

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 DE 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

TITRE DU MEMOIRE

**COAGULATION MODELLING WITH AN ARTIFICIAL
NEURAL NETWORK (ARTIFICIAL INTELLIGENCE
(AI)).APPLICATION TO WASTEWATER TREATMENT PLANT.**

Présenté par :

Boukebbous Aya Farah

Lachi Aya

Dirigé par :

Dr.Ayat Asma

Grade MCB

Année universitaire

2024-2025

Session : Juin

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES ABREVIATIONS.....	viii
RESUME	ix
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : PROCESSUS DE TRAITEMENT DES EAUX USEES	3
Introduction	3
1.1 Les eaux usées.....	3
1.2 Origine des eaux usées	3
1.2.1 Les eaux usées domestiques.....	3
1.2.2 Les eaux usées industrielles	3
1.2.3 Les eaux pluviales.....	4
1.2.4 Les eaux agricoles.....	4
1.3 Les étapes de traitement des eaux usées.....	4
1.3.1 Classification des contaminants.....	4
1.3.2 Prétraitement	5
1.3.3 Traitement primaire (traitement physicochimique)	6
1.3.4 Traitements biologiques.....	6
1.4 Processus de coagulation et floculation	7
1.4.1 Les suspensions colloïdales	8
1.4.2 Théorie de la double couche	9
1.4.3 La coagulation.....	11
1.4.4 La floculation	14
CHAPITRE II THEORIE DES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS	16
Introduction.....	16
2.1 Aperçu historique sur l'intelligence artificielle.....	16
2.2 Les réseaux de neurones artificiels.....	17
2.3 Neurones biologiques et artificiels.....	18
2.4 Architecture des réseaux de neurones	21
2.5 Types de réseaux de neurones artificiels.....	22

2.5.1	Réseaux à propagation avant (Feedforward Neural Networks - FNN).....	22
2.5.2	Réseaux convolutifs (Convolutional Neural Networks « CNN »).....	22
2.5.3	Réseaux récurrents (Recurrent Neural Networks « RNN »).....	23
2.5.4	Réseaux à mémoire longue courte (Long Short-Term Memory « LSTM »)	23
2.5.5	Réseaux génératifs adversariaux (Generative Adversarial Networks « GAN »).....	23
2.6	Mécanismes d'apprentissage des réseaux de neurones	23
2.7	Les principaux types d'apprentissage	24
2.7.1	Apprentissage supervisé.....	24
2.7.2	Apprentissage non supervisé.....	24
2.7.3	Apprentissage par renforcement	25
2.8	Sur-apprentissage et sous-apprentissage	25
2.9	Les algorithmes d'apprentissage	25
2.10	Fonction d'activation dans les réseaux de neurones.....	26
2.11	Applications des réseaux de neurones en traitement des eaux usées	27
2.12	Avantages et inconvénients des RNA	28
2.12.1	Les avantages	28
2.12.2	Les inconvénients.....	29
CHAPITRE III MATERIELS ET METHODES		30
Introduction.....		30
3.1	Présentation de la STEP d'Ain-Oulméne.....	30
3.2	Rôle de la STEP d'Ain-Oulméne.....	30
3.3	Réseau d'assainissement de la STEP	31
3.4	Procédé de traitement de la STEP et description de ses différents ouvrages	31
3.5	Traitement des eaux	32
3.5.1	Prétraitement	32
3.5.2	Traitement secondaire - Réacteur biologique - (bassin d'aération).....	34
3.5.3	Clarificateur et ouvrage de rejet.....	35
3.6	Traitement des boues :	36
3.6.1	Recirculation et extraction des boues	36

3.6.2	Épaississeur des boues	36
3.6.3	Stabilisation des boues.....	37
3.6.4	Déshydratation	37
3.6.5	Lits de séchage.....	37
3.7	Auto surveillance sortie station.....	37
3.8	Lagune de finition	37
3.9	Présentation générale de la modélisation et des outils utilisés.....	38
3.10	Description méthodologique du processus de modélisation.....	38
3.11	Approche analytique des paramètres physico-chimiques utilisés comme variables d'entrée dans la modélisation :	40
CHAPITRE IV MODELISATION NEURONALE DE LA DOSE DE COAGULANT .		42
Introduction.....		42
4.1	Analyse comparative des eaux brutes et des eaux épurées	42
4.1.1	Teneurs en MES (Matières en Suspension)	44
4.1.2	Valeurs de pH	45
4.1.3	Teneurs en Demande Chimique en Oxygène (DCO)	45
4.1.4	Teneurs en Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours (DBO ₅)	46
4.2	Développement du modèle de réseau de neurones artificiel	46
4.3	Modélisation de la dose du coagulant	48
4.3.1	Structure du modèle de réseau neuronal artificiel.....	49
4.4	Prédiction neuronale de la dose du coagulant	50
4.4.1	Apprentissage et validation.....	57
4.4.2	Analyse approfondie de la relation entre variables d'entrée et dose expérimentale	62
Conclusion		65
CONCLUSION GENERALE.....		66
BIBLIOGRAPHIE		69

