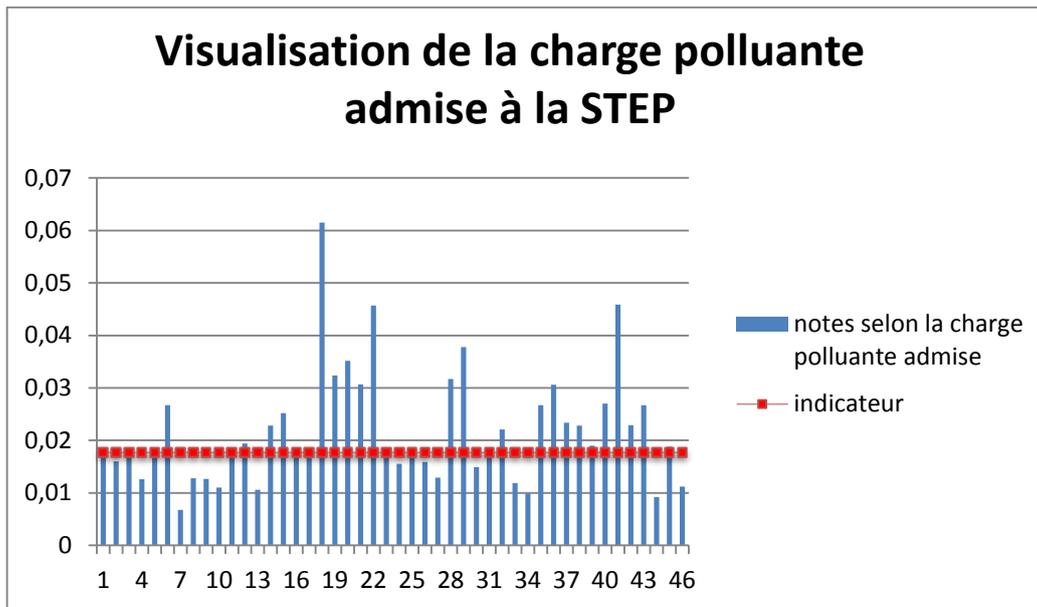
**Classement des notes par rapport au critère charge polluante admise à la STEP :**

**Tableau IV.2 : Classement des notes selon le critère charge polluante admise à la STEP**

.numéro des classes	classes	centres des classes	fréquences	fréquences relatives
1	0,006;0,0138	0,0099	11	0,239
2	0,0138;0,0216	0,0177	16	0,348
3	0,0216;0,0294	0,0255	10	0,217
4	0,0294;0,0372	0,0333	5	0,109
5	0,0372;0,045	0,0411	1	0,022
6	0,045;0,0528	0,0489	2	0,043
7	0,0528;0,0606	0,0567	0	0,000
8	0,0606;0,0684	0,0645	1	0,022

On remarque du tableau précédent que la classe la plus fréquente est la classe 2 dont le centre est égale à **0.0177**, on définit cette valeur comme étant la note indicatrice de la qualité de la charge polluante admise à la STEP ou chaque plus la notes obtenus par un bilan donné est supérieur à cet indicateur, plus la charge polluante admise est dite importante.

Les résultats pour les différentes notes sont présenté da la figure IV.3 ou comme observé précédemment on peut y voir les différentes notes des bilans selon le critère charge polluante admise à la STEP ainsi que la valeur de l'indicateur de sa qualité.



**Figure IV.2 : Visualisation de la charge polluante admise à la STEP**

De la figure précédente on peut remarquer que 59 % des bilans mesurés ont une charge polluante admise supérieur à celle déterminé par l'indicateur, et 41 % sont en dessous de cette valeur.

**Classement des notes par rapport au critère rendement épuratoire :**

**Tableau IV.3 : Classement des notes selon le critère rendement épuratoire**

numéro des classes	classes	centres des classes	fréquences	fréquences relatives
1	0,009;0,0189	0,0140	25	0,5435
2	0,0189;0,0288	0,0239	15	0,3261
3	0,0288;0,0387	0,0338	2	0,0435
4	0,0387;0,0486	0,0437	2	0,0435
5	0,0486;0,0585	0,0536	1	0,0217
6	0,0585;0,0684	0,0635	0	0,0000
7	0,0684;0,0783	0,0734	0	0,0000
8	0,0783;0,0882	0,0833	1	0,0217

On remarque du tableau précédent que la classe la plus fréquente est la classe 2 dont le centre est égal à **0.0140**, on définit alors cette valeur comme étant la note indicatrice de la performance de la STEP par rapport au critère rendement épuratoire.

Les résultats pour les différentes notes sont présenté da la figure IV.3 ou comme observé précédemment on peut y voir les différentes notes des bilans selon le critère rendement épuratoire (en bleu) ainsi que la valeur de l'indicateur de performance (en rouge).

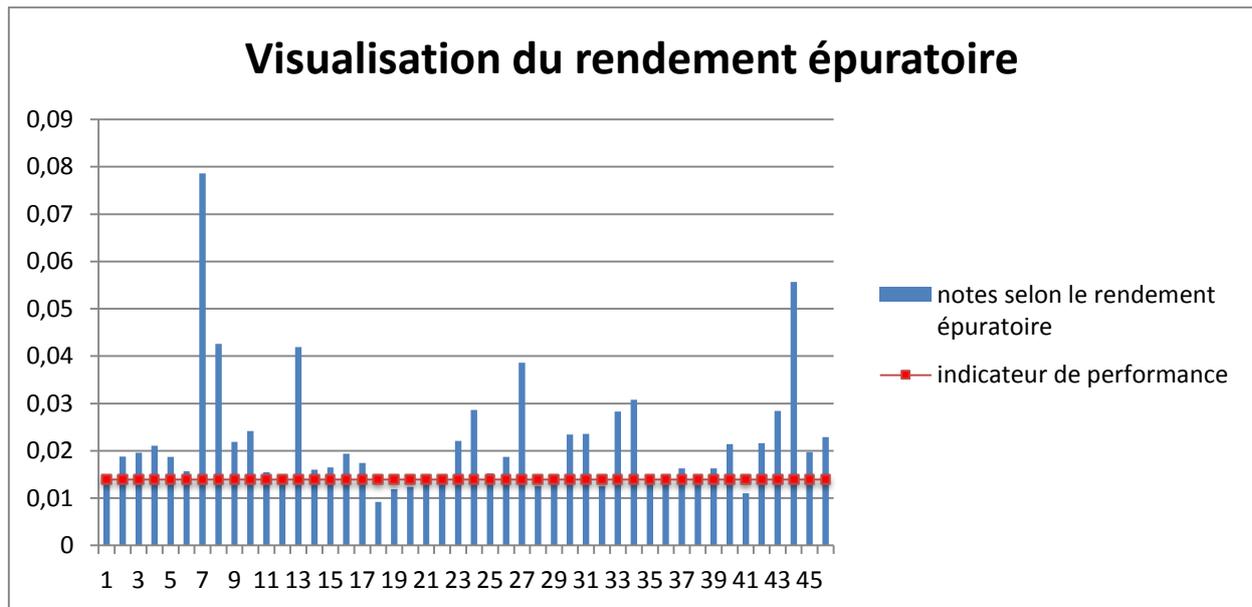


Figure IV.3 : Visualisation du rendement épuratoire

De la figure précédente on peut remarquer que 76 % des bilans mesurés ont obtenus des notes supérieures à l'indicateur de performances, et seulement 24 % sont en dessous de cette valeur.

**Classement des notes par rapport au critère rejets dans l'environnement :**

Tableau IV.4 : Classement des notes selon le critère rejets dans l'environnement

numéro des classes	classes	centres des classes	fréquences	fréquences relatives
1	0,0129;0,0163	0,0146	14	0,304
2	0,0163;0,0197	0,018	19	0,413
3	0,0197;0,0231	0,0214	1	0,022
4	0,0231;0,265	0,0248	0	0,000
5	0,0265;0,0299	0,0282	0	0,000
6	0,0299;0,0333	0,0316	0	0,000
7	0,0333;0,0367	0,035	7	0,152
8	0,0367;0,0401	0,0384	5	0,109

On remarque du tableau précédent que la classe la plus fréquente est la classe 2 dont le centre est égal à **0.018**, on définit alors cette valeur comme étant la note indicatrice de la performance de la STEP par rapport au critère rejets dans l'environnement.

Les résultats pour les différentes notes sont présenté da la figure IV.4 ou comme observé précédemment on peut y voir les différentes notes des bilans selon le critère rejets dans l'environnement (en bleu) ainsi que la valeur de l'indicateur de performance (en rouge).

