

ORIGINAL RESEARCH PAPER
**STUDY OF PURIFICATION PERFORMANCE
OF THE SAMIR REFINERY ACTIVATED SLUDGE TYPE**

**ETUDE DE LA PERFORMANCE DE LA STATION
D'EPURATION DE LA SOCIETE DE RAFFINERIE
SAMIR (TYPE BOUES ACTIVEES)**

Hind Khallaki, Malika Kastali, Salah Souabi, Abdelkader Anouzla*

*Université Hassan II, Laboratoire de Génie de l'Eau et de l'Environnement,
FSTM, Mohammedia -Maroc*

*Corresponding author: aanouzla@gmail.com

Received: October, 05, 2020

Accepted: June, 14, 2022

Abstract: This study is interested on the evaluation of the diagnostic of the treatment station (activated sludge) of used waters of oil rejects of the Company SAMIR so as to identify stops on which one can act to improve favors the output of elimination pollution. The optimization of the processing physico-chemical by coagulation-floculation has allowed to improve the output of elimination of the organic pollution by the biological processing. Results obtained by adopting an aeration some continuous shows the functioning of treatment station. Nevertheless followed it by the indication of muds in the course of the time shows that the value of the former can reach 25 % what justifies the efficiency of the biological processing. The measure of parameter DCO and DBO5 of waters processed to the exit of the clarificateur watch that the DCO varies around $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and the DBO5 varies between 40 and $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Matters in suspension are well eliminated by the biological processing.

Furthermore, results obtained during followed it by the development of the biomass in the basin of aeration have shown that microorganisms remain well. This allows to degrade correctly and an efficient manner hydrocarbons in the biological basin.

Keywords: *activated sludge, hydrocarbons, performance, treatment, used water*

INTRODUCTION

Le Maroc possède un linéaire côtier important qui joue un rôle non négligeable dans la vie du pays notamment sur le plan économique, *via*, d'une part, la valorisation des produits de la mer et d'autre part, l'industrie du tourisme. Pour préserver ces deux types d'usages dans ce milieu sensible qui reçoit la plupart des résidus de l'activité humaine (effluents industriels, rejets d'eaux usées urbaines) rejetées sans aucun traitement préalable provoquant la pollution des eaux de surface, des eaux souterraines et du milieu marin, tout en compromettant la santé publique en favorisant le risque des maladies hydriques pour la population (hépatite virale, typhoïde, choléra, etc.) et la contamination de la faune et de la flore aquatique. Ceci montre que l'épuration des eaux usées est nécessaire car celle permet de minimiser les teneurs en phosphate, en azote, en métaux, rejetés dans le milieu récepteur. Ainsi ce type de rejet suscite toujours d'un intérêt remarquable de la part des responsables et chercheurs, en essayant d'améliorer leur traitement par différentes méthodes [1 – 4].

Au Maroc, comme dans tous les pays en développement, l'assainissement et le traitement des eaux usées constituent certainement l'un des plus grands problèmes environnementaux. L'absence de réseau public, le manque de stations d'épuration, l'absence de contrôle et de sensibilisation à l'environnement contribuent à la propagation des maladies, à la dégradation du paysage et à la contamination des eaux superficielles et souterraines. Les eaux usées sont considérées comme les principales sources de pollution pour les eaux souterraines et de surface. En effet, le Maroc a plus de 60 stations de traitement des eaux usées dont 77 % sont des lagunes naturelles, 15 % utilisent d'autres techniques (lagunes aérées, des filtres bactériens et 8 % des boues activées [5] dont celle de la ville d'AlHoceima.

A l'instar des autres pays, les collectivités locales marocaines doivent chercher les meilleures solutions pour faire face aux quantités énormes des eaux usées déversées dans la nature sans aucun traitement. En effet, la croissance démographique et l'évolution des modes de vie et de consommation génèrent des quantités importantes des eaux usées. La composition de ces eaux usées dépend essentiellement de l'eau d'alimentation et de l'usage qu'on en a fait. Les eaux usées domestiques restent dangereuses par leur forte teneur en germes pathogènes tels que les bactéries, les virus et les protozoaires [6].

L'objet du présent travail consiste à évaluer, les performance opératoires de la station d'épuration des eaux usées chargées en hydrocarbures de la société de raffinerie SAMIR afin de proposer des solutions si nécessaire permettant d'améliorer d'avantage l'élimination de la pollution le long de différentes étapes d'épuration physico-chimiques et biologiques.

