

ANAEROBIC-AEROBIC TREATMENT OF TEXTILE WASTEWATER IN A SEQUENCING BATCH REACTOR

TRAITEMENT ANAÉROBIE-AÉROBIE EN REACTEUR SEQUENTIEL DISCONTINU DES EAUX USEES DE L'INDUSTRIE TEXTILE

Ibtissam Kanbouchi¹, Salah Souabi^{2*}, Abdessadek Chtaini¹, Moulay Abdelaziz Aboulhassan³

¹*Université Hassan II, Casablanca, Faculté des Sciences Ben M'Sik, Département de Géologie, Laboratoire de Géologie Appliquée et Environnement, Casablanca, Maroc*

²*Université Hassan II Mohammedia, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire de Génie de l'Eau et de l'Environnement, BP 146, Mohammedia, Maroc*

³*Université Mohamed Premier, Ecole National des Sciences Appliquées BP 03, Ajdir, Al Hociema, Maroc*

*Corresponding author: salah.souabi@gmail.com

Received: May, 17, 2013

Accepted: August, 30, 2013

Abstract: In this work, the treatment of synthetic textile wastewater using sequential batch reactor (SBR) was studied. This in order to predict the effectiveness of biological treatment on wastewater containing dyes while minimizing the aeration cost. Laboratory tests were performed on synthetic wastewater containing filtered urban wastewater (source of bacteria) and dyes solutions. This promotes the biomass development in the mixture, capable of degrading organic matter properly.

The results indicate that the increasing of anaerobic phase (16 hours) allows removal of 77 % and 80 % of COD and colour, respectively. The sludge age did not affect markedly dyes biodegradability. However, the biodegradability is strongly influenced by the dyes concentration. Indeed, for the lowest dyes contents, improved biodegradability was observed, while it decreases when the dyes concentration increases.

Keywords: *biological treatment, SBR, textile wastewater*

INTRODUCTION

Les matières colorantes présentes dans les eaux usées de l'industrie textile constituent un risque sérieux pour la santé des populations, et causent de sérieux problèmes pour l'environnement. À cause de leur origine synthétique et leur structure chimique complexe, ces composés sont souvent difficiles à dégrader par voie biologique.

Des méthodes chimiques et physiques, y compris l'adsorption, la coagulation-floculation, l'oxydation avancée et des méthodes électrochimiques sont très efficaces dans l'élimination de la couleur [1-3]. Ces techniques sont très coûteuses et posent des problèmes opérationnels pour les pays en voie de développement.

Des travaux récents ont prouvé la possibilité d'utiliser des boues ou adsorbants à faible coût pour l'élimination de la couleur [4-7]. Bien que de nombreux colorants soient résistants à la dégradation biologique, l'isolement de nouvelles souches microbiennes a suscité beaucoup d'attention pour la lutte contre la pollution par voie biologique [8].

La biodégradation aérobie de matières colorantes a montré que le taux d'élimination des colorants par des bactéries aérobies se situe au niveau de 10 % [9-10]. Ainsi la biodégradation anaérobie est responsable de l'élimination de la couleur mais elle n'élimine pas le risque lié aux colorants des eaux usées puisque la minéralisation anaérobie des amines aromatiques n'est pas rapportée, à l'exception de quelques hydroxyles et carboxyles amines [11]. En outre, ces produits peuvent être toxiques et cancérogènes [12].

À cause de la dégradation seulement de quelques amines aromatiques dans le système aérobie [13], des études ont été réalisées en utilisant la combinaison des phases aérobie/anaérobie dans le but d'éliminer non seulement la coloration mais aussi la minéralisation des colorants [14].

Le réacteur séquentiel discontinu combine deux phases aérobies et anaérobies dans une même unité. Il est largement utilisé dans l'élimination des nutriments des eaux usées [15]. L'application de SBR pour l'enlèvement de la couleur est plutôt une nouvelle approche [5, 16-17]. L'addition de substances nutritives est souvent nécessaire pour le développement de la biomasse et par la suite la dégradation des colorants [18].

Il a été démontré que la phase aérobie après une phase anaérobie est nécessaire pour améliorer la qualité de l'eau traitée [19-20].

Les effluents de textile sont des mélanges de colorants de différentes natures. Généralement la plupart des études menées sur l'élimination de la couleur ont été réalisées en utilisant des eaux usées synthétiques avec un ou deux colorants de textile [7, 21-23].

Cette étude a été réalisée pour tester l'élimination de la couleur et de la teneur en matière organique des eaux usées synthétiques de l'industrie textile en utilisant le procédé de Réacteur Séquentiel Discontinu (SBR).

La solution d'alimentation est constituée par le mélange de quatre colorants: Bleu Disperse (SRN), Orange réactif (HER), Turquoise Direct (FBL) et Jaune Intersol (SF2RL) sous leur forme industrielle (colorant avec des additifs).

MATERIELS ET METHODES

Composition du milieu

Les eaux usées synthétiques utilisées sont constituées par des colorants utilisés dans l'industrie de textile. L'analyse de la composition d'une solution constituée par un mélange de colorants ($60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) utilisés lors de cette étude, a montré qu'elle est pauvre en phosphore ($0,138 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Dans l'eau de robinet, on fait dissoudre un mélange de 4 colorants de natures différentes et des quantités appropriées de sources facilement biodégradables de carbone (acétate du sodium (CH_3COONa)), d'azote (chlorure d'ammonium (NH_4Cl)) et de phosphore (di-hydrogénophosphate de potassium (KH_2PO_4)), de façon à avoir un rapport DCO/N/P $\approx 100/5/1$. Les colorants utilisés appartiennent à la famille des anthraquinones (Bleu Disperse SRN), des azoïques (Orange réactif HER et Turquoise Direct FBL) et indigoïdes (Jaune Intersol SF2RL) (Tableau 1). Cette composition est dictée par le fait que la majorité des colorants synthétiques utilisés en industrie textile sont les dérivés azoïques [24].

Tableau 1. Caractéristiques des colorants utilisés

Colorant utilisés	Classe	Type chimique	λ_{max} [nm]
Bleu Disperse SRN	Disperse	Anthraquinone	568
Turquoise direct FBL	Direct	Azoïque	608
Orange Réactif HER	Réactif	Azoïque	493
Jaune intersol SF2RL	-	Indigoïde	420

Ensemencement des réacteurs

L'ensemencement des réacteurs a été réalisé en utilisant des eaux usées domestiques. Ces dernières sont décantées, filtrées, et aérées en discontinue pour éliminer la majeure partie du substrat restant dans le milieu et pour activer la quantité de la biomasse et acclimater les organismes aux différents colorants pendant une semaine. Un essai témoin en absence de colorants a été mené en parallèle.

