

Etude des performances d'un réacteur biologique séquentiel "SBR" pour le traitement des effluents d'une entreprise agroalimentaire marocaine

[Performance of a Sequencing Batch Reactor for the Treatment of Food Industry Wastewater in Morocco]

Soumia Hebabaze¹, Christoph Brand², Zahra Moutaib¹, Carsten Riechelmann², Sylvain Raffy³, Matthias Kraume², and Mohamed Chlaida¹

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

²Chair of Chemical and Process Engineering, Technische Universität Berlin, Germany

³Naturex Maroc, Aéroport / Aéroport Mohammed V, 20240 Nouacer – Casablanca, Maroc

Copyright © 2014 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The increase of activity in the food industries is often accompanied by higher emissions of wastewater. Due to Moroccan discharge standards a treatment is mandatory for direct or indirect discharge. This study evaluates the treatment performance of a sequential batch reactor (SBR) set up by a Moroccan food industry company (Naturex Morocco). The results obtained during the second year of operation of the system shows that the elimination rates reach 98% for COD, 99% for BOD₅, 74% for TSS and 68% for total nitrogen. The effluent complies with Moroccan standards for indirect discharge. However, the treated water has some color substances (probably vegetable tannins) which would require additional treatment.

KEYWORDS: Sequencing batch reactor, wastewater, treatment, quality, food industry, Morocco.

RESUME: L'accroissement des activités industrielles agroalimentaires est souvent accompagné d'une production accrue des effluents liquides. Ces eaux usées nécessitent un traitement avant leur rejet direct au niveau du réseau d'assainissement ou dans le milieu naturel. Cet impératif de traitement constitue aujourd'hui une contrainte réglementaire au niveau du Maroc pour protéger l'environnement et la santé de la population.

Cette étude se propose d'évaluer les performances épuratoires d'un réacteur biologique séquentiel (SBR) mis en place par une industrie agroalimentaire marocaine (Naturex Maroc). Les résultats obtenus, durant la 2^{ème} année de mise en service de ce système, montre que les taux d'abattement moyens mensuels atteignent 98 % pour la DCO, 99 % pour la DBO₅, 74 % pour les MES et 68 % pour l'azote total. L'effluent d'eau épurée s'avère conforme aux normes marocaines de rejets indirects. Toutefois, les eaux épurées restent chargées en certaines matières jaunâtres (tanins d'origine végétale) qui nécessiterait probablement un complément de traitement plus approprié.

MOTS-CLEFS: Réacteur biologique séquentiel, eaux usées, traitement, qualité, industrie agroalimentaire, Maroc.

1 INTRODUCTION

Au Maroc, l'industrie agroalimentaire représente un secteur d'activités vital et dynamique dans le tissu économique du pays. Ce secteur compte, en effet, environ 2000 entreprises soit 25 % du total des établissements industriels à l'échelle

nationale. Il regroupe les branches industrielles relatives aux boissons, fruits et légumes, viandes, poisson, lait, céréales, huile d'olives et autres industries d'extraction de produits d'origine végétale (plantes naturelles, algues...).

En dépit d'une production industrielle représentant 30 % à l'échelle nationale, ce secteur consomme énormément d'eau et génère d'importants volumes d'eaux usées. Ces eaux usées sont souvent déversées dans le réseau d'assainissement sans traitement préalable ou parfois rejetées directement dans les hydrosystèmes naturels lorsque l'unité industrielle se trouve en milieu rural ou dans des sites non desservis par le réseau d'assainissement.

Actuellement, compte tenu des impacts environnementaux de ces effluents liquides et des contraintes de la réglementation en vigueur, la mise en place de stations de traitement des eaux usées industriels est devenue une exigence dans le fonctionnement et la conception des unités industrielles en particulier agroalimentaires (Huileries, brasseries et limonadières, raffineries de sucre, laiteries, abattoirs, etc...). Parmi les techniques de traitement les plus adaptées aux rejets industriels agroalimentaires, figure le réacteur biologique séquentiel ou SBR (Sequencing Batch Reactor) dans lequel, les étapes de réactions biologiques et de séparation liquide-solide ont lieu au sein d'un même bassin et s'y effectuent séquentiellement (figure 1).

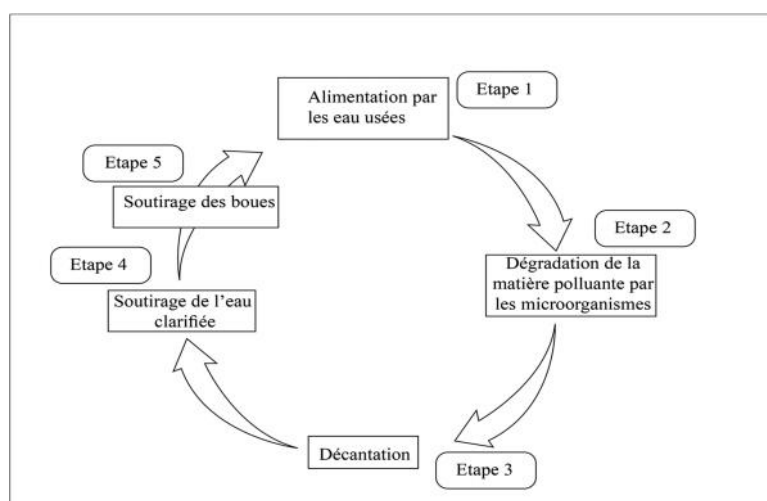


Fig. 1. Cycle de différentes étapes de fonctionnement par un SBR

En effet, le SBR a été déjà appliqué avec succès par [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8],[9] sur des effluents de fromageries et de laiteries et par [10] et [11] sur les effluents de limonadières. La comparaison des différents procédés biologiques utilisables pour le traitement des eaux agroalimentaires a montré que le SBR est le plus performant [8].

Notre étude a eu lieu au sein de la société Naturex Maroc, une unité d'industrie agroalimentaire installée à Casablanca (Maroc) spécialisée dans l'extraction des substances naturelles à partir des plantes médicinales et aromatiques (agents naturels de conservation à partir du Romarin, huiles essentielles d'abricot, etc...). Le volume d'eau potable consommé par l'entreprise varie entre 50 à 220 m³/jour utilisés dans le lavage, rinçage, process, etc....