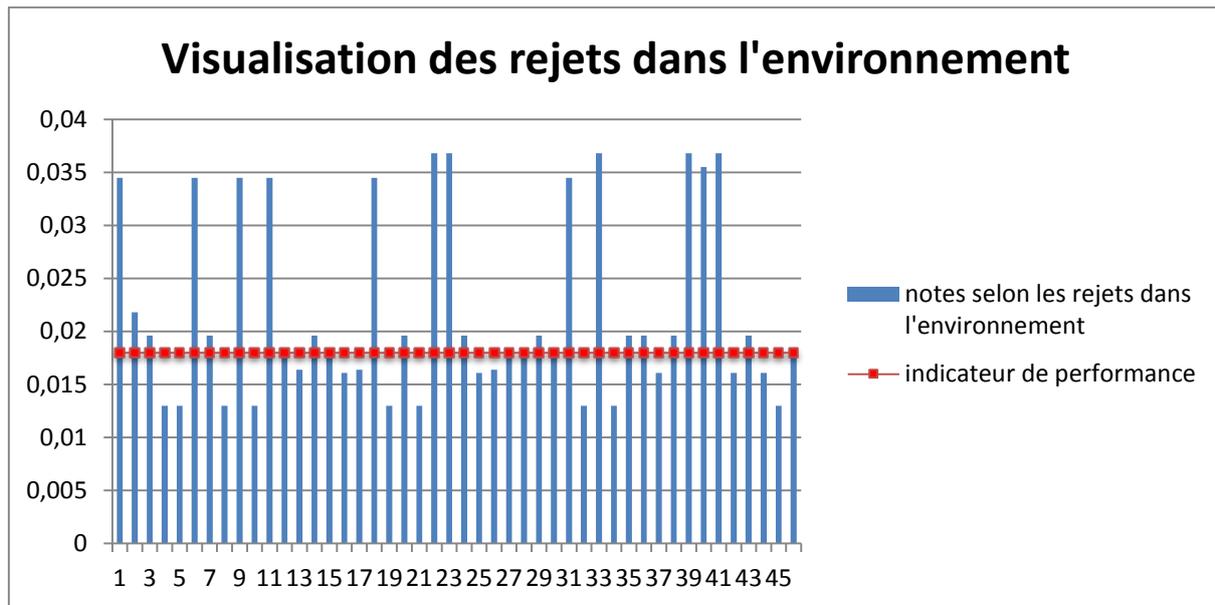


Figure IV.4 : Visualisation des rejets dans l'environnement

De la figure précédente on peut remarquer que 63 % des bilans mesurés ont obtenus des notes supérieures à l'indicateur de performances, et seulement 37 % sont en dessous de cette valeur.

**Classement des notes par rapport au critère consommation énergétique :**

Tableau IV.5 : Classement des notes selon le critère consommation énergétique

numéro des classes	classes	centres des classes	fréquences	fréquences relatives
1	0,002;0,0137	0,0079	24	0,522
2	0,0137;0,0254	0,0196	6	0,130
3	0,0254;0,0371	0,0313	7	0,152
4	0,0371;0,0488	0,0430	2	0,043
5	0,0488;0,0605	0,0547	5	0,109
6	0,0605;0,0722	0,0664	0	0,000
7	0,0722;0,0839	0,0781	1	0,022
8	0,0839;0,0956	0,0898	1	0,022

On remarque du tableau précédent que la classe la plus fréquente est la classe 2 dont le centre est égal à **0.0079**, on définit alors cette valeur comme étant la note indicatrice de la performance de la STEP par rapport au critère consommation énergétique.

Les résultats pour les différentes notes sont présenté da la figure IV.5 ou comme observé précédemment on peut y voir les différentes notes des bilans selon le critère charge polluante admise à la STEP ainsi que la valeur de l'indicateur de performance.

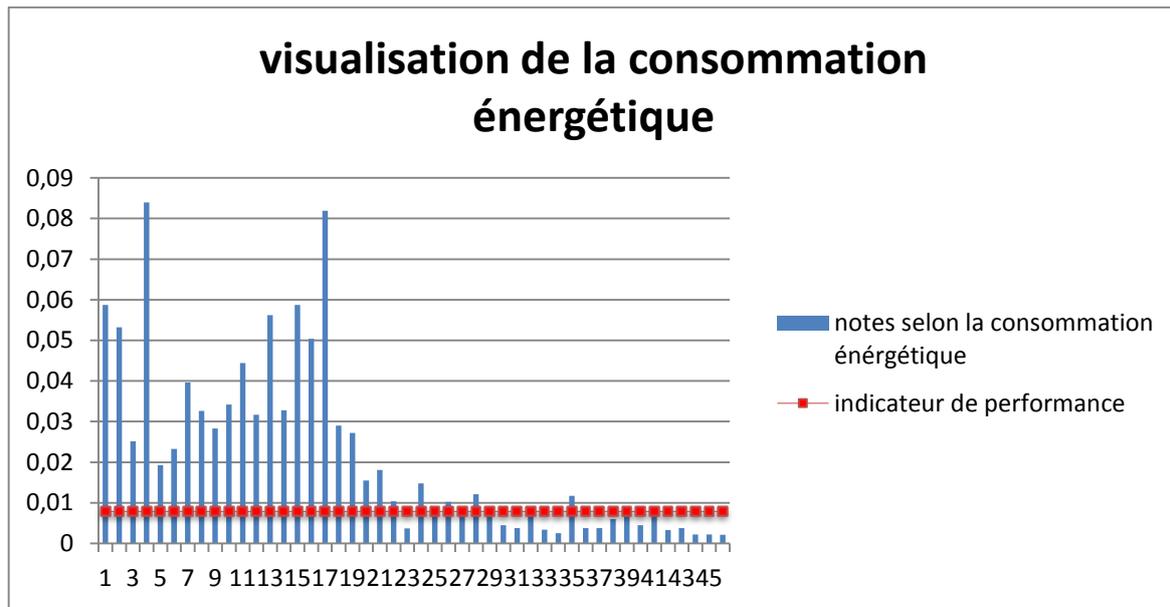


Figure IV.5 : visualisation de la consommation énergétique

De la figure précédente on peut remarquer que 63 % des bilans mesurés ont obtenus des notes supérieures à l'indicateur de performances, et seulement 37 % sont en dessous de cette valeur.

### IV.3 Application sur la STEP de Boumerdes

Classement des notes par rapport à l'objectif global :

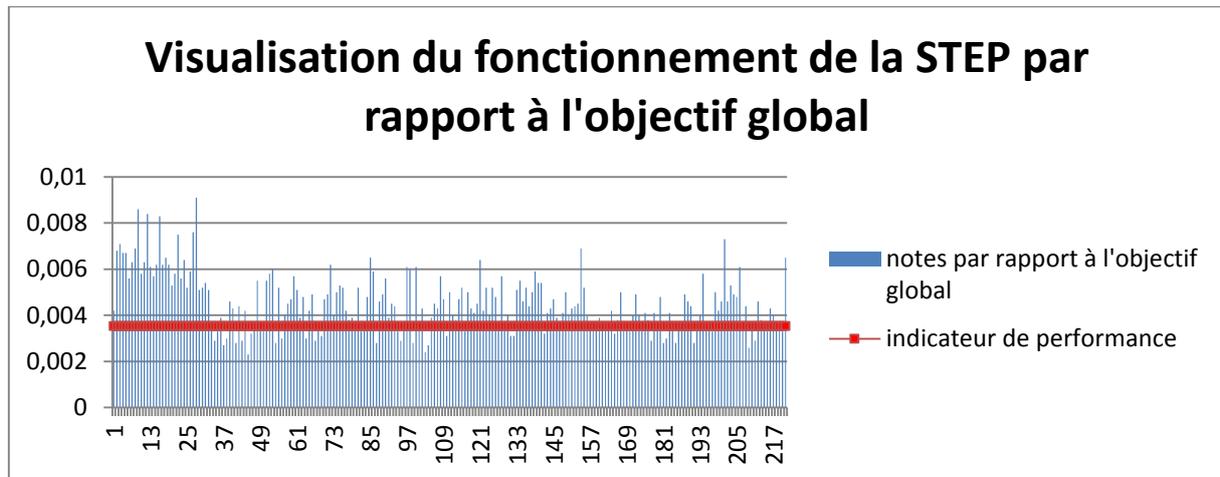
Tableau IV.6 : Classement des notes par rapport à l'objectif global

numéro des classes	classes	centres des classes	fréquences	fréquences relatives
1	0,0022-0,002	0,0026	18	0,081
<b>2</b>	<b>0,0029-0,0037</b>	<b>0,0033</b>	<b>52</b>	<b>0,235</b>
3	0,0037-0,0045	0,0041	49	0,222
4	0,0045-0,0053	0,0048	49	0,222
5	0,0053-0,006	0,0056	23	0,104
6	0,006-0,0068	0,0064	19	0,086
7	0,0068-0,0075	0,0071	5	0,023
8	0,0075-0,0083	0,0079	2	0,009
9	0,0083-0,0091	0,0086	3	0,014
10	0,009-0,0097	0,0094	1	0,005

On remarque du tableau précédent que la classe la plus fréquente est la classe 2 dont le centre est égal à **0,0033**, on définit alors cette valeur comme étant la note indicatrice de la performance de la STEP par rapport à l'objectif global.

Les résultats pour les différentes notes sont présentés dans la figure IV.6 suivante qui présente toutes les notes obtenues pour la STEP selon l'objectif final par des histogrammes par ordre chronologique (en bleu), et qui sont coupés par une ligne horizontale indiquant la valeur de

l'indicateur déterminée précédemment (en rouge), on peut alors visualiser le nombre d'expériences qui sont en dessous, et celle en dessus de celle-ci.



**Figure IV.6 : Visualisation du fonctionnement de la STEP de Boumerdes par rapport à l'objectif global**

De la figure précédente on peut remarquer que 75 % des bilans mesurés ont obtenus des notes supérieures à l'indicateur de performances, et seulement 25 % sont en dessous de cette valeur.

**Classement des notes par rapport au critère charge polluante admise à la STEP :**

**Tableau IV.7 : Classement des notes selon le critère charge polluante admise à la STEP**

numéro des classes	classes	centres des classes	fréquences	fréquences relatives
1	0,001-0,0026	0,0018	54	0,24
<b>2</b>	<b>0,0026-0,0042</b>	<b>0,0034</b>	<b>75</b>	<b>0,34</b>
3	0,0042-0,0058	0,005	47	0,21
4	0,0058-0,0074	0,0066	18	0,08
5	0,0074-0,009	0,0082	8	0,04
6	0,009-0,0106	0,0098	8	0,04
7	0,0106-0,122	0,0114	4	0,02
8	0,122-0,138	0,013	4	0,02
9	0,138-0,154	0,0146	2	0,01
10	0,154-0,138	0,0162	1	0,00

On remarque du tableau précédent que la classe la plus fréquente est la classe 2 dont le centre est égale à **0.0034**, on définit cette valeur comme étant la note indicatrice de la qualité de la charge polluante admise à la STEP ou chaque plus la notes obtenus par un bilan donné est supérieur à cet indicateur, plus la charge polluante admise est dite importante.

