

## **Performances de la dégradation de la matière organique par lagunage aéré dans la station d'épuration des eaux usées de la ville d'Oujda (Maroc oriental)**

Ahmed RASSAM<sup>1</sup>, Abdelaziz CHAOUCH<sup>1</sup>, Brahim BOURKHISS<sup>1</sup> et M'barek BOURKHISS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Biotechnologie, environnement et qualité, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, B.P 133 14 000 Kenitra, Maroc.

<sup>2</sup>Département de Physique-Chimie, Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation (CRMEF), BP 255 50 000 Meknès, Maroc.

### **Résumé :**

Au Maroc, comme dans tous les pays en développement, l'assainissement et le traitement des eaux usées constituent certainement l'un des plus grands problèmes environnementaux. L'absence de réseau public, le manque de stations d'épuration, l'absence de contrôle et de sensibilisation à l'environnement contribuent à la propagation de maladies, à la dégradation du paysage et à la contamination des eaux superficielles et souterraines.

Les eaux usées sont considérées comme les principales sources de pollution pour les eaux souterraines et de surface.

Au Maroc, le traitement des eaux usées domestiques par lagunage aéré présente une solution efficace au niveau des performances et économiquement attrayante. L'objectif de cette étude est d'analyser et d'enregistrer l'évolution des performances du système en termes de rendement d'élimination dans les différentes phases du traitement et de mettre en évidence les facteurs menant à une élimination satisfaisante des matières organiques, des solides et des nutriments.

La collecte et l'analyse des données a révélé une efficacité d'élimination stable de la demande chimique en oxygène (DCO), de la demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>), des solides en suspension totaux (MES) et de l'azote Kjeldahl (NTK).

L'analyse des données a montré que le rendement du système combiné a atteint respectivement 88 %, 89 %, 90 % et 29 % de la MES, DCO, DBO<sub>5</sub> et NTK, avec des concentrations de rejet de  $106 \pm 22$  mg/l de DCO,  $50 \pm 6$  mg/l de DBO<sub>5</sub>,  $67 \pm 21$  mg/l de MES et  $52 \pm 12$  mg/l de NTK.

L'analyse bactériologique montre une pollution fécale d'origine humaine et le rendement d'abattement des germes fécaux et des germes pathogènes est proche de 100 %.

**Mots-clés :** Lagunage aéré, DCO, Station d'épuration, DBO<sub>5</sub>, Eaux usées, Oujda.

### **Abstract :**

In Morocco, like in all developing countries, sanitation and sewage treatment are one of the biggest environmental problems. The lack of public network for waste water treatment, the absence of control and of environmental sensitivity contribute to spreading diseases, degrading landscapes and contaminating surface as well as underground water. Wastewater is considered their main polluting factor.

In Morocco the wastewater treatment by aerated lagoon is probably the most efficient solution both in economic terms and in terms of performance.

This study aims to evaluate this system by measuring, during its different phases, the efficiency of removal of organic matter.

Data show a stable removal efficiency of the chemical and biochemical, oxygen demand, of total suspended solids and nutrients.

Data also show that combining the removal systems allows the elimination of 88 % of total suspended solids, 89 % of chemical oxygen demand, 90 % of biochemical oxygen demand and 29 % of nutrients with effluent concentrations of  $106 \pm 22$  mg/l of chemical oxygen demand,  $50 \pm 6$  mg/l of biochemical oxygen demand,  $67 \pm 21$  mg/l and  $52 \pm 12$  mg/l respectively of total solids and nutrients.

Biological analyses showed that fecal pollution of this wastewater is of human origin and that the efficiency of removing fecal germs approaches 100 %.

**Keywords:** Aerated lagoon, WWTP, COD, BOD<sub>5</sub>, Waste water, Oujda.

## **1 Introduction**

Le Maroc, comme tous les pays méditerranéens, connaît un grave déséquilibre entre la demande et l'approvisionnement en eau. Il est dû principalement à la distribution inégale des précipitations, aux températures élevées et aux demandes accrues en eau d'irrigation. Ce déséquilibre doit être compensé par la récupération et la réutilisation des eaux usées.

Actuellement le Maroc produit environ 600 millions m<sup>3</sup>/an d'eaux usées (900 millions m<sup>3</sup>/an en 2020), et plus de 50% de ces eaux usées sont utilisées directement pour l'irrigation sans traitement.

Malgré que la construction des stations de traitement des eaux usées ait débuté au Maroc dès les années cinquante, l'épuration des eaux usées, stade ultime de la dépollution des eaux, reste la composante qui connaît le plus de retard. En effet il existe 63 stations au Maroc, dont seulement 26 sont encore en état de marche, parmi lesquelles dix sont gérées par les collectivités locales. Seulement 20% des stations gérées par les collectivités locales sont effectivement fonctionnelles.

Le lagunage aéré est un procédé de traitement biologique principalement aérobie, en cultures libres, qui se différencie des boues activées par l'absence d'une recirculation de la culture bactérienne séparée par décantation avant rejet des eaux traitées.

La capacité de traitement de la station d'épuration de la ville d'Oujda est estimée à 500.000 équivalents habitants dont 99 % sont raccordés au réseau d'eau potable et d'assainissement, soit environ 40.000 m<sup>3</sup> par jour d'eaux usées. Environ 10% de ces eaux usées proviennent de deux zones industrielles et de l'abattoir municipal. La technologie utilisée est le lagunage aéré suivi d'un traitement tertiaire qui n'est pas encore opérationnel. Les boues produites seront déshydratées dans des lits de séchage. L'objectif du traitement est de réduire la pollution engendrée par les eaux usées et la réutilisation des eaux clarifiées en agriculture.

Dans ce travail, on se propose de réaliser une caractérisation physico-chimique et microbiologique par la détermination des paramètres majeurs et globaux de la pollution des eaux usées brutes ainsi que l'analyse des performances épuratoires du lagunage aéré.