Dans le but de respecter les normes marocaines de rejets dans le réseau d'assainissement, Naturex Maroc a construit depuis 2010 une station d'épuration (STEP) de type SBR, d'une capacité de 350 m³/jour, en vue de traiter les eaux usées issues de ces différentes activités industrielles. Le projet a été lancé sur la base des caractéristiques physico-chimiques suivantes (tableau 1):

Tableau 1. Qualité physicochimique des eaux usées de l'unité industrielle Naturex Maroc [12]

Paramètre	Valeur
T (°C)	27 à 28 °C
pH	5,7 à 6,15
Matière En Suspension "MES" (mg/l)	100 à 300 mg/l
Demande Chimique en Oxygène "DCO" (mg/l)	11300 à 11700 mg/l
Demande Biologique en Oxygène en 5 jours "DBO ₅ " (mg/l)	7800 à 8200 mg/l
Azote total (mg/l)	46,5 mg/l
Phosphore total (mg/l)	146 mg/l

Le but de ce travail, qui s'inscrit dans le cadre du projet d'Agriculture Urbaine à Casablanca [13], consiste à évaluer les performances épuratoires de cette STEP au cours de l'année 2011, soit une année après sa mise en état de fonctionnement.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 DESCRIPTION DE LA FILIERE DE TRAITEMENT SBR

La station SBR, objet de cette étude, fonctionne selon le schéma de la figure 2 avec les ouvrages suivants [12]:

- Un poste de relevage et de filtration (tamisage) ou fosse toutes eaux: C'est un bassin creusé à raz du sol ayant une profondeur de 3 m et un diamètre de 2 m. Il est muni d'un filtre rotatif permettant de débarrasser les eaux usées des matières ayant une taille supérieure à 200 µm de diamètre ;
- Un bassin tampon des eaux brutes (BT1): Construit en béton armé sur sol avec une capacité de 350 m³, un diamètre de 9 m, une hauteur totale de 6 m et une hauteur maximale des eaux de 5,5 m. Il a pour rôle d'assurer une homogénéisation et une préneutralisation des eaux usées filtrées avant leur évacuation vers le bassin SBR;
- Un bassin de traitement biologique (SBR): D'une capacité utile de 3400 m³, diamètre de 28 m, hauteur totale de 6 m et hauteur utile de 5,5 m. Il fonctionne en cuve biologique à boues activées à faible charge (4 g/litre), avec un temps de séjour important (environ 10 h) et une aération discontinue au niveau du bassin;
- Un bassin tampon (BT2) : D'une capacité de 250 m³, un diamètre utile de 9 m, une hauteur totale de 4,5 m et d'une hauteur utile de 4m. Il sert à stocker les eaux épurées et à ajuster leur débit avant d'être déversées dans le réseau d'assainissement à travers un canal de comptage (CC).

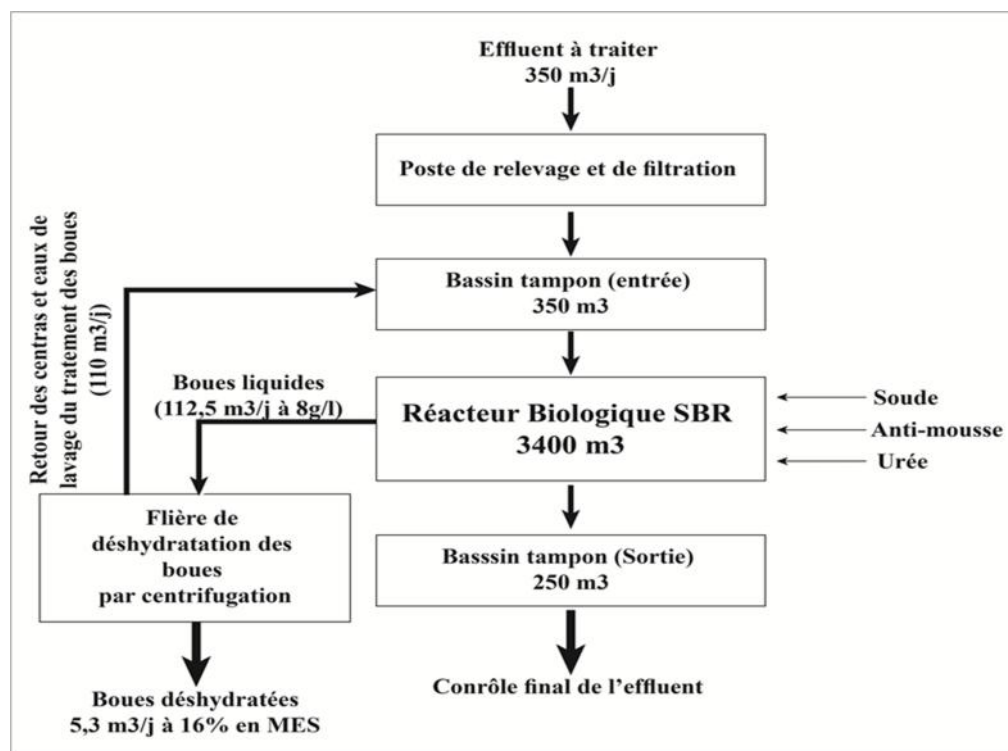


Fig. 2. Schéma des installations de la STEP de Naturex Maroc [12]

Le cycle de fonctionnement du SBR de Naturex Maroc comporte cinq phases de traitement :

- Phase de remplissage: le bassin est alimenté en eau pendant 1h 30 mn.
- Phase d'aération et d'agitation: Cette phase dure environ 6,5 heures avec un apport en oxygène de 0,5 à 2,5 mg/l et d'azote sous forme d'une solution d'urée technique à 33 % (500 litres/jour soit un apport d'azote de 82 kG/jour) nécessaires aux microorganismes pour assurer le processus de dégradation biologique des matières organiques. La soude technique à 33 % et l'anti mousse sont rajoutés en cas de nécessité respectivement pour assurer un pH convenable au traitement et pour éviter la formation de mousse à la surface des eaux dans le bassin SBR.
- Phase de décantation: Elle dure en moyenne 90 minute (1h 30 mn) avec arrêt total d'aération et d'agitation.
- Phase de soutirage des eaux traitées (clarifiées): Elle dure 1h 30 mn.
- Phase de soutirage des boues : Elle a lieu pendant 1h.