Les résultats pour les différentes notes sont présenté da la figure IV.7 ou comme observé précédemment on peut y voir les différentes notes des bilans selon le critère charge polluante

admise à la STEP ainsi que la valeur de l'indicateur de sa qualité.

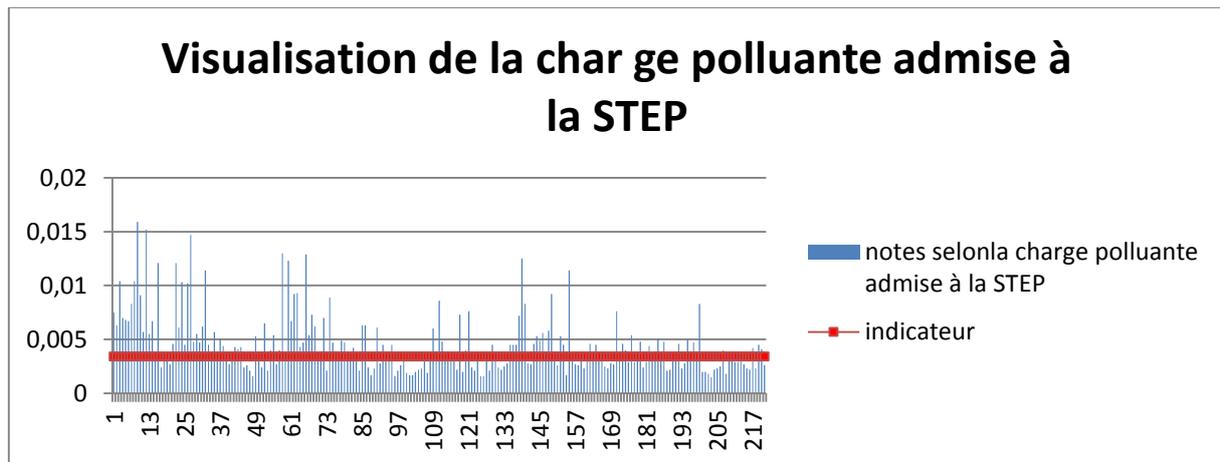


Figure IV.7 : Visualisation de la charge polluante admise à la STEP

De la figure précédente on peut remarquer que 59 % des bilans mesurés ont une charge polluante admise supérieur à celle déterminé par l'indicateur, et 41 % sont en dessous de cette valeur.

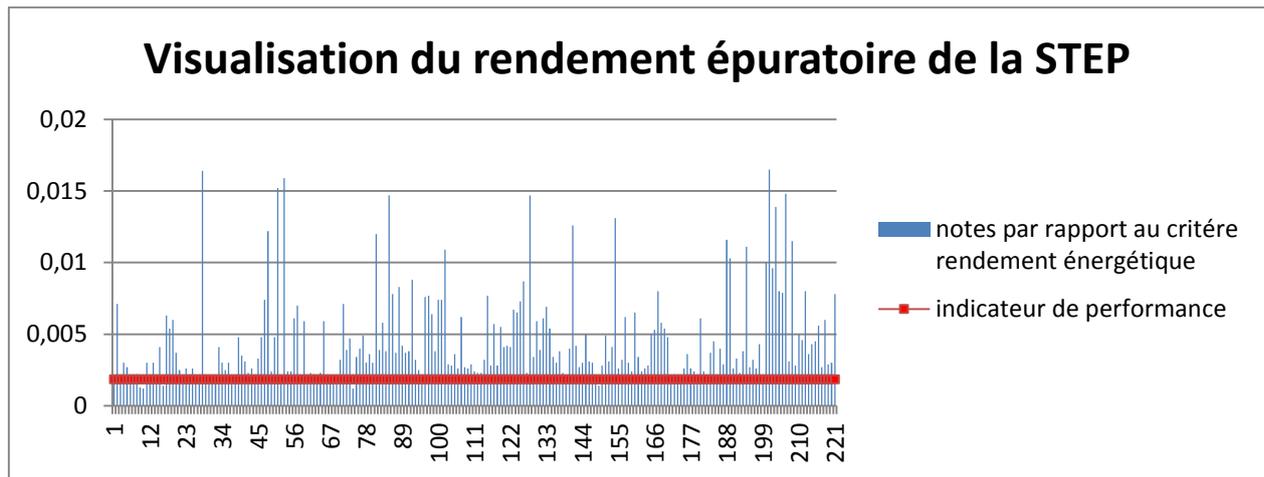
**Classement des notes par rapport au critère rendement épuratoire :**

Tableau IV.8 : Classement des notes selon le critère rendement épuratoire

numéro des classes	classes	centres des classes	fréquences	fréquences relatives
1	0,001-0,0027	0,0019	78	0,353
2	0,0027-0,0044	0,0036	67	0,303
3	0,0044-0,0061	0,0053	30	0,136
4	0,0061-0,0078	0,0070	20	0,090
5	0,0078-0,0095	0,0087	7	0,032
6	0,0095-0,0112	0,0104	5	0,023
7	0,0112-0,0129	0,0121	5	0,023
8	0,0129-0,0146	0,0138	2	0,009
9	0,0146-0,0163	0,0155	5	0,023
10	0,0163-0,018	0,0172	2	0,009

On remarque du tableau précédent que la classe la plus fréquente est la classe 2 dont le centre est égal à **0.0019**, on définit alors cette valeur comme étant la note indicatrice de la performance de la STEP par rapport au critère rendement épuratoire.

Les résultats pour les différentes notes sont présenté da la figure IV.8 ou comme observé précédemment on peut y voir les différentes notes des bilans selon le critère rendement épuratoire (en bleu) ainsi que la valeur de l'indicateur de performance (en rouge).



**Figure IV.8 : Visualisation du rendement épuratoire**

De la figure précédente on peut remarquer que 88 % des bilans mesurés ont obtenus des notes supérieures à l'indicateur de performances, et seulement 12 % sont en dessous de cette valeur.

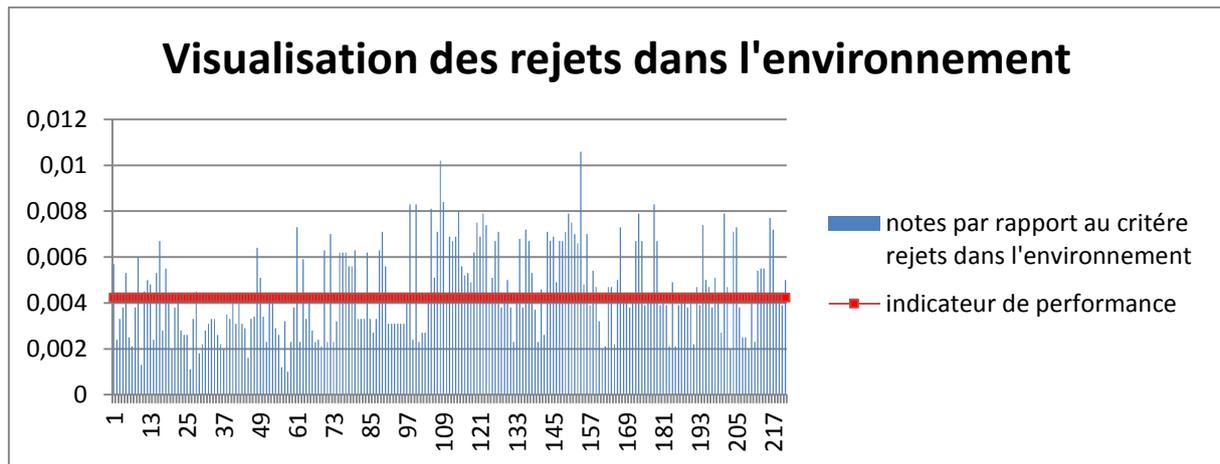
#### Classement des notes par rapport au critère rejets dans l'environnement :

**Tableau IV.9 : Classement des notes selon le critère rejets dans l'environnement**

numéro des classes	classes	centres des classes	fréquences	fréquences relatives
1	0,0005-0,00156667	0,0010	4	0,018
2	0,00156667-0,00263334	0,0021	38	0,172
3	0,00263334-0,00370001	0,0032	38	0,172
<b>4</b>	<b>0,00370001-0,0047668</b>	<b>0,0042</b>	<b>54</b>	<b>0,244</b>
5	0,00476668-0,00583335	0,0053	29	0,131
6	0,00583335-0,00690002	0,0064	27	0,122
7	0,00690002-0,00796669	0,0074	23	0,104
8	0,00796669-0,00903336	0,0085	6	0,027
9	0,00903336-0,01010003	0,0096	0	0,000
10	0,01010003-0,0111667	0,0106	2	0,009

On remarque du tableau précédent que la classe la plus fréquente est la classe 2 dont le centre est égal à **0,0042**, on définit alors cette valeur comme étant la note indicatrice de la performance de la STEP par rapport au critère rejets dans l'environnement.

Les résultats pour les différentes notes sont présentés dans la figure IV.9 ou comme observé précédemment on peut y voir les différentes notes des bilans selon le critère rejets dans l'environnement (en bleu) ainsi que la valeur de l'indicateur de performance (en rouge).



**Figure IV.9 : Visualisation des rejets dans l'environnement**

De la figure précédente on peut remarquer que 46 % des bilans mesurés ont obtenus des notes supérieures à l'indicateur de performances, et seulement 54 % sont en dessous de cette valeur.

