

Etude statistique des performances de la STEP de Bouregreg, Rabat, Maroc

[Statistical study of the performance of the STEP Bouregreg, Rabat, Morocco]

Imane KOHEN¹, Abderrazak KHADMAOUI², A. Soulaymani², Mustapha MAHI³, and Azzedine ELMIDAOU¹

¹Laboratoire des procédés de séparation, centre d'études doctorales sciences et techniques, université Ibn Tofail, Kenitra, Maroc

²Laboratoire de génétique et biométrie, faculté des sciences, université Ibn Tofail, Kenitra, Maroc

³Chef de service, Recherche et Développement en Assainissement et Environnement, Institut International de l'Eau et de l'Assainissement, Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable (ONEE), Maroc

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Wastewater treatment plants are dynamic systems subject to wide and uncontrolled variations of flow, concentration and composition of effluents crossing-by the plant. Mathematical models are essential to describe, predict and control the variation of method such process. The aim of this work is to develop a model for monitoring the process of an activated sludge waste water treatment plant located in the suburb or Rabat, the capital of Morocco.

Data of the several physic-chemical parameters (i.e. biochemical oxygen demand -BOD5; chemical oxygen demand -COD; flow; total phosphorus; total nitrogen; dissolved oxygen; suspended solids (SS , MVS); temperature (T);and pH) were recorder over the period 2004-2008 and assessed using multidimensional data analysis methods for correlations.

Results showed a significant correlation between SS and SLE and between BOD5 and COD. Moreover, a significant correlation between MVS and MES, and between BOD5 and total nitrogen were observed at the at process output. Regression of least squares partial (PLS) was performed on significant parameters and resulted in three equations, with significant correlation coefficients suggesting a good sensitivity of the built model.

KEYWORDS: sludge, modeling, physicochemical parameters, ACP, PLS.

RESUME: Les stations d'épurations des eaux usées sont des systèmes dynamiques soumis à des variations importantes et non contrôlées de débit, de concentration et de composition des effluents qui les traversent. Les modèles mathématiques sont essentiels pour décrire, prédire et contrôler les variations de fonctionnement de ce processus. L'objectif du présent travail est de développer un modèle mathématique permettant le monitoring du procédé de boues activées de la station d'épuration du complexe de Bouregreg, située en banlieue de Rabat, la capitale du Maroc.

La méthodologie adoptée consiste d'abord à rassembler les données des paramètres étudiés (-la demande biochimique en oxygène (DBO5), la demande chimique en oxygène (-DCO), débit, phosphore Total, azote Total, oxygène dissous, matières en suspension (MES, MVS), température (T), pH.....) mesurés entre 2004 et 2008, puis à analyser la corrélation entre eux en utilisant des méthodes d'analyse multidimensionnelle.

L'analyse des données d'entrée a montré une corrélation significative entre la MES et MVS ainsi que la DBO5 et la DCO. Par ailleurs, une corrélation significative entre la MVS et la MES, DBO5 et azote totale à la sortie du traitement. La régression des moindres carrées partielles (PLS) appliquées aux paramètres significatifs a résulté en trois équations avec des coefficients de corrélation assez significatifs, ce qui témoigne d'une assez bonne sensibilité du modèle construit.

MOTS-CLEFS: modélisation, boues activée, paramètres physicochimiques, ACP, PLS.

1 INTRODUCTION

L'eau est un bien précieux qui subit diverses pollutions et dégradations : les écosystèmes et la santé des personnes en sont directement impactés [1]. Les pollutions présentes dans l'eau sont d'origines diverses : industrielle, domestique ou agricole. Les procédés de traitement des eaux qui recueillent ces eaux usées sont composés de plusieurs phases, chacune traitant un type particulier de pollution (organique, chimique, minérale) [2]. A l'échelle mondiale, le traitement des eaux usées constitue le premier enjeu de santé publique : plus de 4 000 enfants de moins de 5 ans meurent chaque jour de diarrhées liées à l'absence de traitement des eaux et au manque d'hygiène induit [3]. Le traitement ou l'épuration a donc pour objectif la dépollution des eaux usées en les traitant avant leur rejet dans le milieu naturel [4] afin de rendre au milieu aquatique une eau de qualité, respectueuse des équilibres naturels et de ses usages futurs (pêche, loisir, alimentation, utilisation agricole ou industrielle, etc.).