Au niveau de la STEP de Naturex Maroc, il y a globalement 2 cycles de traitement par 24 heures. Les boues liquides sont stockées avant centrifugation dans une cuve en béton d'une capacité de 60 m³. Les boues déshydratées sont stockées dans une benne avant d'être transportées en dehors de la station d'épuration.

2.2 ECHANTILLONNAGE ET CARACTERISATION PHYSICOCHIMIQUE DES EAUX

Les prélèvements d'eau ont été réalisés régulièrement, à raison de 3 fois par semaine, à l'entrée de la STEP au niveau de bassin tampon 1 (BT1), dans le bassin biologique (SBR) et à la sortie du bassin BT2 au niveau de canal de comptage (CC). Les échantillons d'eau sont prélevés dans des flacons en polyéthylène de 500 ml puis transportés immédiatement au laboratoire pour les différentes analyses.

Les mesures directes de température et du pH sont relevées, respectivement au 1/10 et au 1/100, à l'entrée de la STEP (BT1) et à la sortie des eaux épurées au niveau du CC à l'aide de deux sondes de T° et de pH de type Endress+Hauser «Lyquisis M».

Les analyses des eaux au laboratoire ont porté sur les paramètres physicochimiques suivants: la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biologique en oxygène en 5 jours (DBO5), les nitrates, l'ion ammonium (NH4+), l'azote total (Nt), le phosphore total (Pt) et les matières en suspension (MES). Les différentes méthodes utilisées lors de ces analyses sont présentées dans le tableau 2. Mis à part la DCO qui a été déterminée par analyse des eaux filtrées, toutes les autres analyses ont été effectuées sur des eaux brutes.

Tableau 2. Méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques

Paramètres analysés	Méthodes d'analyse
MES (mg/l)	Méthode de filtration sur un filtre Wattman référence NF EN 872
DCO totale (en mg/l)	Oxydation au dichromate de potassium à l'aide de kits LCK et lecture au spectrophotomètre DR2800.
DBO ₅ (en mg/l)	Respirométrie à l'aide d'un respiromètre type Hach BOD track TM II.
Phosphore total "Pt" (mg/l)	Méthode colorimétrique aux Kits LCK350 (solutions A, B, C et D) et lecture au spectrophotomètre type DR 2800.
Azote total "Nt" (mg/l)	Méthode colorimétrique par minéralisation aux Kits LCK 338 (solutions A, B, C et D) et lecture au spectrophotomètre type DR 2800.
L'azote ammoniacal "NH ₄ ⁺ " (mg/l)	Méthode colorimétrique aux Kits LCK 303 et lecture au spectrophotomètre type DR 2800.
Nitrates "NO ₃ ⁻ " (mg/l)	Méthode colorimétrique aux Kits LCK 340 (solutions A, B, C et D) et lecture au spectrophotomètre type DR 2800.

Le calcul du rendement épuratoire du système de traitement SBR a été effectué à l'aide de la formule suivante [14] :

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

Afin de vérifier la significativité de nos résultats au seuil de 0,05 (5%) et de se prononcer sur la validité du traitement SBR, nous avons soumis nos données à un traitement statistique paramétrique par le test de Student. Le choix de ce dernier a été justifié par le faible nombre de paramètres testés qui est inférieur à 30.

3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les différents résultats de mesures et d'analyses hebdomadaires (3 fois par semaine soit 12 fois par mois) enregistrés pour chaque ont été transformés en moyennes mensuelles en vue de simplifier leur interprétation.

3.1 LE POTENTIEL HYDROGÈNE

Le potentiel Hydrogène (pH) mesure l'acidité de l'eau et joue un rôle important dans la définition de son caractère agressif ou incrustant [15]. Le pH joue également un rôle important dans le développement bactérien au niveau des systèmes de traitement biologique puisque la nitrification optimale ne se fait qu'à un pH compris entre 7,5 et 9.

Le pH des eaux au niveau de notre STEP varie en fonction de la phase du traitement parcourue et reste également lié au processus de production au niveau de l'entreprise. En effet, ce paramètre varie globalement entre un minimum de 6 et un maximum de 7 au niveau des eaux du BT1 respectivement en Décembre et Mars 2011, entre 7 et 7,4 dans celles de SBR au cours de toute l'année d'étude et entre 7,1 et 7,7 au sein des eaux de CC respectivement en Décembre et Janvier 2011. On remarque donc une augmentation du pH de 6,5 en moyenne à l'entrée vers un pH légèrement alcalin à la sortie de la STEP. Cette augmentation consécutive à une libération des ions OH⁻ dans les eaux serait due à plusieurs processus notamment une diminution de la concentration moyenne de l'azote total dans l'effluent traité suite au phénomène de nitrification biologique [16].

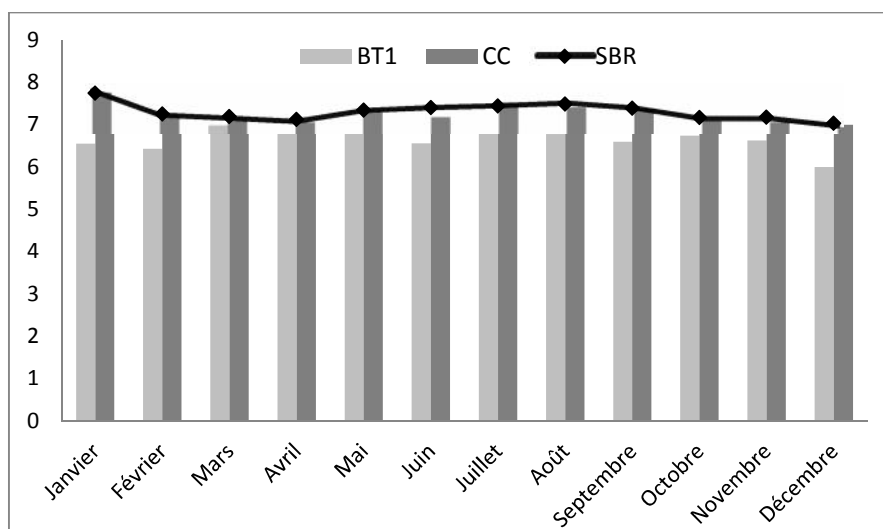


Fig. 3. Variation des moyennes mensuelles du pH au niveau des eaux de la STEP de Naturex Maroc

3.2 LES MATIERES EN SUSPENSIONS (MES)

Les MES constituent une partie de la pollution carbonée liée aux particules organiques et minérales non dissoutes. L'évolution des MES résulte de l'évolution simultanée de la fraction insoluble de l'effluent et de la biomasse proprement dite [8].