MATERIELS ET METHODES

Description de la station d'épuration Samir (step)

Le débit reçu par la station d'épuration passe par un minimum de $120 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et un maximum de $280 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, avec un débit moyen journalier de $160 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Les flux

hydriques provenant des installations de production, passant tout d'abord par les fosses de relevage avant d'être évacués et acheminés vers les pré-décanteurs.

Le schéma de la station d'épuration de la société SAMIR est illustré sur la Figure 1.

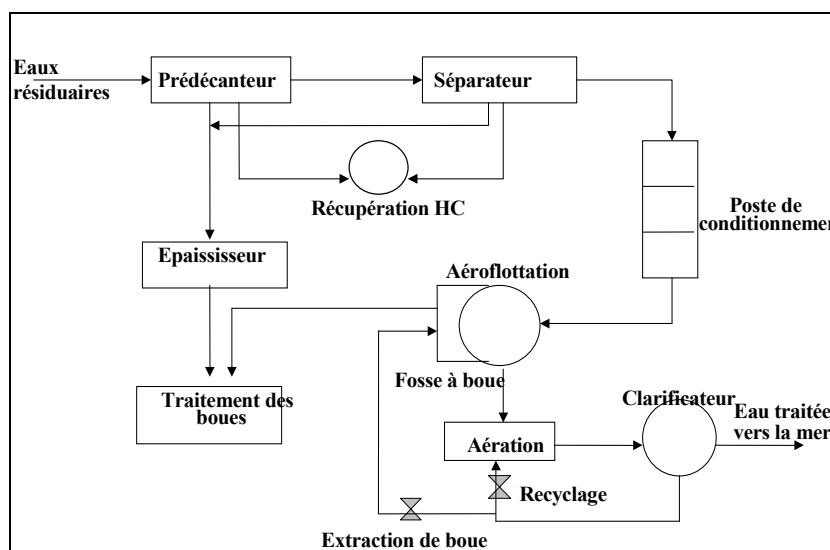


Figure 1. Le schéma de la station d'épuration de la société SAMIR

Points de prélèvements et méthodes d'analyse

Des prélèvements ont été effectués sur différentes étapes de traitement (eau brute, eau coagulée, eau sortie biologique, eau sortie clarificateur). Les paramètres physico-chimiques (pH , DCO, DBO5, MES,) ont été analysés selon les méthodes normalisées AFNOR 1999. Les hydrocarbures ont été analysés par Infra-Rouge après extraction par le tétrachlorure de carbone. Ces paramètres sont nécessaires à contrôler et à analyser rigoureusement pour mieux comprendre le fonctionnement de la station à son état.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le suivi de l'élimination de la pollution par la station d'épuration de la société SAMIR a été réalisé par la mesure des paramètres physico-chimiques tels que la DCO, DBO5. La variation du pH et de la température des eaux usées brutes reçues par la station de traitement sont respectivement illustrés sur les Figures 2 et 3.

Les résultats obtenus concernant la variation du pH à l'entrée de la station d'épuration montre que celui-ci varie de 7 à 9 (Figure 2). Cette variation du pH peut fortement perturber le traitement biologique comme l'avait montré Khallaki [7]. Il est à noter que la réalisation de la station d'épuration n'a pas tenu compte de l'homogénéisation du pH et de la charge polluante des eaux usées reçues par la station par l'installation d'un bassin de légalisation. Ceci permet de protéger le traitement biologique de l'agressivité des hydrocarbures. Un projet pour la réalisation d'un bassin d'homogénéisation est en cour. La température ne dépasse pas 26 °C (Figure 3).

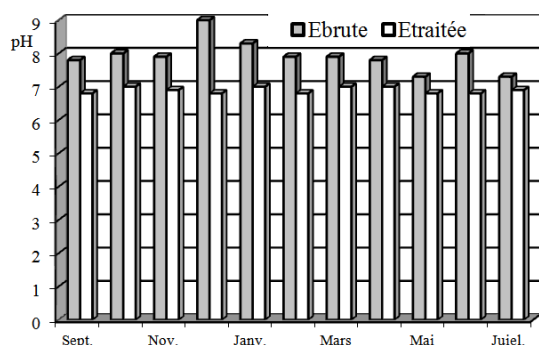


Figure 2. Variation du pH des eaux usées brutes et traitées

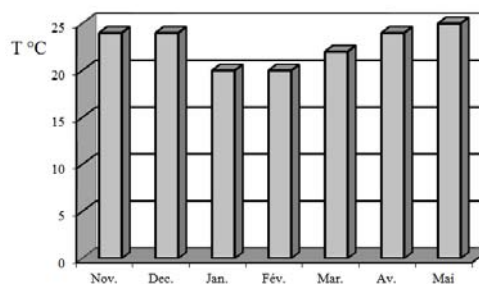


Figure 3. Variation de la température des eaux usées brutes au cours du temps

Par ailleurs, la variation du débit reçu par la station au cours du temps est donnée sur la Figure 4.