De par ses excellentes performances, la phase de traitement biologique par boues activées représente la phase clé de la chaîne globale de traitement [2]. Cependant, son fonctionnement difficile à maîtriser repose sur le développement de populations bactériennes: variations brutales des flux d'entrée et des quantités de pollution, conditions opératoires contraignantes, évolution non prévisible du comportement bactérien [5] donc il n'est pas toujours facile d'identifier les sources de pollution ni d'estimer leurs effets respectifs, qui dépendent à plusieurs paramètres : température, PH, oxygène dissous, matière en suspension... [6]. La modélisation est un outil efficace et déjà éprouvé sur les procédés conventionnels à boues activées [7].

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

La station d'épuration du complexe de Bouregreg, banlieue à Rabat, où se trouve la plus importante unité de production d'eau potable du pays gérée par L'Office National de l'Eau Potable. La step de Bouregreg est à caractère biologique, elle reçoit les rejets des cités d'habitations des cadres de l'ONEE/Branche Eau. Elle est dimensionnée pour un débit minimal capable de faire fonctionner les ouvrages de traitement de manière adéquate. Un Débit moyen = 86,4m³/j, un débit de pointe = 259,2m³/j, DBO5 = 9,0Kg/j, MES moyenne = 16,2Kg/j, DCO = 15,1Kg/j.

2.2 ECHANTILLONNAGE

Dans le but d'une modélisation de la filière intensive (boues activées), les données d'exploitation prises à l'amont et à l'aval de la station pendant la période de 2004 à 2008, sont réalisées suivant des méthodes normalisées au niveau du laboratoire central de l'ONEP. Les échantillons ont été pratiquement prélevés une fois chaque mois.

2.3 MÉTHODES D'ANALYSE DES PARAMÈTRES

Les paramètres physicochimiques choisis sont : le PH, la température, la conductivité électrique et la salinité, la matière en suspension (MES), la DBO5 (la quantité d'oxygène qui assure, par voie biologique, l'oxydation des matières organiques présentes dans l'eau consommée après 5 jours d'incubation (Bontoux, 1993). La DBO5 n'est représentative normalement que de la pollution organique carbonée biodégradable [8], la DCO (la teneur en carbone lié à la matière organique) et le dosage de l'azote et le phosphore total.

2.4 LE TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNÉES

Dans cette partie on a eu recours à l'Analyse en composantes principales (ACP) et à la Régression PLS après avoir saisi les données sur un support Excel et puis transférer les sur un logiciel d'exploitation.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 ÉTUDE DES PARAMÈTRES D'ENTRÉE

Pour réduire le nombre important de paramètres physicochimique analysés à l'entrée de la step et devant être considérés dans l'élaboration du modèle, nous avons procédé à l'application de l'ACP. Elle a résulté en un nombre limité de 9 facteurs (valeurs propres) expliquant l'inertie totale dont les 2 premiers axes absorbent à eux seuls 80,15 % de la variance

totale. Il est important d'examiner chacune des variables de façon individuelle pour nous assurer que chacune d'elles est en relation avec l'ensemble des autres variables. Lorsque nous sommes en présence d'une variable qui n'est pas corrélée, il est recommandé de retrancher cette variable et c'est le cas du pH, oxygène dissous et la température. Cela est expliqué par le fait que le pH des eaux usées domestique de la population étudiée (la cité des cadres) à l'entrée de la station d'épuration n'influe pas sur les autres variables (corrélations très faibles). En effet, ce paramètre est généralement stable (compris entre 6 et 8) pendant toute la période de notre étude. En ce qui concerne l'oxygène dissous, les charges polluantes minérales et surtout organiques déversées atteignent aujourd'hui une valeur telle que les micro-organismes présents dans le milieu aquatique ne peuvent plus réaliser une auto-épuration valable. Dans notre cas (eaux usées domestiques) l'oxygène dissous est un paramètre qui n'influe pas sur les autres variables (corrélations très faibles sur la matrice) à l'entrée car ce paramètre est généralement presque nul.

