

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



Département Hydraulique

Mémoire présenté

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

**Etude comparative des indicateurs de
performance des stations d'épuration à boues
activées : application aux STEP de Jijel,
Boumèrdès et Tipaza**

Réalisé par :

MALOUSSI Oussama

Dirigé par :

Dr. A.LEFKIR

Juin 2016

DEDICACES

Je dédie ce travail

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

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

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

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

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

Oussama

REMERCIEMENTS

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

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

Je souhaite tout d'abord remercier mon encadreur le docteur **A.LEFKIR**, qui a accepté de m'encadrer avec patience durant la réalisation de ce travail. Je tiens à le remercier aussi pour ses conseils qui m'ont été très précieux.

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

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

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

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

ملخص :

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

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

سيتم تجسيد المشروع لمحطة جيجل، بومرداس و تيبازة بالاعتماد على منهجين احصائيين، "عملية التحليل الهرمي" جنباً إلى جنب مع "تحليل المكون الرئيسي" المستعملين من قبل في مشروع التخرج.

الكلمات الرئيسية: مؤشرات الأداء، محطة تصفية بالطينة النشيطة، جيجل، بومرداس، تيبازة، تحليل المكون الرئيسي، عملية التحليل الهرمي، تعليم الأداء.

Abstract :

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

This work aims to develop performance indicators for many activated sludge WWTP and also general performances indicators for all the stations, which will assist in the management, control, and surveillance and judgment of operation of this WWTP.

The project will concern Jijel, Boumerdes, and Tipaza's WWTP, based on two statistical approaches: "The analytic hierarchy process (AHP)" combined with "The principal component analysis (PCA)" used before in the final project.

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

Résumé :

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

Le présent travail a pour objectif l'élaboration d'indicateurs de performance pour plusieurs STEP à boues activées ainsi que des indicateurs de performance généralisés pour toutes les STEP, ce qui va aider à la gestion, au contrôle, et à la surveillance et jugement du fonctionnement de cette STEP.

Le travail sera réalisé pour la STEP de Jijel, Boumèrdès et Tipaza en se basant sur deux approches statistiques : « La méthode hiérarchique analytique (AHP) » combinée à « L'analyses en composantes principales (ACP) déjà utilisées dans le PFE.

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

Sommaire

Liste des tableaux.....	7
Liste des figures	8
Liste des Equations.....	9
INTRODUCTION GENERALE.....	10
Chapitre 1 : Synthèse du projet de fin d'études	11
I.1. INTRODUCTION	12
I.2. ELABORATION DES DEUX INDICATEURS	12
I.2.1. L' AHP.....	13
I.2.2. L' ACP	18
I.3. RESULTATS DU TRAVAIL DU PFE	21
Chapitre 2 : Elaboration des indicateurs de performance pour les STEP de Jijel, Boumerdes, Tipaza, ainsi que des indicateurs généralisés	26
II.1. STEP DE JIJEL.....	27
II.1.1. RESULTATS DE L' ACP.....	27
II.1.2. APPLICATION DE L' AHP	28
II.2. STEP DE BOUMERDES.....	29
II.2.1. RESULTATS DE L' ACP.....	29
II.2.2. APPLICATION DE L' AHP	30
II.3. STEP DE TIPAZA	30
II.3.1. RESULTATS DE L' ACP.....	31
II.4. ELABORATION DES INDICATEURS GENERALISES	31
II.4.1. RESULTATS DE L' ACP.....	32
II.4.2. APPLICATION DE L' AHP	32
II.5. ELABORATION DE L'NDICATEUR DU RESPECT DES NORMES DE REJET ..	34
II.6. CONCLUSION	35
Chapitre 3 : Validations des indicateurs généralisés, application pour les trois STEP et discussion des résultats.....	36
III.1. INTRODUCTION	37
III.2. SYSTEME DE NOTATION	37
III.2.1. NOTATION DE LA CONSOMMATION DE L'ENERGIE	37
III.2.2. NOTATION DU RESPECT DES NORMES DE REJET	39

III.3. COMPARAISON DES RESULTATS	40
III.4. APPLICATION SUR POUR TROIS STATIONS	41
III.4.1 STEP DE JIJEL	41
III.4.2 STEP DE BOUMERDES.....	43
III.4.3 STEP DE TIPAZA	44
III.5. CONCLUSION	46
CONCLUSION GENERALE.....	47
Bibliographie.....	48

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Echelle de jugement	15
Tableau I. 2 : La matrice de jugement relatif à un niveau	16
Tableau I. 3: Indice aléatoire élaboré par Saaty	17
Tableau I. 4: Paramètres de pollution disponibles.....	21
Tableau I. 5 : Les paramètres de pollution ciblés pour l'énergie.	22
Tableau I. 6 : Ordre d'importance des paramètres.	22
Tableau I. 7: Matrice de jugement relative au critère de la consommation de l'énergie.....	23
Tableau I. 8 : Pondération des paramètres de l'énergie.....	23
Tableau I. 9 : Matrice de jugement relative au critère du respect des normes de rejet.	23
Tableau I. 10 : Pondération des paramètres de rejet.....	24
Tableau II. 1 : Paramètre concernant chaque indicateur	27
Tableau II. 2 : Corrélacion des paramètres avec les axes.....	28
Tableau II. 3 : Matrice de comparaison relative à la consommation de l'énergie.....	28
Tableau II. 4 : Pondération des paramètres de l'énergie.	28
Tableau II. 5 : Corrélacion des paramètres avec les axes.....	29
Tableau II. 6 : Matrice de comparaison relative à la consommation de l'énergie.....	30
Tableau II. 7 : Pondération des paramètres de l'énergie.	30
Tableau II. 8 : Corrélacion des paramètres avec les axes.....	31
Tableau II. 9 : Corrélacion des paramètres avec les axes.....	32
Tableau II. 10 : Matrice de comparaison relative à la consommation de l'énergie.....	32
Tableau II. 11 : Pondération des paramètres de l'énergie.	33
Tableau II. 12 : Matrice de comparaison relative à l'indicateur du respect des normes de rejet.	34
Tableau II. 13 : Pondération des paramètres du respect des normes de rejet.....	35
Tableau III. 1 : Notation proposée pour les indicateurs élaborés.....	37
Tableau III. 2 : Intervalles de notation des MES.....	38
Tableau III. 3 : Intervalles de notation de la DCO.	38
Tableau III. 4 : Intervalles de notation de la DBO5.	38
Tableau III. 5 : Intervalles de notation de l'NH4.	38
Tableau III. 6 : Intervalles de notation du PO4.	39
Tableau III. 7 : Intervalles de notation des paramètres de rejet.....	39
Tableau III. 8 : Indicateur de performance de chaque année.....	42
Tableau III. 9 : Les meilleures observations de la STEP.....	43
Tableau III. 10 : Indicateur de performance de chaque année.....	44
Tableau III. 11 : Les meilleures observations de la STEP.....	44
Tableau III. 12 : Indicateur de performance de chaque année.....	45
Tableau III. 13 : Les meilleures observations de la STEP.....	46

Liste des figures

Figure I. 1 : Structure hiérarchique d'un problème selon la méthode AHP.	13
Figure I. 2 : Organigramme présentant les différents niveaux de la hiérarchie pour la STEP de Jijel.....	14
Figure I. 3 : Variation des indicateurs de performance durant la période étudiée.....	25
Figure II. 1 : Pondération de chaque paramètre pour les deux stations et les données cumulées, pour l'indicateur de la consommation de l'énergie.	33
Figure III. 1 : Validation graphique de l'indicateur généralisé pour la STEP de Jijel.	40
Figure III. 2 : Validation graphique de l'indicateur généralisé pour la STEP de Boumèrdès. .	41
Figure III. 3 : Variation de l'indicateur à l'échelle journalière.	42
Figure III. 4 : Variation de l'indicateur à l'échelle journalière.	43
Figure III. 5 : Variation de l'indicateur à l'échelle journalière.	45

Liste des Equations

<u>Equation (1)</u>	15
<u>Equation (2)</u>	15

INTRODUCTION GENERALE

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

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

L'objectif de mon mémoire de fin d'études était l'élaboration des indicateurs de performance pour la STEP de Jijel dans le but d'aider les gérants de celle-ci dans le jugement du fonctionnement et des prises de décisions afin qu'ils puissent atteindre les objectifs les plus performants, pour cela, on a élaboré deux indicateurs de performance, le 1^{er} consistait à juger le fonctionnement de la STEP du côté de la consommation de l'énergie, le 2^{ème} consistait à la juger du côté du respect des normes de rejet vers le milieu naturel.

