

Modélisation de la dépense énergétique dans une station d'épuration à boues activées : cas de la station de Souk Ahras

Modeling of energy expenditure in wastewater treatment plant with activated sludge: case of Souk Ahras station

Moncef Chabi^{1,2*} & Yahia Hammar²

¹ Laboratoire de Recherche Sols et Hydraulique, Université Badji Mokhtar, BP12, 23000, Annaba, Algérie.

² Département d'Hydraulique, Université Badji Mokhtar, BP 12, 23000, Annaba, Algérie.

Info. Article

Historique de l'article

Reçu le 20/06/2018

Révisé le 9/12/2018

Accépté le 10/12/2018

Mots-clés

Aération, aspect énergétique, aérateurs, transfert d'oxygène, puissance.

Keywords

Aeration, energetic aspect; aerators, oxygen transfer, power.

RESUME

Toutes les stations d'épuration réalisées à ce jour en Algérie ont un système d'aération mécanique à savoir des aérateurs de surface. Il utilise les bactéries qui représentent la biomasse afin de dégrader la pollution représentée par le substrat. Ces réactions sont aérobies, elles nécessitent donc de l'oxygène. L'aspect énergétique de cette question lui confère une actualité particulière ce qui nous a conduit à une recherche d'autres alternatives pour un système d'aération d'une station au nord-est algérien (Souk-Ahras) où elle utilise six (6) aérateurs pour aérer un bassin d'un volume de 13068 m³ avec une puissance de 75 KW chacun. Une simulation en fonction des paramètres polluants, a été proposée pour la détermination du besoin réel d'oxygène (AOR), du taux de transfert d'oxygène aux conditions du procédé (OTRF), du nombre d'appareils d'aération, de la puissance absorbée par les équipements qui nous ont permis de réduire la consommation d'énergie électrique d'un système d'aération. Les résultats obtenus ont montré que l'économie énergétique réalisée pouvait atteindre les 23 à 37%.

ABSTRACT

All wastewater treatment plants carried out in Algeria today have a mechanical aeration system, knowingly the surface aerators. It uses the bacteria that represent the biomass to degrade the pollution represented by the substrate. These reactions are aerobic, so they require oxygen. The energetic aspect of this question gives it a particular relevance which has led us to search for alternatives for an aeration system of a station in north east of Algeria (Souk-Ahras) where it uses six (6) aerators for aerated a basin with a volume of 13068 m³ with a power of 75 KW each. A simulation based on the pollutant parameters has been proposed for the determination of the real oxygen requirement (AOR), the oxygen transfer rate at the process conditions (OTRF), the number of aeration devices and the power absorbed by the equipment that allowed us to reduce the electricity consumption of an aeration system. The results obtained showed that the energy savings achieved could reach 23 to 37%.

* Auteur Correspondant

Moncef Chabi

Département d'Hydraulique, Université Badji Mokhtar,
BP 12, 23 000, Annaba, Algérie.

Email: moncef.chabi@univ-annaba.org

1. INTRODUCTION

Les stations d'épuration sont des systèmes dynamiques, soumis à d'importantes variations temporelles. La modélisation de leur fonctionnement, qui consiste à représenter mathématiquement l'évolution dans le temps les phénomènes biologiques, physiques et chimiques qui se déroulent dans les ouvrages [14]. Les objectifs d'utilisation des outils de modélisation dynamique du fonctionnement des stations d'épuration à boues activées moyenne à grande population sont multiples [18] [15] et peuvent être regroupés sous quatre catégories : l'optimisation du fonctionnement d'installations existantes (exploitation, stratégies de contrôle...), le dimensionnement (nouvelles stations d'épuration et extensions), la prédiction d'opérations à venir (maintenance, évolution des charges...) et la formation. Fondées sur les techniques d'optimisation des procédés de boues activées, plusieurs études récentes ont été développées pour examiner un compromis entre les coûts de traitement et la qualité finale des eaux épurées [1] [14] [16]. La simulation dynamique apparaît comme un outil d'aide à la décision pour la gestion des stations d'épuration à boues activées, aidant à l'optimisation et à la bonne exploitation de la station [19]. Le poste d'aération représente dans une installation normalement chargée, 60 à 80 % de la dépense énergétique totale de fonctionnement. Cette dépense représente usuellement le tiers du coût total de fonctionnement, il convient donc d'optimiser le transfert d'oxygène [7]. L'optimisation de l'aération des procédés de traitement des eaux usées est nécessaire afin de limiter la consommation énergétique des stations d'épuration tout en fiabilisant la qualité du traitement. Dans ce but, des modèles permettant de prédire les performances d'oxygénation des systèmes d'aération, installés majoritairement sur les stations d'épuration à boues activées, ont été développés à l'aide des outils d'analyse dimensionnelle [11] [12] ou de mécanique des fluides numérique [8] [9]. Les performances d'oxygénation des réacteurs gaz-liquide-solide sont fortement dépendantes des caractéristiques de la phase solide (fraction volumique mais également taille des solides [10] [17]. Dans ce contexte, les principales agglomérations ont conduit à un calcul de construction des ouvrages d'assainissement et à des technologies performantes pour le traitement physico- chimique et biologique des eaux usées, ces derniers ont été intégrés dans les stations d'épuration comme : i) la décantation lamellaire physico-chimique, ii) aérateurs de surface, iii) sécheurs thermiques, etc. Si ces technologies intensives permettent de maintenir une haute qualité de traitement, leur fonctionnement génère une consommation énergétique de plus en plus importante. L'objectif est d'estimer et d'optimiser afin de proposer un calcul d'aération qui permet de consommer le moins d'énergie possible.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Les stations d'épuration en Algérie

Le nombre des stations d'épuration (STEP) en exploitation par l'Office national d'assainissement (ONA) en Algérie, à fin Octobre 2017, est de 142 STEP (Fig. 01), dont:

- 68 stations à boues activées;
- 44 stations par lagunage naturel;
- 27 stations par lagunage aéré;
- 03 filtres plantés.

