



Traitement biologique membranaire et réutilisation agricole des eaux usées de Mediouna (Casablanca, Maroc) (Membrane biological treatment and agricultural reuse of Mediouna wastewaters (Casablanca, Morocco))

A. Nahli^{1*}, N. Sakhraoui², S. Hebabaze¹, C. Hmimidi^{1,3}, C. Brand⁴ et M. Chlaida¹

¹Laboratoire d'Ecologie et d'Environnement (LEE), Faculté des Sciences Ben M'sik, Hassan II University of Casablanca, BP 7955-Sidi Othman, Casablanca, Maroc.

²Lyonnaise des eaux de Casablanca, Maroc.

³Chambre d'Agriculture à Casablanca, Maroc.

⁴Département de Génie des Procédés et Ingénierie Chimiques, Université Technique de Berlin-Allemagne.

*Corresponding Author. E-mail: abdelmottalib.nahli@gmail.com; Tel: (+212614323490)

Résumé

Depuis une décennie, la préservation des ressources hydriques est devenue l'une des préoccupations majeures de l'environnement au Maroc à travers le lancement, en 2005, du plan national d'assainissement liquide (PNA). Ce plan vise à collecter efficacement les eaux usées et les traiter dans des stations d'épuration performantes favorables à la réutilisation des eaux épurées en irrigation agricole. C'est dans ce contexte que la Lyonnaise des eaux de Casablanca (Lydec) a installé, en Avril 2013, une station de traitement des eaux usées de la localité de Mediouna (Sud Est de Casablanca) en vue de protéger le milieu récepteur d'Oued Hassar, éliminer les nuisances et les risques sanitaires sur les populations humaines et animales et enfin produire des eaux épurées conformes aux normes de réutilisation agricole. Cette station d'épuration, dimensionnée pour 40000 équivalents habitants, avec une extension future à 80000 équivalents habitants, adopte une technologie moderne pour le traitement des eaux usées combinant le traitement biologique intensif à la filtration membranaire (Réacteur Biologique Membranaire, RBM). Ce travail se propose d'évaluer les performances épuratoires de ce système RBM par référence aux normes nationales de réutilisation des eaux épurées en irrigation. Les résultats obtenus, sur la base d'un suivi mené durant les 6 premiers mois de fonctionnement de cette station allant du mois d'Avril au mois d'Octobre 2013, révèlent des rendements très élevés pour les principaux paramètres physico-chimiques. Les taux d'abattement enregistrés sont atteints 90,9 % pour la DCO, 99,25 % pour la DBO₅, 99,13 % pour les MES, 95,59 % pour l'Azote Total Kjeldhal (NTK) et 80,20 % pour les orthophosphates. Au même moment, le niveau de qualité physico chimique (pH, salinité, conductivité, métaux traces) et hygiénique (Coliformes Fécaux) s'avère conforme aux normes marocaines des eaux destinées à l'irrigation.

Mots clés : Mediouna, traitement, RBM, eaux usées, réutilisation, agriculture.

Abstract

Since a decade, the preservation of water resources has become a major environmental concern in Morocco through the National Sanitation Program (NSP) that was launched in 2005. This program aims to effectively collect and treat wastewater through using efficient wastewater treatment plants (WWTPs) for the reuse of treated wastewater for agricultural irrigation. In this context, the "Lyonnaise des Eaux Casablanca" (Lydec) installed a wastewater treatment plant in April 2013 from the Mediouna locality (South East of Casablanca) in order to protect the receiving environment of Hassar stream, to eliminate pollution and health risks to human as well as animal populations, and finally to produce treated water for agricultural reuse. This treatment plant sized to 40,000 population equivalent (PE), with future expansion to 80,000 population equivalent, adopts modern technology for wastewater treatment combining intensive biological treatment with a membrane filtration (Membrane Biological Reactor, MBR). This work proposes to assess the purification performance of this MBR system by reference to Moroccan standards of wastewater reuse for irrigation. The results, based on monitoring

conducted during the first 6 months of operation of the station ranging from April to October 2013, have shown very high returns for key physicochemical parameters. The registered abatement rate reached 90,9 % for COD, 99,25 % for BOD₅, 99,13 % for TSS, 95,59 % for Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) and 80,20 % for Orthophosphate. At the same time, the level of physicochemical quality (pH, salinity, conductivity and heavy metals) and hygienic quality (Fecal Coliform) are found to comply with Moroccan standards for irrigation waters.

Keywords: Mediouna, treatment, MBR, waste water, reuse, agriculture.

Introduction

Le Maroc fait partie de la région du moyen orient/Afrique du nord (Meddle East North Afrique, MENA) menacée par un stress hydrique qui se manifeste par une rareté des ressources en eau. Cette ressource vitale subit également une détérioration de sa qualité liée aux impacts des activités anthropiques croissantes. C'est ainsi que le pays s'est investi dans une stratégie nationale de gestion intégrée de ses ressources à travers plusieurs actions notamment le lancement, en 2005, du plan national d'assainissement liquide [1] visant la construction de plusieurs stations d'épuration des eaux usées en vue de protéger ses ressources en eau. C'est dans ce cadre que la localité périurbaine de Mediouna (Sud Est de Casablanca) a connu en 2013, l'installation d'une station de traitement de ses eaux usées pour limiter leurs impacts sur le milieu récepteur de l'Oued Hassar [2-4] et pour les réutiliser en irrigation agricole. En effet, cette station d'épuration de type RBM (Réacteur Biologique Membranaire), consistant en un traitement biologique intensif couplé à une filtration membranaire externe [2,5], présente une grande capacité à éliminer simultanément les matières en suspension et les polluants de types organique, inorganique et microbien [6]. Cette Step pourra ainsi contribuer au maintien de l'activité agricole au voisinage de l'Oued Hassar et, au même moment, protéger ce dernier ainsi que la population riveraine contre les impacts potentiels des eaux usées brutes [2]

L'objectif de notre travail consiste à évaluer les performances épuratoires de ce système de traitement RBM de la localité de Mediouna, le premier en son genre au Maroc et le 2^o en Afrique, et de vérifier la conformité de la qualité des eaux épurées aux exigences des normes marocaines de réutilisation en irrigation agricole.