Dans notre cas, les teneurs moyennes mensuelles en MES des eaux varient d'un compartiment à un autre de la station d'épuration. Elles se situent entre 500 et 1430 mg/l au niveau du BT1 enregistrées respectivement en décembre et juillet 2011; entre 3650 et 7710 mg/l au cours de l'année au niveau du SBR et entre 128 et 600 mg/l signalées respectivement en décembre et juillet 2011 au niveau du CC (figure 4). On note également que depuis le mois septembre, les teneurs en MES diminuent sensiblement dans le bassin SBR probablement à cause de la dilution due aux précipitations importantes au cours de cette période.

Les taux d'abattement enregistrés pour les MES sont de l'ordre de 66,02 % en moyenne avec un minimum de 58,04 % et un maximum de 74 %. Ce taux d'élimination de MES est largement supérieur à celui trouvé par [11] soit 10%. Cette différence pourrait être attribuée à la durée de la phase de décantation dans le SBR favorable à la formation des floccs bactériens qui contribuent à la décantation des boues, et par conséquent, faciliteraient la séparation des MES. Toutefois, les teneurs de ces dernières augmentent parfois accidentellement, comme aux mois de mai et juillet 2011 au niveau du CC, probablement à cause d'un mauvais accomplissement du processus de décantation et de soutirage des boues.

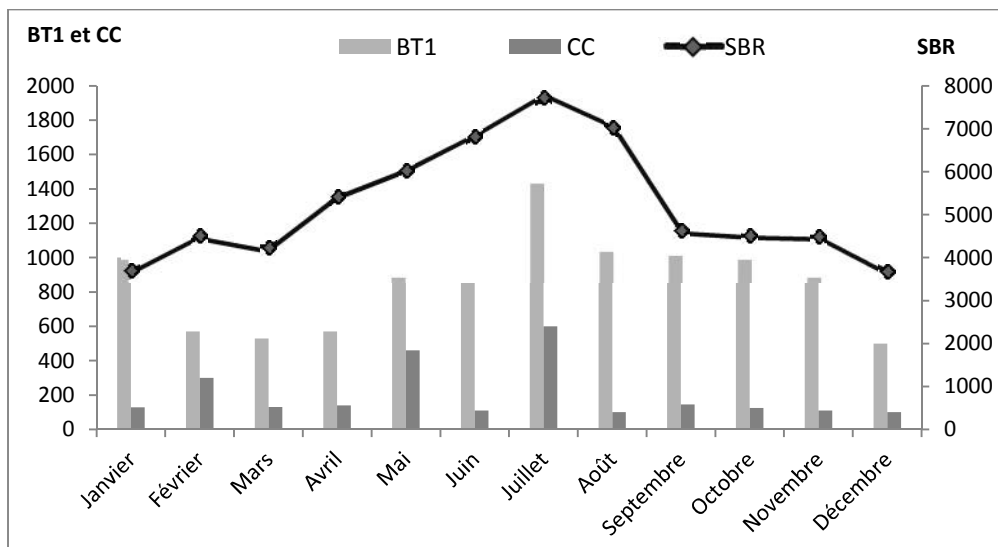


Fig. 4. Evolution des teneurs en MES (en mg/l) au niveau des eaux de la STEP de Naturex Maroc

3.3 LA DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE TOTALE (DCOT)

La Demande Chimique en Oxygène constitue un paramètre déterminant dans le processus d'épuration des eaux usées. Dans notre cas, les valeurs moyennes mensuelles de la DCO varient, au niveau du BT1, entre 5000 et 10750 mg/l signalées respectivement aux mois de janvier et juillet 2011 au niveau du SBR, et entre 112 et 900 mg/l obtenues respectivement aux mois janvier et juillet 2011 au niveau des eaux du CC.

Au même moment, les rendements épuratoires et d'élimination des matières oxydables des eaux usées de l'entreprise peuvent atteindre un maximum de 97,8 %. Ces taux d'abattement concordent avec les valeurs rapportées par [6], [17] et [18] qui ont signalé que le procédé SBR élimine environ 98% de la DCO. En revanche, nos rendements épuratoires sont supérieurs à ceux trouvés par [16] et [19]. Ces meilleurs taux d'abattement de la DCO seraient liés, comme l'a rapporté [20], au fait qu'au niveau du système SBR, la biomasse forme des granules décantables ou bioflocs correspondant à des agrégats de microbes biofloculés constitués de microbes, particules inertes, particules biodégradables et de polymères extracellulaires qui adsorbent les composés organiques. Ces bioflocs assurent une bonne séparation solide/liquide et donc une augmentation de la performance du procédé SBR en termes d'élimination de la DCO et de la DBO5. Toutefois et malgré cette importante élimination des matières oxydables par notre système SBR, les eaux épurées gardent une certaine coloration jaunâtre probablement due à des pigments organiques de type tanins libérés lors du procédé d'extraction des huiles et d'autres produits à partir des essences végétales traitées par l'entreprise.

Signalons enfin que l'évolution de la DCO dans le SBR suit celle du BT1 en rapport avec l'activité de l'unité industrielle qui est plus importante au printemps jusqu'au début de l'été et qui diminue légèrement en automne et en hiver. Toutefois, dans certains cas, on assiste à une augmentation de la DCO au niveau du réacteur SBR, comme en octobre et novembre, et qui pourrait être dû, comme l'a signalé [8], à un relargage des composés solubles contenus dans les MES.