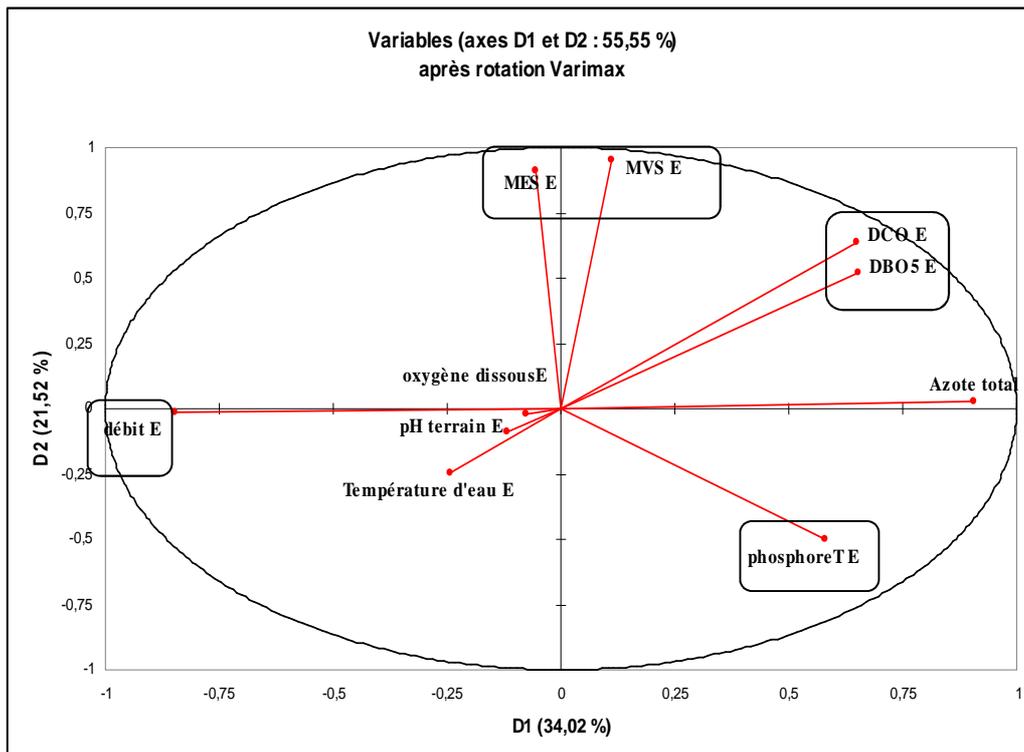


Fig. 1. représentation en ACP de l'ensemble des paramètres physicochimiques

La projection des paramètres physicochimiques choisis pour l'étude selon les deux composantes 1 et 2 (Figure 1), laisse ainsi ressortir les remarques suivantes :

Les variables DCO, DBO5, AT et PT se trouvent séparées des autres variables du modèle, ceci indique qu'elles représentent la fraction soluble de la pollution organique des eaux usées à l'entrée de la station. Alors que, l'abattement de cette pollution par les micro-organismes nécessite un apport en Azote Total très important que celui en phosphore total (condition normale, 100mg/l de DBO5 ; 5mgN/l d'Azote et 1mgP/l de Phosphore), c'est pourquoi l'azote total sur le graphique des facteurs se trouve plus proche des deux variables, DCO et DBO5. Les variables MES et MVS représentent la fraction en suspension de la pollution organique. Ces deux variables ont donc le même comportement quel que soit le point de dégradation de la pollution à l'intérieur du réacteur biologique, et qu'elles n'ont probablement pas d'influence directe sur les autres variables. Le débit journalier de l'eau à l'entrée de la station d'épuration se situe de façon distincte par rapport aux autres variables. En effet, il est négativement corrélé à presque la totalité des variables par rapport à l'axe D1. Par conséquent, il doit être considéré comme partie entière dans le traitement des eaux usées par le procédé des boues activées.