## 2 Matériel et méthodes

### 2.1 Présentation de la station d'épuration d'Oujda

La station d'épuration des eaux usées de la ville d'Oujda (Maroc oriental) est située à sept kilomètres au Nord de la ville (fig. 1). Elle comprend au total 28 bassins dont 12 de lagunage aéré, 8 anaérobies et 8 de maturation en série (fig. 2). Les dimensions de ces bassins sont : 100 m de longueur, 66 m de largeur et 3,2 m de profondeur, soit 21.120 m<sup>3</sup>, sauf les bassins d'aération qui sont plus profonds (5 m et 3,5 m de profondeur d'eau soit un volume utile de 23.100 m<sup>3</sup>). Selon le débit nominal, ceci correspondrait à une durée de rétention de 15,4 j. Les 12 bassins aérés sont équipés de turbines de surface.

Cette station est destinée à l'assainissement collectif des eaux usées domestiques et industrielles de la dite ville.

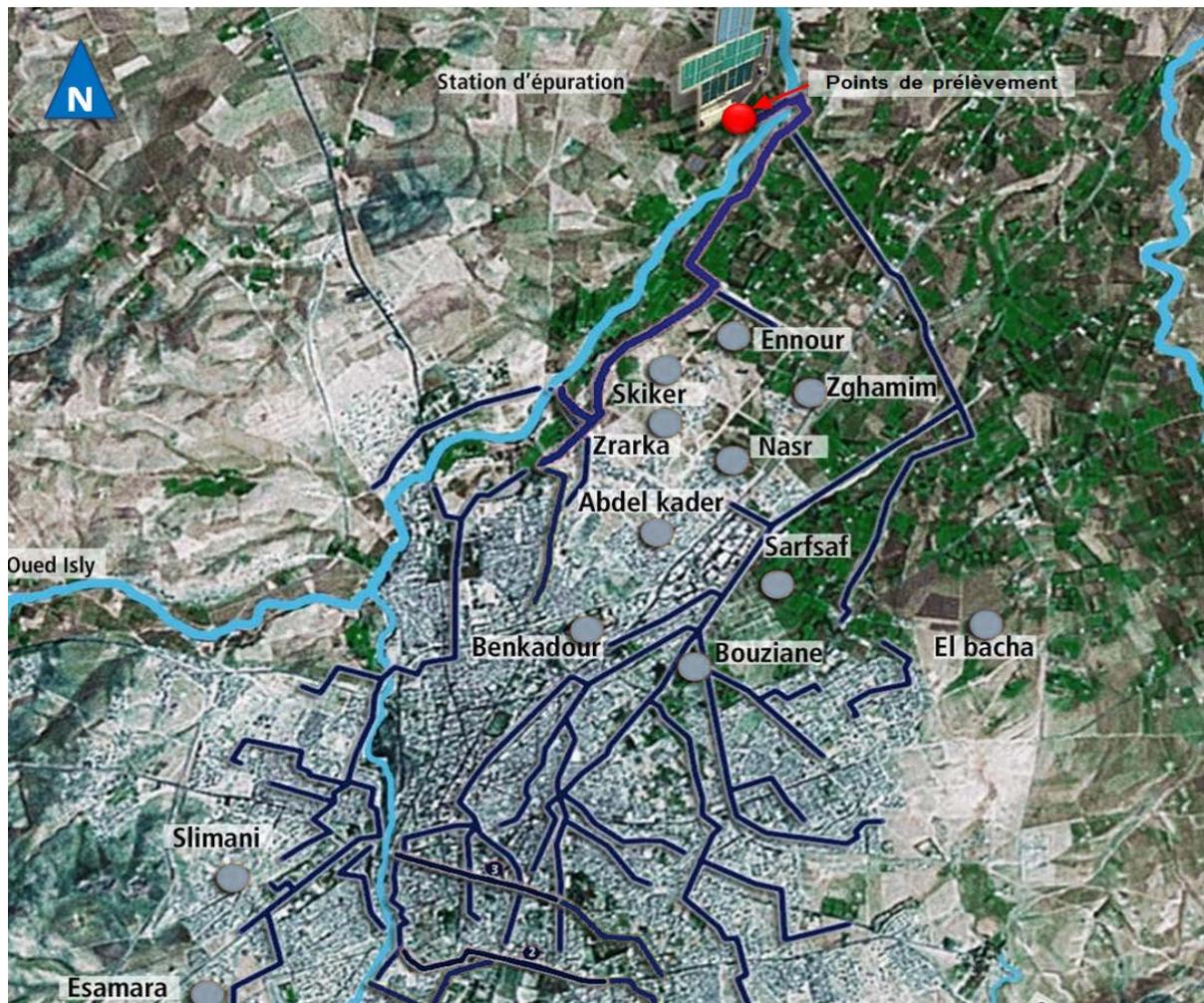


Figure 1 : Station d'épuration des eaux usées de la ville d'Oujda

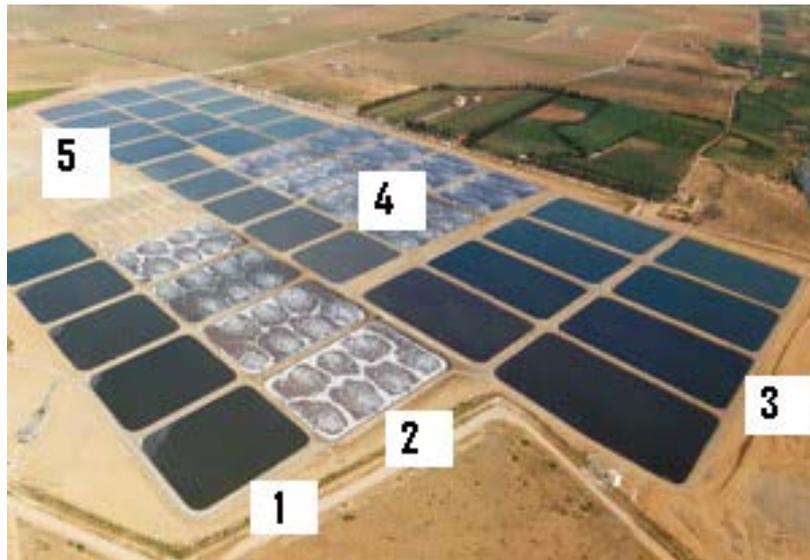


Figure 2 : Synoptique de la STEP

- 1- Bassins anaérobies
- 2- Bassins aérés
- 3- Bassins de maturation
- 4- Bassins aérés
- 5- Lits de séchage

