

---

---

Soumis le : 12/04/2015

Forme révisée acceptée le : 27/06/2015

Auteur correspondant : hebabaze\_soumia@hotmail.fr

---

---

---

---

Nature & Technology

---

---

# Application d'un réacteur biologique membranaire "MBR" pour l'amélioration de la qualité des eaux épurées d'une unité d'industrie agroalimentaire au Maroc

Hebabaze Soumia<sup>a,\*</sup>, Brand Christoph<sup>b</sup>, Riechelmann Carsten<sup>b</sup>, Nahli Abdelmoutaleb<sup>a</sup>, Kraume Mattias<sup>b</sup> et Chlaida Mohamed<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Laboratoire d'Ecologie et d'Environnement (LEE), Université Hassan II-Mohammedia-Casablanca, Faculté des Sciences Ben M'sik, BP 7955-Sidi Othman, Casablanca, Maroc

<sup>b</sup>Chair of Chemical and Process Engineering, Technische Universität Berlin, Germany

---

## Résumé

Actuellement, les nouvelles technologies de traitement des eaux usées par réacteur biologique membranaire "MBR" sont en plein essor vu leur efficacité et les meilleurs rendements épuratoires obtenus. En effet, le MBR constitue une option prometteuse dans le domaine de traitement et de réutilisation des eaux usées. Cette étude s'intéresse à expérimenter un pilote membranaire aérobie immergé pour améliorer la qualité des effluents secondaires d'une unité industrielle agroalimentaire au Maroc. L'étude de la performance du système de traitement mis en œuvre s'est réalisée à travers un diagnostic physicochimique des eaux épurées par le système MBR. Les résultats obtenus montrent une amélioration de la qualité de l'eau épurée. Le rendement d'abattement, par rapport aux effluents II<sup>aires</sup> à la sortie de la STEP de l'entreprise, est de 63% pour la DCO, 53% pour la DBO<sub>5</sub> et 100% pour les matières en suspension.

*Mots clés : Réacteur biologique membranaire ; traitement ; eaux usées ; eaux épurées ; abattement.*

---

## Abstract

Currently, the new wastewater treatment technologies by membrane bioreactor "MBR" is booming because of their efficiency and the best purification yields obtained. Indeed, the MBR is a promising option in the treatment and reuse of wastewater. This study focuses on testing a pilot submerged aerobic membrane to improve the quality of secondary effluent from a food manufacturing facility in Morocco. The study of the performance of the processing system implemented was achieved through a physiochemical diagnosis of treated water from the MBR system. The results show an improvement in the quality of purified water. The removal efficiency compared to secondary effluents output of the WWTP of the company, is 63% for COD, 53% for BOD5 and 100% for suspended solids.

*Keywords: membrane bioreactor, treatment, wastewater, epurated water, removal efficiency*

---

## 1. Introduction

Au cours des dernières années, les réacteurs biologiques membranaires sont devenus une solution privilégiée pour l'amélioration de la qualité de l'eau des effluents domestiques et industriels [1]. Cette technologie a été conçue et appliquée vers la fin des années 60 par la société Dorr-Oliver (Rugby, Royaume-Uni) qui développa les premiers

bioreacteurs à l'aide de membranes d'ultrafiltration intégrées dans des systèmes de boucle externe des procédés de recirculation à boues activées [2]. Toutefois, ces premiers systèmes membranaires

étaient caractérisés par des coûts énergétiques très élevés ce qui limita leur propagation. Ce n'est qu'après une vingtaine d'années que la deuxième génération est apparue sous forme de bioréacteurs à membranes immergées proposés par Yamamoto [3]. Aujourd'hui, le MBR connaît une large répartition mondiale au niveau de leur commercialisation et de leur application dans la recherche scientifique [4-6].

Sur le plan de sa conception, le MBR est assimilé au procédé conventionnel de boues activées modifié de façon à remplacer le décanteur secondaire (bassin de clarification) par une filtration membranaire [7]. En effet, dans un MBR, les membranes constituent une barrière qui retient toutes les microparticules, les molécules de grande taille, les virus et les bactéries mais, au même moment, le bioréacteur assure la dégradation biologique de la matière organique. En le comparant à d'autres systèmes biologiques conventionnels, le MBR assure une meilleure qualité de l'effluent grâce à une haute rétention des particules (séparation totale liquide/solide) et une teneur en biomasse élevée (contrôlée par le temps de séjour des boues indépendamment du temps de séjour hydraulique) adaptée à la charge polluante [8]. Toutefois, les facteurs qui affectent les performances épuratoires du MBR restent les propriétés des membranes, la structure du module membranaire, les conditions opératoires et les paramètres liés au bioréacteur [9]. Ainsi, le MBR a été appliqué avec succès pour le traitement d'une large gamme d'eaux usées: les eaux usées de l'industrie des huiles [10]-[11], tannerie [12], brasserie et papier [13], les eaux grises [14], les eaux usées pétrochimiques [15], les lixiviats des décharges [16] et les eaux potables [17].

Le MBR est aussi appliqué pour le traitement des effluents secondaire produits par les stations d'épuration conventionnelles notamment celles à boues activées [18]. Généralement, ce traitement présente les avantages suivants [19 in 20]: Une contribution additionnelle en ressource en eau pour les pays en situation de stress hydrique et une valorisation de l'effluent traité par réutilisation dans plusieurs usages. En revanche, les études d'application de la technologie MBR pour le traitement des effluents secondaires restent limitées [21].

Au Maroc, les applications du MBR pour l'épuration des eaux usées sont restreintes et se limitaient à quelques expériences réalisées à l'Institut Agronomique et Vétérinaire) Hassan II à Rabat [14]. Mais une première station d'épuration de type membranaire a vu le jour en 2013 à Casablanca en

vue de traiter les eaux usées urbaines de la localité de Médiouna.

La présente étude, qui s'inscrit dans le cadre du projet Marocco-Allemand d'Agriculture Urbaine à Casablanca (<http://www.uac-m.org>), a pour objectif d'appliquer un pilote MBR aérobie pour le traitement des effluents secondaires d'une unité industrielle spécialisée dans l'extraction des huiles à partir des plantes aromatiques et médicinales. Ce travail est effectué dans les conditions ambiantes de température et de pH et avec un MBR alimenté directement par les effluents secondaires issus d'un réacteur biologique séquentiel (SBR) installé au sein de l'entreprise [22]. L'étude de l'efficacité épuratoire du système est assurée à travers une caractérisation physicochimique des eaux produites par le pilote membranaire.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1 Description du pilote MBR

Le pilote MBR utilisé dans notre étude (figure 1) est de type aéré formé d'une cuve cylindrique en plexiglas d'une capacité globale de 120 litres dans laquelle sont immergés deux modules membranaires assurant le processus de filtration. Les membranes utilisées sont de nature organique fabriquées en polyéther sulfonique (marque Mitsubishi) avec une porosité inférieure à 0,1  $\mu\text{m}$ . Les conditions générales de fonctionnement des membranes sont mentionnées dans le tableau 1.