Montage expérimental

Le schéma de l'installation pilote simplifiée de SBR est illustré sur la Figure 1. Le SBR est composé d'un réservoir cylindrique en verre dont le volume total est de 1 litre, équipé d'un diffuseur d'air au fond, et d'agitateur de palette. Ce réacteur fonctionne sous une succession de cycles de 22 heures pour chacun, pendant lesquels les phases aérobies et anoxies alternent; remplissage (30 min.), anaérobie, aérobie, décantation (2 h), vidange (30 min.) et repos (1 h). Au début de chaque cycle qui commence par une étape d'anoxie, le réacteur est alimenté par une quantité de 830 mL d'eau synthétique à traiter, ajouté journalièrement à 170 mL d'eau d'ensemencement.

Le pH a été réglé par l'addition d'acide chlorhydrique ou d'hydroxyde de sodium. Après décantation, le contenu des réacteurs est réduit à 170 mL et ensuite alimenté par les eaux usées synthétiques (mélange de quatre colorants) à traiter. La température de réaction varie autour du 25 °C.

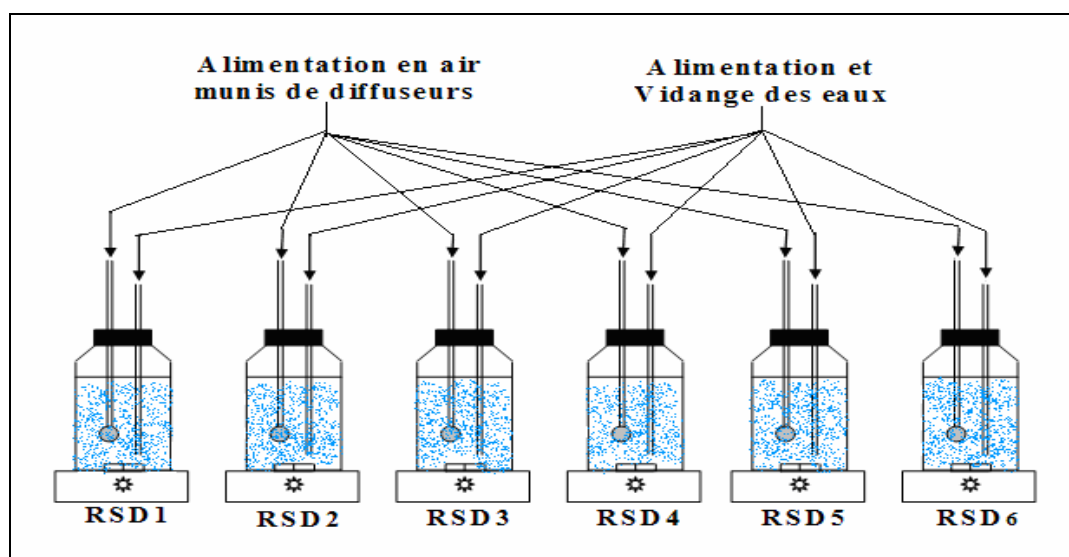


Figure 1. Schéma du montage expérimental

Méthodes d'analyse

Les différents paramètres physicochimiques des eaux usées (DCO, le NTK, le Pt, Cl^- ... SO_4^{2-}) ont été déterminés selon les méthodes normalisées [25].

Avant la mesure de la couleur, l'échantillon est filtré sur une membrane en fibre de verre de $0,45 \mu\text{m}$ de diamètre de pores. La couleur est déterminée en utilisant un spectrophotomètre UV/Visible (Model 7800 UV/VIS) en mesurant les absorbances aux quatre longueurs d'ondes 568, 608, 493, et 420 nm et la couleur correspond à la somme de ces absorbances.

Le dénombrement bactérien (CFU/mL), est réalisé par ensemencement sur milieu de culture solide gélosé "Milieu lyophilisé $23 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ d'eau distillée" (agar nutritif, extrait de levure, NaCl, glucose, $\text{pH}=7,2$), 1 mL de solution mère et des dilutions éventuelles sont déposées en profondeur du milieu de culture en boîte de Pétri (Spread Plate Procedure) [26]. Le dénombrement des bactéries a été effectué par comptage des unités formant les colonies.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Caractérisation des eaux usées utilisées

L'étude de la caractérisation physicochimique (Tableau 2) des effluents urbains bruts, de l'eau d'ensemencement, de rejet urbain aéré (témoin) a montré que l'effluent synthétique étudié est acide ($\text{pH}=4,24$), riche en azote ($16,8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) et pauvre en phosphore total ($0,14 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), et ayant DCO de $38,6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Pour améliorer la biodégradabilité de l'effluent synthétique, l'ajout des quantités appropriées de KH_2PO_4 , NH_4Cl et CH_3COONa ont permis d'aboutir à un rapport DCO/N/P $\approx 100/5/1$ convenable pour une bonne dégradation.

Les concentrations des métaux lourds de l'effluent synthétique et des eaux usées urbaines sont très faibles par rapport aux valeurs limites du projet des normes

marocaines. En effet, la concentration en fer atteint une valeur de $3,7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ qui reste supérieure aux valeurs limites de rejet dans le milieu naturel, et dans les réseaux publics d'assainissement ($\text{Fe} = 3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Après l'aération discontinue du rejet urbain alimenté par le mélange des quatre colorants, l'analyse des métaux lourds a montré une diminution des teneurs de ces derniers au cours de l'aération discontinu.