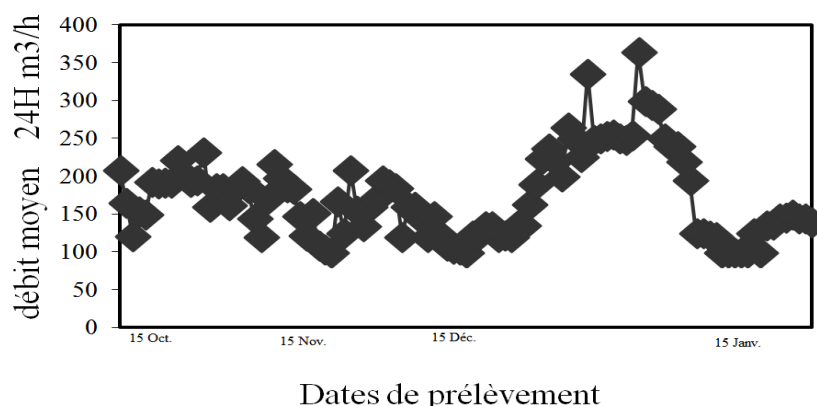


Figure 4. Variation du débit au cours du temps à la station d'épuration SAMIR

Par ailleurs, la variation du débit illustré sur la Figure 4 montre que celui-ci varie au cours du temps et peut atteindre 300 m³·h⁻¹. Ceci a pour conséquent une variation de la charge organique qui est fonction du débit et de la teneur en matière polluante. Ceci nécessite un bassin de neutralisation et d'homogénéisation afin d'assurer une bonne coagulation-floculation et par la suite une bonne biodégradabilité des hydrocarbures au sein du bassin biologique.

Les résultats obtenus pour la DBO5 et la DCO à la sortie de l'aérotloteur et la sortie du clarificateur sont donnés respectivement par les Figures 5 et 6.

Les résultats de la Figure 6 concernant l'analyse à la sortie de l'aérotloteur et la sortie du clarificateur montrent que la DBO5 à la sortie du clarificateur ne varie pas beaucoup au cours du temps. Elle respecte les normes de rejets d'une eau usée traitée proposée par l'Organisation Mondiale de la Santé.