Tableau 1 Caractéristiques des membranes utilisées dans notre étude

Paramètres	Valeurs
Surface totale ( $\text{m}^2$ )	1
PH	4 à 9
T( $^{\circ}\text{C}$ )	1 à 50
PTM (mbar)	500
Matières sèches (g/l)	5 à 15
Perméabilité ( $\text{l}/\text{m}^2/\text{h}$ )	15 à 25

L'agitation des eaux dans le réacteur et la maîtrise du colmatage des membranes sont assurés par un système d'aération «Air Lift» (AAL). Le suivi de fonctionnement du pilote membranaire est contrôlé par un mini automate d'acquisition automatique «labjack», les données acquises sont: la Pression transmembranaire "PTM", pH, oxygène dissous, pression du niveau d'eau dans la cuve et niveau de l'eau dans la cuve (LC),

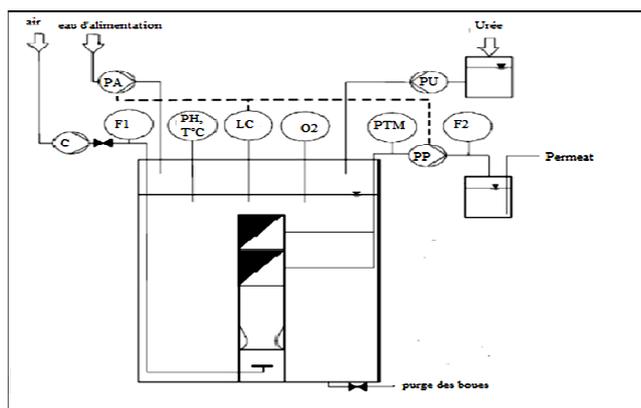


Figure 1 : Schéma des différentes composantes du pilote MBR utilisé

PA: Pompe d'alimentation du MBR; F1: débitmètre d'air ; F2: débitmètre du perméat; C: Compresseur d'air; pH/T°C: sondes pH et température des eaux, LC: sonde de contrôle de niveau d'eau; O<sub>2</sub>: sonde d'oxygène dissous, PTM: sondes de pression transmembranaire; PU: pompe d'injection d'urée; PP: pompe d'évacuation de perméat.

Le même automate synchronise le fonctionnement des pompes de récupération du perméat (PP) et d'alimentation du bioréacteur (PA). Le pilote MBR fonctionne avec un flux de perméation de 14 l/h suivant un processus d'intermittence (8 min de "perméation/filtration" et 2 min de "pause/repos") afin de prévenir le colmatage sévère des membranes [23]. Le MBR est inoculé progressivement, au démarrage de l'expérimentation, par des boues en provenance du bassin SBR de l'entreprise de manière à atteindre une teneur globale de matière sèche de 12 g/l. Une addition d'une quantité de 8 ml d'urée à 33 % est effectuée, deux fois par jour, en vue d'apporter l'azote suffisant pour le bon fonctionnement de la biomasse au niveau du MBR. Le rendement d'épuration du pilote MBR est calculé à l'aide de la formule:

$$\frac{\text{Valeur à la sortie} - \text{Valeur à l'entrée} \times 100}{\text{Valeur entrée}}$$

## 2.2 Échantillonnage et méthodes analytique

Le monitoring de la qualité des eaux au cours de notre suivi expérimental, réalisé entre le 07 avril et le 12 Août 2011, a été effectué régulièrement trois fois par semaine sur des échantillons provenant respectivement des effluents secondaires (CC) de la station SBR de l'entreprise servant à alimenter le MBR, la cuve du MBR et le perméat (sortie du MBR). Les échantillons d'eau sont prélevés dans des bouteilles en polyéthylène et transportés immédiatement au laboratoire de l'entreprise pour effectuer les analyses. L'étude de la qualité physico-chimique des échantillons porte sur les paramètres présents dans le tableau 2.

Tableau 2 : Matériels et méthodes de mesure et analyses des paramètres physico-chimiques

Paramètre	Matériel de mesure ou méthode d'analyse
Température (°C)	Sonde T° du pH mètre WTW 330i (au 1/10)
pH (Unité pH)	pH mètre Type WTW 330i (au 1/100)
Oxygène dissous (mg/l)	Oxymètre type WTW Oxi 340i muni d'une sonde à oxygène DurOx 325 (au 1/10)
MES (mg/l)	Méthode de filtration sur un filtre Wattman GFC « référence 825-047 »
Matières sèches totales (mg/l)	Méthode de séchage à l'étuve à 105°C pendant 2heures
DCO totale (en mg/l)	Oxydation au dichromate de potassium à l'aide de kits LCK et lecture au spectrophotomètre DR2800.
DBO5 (en mg/l)	DBO mètre/Oxytope type Lovibond ET 606.
Phosphore total (mg/l)	Méthode colorimétrique aux Kits LCK (solutions A, B, C et D) et lecture au spectrophotomètre type DR2800.
Azote total "NT" (mg/l)	Méthode colorimétrique par minéralisation aux Kits LCK (solutions A, B, C et D) et lecture au spectrophotomètre type DR 2800.

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. La température

Au cours de notre étude, les températures des eaux au niveau du MBR sont comprises entre un minimum de 18,3°C et un maximum de 33,4°C enregistrées respectivement au mois d'avril et au début de juillet (figure 2). Globalement, cette température des eaux reste liée à celle de l'air (climat) plus particulièrement en été mais aussi à l'activité de la biomasse au sein du MBR. En effet, dans le MBR, les températures modérées sont les plus convenables au fonctionnement de la biomasse étant donné que les plus faibles températures favorisent le dépôt des matériaux à la surface des membranes et les plus élevées peuvent affecter la filtration membranaire en augmentant la

viscosité des eaux. Par la suite ce dernier phénomène provoque la défloculation de la biomasse avec un taux élevé de sécrétion d'exopolysaccharides (EPS) favorisant la diminution du taux de biodégradation dans le bioréacteur [24] [25]. Par ailleurs, une étude menée par [9] signale que la température contribue, avec une proportion de 22,9 %, comme un deuxième facteur après la matière sèche, agissant sur le volume de permeat filtré. Le même auteur a rapporté aussi qu'une température élevée (>35°) réduit l'activité des microbes et limite le métabolisme microbien et fait diminuer, ainsi, l'élimination de la DCO dans le permeat.