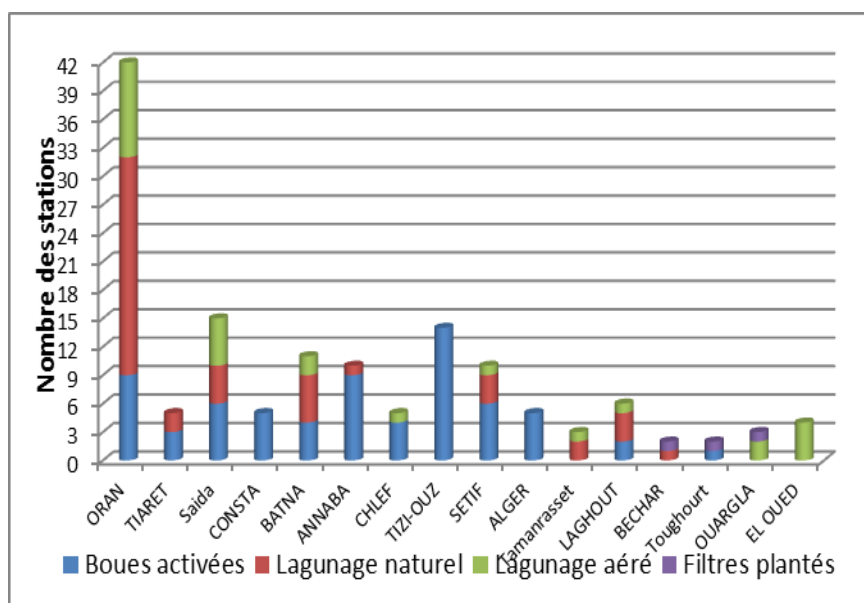


Figure 01 : Répartition par zone des différentes stations d'épuration

La capacité globale installée de ces 142 stations est de 9 621 714 Equivalent-habitants (EH), soit un

débit nominal moyen de 1 478 928 m³/j [20]. Durant le mois d'Octobre 2017, le volume des eaux épurées est de 19,69 millions m³, soit un débit moyen journalier de 635 069 m³/j. La charge moyenne hydraulique par rapport aux capacités installées est de 43 % [20].

2.2. Présentation de la station de Souk-Ahras

La station d'épuration de Souk Ahras est située au nord-est de l'Algérie, à 5 km de la commune de Souk Ahras (Fig. 02). Elle a été mise en service en 2003. Le procédé d'épuration utilisé est « boues activées à moyenne charge ». Elle a une capacité de 150000 équivalents habitant (EH) et un débit nominal de 30000 m³/j. Cette STEP a été conçue dans le but de traiter les eaux usées de type domestique de la ville de Souk Ahras et de protéger l'Oued Medjerda qui est son point de rejet final.

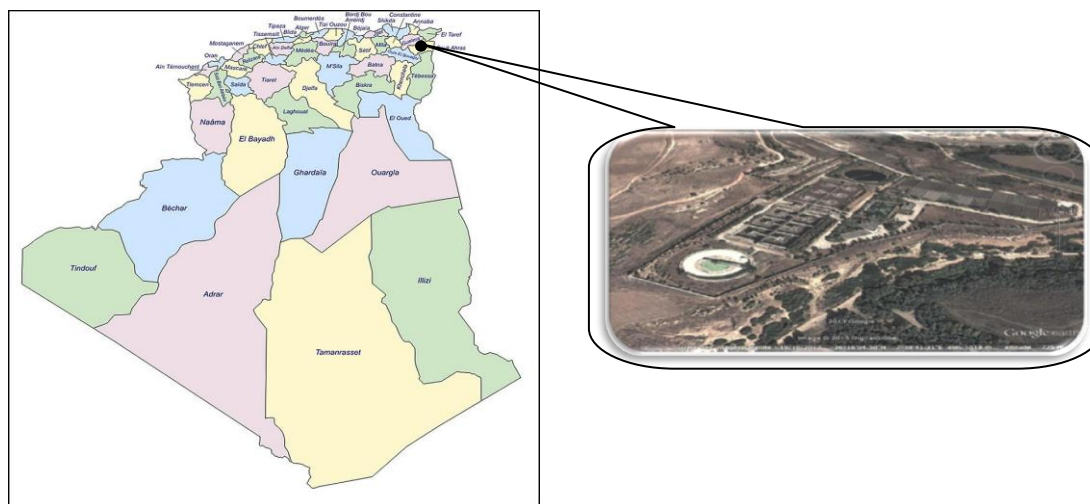


Figure 02. Station d'épuration étudiée.

Les données générales ; flux et charges de pollution de l'effluent à traiter sont renseignées dans le tableau 01:

Tableau 01 : Caractéristiques de l'effluent de la STEP de Souk Ahras

Paramètres	1 ^{ère} étape	2 ^{ème} étape
Débit		
- Journalier	30 000 m ³ /j	45 000 m ³ /j
- Moyen	1 250 m ³ /h	1 875 m ³ /h
- Pointe temps sec	1 960 m ³ /h	2 940 m ³ /h
- Pointe temps de pluie	3 750 m ³ /h	5 625 m ³ /h
Caractéristiques eaux brutes		
- DBO ₅	9 000 kg/j 300 mg/l 60 g/EH	13 500 kg/j 300 mg/l 60 g/EH
- MES	12 000 kg/j 400 mg/l 80 g/EH	15 750 kg/j 350 mg/l 70 g/EH

2.3. Bassin d'aération (réacteur biologique)

Il y a deux bassins d'aération distincts et identiques ayant les caractéristiques suivantes:

- Longueur : 66m
- Largeur : 44m
- Hauteur d'eau : 4.5m
- Volume unitaire : 13068 m³
- Volume total : 26 136 m³

Les eaux arrivant dans ces bassins sont brassées avec la liqueur mixte et les boues de recirculation en provenance du décanteur secondaire

Il y a six (6) aérateurs identiques par bassin. De type à axe vertical et à vitesse de rotation lente, ces appareils sont montés sur passerelles en béton armé avec grande-corps et escalier d'accès en béton (Fig. 03).