La 1^{ère} partie de ce travail du Master va synthétiser mon PFE afin d'avoir une idée sur les étapes de travail des indicateurs élaborés, et ensuite dans la 2^{ème} partie réélaborer ces indicateurs de performance pour chaque station: Jijel, Boumèrdès , Tipaza, et enfin, dans une 3^{ème} partie, élaborer des indicateurs de performance, en utilisant les données de plusieurs stations ensemble, afin de les généraliser aux autres stations avec une présentation et comparaison des résultats obtenus pour chaque station, et une conclusion générale qui résumer le travail.

Chapitre 1 : Synthèse du projet de fin d'études

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 performante et 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 : deux indicateurs de performance qui ont été élaborés lors de mon PFE pour la STEP de Jijel.

Le 1^{er} indicateur concerne la consommation de l'énergie et le 2^{ème} concerne le respect des normes de rejet vers le milieu externe.

Les objectifs des deux indicateurs peuvent être :

- Un contrôle et une auto-surveillance de la STEP et de son fonctionnement.
- 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 « la méthode d'hierarchie analytique (AHP) » et « l'analyse en composantes principales » avec lesquelles on a pu développer les deux indicateurs.

I.2. ELABORATION DES DEUX INDICATEURS

Pour l'élaboration des deux indicateurs, on s'est basé sur les deux méthodes qui vont être expliquées dans ce qui suit :

I.2.1. L'AHP

La procédure selon la méthode AHP comporte cinq étapes : [8]

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

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

Etape 3 : Déterminer les priorités. (Les poids)

Etape 4 : Évaluer la cohérence des jugements.

Etape 5 : Calculer le « poids » final.

Commençons par la 1^{ère} étape :

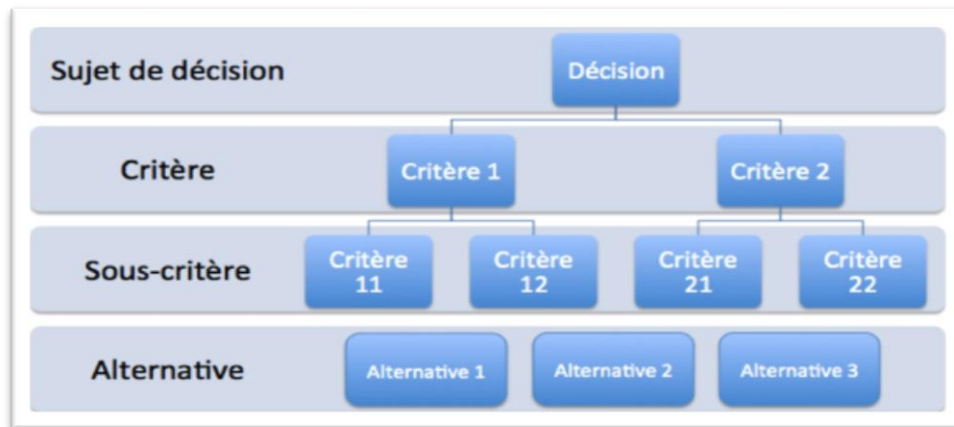


Figure I. 1 : Structure hiérarchique d'un problème selon la méthode AHP.

Dans notre cas pour la station de Jijel, la hiérarchie a été faite de la façon suivante :

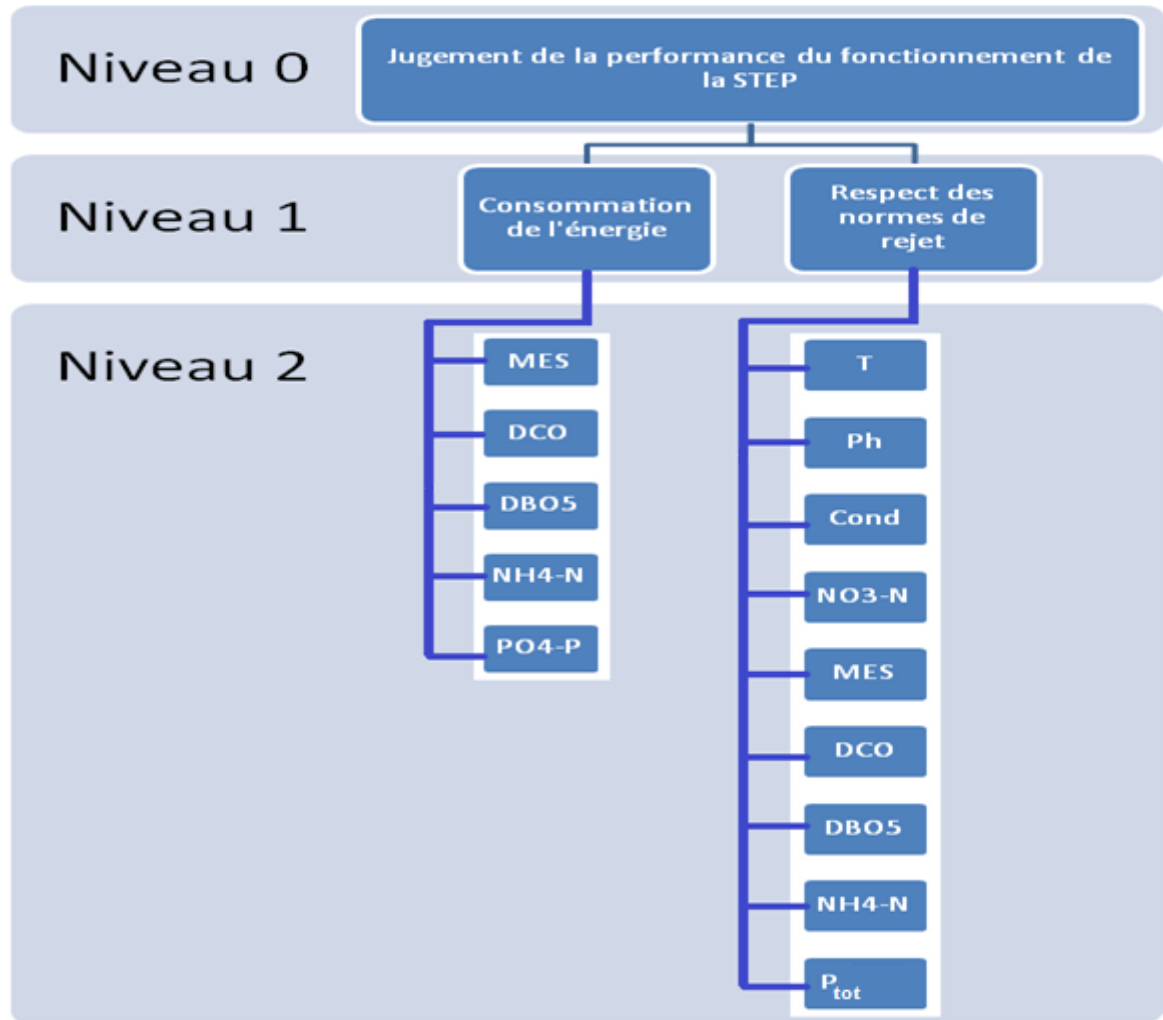


Figure I. 2 : Organigramme présentant les différents niveaux de la hiérarchie pour la STEP de Jijel.

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

Pour ce faire, l'évaluation de l'importance relative de chaque élément par rapport à un autre élément du même niveau se fait en comparant deux à deux ces derniers contribuant ainsi à la réalisation du niveau supérieur adjacent. Il faut donc choisir une échelle de valeurs pour spécifier le degré d'importance d'un élément par rapport à un autre. L'échelle de valeur (1 à 9) est adoptée.[4]

Cette échelle de valeur permet au décideur d'incorporer sa subjectivité, de contribuer par son expérience et ses connaissances lors de la détermination des importances relatives des

éléments pour chaque niveau. Le choix de cette échelle repose sur notre capacité naturelle à établir des distinctions dans la force des relations qui existent entre les éléments.