2. Matériels et méthodes

2.1. Présentation de la zone d'étude

La localité de Mediouna, qui se situe à 17 km au Sud Est de Casablanca (figure 1), est un centre urbain en pleine croissance d'environ 89000 habitants selon le Haut-Commissariat au plan et d'une superficie globale de 170 ha.

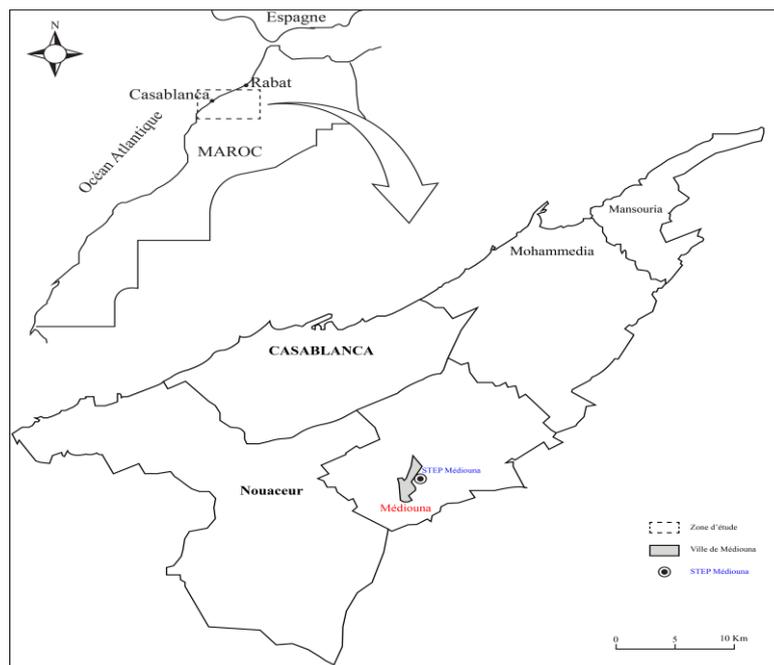


Figure 1 : Localisation de la Step Mediouna

Sur le plan géologique, cette zone du domaine côtier centre atlantique marocain appartient à la Meseta côtière occidentale [7] caractérisée par une structure géologique subtabulaire à formations d'âge secondaire, tertiaire et quaternaire (Limons continentaux) succédant à un socle primaire plissé. Ces formations discordantes et constituant une couverture perméable, correspondent à des dépôts quartzitiques du Cambro-Ordovicien, pélitobasaltiques du Permo-Trias, marnocalcaires du Crétacé et grésocalcaires du Plio-Quaternaire. Le socle paléozoïque, imperméable, plissé et tectonisé, est de nature schisteuse d'âge Cambrien [7]. Le climat de la région est du type méditerranéen subhumide sec à semi-aride [3] soumis à une influence océanique marquée par un hiver doux et un été sec. La température moyenne annuelle est variable entre 13 et 23 °C et les précipitations totales annuelles enregistrées durant ces 30 dernières années sont de l'ordre de 382 mm [3].

Sur le plan pédologique, la région est occupée par des terres constituées de sols variés : Argileux ou fertillitique bien drainés dit "Hamri", isohumique appelé "Tirs", sableux peu évolué nommé "Rmel" ou calcimorphe connu sous le terme "Dendoun" [7]. La superficie de terres agricoles exploitées dans toute la province de Mediouna s'élève à 14862 hectares dont 13809 ha en mode non irrigué « bour » et 1053 ha en périmètre irrigué. Les cultures pratiquées comportent essentiellement les céréales, les fourrages et les maraichers [8].

L'hydrologie de la région se caractérise par une pauvreté des ressources en eau qui se limitent à quelques mares d'eau (dayas) superficielles qui se remplissent en hiver et au petit cours d'eau d'oued Hassar alimenté par les eaux de pluies, les eaux usées épurées de Mediouna et les résurgences d'eau souterraines provenant de la nappe de Berrechid et de la nappe de la Chaouia côtière.

L'approvisionnement en eau potable de la ville de Mediouna est assuré, comme pour l'ensemble de la ville de Casablanca, par la LYDEC à partir des barrages Eddaourate et Ben Maâchou sur l'Oued Oum Errabia et Sidi Mohammed Ben Abdellah sur l'Oued Bouregreg. Selon les données recueillies auprès de la LYDEC, la ville de Mediouna reçoit entre 2040 m³/j et 2600m³/j d'eau potable. Les eaux usées produites sont collectées dans un réseau d'assainissement de type séparatif des eaux pluviales, eaux usées domestiques et eaux usées industrielles. Les eaux usées industrielles se déversent dans un collecteur situé en aval de la zone industrielle de Mediouna et rejoignent par la suite le réseau d'assainissement des eaux usées domestiques [4]. L'ensemble des eaux usées domestiques et industrielles est acheminé vers la Step de Mediouna pour être traité avant d'être rejeté dans le cours d'eau Oued Hassar.

2.2. Description et fonctionnement de la Step Mediouna

La station d'épuration des eaux usées de Mediouna a été programmée dans le cadre du schéma d'assainissement liquide de la Lydec à Casablanca [5]. Lancée en Avril 2013, la Step est d'une capacité de 40000 équivalents habitants, avec une extension future, à l'horizon en 2030, de 80000 équivalents habitants. La capacité de traitement quotidienne de la station est de 2800 m³ pouvant atteindre, au futur vers 2017, 3800 m³ avec un débit de pointe de 300 m³/h [9]. Cette Step [10] adopte un système compact de traitement intensif de type RBM qui permet une élimination drastique des matières en suspension et une désinfection/hygiénisation des eaux épurées qui peuvent être réutilisées en irrigation agricole.