Ils sont constitués d'un groupe d'entraînement et d'une turbine en rotation à la surface du liquide. La conception de ces turbines – à faces minces soudées sur un moyeu – assure une valeur élevée du taux de transfert d'oxygène [6], ainsi qu'une bonne mise en suspension des boues et sont réalisées en acier au carbone. Le moteur,

d'une puissance électrique de 75 KW, est doté d'une sonde thermique pour la protection contre les échauffements ainsi qu'un jeu de résistances chauffantes localisées dans le bobinage.

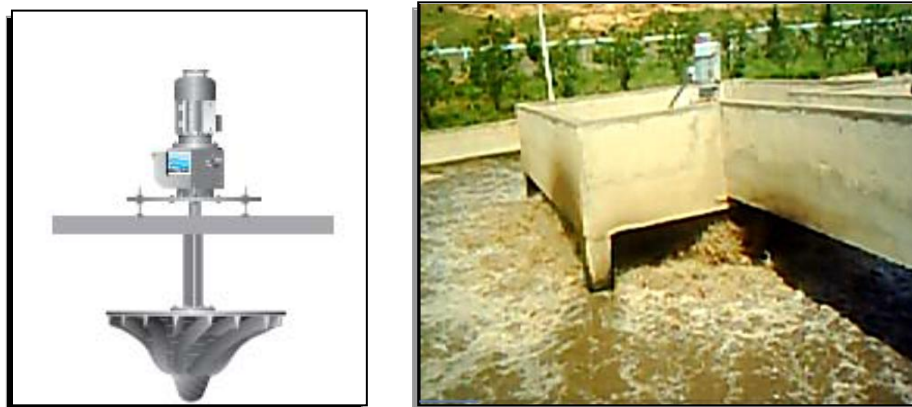


Figure 03. Aérateurs de surface station de Souk Ahras

2.4. La consommation énergétique d'un système d'aération

L'estimation théorique de la consommation annuelle d'énergie électrique d'un système d'aération nécessite d'effectuer les calculs des besoins en oxygène.

Les principales équations employées pour effectuer ces calculs sont présentées ci-après.

2.4.1. Les (AOR) : besoins réels d'oxygène

Les besoins réels d'oxygène (AOR) correspondent aux besoins en oxygène du procédé biologique aux conditions réelles d'exploitation [6]. Ces besoins sont liés avec d'autres paramètres :

a) La charge Polluante

La pollution des eaux usées domestiques est obligatoirement définie par leur demande biochimique en oxygène en cinq jours (DBO_5) [5]. A défaut d'analyses portant sur les rejets existant suffisamment représentatifs, on choisira la DBO_5 par cette formule :

$$DBO_{5,i} = \frac{C_{DBO} \cdot Q_{\text{pointe},i}}{1000} \quad (1)$$

Avec : $DBO_{5,i}$: Charge polluante en DBO_5 en kg/j ; $Q_{\text{pointe},i}$: Débit de pointe des eaux usées en m^3/j ; C_{DBO} : Concentration en DBO en mg/l.

b) Charge volumique

La charge volumique est le rapport de la charge polluante en DBO_5 par le volume du bassin d'aération [5]. Elle est exprimée par la formule suivante :

$$C_{v,i} = \frac{DBO_{5,i}}{V_{TOT}} \quad (2)$$

Avec : $C_{v,i}$: Charge volumique en $kg\ DBO_5/m^3/j$; V_{TOT} : Volume du bassin d'aération en m^3 .

c) Charge massique

La charge massique est le rapport de la charge volumique par la concentration en boue [5]). Elle est exprimée par la formule suivante :

$$C_{m,i} = \frac{C_{v,i}}{C_B} \quad (3)$$

Avec : $C_{m,i}$: Charge massique en $kg\ DBO_5/kg\ MVS/j$; C_B : Concentration en boue en g/l ($C_B=5g/l$) [6].

d) Les besoins réels en oxygène

La quantité d'oxygène nécessaire pour le bon fonctionnement de l'aérateur est donnée par la formule suivante :

$$AOR_i = \frac{a'_i \cdot DBO_{5,i}}{14} + \frac{b'_i \cdot Sa}{24} \quad (4)$$

Avec : AOR_i : Besoin réel d'oxygène en kgO_2/h ; Sa : Quantité de boues présentes dans le bassin d'aération en $kg = V_{TOT} \cdot C_B$; a'_i, b'_i : Coefficients de respiration déterminés en fonction de la charge massique $a'_i = 0,5 \cdot C_{m,i}^{0,12}$ et $b'_i = 0,13 \cdot C_{m,i}^{0,16}$ [6].

2.4.2. Les taux de transfert d'oxygène aux conditions du procédé (OTR_F)

Les fabricants d'appareils d'aération fournissent des données sur les performances de leurs équipements sous forme de courbes ou de tableaux. Ces données proviennent d'essais réalisés en eau claire dans des conditions standard. Les taux de transfert d'oxygène standard (SOTR) fournis par les fabricants (sous forme de taux unitaires) doivent être convertis en taux de transfert d'oxygène aux conditions du procédé (OTR_F) afin de faire l'adéquation avec les besoins réels d'oxygène (AOR) [3] [4].

a) Aérateurs mécaniques de surface :

Dans le cas des aérateurs mécaniques de surface, on effectue le calcul de l' OTR_F à l'aide de l'équation suivante :

$$OTR_{F,i} = \alpha [SOTR] \Theta^{(T_{eau,i}-20)} \frac{(\beta \Omega C_{ST,i} - C_L)}{C_{S20}} \quad (5)$$