**Classement des notes par rapport au critère consommation énergétique :**

**Tableau IV.10 : Classement des notes selon le critère consommation énergétique**

numéro des classes	classes	centres des classes	fréquences	fréquences relatives
1	0,001-0,00227778	0,0016	59	0,267
<b>2</b>	<b>0,00227778-0,00355556</b>	<b>0,0029</b>	<b>74</b>	<b>0,335</b>
3	0,00355556-0,00483334	0,0042	11	0,050
4	0,00483334-0,00611112	0,0055	10	0,045
5	0,00611112-0,0073889	0,0068	31	0,140
6	0,0073889-0,00866668	0,0080	2	0,009
7	0,00866668-0,00994446	0,0093	0	0,000
8	0,00994446-0,01122224	0,0106	15	0,068
9	0,01122224-0,01250002	0,0119	13	0,059
10	0,01250002-0,0137778	0,0131	6	0,027

On remarque du tableau précédent que la classe la plus fréquente est la classe 2 dont le centre est égal à **0.0029**, on définit alors cette valeur comme étant la note indicatrice de la performance de la STEP par rapport au critère consommation énergétique.

Les résultats pour les différentes notes sont présentés dans la figure IV.10 ou comme observé précédemment on peut y voir les différentes notes des bilans selon le critère charge polluante admise à la STEP ainsi que la valeur de l'indicateur de performance.

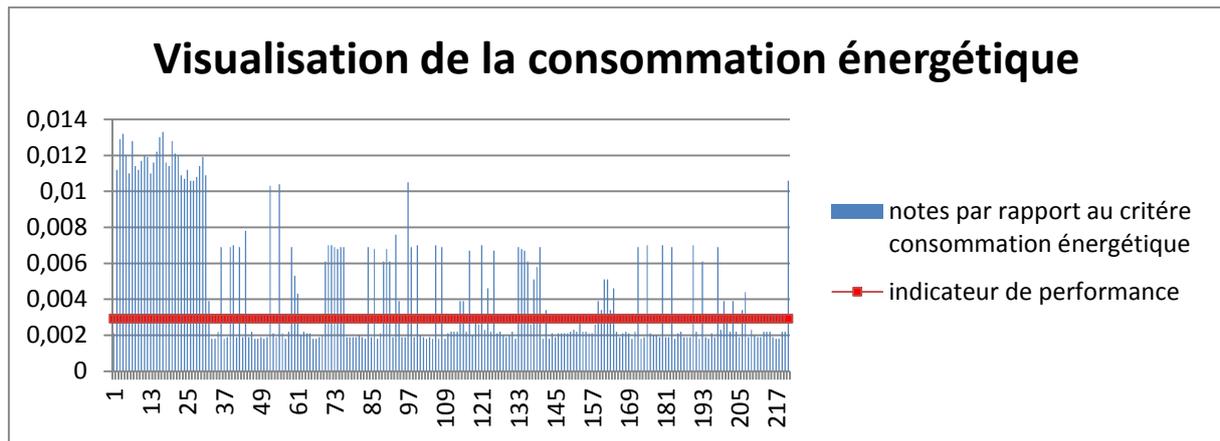


Figure IV.10 : visualisation de la consommation énergétique

De la figure précédente on peut remarquer que seulement 41 % des bilans mesurés ont obtenus des notes supérieures à l'indicateur de performances, alors que 59 % sont en dessous de cette valeur.

#### IV.4 Tableaux de bord des deux stations.

##### IV.4.1 Pour la STEP de Tipaza

Les résultats obtenus précédemment peuvent être résumé sous forme de tableau de bord (Figure IV.11) qui est composé de 6 représentations, un graphique qui donne les notes des bilans (histogrammes) selon l'objectif global ainsi que la valeur de l'indicateur de performance (ligne horizontale), et 5 représentations graphiques de 3 classes de couleur différentes (rouge pour mauvais, orange pour moyen, et vert pour bon), et une aiguille qui montre le pourcentage des bilans ayant dépassé l'indicateur de performance déjà défini, c'est-à-dire le pourcentage des bilans d'analyse jugé bon, et ceci que ce soit par rapport à l'objectif final ou par rapport aux différents critères.

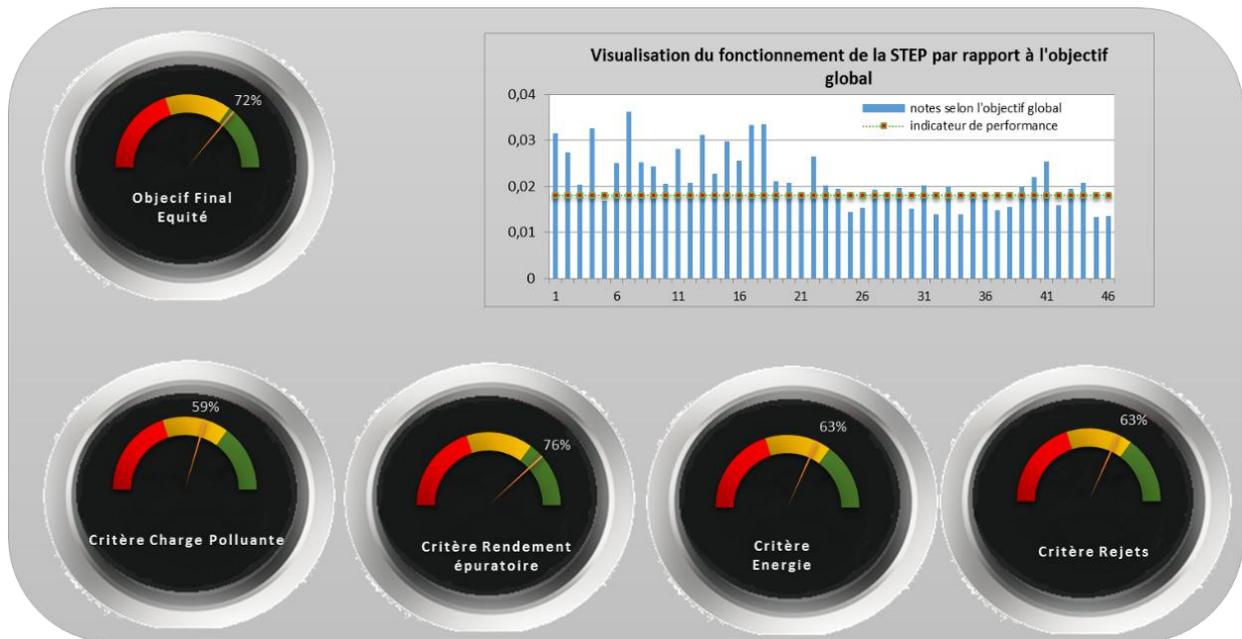
La Figure IV.11 montre ce qu'affiche le tableau de bord pour la STEP de Tipaza, et dans le cas d'une équité des critères de jugement. On peut remarquer les différents pourcentages obtenus précédemment et l'attribution des couleurs selon leurs valeurs, et on remarque particulièrement que le fonctionnement de la STEP de Tipaza est dans la région « bon » par rapport à l'objectif global.

La charge polluante quant à elle est dans la région orange d'où une importance moyenne, en effet **59 %** des bilans mesurés ont une charge polluante admise supérieure à celle déterminée par l'indicateur.

Pour le critère « rendement épuratoire » nous avons **76 %** de l'ensemble des rendements mesurés à la STEP qui ont respectés la norme, d'où un bon rendement épuratoire pour l'ensemble de la station.

Et enfin pour la consommation énergétique nous avons un respect moyen de l'optimal de

celle-ci avec un pourcentage de **63 %** de respect.



**Figure IV.11 : Dashboard de la STEP de Tipaza pour l'équité des critères.**

L'affichage du Dashboard change en fonction de la politique de gestion de la STEP, en effet si par exemple on décide d'avantager le critère rendement épuratoire par rapport aux autres, le pourcentage des bilans ayant obtenus une note supérieure à l'indicateur de performance par rapport à l'objectif final change.

On effet on peut remarquer que dans la figure IV.12 suivante que après qu'on ait avantagé le critère rendement épuratoire, le pourcentage des bilans ayant obtenu une note supérieur à l'indicateur de performance est descendu à 39% ce qui explique que dans la station d'épuration de Tipaza, les rendement épuratoire ne sont que dans la tranche moyennement bon.