Le processus de traitement mis en place (figure 2) commence par un dégrillage automatique à 6 mm suivi d'un dessablage/dégraissage ou clarification préliminaire (PC) avec élimination des huiles et graisses.

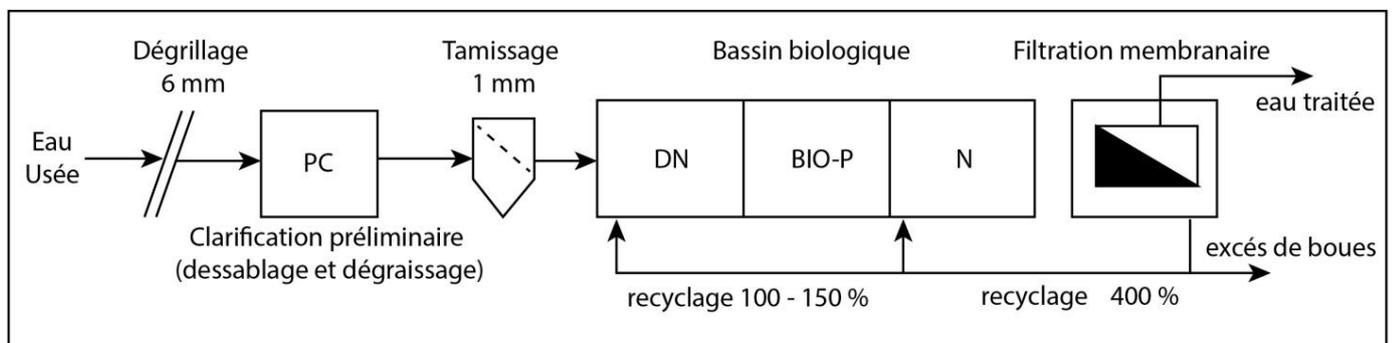


Figure2: Schéma fonctionnel global de la STEP de Mediouna.

Afin de protéger l'unité membranaire de filtration, un tamisage fin, à 1 mm, a été introduit avant le bassin de traitement biologique. Ce dernier comporte une pré-dénitrification (DN) en pré-anoxie suivi d'une phase

d'anaérobie en vue d'éliminer le phosphore (BIO-P) et d'une étape finale aérobie de nitrification (N). Lors de cette étape a lieu aussi l'élimination du carbone qui se fait grâce à une biomasse hétérotrophe aérobie qui va transformer les composés organiques riches en carbone apportés par l'effluent en biomasse et une partie est rejetée sous forme CO₂.

En plus du tamisage fin, cette station diffère des systèmes conventionnels de boues activées par le dispositif de séparation des boues. Au lieu d'un décanteur secondaire (clarificateur), une séparation par filtration sur membrane externe est appliquée à une liqueur mixte des matières en suspension plus concentrée que celle des boues activées classiques. En effet, le système RBM de la Step de Mediouna se caractérise par une liqueur mixte à 6,7 g/l en moyenne pouvant atteindre jusqu'à 10 g/l au niveau des compartiments des membranes. Le recyclage des boues issues de la filtration membranaire se fait par une pompe qui transporte les boues à un taux de 400 % vers le bassin de nitrification et à 100 à 150 % vers la zone pré-dénitrification du bassin biologique.

Les chambres de filtration membranaire se composent de 4 lignes distinctes avec deux cassettes de membranes chacune qui restent immergées dans l'eau. Les deux cassettes contiennent un total de 58 modules formés de membranes à fibres creuses fabriquées en difluorure de polyvinylidène (PVDF). La surface totale des 4 lignes de cassettes membranaires est de 7980,8 m² soit 34,4 m² par module.

2.3. Echantillonnage et caractérisation physicochimique des eaux

L'étude des performances épuratoires de notre Step a été réalisée sur la base d'un échantillonnage des eaux à l'entrée (eaux usées brutes) et à la sortie (eaux épurées) de la Step du moins d'Avril jusqu'au mois d'Octobre 2013. Les échantillons sont prélevés par un échantillonneur automatique qui prélève 200 ml d'eaux usées brutes et épurées toutes les 15 minutes pour avoir à la fin un échantillon composite sur une durée de 24 heures. Les mesures de la température, pH, conductivité électrique et débit d'eaux usées brutes et traitées sont réalisées, en continu, directement in situ à l'aide de sondes et d'appareils appropriés. Les teneurs en MES, DCO, DBO₅, Azote Total Kjeldahl (NTK), Orthophosphates, Nitrates, Chlorures et Coliformes Fécaux ont été déterminées sur la base d'analyses réalisées au laboratoire interne de la station ou encore au laboratoire central de la Lydec «Labelma» sur la base de méthodes normalisées AFNOR [11] ou homologuées par Rodier [12]. Le tableau 1 présente les différentes méthodes de mesure et d'analyse utilisées.

Tableau 1: Matériels de mesure et méthodes d'analyse utilisées.