## 2.2 Paramètres et méthodes analytiques

Durant la période d'étude, qui a duré un an, il a été adopté un échantillonnage composite avec des mesures hebdomadaires pour la demande biochimique en oxygène en 5 jours ( $DBO_5$ ) et des mesures journalières pour les autres paramètres : température, pH,  $O_2$ , demande chimique en oxygène (DCO), matières en suspension (MES) et azote total Kjeldahl (NTK). Les échantillons sont prélevés à l'entrée et à la sortie de chaque ouvrage de traitement.

Les paramètres physico-chimiques ( $T^\circ$ , pH,  $O_2$  dissous) ont été mesurés *in situ* au moyen d'une sonde multi-paramètres sur des échantillons ponctuels prélevés de manière régulière 3 fois au cours de la journée. Les paramètres de pollution organique (MES,  $DBO_5$ , DCO) ont été mesurés sur des échantillons composites journaliers au cours de la journée. La  $DBO_5$  a été mesurée par la méthode manométrique basée sur le principe de Warburg. La DCO a été analysée par oxydation en excès au dichromate de potassium à chaud ( $150^\circ C$ ) pendant 2 heures en milieu acide (méthode AFNOR). Pour les matières en suspension, la méthode utilisée a été la pesée différentielle avec séparation directe par filtration sur des filtres GFC et séchage du résidu pendant 1h30 mn à  $105^\circ C$  dans une étuve (AFNOR, T90-105). L'azote Kjeldahl est mesuré sur des échantillons bruts par la méthode colorimétrique au moyen d'un spectrophotomètre HACH DR/2010.

L'étude des paramètres bactériologiques a porté sur la quantification des paramètres d'origine fécale: coliformes fécaux (CF). Coliformes totaux (CT) et streptocoques fécaux (SF). Les prélèvements ont été effectués avec une fréquence mensuelle. Le dénombrement des CF et SF a été effectué selon la méthode indirecte de fermentation en tube multiple dans un bouillon lactosé, le nombre a été ensuite déduit statistiquement suivant la méthode du nombre le plus probable (Rodier, 1984). Concernant les germes pathogènes, seuls les salmonelles et les staphylocoques ont été déterminés, étant donné le risque épidémiologique associé à leur présence dans une eau destinée à la réutilisation.

### 3 Résultats et discussion

L'évaluation de la pollution d'une eau usée brute se fait d'après la détermination d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques caractéristiques. La variation des paramètres majeurs et globaux des eaux usées de la ville d'Oujda au cours de l'année résumée dans le tableau 1 et représentée par les figures 3 à 10 ci-dessous.

Tableau 1: Les paramètres physicochimiques mensuels à l'entrée de la STEP d'Oujda

Mois	Débit	T°	pH	CE	DCO	MES	O <sub>2</sub> diss.	DBO <sub>5</sub>	NTK
Janvier	35450,4	17,04	8,1	2,57	1285,0	988,17	0,09	639,79	79,08
Février	33714,3	14,98	8,15	2,6	1089,52	720,08	0,09	510,26	72,80
Mars	30050,2	20,65	8,02	2,59	1020,20	670,76	0,08	567,89	80,54
Avril	14880,6	22,43	8,26	2,67	970,43	467,35	0,02	625,19	88,22
Mai	29602,6	25,51	8,33	2,58	1020,54	445,54	0,07	611,82	94,40
Juin	40748	29,33	7,7	2,50	961,78	403,08	0,00	603,40	92,07
Juillet	45119	29,91	7,78	2,59	1010,61	404,37	0,01	520,27	86,83
Août	44697	28,36	7,73	2,57	955,57	405,35	0,01	423,23	91,65
Septembre	33744	28,06	7,77	2,50	963,93	408,15	0,01	424,92	98,13
Octobre	40256,6	20,87	7,92	2,49	1145,3	512,67	0,06	509,42	98,07
Novembre	35296,3	18,9	7,81	2,50	1470,44	523,91	0,30	543,89	98,20
Décembre	32713,8	17,78	8	2,52	1354	871,7	0,06	500,59	76,25