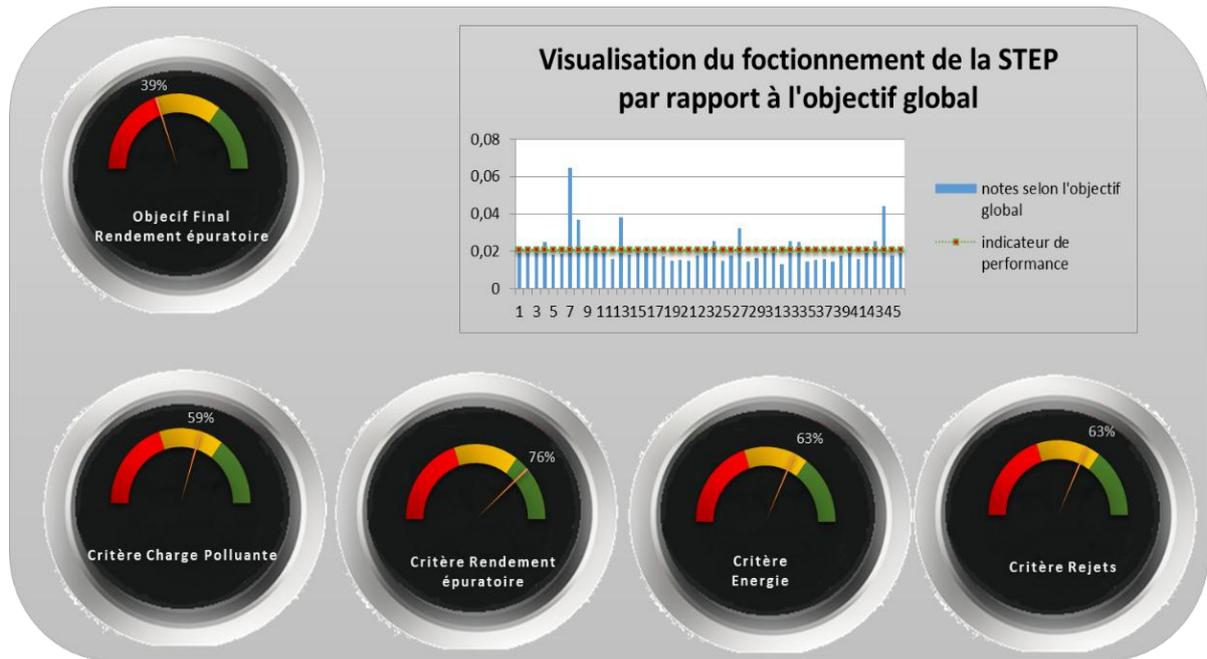


Figure IV.12 : Dashboard de la STEP de Tipaza pour le scénario « avantage du critère rendement épuratoire ».

Un autre scénario peut être envisagé est celui de l'avantage du critère consommation d'énergie et on peut remarquer dans la figure IV.13 les changements dans l'affichage au niveau du tableau de bord, ou 63 % des bilans ont obtenus une note supérieur à l'indicateur de performance.

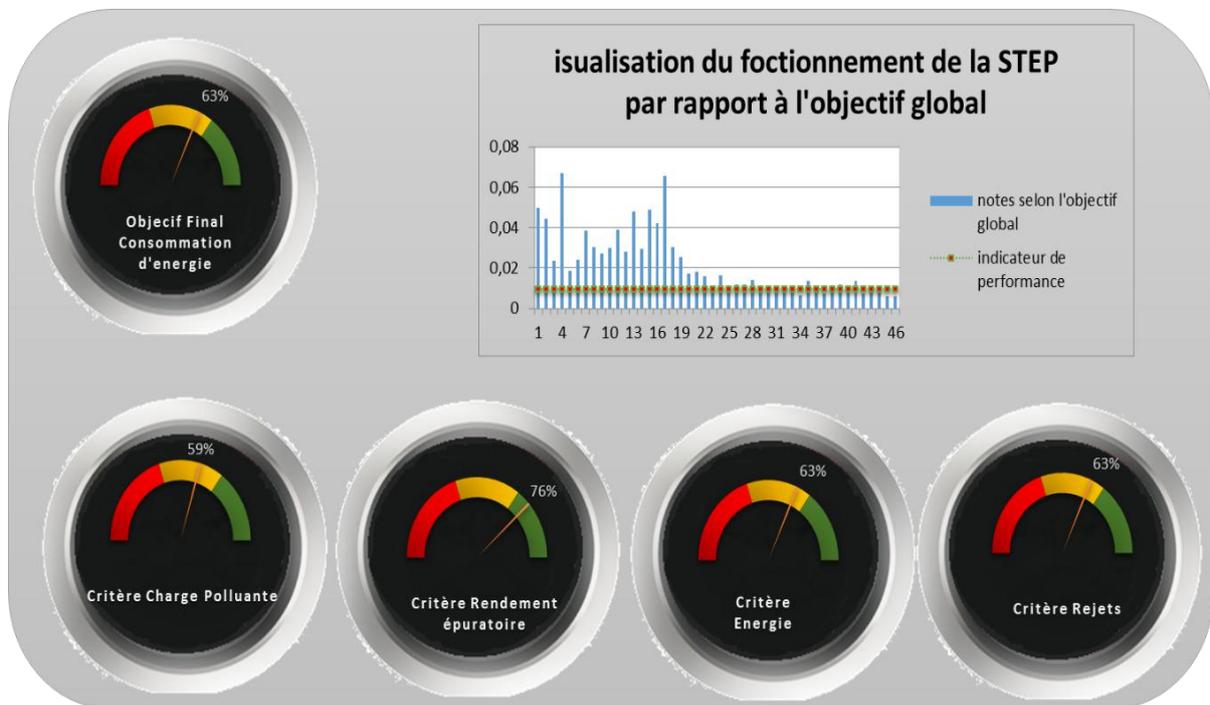


Figure IV.13 : Dashboard de la STEP de Tipaza pour le scénario « avantage du critère consommation énergétique ».

#### IV.4.2 Pour la STEP de Boumerdes

On a obtenu aussi le tableau de bord de la STEP DE Boumerdes pour les mêmes trois scénarii précédent :

##### Pour l'équité des critères :

On peut remarquer que la STEP de Boumerdes suivant l'objectif global est dans la tranche « bon » car 77% des bilans ont obtenus une note supérieure à l'indicateur de performance par rapport à l'objectif global, malgré le mauvais pourcentage obtenus pour le critère « consommation d'énergie » qui est de 41% comme affiché dans la figure IV.14 suivante.

La charge polluante quant à elle est dans la région orange d'où une importance moyenne, en effet **58 %** des bilans mesurés ont une charge polluante admise supérieur à celle déterminé par l'indicateur.

Pour le critère « rendement épuratoire » nous avons **88 %** de l'ensemble des rendements mesurés à la STEP qui ont respectés la norme, d'où un très bon rendement épuratoire pour l'ensemble de la station.

Et enfin pour la consommation énergétique nous avons un non-respect de l'optimal de celle-ci avec un pourcentage de **41 %** de respect seulement effleurant la zone rouge, nous déduisons alors que dans la STEP de Boumerdes la consommation énergétique n'ai pas bien optimisée, et elle est mal gérée.

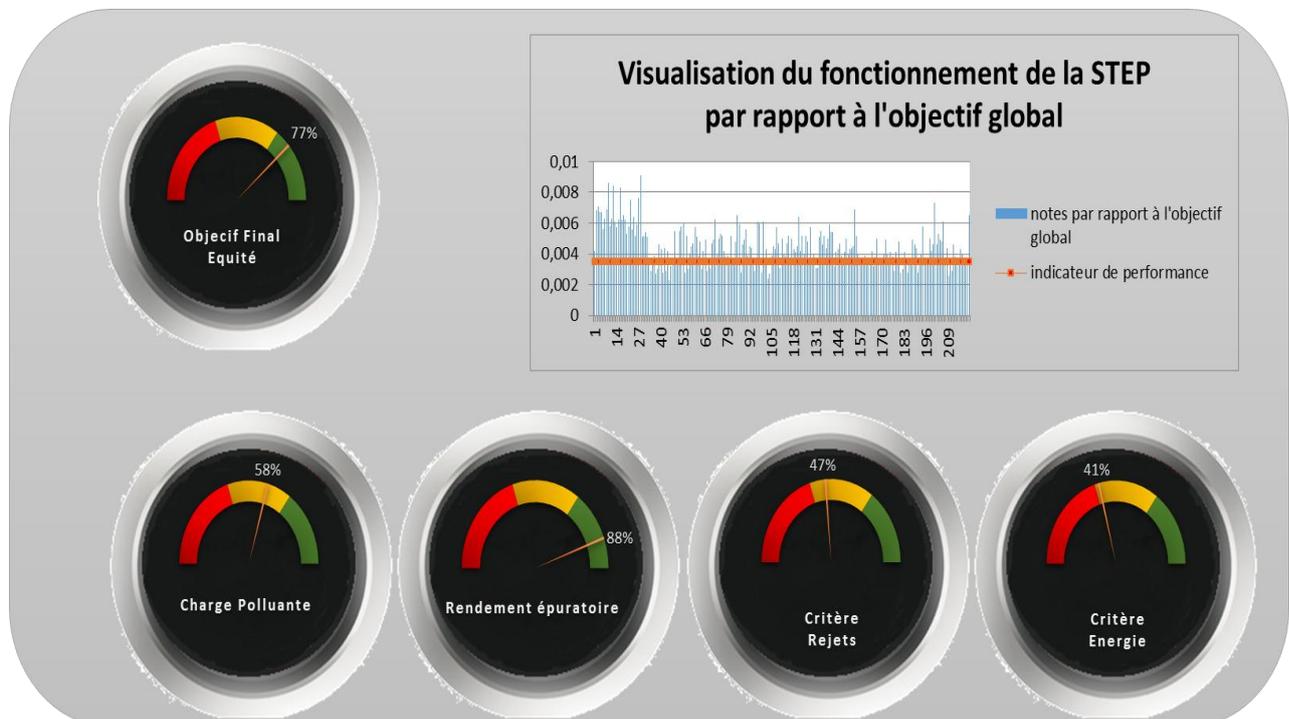
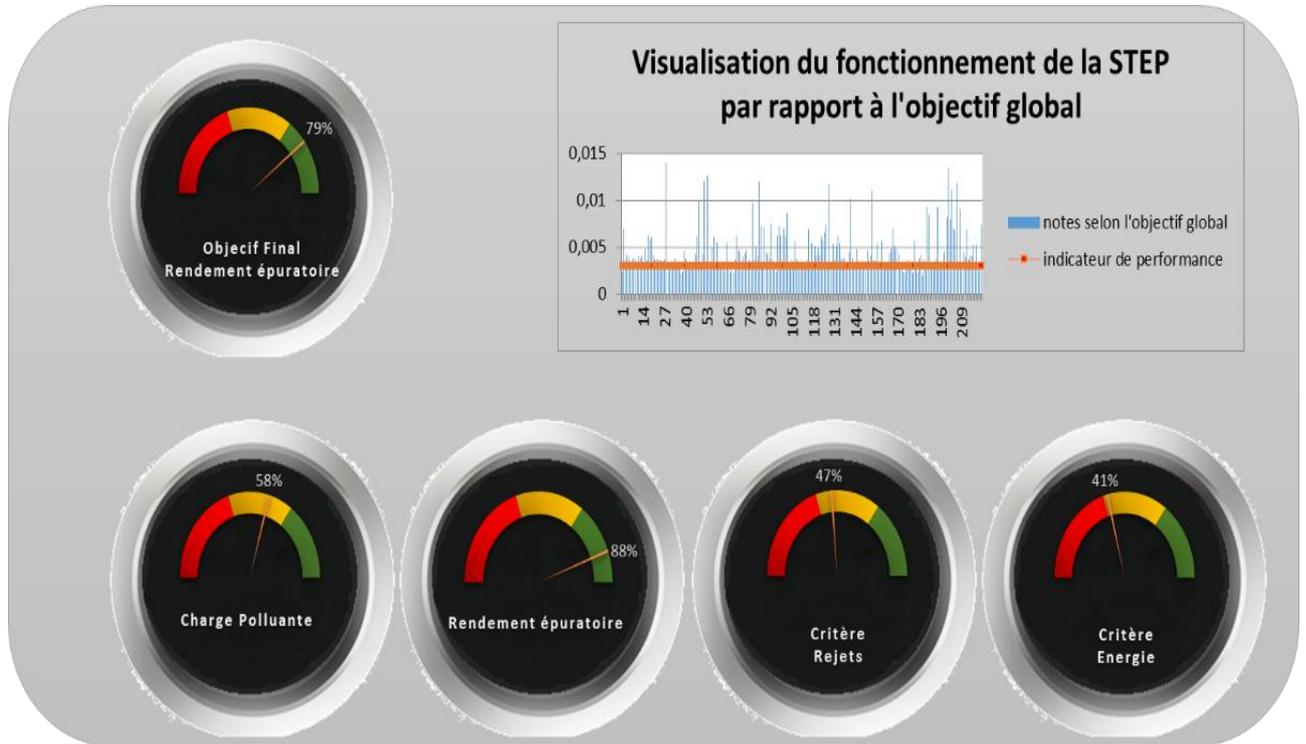