Dans une deuxième étape, nous avons éliminé les variables qui n'ont pas participé à l'explication du modèle tels que le pH, l'oxygène dissous et la température. De ce fait, Par rapport à la variance expliquée (55,55%) avant élimination des variables (pH, OD et T), on a pu gagner environ 12 points de variance totale expliquée (77,71%). Par ailleurs, la nouvelle projection des paramètres restants montre une répartition plus distinguée (figure 2).

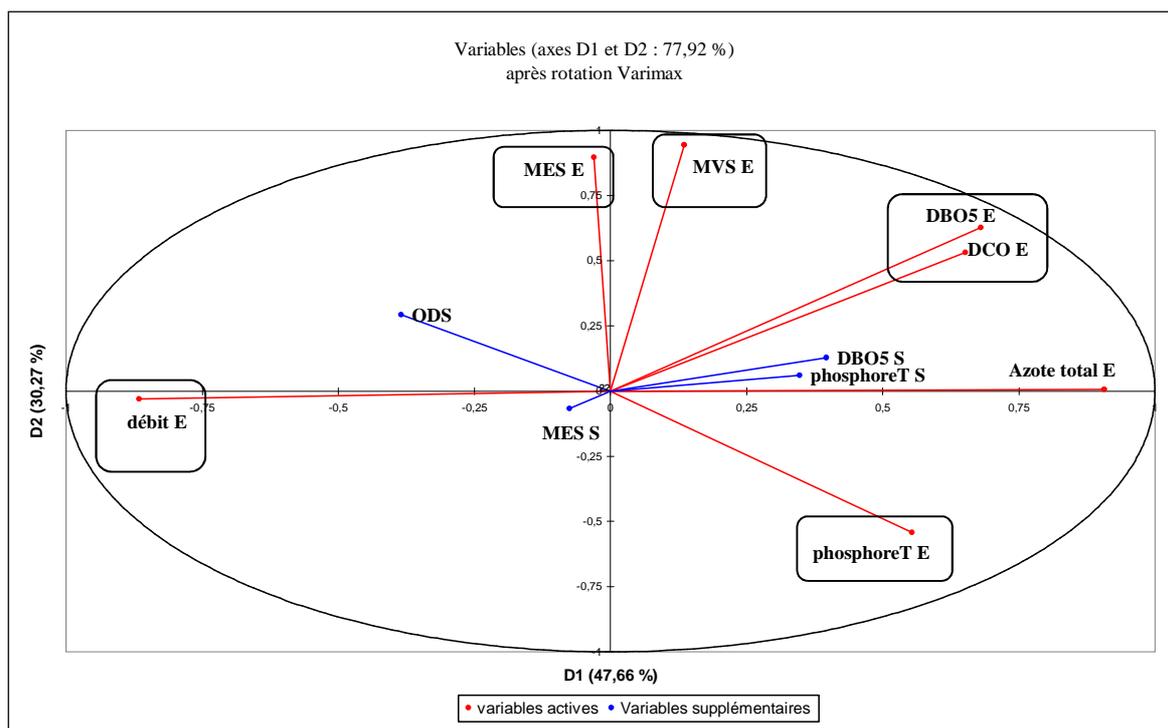


Fig. 2. résultats des paramètres après la suppression des paramètres à écarter (pHE ; ODE et la TE)