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

Tableau I. 1 : Echelle de jugement.[4]

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

La matrice de Jugement qui compare les éléments l'un à l'autre et qui à la base du calcul des pondérations va être formé en se basant sur ce tableau.

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

Le tableau suivant présente la matrice carrée de jugement :

Tableau I. 2 : La matrice de jugement relatif à un niveau.[4]

Critères	C ₁	C ₂	C ₃	...	C _m
C ₁	1	b ₁₂	b ₁₃	...	b _{1m}
C ₂	1/b ₁₂	1	b ₂₃	...	b _{2m}
C ₃	1/b ₁₃	1/b ₂₃	1	...	b _{3m}
...	1	...
C _m	1/b _{1m}	1/b _{2m}	1/b _{3m}	...	1

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 λ de la matrice des jugements.

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

- Résoudre l'équation $\det [M - \lambda I] = 0$ et déterminer les valeurs propres de la matrice M . Avec \det (déterminant).
- Calculer le vecteur propre V relatif à la plus grande valeur propre : λ_{\max} .

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

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

- Normaliser la matrice de jugement par colonne en divisant chaque élément d'une colonne par la somme des éléments de cette même colonne.
- Calculer la moyenne arithmétique des nombres sur chaque ligne de la matrice normalisée obtenue précédemment.

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

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

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

L'indice de cohérence CI d'une matrice n x n est:

$$RC = IC / RI \dots\dots\dots Eq (1)$$

Avec :

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

Tableau I. 3: Indice aléatoire élaboré par Saaty.[4]

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

- **IC, Index de Cohérence** : il représente le niveau de fiabilité de notre jugement.
- **RC, Ration de Cohérence** : En divisant IC par RI, on compare donc notre fiabilité réelle avec une fiabilité théorique.

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

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

$$IC = (\lambda_{max} - n) / (n- 1) \dots\dots\dots Eq (2)$$

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

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

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

1.2.2. L'ACP

La méthode d'ACP a été utilisée en tant qu'outil de détermination de l'ordre d'importance du rabattement de chaque paramètre dans la consommation de l'énergie, les résultats des corrélations des paramètres de la pollution avec le 1^{er} axe et avec l'énergie consommée qui est elle-même corrélée avec le 1^{er} axe, ont aidé à donner cette ordre d'importance afin de former une matrice de comparaison, cette dernière qui concerne la méthode d'AHP et qui donne les résultats des pondérations de chaque paramètre.

Les résultats de l'ACP varient selon chaque STEP, mais généralement, l'ordre d'importance reste pratiquement le même et les pondérations obtenues sont très proches pour les différentes stations, ce qui va être justifié dans les autres chapitres.

Pour les pondérations de l'indicateur du respect des normes de rejets, le même ordre d'importance des paramètres utilisé dans le PFE va être gardé dans le master vu que ce dernier ne dépend pas des données de la STEP mais de l'importance des paramètres eux-même.

Les résultats obtenus pour la STEP de Jijel vont être présentés dans les chapitres suivants, en éliminant le PO4-P qui est jugé moins participant à la consommation de l'énergie, et en éliminant la Cond qui est une donnée non disponible dans les autres stations étudiées.

La méthode de l'ACP est résumée dans les points suivants :

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

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

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

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

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

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

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

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

A la plus grande des valeurs propres est associé le 1^{er} axe, à la seconde valeur propre est associé le 2^{ème} axe etc.

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

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

→ Inertie totale = $\text{tr } C = p$

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

Par ailleurs, on montre également que :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

La coordonnée de la variable initiale j sur l'axe i est donnée par la formule suivante :

$$\text{coord}(j,i) = (\lambda_i)^{1/2} \cdot U_{j,i}$$

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

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

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

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

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

8- Selon un procédé identique, il est également possible de calculer les coordonnées factorielles des individus sur les axes. La projection de ces coordonnées dans les plans à deux dimensions permet de mettre en évidence les groupes d'individus qui présentent des comportements de même type, donc des distances peu éloignées.[7]

I.3. RESULTATS DU TRAVAIL DU PFE

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

Tableau I. 4: Paramètres de pollution disponibles.

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

On a du trouver l'apport de chaque paramètre de pollution éliminé dans la consommation de l'énergie, On a éliminé quelques paramètres :

- Le Ntot, qui peut fausser la procédure vu que cette donnée engendre les différentes formes de l'azote (Norg, NH4-N, NO3-N...), donc elle ne représente pas vraiment l'élimination ou l'apparition d'une forme azotée.
- Le NO3-N, qui est la forme la plus oxydée de l'azote, son augmentation représente souvent un excès d'énergie et une mauvaise gestion de l'aération dans le bassin d'aération, ce qui rend la consommation d'énergie non représentative de la pollution éliminée (une énergie en excès non justifiée).
- Le Ptot, dans le but d'éviter la redondance de l'information, le paramètre PO4-P qui est le plus ciblé, pourra justifier la consommation de l'énergie pour la pollution phosphorée.

On a gardé donc 5 paramètres :

Tableau I. 5 : Les paramètres de pollution ciblés pour l'énergie.

Les paramètres Utilisés
MES
DCO
DBO5
NH4-N
PO4-P

Après avoir appliqué l'ACP sur les données de ces cinq paramètres, le classement des cinq paramètres a suivi leur corrélation, il est représenté dans le tableau suivant :

Tableau I. 6 : Ordre d'importance des paramètres.

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

En exploitant l'ordre d'importance ci-dessus, on a construis la matrice de comparaison de la méthode AHP :

Tableau I. 7: Matrice de jugement relative au critère de la consommation de l'énergie.

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

Après avoir traité la matrice sur Excel par la méthode mentionnée précédemment, on a obtenu les pondérations suivantes :

Tableau I. 8 : Pondération des paramètres de l'énergie.

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

Dans le cas du respect des normes de rejet, un avis d'expert est exigé pour comparer les paramètres l'un par rapport à l'autre et faire notre matrice de jugement, ces comparaisons entre les paramètres et leurs importances peuvent varier selon la destination de l'eau épurée (Mer, irrigation, ...).

Tableau I. 9 : Matrice de jugement relative au critère du respect des normes de rejet.

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

On a eu les pondérations suivantes :

Tableau I. 10 : Pondération des paramètres de rejet.

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

Le système de notation utilisé dans ce PFE se diffère à celui qui va être utilisé dans ce mémoire du Master.

Dans le PFE, la notation de l'énergie varie d'une façon à donner une bonne note aux concentrations qui s'approche ou dépasse la norme de rejet, vu que l'énergie est moins consommée si le traitement est moins, d'un autre coté, la notation du rejet aussi varie d'une façon à donner une bonne note aux concentrations qui sont au dessous de la norme de rejet.

Le calcul des notes finales pour toutes les observations dans la STEP de Jijel, en utilisant le système notations mentionnée au dessus et les pondérations obtenues, a donnée les résultats suivants :

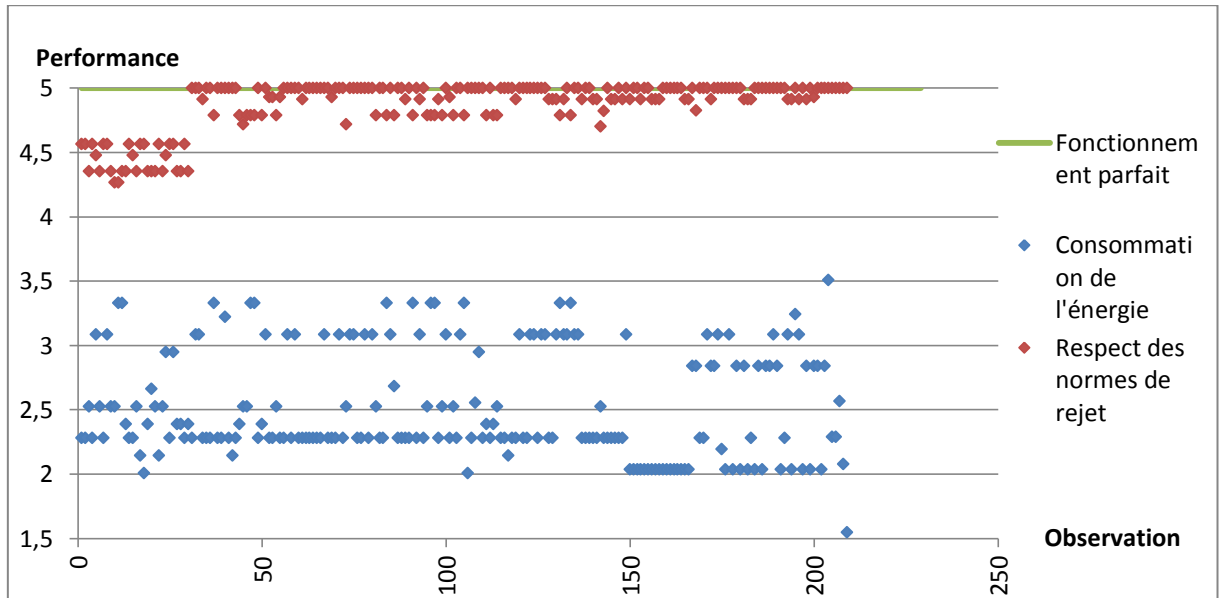


Figure I. 3 : Variation des indicateurs de performance durant la période étudiée.