#### 3.1 Température

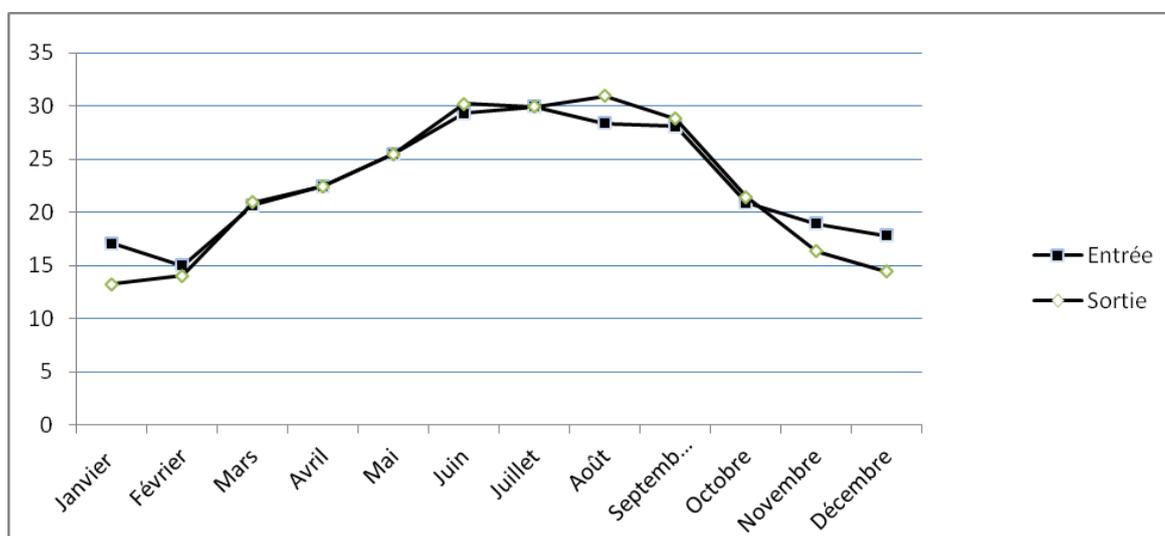


Figure 3 : Valeurs moyennes des Températures en °C

On observe une différence de 15 degrés entre les valeurs estivales et hivernales. Il n'y a pas de différence entre les valeurs d'entrée et de sortie. La moyenne des températures enregistrées (fig.3) est inférieure à 30 °C qui est considérée comme valeur limite pour les rejets directs dans le milieu récepteur et pour les eaux usées destinées à l'irrigation des cultures [1]. Cette plage doit être considérée comme optimale pour le déroulement des processus biologiques.

### 3.2 pH

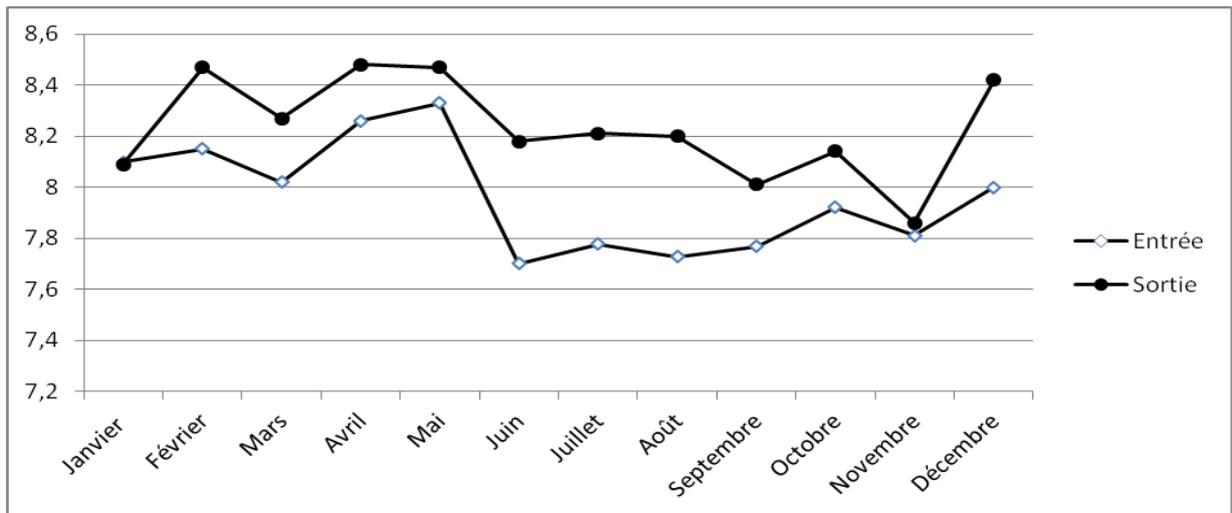


Figure 4: Valeurs moyennes des pH

Le pH de l'eau usée brute à l'entrée de la station d'épuration varie entre 7,5 et 8,3 (fig.4). Ces valeurs sont légèrement alcalines et presque similaires à celles trouvées à la ville de Kenitra et à la ville de Mechraa Belksiri (Maroc) [2] et [3], elles se situent dans l'intervalle des normes marocaines de qualité des eaux destinées à l'irrigation et dans l'intervalle des limites de rejets directs, qui est compris entre 6,5 et 8,5 [1]. Le passage dans la station tend à stabiliser le pH dans la zone tampon des bicarbonates. Le cycle photosynthétique diurne tend lui aussi à élever le pH, mais pour autant que celui-ci ne dépasse pas trop la valeur optimale pour les bactéries (environ 8) aucune conséquence négative n'est à redouter. On verra plus loin qu'un pH élevé dans les derniers bassins est par contre très favorable pour l'élimination des coliformes.

### 3.3 Oxygène dissous

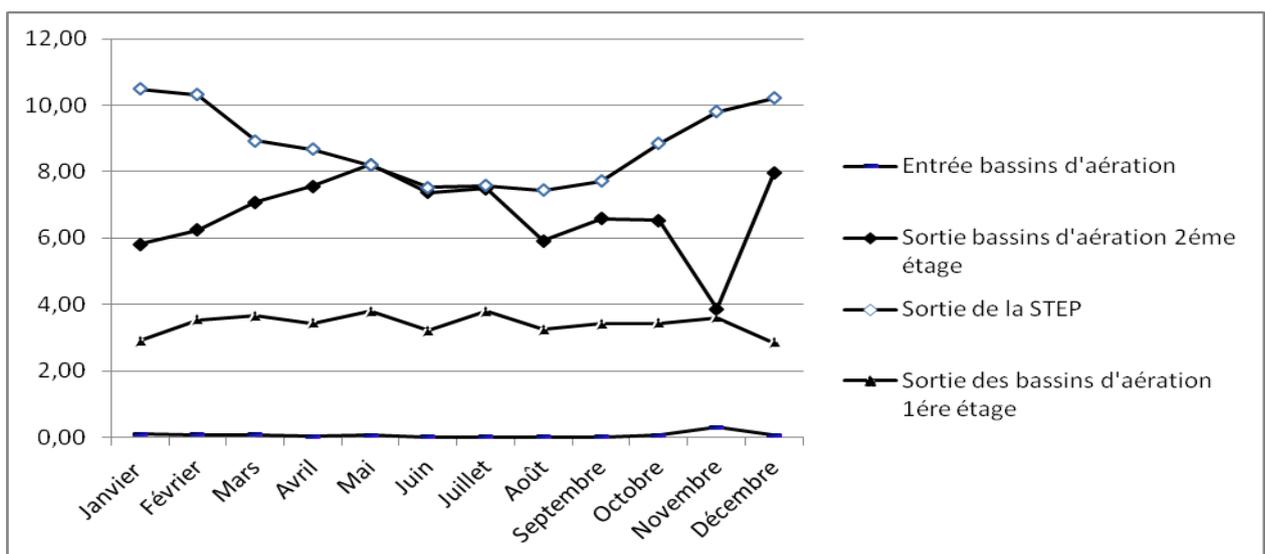


Figure 5 : Valeurs moyennes de l'oxygène dissous respectivement à l'entrée des bassins d'aération, à la sortie des bassins d'aération 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> étage et à la sortie de la STEP.