Tableau 2. Etude comparative de caractérisation physicochimique des eaux usées urbaines brutes, d'eau d'ensemencement, des effluents synthétiques constitués par le mélange de quatre colorants avec les valeurs limites du Normes Marocaines

Paramètres	Mélange de colorants, $60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Rejet urbain brute	Rejet urbain après aération discontinue (témoin)	Rejet urbain + mélanges quatre colorants (Eau d'ensemencement)	Valeurs limites générales de rejet dans le milieu naturel	Valeurs limites générales de rejet dans les réseaux publics d'assainissement
Température [$^{\circ}\text{C}$]	-	23,5	-	-	30	35
pH	4,24	7,47	8,52	8,13	6,5-9	6,5-9
MES [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	14	235	-	-	50	600
NTK [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	16,812	560,4	-	-	30	30
Pt [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	0,14	3,518	1,052	2,935	10	20
Orthophosphate [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	-	3,076	0,348	1,936		
DCO [$\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$]	38,6	1431,19	109,58	113,97	500	1000
DBO ₅ [$\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$]	-	329	-	-	100	500
Chlorure [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	5	1242,5	781	390,5	-	-
NaCl [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	292,5	2047	1287	643,5	-	-
Nitrate [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	1,325	6,428	1,342	0,729	-	-
Conductivité [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	91,4	3470	3660	2550	2700	-
Sulfates [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	532,5	373,6	188,6	243,7	-	600
Turbidité [NTU]	27,65	94,76	36,32	32,61	-	-
As [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	0,010	0,018	-	0,014	0,1	0,5
Al [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	0,064	2,009	-	0,318	10	10
Cu [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	0,267	0,050	-	0,036	0,5	1
Hg [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	0,01	0,01	-	0,01	0,05	0,01
Pb [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	0,052	0,062	-	0,034	0,5	0,5
Cr [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	0,005	0,019	-	0,009	2	2
Ni [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	0,011	0,016	-	0,041	0,5	1
Zn [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	0,376	0,644	-	0,424	5	2
Fe [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	0,342	3,696	-	0,776	3	3
Cd [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	0,003	0,003	-	0,003	0,2	0,5
CFU [$\text{cfu}\cdot\text{mL}^{-1}$]	-	$33\cdot 10^7$	$765\cdot 10^6$	$645\cdot 10^6$	-	-
Abs OR (493 nm)	0,399	-	-	-	-	-
Abs BD (568 nm)	0,318	-	-	-	-	-
Abs TD (608 nm)	0,463	-	-	-	-	-
Abs JI (420 nm)	0,309	-	-	-	-	-

Production de la biomasse

Pour l'étude de développements bactériens dans les eaux usées domestiques, une quantité de 2 litres ont été placées dans deux réacteurs et aérées en discontinu pendant une semaine. L'un des deux réacteurs est alimenté journalièrement par une quantité faible de 50 mL de mélange neutralisé des colorants bleu disperse, turquoise direct, orange réactif et le jaune intersol de concentration bien connue de $60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, avec l'addition des sources de phosphore et de carbone, et le maintien d'oxygène et de température favorables. L'autre réacteur contient le rejet urbain seul (témoin). A fin de compter le nombre des unités formants les colonies, une série de dilution au $10^{\text{ème}}$ de la suspension mère (rejet urbain brute, l'eau d'ensemencement et le témoin), a été réalisée et constitue la base de dénombrement bactérien, 1 mL de chaque dilution est ensemencé en profondeur, en utilisant un milieu gélosé. Les boîtes de Pétri sont incubées à 27°C pendant 24 à 48 heures, ce qui a permis la croissance optimale de la flore bactérienne. Après incubation, le nombre de colonies apparues dans la gélose est compté, ce qui représente le nombre d'UFC (Unité Formant de Colonie). Cette opération est effectuée en double essai avec les différentes dilutions des échantillons à analyser.

Les résultats de développement de la biomasse par unité de volume au cours de l'aération discontinue, sont rapportés sur les Figures 2 et 3.

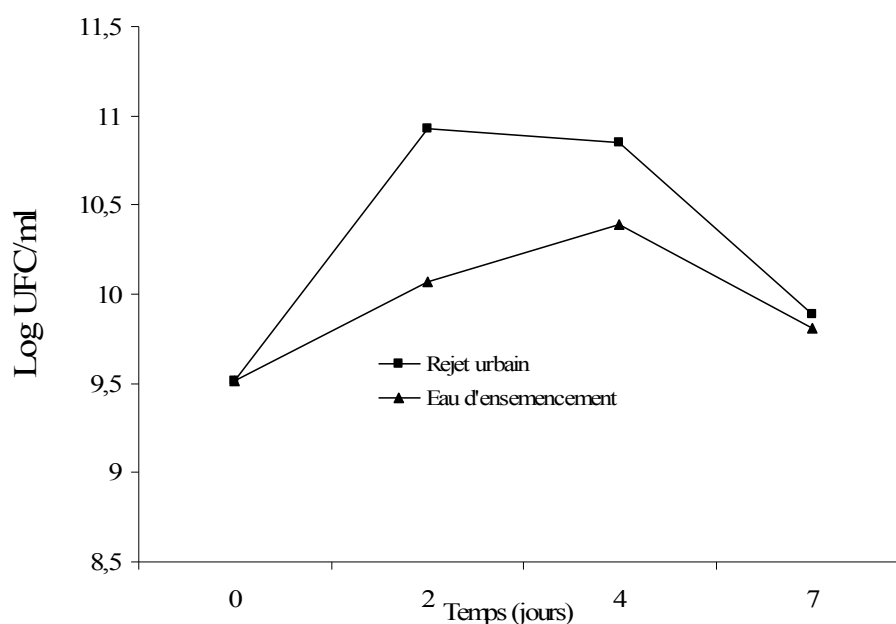


Figure 2. Développement de la biomasse de l'eau d'ensemencement et du rejet urbain seul au cours du temps

Pour le rejet urbain seul, on note que le taux de croissance bactérienne est maximal $848 \cdot 10^7 \text{ CFU}\cdot\text{mL}^{-1}$ (Figure 3) durant les deux premiers jours. On observe par ailleurs, un arrêt de la reproduction (phase stationnaire), alors que dans le rejet urbain alimenté par le mélange des colorants, le nombre des bactéries continue à croître et passe de $1175 \cdot 10^6 \text{ CFU}\cdot\text{mL}^{-1}$ à $248 \cdot 10^7 \text{ CFU}\cdot\text{mL}^{-1}$ entre le deuxième et le quatrième jour. Une diminution importante du nombre de bactéries dans les deux réacteurs après le quatrième jour.