Paramètre	Unité	Matériel de mesure ou méthode d'analyse	Norme
Température	°C	Sonde T° type Lange - un pH mètre type HANA	-
pH	Unité pH	HI 2211 (au 1/10).	-
Conductivité	µS/cm	Sonde de conductivité de type HQ 14d.	-
Débit	m ³ /h	Sonde de type Endress/ Hauser.	-
MES	mg/l	Méthode de filtration sur filtre Whatman GFC (0,45µm).	Référence 1825-047
DCO totale	mg/l	Méthode d'oxydation au dichromate de potassium sur kits LCK et lecture au spectrophotomètre DR 5000.	NM 03.7.054 /2012
DBO ₅	mg /l	Méthode manométrique à Oxitop VELP Scientifica.	NM ISO 5815-1/2012
Orthophosphates (PO ₄)	mg/l	Méthode au Molybdate d'ammonium	NM ISO 10304-2/2009
Azote total Kjeldhal (NTK)	mg/l	Méthode au salicylate après minéralisation au sélénium sur Kits LCK 238 et lecture au spectrophotomètre type DR DR 5000.	NM ISO 5663/2000
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/l	Méthode colorimétrique aux Kits LCK 340	-
Chlorures	mg/l	Titrimétrie par méthode volumique de Mohr	NF T 90-014
Coliformes fécaux (CF)	log ₁₀ CF/100 ml	Filtration sur membrane et culture sur milieu gélosé	NF EN ISO 9308-1
Eléments traces métalliques (ETM)	mg/l	Spectrométrie d'émission atomique couplée à un plasma induit (ICP-AES) de type JOBIN-YVON	NF EN ISO 11885

3. Résultats et discussions

3.1. Le débit des eaux usées

La mesure du débit à l'entrée et la sortie de la Step se fait par un système d'acquisition des données avec totalisation des débits journaliers enregistrés. Durant notre période d'étude, les débits journaliers des eaux usées brutes varient entre 637 et 2250 m³/j soit une moyenne de 1593,74 m³/j (figure 3). A la sortie de la station, le débit des eaux épurées oscille entre 549 et 2387 m³/j soit une moyenne de 1478 m³/j.

D'une manière générale, les fluctuations des débits des eaux épurées suivent celles des débits des eaux usées brutes avec une légère diminution dans le volume des eaux traitées car une partie des eaux usées brutes reste liée aux déchets solides éliminés lors du prétraitement et aux boues extraites au niveau de la station. De plus, une partie des eaux épurées est utilisée, avant qu'elle ne soit comptabilisée, en interne dans les services de nettoyage des équipements et les locaux de la station de traitement. Durant le mois d'Avril, les débits d'entrée des eaux usées brutes n'ont pas dépassé les 1500 m³/j car la station était en phase de démarrage et n'était pas alimentée en eaux usées brutes, pour des raisons sécuritaires, de minuit jusqu'à 8h du matin. Par la suite, la station recevait les eaux usées brutes 24h/24h et les débits deviennent plus importants. Notons enfin que durant les mois de Septembre et Octobre 2013, le volume des eaux épurées dépasse parfois celui des eaux usées brutes (figure 3) probablement en raison de l'apport des eaux pluviales recueillies au niveau des installations de la station.

3.2. Les paramètres physicochimiques et bactériologiques

Durant notre période d'étude, les températures des eaux brutes varient entre 20,1 et 23 °C soit une moyenne globale de 21,62 °C (tableau 2) qui reste favorable au bon fonctionnement de notre système RBM. En effet, dans un système d'épuration type « MBR », la température est considérée comme un paramètre très important à contrôler car elle influence sur la solubilité et les propriétés physicochimiques des polluants telles que l'hydrophobicité et la solubilité des matières dissoutes [6]. Des études ont montré que les performances d'élimination de certains polluants (dichlofénacé, naproxène, ibuprofène et benzafibrate...etc) au niveau des systèmes RBM est élevée à une température de 25 °C mais elle diminue lorsque la température est de 12 °C [13, 14]. A la sortie de la Step, les effluents épurés présentent des températures légèrement élevées et varient entre 20,2 et 26 °C soit une moyenne de 23,93 °C (tableau 2). La comparaison de ces températures avec celles des eaux brutes révèle une augmentation de 2 à 3 °C qui serait liée à l'effet de l'agitation et du pompage des eaux dans les canalisations de la station ainsi qu'au réchauffement par l'air injecté dans certains ouvrages (dégraisseurs, bassin biologique et membranes). Toutefois, malgré cette légère augmentation, la valeur de la température reste inférieure aux valeurs limites des 35 et 30 °C fixées respectivement par les NMEDI [15] et les NMRD [16] ce qui montre que les effluents épurés de la Step peuvent être, thermiquement parlant, réutilisés en irrigation agricole ou rejetés, tout naturellement, dans le milieu récepteur d'Oued Hassar.

Le pH est un élément important au niveau du processus du traitement RBM et dans la prévention et le contrôle de la corrosion des équipements de la station. Au cours de notre étude, les valeurs du pH des effluents bruts varient entre 6,78 et 7,92 soit un pH moyen de 7,58 (tableau 2) favorable au bon déroulement de notre traitement biologique. En effet, ce paramètre influence certaines propriétés physicochimiques de certains polluants et des études ont montré que des pH élevés (pH > 10) ou faibles (pH < 4) induisent une baisse de leur hydrophobicité [6, 17]. A la sortie de la station, les valeurs du pH des eaux épurées connaissent une légère augmentation et varient entre 6,42 et 8,45 soit une moyenne de 7,69. Cette légère tendance basique du pH des eaux épurées est due à des traces de chlore restant sur les membranes après leur nettoyage [18, 19]. Néanmoins, ces valeurs du pH des eaux restent conformes à la fois aux NMEDI [15] et aux NMRD [16] qui préconisent toutes les deux un pH compris entre 6,5 et 8,5.