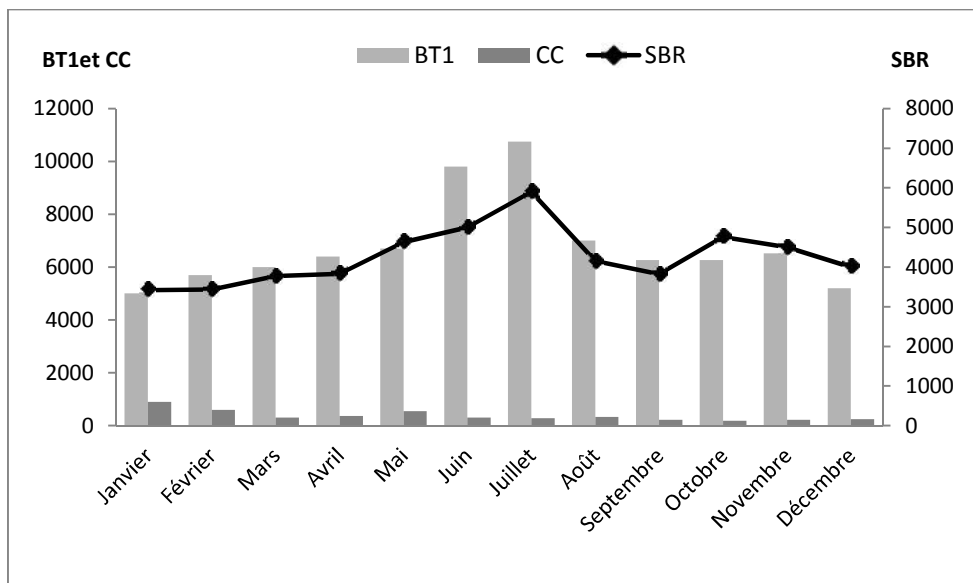


Fig. 5. Evolution des moyennes de la DCO (en mg/l) au niveau des eaux de la STEP de Naturex Maroc

3.4 LA DEMANDE BIOLOGIQUE EN OXYGENE EN 5 JOURS (DBO5)

Au cours de notre période d'étude, les valeurs de la DBO5 varient, au niveau du BT1, entre un minimum de 4300 mg/l enregistré en décembre 2011 et un maximum de 8500 mg/l atteint en juillet de la même année. Dans le bassin SBR, la DBO5 fluctue globalement autour de 720 à 2000 mg/l au cours de la majorité des saisons (automne, hiver et printemps) mais elle augmente sensiblement en été pour atteindre les 3200 mg/l au mois de Juin. La DBO5 des eaux traitées (CC) reste souvent assez faible et ne dépasse pas une moyenne maximale de 120 mg/l signalée au mois de juin 2011. C'est ainsi que les rendements épuratoires de notre SBR en terme de DBO5 atteignent au maximum environ 99 % et concordent avec ceux obtenus par [18].

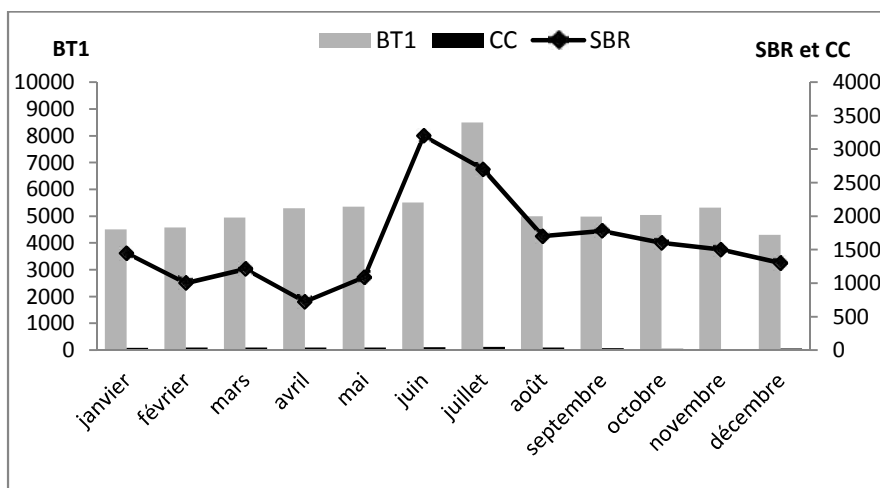


Fig. 6. Evolution des moyennes de la DBO₅ (mg/l) au niveau des eaux de la STEP de Naturex Maroc.

3.5 LES ÉLÉMENTS AZOTÉS

3.5.1 L'AZOTE TOTAL (NT)

La présence des sels azotés dans les rejets liquides est indésirable plus particulièrement en industrie agroalimentaire souvent caractérisée par des effluents avec des teneurs élevées en éléments nutritifs et particulièrement l'azote [21].

Au niveau des eaux des différents compartiments de notre station, les teneurs en azote total varient entre un minimum de 37 et un maximum de 524 mg/l pour le BT1 enregistrées respectivement aux mois de décembre et juillet 2011. Au niveau du bassin SBR, ces teneurs moyennes mensuelles se situent entre 10,58 signalée en novembre et 355 mg/l mesurée en juillet 2011 alors qu'elles varient respectivement aux mêmes mois entre 8 et 81 mg/l au niveau des eaux du CC (Figure 7).

Ces résultats ont abouti à des taux moyens d'élimination d'azote total dépassant les 84 % et qui ne diminuent jamais en dessous de 40 % malgré l'addition d'urée à 33 % au niveau du bassin SBR. Par comparaison à d'autres travaux, nos rendements d'élimination d'azote total sont supérieurs à ceux obtenus par [11] qui a rapporté un taux d'abattement de l'ordre de 39%. Cette différence par rapport à nos résultats pourrait être expliquée par la durée du cycle du traitement global au niveau de notre SBR (12 h environ) qui reste supérieure aux 10 h rapportées par [11].