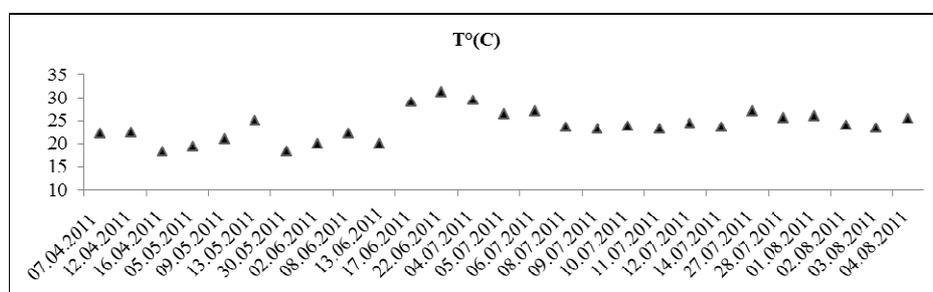


Figure 2: Variations de la température des eaux au niveau du MBR

#### 3.2. Le potentiel Hydrogène (pH)

Le potentiel hydrogène est un paramètre physique qui influence également l'activité bactérienne notamment le processus de nitrification qui n'est optimale qu'à un pH compris entre 7,5 et 9 alors que le pH acide limite le phénomène [26]. Au niveau de notre pilote MBR, le pH des eaux demeure globalement

neutre à légèrement alcalin avec des valeurs comprises entre un minimum de 5,93 et un maximum de 8,54 enregistrés respectivement le 24 et le 21 Juin 2011 (figure3). Il en résulte que ce facteur ne semble pas avoir une influence sur le fonctionnement de notre MBR.

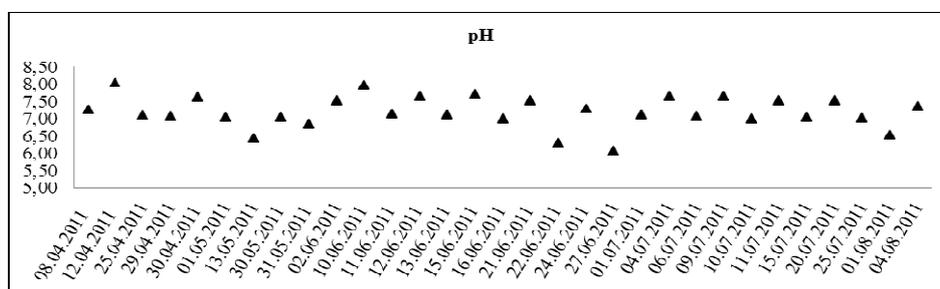


Figure 3: Variations du pH des eaux au niveau du MBR

#### 3.3. La turbidité et les matières en suspension « MES »

Au cours de notre étude, la turbidité de l'eau épurée (CC) reste faible et n'excède pas une valeur de 1,2 NTU. Ce résultat est dû au niveau du MBR, les membranes agissent comme une barrière physique très performante permettant de réduire la turbidité des eaux épurées comme l'ont démontré [27] et [28]. A cet effet, cette faible turbidité confère à l'eau épurée diverses applications dans le domaine industriel [27].

Pour les MES, les teneurs enregistrées au niveau des eaux épurées (CC) se situent globalement entre 50 et 280 mg/l signalées respectivement en Juillet et Août

2011. En revanche deux pics de valeurs élevées de teneur en MES (plus de 800 mg/l) ont été observés accidentellement le 10 et le 24 Mai 2011 et seraient liées à une mauvaise décantation des eaux dans le bassin SBR. Au niveau du perméat, les teneurs en MES sont nulles durant toute la période de notre expérience (figure 4). Ce résultat est attribué principalement à la filtration membranaire qui assure une rétention totale de MES comme l'a rapporté [29].

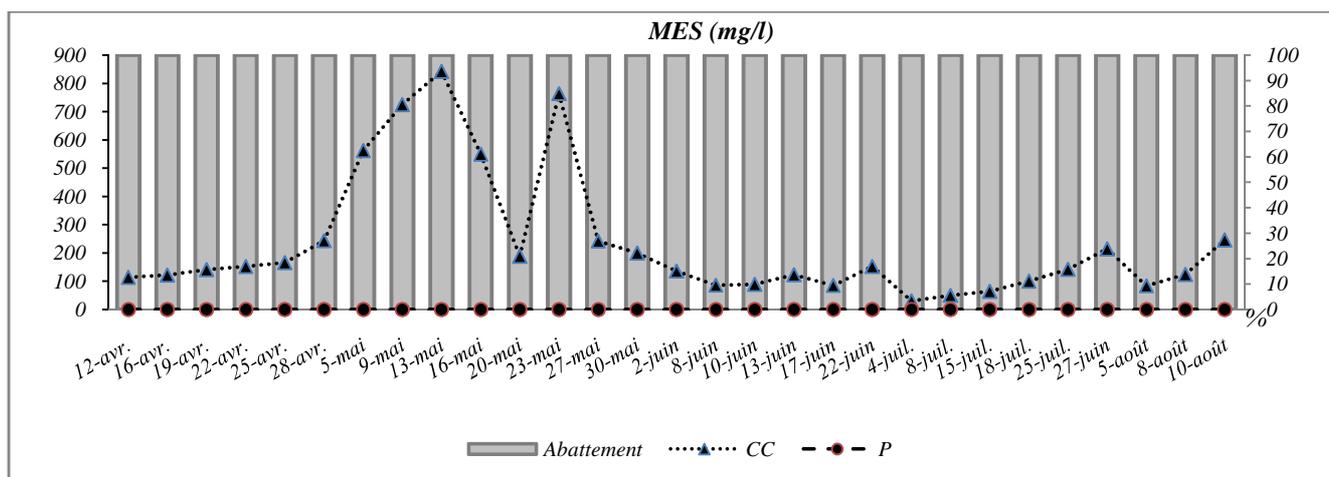


Figure 4: Variations de la teneur en MES au niveau des eaux à l'entrée du MBR (CC) et du perméat (P)

### 3.4 Les Matières Sèches Totales (MST)

Les matières sèches totales constituent un paramètre important pour maintenir la stabilité du fonctionnement du MBR immergé [30]. En effet, ce dernier fonctionne avec des concentrations de matières sèches assez élevées pouvant aller jusqu'à 12 g/l, voir même parfois 20 g/l de MST. En revanche, des concentrations excessives peuvent ralentir l'aération et la rendre non efficace et, au même moment, diminuer le flux de perméation [31].

Au cours de notre expérience, la teneur en matière sèche de démarrage se situe à environ 4g/l qui augmente progressivement pour atteindre les 12g/l qui persiste jusqu'à la mi-Avril 2011. Par la suite, cette teneur diminue pour se stabiliser à 8g/l et qui se maintient au niveau de notre MBR jusqu'à la fin de l'expérience (figure 5).

Cette variation des teneurs en MST traduit l'activité bactérienne au sein du bioréacteur. En effet, au début de notre expérience, cette biomasse bactérienne passe par une phase d'acclimatation aux conditions du milieu avant de passer par une phase de croissance bactérienne rapide suivie d'une phase stationnaire où les bactéries se retrouvent dans leurs conditions optimales de développement. A partir de la mi-Avril, le taux de biomasse décroît probablement suite au décès des cellules bactériennes ou la lyse cellulaire souvent accompagnée d'une accumulation de composés non biodégradables qui réduisent considérablement la viabilité de la biomasse comme l'a rapporté [32]. Par la suite, ce phénomène tend à diminuer suite à une régulation de la croissance bactérienne qui se stabilise au début de mois Juillet au niveau du MBR.