Figure IV.14 : Dashboard de la STEP de Boumerdes pour l'équité des critères.

**Pour le scénario « avantage du rendement épuratoire » :**

Pour ce cas on remarque que le fonctionnement de la STEP reste toujours dans le vert, à 79%, ce qui explique un bon rendement épuratoire dans la station de Boumerdes, l'affichage du tableau de bord est présenté dans la figure IV.15 suivante :

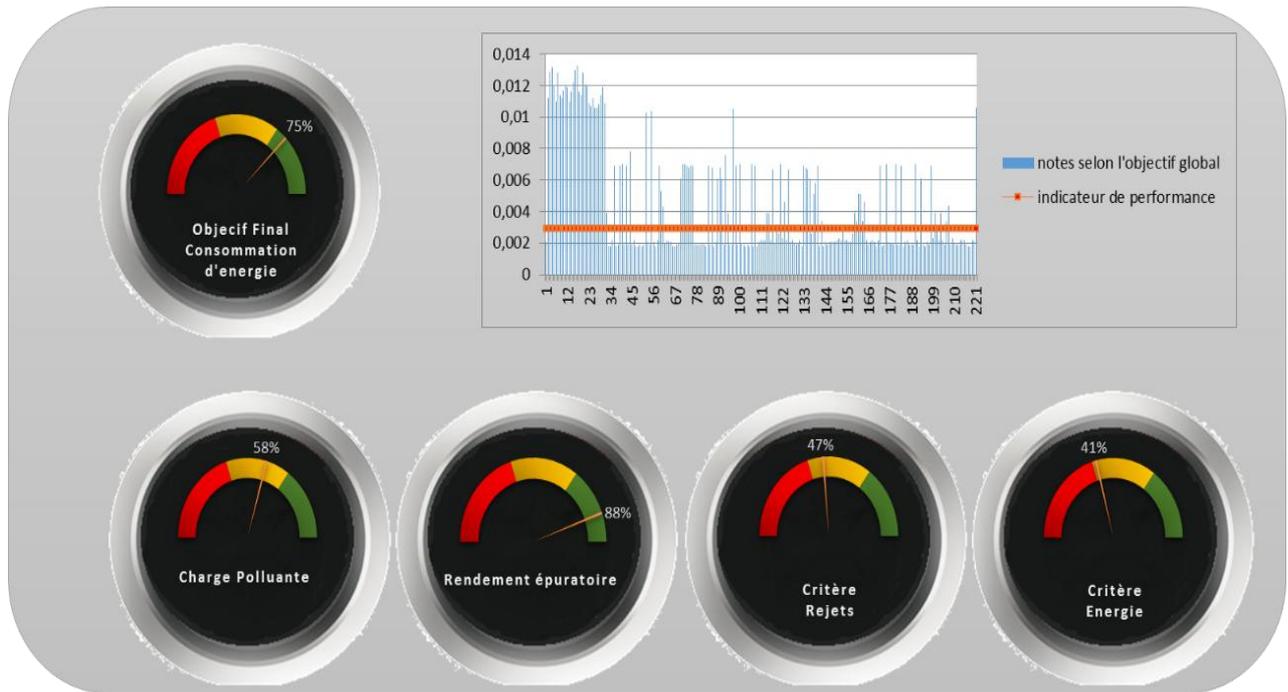


**Figure IV.15 : Dashboard de la STEP de Boumerdes pour le scénario « avantage du critère rendement épuratoire ».**

**Pour le scénario « avantage de la consommation énergétique » :**

Nous remarquons tout de suite que le pourcentage des bons bilans diminue par rapport à l'objectif globale, ceci est expliqué par le non-respect de l'optimisation de la consommation énergétique dans la station de Boumerdes, car par rapport au critère « consommation énergétique » on remarque que seulement **41%** des bilans mesurés ont respectés la norme.

L'affichage du tableau de bord est résumé dans la figure IV.16 suivante :



**Figure IV.16: Dashboard de la STEP de Boumerdes pour le scénario « consommation énergétique».**

#### IV.5 Conclusion

Les différents résultats obtenus nous mènent à facilement comparer les fonctionnements des deux stations d'épuration.

En effet on peut déduire que la station d'épuration de Tipaza admet une charge polluante plus importante que celle de Boumerdes.

On déduit aussi que la station de Boumerdes assure un meilleur rendement épuratoire que celle de Tipaza.

Pour les rejets dans l'environnement la station de Tipaza assure un meilleur respect des normes de rejets, en termes de boues et de la qualité de l'eau épurée, que celle de Boumerdes malgré que cette dernière est meilleur dans le rendement épuratoire, ceci peut être expliqué par le fait qu'il y a une mal gestion du temps d'aération au niveau de la station de Boumerdes, ce qui engendre un rejet important de NO<sub>2</sub> et NO<sub>3</sub> malgré que les rendement en MES ,DBO<sub>5</sub>,DCO,et NH<sub>4</sub> sont respectueux de la norme.

Pour la consommation énergétique on remarque que la station d'épuration de Boumerdes n'accorde pas d'importance à l'économie de celle-ci contrairement à la STEP de Tipaza.

## Conclusion générale

Les stations d'épuration des eaux usées de Boumerdes et de Tipaza sont deux stations à boues activées, leur procédé d'épuration repose sur la dégradation aérobie de la pollution par mélange des micro-organismes épurateurs et de l'effluent à traiter, et est assuré 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, il élimine également une partie de la pollution phosphorée par voie biologique (synthèse bactérienne).

Dans cette étude nous avons appliqué le modèle déjà élaboré dans mon projet de fin d'études sur toutes les données mesurées au niveau des deux stations (contrairement au PFE où l'application n'a été faite que sur 4 expériences seulement) depuis leurs mises en service.

Des petites rectifications ont été d'abord apportées au niveau de la hiérarchie de travail du modèle élaboré concernant les sous-critères fils du critère père « rejets dans l'environnement », et aussi la suppression du paramètre NTKBr des sous-critères charge polluante admise à la STEP vu que ce dernier ne figure pas dans la série de données de la STEP de Tipaza.

L'application du modèle a donné les notes de chaque bilan enregistré dans chaque station d'épuration par rapport à l'objectif global et aussi par rapport à tous les critères de jugement.

Pour juger le fonctionnement de chaque STEP par rapport aux différents niveaux de la hiérarchie, nous avons dû définir des indicateurs de performance pour chaque niveau.

Pour définir un indicateur de performance d'un niveau donné, l'ensemble des notes obtenues pour ce niveau-là ont été ordonnées dans des classes d'intervalles, et l'indicateur de performance pour le niveau considéré est le centre de la classe la plus fréquente des notes, et tous les bilans ayant obtenu une note supérieure à cet indicateur de performance sont considérés satisfaisants ou « bons », pour la charge polluante admise à la STEP les expériences qui obtiennent des notes supérieures à l'indicateur ont une charge plus importante ce qui est mauvais.

Les différents résultats ont été ensuite résumés dans ce qu'on a défini comme étant le Dashboard de la STEP, qui englobe toutes les informations sur le déroulement du fonctionnement de chaque station, sur les pourcentages des respects des normes et des indicateurs de performances définis.

Enfin, à l'aide des résultats obtenus et du Dashboard, nous avons pu visualiser l'évolution des fonctionnements de deux STEP depuis leurs mises en service et détecter les anomalies et perturbations dans la politique de leurs gestions, nous avons aussi pu les comparer entre elles que ce soit selon l'objectif globale ou selon un critère spécifique.