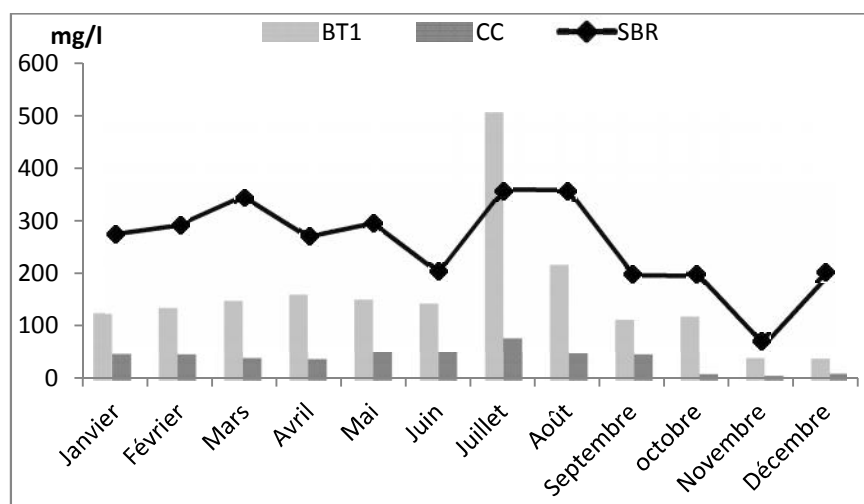


Fig. 7. Evolution de la teneur en Azote total au niveau des eaux de la STEP de Naturex Maroc.

3.5.2 LES NITRATES

Les nitrates constituent la forme minérale soluble de l'azote produit final de la nitrification, processus biologique lié à l'activité des microorganismes (Nitrosomonas, Nitrobacter, Nitrosolobus, etc....) qui oxydent l'azote ammoniacal en nitrites puis en nitrates.

Les teneurs en nitrates des eaux au niveau de notre STEP se situent entre 0,9 et 4 mg/l au niveau du BT1; 0,28 et 3,7 dans le SBR et entre 0,24 et 0,86 mg/l au niveau du CC (Figure 8). Ces teneurs varient sensiblement selon les saisons avec des valeurs plus élevées en hiver-printemps (janvier à juin) et faibles lors de la période été-automne (juillet à décembre). Cette chute coïncide avec la diminution du taux d'azote total dans les effluents bruts sous l'effet de l'élévation de la température qui engendre une baisse de la quantité d'oxygène dissous qui favorise la nitrification. Toutefois, le taux d'abattement des nitrates des eaux dépasse globalement les 78 % (78,46 %) ce qui confirme l'efficacité de notre pour ce qui de l'élimination de cet élément.

Comparés au taux d'abattement des 60% rapporté par [11], nos rendements sont plus élevés. La durée du cycle de traitement, et notamment l'aération, au niveau de notre SBR serait à l'origine de ce résultat. En effet, cette aération prolongée favorise l'oxydation de l'ion ammonium et augmente sa transformation en nitrites puis en nitrates par les microorganismes nitrificateurs de la boue. Lors de la phase de décantation, une bonne partie d'azote est éliminée par ces microorganismes pour assurer leur propre métabolisme, alors qu'une autre partie d'azote est éliminée sous forme d'azote molaire gazeux par une flore banale anaérobie facultative telle que celle des Pseudomonas dénitrificans. Cette dénitrification nécessite une source de carbone pouvant provenir soit de l'effluent à traiter (dénitrification exogène) [22], soit d'une source de carbone associée aux microorganismes dénitrificateurs (dénitrification endogène) [23]. En effet, dans notre cas, la richesse des effluents bruts en matières oxydables (source exogène en carbone) pourrait expliquer le taux élevé d'élimination des nitrates

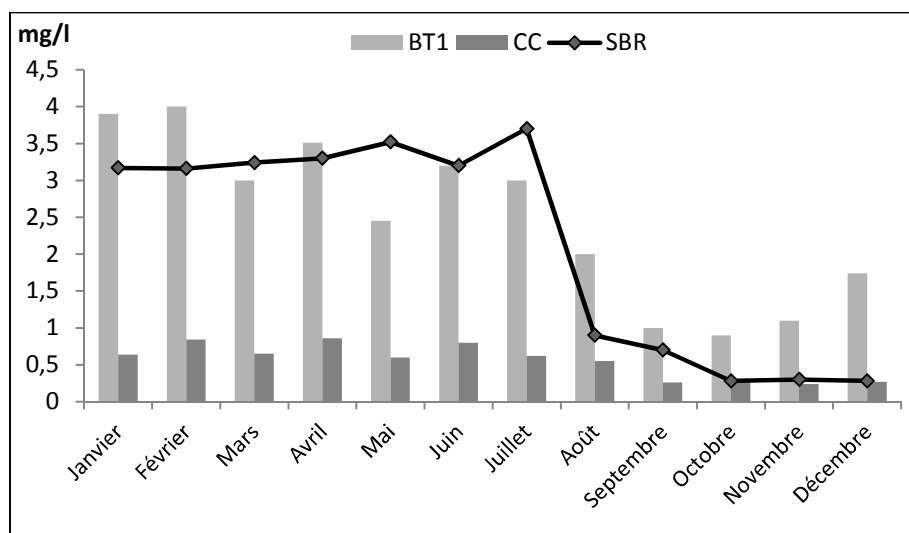


Fig. 8. Evolution de la teneur en nitrates des eaux de la STEP de Naturex Maroc.

3.5.3 L'ION AMMONIUM « NH₄⁺ »

Au niveau des eaux de notre station, l'ion ammonium se présente à des teneurs relativement faibles qui varient entre 0,31 et 5,68 mg/l au niveau du BT1 ; 0,05 et 2,3 dans les eaux du SBR et entre 0,02 et 0,68mg/l au niveau des eaux du CC (Figure 9).