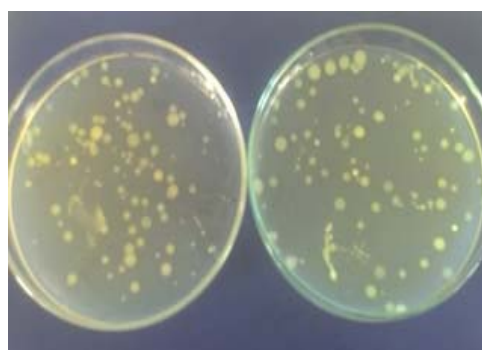
Rejet urbain brute (10^6)



Rejet urbain brute après 2 jours (10^7)



Rejet urbain+ colorants après 2 jours (10^6)



Rejet urbain+ colorants après 4 jours (10^6)

Figure 3. Développement de la biomasse de l'eau d'ensemencement et du rejet urbain seul au cours du temps sur des boîtes de Pétri

Ces résultats montrent que, au cours de l'aération discontinue, la concentration de la biomasse mesurée par le dénombrement bactérien se développe efficacement avec le temps pour le rejet témoin. L'ajout journalier du mélange de colorants bleu disperse, turquoise direct, orange réactif, jaune intersol, n'inhibe pas la production de la biomasse en milieu aéré au cours du temps. L'apport continu des éléments nutritifs (mélanges de colorants) favorise le développement de la culture bactérienne. On peut également conclure que l'eau d'ensemencement utilisée a permis d'avoir un bon fonctionnement de bioréacteur avec ajout de nutriments tels que le phosphore et la matière organique.

Etude de traitement des eaux usées de textile par le système SBR

Etude de l'effet de la phase aérobie / anaérobie

Dans le système SBR la fixation du temps de réaction lors de la phase anaérobie/aérobie est importante.

Plusieurs essais de décoloration des eaux usées synthétiques par le système SBR ont été menés afin d'évaluer l'effet de la durée relative des phases aérobie et anaérobie sur le rendement d'élimination de la couleur et de la matière organique. Le paramètre âge des boues et la concentration des colorants ont été maintenues constants. Par conséquent le système SBR a été exploité à différents temps de rétention anaérobie variant de 2 à 18 heures afin de déterminer le temps d'anoxie optimal pour l'élimination de la couleur et de la DCO.

L'effluent synthétique est préparé à partir des colorants de concentration initiale de $60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, l'âge des boues est de 15 jours, ainsi on retirant du réacteur approximativement 67 mL de mélange eau synthétique et eau d'ensemencement lors de la réaction de dégradation. La Figure 4 représente la variation de la couleur au cours du temps d'anoxie pour les intervalles de temps de 2, 6, 10, 12, 16 et 18 heures.

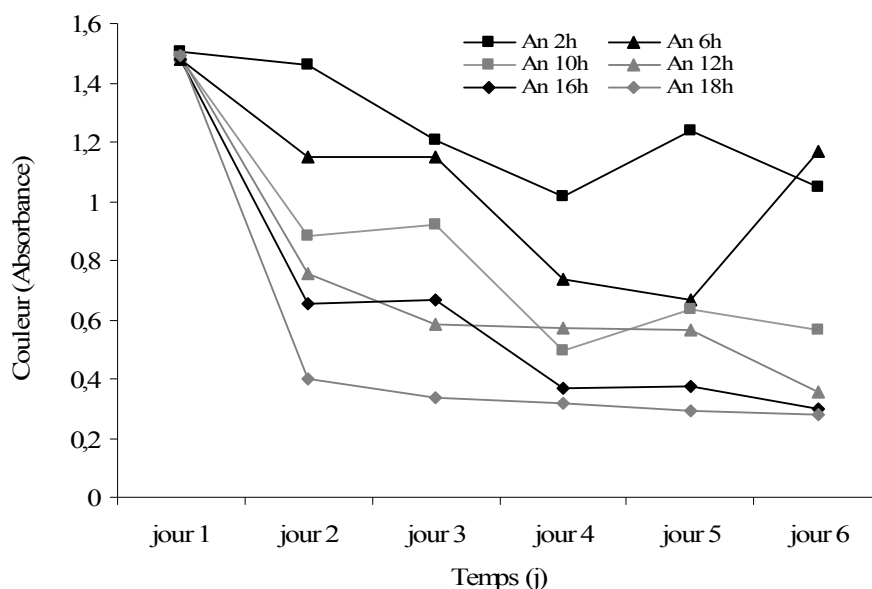


Figure 4. Variation de la couleur au cours du temps, temps d'anoxie de 2, 6, 10, 12, 16 et 18 heures, Âge des boues = 15 jours, Concentration des colorants = $60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Ces résultats ont montré que la valeur initiale de la couleur a diminué et passe de 1,498 nm à 0,299 nm après les 16 heures de fonctionnement anaérobique et passe à 0,277 nm pour un temps d'anaérobie de 18 heures. Aucune différence significative n'a été obtenue pour le temps de 16h et 18h après le quatrième jour.

Par ailleurs, la variation de la DCO au cours du temps d'anoxie pour des intervalles de temps 2, 6, 10, 12, 16 et 18 h est illustrée sur la Figure 5.

La concentration en DCO initiale a diminué au cours du temps et passe de $223,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ à $52 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ avec un rendement d'élimination de 77 % dans des conditions anaérobies avec un temps d'anoxie de 16 et de 18 heures. Ces résultats indiquent que de longues périodes de phase anaérobique favorisent l'élimination de la couleur et de la DCO pour un cycle de fonctionnement 22 heures.

En effet, au cours de la biodégradation anaérobique la biomasse élimine effectivement la couleur grâce à leur activité enzymatique azoréductase [9, 27-28].

Dans le système SBR l'utilisation d'une longue période d'anoxie favorise l'élimination des colorants synthétiques de l'industrie textile [29].

La variation de la durée relative à des phases de réaction anaérobies et aérobies pourrait provoquer des changements de la culture bactérienne dans le RSD, affectant ainsi les taux de réduction des colorants.

Ainsi, la suite des essais de traitement des eaux usées synthétiques (mélange de quatre colorants) de l'industrie de textile par le système RSD a été réalisée toute en fixant le temps d'anoxie à 16 heures.