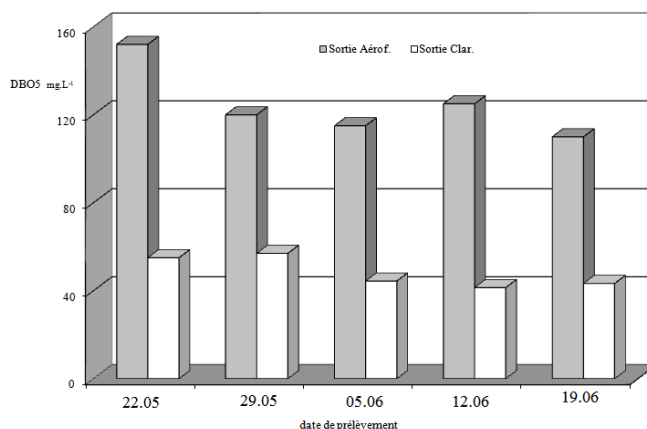


Figure 5. Evolution de la DBO5 des eaux brutes et traitées au cours du temps

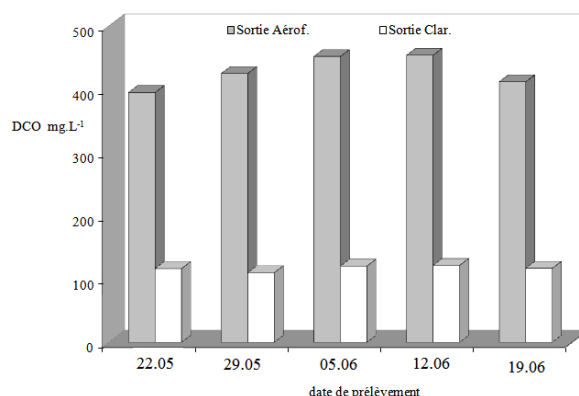


Figure 6. Evolution de la DCO dans les eaux brutes au cours du temps

Par ailleurs, la valeur de la DCO des eaux à la sortie de l'aéroflottateur ne présente pas de variation significative (Figure 7). Toutefois, la teneur en DCO reste autour de 120 mg·L⁻¹. Ceci montre que le traitement physico-chimique protège les micro-organismes du bassin biologique qui biodégradent les polluants contenus dans les effluents. Le rendement d'élimination de la pollution organique (DCO) dans le bassin d'aération par la biomasse est lié à la concentration en oxygène comme le montre la Figure 8. Le rendement croît avec l'augmentation de la concentration en oxygène et diminue avec celui-ci. Ceci est en relation avec le développement des micro-organismes dans le bassin d'aération.

La variation de la teneur en DCO et sa corrélation avec l'oxygène dissous dans le bassin biologique est donnée sur la Figure 7.

En outre, l'évolution de la concentration en MES est illustré sur la Figure 8.

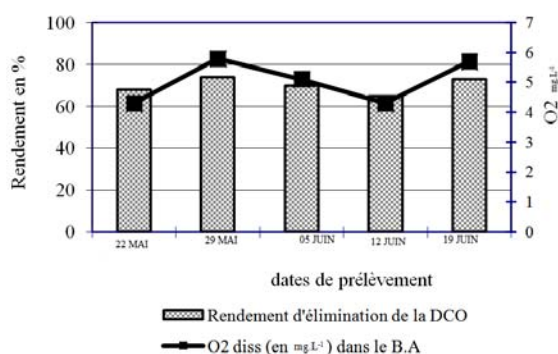


Figure 7. Rendement d'élimination de la DCO par l'étape biologique en fonction de l'oxygène dissous

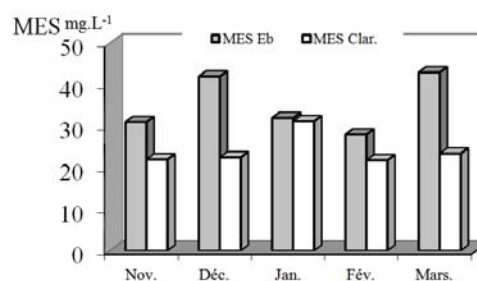


Figure 8. Evolution des MES au cours du temps (valeur moyenne)

Afin d'apprécier l'aptitude des boues à la décantation, l'indice de Mohalman (Indice de boues) a été réalisé durant une période de 9 mois (Novembre au Mai). Les résultats de l'aération en discontinue et ceux de l'aération en continue sont présentés respectivement par les Figures 9 (cas de l'aération en discontinue) et 10 (cas de l'aération en continue).

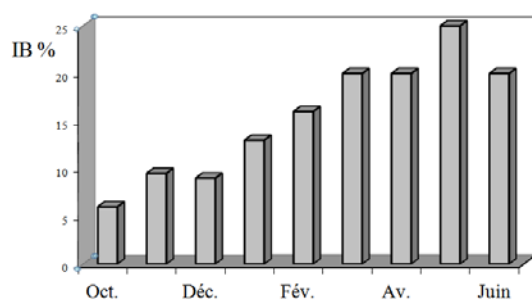


Figure 9. Evolution de l'indice des boues IB (aération en discontinue)

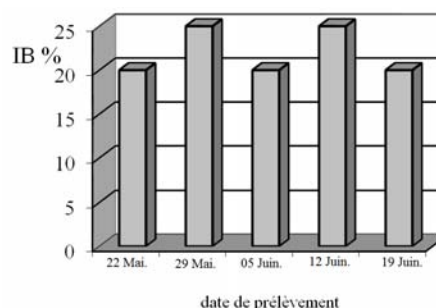


Figure 10. Evolution de l'indice de boues IB (aération en continue)