Avec : $OTR_{F,i}$: Taux de transfert d'oxygène aux conditions du procédé (kg O₂/h) ; α : Facteur de correction du K_{La} pour la nature de l'eau et le type d'équipement (décimales) ; SOTR : Taux de transfert d'oxygène aux conditions standard (kg O₂/h) ; Θ : Facteur de correction du K_{La} pour la température de l'eau (valeur normalement utilisée : 1,024) [7]. $T_{eau,i}$: Température de l'eau (°C) ; β : Facteur de correction de la concentration à saturation d'oxygène dissous pour la nature de l'eau (décimales) ; Ω : Facteur de correction de la concentration à saturation d'oxygène dissous pour la pression barométrique ($\Omega = P_b/P_s$, où : P_b : pression barométrique et P_s : pression standard) ; $C_{ST,i}$: Concentration à saturation d'oxygène dissous en eau pure à une température donnée et à une pression de 1 atm (mg/l) ; C_L : Concentration d'oxygène dissous dans le liquide (mg/l) ; C_{S20} : Concentration à saturation d'oxygène dissous en eau pure à une température de 20°C et à une pression de 1 atm (mg/l) ($C_{S20} = 9,092$ mg/l) [7].

b) Appareils d'aération submergés :

Pour les appareils d'aération submergés tels que les diffuseurs à grosses bulles, les diffuseurs à fines bulles, les diffuseurs à jets et les aérateurs mécaniques submergés, le calcul du OTR_F est effectué à l'aide de l'équation suivante :

$$OTR_{F,i} = \alpha F [SOTR] \Theta^{(T_{eau,i}-20)} \frac{(\beta C_{SW,i} - C_L)}{C_{SS}} \quad (6)$$

Avec : F : Facteur de correction pour la perte d'efficacité avec le temps (valeur fournie par le fabricant, variant en général entre 0,8 et 1,0 selon le type de diffuseur) [7] ; $C_{SW,i}$: Concentration à saturation d'oxygène dissous en eau pure, corrigée en fonction de la température, de la pression barométrique et de la profondeur (mg/l) ; C_{SS} : Concentration à saturation d'oxygène dissous en eau pure aux conditions standard, corrigée en fonction de la profondeur (mg/l). Les concentrations C_{SW} et C_{SS} sont calculées à l'aide des équations suivantes :

$$C_{SW,i} = \frac{C_{ST,i} [P_b * 0,01934 + 0,142224 * DWD * f]}{P_s * 0,01934} \quad (7)$$

$$C_{SS} = \frac{C_{S20} [P_s * 0,01934 + 0,142224 * DWD * f]}{P_s * 0,01934} \quad (8)$$

Avec : DWD: Profondeur de relâche des bulles d'air (m) ; f : Facteur de profondeur effective (décimale) (valeur fournie par le fabricant, variant généralement entre 0,2 et 0,4) [7]. On détermine le nombre d'appareils d'aération (aérateurs mécaniques ou diffuseurs) requis pour chacune des périodes considérées en divisant les bassins réels d'oxygène (AOR) d'une période donnée par le taux de transfert d'oxygène de l'appareil sélectionné aux conditions du procédé (OTR_F) pour cette même période [3] [4].

$$\text{Nombre d'appareils} = \frac{AOR(\text{totale})_i}{OTR_{F,\text{unitaire},i}} \quad (9)$$

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Analyse des données

D'après la base de données menée pendant l'année 2017 du fonctionnement de la station on s'intéresse aux analyses des eaux brutes et épurées. On présentera, la variation moyenne mensuelle des paramètres analysés de cette année dans les prochaines figures.

3.1.1. Les paramètres physico-chimiques des eaux

a) Le débit journalier entré station

La figure (04) illustre la variation des débits maximaux mensuels des eaux usées brutes à l'entrée de la station durant l'année 2017.

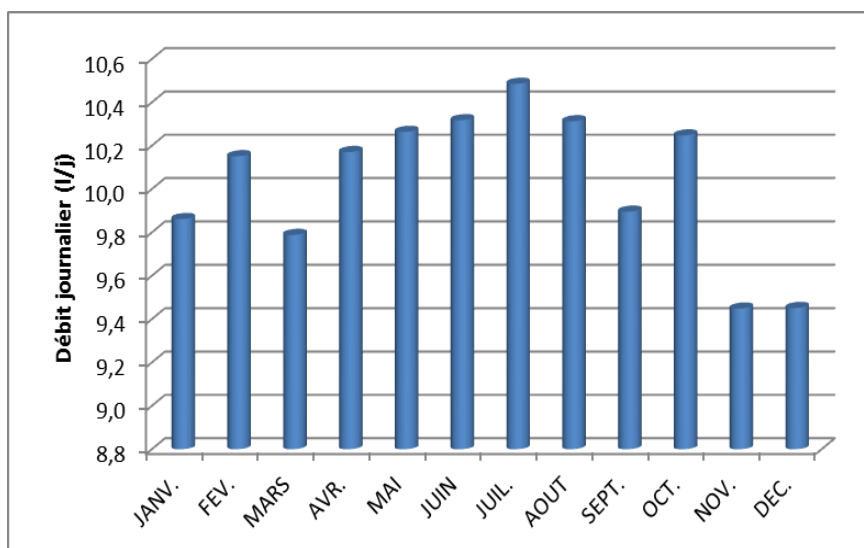


Figure 04 : Variation saisonnière du débit journalier entrant à la station

b) La température

La température des eaux épurées est comprise entre 12,8 °C et 25,5 °C comme valeur extrême minimale et maximale. Ainsi la température de 18,56 °C est adoptée comme valeur moyenne.

La figure 05 présente des variations mensuelles des températures des eaux usées épurées enregistrées au cours de la période d'étude. La comparaison des valeurs de température des eaux usées et épurées sont acceptées par rapport aux normes (inférieures à 30 °C considérées comme valeur limite de rejet) [13].