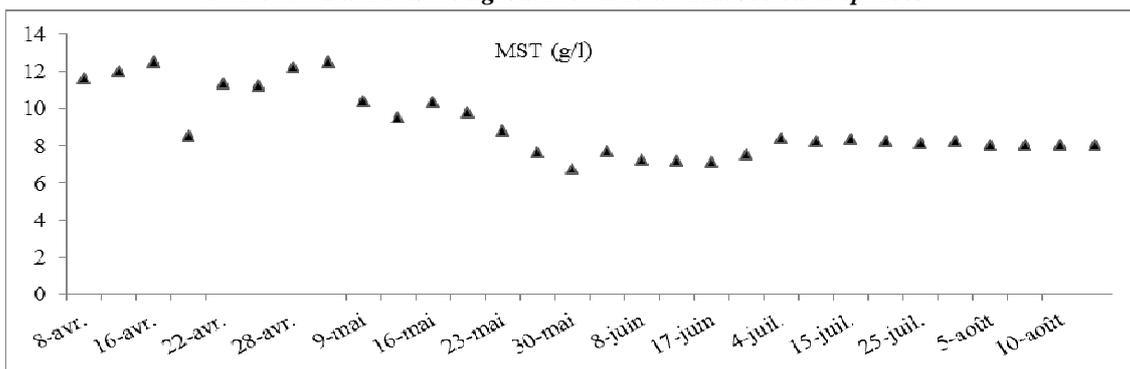


Figure 5 : Variations de la teneur en matières sèches totales (g/l) au niveau des eaux du MBR

### 3.5. La Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La DCO renseigne sur le taux d'élimination des matières oxydables mais peut également donner des indications sur la performance de la filtration membranaire. La DCO des eaux d'alimentation du MBR (CC) oscille entre un minimum de 174 mg/l et un maximum de 900 mg/l enregistrées respectivement au mois d'Avril et Mai 2011.

Au niveau du permeat à la sortie du MBR, la DCO reste globalement stable et n'enregistre pas de grandes variations tout au long de notre expérience. Elle se situe entre un minimum de 149 mg/l et un maximum de 252 mg/l (figure 6). Ainsi, le taux d'abattement de la DCO au niveau du permeat atteint 72% au maximum et 63% en moyenne. Ce rendement reste supérieur à celui rapporté par [33] soit 21% pour des eaux issues des lisiers des porcs traitées par voie biologique. On remarque également que la DCO du permeat reste globalement stable et ne suit pas les variations de ce

même paramètre au niveau des eaux du CC. Cette stabilité d'élimination de la DCO par le MBR a été rapportée par [34]-[37] et serait liée, selon [27], à l'interception assurée par les membranes. En effet, [27] et [32] ont signalé que la membrane des systèmes MBR contribue, à elle seule, à près de 30% dans l'élimination de la matière organique. Cette efficacité d'élimination de la DCO constitue l'un des principaux avantages qui font de la technologie MBR une alternative prometteuse par rapport aux processus conventionnels des boues activées [30].

Les membranes joueraient un double rôle de maintien de la teneur de matières sèche (biomasse) à un niveau suffisant pour éliminer les matières oxydables et en même moment elles bloquent le flux des particules fines (riches en matières oxydables) au niveau du MBR qui décantent sous forme de boues.

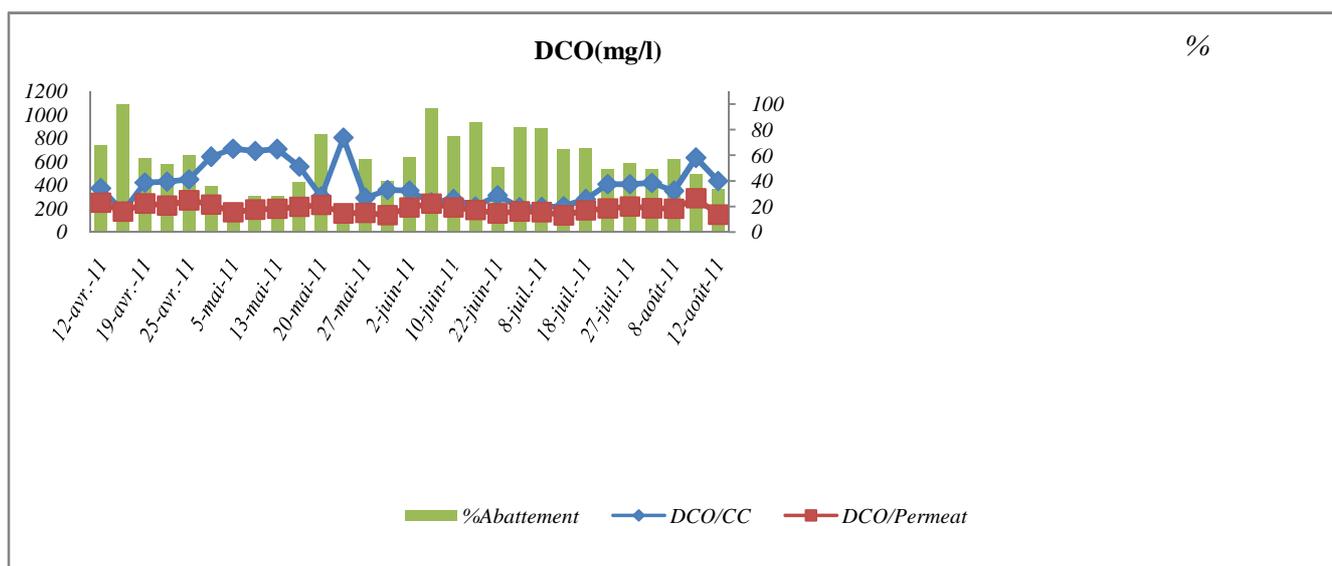


Figure 6: Variations de la DCO (mg/l) dans les eaux du canal comptage (CC) et du permeat

### 3.6. La Demande Biologique en Oxygène(DBO<sub>5</sub>)

Au cours de notre expérience, la DBO<sub>5</sub> au niveau des eaux à l'entrée du MBR (CC) varie entre un minimum de 20 mg/l enregistré à la mi-Juillet 2011 et un maximum de 154 mesuré en Mai de la même année (figure 6) soit une moyenne de 87 mg/l. Au niveau du permeat, ce paramètre varie entre 5 et 76,3 mg/l enregistrées aux mêmes dates que dans les eaux du CC et avec une moyenne de 40,65mg/l et un taux d'abattement de 53%. Cette performance du MBR en terme d'élimination de matières organique serait due au fait que les macromolécules organiques restent plus

longtemps en contact avec la biomasse bien approvisionné en oxygène qui stimule la croissance de certains bactéries spécialisées dans l'assimilation et la minéralisation de la matière organique spécifique [38]. Signalons enfin que le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> à la sortie des eaux du MBR est en moyenne égal à 3,6 ce qui indique que la matière organique résiduelle dans le permeat n'est pas facilement biodégradable et serait constituée de macromolécules plus complexes tels que les tanins des végétaux traités par l'entreprise qui donnent une coloration jaunâtre à l'eau du permeat.