La conductivité électrique (CE) renseigne sur le degré de minéralisation des eaux et leur salinité. Elle constitue donc un paramètre important pour le contrôle de la qualité des eaux épurées destinées à l'irrigation agricole [20]. Dans le cas de nos eaux usées brutes, la CE varie entre 2840 µS/cm et 4540 µS/cm soit une CE moyenne de 3643 µS/cm (tableau 2) témoignant d'une forte minéralisation de ces eaux usées [21]. Au niveau des eaux épurées, la CE ne diminue pas tellement et reste comprise entre un minimum de 2670 et un maximum de 4538 µS/cm soit une moyenne de l'ordre de 3381 µS/cm (tableau 2). Ces eaux épurées présentent parfois des CE maximales qui dépassent la limite des 2700 µS/cm préconisée par les NMRD [16] mais elles restent tout de même conformes aux normes marocaines des eaux destinées à l'irrigation NMEDI [15] qui tolèrent, mais de manière restrictive, une conductivité allant jusqu'à 12000 µS/cm.

Tableau 2: Résultats des mesures de Température, pH et conductivité électrique (CE) des eaux brutes et épurées.

Paramètre	Eaux brutes			Eaux épurées			
	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	NMEDI
T (°c)	20,1	21,62	23	20,2	23,93	26	35
pH	6,78	7,58	7,92	6,42	7,69	8,45	6,5-8,4
CE (µS/cm)	2840	3643	4540	2670	3381	4538	12000

Les eaux usées brutes de Médiouna présentent une charge en MES qui varie entre un minimum de 180 mg/l enregistré au mois de Mai et un maximum de 980 mg/l signalé en Juillet 2013 soit une charge moyenne de 464,06 mg/l. A la sortie de la Step, les eaux épurées montrent une faible charge en MES qui varie entre 0,3 et 31 mg/l soit en moyenne de 3,72 mg/l (figure 3). Cette faible charge en MES des eaux épurées est due à la filtration membranaire qui élimine presque la totalité des MES [22]. Ainsi, le taux d'abattement des matières au niveau de notre système RBM varie entre 97,46 et 99,61 % soit une moyenne globale de 99,13 % (figure 3) dépassant largement les taux enregistrés au niveau de certaines stations conventionnelles du Maroc [23-26]. Ces différents teneurs en MES au niveau des eaux épurées restent largement inférieures à la limite des 50 mg/l préconisée les NMRD [16] et à celle des 2000 mg/l fixée par les NMEDI [15].

La DCO renseigne sur le taux d'élimination des matières oxydables mais peut également donner des indications sur la performance de la filtration membranaire [28]. Les eaux usées brutes à l'entrée de la Step sont caractérisées par une DCO variant entre un minimum de 351 et un maximum de 1927 mg/l enregistrés respectivement en Avril et Octobre 2013 (figure 3) soit une moyenne de 1177,59 mg/l. A la sortie de la station, les valeurs de la DCO des eaux épurées varient entre 4,8 mg/l, enregistrée au mois d'Avril, et 181 mg/l notée en Septembre 2013 (figure 3) soit en moyenne 100,58 mg/l. Le taux d'abattement de la DCO est de l'ordre de 90,90 % en moyenne mais peut atteindre jusqu'à 98,84 % (figure 3). Ce taux, pris dans toutes ses dimensions, reste largement supérieur à ceux des autres systèmes classiques de traitement connus au Maroc [23-27]. Il montre bien que le système RBM possède une grande habileté et aptitude de réduction de la pollution organique au niveau des eaux usées permettant la production d'eaux épurées de bonne qualité largement conformes aux NMRD [16] et même réutilisables en irrigation agricole.

La DBO₅ au niveau des eaux usées alimentant la Step varie entre un minimum de 85 mg/l enregistré en fin d'Avril 2013 et un maximum de 664 mg/l noté en Octobre de la même année (figure 3) soit en une moyenne globale de l'ordre de 373,55 mg/l. Au niveau des eaux épurées, la DBO₅ se caractérise par des faibles valeurs variables entre 1 et 6,1 mg/l enregistrées respectivement au mois d'Avril et Août 2013 soit une moyenne de 2,61 mg/l (figure 3). Ainsi, le taux d'abattement de la DBO₅ se situe entre 98,13 et 99,81 % soit une moyenne de 99,25 % (figure 3) dépassant très largement les systèmes conventionnels de traitement des eaux usées au Maroc [24]. Cette grande performance en termes d'élimination des matières organiques de notre station est due au bon rendement de la biomasse bactérienne et à la croissance de certaines bactéries spécialisées dans l'assimilation et la minéralisation de la matière organique spécifique en aérobiose [29].

Les chlorures constituent également un indice du degré de minéralisation des eaux usées qui revêtent d'une grande importance dans la grille de qualité des eaux épurées destinées à l'irrigation étant donné qu'ils influencent les caractéristiques du sol, la croissance et le rendement des cultures irriguées. Au niveau des eaux traitées, les teneurs en chlorures se situent entre 560 mg/l et 940 mg/l soit une moyenne de 749,69 mg/l (figure 3). Ces différentes concentrations en chlorures dépassent largement la valeur limite des 350 mg/l fixée par les normes marocaines des eaux destinées à l'irrigation [15] ce qui impose une restriction de leur réutilisation selon les cultures et l'état du sol.

L'intérêt du suivi de la quantité d'azote et ses dérivés dans les eaux usées réside dans le risque potentiel que présentent ces éléments dans les milieux récepteurs. En effet, les formes azotées de la matière organique contenues dans les eaux usées constituent une source d'azote pour la biomasse bactérienne aquatique [30] qui oxyde l'azote soit par assimilation ou par nitrification/dénitrification [31-33]. Les teneurs en azote NTK de nos eaux usées brutes sont en moyenne égales à 92,02 mg/l et fluctuent entre un minimum de 59,2 mg/l et un maximum de 140 mg/l enregistrées en Avril et en Octobre 2013 (figure 3). A la sortie de la station, on constate que les concentrations en azote NTK dans les eaux épurées diminuent pour atteindre en moyenne 3,95 mg/l tout en variant entre 0,7 et 9 mg/l notées respectivement en Avril et Août 2013. L'abattement de cette forme d'azote reste très élevé atteignant en moyenne 95,59 %, au minimum 89,47 et au maximum 98,89 % (figure 3). De ce fait, la teneur de cet élément azoté reste largement inférieure à la valeur limite préconisée par les NMRD [16].