Les valeurs des deux indicateurs de performance à l'échelle journalière varient entre 2 et 3,5 pour l'indicateur de la consommation de l'énergie, et entre 4 et 5 pour le deuxième indicateur. Cette observation du fonctionnement de la STEP à l'échelle journalier a permis de conclure que cette STEP ne fonctionne pas d'une façon performante en ce qui concerne la consommation de l'énergie (des mauvaises notes de l'indicateur de l'énergie), contrairement au respect des normes de rejet, et donc ne prend pas en considération la notion de l'optimisation et de l'économie de l'énergie.

**Chapitre 2 : Elaboration des indicateurs de
performance pour les STEP de Jijel,
Boumerdes, Tipaza, ainsi que des indicateurs
généralisés**

II.1. STEP DE JIJEL

Après avoir élaboré les deux indicateurs de performance pour la STEP de Jijel, on a décidé d'effectuer quelques changements.

Vu la non disponibilité du paramètre de conductivité dans les autres stations, et pour pouvoir généraliser l'étude aux autres stations et pouvoir comparer entre elles par la suite, celui-ci a été éliminé de l'étude.

On dispose donc de 186 observations dont les paramètres suivants sont tous mesurés :

Tableau II. 1 : Paramètre concernant chaque indicateur.

Consommation de l'énergie	Respect des normes de rejet
MES	T
DCO	Ph
DBO5	DBO5
NH4-N	MES
PO4-P	DCO
	NH4-N
	NO3-N
	Ptot

Toutes les observations qui présentent un excès en NO₃ (> 2mg/l) ont été éliminées pour avoir une analyse représentative de la consommation de l'énergie (une énergie consommée en vue de dépolluer l'eau et non en excès).

II.1.1. RESULTATS DE L'ACP

L'application de l'ACP sur le rabattement des paramètres de la pollution par jour et l'énergie consommée par jour a données les résultats suivants :

Tableau II. 2 : Corrélation des paramètres avec les axes.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MES Ra	0,7568	0,1853	-0,4526	0,0942	0,4226	0,0225
DBO5 Ra	0,8561	0,1688	-0,1805	-0,2724	-0,2183	-0,2902
DCO Ra	0,8874	-0,0401	-0,0338	-0,2748	-0,1739	0,3225
NH4 Ra	0,5100	0,6434	0,5310	0,2088	0,0130	0,0156
PO4 Ra	0,7159	-0,3578	-0,0798	0,5610	-0,1951	-0,0163
Energie	0,6255	-0,5133	0,5010	-0,1635	0,2467	-0,0816

Selon la méthode utilisée dans le PFE, et selon les résultats obtenus de l'ACP, le Tableau II.2 va définir l'ordre d'importance de chaque paramètre dans la consommation de l'énergie en vue de former la matrice de comparaison de la méthode AHP.

II.1.2. APPLICATION DE L'AHP

Selon les résultats de l'ACP, la matrice de comparaison selon l'échelle de Saaty est la suivante :

Tableau II. 3 : Matrice de comparaison relative à la consommation de l'énergie.

	MES	DBO5	DCO	NH4	PO4
MES	1	1/3	1/4	5	2
DBO5	3	1	1/2	7	4
DCO	4	2	1	8	5
NH4	1/5	1/7	1/8	1	1/4
PO4	1/2	1/4	1/5	4	1

Par conséquent, selon la méthode d'AHP, les pondérations sont les suivantes :

Tableau II. 4 : Pondérations des paramètres de l'énergie.

Paramètre	Pondération
MES	0,14
DBO5	0,29
DCO	0,44
NH4	0,04
PO4	0,09

Les pondérations obtenues ont changé par rapport aux pondérations obtenus dans le PFE, ceci est dû à l'élimination de quelques autres observations, par conséquent, le travail va suivre les nouvelles pondérations.

On calcule le ratio de cohérence :

De l'équation (1) et (2), on a :

$$CI = 0,045$$

$$\text{Pour } n = 5, RI = 1,12$$

$$RC = 0,0402 = 4,02\% < 10\%$$

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

II.2. STEP DE BOUMERDES

On dispose de 309 observations dont tous les paramètres sont mesurés.

II.2.1. RESULTATS DE L'ACP

L'application de l'ACP sur le rabattement des paramètres de la pollution par jour et l'énergie consommée par jour pour la station de Boumerdes a exigé d'éliminer toutes les observations qui présentent un excès en NO₃ (> 2mg/l), il nous reste 150 observation à exploiter. Les résultats sont les suivants :

Tableau II. 5 : Corrélation des paramètres avec les axes.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MES Ra	0,6953	0,3920	-0,2346	-0,1989	-0,4714	0,2145
DBO5 Ra	0,6417	-0,2302	0,0223	0,6315	-0,2073	-0,3049
DCO Ra	0,7867	-0,2035	0,1030	0,2051	0,3428	0,4116
NH4 Ra	0,3989	-0,4034	0,6568	-0,4670	-0,1416	-0,0936
PO4 Ra	0,4371	0,7672	0,3149	-0,0277	0,2677	-0,2208
Energie	0,5715	-0,2435	-0,5805	-0,4023	0,2284	-0,2510

Selon la même méthode utilisée auparavant, et selon les résultats obtenus de l'ACP, le Tableau II. 5 va définir l'ordre d'importance de chaque paramètre dans la consommation de l'énergie en vu de former la matrice de comparaison de la méthode AHP.

II.2.2. APPLICATION DE L’AHP

D’après les résultats de l’ACP, la matrice de comparaison selon l’échelle de Saaty est la suivante :

Tableau II. 6 : Matrice de comparaison relative à la consommation de l’énergie.

	MES	DBO5	DCO	NH4	PO4
MES	1	2	1/3	6	5
DBO5	1/2	1	1/4	5	4
DCO	3	4	1	8	7
NH4	1/6	1/5	1/8	1	1/2
PO4	1/5	1/4	1/7	2	1

Tableau II. 7 : Pondération des paramètres de l’énergie.

Paramètre	Pondération
MES	0,24
DBO5	0,17
DCO	0,49
NH4	0,04
PO4	0,06

On calcule le ratio de cohérence de la même façon:

$$CI = 0,0425$$

$$\text{Pour } n = 5, RI = 1,12$$

$$RC = 0,0379 = 3,79\% < 10\%$$

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

II.3. STEP DE TIPAZA

On dispose de 132 observations dont tous les paramètres sont mesurés.

II.3.1. RESULTATS DE L'ACP

L'application de l'ACP sur le rabattement des paramètres de la pollution par jour et l'énergie consommée par jour pour la station de Tipaza a exigé aussi d'éliminer toutes les observations qui présentent un excès en NO₃, par contre, cette fois, les résultats obtenus ne sont pas exploitable vu de la diminution du nombre des observations ce qui a permis aux fluctuations présentes à l'échelle journalière de fausser les résultats et de les rendre non exploitables.