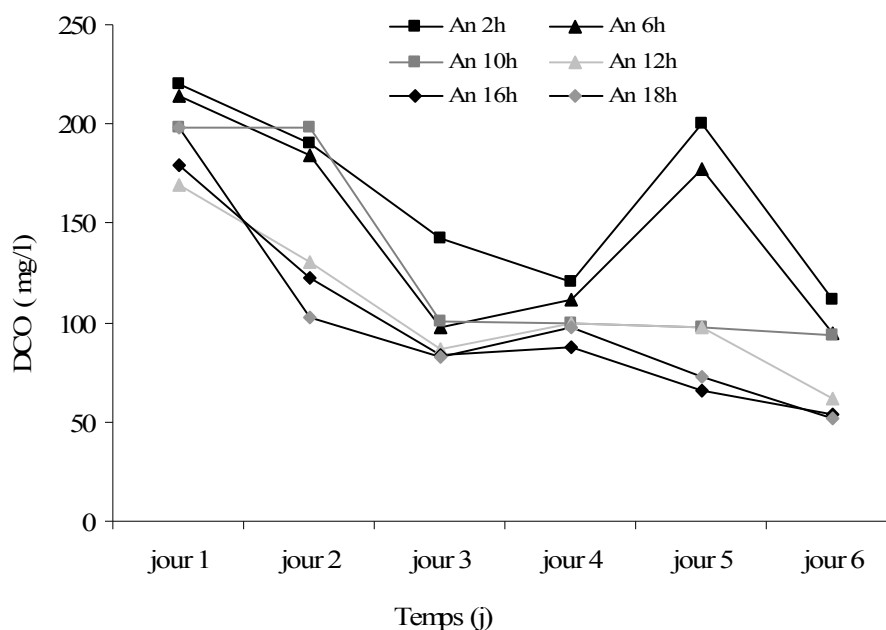


Figure 5. Variation de la DCO au cours du temps, temps d'anoxie de 2, 6, 10, 12, 16 et 18 heures, Âge des boues = 15 jours, Concentration des colorants = $60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Effet de l'âge des boues sur l'élimination de la couleur et de la DCO

L'un des facteurs les plus déterminants pour le bon fonctionnement du système de traitement des eaux usées en réacteur séquentiel discontinu est l'âge des boues [30]. Afin de déterminer l'âge des boues optimales pour l'élimination de la DCO et de la couleur, le système SBR a été opéré à quatre âges différents (10, 14, 18, et 20 jours). Les concentrations des colorants initiaux du système ont été maintenues constantes à $60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Les phases anaérobie/aérobie étaient de 16 heures et 2 heures respectivement.

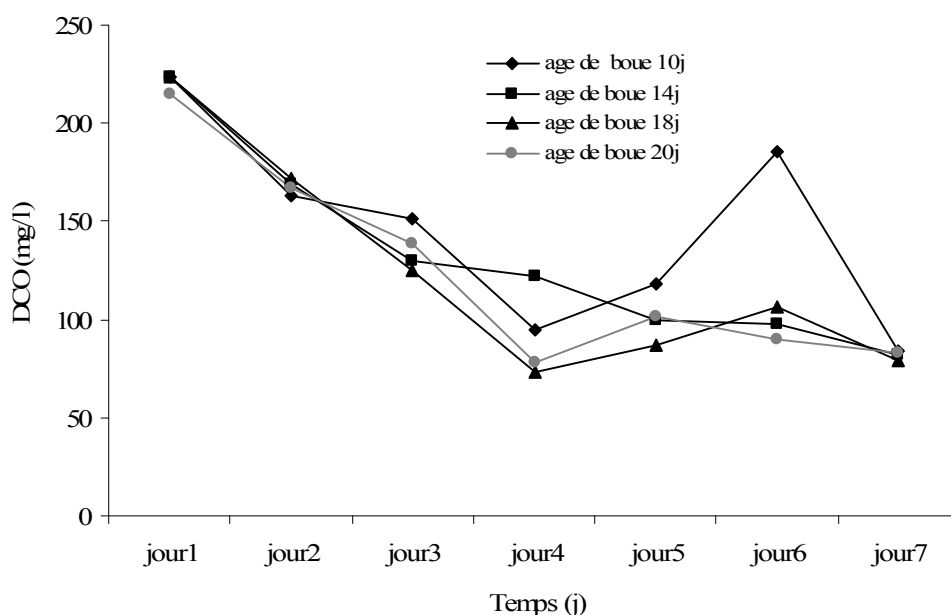


Figure 6. Variation de la DCO au cours du temps, Âge des boues 10, 14, 18 et 20 jours. Anoxie de 16 h aérobie 2 h, Concentration des colorants = $60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$

L'âge des boues a été ajusté en retirant un volume de biomasse connu dans des conditions complètement mélangées. Les résultats de l'élimination de la couleur et de la DCO sont représentés par les Figures 6 et 7.

Durant le temps, un âge des boues de 14 jours a permis d'aboutir à un rendement d'élimination de la couleur et de la DCO de 74,4 % et 63,3 % respectivement.

Pour l'âge des boues de 18 jours, une élimination importante a fait passer la DCO de 223,9 mg·L⁻¹ à 87,3 mg·L⁻¹, avec un rendement de 61 % et une réduction de la couleur qui passe de 1,5 nm à 0,31 nm. Par ailleurs, pour un âge de boues de 10 jours, le rendement de la DCO étant de 63 %, alors que l'absorbance des colorants passe de 1,488 nm à 0,298 nm. Ceci montre qu'aucune différence significative n'a été observée pour 10 jours comme âge des boues minimales et 18 jours comme âge des boues maximales.