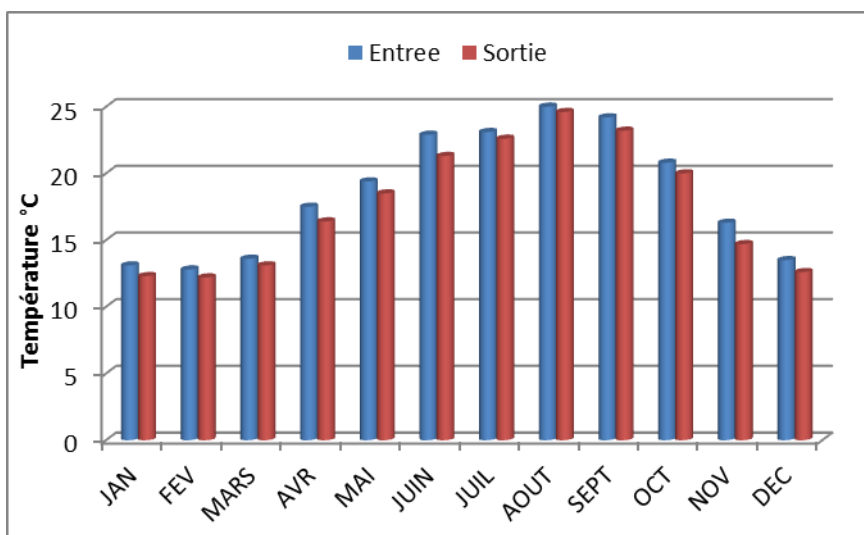


Figure 05 : Variation saisonnière de la température

c) Le pH

Le pH indique l'alcalinité des eaux usées. Son rôle est capital pour la croissance des microorganismes qui ont généralement un pH optimum variant de 6,5 à 7,5. Lorsque le pH est inférieur à 5 ou supérieur à 8,5 [13], la croissance des microorganismes est directement affectée. Les valeurs de pH mesurées varient peu et restent autour de 7,00 et 7,95 pour des eaux usées épurées (Fig 06).

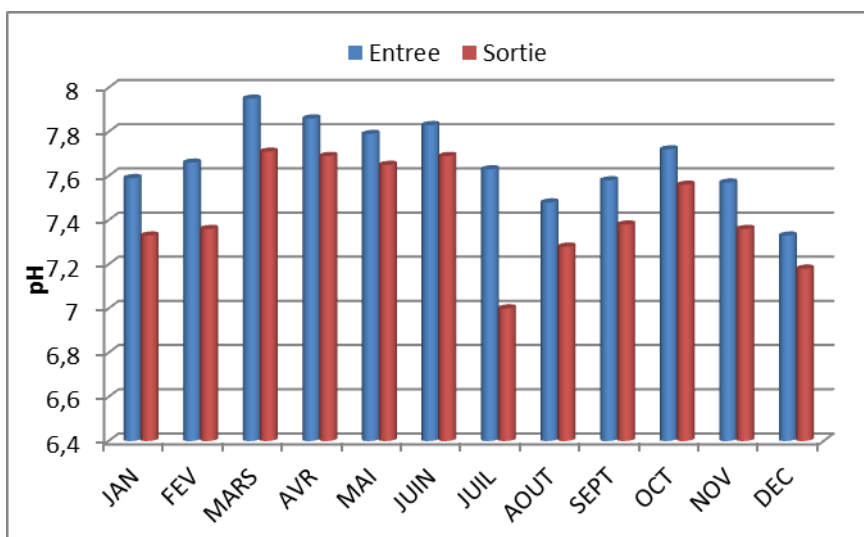


Figure 06 : évaluation saisonnière du pH

3.2. Les paramètres de pollution des eaux

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, aussi se réfère-t-on à quelques paramètres de pollution pour les caractériser. Ils sont généralement exprimés en mg/l.

a) La demande biochimique en oxygène en cinq jours (DBO₅) :

La figure 07 montre les valeurs mensuelles de la DBO₅ enregistrées dans les eaux usées brutes de la STEP qui varient de 60 mg/l à 586 mg/l avec une valeur moyenne mensuelle de l'ordre de 261 mg/l. C'est de juillet à septembre que les valeurs de la DBO₅ sont les plus fortes (comprises entre 586,8 et 500 mg/l).

A la sortie de la STEP, les valeurs de la DBO₅ ne dépassent pas 15 mg/l et les valeurs de plus de 10 mg/l sont enregistrées en février, en avril et en novembre. Les valeurs de la DBO₅ des eaux épurées de la STEP de Souk Ahras sont au-dessous de celle guide retenue par la norme algérienne qui est de l'ordre de 35 mg/l [13].

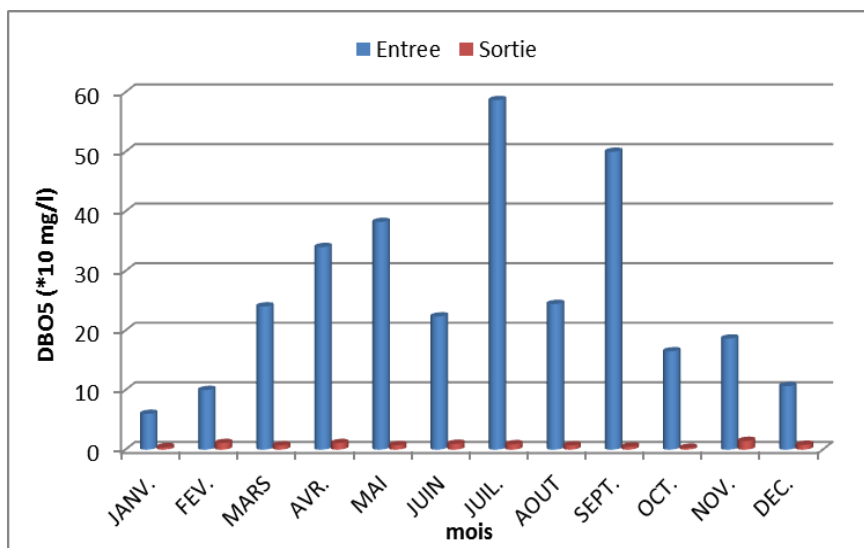


Figure 07 : Variation saisonnière de la DBO₅

b) La demande chimique en oxygène (DCO)