Le tableau de corrélations des paramètres avec les axes n'a pas donné une information sur l'ordre d'importance du rabattement des paramètres de la pollution dans la consommation de l'énergie, l'énergie est corrélée avec le 1^{er} axe négativement, physiquement non explicable. Ces résultats nous ont fait un obstacle dans le calcul des poids en utilisant la méthode AHP, par contre, par exemple pour le 2eme axe, l'énergie est corrélée positivement avec celui-ci, mais le problème se pose toujours pour les corrélations des autres paramètres qui sont faibles et non claires (non explicable).

Tableau II. 8 : Corrélation des paramètres avec les axes.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MES Ra	0,4388	0,6141	-0,4684	0,3841	-0,2436	0,0630
DBO5 Ra	0,6631	0,1569	0,6687	0,0103	-0,1177	0,2732
DCO Ra	0,8106	-0,0387	-0,0255	-0,4496	-0,2636	-0,2630
NH4 Ra	0,7696	-0,1729	0,1788	0,4750	0,2546	-0,2353
PO4 Ra	0,7612	-0,1065	-0,4316	-0,2736	0,3150	0,2211
Energie	-0,1421	0,9015	0,1849	-0,2240	0,2612	-0,1208

II.4. ELABORATION DES INDICATEURS GENERALISES

Les mêmes procédures vont être utilisées pour l'élaboration des deux indicateurs de performances, mais cette fois ci en utilisant les données des deux stations (Jijel et Boumèrdès) comme une seule série de données. Les mêmes étapes appelées précédemment vont être suivies, et les deux indicateurs obtenus seront par la suite vérifiés et utilisés pour toutes les autres stations.

On a commencé par cumuler les données des deux STEP, Jijel et Boumèrdès ce qui a permis d'avoir 336 observations.

II.4.1. RESULTATS DE L'ACP

Toute observation qui présente une augmentation dans le paramètre NO₃ (> 2mg/l) a été éliminée auparavant pour assurer que la pollution rabattue représente une énergie non consommée en excès (excès d'aération = présence de NO₃). Les résultats sont les suivants :

Tableau II. 9 : Corrélation des paramètres avec les axes.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MES Ra	0,6911	0,3433	-0,2196	-0,3000	0,5139	0,0476
DBO5 Ra	0,7758	-0,1179	0,0208	0,5598	0,1588	-0,2128
DCO Ra	0,8627	-0,1926	0,0015	0,0800	-0,2155	0,4072
NH4 Ra	0,3684	0,2992	0,8669	-0,1354	-0,0431	-0,0551
PO4 Ra	0,3306	0,7976	-0,3103	0,0255	-0,3842	-0,0999
Energie	0,6633	-0,5330	-0,1243	-0,3837	-0,2254	-0,2499

Selon ces résultats, l'ordre d'importance de chaque paramètre dans la consommation de l'énergie en vue de former la matrice de comparaison de la méthode AHP est établi.

II.4.2. APPLICATION DE L'AHP

D'après les résultats de l'ACP, la matrice de comparaison selon l'échelle de Saaty est la suivante :

Tableau II. 10 : Matrice de comparaison relative à la consommation de l'énergie.

	MES	DBO5	DCO	NH4	PO4
MES	1	1/3	1/5	4	5
DBO5	3	1	1/3	7	8
DCO	5	3	1	8	9
NH4	1/4	1/7	1/8	1	2
PO4	1/5	1/8	1/9	1/2	1

Tableau II. 11 : Pondération des paramètres de l'énergie.

Paramètre	Pondération
MES	0,14
DBO5	0,28
DCO	0,50
NH4	0,05
PO4	0,04

On calcule le ratio de cohérence de la même façon :

$$CI = 0,0675$$

$$\text{Pour } n = 5, RI = 1,12$$

$$RC = 0,0603 = 6,03\% < 10\%$$

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

En comparant les résultats obtenus des pondérations, pour le calcul de l'indicateurs de l'énergie, des deux stations chacune à part, et des données cumulées des deux stations, on trouve ce qui suit :

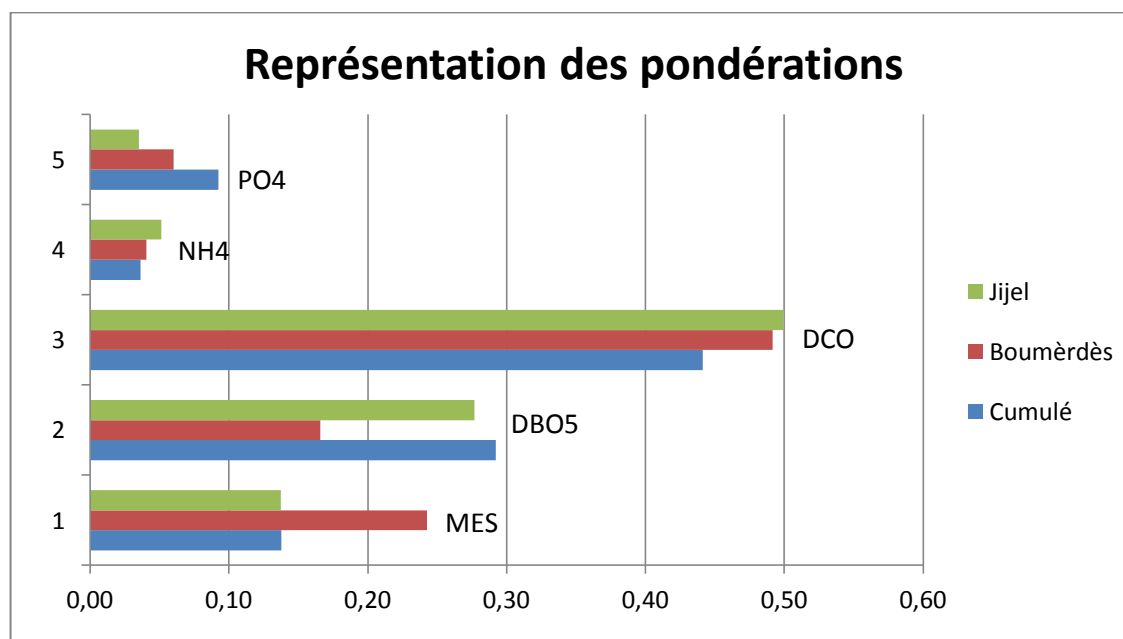


Figure II. 1 : Pondération de chaque paramètre pour les deux stations et les données cumulées, pour l'indicateur de la consommation de l'énergie.

Les résultats des pondérations obtenus pour les deux stations, ainsi que pour les données cumulées des deux stations sont pratiquement proches ce qui va permettre un rapprochement des notes dans les trois cas, ceci sera vérifié dans le 3^{ème} chapitre.

II.5. ELABORATION DE L'INDICATEUR DU RESPECT DES NORMES DE REJET

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

Dans notre cas, en comparant en utilisant l'échelle de comparaison de Saaty, la matrice suivante a été formée :

Tableau II. 12 : Matrice de comparaison relative à l'indicateur du respect des normes de rejet.

	Ph	T	MES	DBO5	DCO	NH4	NO3	PO4
Ph	1	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3
T	1	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3
MES	5	5	1	1	1	3	3	3
DBO5	5	5	1	1	1	3	3	3
DCO	5	5	1	1	1	3	3	3
NH4	3	3	1/3	1/3	1/3	1	1	1
NO3	3	3	1/3	1/3	1/3	1	1	1
PO4	3	3	1/3	1/3	1/3	1	1	1

Les pondérations suivantes ont été trouvées :

Tableau II. 13 : Pondération des paramètres du respect des normes de rejet.

Paramètre	Pondération
Ph	0,04
T	0,04
MES	0,22
DBO5	0,22
DCO	0,22
NH4	0,09
NO3	0,09
PO4	0,09

On calcule le ratio de cohérence de la même façon:

$$CI = 0.0117$$

$$\text{Pour } n = 8, RI = 1,32$$

$$RC = 0,0089 = 0,89\% < 10\%$$

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

Remarque : Les pondérations obtenues pour l'indicateur du respect des normes de rejets sont valables pour toutes les stations, vu qu'elles ne dépendent pas des valeurs des mesures dans la station, mais de la gestion de cette dernière.