3.2 MODELISATION DES PARAMETRES DE SORTIE EN FONCTION DES PARAMETRES D'ENTREE

L'analyse de la matrice de corrélation ainsi la classification hiérarchique des paramètres à la sortie de la station, nous a permis d'éliminer le facteur température, le pH (corrélation non significative) afin de rendre le modèle plus significatif et cohérent. Cependant, on conserve les autres paramètres. Par ailleurs, le choix de l'analyse en composantes principales a permis d'étudier la corrélation entre les variables d'entrée de la station et la qualité d'eau épurée à la sortie de la station en terme de DBO5, MES, OD, Phosphore T (variables outputs). L'ACP permettra de positionner sur un même plan factoriel les variables inputs (DCOE, DBO5E, AzoteTE, PhosphoreTE, MESE, MVSE et débitE) et les paramètres dépendants (variables outputs).

La matrice de corrélation issue de l'ACP laisse ressortir les observations suivantes :

- **Pollution particulière MES / MVS**

- Une corrélation significative entre MES E et MVS E (0,923) d'entrée ce qui est normale parce que cette dernière présente une fraction organique volatile de MES.
- Le rapport MVS / MES qui indiquera l'organicité de l'effluent est d'environ 1, ce qui correspond à un pourcentage de matières minérales très faible dans l'effluent.

- **Pollutions organiques DBO5/ DCO**

- Une corrélation très hautement significative (0,793) entre les deux paramètres organiques carbonées (DBO5 E et la DCO E (0,793), responsables de la pollution organique.

Le biplot factoriel issu de l'ACP (figure 3) schématise le positionnement des paramètres d'entrée par rapport aux composantes principales D1 et D2, qui représentent à eux seuls 78% de la variance totale.

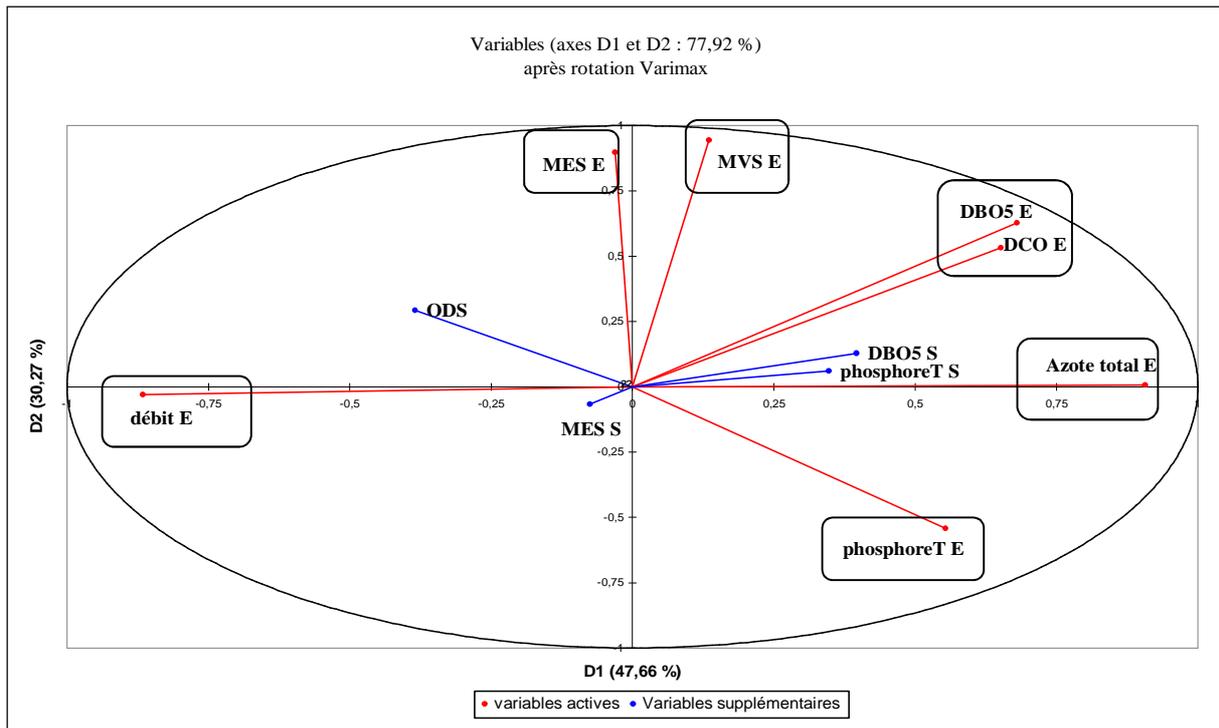


Fig. 3. les résultats de l'ACP avec les paramètres de sortie après rotation Varimax

