

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITÉ SALAH BOUBNIDER, CONSTANTINE 03**  
**FACULTÉ DE GÉNIE DES PROCÉDÉS**  
**DÉPARTEMENT GÉNIE DE L'ENVIRONNEMENT**

N° d'ordre :.....

Série :.....

## **Mémoire**

**PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER**  
**EN GÉNIE DES PROCÉDÉS**  
**OPTION : GÉNIE DES PROCÉDÉS DE L'ENVIRONNEMENT**

**MODÉLISATION DU COLMATAGE MEMBRANAIRE :**  
**DÉVELOPPEMENT DE MODÈLE MATHÉMATIQUE DANS UN**  
**BIORÉACTEUR A MEMBRANE IMMERGÉE A FAIBLE CHARGE**  
**ORGANIQUE**

**Présenté par :**

**OUILI GHADA**  
**HARKAT HAYAM**  
**SALHI AMINA**

**Dirigé par :**

**Mme Benaliouche Hana**

*Maitre de conférences*

**Année universitaire**

**2019-2020**

**Session : Septembre**

## Sommaire

Liste des figures .....	I
Liste des tableaux .....	III
Liste des abréviations .....	V
Résumé .....	VII
Introduction générale .....	01

### Chapitre I : synthèse bibliographique

I .Les Bioréacteurs à Membrane .....	04
I.1. Un peu d'histoire .....	04
I.1.1.L'apparition des bioréacteurs à membranes.....	04
I.1.2 : Principe des Bioréacteurs à Membrane .....	05
I.1.2.1 : Définitions .....	05
I.1.2.2 : Utilisations de BRM pour le traitement des eaux usées .....	05
I.3 : Les différentes Configurations des Systèmes de BRM .....	05
I.3.1 : Les Avantages et Limites des BRM .....	07
I.3.1.1 : Les Avantages .....	07
I.3.1.2 : Les limites .....	09
I.4 : Le colmatage dans les bioréacteurs à membrane .....	10
I.4.1 : Formulation mathématique .....	10
I.4.2 : Différents mécanisme de colmatage .....	11
I.5 : Modélisation du colmatage .....	12
I.5.1 : Modèles classiques .....	12
I.6 : Formation de la masse du gâteau .....	18
I.6.1 :L'évolution de performance membrane et les calculs des résistances .....	21
I.7 : Les méthodes d'analyse de colmatage : (caractérisation).....	24
I.8 : Les Méthodes d'analyse .....	25

### Chapitre II

Introduction. .

I . Les exopolymères (EPS).....	28
I .1. Définition des EPS.....	28
I .2. Localisation et les types des EPS.....	28
I .3. Production des EPS liées et solubles .....	29
I .4. Caractérisation des floccs (EPSliées) .....	29
I .5. Description de la structure physique du flocc (EPS liées) .....	30

I .6. Les analyses des EPS.....	31
I .6.1. Les méthodes destructives.....	31
I .6.2. Les méthodes non destructives.....	31
I .7. Extraction et dosages d'EPS liées et EPS <sub>solubles</sub> .....	32
I .7.1. Extraction des substances polymériques extracellulaires liées(EPS).....	32
I .7.2. DosagedesEPS.....	33
II . Les produits microbienssolubles(SMP).....	34
II .1. Définition et classificationdesSMP.....	34
II .2. La production des SMP dans les bioréacteurs.....	34
II .3. Rôle des SMP dans le colmatage.....	35.
II .4. Relation des SMP dans le colmatageparDOM.....	36
II .5. Méthodes de caractérisation des SMP.....	37
II .5.1.Méthodes colorimétriques.....	37
II .5.1.1. Détermination de la concentration en protéines.....	38.
II .5.1.2. Détermination de la concentration en polysaccharides.....	38
II .5.2. Spectroscopie de fluorescence3D (3DEEM).....	39
II .5.2.1. Spectres de fluorescence.....	39
II .5.2.2. Dilution et linéarité pour la quantification.....	41
II .5.3.LC-OCD-OND.....	41
II .5.3.1.Mesures.....	41
II .5.3.2. Quantification des groupements fonctionnels par THM-GC/MS.....	42
III. Caractérisation des produits microbiens solubles SMP (BAP-UAP).....	43
III.1. Description.....	43
III.2. Expériences par lots pour la production de BAP et UAP.....	45
Conclusion.....	47