Compte tenu des nouvelles technologies et de la rapidité et facilité d'exploitation exigées par les utilisateurs potentiels du tableau de bord, nous avons préféré donner à cet outil un aspect assez évolutif et clair pour qu'ils puissent intégrer les changements ultérieurs, être facile à manipuler et à interpréter.

## Bibliographie

Direction de la santé, Centre d'hygiène et de salubrité publique .TAHITI - Polynésie Française

Division de l'expertise technique Montréal, « Détermination de l'azote total Kjeldahl (NTK) dans l'eau », page 1.

Faby J.A., Brissaud F. (1997)., L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau, 76 pages.

Gaëlle Deronzier, Jean-Marc Choubert « Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées », Comparaisons techniques et économiques des voies de traitement biologique et physico-chimique. 2004

Gaid, A. (1993). Traitement des eaux usées urbaines. Techniques de l'Ingénieur, C5 – 220 - 2, 30 p.

Géraldine FROGER, Pascal OBERTI, “ *L'aide multicritère à la décision participative : une démarche originale de gouvernance en matière de développement durable*” Toulouse, 2002

Grubbs F.E. (1950). Sample criteria for testing outlying observations. Ann. Math. Stat. 21, 27-58.

HAMRICHE, « Contribution à l'étude et à la simulation des paramètres hydrométriques par l'analyse en composantes principales (ACP) », Mémoire de Projet de Fin d'Etude, ENP Alger, 1993.

Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement/observatoire des données de l'environnement. « Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface », Cadre général Fiche 2.

Jean-Claude BOEGLIN, « Traitements biologiques des eaux résiduaires », Bioprocédés dans les domaines de l'énergie et de l'environnement, Article publié le 10/12/1998

Jean-Louis ROUBATY, Jean-Claude BOEGLIN « Pollution industrielle de l'eau - Caractérisation, classification, mesure », Article publié le 10/01/2007.

L'Analyse en Composantes Principales – Ludovic LE MOAL © 2002

Laurent Henriet. Systèmes d'évaluation et de classification multicritères pour l'aide à la décision : Construction de modèles et procédures d'affectation. Computer Science. Université Paris Dauphine - Paris IX, 2000.

Liang W.Y. (2003) «*The analytic hierarchy process in project evaluation : An R&D case study in Taiwan*», Benchmarking: An International Journal, vol. 10, no. 5, pp. 445 456.

Ludovic LE MOAL «L'Analyse en Composantes Principales », 2002.

MAMERI Yazid, « Phototransformation De Tensioactif Anionique Induite Par Un

Oxyhydroxyde De Fer(III) (Goethite) En Solution Aqueuse », Mémoire de Magister en chimie analytique et physique, Décembre 2010.

Maystre L. Y. et Bollinger D., 1999, *Aide à la négociation multicritère*, coll "gérer l'environnement", PPUR, Lausanne, 192 p.

MEINCK (F.), STOOFF (J.) et KOHLSCHUETTER (H.). – Les eaux usées industrielles. Masson éd., Paris (1977).

Mémento technique de l'eau. Degrémont. Ed. Lavoisier Technique et Documentation, Paris (2005).

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) et Conseil régional de l'environnement des Laurentides (CRE Laurentides), 2012. Protocole d'échantillonnage de la qualité de l'eau, Avril 2012 - Nouvelle édition, Québec, MDDEP et CRE Laurentides, ISBN 978-2-550-64774-4 (version imprimée, 2e édition, 2012), 9 p.

NOUR-EDDINE RAHIMI, ING. JR. (2007) « *Outil d'aide à la décision pour l'aménagement des ressources de production d'une entreprise d'assemblage de cartes électroniques (PCBA, "grande variété, faible volume")* » Université Du Québec À Montréal.

Philippe Duchène « Dysfonctionnement biologiques dans les stations d'épuration à boues activées », Actes du colloque Lyon-21 octobre 1994.

Rapport d'information n° 261 (2000-2001) de M. Gérard MIQUEL et plusieurs de ses collègues, fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scient. tech. , déposé le 5 avril 2001

Roy B., 1985, *"Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision"*, Economica, Paris.

Thomas, O. (1995). *Métrie des eaux résiduaires*. Ed. Cebedoc. Tec. et Doc. Lavoisier, 192 p.

Uyanik E. 2005. *L'application des méthodes de prise de décision multicritère au problème de sélection du fournisseur*. Université Galatasaray. Istanbul.

Victor-Hugo « Grisales Palacio. Modélisation et commande floues de type takagi-sugeno appliquées à un bioprocédé de traitement des eaux usées » (2007) Toulouse.

W.Czysz, A.Denne, H.Rump, W.Schneider, E.Staudte, W.Supperl, E.Blitz, B.Böhnke, P.Doetsch, P.Dreschmann, K.Pöppinghaus, K.Siekman, S.Thomas, « Production, collecte, traitement et analyse des eaux résiduaires », Technologie des eaux résiduaires, Springer-Verlag France, Paris 1990.

## ANNEXE

---

**Tableau A.01 : Attribution des notes de l'échelle de Saaty pour les sous critères charge polluante admise à la STEP.**

<b>Note</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
<b>DiffMES = MES_1- MES_2</b>	[0 ; 100[	[100 ; 250[	[250 ; 500[	[500 ; 750[	[750 ; +∞ [
<b>DiffDBO5=DBO5_1-BO5_2</b>	[0 ; 50[	[50 ; 100[	[100 ; 250[	[250 ; 500[	[500 ; +∞ [
<b>DiffNH4 = NH4_1-NH4_2</b>	[0 ; 10[	[10 ; 20[	[20 ; 30[	[30 ; 80[	[80 ; +∞ [
<b>DiffDCO = DCO1-DCO2</b>	[0 ; 150[	[150 ; 250[	[250 ; 500[	[500 ; 750[	[750 ; +∞ [
<b>DiffNO3 = NO3_1-NO3_2</b>	[0 ; 0.1 [	[0.1 ; 1[	[1 ; 3[	[3 ; 5[	[5 ; +∞ [
<b>DiffNO2 = NO2_1-NO2_2</b>	[0 ; 1[	[1 ; 2[	[2 ; 3[	[3 ; 4[	[4 ; +∞ [
<b>DiffPO4 = PO4_1-PO4_2</b>	[0 ; 5[	[5 ; 10[	[10 ; 20[	[20 ; 40[	[40 ; +∞ [

## ANNEXE

**Tableau A.2 : Attribution des notations pour les sous critères rendement épuratoire**

<b>Cas 1</b>	<b><math>R1 &lt; R1n</math> et <math>R2 &lt; R2n</math> on calcul alors la variable <math>XR1 = (R1n - R1) - (R2n - R2)</math></b>									
<b>Notes</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>1/9</b>
<b>intervalles</b>	$] -\infty ; -0.4 ]$	$] -0.4 ; -2 ]$	$] -0.2 ; -0.1 ]$	$] -0.1 ; -0.05 ]$	$] -0.05 ; -0 ]$	$] 0 ; 0.05 [$	$] 0 ; 0.1 [$	$] 0.1 ; 0.2 [$	$] 0 ; 0.4 [$	$] 0.4 ; +\infty [$
<b>Cas 2</b>	<b><math>R1 \geq R1n</math> et <math>R2 \geq R2n</math> on calcul alors la variable <math>XR2 = (R1 - R1n) - (R2 - R2n)</math></b>									
<b>Notes</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>1/9</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
<b>intervalles</b>	$] -\infty ; -0.4 ]$	$] -0.4 ; -2 ]$	$] -0.2 ; -0.1 ]$	$] -0.1 ; -0.05 ]$	$] -0.05 ; -0 ]$	$] 0 ; 0.05 [$	$] 0 ; 0.1 [$	$] 0.1 ; 0.2 [$	$] 0 ; 0.4 [$	$] 0.4 ; +\infty [$
<b>Cas 3</b>	<b><math>R1 \geq R1n</math> et <math>R2 &lt; R2n</math> on calcul alors la variable <math>YR1 = (R1 - R1n) - (R2n - R2)</math></b>									
<b>Notes</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
<b>intervalles</b>	$] -\infty ; -0.4 ]$	$] -0.4 ; -2 ]$	$] -0.2 ; -0.1 ]$	$] -0.1 ; -0.05 ]$	$] -0.05 ; -0 ]$	$] 0 ; 0.05 [$	$] 0 ; 0.1 [$	$] 0.1 ; 0.2 [$	$] 0 ; 0.4 [$	$] 0.4 ; +\infty [$
<b>Cas 4</b>	<b><math>R1 &lt; R1n</math> et <math>R2 \geq R2n</math> on calcul alors la variable <math>YR2 = (R1n - R1) - (R2 - R2n)</math></b>									
<b>Notes</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>1/9</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>1/9</b>
<b>intervalles</b>	$] -\infty ; -0.4 ]$	$] -0.4 ; -2 ]$	$] -0.2 ; -0.1 ]$	$] -0.1 ; -0.05 ]$	$] -0.05 ; -0 ]$	$] 0 ; 0.05 [$	$] 0 ; 0.1 [$	$] 0.1 ; 0.2 [$	$] 0 ; 0.4 [$	$] 0.4 ; +\infty [$