Pour les nitrates (NO_3^-), qui constituent la forme d'azote la plus dominante dans les eaux épurées, la teneur au niveau de ces eaux est globalement élevée atteignant en moyenne 16,85 mg/l, au minimum 0,37 mg/l et au maximum 79 mg/l (figure 3). Globalement, cette charge en nitrates reste inférieure à la valeur limite des 30 mg/l préconisée par NMEDI [15].

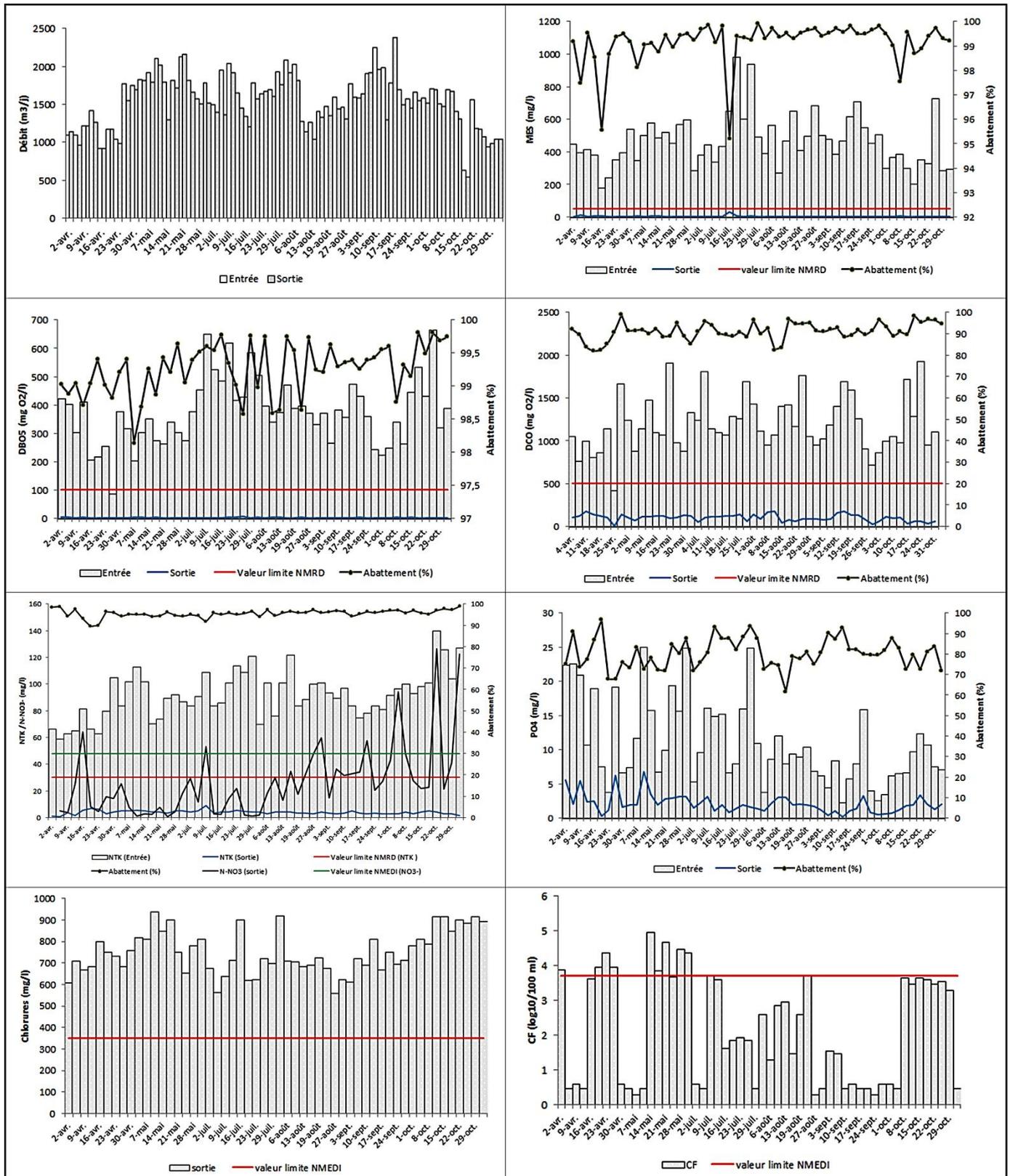


Figure 3: Résultats des analyses physicochimiques et bactériologiques des eaux brutes et épurées.

Ces résultats concordent avec ceux mentionnés par [34] qui ont noté que l'élimination de l'azote est plus importante tant que le réacteur biologique est aéré en continu. Cette aération continue permet à la biomasse de transformer l'azote en ammonium qui par la suite sera nitrifié/oxydé et transformé en nitrates ou en N_2O/N_2 . En effet, dans le bassin biologique, l'élimination de l'azote se fait souvent sous forme gazeuse par des réactions de nitrification et nécessite un apport important d'oxygène pour la biomasse [28]. La filtration membranaire permet la rétention absolue de toute la biomasse ce qui favorise le développement des bactéries nitrifiantes. Ainsi, les conditions d'aération du bassin biologique sont favorables à la croissance de bactéries à développement lent tels que *Nitrosomonas* et *Nitrobacter* ce qui accélère le processus de nitrification [34, 35].