La moyenne des teneurs en oxygène dissous à la sortie du réseau d'égouts et à l'entrée de la station est de l'ordre de 0,01 mg/l, comme on peut s'y attendre en raison des températures. Les valeurs relevées à la sortie des bassins d'aération primaire s'échelonnent entre 2,8 et 3,8 mgO<sub>2</sub>/l, qui constituent une plage correcte pour une utilisation économique des aérateurs. La teneur à la sortie de la station varie entre 6 mg/l et 8 mg/l (fig.5). La teneur de saturation en oxygène dépend fortement de la température. On calcule que les eaux à la sortie des installations sont en moyenne saturées à +/- 80 %, et même à 100 % pendant trois mois.

Les bassins d'aération sont équipés d'aérateurs flottants cadencés à 14 h/j. Le modèle choisi garantit un transfert de 0,9 kg O<sub>2</sub>/kWh et une énergie de brassage de 2,6 W/m<sup>3</sup>. Toutes ces valeurs sont classiques.

### 3.4 Matières en suspension

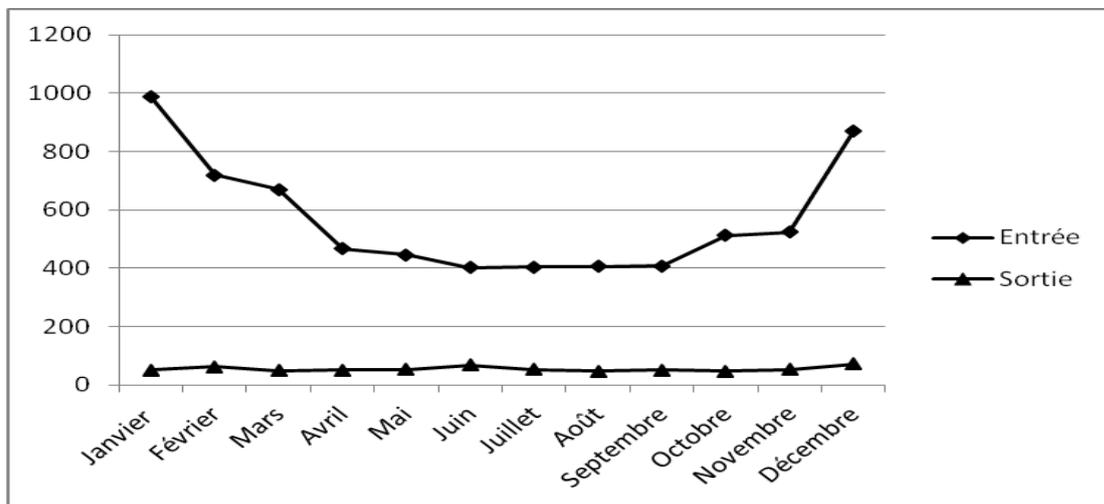


Figure 6: Valeurs moyennes des teneurs et rendements épuratoires en MES

La matière en suspension (MES) représente les particules minérales et organiques contenues dans l'effluent. La valeur moyenne de la MES à l'entrée de la station d'épuration est de l'ordre de 655 mg/L (fig.6), ces résultats sont inférieurs à ceux trouvés à Sanaa (Yémen) (813 mg/l) [4], plus ou moins similaires à ceux trouvés à Kenitra (Maroc) [2] et supérieurs à ceux rencontrés à Marrakech (Maroc) (194 mg/l) [6] et (167 mg/l) [5] et à Souk Elarba du Gharb (Maroc) (224 mg/l) [7].

La concentration moyenne de la MES à la sortie de la station d'épuration est très stable et de l'ordre de 67 mg/l, cette valeur est largement inférieure aux normes marocaines de rejet indirect (600 mg/l) et aux normes des eaux destinées à l'irrigation (2000 mg/l), par contre elle est légèrement supérieure à la concentration des normes marocaines de rejet direct (50 mg/l) [1]. Il est cependant connu qu'il est difficile d'obtenir des valeurs plus faibles par le procédé du lagunage, surtout si les bassins de sortie sont le siège d'une intense photosynthèse.

Le rendement d'abattement des MES dans les bassins de traitement de la station

d'épuration est de 88 %.