## ANNEXE

**Tableau A.3 : Attribution des notations pour le sous critère boue en excès**

<b>Cas 1</b>	<b><math>Bex1 &lt; 300 \text{ m}^3</math> et <math>Bex2 &lt; 300 \text{ m}^3</math> on calcul alors la variable <math>XB1 = (300 - Bex1) - (300 - Bex2)</math></b>									
<b>Notes</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>1/9</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
<b>intervalles</b>	] -∞ ; -200]	] -200 ; -150]	] -150 ; -100]	] -100 ; -50]	] -50 ; 0]	] 0 ; 50[	] 50 ; 100[	] 100 ; 150[	] 150 ; 200[	] 200 ; +∞ [
<b>Cas 2</b>	<b><math>Bex1 \geq 300 \text{ m}^3</math> et <math>Bex2 \geq 300 \text{ m}^3</math> on calcul alors la variable <math>XB2 = (Bex1 - 300) - (Bex2 - 300)</math></b>									
<b>Notes</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>1/9</b>
<b>intervalles</b>	] -∞ ; -200]	] -200 ; -150]	] -150 ; -100]	] -100 ; -50]	] -50 ; 0]	] 0 ; 50[	] 50 ; 100[	] 100 ; 150[	] 150 ; 200[	] 200 ; +∞ [
<b>Cas 3</b>	<b><math>Bex1 \geq 300 \text{ m}^3</math> et <math>Bex2 &lt; 300 \text{ m}^3</math> on calcul alors la variable <math>YB1 = (Bex1 - 300) - (300 - Bex2)</math></b>									
<b>Notes</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>1/9</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>1/9</b>
<b>intervalles</b>	] -∞ ; -200]	] -200 ; -150]	] -150 ; -100]	] -100 ; -50]	] -50 ; 0]	] 0 ; 50[	] 50 ; 100[	] 100 ; 150[	] 150 ; 200[	] 200 ; +∞ [
<b>Cas 4</b>	<b><math>Bex1 &lt; 300 \text{ m}^3</math> et <math>Bex2 \geq 300 \text{ m}^3</math> on calcul alors la variable <math>YB2 = (300 - Bex1) - (Bex2 - 300)</math></b>									
<b>Notes</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
<b>intervalles</b>	] -∞ ; -200]	] -200 ; -150]	] -150 ; -100]	] -100 ; -50]	] -50 ; 0]	] 0 ; 50[	] 50 ; 100[	] 100 ; 150[	] 150 ; 200[	] 200 ; +∞ [

## ANNEXE

**Tableau A.4 : Attribution des notations pour le sous critère NO3ep (la sortie de la STEP)**

<b>Cas 1</b>	<b>NO3ep_1 &lt; 2mg/l et NO3ep_2 &lt; 2mg/l on calcul alors la variable XN1= (2 - NO3ep_1 )-(2 - NO3ep_2)</b>									
<b>Notes</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>1/9</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
<b>intervalles</b>	]-∞ ; -1.6]	]-1.6; -0.8]	]-0.8; -0.4]	]-0.4; -0.2]	]-0.2; -0]	] 0; 0.2 [	] 0.2; 0.4 [	[0.4; 0.8 [	[0.8; 1.6 [	[1.6; +∞ [
<b>Cas 2</b>	<b>NO3ep_1 &gt;= 2 mg/l et NO3ep_2 &gt;= 2 mg/l on calcul alors la variable XN2 = (NO3ep_1 - 2)-( NO3ep_2 - 2)</b>									
<b>Notes</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>1/9</b>
<b>intervalles</b>	]-∞ ; -1.6]	]-1.6; -0.8]	]-0.8; -0.4]	]-0.4; -0.2]	]-0.2; -0]	] 0; 0.2 [	] 0.2; 0.4 [	[0.4; 0.8 [	[0.8; 1.6 [	[1.6; +∞ [
<b>Cas 3</b>	<b>NO3ep_1 &gt;= 2 mg/l et NO3ep_1 &lt; 2 mg/l on calcul alors la variable YB1= (NO3ep_1 - 2)-( 2 - NO3ep_2 )</b>									
<b>Notes</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>1/9</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>1/9</b>
<b>intervalles</b>	]-∞ ; -1.6]	]-1.6; -0.8]	]-0.8; -0.4]	]-0.4; -0.2]	]-0.2; -0]	] 0; 0.2 [	] 0.2; 0.4 [	[0.4; 0.8 [	[0.8; 1.6 [	[1.6; +∞ [
<b>Cas 4</b>	<b>NO3ep_1 &lt; 2 mg/l et NO3ep_2 &gt;= 2 mg/l on calcul alors la variable YB2= (2 - NO3ep_1 )-( NO3ep_2 - 2 )</b>									
<b>Notes</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
<b>intervalles</b>	]-∞ ; -1.6]	]-1.6; -0.8]	]-0.8; -0.4]	]-0.4; -0.2]	]-0.2; -0]	] 0; 0.2 [	] 0.2; 0.4 [	[0.4; 0.8 [	[0.8; 1.6 [	[1.6; +∞ [

## ANNEXE

**Tableau A.5: Attribution des notations pour le sous critère NO2ep (la sortie de la STEP)**

<b>Cas 1</b>	<b>NO2ep_1 &lt; 1mg/l et NO2ep_2 &lt; 1mg/l on calcul alors la variable XN1= (I - NO2ep_1)/(I - NO2ep_2)</b>									
<b>Notes</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>1/9</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
<b>intervalles</b>	]-∞ ; -0.6]	]-0.6; -0.4]	]-0.4; -0.2]	]-0.2; -0.1]	]-0.1; -0]	] 0; 0.1 [	] 0.1; 0.2 [	[0.2; 0.4 [	[0.4; 0.6 [	[0.6; +∞ [
<b>Cas 2</b>	<b>NO2ep_1 &gt;= 1 mg/l et NO2ep_2 &gt;= 1 mg/l on calcul alors la variable XN2 = (NO2ep_1 - I)/(NO2ep_2 - I)</b>									
<b>Notes</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>1/9</b>
<b>intervalles</b>	]-∞ ; -0.6]	]-0.6; -0.4]	]-0.4; -0.2]	]-0.2; -0.1]	]-0.1; -0]	] 0; 0.1 [	] 0.1; 0.2 [	[0.2; 0.4 [	[0.4; 0.6 [	[0.6; +∞ [
<b>Cas 3</b>	<b>NO2ep_1 &gt;= 1 mg/l et NO2ep_2 &lt; 1 mg/l on calcul alors la variable YN1= (NO2ep_1 - I)/(1 - NO2ep_2)</b>									
<b>Notes</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>1/9</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>	<b>1/9</b>
<b>intervalles</b>	]-∞ ; -0.6]	]-0.6; -0.4]	]-0.4; -0.2]	]-0.2; -0.1]	]-0.1; -0]	] 0; 0.1 [	] 0.1; 0.2 [	[0.2; 0.4 [	[0.4; 0.6 [	[0.6; +∞ [
<b>Cas 4</b>	<b>NO2ep_1 &lt; 1 mg/l et NO2ep_2 &gt;= 1 mg/l on calcul alors la variable YN2= (I - NO2ep_1)/(NO2ep_2 - I)</b>									
<b>Notes</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
<b>intervalles</b>	]-∞ ; -0.6]	]-0.6; -0.4]	]-0.4; -0.2]	]-0.2; -0.1]	]-0.1; -0]	] 0; 0.1 [	] 0.1; 0.2 [	[0.2; 0.4 [	[0.4; 0.6 [	[0.6; +∞ [

## ANNEXE

**Tableau A.6 : Attribution des notations pour le sous critère nombre de rendements respectés**

Note	1	3	5	7	9	1/3	1/5	1/7	1/9
NBRR1-NBRR2	0	1	2	3	4	-1	-2	-3	-4

**Tableau A.7: Attribution des notations pour le sous critère rendement énergétique**

Cas 1	<b>Ren1 &lt; 0.6 et Ren2 &lt; 0.6 on calcul alors la variable XE1 = (0.6 - Ren1) - (0.6 - Ren2)</b>									
Notes	1	3	5	7	9	1	1/3	1/5	1/7	1/9
intervalles	]-∞ ; -0.4]	]-0.4; -2]	]-0.2; -0.1]	]-0.1; -0.05]	]-0.05; -0]	] 0; 0.05 [	] 0; 0.1 [	[0.1; 0.2 [	[0.; 0.4 [	[0.4; +∞ [
Cas 2	<b>Ren1 ≥ 0.6 et Ren2 ≥ 0.6 on calcul alors la variable XE2 = (Ren1 - 0.6) - (Ren2 - 0.6)</b>									
Notes	1	1/3	1/5	1/7	1/9	1	3	5	7	9
intervalles	]-∞ ; -0.4]	]-0.4; -2]	]-0.2; -0.1]	]-0.1; -0.05]	]-0.05; -0]	] 0; 0.05 [	] 0; 0.1 [	[0.1; 0.2 [	[0.; 0.4 [	[0.4; +∞ [
Cas 3	<b>Ren1 ≥ 0.6 et Ren2 &lt; 0.6 on calcul alors la variable YE1 = (Ren1 - 1) - (1 - Ren2)</b>									
Notes	1	1/3	1/5	1/7	1/9	1	1/3	1/5	1/7	1/9
intervalles	]-∞ ; -0.4]	]-0.4; -2]	]-0.2; -0.1]	]-0.1; -0.05]	]-0.05; -0]	] 0; 0.05 [	] 0; 0.1 [	[0.1; 0.2 [	[0.; 0.4 [	[0.4; +∞ [
Cas 4	<b>Ren1 &lt; 0.6 et Ren2 ≥ 0.6 on calcul alors la variable YE2 = (1 - Ren1) - (Ren2 - 1)</b>									
Notes	1	3	5	7	9	1	3	5	7	9
intervalles	]-∞ ; -0.4]	]-0.4; -2]	]-0.2; -0.1]	]-0.1; -0.05]	]-0.05; -0]	] 0; 0.05 [	] 0; 0.1 [	[0.1; 0.2 [	[0.; 0.4 [	[0.4; +∞ [