Le phosphore, et particulièrement les orthophosphates en excès, constituent un nutriment stimulateur du phénomène d'eutrophisation dans les eaux naturelles [36]. Cet élément nutritif est utilisé dans le métabolisme des bactéries pour assurer leur respiration et le transfert d'énergie. Ainsi, dans les conditions d'aérobies, ces bactéries oxydent la matière organique contenue dans les eaux usées et régénèrent leurs stocks de polyphosphates pour assurer leur croissance [35]. Dans notre système RBM, l'élimination du phosphore dans le bassin biologique consiste à provoquer une sur-assimilation du phosphore dans le bassin biologique en soumettant les bactéries à une situation de stress par alternance de phase aérobie et anaérobie. Une partie du phosphore, plus ou moins importante selon l'efficacité du traitement, est donc piégée de manière biologique dans les boues [9], le reste peut se transformer en orthophosphates dans les eaux épurées qui viennent s'ajouter à ceux des eaux usées brutes. En effet, au niveau des eaux usées brutes, la charge en orthophosphates se situe entre 2,26 et 24,97 mg/l soit une moyenne de 10,95 mg/l (figure 3). A la sortie de la station, la charge des eaux épurées en orthophosphates chute pour atteindre en moyenne 2,10 mg/l avec un minimum de 0,16 mg/l et un maximum de 6,82 mg/l soit un abattement variable entre 67,73 % et 96,66 % et en moyenne de l'ordre de 80,35% (figure 3). Cet abattement moyen s'avère plus élevé par rapport à celui cité, dans d'autres systèmes RBM par [36] et par [37] soit respectivement 45 % et 69 %. Par contre, d'autres auteurs ont enregistré un taux d'abattement de 96,6 % [38] similaire à celui noté à la Step de Mediouna ce qui montre que l'élimination de ces éléments est étroitement liée aux conditions de fonctionnement du processus biologique de la biomasse bactérienne. Même si la charge des eaux traitées en orthophosphates paraît faible par comparaison aux besoins des cultures maraichères par exemple, l'apport régulier de ces éléments par les eaux traitées pourrait accélérer la croissance des cultures et donc assurer de bons rendements agricoles ce qui rend la réutilisation des eaux usées en irrigation très prometteuse.

La pollution bactériologique des eaux épurées est évaluée à travers la recherche et le dénombrement des coliformes fécaux dont la présence en nombre élevé indique une contamination d'origine fécale et probablement une présence de microorganismes pathogènes [39]. Durant notre étude, les résultats obtenus au niveau du suivi de cette forme de pollution bactériologique au niveau des eaux épurées (figure 3), montrent que la charge des coliformes fécaux se situent entre un minimum de 0,30 \log_{10} CF/100 ml et un maximum de 4,96 \log_{10} CF/100 ml enregistré au mois de Mai 2013 soit en moyenne 2,13 \log_{10} CF/100 ml. Par comparaison à la valeur limite de ce paramètre bactériologique préconisée par les NMEDI (3,69 \log_{10} CF/100 ml) [15], on remarque qu'en dehors des premiers mois de démarrage de la Step (Avril-Mai 2013) où il y avait des contaminations accidentelles en CF lors des premiers essais de fonctionnement des équipements, la teneur en CF au niveau des eaux épurées reste conforme à cette norme. Cette faible charge en CF des eaux épurées est due au grand potentiel du système RBM à désinfecter les eaux par rétention des bactéries dans les boues et par filtration membranaire. Cette dernière voie d'hygiénisation efficace des eaux épurées est liée à la nature des membranes installées au niveau du système RBM [9] permettant une très grande élimination des coliformes fécaux. Ce même résultat a été rapporté par [40] au niveau d'un système de traitement RBM des effluents de lisier de porc fonctionnant avec un temps de rétention hydraulique (THR) de 9 heures.

Au cours de notre étude, six éléments traces métalliques (ETM) ont été analysés qui sont : le Cd, Cr, Pb, Cu, Fe et Zn. Ces éléments traces se présentent souvent, dans les eaux usées domestiques et industrielles, à des concentrations qui peuvent avoir des implications écologiques et sanitaires néfastes. Les résultats obtenus durant les 4 campagnes de prélèvement (Novembre 2013, Février-Mai-Août 2014) et de dosage de ces éléments, montrent que leurs teneurs maximales des eaux épurées se situent entre 0,01 mg/l signalée pour le Cd et 0,72 mg/l enregistrée pour le Cu (tableau 3). Pour l'ensemble de ces métaux traces, la teneur maximale reste conforme aux NMEDI [15]. Au même moment, leurs valeurs moyennes dans les eaux traitées de Mediouna sont largement inférieures à celles mentionnées par [4] au niveau du point de rejet des eaux usées brutes à l'Oued Hassar avant la construction de la Step. Cette contamination métallique se retrouvait également au niveau des sols irrigués par les eaux usées brutes de Mediouna notamment pour le Cd et le Pb [41]. Notre système de traitement RBM pourra donc contribuer, dans l'avenir, à corriger cette situation à travers une réutilisation des eaux épurées en irrigation agricole.

Tableau 3 : Résultats des éléments traces métalliques dans les eaux épurées.

ETM (mg/l)	Min	Max	Moy	NMEDI (mg/l)
Cd	0,003	0,01	0,006	0,01
Cr	0,004	0,004	0,004	1
Cu	0,003	0,720	0,360	2
Pb	0,041	0,030	0,032	5
Fe	0,013	0,050	0,024	5
Zn	0,085	0,130	0,109	2

Conclusion

Ce travail d'étude des performances épuratoires du système RBM de la Step Mediouna et des possibilités de réutilisation des eaux épurées en irrigation agricole de sa région, montre que de point de vue physicochimique, la qualité des eaux traitées respecte les valeurs contractuelles fixées par le cahier des charges de la Step conformément aux normes marocaines des rejets directs dans le milieu récepteur (Oued Hassar) mais plus encore aux normes européennes. Au même moment, le taux d'abattement de la charge polluante entre effluent brut et effluent traité dépasse globalement les 90 % pour tous les paramètres sauf pour le phosphore où le rendement est légèrement plus faible (80,20 %).