### 3.5 DCO

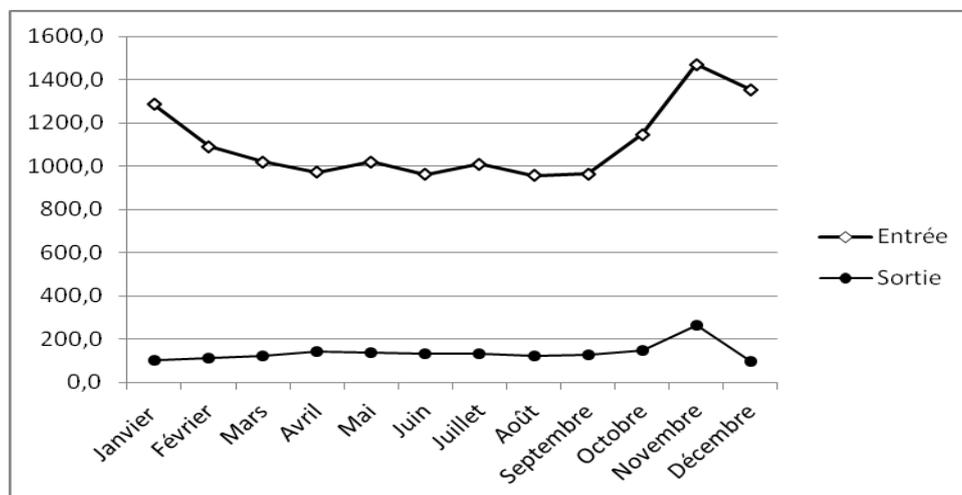


Figure 7: Valeurs moyennes des teneurs et rendements épuratoires en DCO

Les valeurs de la concentration de la DCO enregistrées à l'entrée de la station d'Oujda sont de l'ordre de 1091 mg d'O<sub>2</sub>/l (fig.7). Elles sont inférieures à celles trouvées à Sanaa (Yémen) (1888 mg/l) [4] et à Marrakech (Maroc) (2983 mg/l) [8]. En revanche, elles sont supérieures à celles obtenues à Ouarzazate (571 mg/l) [9], Kenitra (Maroc) (501 mg/l) [2], et à Souk Elarba du Gharb (Maroc) (235 mg/l) [7].

Le rendement d'abattement de la DCO est de 89%, valeur supérieure à celle enregistrée dans la station d'épuration de la ville de Ouarzazate (Maroc) [9]. La concentration moyenne de la DCO de l'eau clarifiée à la sortie de la Station d'Oujda est de l'ordre de 106 mg/l, cette teneur est largement inférieure aux normes de rejet marocaines, que ce soit pour un rejet direct (500 mg/l) ou pour l'irrigation [1]. Elle est aussi conforme à la valeur attendue d'une épuration par lagunage aéré sous cette charge. On peut en effet calculer la moyenne pondérée de la charge reçue à la station, compte tenu des débits moyens mensuels repris au tableau 1. On trouve ainsi un afflux de 38.688 kg de DCO par jour. Les 12 bassins aérés offrant d'autre part un volume total de 277.200 m<sup>3</sup>, cela donne une charge volumique moyenne de 139,56 ~ 140 g DCO/m<sup>3</sup>.j. Pour cette charge et pour des installations allemandes, Schleyden (1985) prévoit une valeur inférieure à 150 mg/l de DCO.

### 3.6 DBO<sub>5</sub>

L'analyse des concentrations de la DBO<sub>5</sub> de l'eau brute à l'entrée de la station aboutit à une moyenne de 511 mg/l (fig. 8). Cette dernière est supérieure à celle trouvée à Marrakech (240 mg/L) [8], à Souk Elarba du Gharb (Maroc) (162 mg/l) [7] et à Kenitra (Maroc) (335 mg/l) [2]. En revanche, elle est inférieure à celle trouvée à Sanaa (Yémen) (1137 mg/l) [4].

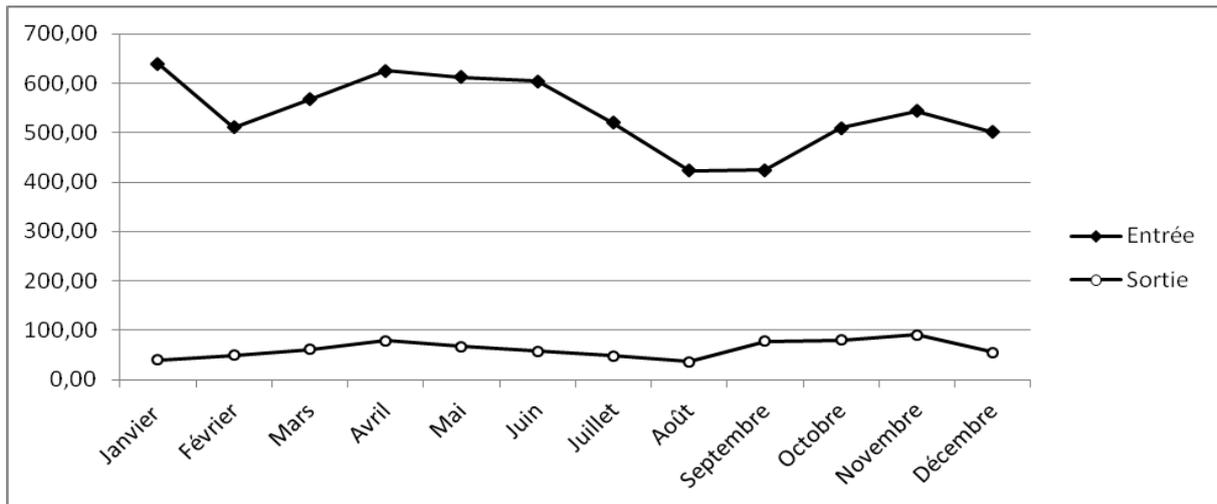


Figure 8 : Valeurs moyennes des teneurs et rendements épuratoires en DBO<sub>5</sub>

Le taux de réduction de la DBO<sub>5</sub> est de 90%. Ce rendement est supérieur à celui enregistré dans la station de traitement de Ouarzazate (Maroc) [9].