II.6. CONCLUSION

Le traitement de données des deux stations, Jijel et Boumerdes a permis, en utilisant la méthode d'ACP et d'AHP, de calculer à la fin les pondérations de chaque station, ces pondérations ont constitué la base du calcul des notes de l'indicateur de la consommation de l'énergie de chaque station.

Les pondérations trouvées pour les deux stations et pour la série cumulée des données sont pratiquement proches, ce qui implique un rapprochement des notations.

La station de Tipaza a présenté un problème d'analyse de ses données, pour cela, celles-ci ont été seulement utilisées pour faire son diagnostic.

**Chapitre 3 : Validations des indicateurs
généralisés, application pour les trois STEP et
discussion des résultats**

III.1. INTRODUCTION

La validation des deux indicateurs élaborés à partir des données cumulées des deux STEP, Jijel et Boumerdes avant leur application sur d'autre station est primordiale, pour cela, on a comparé les résultats de l'indicateur de la consommation de l'énergie pour chaque station en utilisant leur propre pondération avec les résultats en utilisant les pondérations obtenues des données cumulées.

III.2. SYSTEME DE NOTATION

Le système de notation attribué aux trois stations, Jijel, Tipaza et Boumèrdès est différent à celui proposé dans le PFE de telle façon à rendre les notations plus représentative

Une notation de 0 à 5 a été proposé :

Tableau III. 1 : Notation proposée pour les indicateurs élaborés.

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

III.2.1. NOTATION DE LA CONSOMMATION DE L'ENERGIE

On a utilisé une méthode qui se base sur l'évolution des paramètres de la pollution à la sortie de la STEP durant le temps, cette évolution a permis d'observer l'abattement de la pollution par rapport à la norme de rejet de chaque paramètre, la procédure est bien expliquée dans le PFE, mais cette fois ci, la note de la consommation de l'énergie tend à diminuer si la norme de rejet est très mal respectée (donner une mauvaise note de l'énergie à cause du non respect des normes de rejet en vu de pénaliser), notamment aussi pour la note du respect des normes de rejet qui tend à diminuer si la norme est trop respectée (donner une mauvaise note du respect des normes de rejet à cause de l'excès de la consommation de l'énergie rejet en vu de pénaliser).

La nouvelle notation va nous permettre de bien observer les meilleures expériences parmi toutes les observations disponibles.

Les tableaux suivants représentent les différents systèmes de notations pour les différents paramètres :

Tableau III. 2 : Intervalles de notation des MES.

C (mg/l)	Note
50 <	1
40 < <= 50	3
20 < <= 40	5
10 < <= 20	3
0 < <= 10	1

Tableau III. 3 : Intervalles de notation de la DCO.

C (mg/l)	Note
140 <	1
120 < <= 140	3
80 < <= 120	5
60 < <= 80	3
0 < <= 60	1

Tableau III. 4 : Intervalles de notation de la DBO5.

C (mg/l)	Note
40 <	1
30 < <= 40	3
20 < <= 30	5
10 < <= 20	3
0 < <= 10	1

Tableau III. 5 : Intervalles de notation de l'NH4.

C (mg/l)	Note
12 <	1
10 < <= 12	3
6 < <= 10	5
4 < <= 6	3
0 < <= 4	1

Tableau III. 6 : Intervalles de notation du PO4.

C (mg/l)	Note
12 <	1
10 < <= 12	3
6 < <= 10	5
4 < <= 6	3
0 < <= 4	1

III.2.2. NOTATION DU RESPECT DES NORMES DE REJET

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

Tableau III. 7 : Intervalles de notation des paramètres de rejet.

Paramètre / Note	0	3	4	5
T (c°)	T > 35	35 < T <= 30	/	T <= 30
Ph	Ph > 9,5	8,5 < Ph <= 9,5 ou 5,5 < Ph < 6,5	/	6,5 <= Ph <= 8,5
MES (mg/l)	C > 50 ou C <= 20	45 < C <= 50 ou 20 < C <= 25	40 < C <= 45 ou 25 < C <= 30	40 < C < 30
DBO5 (mg/l)	C > 40 ou C <= 10	35 < C <= 40 ou 10 < C <= 15	30 < C <= 35 ou 15 < C <= 20	20 < C < 30
DCO (mg/l)	C > 140 ou C <= 60	130 < C <= 140 ou 60 < C <= 70	120 < C <= 130 ou 70 < C <= 80	80 < C < 120
NH4-N (mg/l)	C > 14 ou C <= 4	12 < C <= 14 ou 4 < C <= 6	10 < C <= 12 ou 6 < C <= 8	8 < C < 10
NO3-N (mg/l)	C > 55 ou C <= 15	50 < C <= 55 ou 15 < C <= 20	40 < C <= 50 ou 20 < C <= 30	30 < C < 40
PO4 (mg/l)	C > 14 ou C <= 4	12 < C <= 14 ou 4 < C <= 6	10 < C <= 12 ou 6 < C <= 8	8 < C < 10

III.3. COMPARAISON DES RESULTATS

Après avoir calculé les différentes pondérations et après avoir fixé un système de notation pour chaque paramètre, le calcul des notes des indicateurs a suivi les mêmes procédures utilisées dans le PFE en calculant des moyennes pondérées des notes selon les pondérations trouvées.

Afin de valider les résultats des notes de l'indicateur de performance de la consommation de l'énergie de la STEP de Jijel et de la STEP de Boumèrdès, on les a comparé avec ceux calculés en utilisant les pondérations de la série des données cumulées. Les figures suivantes représentent la validation graphique des notes de l'indicateur de l'énergie pour les deux stations :

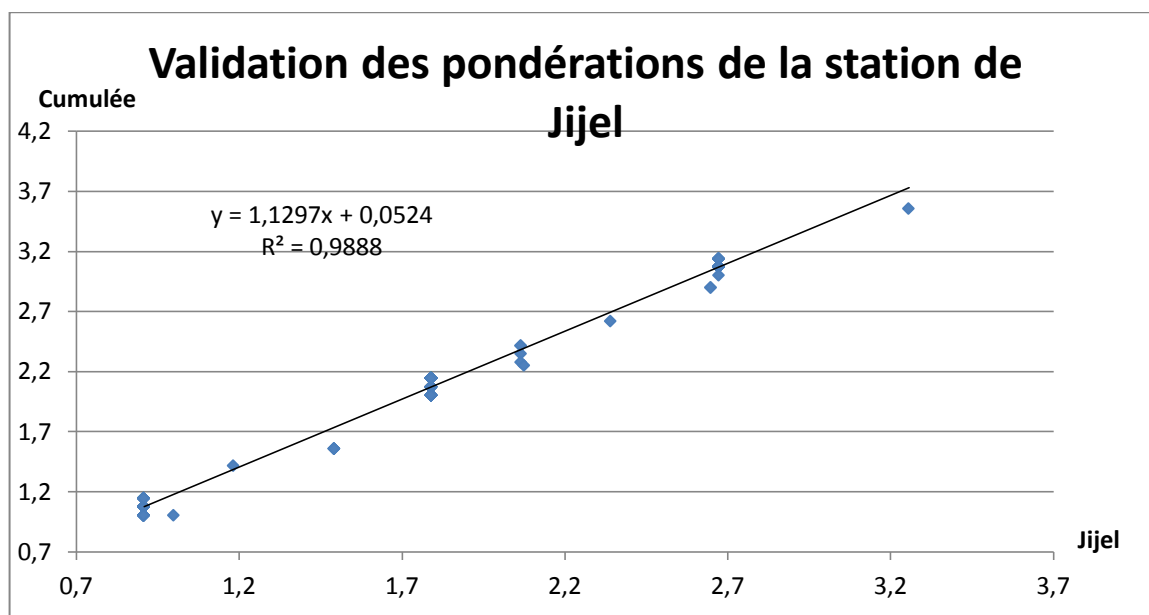


Figure III. 1 : Validation graphique de l'indicateur généralisé pour la STEP de Jijel.