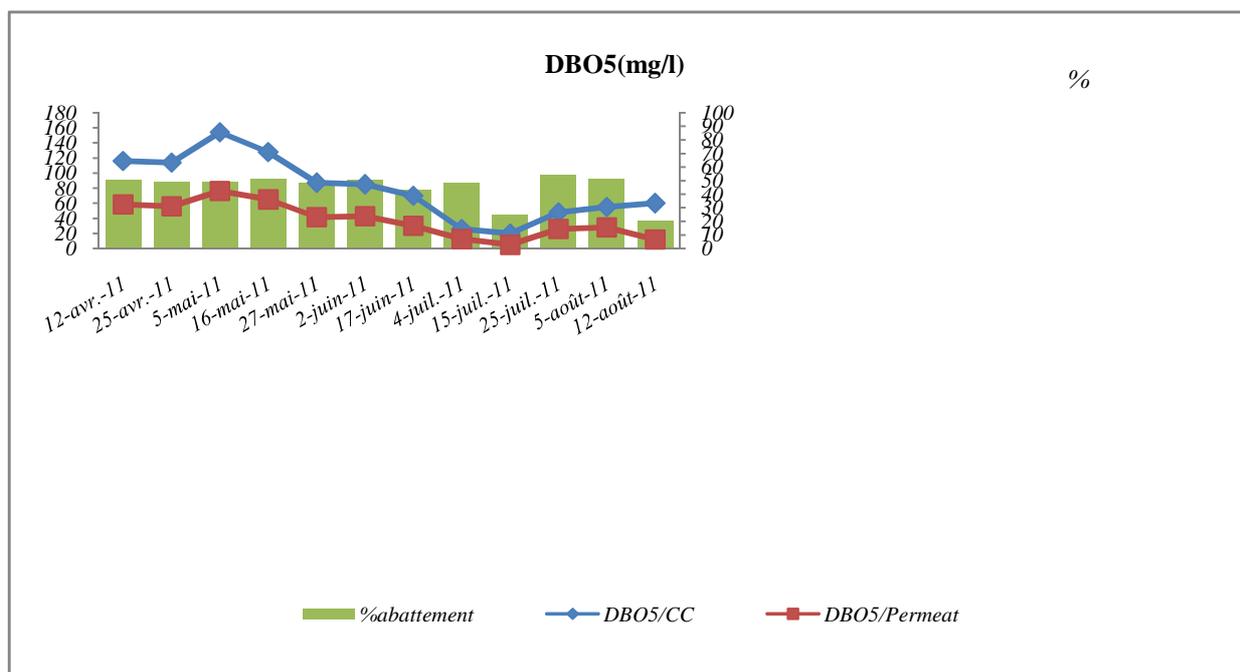


Figure 7 : Variations de la DBO<sub>5</sub> (mg/l) dans les eaux du canal comptage et du permeat

### 3.7. L'Azote Total (NT)

L'intérêt du suivi de la quantité d'azote et ses dérivés dans les eaux usées réside dans le danger potentiel que représentent les eaux riches en éléments azotés, notamment les nitrates, dans l'accélération du phénomène d'eutrophisation du milieu naturel aquatique. Au même moment, les différentes formes d'azote servent de sources d'azote et d'énergie pour la biomasse [30] qui élimine l'azote soit par assimilation ou par nitrification/dénitrification [37] [39].

Au cours de notre expérience, les teneurs en NT au niveau des eaux de l'effluent CC, alimentant le MBR, sont en moyenne égales à 88,65 mg/l et varient entre un

minimum de 24,3 mg/l et un maximum de 153 mg/l enregistrées respectivement le 24 Avril et le 25 Mai 2011 (figure 8). Au même moment, on constate que les concentrations en NT dans les eaux du permeat subissent des variations similaires et oscillent entre un minimum de 19,1 et 72,6 mg/l signalés respectivement le 28Avril et le 04Juillet 2011. La teneur moyenne en NT à la sortie du MBR est de 45,85 mg/l et les rendements d'élimination de cet même élément restent relativement modérés soit 48% en moyenne et 52,5 % au maximum. Par ailleurs, les résultats relatifs aux éléments azotés au niveau du permeat montrent une dominance des nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) avec une teneur moyenne de 1,59 mg/l

alors que celle de l'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) reste plus faible et ne dépasse pas 0,26 mg/l. Ces résultats concordent avec ceux mentionnés par [40] qui affirme que l'élimination totale de l'azote est plus importante lorsque l'aération est continue permettant l'hydrolyse de l'azote en ammonium qui par la suite sera nitrifié/oxydé et transformé en nitrates.

L'élimination totale de l'azote se fait souvent sous forme gazeuse et nécessite un apport important d'oxygène

pour favoriser la nitrification. Dans le système MBR, la rétention absolue de tous les microorganismes assurée par la membrane favorise le développement des bactéries nitrifiantes. En conséquence, l'activité de nitrification est plus importante car les microorganismes spécialisés ayant une croissance lente, tels que Nitrosomonas et Nitrobacter, se trouvent dans des conditions propices à leur développement [40].

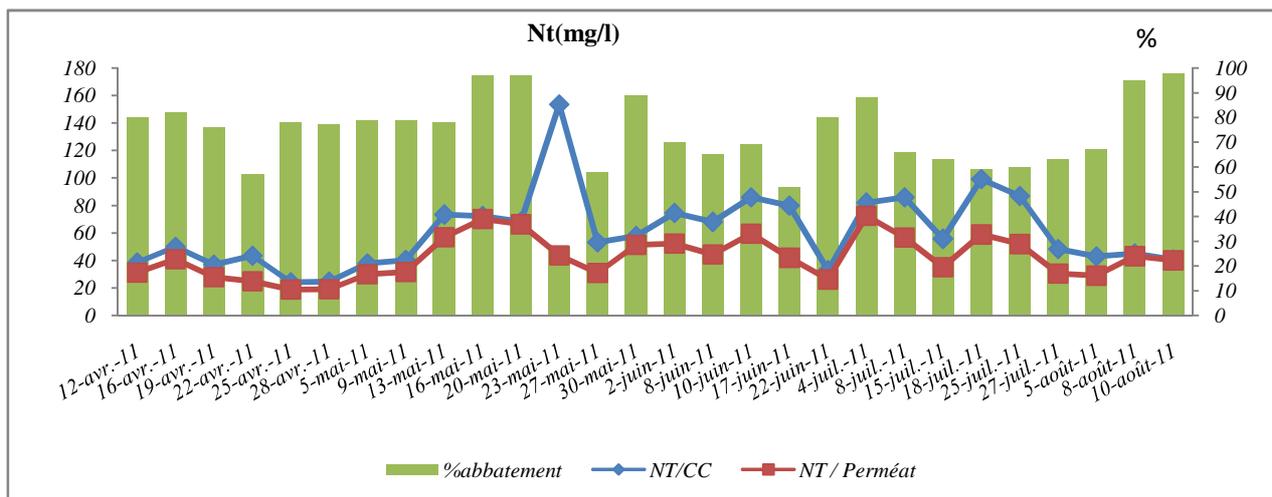


Figure 8 : Variations de l'azote total (mg/l) dans les eaux du CC et du permeat

### 3.8 Le Phosphore Total (PT)

Le phosphore est un élément indésirable dans l'eau car il stimule le phénomène d'eutrophisation. Le phosphore total englobe les orthophosphates et les polyphosphates. Il est utilisé au niveau du métabolisme des microorganismes pour assurer leur respiration et le transfert d'énergie. En effet, dans les conditions d'aérobie, la matière organique contenue dans les eaux usées est oxydée par les bactéries, qui grâce à l'énergie produite par respiration, régénèrent leurs stocks de polyphosphates et subissent la croissance [41].