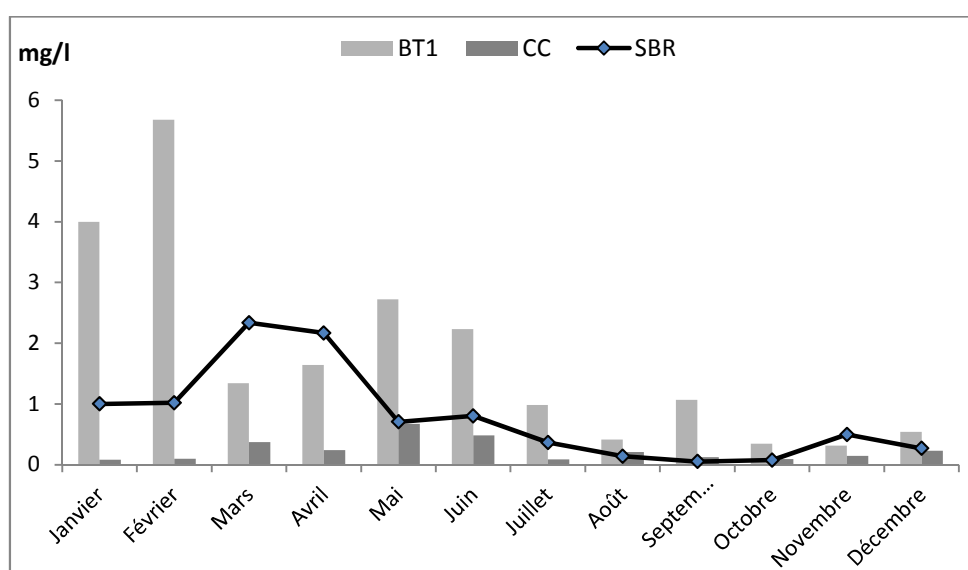


Fig. 9. Evolution de la teneur de l'ion ammonium NH₄⁺) dans les eaux de la STEP de Naturex Maroc.

Les rendements moyen d'élimination de l'ion NH₄⁺ des eaux dépassent les 80 % au maximum et ne diminuent pas en dessous de 50 %. Ces taux d'abattement sont supérieurs à ceux signalés par [11] soit un rendement d'élimination de l'ordre de 20% seulement. Ces meilleurs rendements sont liés à l'efficacité du processus d'aération qui oxyde massivement l'ion ammonium en nitrites au cours de la réaction de nitrification effectuée notamment par les bactéries du genre Nitrosomonas.

Signalons enfin que les eaux à la sortie de SBR (CC) présentent globalement des teneurs très faibles en nitrates (0,55 mg/l en moyenne) et en ion ammonium (0,35mg/l) et que la plus grande partie de l'azote est du type organique avec une

teneur moyenne de 44,5 mg/l. Ceci pourrait être expliqué par l'apport de l'urée au niveau du SBR et en partie par une insuffisance de son élimination par le procédé biologique aéré.

3.6 TRAITEMENT STATISTIQUE

L'application du traitement statistique par le test de Student à un niveau de significativité de 5 % a montré que les différences entre les valeurs moyennes " μ " (μ avant traitement et μ après traitement) sont significatives. Les échantillonnages réalisés au cours de notre étude sont conformes sur le plan de leur représentativité et par conséquent le système SBR s'avère efficace pour l'élimination des pollutions contenues dans les effluents industrielles traités.

Tableau 3. Résultats des paramètres étudiés au seuil de 0,05 selon le test du Student

paramètres	Moyenne avant traitement par SBR	Moyenne après traitement par SBR	P(T<=t) unilatéral
Azote total	152,4	39,33	0,00148625
Nitrates	2,48333333	0,55	7,1181E-06
Ammonium	1,6845	0,21916667	0,00225911
Phosphore	400,4	315,041667	0,00091582
DCO	7363,5	260,833333	7,7969E-06
DBO₅	5361,83333	84,5833333	1,5736E-08
MES	705	124,583333	1,1738E-08

4 CONCLUSION

Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que le système de traitement SBR choisi par l'unité industrielle Naturex Maroc est globalement efficace pour l'épuration des effluents liquides avant leur déversement dans le réseau d'assainissement. En effet, ce système parvient à éliminer une grande partie de la pollution relative aux composées carbonées et azotées avec des taux d'abattement atteignent 98% pour la DCO, 99% pour la DBO5, 74 % pour les MES et 68 % pour l'azote total.

A leur sortie du système SBR, ces effluents sont conformes aux normes de rejet indirects préconisées par la législation marocaine (500 mg/l pour la DBO5, 1000 mg/l pour la DCO, 600mg/l pour les MES) [31]. Toutefois, une amélioration plus marquée de la qualité de ces eaux épurées est souhaitable pour ce qui est de certaines matières oxydables non biodégradables (tanins d'origine végétale) qui persistent au niveau de l'eau épurée et lui confèrent une couleur jaunâtre. Une telle amélioration nécessiterait probablement un complément de traitement (membranaire ou autre traitement spécifique par charbon actif, etc...) qui permettrait la réutilisation des eaux épurées dans l'arrosage des espaces verts de l'entreprise ou encore leur recyclage interne comme une ressource alternative pour les eaux de refroidissement et de lavage ou nettoyage.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier la direction et le personnel de la STEP Naturex Maroc pour leur soutien durant toute la période de l'étude ainsi que le professeur A .Belhouari pour son aide au traitement statistique de nos résultats.