A partir de la figure ci-dessus on constate que l'analyse qualitative des paramètres, montre une forte corrélation entre la DBO5 et le phosphore T à la sortie de la station d'épuration et la matière organique soluble de l'affluent (DCO et DBO5). Ainsi ces paramètres sont positivement corrélés par rapport à D1, ce qui implique que la qualité d'eau épurée est proportionnelle à la DBO5, à l'azote et faiblement au Phosphore totale. Par ailleurs la corrélation entre ces paramètres et les autres paramètres tels que la MES et MVS est moins significative.

En revanche la règle de [9] signale qu'il est indispensable de se méfier de la condition où une variable est fortement corrélée avec autre variable ou avec une combinaison de plusieurs variables, surtout, lors d'une analyse en composantes principales (ACP).

D'après cette analyse on va écarter un des paramètres corrélés afin de préserver la cohérence de l'analyse de régression (PLS) :

la DBO5 est la masse d'oxygène moléculaire (exprimée en mg) utilisé par les microorganismes pour dégrader en cinq jours à 20°C et à l'obscurité les matières oxydables contenues dans un litre d'eau et puisque on est dans le cas de traitement biologique (intensif) où on utilise des microorganismes pour l'épuration on va garder la DBO5 comme le paramètre le plus représentatif.

la MVS présente une fraction de la MES, donc on va l'éliminer au lieu de la MES. On enregistre que les mesures d'oxygène sont en excès pendant toute la période d'étude et qui dépasse le seuil recommandé dans le manuel de conception qui est compris entre 0,5 et 2, cet excès peut être expliqué par un surdimensionnement du suppresseur et par conséquent, une non optimisation des paramètres d'oxygénation au niveau de la filière intensive de la STEP. Pour cette raison, il est préférable d'écarter l'oxygène dissous pour ne pas biaiser le modèle.

3.3 LA REGRESSION PLS (PARTIAL LEAST SQUARES REGRESSION)

les résultats obtenus par la PLS appliquée sur les variables indépendantes (DBO5E, MESE, Azote TE, Phosphore TE et le débit E), et les variables dépendantes de sortie (DBO5S, MESS et Phosphores) a donné les modèles mathématiques des principaux paramètres de pollution de l'affluent de la cité cadre du complexe de Bouregreg est le suivant :

$$\triangleright Y_{\text{DBO5S}} = 2,656 + 0,069X_{\text{DBO5E}} - 0,011X_{\text{MESE}} - 0,128X_{\text{AzoteTE}} + 0,209 X_{\text{PhosphoreTE}} + 0,019 D_{\text{debitE}}$$

$$\triangleright Y_{\text{PhosphoreTS}} = -15,674 + 0,022X_{\text{DBO5E}} + 0,0001X_{\text{MESE}} + 0,159X_{\text{AzoteTE}} + 0,136X_{\text{PhosphoreTE}} + 0,192 D_{\text{debitE}}$$

$$\triangleright Y_{\text{MESS}} = 112,813 - 0,202X_{\text{DBO5E}} + 0,066X_{\text{MESE}} - 0,123 X_{\text{AzoteTE}} - 0,584X_{\text{PhosphoreTE}} - 1,057X_{\text{debitE}}$$

A partir de ces résultats, on déduit que le modèle développé à la base des données recueillies entre 2004 et 2008 est assez représentatif du fonctionnement observé, surtout dans le cas de la DBO5 et le Phosphore totale, qui sont caractérisés par un coefficient de corrélation de 0,6 ; Sauf que pour la matière en suspension, le coefficient de corrélation est moins significatif du à la non linéarité du phénomène étudié, par ailleurs à une insuffisance des données expérimentales.