Durant notre étude, la teneur en phosphore total dans les eaux à l'entrée du MBR est comprise entre 121 et 980 mg/l enregistrée respectivement aux mois de Juin et Mai 2011 (figure 9) soit une moyenne de l'ordre de 550,5 mg/l. Dans le permeat, les teneurs en phosphores total varient entre une valeur minimale de 82 signalée à la fin Mai 2011 et une valeur maximale de 336 mg/l obtenue au mois Juin de la même année soit une

moyenne de 209 mg/l. Le rendement d'élimination du phosphore total ainsi obtenu est d'environ 38 % en moyenne. Ce rendement d'élimination concorde avec celui obtenu par [36] pour le traitement des eaux usées urbaines. Ce rendement limité est lié à la complexité d'élimination du phosphore qui peut s'effectuer par assimilation ou incorporation du phosphore dans le métabolisme cellulaire. Une partie du phosphore se précipite et décante avec les matières inorganiques au fond de bioréacteur [37].

On remarque également que l'influent (CC) est trop chargé en phosphore ce qui pourrait dépasser les capacités d'épuration assuré par le MBR. L'élimination totale du phosphore nécessiterait un traitement anaérobie (intégré au SBR ou dans le MBR) ou encore sa précipitation avec des flocculants comme il a été démontré par des études antérieures [42].

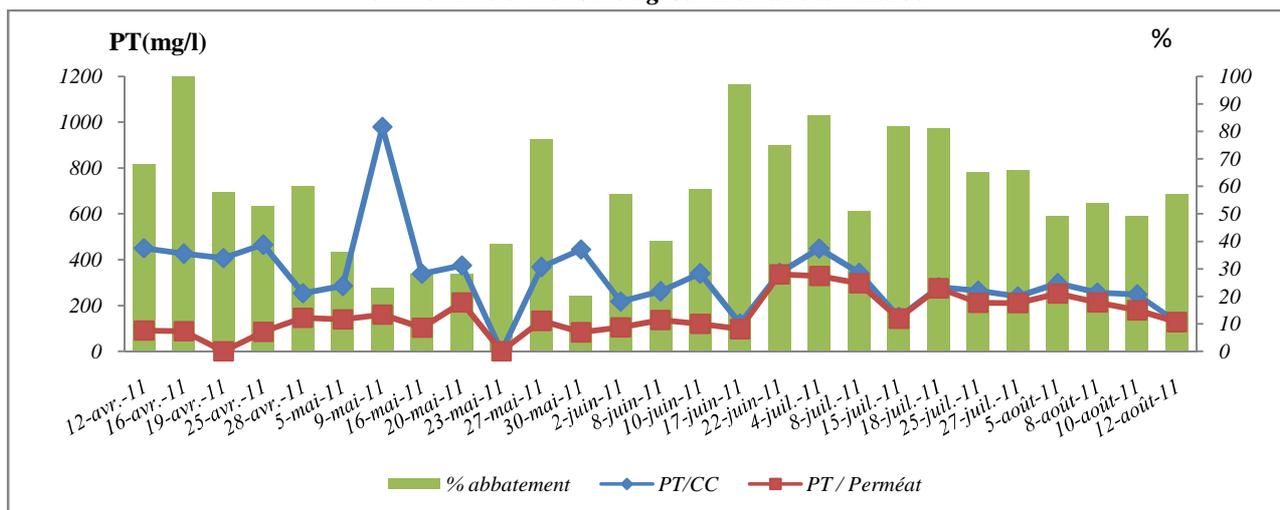


Figure 9: Variation de la teneur en phosphore total (mg/l) dans les eaux du CC et du perméat

### 3.9. La Pression TransMembranaire (PTM)

La PTM qui mesure la différence de pression entre les deux compartiments de la membrane un paramètre important pour l'évaluation des performances des systèmes MBRs car elle permet de prévenir le colmatage des membranes [43]. En effet, ce phénomène de colmatage conduit à l'augmentation de la résistance hydraulique et, au même moment, à l'augmentation de la PTM et à la diminution du flux du perméat lorsque le système fonctionne, respectivement, à PTM ou flux constants [44]. La chute du flux ou l'augmentation de la PTM impose que la membrane soit régénérée hydrauliquement ou chimiquement à intervalles réguliers. Au cours de notre étude, le démarrage du processus de filtration membranaire est enclenché au 22<sup>ème</sup> jour de l'expérience lorsque la teneur en matière sèche (biomasse) oscille autour de 10 g/l et s'avère suffisante pour assurer un bon traitement biologique (figure 8). Ainsi, la PTM reste faible (100 mbar) durant la 1<sup>ère</sup> semaine et augmente progressivement pour atteindre, au 32<sup>ème</sup> jour de l'expérience, la valeur limite du colmatage fixée à 500 mbar.

A ce moment, l'activité de la biomasse est intense et aboutit à la formation d'un gâteau de boues qui adhère aux pores membranaires et bloque l'opération de filtration et, du coup, fait augmenter la TPM. En effet, et comme l'a rapporté [33], le colmatage est le talon d'achille de la technologie membranaire et peut être défini comme un dépôt indésirable et une accumulation des microorganismes, colloïdales, débris cellulaires et autres solutés soit à l'intérieur des pores ou bien à la

surface des membranes [45]. Après le 32<sup>ème</sup> jour, nous avons limité la teneur en matière sèche (biomasse) à 8 g/l et laissé fonctionner la filtration membranaire malgré l'atteinte de la TPM maximale en vue de voir si le mouvement d'aération/agitation (air lift) peut retarder le colmatage. En effet, on observe que la TPM diminue légèrement pour atteindre les 250 mbar aux 35-36<sup>ème</sup> jours mais, par la suite, la TPM s'est remise à augmenter et tend vers la limite de colmatage qui s'est installé presque définitivement au bout du 45<sup>ème</sup> jour de notre expérience (figure 10).

Ce résultat, montre bien que le processus d'"air lift" contribue énormément à retarder le colmatage mais au-delà du 50<sup>ème</sup> jour (parfois jusqu'au 60<sup>ème</sup> si la charge en matière sèche est modérée à 6-7 g/l), ce phénomène est inévitable et le risque d'encrassement des membranes est possible. De plus, au cours du colmatage, on note une décroissance du flux de perméat et le débit de perméation atteint 2,8 l/h au lieu de 14l/h mesuré au début de l'expérimentation. Ce colmatage inévitable se produit malgré l'application d'un temps de repos de 2 mn comme l'ont rapporté [48] et [49]. Une fois le colmatage installé, les membranes subissent un nettoyage chimique à l'acide citrique associé à un lavage à l'eau au bout de 2 mois environ après le début de l'expérience. Ce nettoyage s'avère indispensable afin d'éviter le colmatage irréversible des membranes comme l'a signalé [50] et qui a préconisé un nettoyage des membranes tous les 45 jours.