La figure 08 montre les valeurs mensuelles de la DCO enregistrées dans les eaux usées brutes de la STEP qui ne dépassent pas le plus souvent 600 mg/l sauf en juillet et septembre qui sont respectivement de 978 et 959 mg/l. Les valeurs relevées mensuellement varient de 100 mg/l à 978 mg/l et la valeur moyenne mensuelle est de l'ordre de 485 mg/l. C'est de juin à août que des valeurs de la DCO sont de plus de 650 mg/l. A la sortie de la STEP, les valeurs de la DCO sont comprises entre 6 et 67,2 mg/l. Ainsi on note que pour les mois de mars, juillet, novembre et décembre, on retrouve des valeurs de plus de 32 mg/l. En référence à la valeur guide retenue

par la norme algérienne, nous pouvons affirmer que celles de la DCO des eaux épurées de la STEP de Souk Ahras sont correctes du fait qu'elles font moins de la moitié de la valeur fixée à 120 mg/l [13].

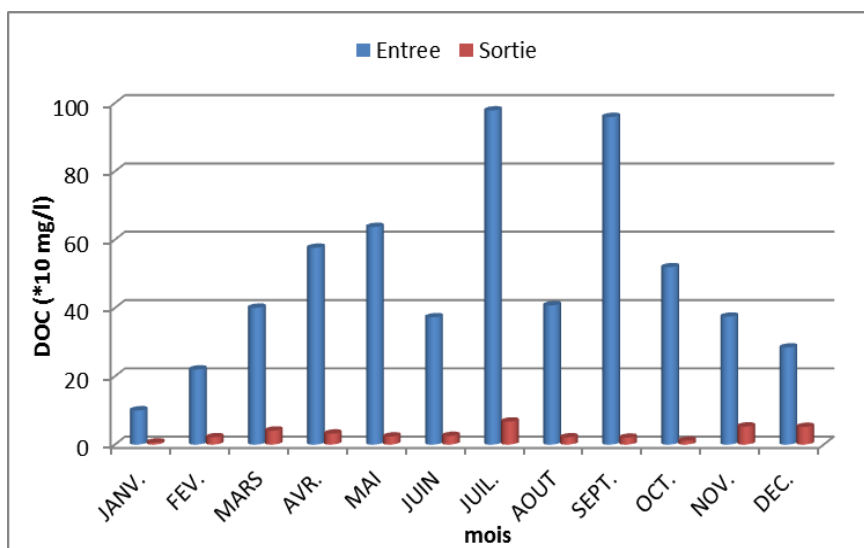


Figure 08 : Variation de la demande chimique en oxygène DCO

c) Les matières en suspension MES

A l'entrée de la STEP les teneurs en MES présentent des variations saisonnières, elles dépassent généralement 200 mg/l à l'exception du mois de décembre 190 mg/l. La valeur moyenne mensuelle est de l'ordre de 325,3 mg/l (Fig. 09). En revanche c'est en période estivale, que les teneurs en MES sont les plus élevées (elles varient de 412 à 485 mg/l). A la sortie de la STEP les teneurs en MES relevées ne dépassent pas 20 mg/l et la teneur moyenne mensuelle est de l'ordre de 15,6 mg/l. Les teneurs en MES des eaux usées épurées de la STEP de Souk-Ahras ne dépassent pas la valeur guide admise par la norme algérienne qui est de 35 mg/l [13].

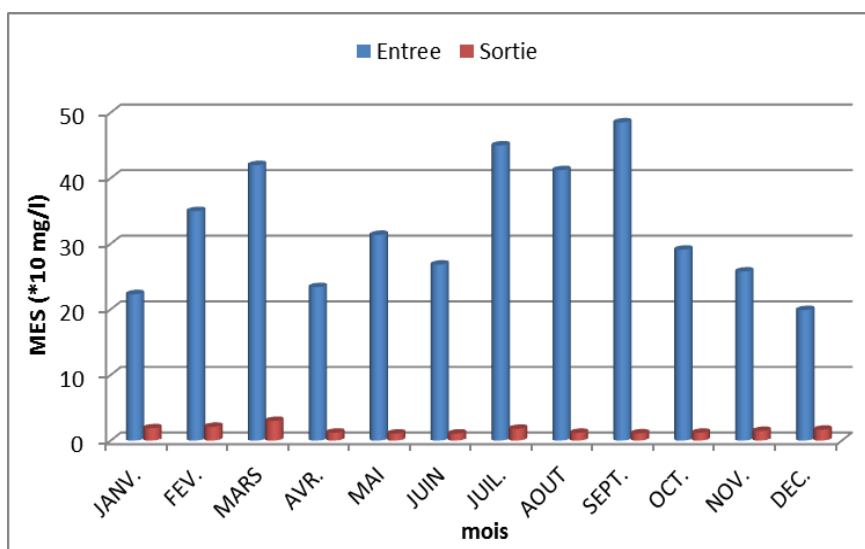


Figure 09 : Variation des matières en suspension MES

3.3. Estimation du besoin réel d'oxygène (AOR)

Le calcul du besoin réel d'oxygène est obtenu par les équations précédentes (1), (2), (3) et (4). Les résultats sont reproduits dans le tableau 02.