Cette qualité physicochimique des eaux épurées s'inscrit parfaitement dans la grille marocaine de qualité des eaux destinées à l'irrigation en termes de pH, Température, Conductivité Electrique, MES, Salinité, Nitrates, Coliformes Fécaux et métaux traces. Par contre, la teneur en chlorures reste non conforme aux NMEDI mais ne constitue qu'un facteur limitant l'irrigation de quelques cultures sensibles à des eaux usées chargées en chlorures. Cette bonne qualité physicochimique et microbienne des eaux usées épurées témoigne de l'efficacité du système de traitement MBR mis en place et des opportunités qu'il offre en matière de résilience bioécologique du milieu récepteur et de réutilisation des eaux épurées en irrigation des terres agricoles de la région. Cette réutilisation pourra contribuer à réduire, dans l'avenir, la pression de pompage des eaux de la nappe souterraine locale.

Références

- Royaume du Maroc, *Rapport No. 40298-MA* (2008) 127.
- Nahli A., Hebabaze S., Belmatrik S., Chlaida M., *IJIAS* - 13 No. 4 (2015) 965-978.
- Province de Mediouna : Monog. de Mediouna (2007) 58.
- Fouad S., Cohen N., Hajjami K., Chlaida M., *ScienceLib* 5 No. 130113 (2013) 2111-4706.
- Lyonnaise des Eaux de Casablanca (LYDEC), *EIE-STEP Mediouna* (2010) 128.
- Seyhi B., Droguil P., Buelna G., Blais J-F., Hera M., *J. Water Scienc.* 24 (3) (2011) 283-310.
- Khatami A., Ph.D Thesis - Louis Pasteur Univ. (1992) 205.
- Direction Régionale de l'Agriculture à Casablanca (DRA), *Rapport interne* (2009) 15.
- Lyonnaise des Eaux de Casablanca (LYDEC), *Rapport interne* (2013) 86.
- Lyonnaise des Eaux de Casablanca (LYDEC), *Document YT - Suez Environnement – Dégrèvement* (2011) 18.
- AFNOR, 3^{ème} édition (1999).
- Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., *DUNOD-Paris* No. 8 (1996).
- Carballa M., Omil F., Lema J.M., *J. Water Res.* 39 (2005) 4790-4796.
- Clara M., Strenn B., Gans O., Martinez E., Kreuzinger N. and Kroiss H., *Water Res.* 39 (2005) 4797-4807.
- Ministère chargé de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme et de l'habitat et de l'environnement (MATUHE) : NMEDI, *Arrêté N° 1276-01* (2002).
- Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau et de l'Environnement (SEEE) : NMRD (2007).
- Mcbrien M.A., Kolovanov E., Tashltssky V., *Ad. Chem. Dev.* (2004).
- Chang I. S., Kim S. N., *Process Biochem.* 40 (2005) 1307-1314.
- Le-Clech P., Chen V., Fane Tony A.G., *J. Membr. Sci.* 28 (2006) 17-53.
- FAO – Proche Orient, *manuel d'utilisation* (2003) 68.
- Nisbet M. and Vernaux J., *Annlis limnol.* 6 No. 2 (1970) 162-190.
- Judd S., *Elsevier Ltd., Oxford, Oxfordshire* (2006) 325.

23. Karboubi A., Zouhri A., Anouar A., *Inter. J. of Scien. & Engin. Res.* 5 No. 9 (2014) 851-857.
24. Tahri M., Larif M., Quabli H., Taky M., Elamrani M., El Midaoui A., Benazouz K., Khimani M., *European Scien. J.* 11 No.17 (2015) 193-154.
25. Koura A., Fethi F., Fahde A., Lahlou A., Ouazzani N., *J. Urban Water* 4 (2002) 373-378.
26. Mahdad T., Lacherai A., *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (S1) (2014) 2052-2059.
27. Saïdi A., Elamrani B., Amraoui F., *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (S1) (2014) 2184-2190.
28. Hebabaze S., Brand C., Moutaib Z., Riechelmann C., Raffy S., Kraume M., and M. Chlaida. *IJJAS* - 9 No. 2 (2014) 744-756.
29. Gander M.A., Jefferson B., and Judd S., *J. Water Science and Technology* 41 (2000) 205-211.
30. Sun D. D., Hay C. T., Khor S. L., *Desalination* 195 (2006) 209-225.
31. Wang Y., Huang X., Yuan Q., *Process Biochemistry* 40 (2005) 1733-1739.
32. Shi W.X., Duan Y.S., Yi X.S., Wang S., Sun N., Ma C., *Desalination* 317 (2013) 41-47.
33. Benzine L., Mouhanni H., Hamdi H., Bendou A., Cavalli E., *Inter. d'héliotechnique –énergie – environnement* 41 (2010) 18-25.
34. Cébron A., Ph.D Thesis, Paris VI – Pierre et Marie Curie Univ. (2004) 287.
35. Trouve E., Urbain V. and Manem J., *Water Sci. Technol.* 30 (4) (1994) 151-157.
36. Grouz N., Garnie J., Billen G., Mercier B., Martinez A., *Programme PIREN-Seine - Rap. d'activité 2012* (2013) 17.
37. Battistoni P., Fatone F., Bolzonella D. and Pavan P., *Water Pract. Technol.* (2006) 8.
38. Cicek N., Winnen H., Suidan M.T., Wrenn B.E., Urbain V., Manem J., *Water Res.* 32 (1998) 1553-1563.
39. Burton J.A., Gunnison D. et Lanza C.R., *Appl. Environ. Microbiol.* 53 (1987) 633-638.
40. Comeau Y., *Rapport No. 703035 – Éco. Polytech. de Montréal* (2006) 142.
41. Matech F., Zaakour F., Saber N., *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (S2) (2014) 2540-2543.

(2016) ; <http://www.jmaterenvirosnci.com>