### 3.7 NTK

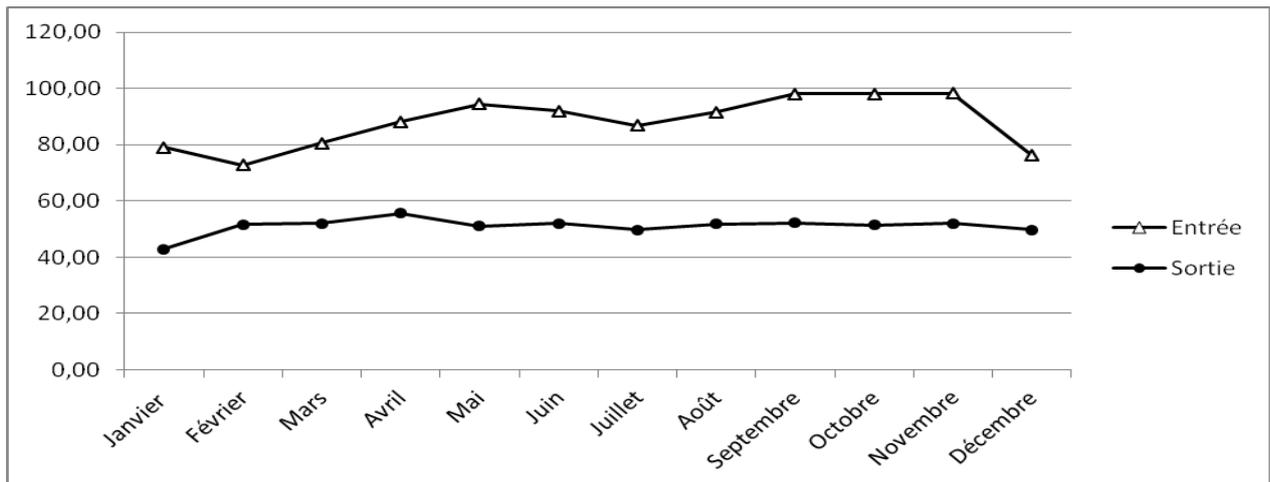


Figure 10 : Valeurs moyennes des teneurs et rendements épuratoires en NTK

La moyenne des teneurs en NTK des eaux usées brutes d'Oujda est de l'ordre 72,8 mg/l. Cette valeur est fortement supérieure à celle trouvée à Kenitra (Maroc) [3]. La concentration en NTK enregistrée à la sortie de la station est de 51,74 mg/l Cette teneur moyenne est légèrement supérieure à la norme marocaine des rejets directs [1]. Le rendement épuratoire en matière de NTK ne dépasse pas 30%, ce qui est faible par rapport au rendement de la station d'épuration de Ben Slimane (Maroc) [15]. Le procédé par lagunage aéré ne peut pas à proprement parler éliminer l'azote : il peut tout au plus minéraliser l'azote organique en azote ammoniacal, et éventuellement oxyder une partie de ce dernier en nitrate. Ceci n'est toutefois pas un inconvénient si l'eau traitée est utilisée pour l'irrigation, puisque cet azote sert alors d'engrais. Dans le cas présent il y aurait intérêt à affiner la connaissance du bilan azoté, en déterminant systématiquement l'azote ammoniacal et nitrique dans l'effluent, car le NTK ne fournit que la somme des formes réduites de l'azote.

### 3.8 Germes fécaux

Les résultats des analyses bactériologiques à l'entrée de la station d'épuration révèlent la présence des germes indicateurs de contamination fécale ainsi que certains germes pathogènes. La charge moyenne en coliformes totaux (CT) est de l'ordre de  $2,9 \cdot 10^8$  germes par 100 ml. Pour les coliformes fécaux (CF) les valeurs moyennes sont de  $3 \cdot 10^7$  germes par 100 ml. Les staphylocoques fécaux (SF) représentent  $4,3 \cdot 10^6$  germes par 100 ml. Le rapport CF/SF est supérieur à 1, ce qui signifie que la pollution fécale des eaux usées d'Oujda est d'origine humaine. Pour les germes pathogènes, l'analyse biochimique a permis d'identifier 5 *Salmonella*. Par ailleurs la présence des staphylocoques a été décelée avec une fréquence de 75 %.

À la sortie de la station, les concentrations moyennes des (CT), des (CF) et des (SF) sont de 300 germes par 100 ml. Les germes pathogènes sont absents à la sortie de la station. Ces valeurs sont comparables à celles trouvées dans les stations d'épuration de Ben Slimane et de Drargua (Maroc) [15] et ne dépassent pas la norme marocaine des eaux destinées à l'irrigation [1]. Le rendement épuratoire est donc proche de 100%, mais ceci ne doit pas faire illusion car il suffit de quelques germes pour contaminer une eau. L'élimination des CF a lieu par photo-oxydation [18] et est fortement favorisée par la présence d'oxygène et par un pH élevé. L'effet du pH est net de 7,5 à 9,0 ; il s'accélère plus fortement encore à pH 9,5 mais un tel pH n'est normalement jamais rencontré dans les lagunes. La présence d'oxygène est assurée par les aérateurs secondaires.

## 4 Discussion générale

La charge volumique appliquée aux bassins d'aération a été calculée plus haut :  $\sim 70$  g  $\text{DBO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{j}$ . Cette valeur est certainement très élevée si on la compare aux pratiques européennes : 15 en France et 20 à 30 en Allemagne. Des performances correctes sont néanmoins obtenues, vu la garantie de bénéficier en permanence de températures élevées.

Les lagunes aérées ont une configuration hydraulique mal définie et cela interdit d'en proposer une modélisation rigoureuse. En admettant le modèle le plus simple (celui d'un réacteur parfaitement mélangé et d'une cinétique d'ordre 1) et sachant que le temps de séjour moyen dans les bassins d'aération vaut  $7,72$  j on calcule une constante globale d'enlèvement  $K_t$  égale à  $1,27 \text{ j}^{-1}$ .

On peut enfin tenter de cerner la valeur de l'équivalent-habitant. Les valeurs officielles sont  $150 \text{ l/j} - 30 \text{ g } \text{DBO}_5/\text{j} - 75 \text{ g } \text{DCO}/\text{j} - 40 \text{ g } \text{MES}/\text{j}$ . Comme on ne dispose pas du nombre exact d'habitants raccordés, on se basera sur la valeur de projet, soit 500.000 habitants. Bien que cette valeur soit probablement supérieure à la réalité on trouve pour Oujda des valeurs très différentes de la norme, soit  $72 \text{ l/j}$  au lieu de 150, et  $38,7 \text{ g } \text{DBO}_5/\text{j}$  au lieu de 30. Il est logique que la  $\text{DBO}_5$  augmente si la consommation d'eau par habitant diminue, toutefois cela ne peut faire augmenter la valeur de l'équivalent-habitant. Si on adopte la valeur officielle de celui-ci, on calcule que la charge reçue par la STEP correspond plutôt à une population de  $500.000 \times 30/38,7 = 388.000$  habitants réellement raccordés, avec une consommation d'eau quotidienne de  $72 \times 38,7/30 = 93 \text{ l/j}$ . Ces derniers résultats paraissent plus vraisemblables. Les apports d'origine industrielle mentionnés dans l'introduction contribuent évidemment à accentuer le déséquilibre.