Tableau 02 : Estimation du besoin d'oxygène (AOR)

Paramét.	Charge polluante en DBO ₅	Charge volumique	Charge massique	Coef. Respirat.	Coef. Respirat.	Quantité de boue	Besoins en oxygène
	Kg/j	Kg DBO ₅ /m ³ /j	Kg DBO ₅ /Kg MVS/j			Kg	Kg O ₂ /h
Janv.	592	0,05	0,01	0,88	0,06	65340	203,90
Fév.	1 015	0,08	0,02	0,82	0,07	65340	241,54
Mars	2 352	0,18	0,04	0,75	0,08	65340	333,12
Avril	3 458	0,26	0,05	0,71	0,08	65340	396,88
Mai	3 923	0,30	0,06	0,70	0,08	65340	422,02
Juin	2 306	0,18	0,04	0,75	0,08	65345	330,31
Juil.	6 153	0,47	0,09	0,66	0,09	65350	534,34
Août	2 522	0,19	0,04	0,74	0,08	65355	343,38
Sept.	4 948	0,38	0,08	0,68	0,09	65360	475,13
Oct.	1 691	0,13	0,03	0,78	0,07	65365	290,93
Nov.	1 762	0,13	0,03	0,77	0,07	65370	295,71
Déc.	1 008	0,08	0,02	0,82	0,07	65375	241,01

3.4. Estimation du taux de transfert d'oxygène aux conditions du procédé OTR_F

Le taux de transfert d'oxygène par aérateur de surface est obtenu à l'aide des équations (5) et (9) ainsi par injecteur d'air et en fonction des équations (6), (7), (8) et (9). Les résultats sont indiqués respectivement dans les tableaux 03 et 04.

Tableau 03 : Estimation du taux de transfert d'oxygène (OTR_F) pour aérateur de surface (turbine lente)

Paramét.	Concentrat. saturation Teau° C	Concentrat. saturation 20° C	Coef. de transfert d'oxygène	Taux de transfert du procédé	Nombre des aérateurs
	mg/l	mg/l		Kg O ₂ /h	
Janv.	10,54	9,092	0,69	99,93	3
Fév.	10,54	9,092	0,69	99,93	3
Mars	10,31	9,092	0,69	99,82	4
Avril	9,47	9,092	0,69	99,70	4
Mai	9,28	9,092	0,69	99,75	5
Juin	8,58	9,092	0,69	100,26	4
Juil.	8,58	9,092	0,69	100,26	6
Août	8,11	9,092	0,69	100,93	4
Sept.	8,42	9,092	0,69	100,46	5
Oct.	8,92	9,092	0,69	99,95	3
Nov.	9,87	9,092	0,69	99,69	3
Déc.	10,31	9,092	0,69	99,82	3

Tableau 04 : Estimation du taux de transfert d'oxygène (OTR_F) pour injecteur d'air (diffuseurs fines bulles)

Paramét.	Concentrat. à saturation d'oxygène dissous en eau pure	Concentrat. à saturation d'oxygène dissous en eau pure aux conditions standard	Coef. de transfert d'oxygène	Taux de transfert du procédé	Nombre des diffuseurs	Nombre des surpresseurs
	mg/l	mg/l		Kg O ₂ /h		
Janv.	9,88	9,24	0,5	0,116	1755	2
Fév.	9,88	9,24	0,5	0,116	2079	2
Mars	9,66	9,24	0,5	0,145	2290	2
Avril	8,87	9,24	0,5	0,145	2729	2
Mai	8,69	9,24	0,5	0,239	1765	2
Juin	8,04	9,24	0,5	0,240	1373	2
Juil.	8,04	9,24	0,5	0,240	2222	2
Août	7,60	9,24	0,5	0,242	1418	2
Sept.	7,89	9,24	0,5	0,236	2016	2
Oct.	8,36	9,24	0,5	0,234	1242	2
Nov.	9,25	9,24	0,5	0,233	1267	2
Déc.	9,66	9,24	0,5	0,116	2076	2

3.5. Estimation de la consommation d'énergie électrique de la station

La station de Souk Ahras possède 12 aérateurs de surface (6 par bassin d'aération). Chaque aérateur de surface doit délivrer au minimum un besoin en oxygène de : $1\ 200,78/12 = 100,06\ \text{Kg O}_2/\text{h}$ (première condition pour le choix d'un aérateur de surface) [2]. Le second critère réside dans la puissance de brassage qui ne doit pas être inférieure à $30\ \text{W}/\text{m}^3$ (environ) [2]. Chaque bassin d'aération est équipé de 6 aérateurs de surface ayant une puissance nominale de 75 kW. Dans ces conditions, la puissance nominale de brassage est de $(12 \times 75\ 000) / (26\ 136) = 34,4\ \text{W}/\text{m}^3$. Pour une telle puissance spécifique de brassage, la capacité d'oxygénation des aérateurs de surface vaut : $120\ \text{Kg O}_2/\text{h}$ (Selon spécification technique du constructeur). L'estimation théorique de la consommation mensuelle en énergie électrique pour la station d'épuration représenté dans la figure 10, a donné des valeurs extrêmes : minimale de 80,35 MWh (Méga watt heure) et maximale de 237,46 MWh dans le cas d'un aérateur de surface. Ainsi, le système d'aération à diffuseurs à fines bulles comprend 2 729 diffuseurs alimentés en air par deux (2) surpresseurs centrifuges en service donnant une consommation mensuelle minimale de 61,67 MWh et maximale de 187,53 MWh.