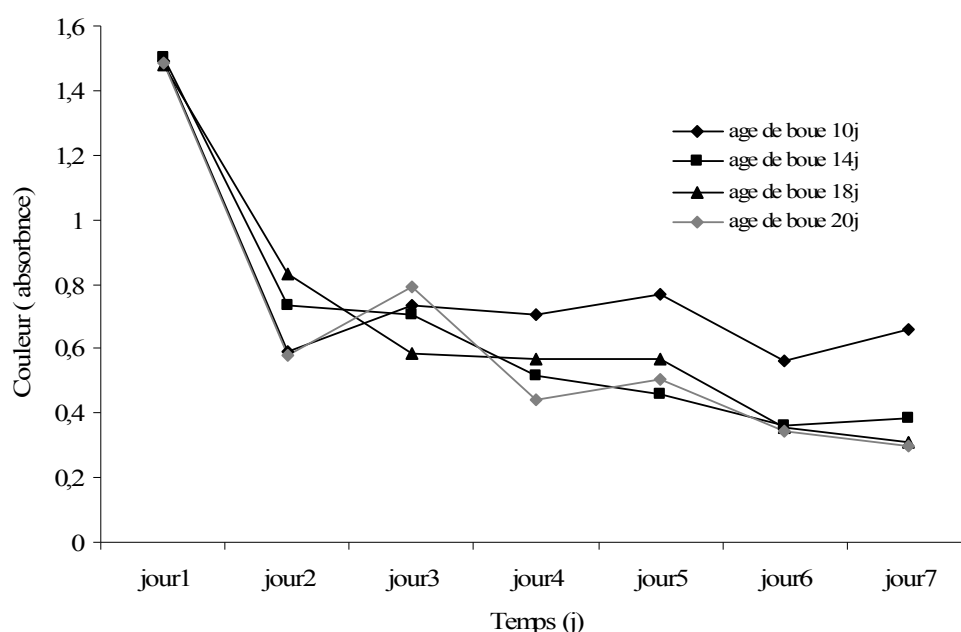


Figure 7. Variation de la couleur au cours du temps, Âge des boues 10, 14, 18 et 20 jours, Anoxie de 16h aérobie 2h, Concentration des colorants = 60 mg·L⁻¹

Ces abattements sont attribués aussi bien à l'adsorption qu'à la biodégradation des colorants et de la matière organique par les boues activées de SBR [31].

Si la biodégradation n'a pas eu lieu, les colorants sont adsorbés par les boues activées graduellement jusqu'à atteindre la concentration d'équilibre, ensuite le taux d'élimination de la couleur et de la DCO diminueront avec la diminution de la capacité d'adsorption [7]. Ainsi pour garder un bon niveau d'adsorption par les boues, le temps de renouvellement des boues doit être court. Quant à l'élimination de la coloration aucune différence significative n'a été observée pour les âges des boues 14, 18 et 20 jours. Il est à signaler que l'augmentation de l'âge des boues a pu avoir une incidence positive sur la performance du système, en particulier sur l'enlèvement de la DCO. Ces résultats montrent que l'augmentation de l'âge des boues (14, 18 et 20 jours) n'affectent pas les rendements d'élimination de la couleur et de la DCO des eaux usées synthétiques contenant des sources de nutriments facilement biodégradables. Ceci peut être dû au fait que dans ce type de milieux, la quantité de la biomasse sera importante et

avec des boues âgées de 20 jours la concentration d'équilibre d'adsorption n'est pas encore atteinte.

Effet de la variation des concentrations initiales des colorants sur l'élimination de la couleur et de la matière organique

Dans cette partie, nous avons testé l'effet des différentes concentrations des colorants sur l'élimination de la couleur et de la matière organique afin de déterminer la réponse du système SBR à des concentrations plus élevées des colorants.

Les essais de traitements des effluents synthétiques ont été réalisés avec des concentrations des colorants de 30, 60, 100, 160 et 240 mg·L⁻¹.

L'âge des boues a été fixé à 14 jours, alors que les phases anaérobie/aérobie sont de 16 et 2h respectivement.

Les Figures 8 et 9 montrent l'évolution de la DCO et de la couleur au cours du temps de traitement. La concentration de la DCO et de la couleur diminuent, en passant respectivement de 236,5 mg·L⁻¹ à 54 mg·L⁻¹ et de 1,489 nm à 0,091 nm, pour une concentration des colorants de 30 mg·L⁻¹ avec des rendements de 77,2 % et 94 %. Le même phénomène a été observé pour les autres concentrations des colorants choisies pour l'étude (60, 100, 160 et 240 mg·L⁻¹). Pour une concentration de 240 mg·L⁻¹ de colorant, la DCO diminue et passe de 241 mg·L⁻¹ vers 48,11 mg·L⁻¹.

Le système SBR peut fonctionner efficacement à des concentrations faibles ou élevées en colorants. Toutefois, il doit être signalé que des quantités importantes de colorant sont éliminées dans des conditions anaérobies, puisque avec un temps d'anoxie de 16 heures, et une concentration initiale des colorants de 240 mg·L⁻¹, l'efficacité de la décoloration atteint 92 % et le rendement d'élimination de la DCO est de 80 %. Il pourrait être conclu que la DCO est principalement utilisé par des organismes anaérobies.

Ces résultats montrent que l'augmentation de la concentration des colorants n'a aucun effet inhibiteur sur l'activité de biodégradation des effluents synthétiques dans le réacteur séquentiel discontinu à boues activées. En outre, la variation de la concentration des colorants dans les eaux usées synthétique n'a pas d'effet significatif sur l'élimination de la couleur par le système SBR.

Dans le système SBR, la présence d'un co-substrat (carbone, azote, phosphore) facilement biodégradable permis la croissance bactérienne et s'avère nécessaire pour l'élimination de la couleur des effluents de l'industrie textile. La biodégradation de ces substances permettra l'élimination des colorants, souvent réfractaires, par cométabolisme assurant ainsi une ou plusieurs modifications structurales du polluant (colorant) et par la suite la multiplication de la biomasse servira comme adsorbant pour les colorants.

Les résultats ont montré qu'avec l'addition des sources de carbone, d'azote et de phosphore, des meilleurs rendements d'élimination de la couleur dans les eaux usées ont été obtenus. Fu et al. [14] ont montré que la biodégradation des colorants est effectuée par des microorganismes en présence de la matière organique facilement biodégradable comme partie de leur source de carbone.