## **5 Conclusion**

L'évaluation des paramètres physico-chimiques de la station d'épuration des eaux usées de la ville d'Oujda montre que la MES, la DCO et la DBO<sub>5</sub> situent ces eaux usées dans la tranche de concentration élevée [16]. Ceci est lié à la faible dilution de la matière organique en raison de la consommation plus ou moins limitée d'eau par habitant en comparaison avec les pays développés.

Les rendements d'abattement des paramètres globaux sont supérieurs à 88% et ceux des paramètres majeurs de l'ordre de 29%. Quant aux germes indicateurs de contamination fécale et des germes fécaux, leur abattement est proche de 100%.

Ces valeurs montrent une bonne performance épuratoire de la station, due au bon dimensionnement des bassins, des systèmes d'aération et à l'adaptation des micro-organismes biodégradeurs de la matière organique. La qualité des effluents produits les rend aptes à une réutilisation pour l'irrigation des terres.

## **Remerciements**

Nous tenons à remercier vivement Monsieur Francis EDELINE pour son aide et ses conseils lors de l'élaboration de ce rapport.

## **Références bibliographiques**

- [1]. Ministère de l'environnement du Maroc, 2002, *Normes marocaines*, Bulletin officiel du Maroc, N° 5062 du 30 ramadan 1423. Rabat.
- [2]. Oulkheir S., 2002. *Caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux usées de la ville de Kenitra*. Mémoire de 3ème cycle. Faculté des Sciences, Kenitra, 79p.
- [3]. El Guamri Y. et Belghyti D. 2006. *Étude de la qualité physico-chimique des eaux usées brutes de la commune urbaine de Saknia, rejetées dans le lac Fouarat (Kenitra, Maroc)*. Journal Africain des Sciences de l'Environnement, N° 1, Décembre.
- [4]. Raweh S., Belghyti D., Al Zaemey A., El Guamri Y. et El Kharrim K., 2011. *Qualité physico-chimique des eaux usées de la station d'épuration de la ville de S'Anaa (Yemen)*, International Journal of Biological and Chemical Sciences, Vol 5, N° 1.
- [5]. Bouarab L., Ouazzani N., Oudra B., Darley J., Picot B. et Bontoux J., 1994: *Évolution des formes d'azote dans la station expérimentale de lagunage naturel de Marrakech*. Actes Quatrième Conférence Internationale des Limnologues d'Expression Française. Marrakech, 25-28 Avril. Tome II.
- [6]. Abissy M. et Mandi L., 1994. *Approche expérimentale de potentialités épuratrices du réseau commun (Phragmites communis) sous climat aride*. Actes Quatrième Conférence Internationale des Limnologues d'Expression Française. Marrakech, 25-28 Avril. Tome II.
- [7]. Kbibch A., Belghyti D., Elkharrim K. et El Khokh Khalid., 2011. *Analyse de la pollution de l'oued Mda par les eaux usées domestiques de la ville de Souk Elarba du Gharba. Maroc*. Science Lib. Editions Mersenne : Volume N° 110203 Février.

- [8]. Gerbati L. et Nejmedine A., 2002. *Traitement photocatalytique et biodégradabilité des effluents textiles de la ville de Marrakech*. (330-334p). Actes Colloque International sur l'eau dans le bassin Méditerranéen : Ressources et Développement Durable. Monastir (Tunisie), (80-85)
- [9]. El Hamouri B., Mekrane M., Khallaayoune K., Merzouki M. et El Maroufy M., 1993, *Performances de stabilisation de la station de Ouarzazate*. Actes du séminaire : la recherche nationale dans le domaine Eau et Environnement, LPEE – Casablanca (18-19)
- [10]. N. N. Schéma Directeur National d'Assainissement Mai 1998. Mission II– *Épuration Instruction Technique* ; Editeur : Royaume du Maroc, Ministère de l'Intérieur, Direction Générale des Collectives Locales, Direction de l'Eau et de l'Assainissement.
- [11]. ONEP Août 1994 – *Capitalisation des expériences marocaines dans le domaine de l'épuration par lagunage*, Rabat, Maroc.
- [12]. H. El Haïti, V. Laforest et J. Bourjois, 28 – 30 mars 2010 « *Des réservoirs opérationnels pour la valorisation des eaux d'épuration urbaines* ». Colloque Eaux et Déchets et Développement Durable, Alexandrie, Egypte.
- [13]. Ouazzani N., 1998. *Traitement extensif des eaux usées sous climat aride en vue d'une réutilisation en agriculture*. Thèse d'Etat de l'Université Cadi Ayyad, Marrakech, 221 p.
- [14]. CEMAGREF, 2004, *Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités*. 79p.
- [15]. [http://doc.abhatoo.net.ma/doc/IMG/pdf/eaux\\_usees.pdf](http://doc.abhatoo.net.ma/doc/IMG/pdf/eaux_usees.pdf)
- [16]. Metcalf L. and Eddy H. P., 1991, Inc. *Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse*. 3ème Ed., Library of Congress Cataloging in publication data TD. 645p. T34.
- [17]. Schleypen P., 1985, Rapport II/2, 5/85, Bayer, *Landesamt für Wasserwirtschaft*, 13p.
- [18]. Curtis T.P. et Mara D.D., 1994, *The Effect of Sunlight on Mechanisms for the Die-off of Faecal Coliform Bacteria in Waste Stabilization Ponds*, Research Monograph N°1, University of Leeds, Dept of civil engineering.