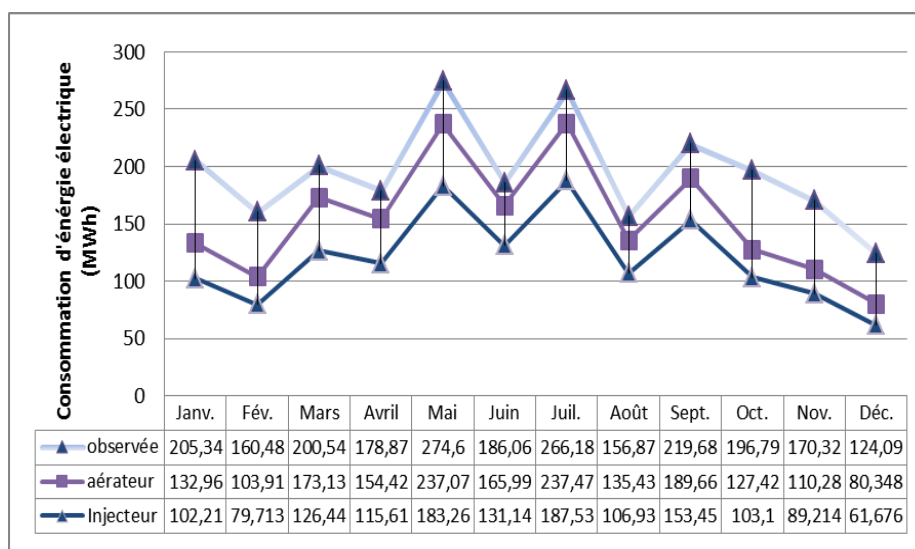


Figure 10 : Evaluation de la consommation mensuelle d'énergie électrique de la station

4. CONCLUSION

L'énergie consommée par les systèmes d'aération représente une partie importante de l'électricité utilisée dans les stations d'épuration des eaux usées. L'implantation de mesures d'économie d'énergie électrique permet aux municipalités de mieux gérer la consommation d'électricité de leurs stations et de réduire leurs frais d'exploitation. En outre, il est possible d'optimiser les systèmes d'aération sans affecter le rendement épuratoire des procédés de traitement biologique.

Cet travail présente les calculs d'économie d'énergie les plus susceptibles d'être implantées dans les stations de traitement des eaux usées. Le coût total de la station d'épuration de fonctionnement est optimisé. Plusieurs cas d'optimisation sous les contraintes réglementaires sur l'effluent sont effectués en agissant sur l'aération. Les résultats montrent que le coût total peut être réduit d'environ 23 à 37 %. Enfin, il ne saurait cependant être exhaustif, car il existe d'autres mesures d'optimisation énergétique liées à l'aération qui peuvent aussi être mises en place.

REFERENCES

- [1] A.C. Araujo et al., Ga2013, Sensitivity analysis of optimal operation of an activated sludge process model for economic controlled variable selection. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. Vol. 52. Iss. 29 , pp. 9908–9921.
- [2] G. Ascanio et al., 2004, Measurement of Power Consumption in Stirred Vessels. A Review. *Chemical Engineering Research and Design*, 82(A9), pp. 1282-1290.
- [3] ASCE, 1992, Standard measurement of oxygen transfer in clean water. American Society of Civil Engineers, 41 p.

- [4] L. Changqing et al., 2011, The oxygen transfer efficiency and economic cost analysis of aeration system in municipal wastewater treatment plant, *Energy Procedia* 5, pp. 2437–2443
- [5] CTGREF, 1980, Les performances des systèmes d'aération des stations d'épuration : Méthodes de mesure et résultats. Division qualité des eaux, Cemagref, Antony.
- [6] P. Duchène et al., 1995, Comment réussir un essai d'aérateur en eau propre. *Cemagref - DICOVA, Antony*.
- [7] P. Duchène and R. Cotteux, 2002 Insufflation d'air fines bulles, application aux stations d'épuration en boues activées des petites collectivités, ministère de l'agriculture et de la pêche, FNDAE n° 26, 54p.
- [8] Y. Fayolle et al., 2007, Oxygen transfer prediction in aeration tanks using CFD, *Chemical Engineering Science* 62(24), pp. 7163-7171
- [9] Y. Fayolle et al., 2013, Modélisation du transfert d'oxygène en eau claire dans un réacteur biologique à lit fluidisé à l'aide de l'analyse dimensionnelle. *Récents Progrès en Génie des Procédés*, 8 p.
- [10] A. Ferreira ,et al., 2010, Temperature and solid properties effects on gas-liquid mass transfer, *Chemical Engineering Journal*, 162(2), pp. 743-752
- [11] S. Gillot et al., 2005, Predicting oxygen transfer of fine bubble diffused aeration systems - Model issued from dimensional analysis, *Water Research* 39(7) , pp. 1379-1387
- [12] S. Gillot et al., 2012, Un protocole pour la modélisation du fonctionnement des stations d'épuration à boues activées. *Sciences Eaux and Territoires : la Revue du IRSTEA, IRSTEA*, p. 66 - p. 71.
- [13] A. Hannachi et al., 2014, Gestion et valorisation des eaux usées en Algérie, *Larhyss Journal*, n°19, pp. 51-62
- [14] P. Huang and R. Goel. 2015. Response of a sludge-minimizing lab-scale BNR reactor when the operation is changed to real primary effluent from synthetic wastewater. *Water Research*. Vol. 81 p. 301–310.
- [15] D. Jenkins and J. Wanner(ed.) 2014. *Activated sludge – 100 years and counting*. London. IWA Publ. ISBN 9781780404943 pp. 464.
- [16] A. Kellouche and C. Abdelbaki, 2018. DIAGNOSTEP : Outil pour le diagnostic des stations d'épuration à boues activées - Application à la STEP d'Ain Defla, Algérie, *Systèmes Agricoles et Environnement SAGREN Vol 02, No 01*, pp 17-25.
- [17] P. Mena et al., 2011, Effect of some solid properties on gas-liquid mass transfer in a bubble column, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50(2), pp. 181-188
- [18] L. Rieger et al., 2010, Editorial : Status and future of wastewater treatment modeling, *Water Science and Technology*, 64(1), p. 821-823.
- [19] D. Sabri et al., 2017., Dynamic simulation for wastewater treatment plants management: Case of Souk-Ahras Region, north-eastern Algeria. *Journal of Water and Land Development*. No.34, pp. 221–231.
- [20] D. Sabri, 2018. La simulation dynamique comme un outil d'aide à la décision pour la gestion des stations d'épuration à boues activées, thèse doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba Algérie.