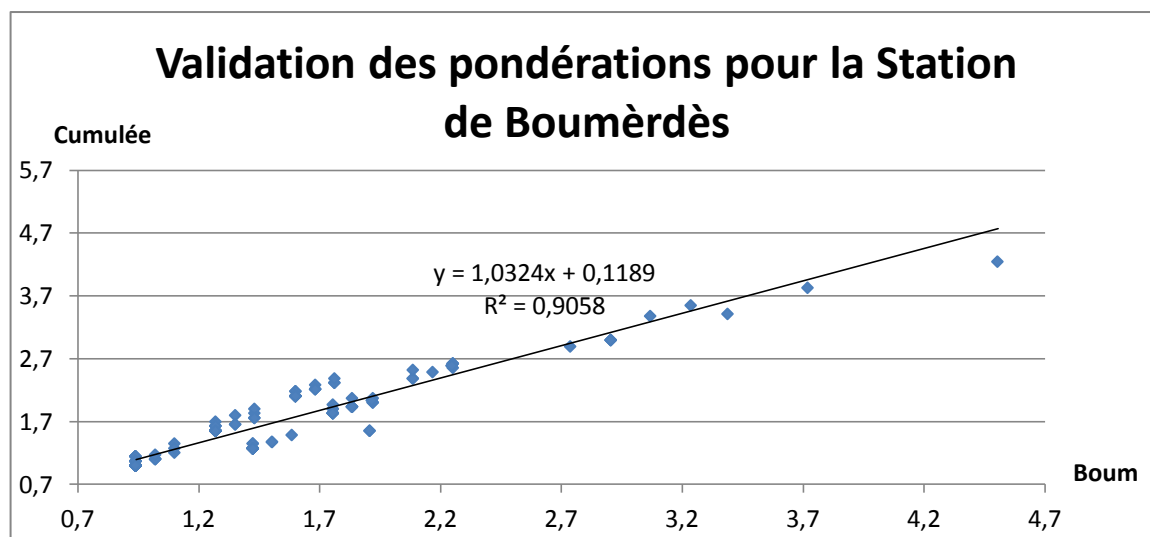


Figure III. 2 : Validation graphique de l'indicateur généralisé pour la STEP de Boumèrdès.

Selon les deux figures représentées ci-dessus, l'indicateur de performance basé sur les pondérations faites à partir des données cumulées des deux STEP de Jijel et de Boumèrdès est représentatif et peut être utilisé pour les deux stations au lieu de refaire le travail d'élaboration pour chaque station à part.

Les deux courbes de tendance sont trop proches de la bissectrice, avec des équations très acceptables, ce qui implique que les notes de l'indicateurs généralisé s'ajustent vraiment les notes de chaque stations à part.

Enfin, les résultats obtenus confirment le rapprochement des valeurs des pondérations trouvées auparavant.

III.4. APPLICATION POUR LES TROIS STATIONS

Afin de faire un diagnostic des trois stations d'épurations étudiées, on a appliqué l'indicateur trouvé, qui est jugé représentatif et généralisé. On a eu les résultats suivants :

III.4.1 STEP DE JIJEL

La figure suivante représente la variation à l'échelle journalière de l'indicateur de performance de la STEP de Jijel :

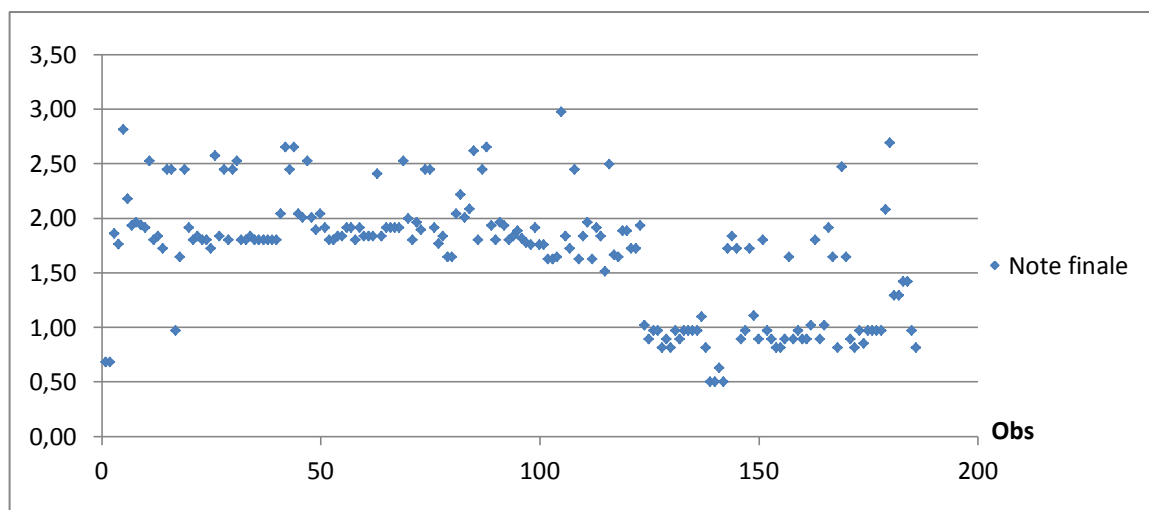


Figure III. 3 : Variation de l'indicateur à l'échelle journalière.

Les valeurs de l'indicateur de performance à l'échelle journalière varient entre 0,5 et 3 avec quelques exceptions, ce qui a permis de conclure que cette STEP ne fonctionne pas d'une façon performante et ne prend pas en considération la notion de l'optimisation et de l'économie de l'énergie.

Le tableau suivant représente les notes de l'indicateur de performance de la STEP de Jijel à l'échelle annuelle :

Tableau III. 8 : Indicateur de performance de chaque année.

Année	Note
2008	1,92
2009	1,65
2010	1,26

Les résultats à l'échelle annuelle représentent toujours des faibles notes de l'indicateur comme l'indique la représentation graphique à l'échelle journalière.

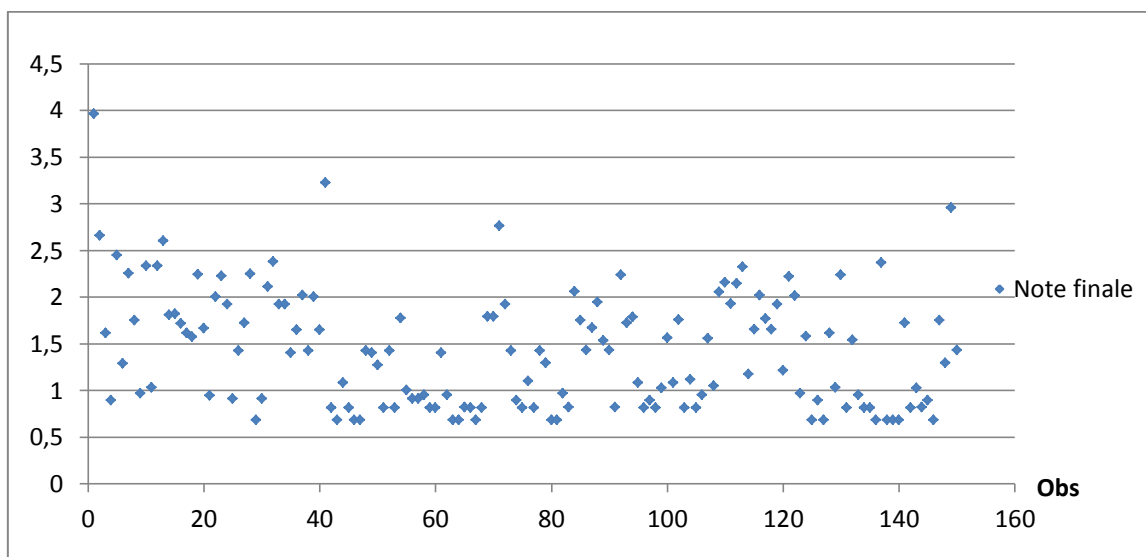
Le tableau suivant représente les meilleures observations de la STEP de Jijel et qui dépassent la note de 2,5 / 5 :

Tableau III. 9 : Les meilleures observations de la STEP.