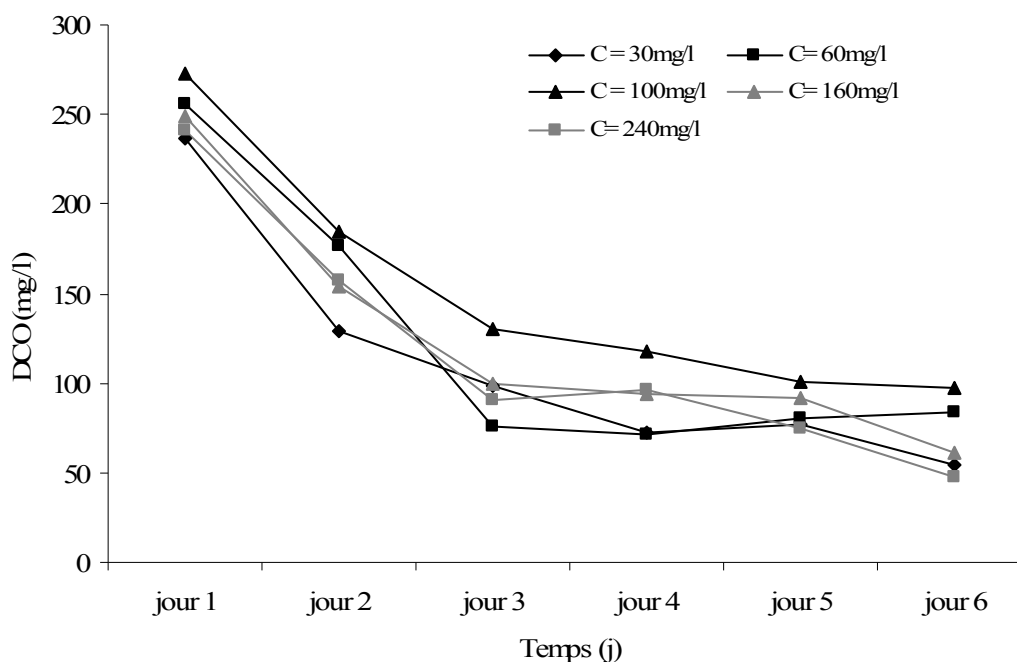


Figure 8. Variation de la DCO en fonction de la concentration initiale du mélange des colorants, Concentration des colorants de 30, 60, 100, 160 et 240 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, Âge des boues 14 jours, anoxie de 16h aérobie 5h, au cours du temps

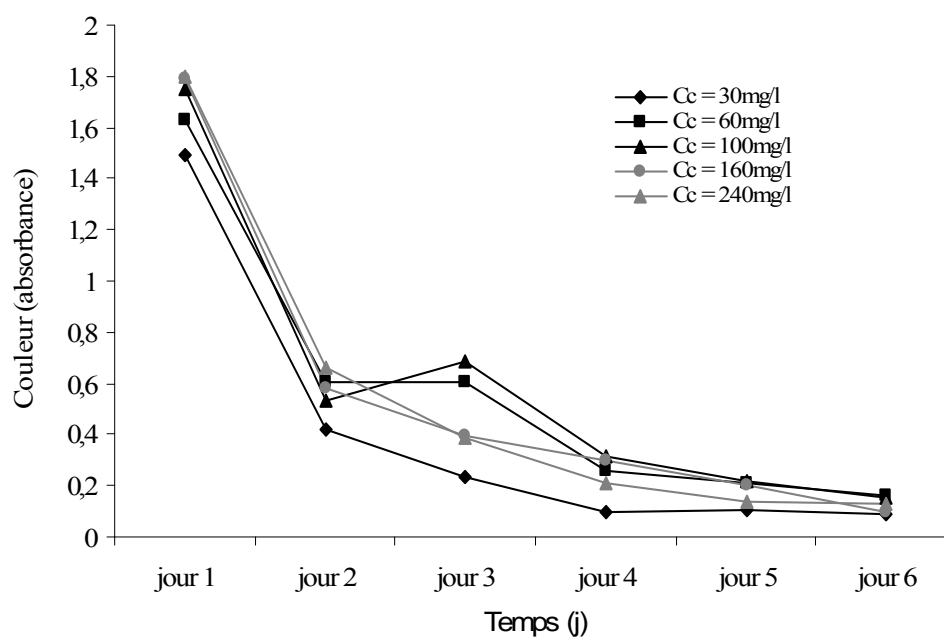


Figure 9. Variation de la couleur en fonction de la concentration initiale du mélange des colorants, Concentration des colorants de 30, 60, 100, 160 et 240 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, Âge des boues 14 jours, anoxie de 16h aérobie 5 h, au cours du temps

Par conséquent, la réduction des matières organiques facilement biodégradable dans l'influent affecte l'activité des microorganismes aussi sévèrement que l'efficacité de traitement du système diminue. Le carbone additionnel est converti en méthane et en dioxyde de carbone avec libération des électrons. Ces derniers réagissent avec le colorant et réduisent les liaisons azoïques et facilement induisent la décoloration [32]. Ceci montre l'importance de l'addition d'une source de nutrition pour aboutir à un taux de décoloration intéressant.

CONCLUSION

Dans cette partie, nous avons testé le traitement biologique en réacteur biologique séquentiel discontinu d'un effluent synthétique contenant un mélange de quatre colorants, afin de réduire la coloration et les polluants organiques en tenant compte du temps de rétention aérobie/anaérobie, l'âge des boues et la concentration des colorants.

Le traitement biologique anoxie/aérobie a permis d'aboutir à des rendements d'élimination de 80 % et 77 % respectivement pour la coloration et la DCO avec une phase d'anaérobie de 16 h et un âge des boues de 15 jours.

En outre, la fixation du temps de la phase anaérobie à 16 h et la variation de l'âge des boues entre 10 et 20 jours, a montré que l'âge des boues n'a pas d'effet significatif sur l'élimination de la pollution. Une élimination de l'ordre de 74,4 % pour la coloration et 63,3 % pour la DCO a eu lieu en utilisant des boues âgées de 10 à 20 jours.

Pour une variation de la concentration initiale des colorants, une décoloration presque complète a été obtenue. Pour une faible concentration de mélange des colorants de 30 mg/L un rendement d'élimination de 94 % de la couleur a été obtenu. Le rendement d'élimination de la DCO diminue légèrement avec l'augmentation initiale de la concentration des colorants.

Le système SBR comme technique de traitement biologique a révélé sa capacité d'adaptation aux variations de la concentration en polluant et par conséquent, s'avère plus adaptée au traitement des effluents textile caractérisés par leur variation continue.