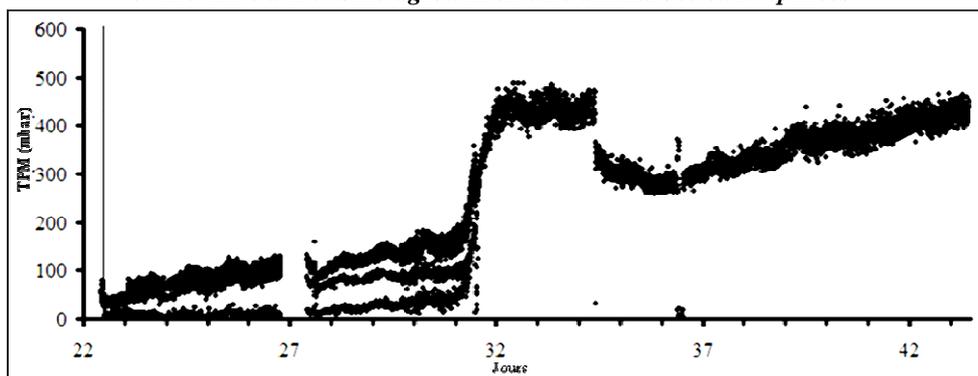


Figure 10 : Variation de la pression transmembranaire "TPM " au sein du MBR

#### 4. Conclusion

D'après les premiers résultats de cette étude, il ressort que l'application de la technologie membranaire comme un traitement d'appoint (tertiaire) des effluents épurés de notre industrie agro-alimentaire est une solution pertinente en vue d'amélioration de la qualité de l'eau observée. En effet, au niveau du MBR, l'action synergétique de la filtration-biodégradation permet une élimination totale des MES.

Au même moment, l'intense activité microbienne au niveau du réacteur permet une élimination de la matière organique en termes de DCO et DBO5 (53 et 63%) respectivement. L'aération, la disponibilité de carbone et le pH du milieu favorisent également l'élimination d'azote (environ les 53%). Cependant l'élimination du phosphore reste modérée (38 % seulement) et d'autres techniques additives s'avèrent nécessaires comme l'adsorption ou coagulation-floculation. Toutefois, plusieurs facteurs interviennent pour assurer ses meilleurs rendements. Certains facteurs sont intrinsèques et liés au milieu biologique et aux conditions d'opération: pH, concentration de la matière sèche, taux d'aération, débit de perméation/temps de relaxation et teneur des boues. D'autres facteurs sont inhérents à la nature et la composition des membranes. L'optimisation de fonctionnement d'un MBR repose sur l'optimisation de ces facteurs, et ceci constitue une étape primordiale pour réussir une filtration membranaire optimale. Cependant, le facteur limitant pour la filtration membranaire reste le colmatage des membranes qui provoque une perte des performances du MBR en influençant la pression transmembranaire et le flux de perméat.

Ce travail a été effectué grâce à une collaboration entre le laboratoire d'Ecologie et Environnement et la société industrielle «Naturex Maroc» dans le cadre du

#### Remerciement

projet de recherche action Marocco Allemand « Urban Agriculture In Casablanca, UAC ». Ainsi les auteurs expriment leurs remerciements au directeur de Naturex Maroc pour leur support technique et au projet UAC pour leur support technique et financier.

#### Références

- [1] C.Reith and Birkenhead , Membranes enabling the affordable and cost effective reuse of wastewater as an alternative water source, Desalination, Volume 117, Issues 1-3 (1998)p 203-209.
- [2] C.D.Smith, Di Gregorio and R.M.Talcott, The use of ultrafiltration membrane for activated sludge separation, Proc. 24th Annual Purdue Industrial Waste Conference,(1969) p1300-1310, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.
- [3]K.Yamamoto, M.Hiasa, T.Mahmood, and T.Matsuo, Direct solid liquid separation using hollow fibre membrane in an activated sludge aeration tank. Wat. Sci. Tech., 21(1989)43–54.
- [4] G.M.Rios, M.P. Belleville, D.Paolucci, and Sanchez, Progress in enzymatic reactors a review. J. Membr. Sci. 24(2004) 189-196.
- [5] ] J.G.S Marciano, and T.T Tsotsi(2002) Catalytic Membranes and Membrane Reactors. Wiley-VCH, Weinheim.
- [6] A.Santos, I.W.Ma, and S.J. Judd Membrane bioreactors: two decades of research and implementation. Desalination 273(2010) p.148\_154.
- [7] N. Cicek, J.R Franco, M.T. Suidan and V. Urbain, Using a membrane bioreactor to reclaim wastewater, J. AWWA, 90 (1998) 105-113.
- [8] C. Visvanathan, R.B. Aim and K. Parameshwaran. Membrane separation bioreactors for wastewater treatment, Crit. Rev. Environ. Sci. Technol., 30(2000).1–48.
- [9] Z.Wang, J.Chu, Y.Song, Y. Cui, H. Zhang, X. Zhao, Z.Li, J.Yao. Influence of operating conditions on the efficiency of domestic wastewater treatment in membrane bioreactors . Desalination 245 (2009) p 73–81
- [10] M.D. Knoblock, P.M. Sutton, P.N. Mishra, K. Gupta and A. Janson, Membrane biological reactor system for treatment of oily wastewater, Water Environ. Res., 66 (1994) p 133-139.
- [11] G.T. Seo, T.S. Lee, B.H. Moon, K.S. Choi and H.D. Lee, Membrane separation activated sludge for residual organic