### **Chapitre III : matériels et méthode**

III. 1. Matériel et Méthodes .....	48
III .1.1. Description du système expérimental .....	48
III.1.2. Le module membranaire .....	48

III.2.Fonctionnement de MBR .....	49
III.3 .Les Méthodes d'analyse (Les analyses Statistique) .....	49
III.3.1 Les Différent Types des Analyses Statistiques .....	49
III.3.2. Analyse de la variance (ANOVA) .....	50
III.3.3.1RÉGRESSION LINÉAIRE .....	51
III.3.3.1.Régression linéaire multiple .....	51
III.3.4.Analyse en Composants Principales (CPA) .....	52
III.3.4.1.Description de la méthode CPA .....	52
III.3.5.L'équation structurelle .....	52
III.3.5.1 Introduction .....	52
III.4.Logiciels de Simulation .....	53
III.4.1. IBM SPSS .....	53
III.4.2.Origin Lab 2020 .....	54

#### **Chapitre IV : Résultats et Discussions**

IV .1 Identification des relations entre les facteurs du colmatage membranaire et les résistances du colmatage membranaire .....	55
IV.1.1 Méthode MLR.....	55
IV.1.1.1. L'analyse de corrélation (coefficient rp).....	62
IV.1.2. Méthode CPA .....	65
IV.1.3. Modélisation par équations structurelle (MES) .....	69
IV.1.3. 1.Les modèles SEM .....	70
IV .2. Développer modèle mathématique : Relation Rcake-OUR .....	73
IV .2.1.Modèle mathématique.....	74
IV.2.2.Validation du modèle .....	77
<b>Conclusion .....</b>	<b>62</b>
<b>Références bibliographique .....</b>	<b>64</b>

## Résumé

Les systèmes bioréacteur à membrane dans l'épuration des eaux usées présentent plusieurs avantages par rapport aux processus classiques à boues activées. Par contre l'un des principaux inconvénients est le colmatage de la membrane. Diverses stratégies sont mises en œuvre pour combattre le colmatage. Dans ce travail l'objectif est identifier des relations entre les facteurs du colmatage membranaire et les résistances du colmatage membranaire aussi de simuler la masse du gâteau, et pour finir le développement de modèle mathématique basée sur les résultats d'analyse statistique multivarié des paramètres active pour deux TSB fixé à 40 et 60 jours, avec une faible charge organique ( $C/N=3.5$ ). La validation de modèle et l'interprétation des résultats de simulation a été faite par les plus précises méthodes d'analyses statistique tels que : la regression linéaire multiple (MLR), l'analyse composantes principale (ACP) et la modélisation par equations structurelle (SEM).à l'aide des deux logiciels Origin et AMOS SPSS. L'analyses statistiques des résultats expérimentaux ont montré une corrélation inverse entre ( $R_{cake} / R_{foul}$ ) et OUR. Basé sur les trois méthodes de corrélation (MLR CPA SEM), un modèle mathématique été formulé. Le modèle a ensuite été validé par des données expérimentales observées dans le SMBR. Les résultats simulés du modèle concordent bien avec les résultats expérimentaux.

**Mots clés :** bioréacteur à membrane, eaux usées, boues actives, colmatage, colmatage membranaire, résistances, masse de gâteau, analyse statistique, MLR, SEM, ACP, ANOVA ONE WAY,

### **Abstract:**

The systems with membrane in the wastewaters treatment have several advantages compared with traditional processes at activated sludge. On the other hand one of the principal disadvantages is the fouling of the membrane. Various techniques were used to reduce membrane fouling. In this work the objective is identify the relation between the membrane fouling factors and the membrane fouling resistances, also to simulate the cake mass, and finally the development of a mathematical model based on the results of multivariate statistical analysis of the active parameters for two TSB set at 40 and 60 days, with low organic load ( $C/N=3.5$ ).

The model validation and the interpretation of the simulation results were done by the most accurate statistical analysis methods such as: multiple linear regression (MLR),