Par la mesure de l'indice de boues on peut apprécier l'aptitude de la boue à la décantation. Dans un premier lieu, une optimisation de cet indice nous permettra de bien évaluer le rendement d'élimination de la DBO₅ totale et de définir par la suite le taux de recyclage des boues vers le bassin d'aération. Les résultats obtenus Figure 9 (Aération en discontinue) et Figure 10 (aération en continue) montrent l'évolution de l'indice de boues à la station au cours du temps qui varie de 6 à 20 % durant les mois de Mars, Avril et Juin, tandis que la valeur maximale 25 % est obtenue au mois de Mai. Cette augmentation a pu améliorer les caractéristiques physico-chimiques de l'eau déchargée en termes d'élimination de la pollution organique et même sa clarification. L'évolution de l'indice de boue durant les cinq campagnes de prélèvement montre que sa valeur varie entre 20 et 25 % ce qui montre que la performance du traitement biologique et une bonne aptitude des boues à la décantation dans le clarificateur. Ceci a été confirmé par la mesure de la DBO₅ et de la DCO éliminée par l'étape biologique. Pour éviter la variation de l'indice de boue et maintenir la performance du procédé biologique on doit réduire le maximum possible la variation de la charge organique des eaux à traiter. Ceci

permet de garder une biomasse constante dans le bassin d'activation tout en gardant un âge de boues favorable. Une aération du bassin biologique en continue permet d'assurer une bonne décantation des boues dans le clarificateur comme l'avait montré Jenkins *et al.* [8] ce qui évite le remonté des boues à la surface du clarificateur. D'après Blanchard *et al.* [9] une mauvaise décantation des boues dans le décanteur secondaire provoque l'augmentation des boues sous forme de floes qui est pourra être du soit à des bactéries filamenteuses [10] ou à la nitrification au fond du clarificateur (milieu anaérobie) qui favorise le dégagement de l'azote N_2 entraînant ainsi le remontée des boues.

L'évolution des concentrations en hydrocarbures le long de différentes étapes de traitement est donnée sur la Figure 11, tandis que la teneur en sulfure dans les eaux brutes est illustrée sur la Figure 12.

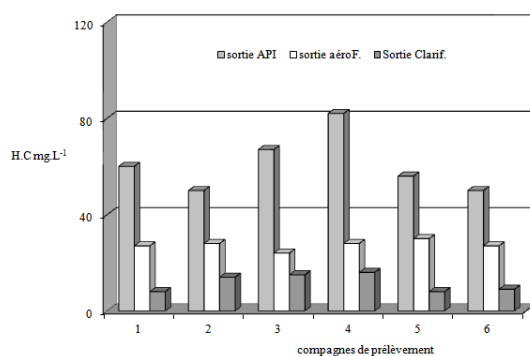


Figure 11. Evolution des hydrocarbures le long des étapes de traitement

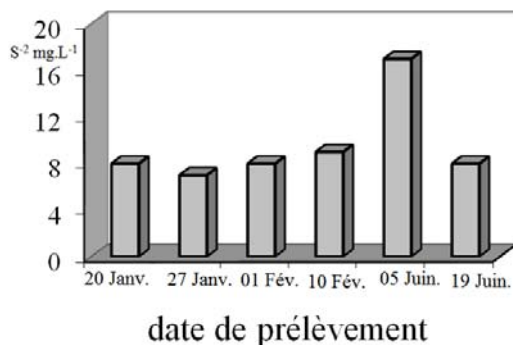


Figure 12. Variation de la concentration en sulfure des eaux brutes au cours du temps

Dénombrement bactérien à la station d'épuration: étude de la variation des bactéries sulfato-réductrices avant et après le procédé d'aération

Pour suivre les conditions de biodégradation des hydrocarbures dans le bassin d'aération, nous avons suivi la concentration en oxygène dissous dans le bassin. Les micro-organismes promoteurs de la biodégradation des hydrocarbures ont été suivis durant plusieurs jours

Pour suivre le développement bactérien dans l'ensemble des unités de la station, un dénombrement bactérien a été réalisé par des biotests. Cette technique utilise des flacons de nutriment pour les bactéries aérobiose et anaérobiose; commercialisés par une société Italienne sous le nom «*Phenol Red Dextrosebroth for aerobic and facultative anaerobic acid producing and total heterotrophic bacteria; salinity 200 ppm*». Ces flacons contiennent 9 mL du nutriment coloré (jaune = anaérobic vial et le rouge = aérobic vial). Le Tableau 1, récapitule les résultats du dénombrement effectué le long des étapes de la station d'épuration.

Les eaux usées rejetées par la société SAMIR sont riches en sulfures et en hydrocarbures. Ces rejets doivent être traités avant rejet dans le milieu marin. La réduction des hydrocarbures se fait grâce à la biodégradation qui est un phénomène naturel de dégradation des molécules organiques par les microorganismes (bactéries et

champignons, etc.). Cependant, les sulfures doivent être éliminés d'envoyer les eaux usées vers le bassin biologique ce qui pourra protéger la biomasse promoteurs de la biodégradabilité les hydrocarbures. Une aération à la rentrée de la station est nécessaire pour réduire les sulfures en sulfates.