- removal in oil wastewater, *Water Sci. Technol.*, 36(12) (1997) 275-282.
- [12] L. Van Dijk and G.C.G. Roncken, Membrane bioreactors for wastewater treatment: The state of the art and new developments, *Water Sci. Technol.*, 35(10) (1997) 35-41.
- [13] P. Artiga , E. Ficara , F. Malpei , J.M. Garrido , R. Mendez . Treatment of two industrial wastewaters in a submerged membrane bioreactor. *Desalination* 179 (2005) 161-169
- [14] C. Merz, R.Scheumann, B. El Hamouri, M. Kraume, Membrane bioreactor technology for the treatment of greywater from a sports and leisure club, *Desalination* 215 (2007) 37-43.
- [15] F. Yao-po, W. Ju-si and J. Zhao-chun, Test of membrane bioreactor for wastewater treatment in a petrochemical complex, *J. Environ. Sci.*, 10 (1998) 1.
- [16] M. Pirbazari, V. Ravindran, B.N. Badriyha and S.H. Kim, Hybrid membrane filtration process for leachate treatment, *Water Res.*, 30 (1996) 2691- 2706.
- [17] M.D. Williams, M.Pirbazari, Membrane bioreactor process for removing biodegradable organic matter from water, *water research* 41 (2007 ) 3880 – 3893
- [18] R.Mujeirigo , (2000), Achievements and challenges in the reuse of reclaimed water. Presentations and articles Eurocas workshop "wastewater as a resource", Paris Institut de France
- [19] D.Ecosse , (2001) - Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde. Mém. D.E.S.S. « Qualité et Gestion de l'Eau », Fac. Sciences, Amiens, 62 pages.
- [20] Khirani S (2007) . Procédés hybrides associant la filtration membranaire et l'adsorption/échange ionique pour le traitement des eaux usées en vue de leur réutilisation. Thèse d'Etat page 3.
- [21] H.-S. Shin, S.T. Kang, Characteristics and fates of soluble microbial products in ceramic membrane bioreactor at various sludge retention times , *Water Research* 37 (2003) 121-127.
- [22] S.Hebabaze,C.Brand,Z.Moutaib , C.Riechelmann, S. Raffy, M. Kraume and M. Chlaida Etude des performances d'un réacteur biologique séquentiel "SBR" pour le traitement des effluents d'une entreprise agroalimentaire marocaine. *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324 Vol. 9, No.2 (2014), pp. 744-756
- [23] H.Strathmann, L.Giorno, and E.Drioli, (2006) An Introduction to Membrane Science and Technology. Institute on Membrane Technology, Italy.
- [24] S.Rosenberger ,C. Laabs, B.Lesjean B (2006) Impact of colloidal and soluble organic material on membrane performance in membrane bioreactors for municipal wastewater treatment. *Water Research* 40,p 710--720.
- [25] T.Jiang, M.D.Kennedy, B.F.Guinzboung, P.A Vanrolleghem , and J.C Schippers, Optimizing the operation of a MBR pilot plant by quantitative analysis of the membrane fouling mechanism. *Water Science and Technology* 51(2005)19--25.
- [26] Z. Wang, J.Chua, Y. Song, Y.Cui, H. Zhang, X.Zhao, Z. Li, Y.Jinmiao , Influence of operating conditions on the efficiency of domestic wastewater treatment in membrane bioreactors *Desalination* 245 (2009) 73-81.
- [27] H.Lin, F. Wang, L. Ding, H.Hong, J.Chen., X.Lub, Enhanced performance of a submerged membrane bioreactor with powdered activated carbon addition for municipal secondary effluent treatment, *Journal of Hazardous Materials* 192 (2011) 1509- 1514.
- [28] T.Lebeau,C. Lelièvre , H.Buisson,D. Cléret,L.W Van de Venter &P. Côté, Immersed membrane filtration for the production of drinking water: combination with PAC for NOM and SOCs removal. *Desalination*, 117(1-3), (1998) 219-231.
- [29] S. Judd, *The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*, Elsevier Ltd., Oxford, Oxfordshire, 2006.
- [30] D. D.Sun, C. T.Hay, S. L. Khor, Effects of hydraulic retention time on behavior of start-up submerged membrane bioreactor with prolonged sludge retention time ,*Desalination* 195 (2006) 209-225.
- [31] F.I.Hai,K.Yamamoto(2011),*Membrane Biological Reactors*. Elsevier B.V.
- [32] S. Le Grand ,*Cahier analytique de suivi et de pilotage des stations d'épuration* (2009).
- [33] G.D. Whang, Y.M. Cho, H. Park and J.G. Jang, The removal of residual organic matter from biologically treated swine wastewater using membrane bioreactor process with powdered activated carbon, *Water Science and Technology*, Vol 49 No 5-6 (2004) p451-457.
- [34] S.Judd,B. Jefferson, 2003. *Membrane for Industrial Wastewater Recovery and Reuse*, first ed. Elsevier, Oxford.
- [35] ] H.Monclús, J.Sipma , G.Ferrero, I.Rodriguez-Roda , J. Comas ,Biological nutrient removal in an MBR treating municipal wastewater with special focus on biological phosphorus removal, *Bioresource Technology* 101 (2010) 3984-3991.
- [36] S. Rosenberger, U. Kruger, R. Witzig, W. Manz, U. Szewzyk, M. Kraume.,*Performance of a bioreactor with submerged membranes for aerobic treatment of municipal waste water*. *Water Research* 36 (2002) 413-420.
- [37] ] Y.Wang, X.Huang, Q. Yuan,Nitrogen and carbon removals from food processing wastewater by an anoxic/aerobic membrane bioreactor *Process Biochemistry* 40 (2005) 1733-1739
- [38] M.A.Gander, B.Jefferson, and S.J. Judd, Membrane bioreactors for use in small wastewater treatment plants: Membrane materials and effluent quality. *Water Science and Technology* 41(2000)205--211.
- [39] W.X. Shi , Y.S. Duan, X.S. Yi , S. Wang , N. Sun , C. Ma ,Biological removal of nitrogen by a membrane bioreactor-attapulgite clay system in treating polluted water, *Desalination* 317 (2013) p 41-47.
- [40] E. Trouve, V. Urbain and J. Manem, Treatment of municipal wastewater by a membrane bioreactor results of a semi industrial pilot-scale study. *Water Sci. Technol.*, 30(4) (1994) 151-157.
- [41] Z.Tonkovic.Aerobic stabilisation criteria for BNR biosolids, *Wat. Sci. Tech.* Vol. 38, No.2(1998) pp. 133-141 ,IAWQ.
- [42] M.Kraume, U.Bracklow, M.Vocks, A.Drews. Nutrients removal in mbrs for municipal wastewater treatment. *Wat. Sci. Tech.* 51 (2005), 391-402 ,presented at IWA Spec. Conference WEMT 2004 June 7-10, 2004, Seoul
- [43] Z.Ying et G. Ping . Effect of powdered activated carbon dosage on retarding membrane fouling in MBR . *Separation and Purification Technology* 52 (2006) 154-160
- [44] P.Le-Clech,B. Jefferson, S.J.Judd, Impact of aeration, solids concentration and membrane characteristics on the hydraulic performance of a membrane bioreactor. *Journal of Membrane Science.* 218(2003)117-129.
- [45] F. Meng, S.R Chae, A. Drews, M.Kraume, H.k. Shind, F. Yang, Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): Membrane fouling and membrane material. *water research* 43 (2009) 1489 – 1512.
- [46]. C. Visvanathan, R. Ben Aim, Studies on colloidal membrane fouling mechanisms in cross-flow microfiltration, *J. Membrane Sci.* 45(1989) 3-15.
- [47] A. MASSÉ bioréacteur a membranes immergées pour le traitement des eaux résiduaires urbaines: spécificités physico-chimiques du milieu biologique et colmatage . Thèse d'Etat, Toulouse 2005 .
- [48] P.Gui, X.Huang,Y. Chen, Y.Qian , Effect of operational parameters on sludge accumulation on membrane surfaces in a submerged membrane bioreactor, *Desalination* 151 (2002) 185-194.

[49] K.H. Ahn, K.G.Song, Application of microfiltration with a novel fouling control method for reuse of wastewater from a large-scale resort complex, *Desalination* 129 (2000) 207-216

[50] Rhodia/Orelis, *Orelis Systems for Clean Process Technology*, Ultra-Tech Service, Stourbridge, 1998.