REFERENCES

- [1] R. Kolarski and G. Nyhuis, "The use of sequencing batch reactor technology for the treatment of high-strength dairy processing waste", Proceedings of the 50th Annual Industrial Waste Conference, Purdue University: West Lafayette, IN, pp. 485-494, 1995.
- [2] Y. Bian, N. Slater and D. Wood, "Flexibility in operating a CASS dairy wastewater treatment plant", In WEFTEC 97 Conference Proceedings, Water Environment Federation: Alexandria, VA, Vol. 3, p. 399, 1997.
- [3] P. N. Dugba and R. H. Zhang, "Treatment of dairy wastewater with two-stage anaerobic sequencing batch reactor systems Thermophilic versus mesophilic operations", *Bioresour. Technol* 68 (3), pp. 225, 1999.
- [4] C. Ruiz, M. Torrijos, P. Sousbie, M. J. Lebrato, R. Moletta, "The anaerobic SBR process: Basic principles for design and automatation", *Water Sci. Technol.* 43 (3), 2001.
- [5] J.B. Dolle, "Mise au point de procédés de traitement de lactosérums et d'effluents de fromagerie en fabrication fermière", Institut d'élevage, Saint Laurent Blangy, France, 2003.
- [6] R. Moletta et M. Torrijos, "Traitement des effluents de la filière laitière", *Technique de l'ingénieur*, F1 501, pp. 1-21, Paris-France, 1999.
- [7] E. Bouille, V. Dubois, M. Egal, P. Herpin, P. Porterie, O. Senesse and R. Vales, "Traitement, épuration et valorisation des effluents d'une fromagerie : Etude du procédé de traitement des effluents", ENSEIHT, Toulouse- France, 2005.
- [8] S. Castillo de Campins, "Etude d'un procédé compact de traitement biologique aérobie d'effluents laitiers", Thèse Doctorat en Sciences Ecologiques, Vétérinaires, Agronomiques et Bio ingénieries, INSA, Toulouse- France, 2005.
- [9] H. Yahi, N. Madi and K. , "Midoune sequential biologic treatment of food process effluent", *Revue scientifique et technique LJEE*, N°21 et 22, Spécial colloque CIREDD, 2013 .
- [10] M. Merzouki, "Contribution à l'optimisation du traitement biologique des effluents agroalimentaires par le réacteur séquentiel discontinu", Eurodeur' – ECGP'6, Marseille- France, 2007.
- [11] M. FAOUZI, M. MERZOUKI, H. EL FADEL et M. BENLEMLIH, "Le procédé RSD : une solution efficace et économique pour dépolluer les effluents de la compagnie des boissons gazeuses du nord de Fès (Maroc)", *Eur. J. Water quality* , tome 39, fasc. 2 ,pp 1-18 ,2008.
- [12] NATUREX MAROC / Veolia Water. "Avant-Projet Détaillé-Station de traitement des effluents". APD n0905-1-030, Septembre 2008, 22 pages.
- [13] S. Martin Han and M. Pieschel, "Sustainable Development of Megacities of Tomorrow: Green infrastructures for Casablanca ". *Urban Agriculture magazine*, (22), 27–29, 2009.
- [14] Z. Zhang, J. Zhu, J. King and W. Li, "A two-step fed SBR for treating swine manure", *Process Biochem.*41, pp. 892–900, 2006.
- [15] J. Rodier et al., "L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer", 8ème édition, Dunod, Paris-France, 1999.
- [16] M. Casellas, C. Dagot and M. Baudu, "Stratégies d'élimination d'un effluent urbain dans un réacteur discontinu séquentiel (SBR) ", *Sciences de l'eau, Rev. Sci. Eau* 15, pp. 749-765, 2002.
- [17] T. Corthondo, F. Trépos, "Traitement des effluents laitiers". [Online] Available : www.apesa.fr/iso_album/traitement_effluents_laitiers.2004.
- [18] M. Torrijos, B. Gsell et R. Moletta, "Application d'un procédé SBR anaérobie et aérobie au traitement carboné et azoté du lisier", *L'Eau, l'Industrie et les Nuisances*, 212, pp. 56-59, 1998.
- [19] F. Irvine, B.A. Manning and N.J. Horan, "Biological wastewater treatment systems, theory and operation", John Wiley et Sons, 1997.
- [20] L. Tjihuis, W.A.J. Van Benthum, M.C.M Van Loosdrecht and J.J. Heijnen, "Solids retention time in spherical biofilms in a biofilm airlift suspension reactor", *Biotechnol. Bioeng.* 44, pp. 867-879, 1994.
- [21] S. Mace and J. Mata-Alvarez, "Utilization of SBR Technology for Wastewater Treatment: An Overview", *Ind. Eng. Chem. Res.* , pp. 5539-5553, 2002.
- [22] Metcalf and Eddy, *Wastewater Engineering : Treatment/ Disposal/Reuse*, 3rd ed., Montreal: McGraw-Hill Book company, p.1334, 1991.
- [23] M.H. Christensen and P. Harremoës, "Nitrification and denitrification in wastewater treatment", *The chemistry and microbiology of pollution*, Willey, N.Y., pp. 391-394, 1978.
- [24] M. Merzouki et al. , "Polyphosphate accumulating and denitrifying bacteria isolated from anaerobic-anoxic and anaerobic-aerobic sequencing batch reactors", *Current Microbiology*. Vol. 38, pp. 9-17, 1999.
- [25] M. Merzouki et al., "Effect of operating parameters on anoxic biological phosphorus removal in anaerobic anoxic sequencing batch reactor", *Environmental Technology*, Vol. 22 (4), pp. 397-408, 2001.

- [26] M. Merzouki, N. Bernet, J.P. Delgenes and M.Benlemlih, "Phosphorus and nitrogen removal in an anaerobic anoxic sequencing batch reactor combined with a fixed bed nitrification reactor", *Journal of catalytic materials and environment*, Vol. 1, pp. 43-50, 2003.
- [27] M. Merzouki et al. , "Effect of prefermentation on denitrifying phosphorus removal in slaughterhouse wastewater", *Bioresource Technology*, Vol. 96, pp. 1317-1322, 2005.
- [28] M. Merzouki et al., "Déphosphatation biologique des eaux usées en condition anoxique dans un réacteur séquentiel discontinu", *European Journal of Water Quality*, Vol. 37 (1), pp. 109-117, 2006.
- [29] K. Wang Lawrence and Li. Yan, "Sequencing Batch Reactors", from *Handbook of Environmental Engineering*, Vol. 8, Biological Treatment Processes Edited by: L. K.Wang et al. © The Humana Press, Totowa, NJ.
- [30] M. Okada and R. Sudo, "Performance of Sequence Batch Reactor Activated Sludge Processes for Simultaneous Removal of Nitrogen, Phosphorus and BOD as applied to Small Community Sewage Treatment", *Wat. Sci. Tech.*, 18(7/8), pp. 363-370, 1986.
- [31] Ministère de l'Environnement du Maroc, "Normes marocaines, Bulletin officiel du Maroc", N° 5062 du 30 ramadan 1423, 2002.