4 CONCLUSION

L'analyse de la performance de la station étudiée par la PLS permet de soulever les points suivants :

- ❖ Il existe 3 paramètres de sortie (DBO5, PhosphoreT et la MES) qui influenceraient le plus sur le fonctionnement de la filière intégrée de la STEP et par conséquent sur la qualité des eaux épurées.
- ❖ Parmi les paramètres de l'entrée, il y en a 5 qui représentent tous les autres paramètres d'entrée :
 - la DBO5 qui représente la pollution organique carbonée.
 - la MES qui représente la pollution particulière, elle a plusieurs effets comme :
 - ⇒ Les effets mécaniques: maladies chez le poisson ; asphyxie par colmatage des branchies ; sédimentation dans les zones de frayes et réduction possibilités de développement des végétaux et des invertébrés de fond et la réduction de la luminosité : réduction des phénomènes de photosynthèse, chute de l'oxygène dissous, et baisse la productivité du milieu récepteur.
 - le Phosphore T et l'Azote qui représentent à leur tour la pollution chimique contenue dans les eaux usées ainsi que la matière nutritive des boues.
 - Le débit qui nous informe sur le débit entrant des eaux traitées par la station.
- ❖ Les trois équations résultantes de la modélisation de la filière intensive de la station, met en œuvre plusieurs caractéristiques obtenus à la conception comme :
 - L'évaluation de la pollution carbonée et le degré de biodégradabilité (DCO/DBO5) obtenues par la première équation : la DBO5S en fonction de la MESE, DBO5E, PhosphoreTE, AzoteTE et le débitE.
 - L'examen de la quantité de solides en suspension (MVS, MES et la MM) de l'eau, obtenues par la deuxième équation : la MESS en fonction de la MESE, DBO5E, PhosphoreTE, AzoteTE et le débitE.
 - L'évaluation de la pollution chimique, la matière nutritive contenue dans les eaux usées et consommée pendant le traitement par les boues : le PhosphoreTS en fonction de la MESE, DBO5E, PhosphoreTE, AzoteTE et le débitE.
 - la présentation des différents paramètres clés dans le procédé de traitement biologique à la station d'épuration de Bouregreg, ainsi que la qualité d'épuration par ce procédé à l'avance.

En fin, l'examen de la validation du modèle par remplacement des valeurs théoriques et leurs comparaisons aux valeurs prédites par le modèle permet de déduire que notre modèle empirique est assez représentatif du fonctionnement de la filière intensive (boues activées) de la station du complexe de Bouregreg bien qu'il n'intègre pas l'ensemble des paramètres qui influenceraient aussi sur le traitement.

REFERENCES

- [1] Attab . 2011. Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration HAOUD BERKAOUI par l'utilisation d'un filtre à sable local, Algérie 2011.
- [2] Bassompierre. 2007. procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote à la validation de modèles, Grenoble.
- [3] OCDE. 2009. Appel de l'OCDE à investir dans le traitement des eaux usées
- [4] Cieau. 2013. Centre d'information sur l'eau.
- [5] Boudaha. 2012. Commande des systèmes non linéaires. Application aux procédés biotechnologiques, Algérie.
- [6] HAKMI, A. 1994. Traitement des eaux " traitement de l'eau de source, bousfer .ORAN
- [7] CEMOA. 2008. Modélisation du procèdes bioréacteur, CEMAGREF BORDEAUX REBX.
- [8] Alcaraz GONZALEZ. 2001. estimation et commande robuste non-linéaires des procédés biologiques de dépollution des eaux usées : application a la digestion anaérobie.
- [9] Kaiser. 1974. An index of factorial simplicity. Psychometrika, 39, 31-36.