RESUME

Ce mémoire vise à améliorer l'efficacité du traitement des eaux usées à la station d'épuration d'Aïn Oulmène, en développant un modèle prédictif permettant d'estimer la dose optimale du coagulant utilisée lors du processus de coagulation-floculation. Ce travail repose sur l'application des réseaux de neurones artificiels, en tant qu'outil intelligent capable de prévoir les besoins en réactifs selon les caractéristiques de l'eau brute.

Les données ont été collectées sur une période de douze semaines et portent sur quatre paramètres principaux : le pH, les matières en suspension (MES), la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène sur cinq jours (DBO₅). Ces informations ont été traitées et intégrées dans un modèle construit avec le logiciel MATLAB 2020 a, en utilisant les doses réellement appliquées (entre 2,5-3 mg/L) comme référence d'apprentissage.

Les résultats obtenus ont montré une bonne concordance entre les valeurs prévues et les données réelles, avec un coefficient de corrélation d'environ 0,95, indiquant une précision satisfaisante du modèle. Cette approche représente une alternative prometteuse pour ajuster les doses de manière plus souple et plus efficace, tout en réduisant les coûts liés aux produits chimiques.

Mots-clés : Station d'Aïn Oulmène, dose optimale, coagulation-floculation, RNA, MATLAB.

ABSTRACT

This manuscript aims to improve the efficiency of wastewater treatment at the Aïn Oulmène treatment plant by developing a predictive model to estimate the optimal coagulant dose used during the coagulation-flocculation process. This work is based on artificial neural networks application as an intelligent tool able of predicting the required chemical dosage based on raw water characteristics.

Data were collected over a twelve-week period and covered four key parameters: pH, total suspended solids (TSS), chemical oxygen demand (COD), and biochemical oxygen demand over five days (BOD₅). These data were processed and integrated into a model built using MATLAB 2020 a, with the actual doses applied (between 2.5-3 mg/L) used as the learning reference.

The results showed good agreement between the predicted and observed values, with a correlation coefficient of approximately 0.95, indicating satisfactory model accuracy. This approach represents a promising alternative for adjusting doses more flexibly and efficiently, while reducing costs associated with chemical use.

Keywords: Aïn Oulmène plant, optimal dose, coagulation-flocculation, artificial neural networks, MATLAB.

المخلص

تهدف هذه المذكرة إلى تحسين فعالية معالجة المياه العكرة بمحطة التطهير بعين ولمان، من خلال تطوير نموذج تنبؤي يسمح بتقدير الجرعة المثلى لمادة التخثير المستخدمة في عملية التخثر-التلبد. ويعتمد هذا العمل على استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية كأداة ذكية قادرة على التنبؤ بالحاجة إلى المواد الكيميائية حسب خصائص المياه الخام.

تم جمع البيانات على مدى اثني عشر أسبوعاً، وشملت أربعة مؤشرات رئيسية: الأس الهيدروجيني (pH) ، المواد العالقة (MES)، الطلب الكيميائي على الأوكسجين (DCO) ، والطلب البيولوجي على الأوكسجين خلال خمسة أيام (DBO₅). تمت معالجة هذه البيانات وإدراجها في نموذج تم إنشاؤه باستخدام برنامج MATLAB 2020 a ، حيث استُخدمت الجرعات الفعلية المطبقة (بين 2.5- 3 ملغ/لتر) كمرجع للتعلّم.

أظهرت النتائج توافقاً جيداً بين القيم المتوقعة والبيانات الحقيقية، حيث بلغ معامل الارتباط حوالي 0.95، مما يدل على دقة مرضية للنموذج. وتُعد هذه المقاربة بديلاً واعدًا لتعديل الجرعات بشكل أكثر مرونة وفعالية، مع تقليل التكاليف المرتبطة بالمواد الكيميائية.

الكلمات المفتاحية: محطة عين ولمان، الجرعة المثلى، التخثر والتلبد، الشبكات العصبية الاصطناعية، MATLAB.