REFERENCES

1. Bali, U., Catalkaya, E., Sengul, F.: Photodegradation of Reactive Black 5, Direct Red 28 and Direct Yellow 12 using UV, UV/H₂O₂ and UV/H₂O₂/Fe²⁺: a comparative study, *Journal of Hazardous Materials*, **2004**, 114 (1-3), 159-166;
2. Kim, T.-H., Park, C., Shin, E.-B., Kim, S.: Decolorization of disperse and reactive dye solutions using ferric chloride, *Desalination*, **2004**, 161 (1), 49-58;
3. Selcuk, H.: Decolorization and detoxification of textile wastewater by ozonation and coagulation processes, *Dyes Pigments*, **2005**, 64 (3), 217-222;
4. Basibuyuk, M., Forster, C.F.: An examination of the adsorption characteristics of a basic dye (Maxilon Red BL-N) on to live activated sludge system, *Process Biochemistry*, **2003**, 38 (9), 1311-1316;
5. Kapdan, I.K., Kargi, F.: Simultaneous biodegradation and adsorption of textile dyestuff in an activated sludge unit, *Process Biochemistry*, **2002**, 37 (9), 973-981;
6. Kargi, F., Ozmihci, S.: Biosorption performance of powdered activated sludge for removal of different dyestuffs, *Enzyme and Microbial Technology*, **2004**, 35 (2-3), 267-271;
7. Sirianuntapiboon, S., Srisornsak, P.: Removal of disperse dyes from textile wastewater using bio-sludge, *Bioresource Technology*, **2007**, 98 (5), 1057-1066;

8. Ozyurt Atacag, M.H.: Biodegradation of azo dyes: a review, *Fresenius Environmental Bulletin*, **2003**, 12, 1294-1302;
9. Ge, Y., Yan, L., Qing, K.: Effect of environment factors on dye decolorization by *P. sordida* ATCC90872 in an aerated reactor, *Process Biochemistry*, **2004**, 39 (11), 1401-1405;
10. Ghoreishi, S.M., Haghighi, R.: Chemical catalytic reaction and biological oxidation for treatment of non-biodegradable textile effluent, *Chemical Engineering Journal*, **2003**, 95 (1-3) 163-169;
11. Razo-Flores, E., Donlon, B., Field, J., Lettinga, G.: Biodegradability of N-substituted aromatics and alkylphenols under methanogenic conditions using granular sludge, *Water Science and Technology*, **1996**, 33 (3), 47-57;
12. Carliell, C.M., Barclay, S.J., Naidoo, N., Buckley, C.A., Mulhollet, D.A., Senior, E.: Microbial decolorization of a reactive dye under anaerobic conditions, *Water SA*, **1995**, 21 (1), 61-69;
13. Zissi, U., Lyberatos, G.: Azo-dye biodegradation under anoxic conditions, *Water Science and Technology*, **1996**, 34 (5-6), 495-500;
14. Fu, L., Wen, X., Lu, Q., Qian, Y.: Treatment of dyeing wastewater in two SBR systems, *Process Biochemistry*, **2001**, 36 (11), 1111-1118;
15. Kargi, F., Uygur, A.: Hydraulic residence time effects in biological nutrient removal using five-step sequencing batch reactor, *Enzyme and Microbial Technology*, **2004**, 35 (2-3), 167-172;
16. Panswad, T., Techovanich, A., Anotai, J.: Comparison of dye wastewater treatment by normal and anoxic + anaerobic/aerobic SBR activated sludge process, *Water Science and Technology*, **2001**, 43 (2), 355-362;
17. Pasukphun, N., Vinitnantharat, S.: Degradation of organic substance and reactive dye in an immobilized-cell sequencing batch reactor operating simulated textile wastewater, *Journal of Environmental Science and Health, Part A. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, **2003**, 38 (10), 2019-2028;
18. Chang, J.-S., Chou, C., Lin, Y.-C., Lin, P.-J., Ho, J.-Y., Hu, T.L.: Kinetic characteristics of bacterial azo-dye decolorization by *Pseudomonas luteola*, *Water Research*, **2001**, 35 (2), 2841-2850;
19. Kapdan, I.K., Tekol, M., Sengul, F.: Decolorization of simulated textile wastewater in an anaerobic aerobic sequential treatment system, *Process Biochemistry*, **2003**, 38 (7), 1031-1037;
20. Supaka, N., Juntongjin, K., Damronglerd, S., Delia, M.-L., Strehaiano, P.: Microbial decolorization of reactive azo dyes in a sequential anaerobic-aerobic system, *Chemical Engineering Journal*, **2004**, 99 (2), 169-176;
21. Ong, S.-A., Toorisaka, E., Hirata, M., Hano, T.: Decolorization of azo dye (Orange II) in a sequential UASB-SBR system, *Separation and Purification Technology*, **2005**, 42 (3), 297-302;
22. Ong, S.-A., Toorisaka, E., Hirata, M., Hano, T.: Treatment of azo dye Orange II in aerobic and anaerobic-SBR systems, *Process Biochemistry*, **2005**, 40 (8), 2907-2914;
23. Khehra, M.S., Saini, H.S., Sharma, D.K., Chadha, B.S., Chimni, S.S.: Biodegradation of azo dye C.I. Acid Red 88 by an anoxic/aerobic sequential bioreactor, *Dyes and Pigments*, **2006**, 70 (1), 1-7;
24. Forgacs, E., Cserháti, T., Oros, G.: Removal of Synthetic Dyes from Wastewaters: A Review, *Environment International*, **2004**, 30 (7), 953-971;
25. AFNOR : *La qualité de l'eau. Recueil: Environnement*, Edition **1999**;
26. Servais, S., Laurent, P., Randon, G.: Mesure de la biomasse de l'activité bactérienne dans l'eau de distribution, *Revue des sciences de l'eau*, **1992**, 5, 473-488;
27. Neelamegam, R., Baskaran, V., Dhanasekar, R., Viruthagiri, T.: Decolorization of synthetic dyes using rice straw attached *Pleurotus ostreatus*, *Indian Journal of Chemical Technology*, **2004**, 11 (5), 622-625;
28. Mazmanci, M.A., Unyayar, A.: Decolorization of Reactive Black 5 by *Funalia trogii* immobilised on *Luffa cylindrica* sponge, *Process Biochemistry*, **2005**, 40 (1), 337-342;
29. Kapdan, I.K., Oztekin, R.: The effect of hydraulic residence time and initial COD concentration on color and COD removal performance of the anaerobic-aerobic SBR system, *Journal of Hazardous Materials*, **2006**, 136 (3), 896-901;
30. Kapdan, I.K., Ozturk, R.: Effect of operating parameters on color and COD removal performance of SBR: Sludge age and initial dyestuff concentration, *Journal of Hazardous Materials*, **2005**, 123 (1-3), 217-222;
31. Öztekin, R.: Color removal from textile wastewater in sequencing batch reactor, The Degree of Master of Science in Environmental Engineering, İzmir, **2004**, 48-57;
32. Carliell, C.M., Barclay, S.J., Buckley, C.A. Treatment of exhausted reactive dyebath effluent using anaerobic digestion: laboratory and full-scale trials, *Water SA*, **1996**, 22 (3), 225-233.