Tableau 1. Analyse bactériologique le long de différentes étapes de traitement
S1: entrée API, S2: sortie API, S3: sortie aéroflottateur, S4: sortie biologique,
S5: sortie clarificateur

Prélèvement	Dénombrement en col/cc avant l'aération	Dénombrement en col/cc après l'aération
S1	$\geq 10^8$ acidophiles $\geq 10^6$ aérobies totaux $\geq 10^8$ sulfato-réductrices $\geq 10^8$ anaérobies totaux	$\geq 10^6$ acidophiles $\geq 10^6$ aérobies totaux $\geq 10^6$ sulfato-réductrices $\geq 10^6$ anaérobies totaux
S2	$\geq 10^7$ acidophiles $\geq 10^7$ aérobies totaux $\leq 10^5$ sulfato-réductrices $\leq 10^4$ anérobies total	$\geq 10^6$ acidophiles $\geq 10^6$ aérobies totaux $\leq 10^3$ Sulfatoréductrices $\leq 10^2$ anérobies total
S3	$\geq 10^6$ acidophiles $\geq 10^3$ aérobies totaux $\leq 10^4$ sulfato-réductrices $\leq 10^2$ anaérobies totaux	$\geq 10^6$ acidophiles $\geq 10^6$ aérobies totaux $\leq 10^2$ sulfato-réductrices $\leq 10^1$ anaérobies totaux
S4	$\leq 10^5$ acidophiles $\leq 10^4$ aérobies totaux $\leq 10^3$ sulfato-réductrices $\leq 10^4$ anaérobies totaux	$\leq 10^3$ acidophiles $\leq 10^3$ aérobies totaux $\leq 10^2$ sulfato-réductrices $\leq 10^4$ anaérobies totaux
S5	$\leq 10^3$ acidophiles $\leq 10^4$ aérobies totaux $\leq 10^2$ sulfato-réductrices $\leq 10^5$ anaérobies totaux	$\leq 10^3$ acidophiles $\leq 10^3$ aérobies totaux $\leq 10^1$ sulfato-réductrices $\leq 10^4$ anaérobies totaux

En outre, Fateh and Hafida (2015) [11] ont montré que la réduction des sulfates en ions sulfures par les bactéries sulfato-réductrices pourrait inhiber le développement de la biomasse et par la suite le dysfonctionnement des stations d'épuration traitant les eaux usées par voie biologique. Par ailleurs, les bactéries plutôt sensibles aux sulfures sont les méthanogènes comme l'avait signalé Firmin *et al.* (2016) [12]. Par ailleurs, il a été montré par Taleb *et al.* (2015) [13] que la production de H_2S dans les eaux usées au niveau du bassin de collecte de tout type d'eau de la société de tannerie de la ville de Mohammedia au cours du temps ainsi que dans les eaux usées drainées par les réseaux d'assainissement sans traitement pourrait inhiber le développement des bactéries promoteurs de la biodégradation des matières organiques. En outre, la composition et les conditions de collecte d'un effluent urbain ou industriel riches en sulfures et hydrocarbures dans un réseau d'assainissement et ses ouvrages annexes peuvent être à l'origine de la production de sulfures et donc d'hydrogène sulfuré [13]. Ces derniers sont encore bien souvent à l'origine de nuisances olfactives, de dégradation du patrimoine, de perturbations du fonctionnement des stations d'épuration, voire même d'intoxication d'agents d'exploitation. Bien que largement étudiées dans les années 1980, les préoccupations liées aux sulfures restent malgré tout un sujet d'actualité en particulier

les rejets de raffinage chargés en sulfures et hydrocarbures. En effet, il persiste une réelle difficulté pour les rejets chargés en sulfures et polluants organiques concernés par les nuisances liées aux sulfures, le diagnostic des causes et la mise en place de traitements efficaces en particulier l'aération avant d'envoyer les rejets sur la filière de traitement. En effet, durant l'aération le sulfure se réduit en sulfate produit non toxique pour la biomasse. L'effluent ainsi aéré pourrait être envoyé vers la station d'épuration sans aucun problème d'inhibition de la biomasse dans le bassin biologique (Figure 13).