Date	Note
mercredi 12 novembre 2008	2,81
mardi 2 décembre 2008	2,52
samedi 20 décembre 2008	2,58
jeudi 25 décembre 2008	2,52
samedi 7 février 2009	2,65
lundi 16 février 2009	2,65
mardi 24 février 2009	2,52
jeudi 26 mars 2009	2,52
mercredi 22 avril 2009	2,62
samedi 25 avril 2009	2,65
dimanche 24 mai 2009	2,98
mercredi 12 mai 2010	2,69

III.4.2 STEP DE BOUMERDES

La figure suivante représente la variation à l'échelle journalière de l'indicateur de performance de la STEP de Boumèrdès :

**Figure III. 4** : Variation de l'indicateur à l'échelle journalière.

Les valeurs de l'indicateur de performance à l'échelle journalière varient entre 0,5 et 4, ceci a permis de conclure que cette STEP fonctionne d'une façon non stable pratiquement proche du fonctionnement de celle de Jijel.

Le tableau suivant représente les notes de l'indicateur de performance de la STEP de Boumèrdès à l'échelle annuelle :

Tableau III. 10 : Indicateur de performance de chaque année.

Année	Note
2007	1,95
2008	1,61
2009	1,63
2010	1,04
2011	1,28
2012	1,58
2013	1,10
2014	1,01
2015	1,50

Les résultats à l'échelle annuelle représentent aussi des faibles notes de l'indicateur ce qui justifie toujours un mauvais fonctionnement de la STEP comme l'indique la représentation graphique à l'échelle journalière.

Le tableau suivant représente les meilleures observations de la STEP de Boumèrdès et qui dépassent la note de 2,5 / 5 :

Tableau III. 11 : Les meilleures observations de la STEP.

Date	Note
lundi 14 mai 2007	3,96
samedi 19 mai 2007	2,66
dimanche 26 août 2007	2,60
dimanche 16 août 2009	3,23
dimanche 10 avril 2011	2,76
lundi 17 août 2015	2,96

III.4.3 STEP DE TIPAZA

La figure suivante représente la variation à l'échelle journalière de l'indicateur de performance de la STEP de Tipaza :

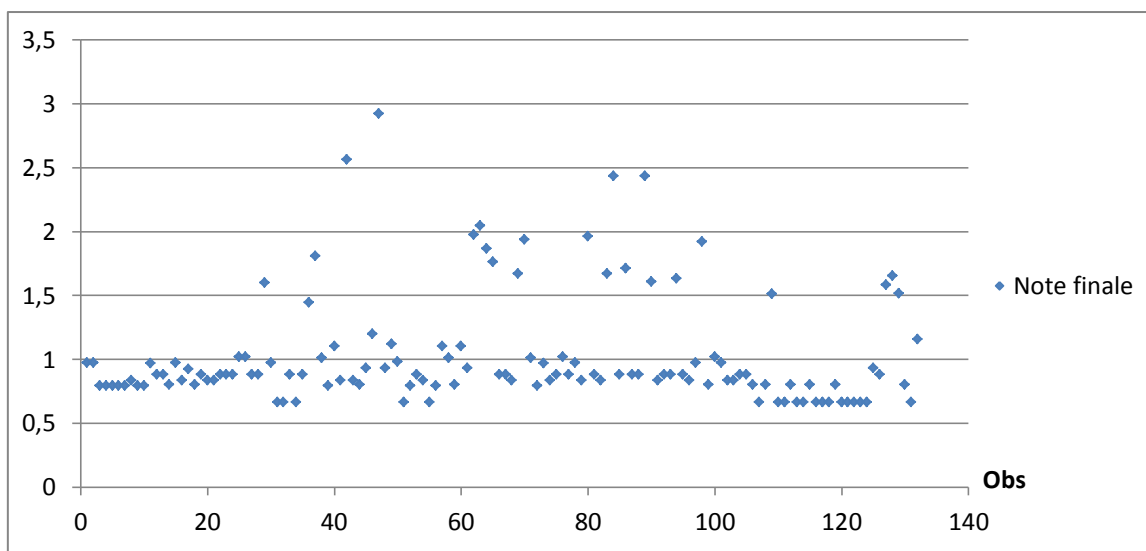


Figure III. 5 : Variation de l'indicateur à l'échelle journalière.

Les valeurs de l'indicateur de performance à l'échelle journalière varient entre 0,5 et 3 ce qui justifie un fonctionnement proche du fonctionnement des deux STEP étudiées auparavant.

Le tableau suivant représente les notes de l'indicateur de performance de la STEP de Tipaza à l'échelle annuelle :

Tableau III. 12 : Indicateur de performance de chaque année.

Année	Note
2008	0,86
2009	1,11
2010	1,17
2011	0,81
2012	0,90

Les résultats à l'échelle annuelle représentent aussi pour cette STEP des faibles notes de l'indicateur ce qui justifie toujours un mauvais fonctionnement observé auparavant à l'échelle journalière.

Le tableau suivant représente les meilleures observations de la STEP de Tipaza et qui dépassent la note de 2,5 / 5 :

Tableau III. 13 : Les meilleures observations de la STEP.

Date	Note
lundi 1 juin 2009	2,57
mardi 7 juillet 2009	2,93

III.5. CONCLUSION

Dans ce travail, le même système de notations du PFE a été modifié pour le master.

Les pondérations calculées pour l'élaboration d'un indicateur généralisé de la consommation de l'énergie pour les autres stations ont été validées.

L'application des deux indicateurs généralisés sur les trois stations a fait apparaître que le fonctionnement des ces dernières est mauvais et loin de respecter la notion de l'optimisation.

Quelques observations, jugées meilleurs, pour chaque station ont été sélectionnées, ces dernières peuvent être exploitées par la suite.

CONCLUSION GENERALE

Dans cette étude nous avons élaboré deux indicateurs de performance pour les STEP de Jijel, Boumèrdès, Tipaza, un outil qui va aider à la gestion, au contrôle, et à la surveillance de leurs fonctionnement, et à prendre les bonnes décisions pour toutes les situations rencontrées.

Pour atteindre notre objectif, nous avons utilisé les possibilités et les avantages qu'offre l'analyse de données, en combinant deux méthodes l'AHP et l'ACP, avec lesquelles on a pu développer un modèle de surveillance des STEP par deux indicateurs.

Cette élaboration d'un indicateur de performance généralisé pour tous les STEP va aider au diagnostic des différentes STEP à boues activées, cet indicateur a été vérifié en comparant les résultats de chaque station en utilisant ses propres indicateurs avec celle d'elle-même en utilisant les indicateurs généralisés.

Le suivi du fonctionnement des trois STEP en utilisant ces indicateurs de performance a permis de conclure que ces STEP respectent énormément les normes de rejets et d'une façon très bonne (eau sur traitée) dans la plupart des observations, par contre elles ont un taux de consommation d'énergie très important vu que ce dernier est susceptible d'être diminué tout en gardant toujours les normes de rejet respectées, par conséquent, cette gestion des STEP donne une mauvaise note des indicateurs qui variaient autour de 2, et une performance du fonctionnement moyenne de la STEP en générale ce qui justifie la politique des gérants des STEP en Algérie.

Bibliographie

- [1] A. AIT-ABED, S.CHELIL, «Élaboration d'un Dashboard pour la gestion de la STEP de Boumerdes par l'analyse multicritère », projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique, ENPA, 2014.
- [2] B.Roy, « Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision », Economica, Paris, 1985.
- [3] L.G.Bruce, E.A.Wasil, P.T.Haker, « The Analytic Hierarchy Process: Applications and Studies », Springer-Verlag, New York, 1989.
- [4] L.G.Vargas, T.L.Saaty, « Prediction, projection and forecasting », 1991.
- [5] L.Y.Maystre, D.Bollinger, « Aide à la négociation multicritère, coll "gérer l'environnement" », PPUR, Lausanne, 1999.
- [6] M. Cherrared, T.Zekiouk, B.Chocat, « Durabilité des systèmes d'assainissement algériens, Etude de l'aspect fonctionnel du système de la ville de Jijel », Laboratoire d'Hydraulique Appliquée et d'Environnement, Université A.Mira, Université de Lyon, Novatech 2010.
- [7] M-N.Duquenne, « Analyse des Données », Document interne / MN Duquenne, Université de Thessalie, Département d'Aménagement D'Urbanisme et Développement Régional, 2011 – 2012.
- [8] T.L.Saaty, « The analytic hierarchy process », 1980.
- [9] Y.Ait-Amiri, « Etude des indicateurs de performance de la station d'épuration de Baraki », Projet de fin d'études en vue de l'obtention d'un diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique, ENPA, 2012.