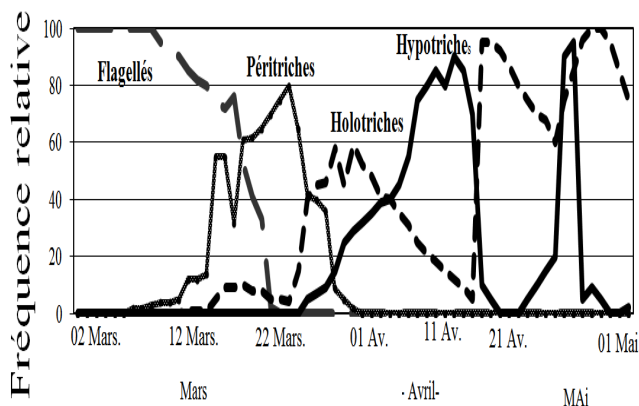


Figure 13. La succession de la biomasse dans le bassin d'aération

L'aspect bactérien à travers l'ensemble de la station est peu variable entre le traitement primaire et secondaire. A l'entrée de la station les eaux sont riches en bactéries sulfato-réductrices et en acidophiles. Ceci peut générer des problèmes de variabilité des caractéristiques physico-chimiques de l'eau à traiter. Par contre, à la sortie du bassin d'aération et à la sortie du clarificateur, le nombre des bactéries sulfato-réductrices qui utilise l'oxygène des sulfates pour leur besoin et développement, diminue par rapport à l'entrée de la station. Cette valeur reste supérieure au nombre des bactéries sulfato-réductrices et aérobies après le procédé d'aération. Toutefois, l'eau reste bien oxygénée et le pH est invariable pendant les étapes du traitement biologique après l'adaptation du procédé ainsi que le nombre des bactéries acidophiles.

L'évaluation de la qualité de l'eau consiste en un dénombrement des bactéries capables de dégrader la pollution organique ou en une détection de la présence des bactéries pathogènes en utilisant des méthodes normalisées ou validées de microbiologie classique [14, 15]. Notre présente étude a visé à déterminer la qualité bactériologique des eaux usées au niveau du bassin biologique afin de voir leur multiplication et leur efficacité à bio-dégrader les matières organiques.

Les paramètres bactériologiques ont été analysés en double exemplaires. Les germes recherchés dans les échantillons des eaux analysées sont l'acidophile les bactéries aérobies totaux les sulfato-réductrices les bactéries anaérobies totaux.

Le contrôle bactériologique de l'eau a été réalisé sur des eaux usées prélevées le long de différentes étapes de la station d'épuration type boues activées. Les analyses ont été réalisées sur l'eau avant aération et après aération afin d'évaluer l'efficacité à développer une biomasse dans des eaux bien aérées ce qui permet de tirer une conclusion sur le développement correcte ou non des bactéries promoteurs de la

biodégradation des polluants organiques. Au niveau du bassin biologique l'analyse bactériologique est réalisée une fois par semaine afin de s'assurer de la présence de la biomasse. En effet, au niveau de la station SAMIR type boues activées l'ajout de bactéries lyophilisées est souvent nécessaire car ceci nous permet d'activer le développement de la biomasse.

Les résultats obtenus permettent de justifier que l'aération présente un effet positif sur le développement des bactéries.

CONCLUSIONS

Cette étude nous a permis de diagnostiquer l'état de la station d'épuration SAMIR, type boues activées pour la lutte contre la pollution par les hydrocarbures. Les résultats obtenus ont montré que la fluctuation de débit et de la charge organique constituent l'ennemi le plus redouté pour le fonctionnement de la station, à moins qu'un bassin tampon soit réalisé dans les plus brefs délais pour permettre ainsi à la population bactérienne de se stabiliser et aux injections chimiques (coagulants et floculants) de donner de bons rendements;

La bonne coagulation floculation a permis d'améliorer d'avantage l'indice de décantabilité des boues (Indice de boues). Ce dernier varie autour de 25 % ce qui permet d'améliorer la décantation dans le clarificateur.

Le suivi du traitement biologique a pu montrer le développement correct de la biomasse capable de biodégrader les hydrocarbures. Les formes fixes (*Péritriches*) favorise une meilleure épuration biologique, leur développement est lié aux conditions du milieu (un pH compris entre 7-8 et une teneur d'oxygène dissous compris entre 5-6 ppm). Une optimisation de la cogulation-floculation et de l'aération des bassins biologiques pourraient être intéressants afin d'assurer une bonne biodégradabilité des hydrocarbures.

ABREVIATIONS

- ✓ SAMIR: Société anonyme marocaine de l'industrie du raffinage (nom de la société de raffinerie)
- ✓ DCO: Demande chimique en oxygène
- ✓ MES: Matières en suspension totales
- ✓ DBO5: Demande biologique en oxygène en 5 jours
- ✓ HC: Hydrocarbures

REFERENCES

1. Hamid, C., Elwatik, L., Ramchoun, Y., Fath-Allah, R., Ayyach, A., Fathallah, Z., El Midaoui, A., Et Hbaiz, E.: Étude des performances épuratoires de la technique du lagunage aéré appliquée à la station d'épuration de la ville d'Errachidia – Maroc, *Afrique SCIENCE*, **2014**, **10** (2), 173-183;
2. Anouzla, A.: Valorisation des rejets liquides du secteur sidérurgique: Application au traitement des eaux usées, *Editions Universitaires Européennes*, Riga, **2019**;
3. Wang, Q., Liang, J., Zhang, S., Brandon, Yoza, A., X.Li, Q., Zhan, Y., Ye, H., Zhao, P., Chen, C.: Characteristics of bacterial populations in an industrial scale petrochemical wastewater treatment

- plant: Composition, function and their association with environmental factors, *Environmental Research*, **2020**, 189, 1-10;
4. Top, S., Akgün, M., Kıpçak, E., Bilgili, M.S.: Treatment of Hospital Wastewater by Supercritical Water Oxidation Process, *Water Research*, **2020**, 185, 1-9;
 5. Makhokh, M., Bourziza, Ms.: Country Report for Expert Consultation on Wastewater Management-MOROCCO-SEEE-ONEP. 22-24 May 2011, Dubai, UAE, **2011**;
 6. Dimane, F., Haboubi, K., Hanafi, I., El Himri, A.: Étude de la Performance du Dispositif de Traitement des Eaux Usées par Boues Activées de la ville d'AlHoceima, *Maroc European Scientific Journal*, **2016**, 12 (17), 272-286;
 7. Khallaki, H.: DESA (Diplôme d'Etudes Supérieures Approfondies) - Sciences et Techniques de l'Environnement, Faculté des Sciences Settat Maroc, **2000**;
 8. Jenkins, D., Richard, M., Daigger, G.T.: Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming and Other Solids Separation Problems IWA Publishing, **2003**;
 9. Blanchard, B., Desjardins, R., Brière, G., Béland, Y.: Approche pour l'identification des causes de la mauvaise décantation des solides biologiques - Few hints to identify causes of biological solids setting problems, *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, **1990**, 3 (3), 241-260;
 10. Wanner, J., Grou, P.: Filamentous bulking in nutrient removal activated sludge systems, *Water Science Technology*, **1988**, 20 (4-5), 1-8;
 11. Fateh, N., Hafida, G.: Traitement Biologique d'un Corticoïde. Caractérisation des Paramètres Physico-Chimiques, *Revue « Nature & Technologie », C-Science de l'Environnement*, **2015**, 12 (1), 07-15;
 12. Semboung Lang, F., Destain, J., Druart, P., Ongena, M., Thonart, P.: Les microorganismes dans le maintien de l'équilibre et la réhabilitation des écosystèmes de mangrove pollués par les hydrocarbures. Revue bibliographique, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **2016**, 10 (5), 2268-2284;
 13. Taleb, A., Kanbouchi, I., Souabi, S., Chtaini, A.: Etude de la problématique de la présence de l'H₂S dans le réseau d'assainissement de la ville basse de la ville de Mohammedia (Study of the problems related to the presence of Hydrogen Sulfide (H₂S) in the sewer system in the lower district of the city of Mohammedia), *Journal of Materials and Environmental Science*, **2015**, 6 (8), 2137-2147;
 14. Levallois, P., Festy, B., Hartement, P., Ledrans, M., Payment, P., Tricard, D.: *Environnement et santé publique-Fondements et pratiques*, Paris: Éditions Tec&Doc, Qualité de l'eau, **2003**, 333-368;
 15. Payment, P., Berte, A., Provost, M., Ménard, B., Barbeau, B.: Occurrence of pathogenic microorganisms in the Saint-Lawrence River (Canada) and comparison of health risks for populations using it as their source of drinking water, *Canadian Journal of Microbiology*, **2000**, 46 (6), 565-576.