

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



Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique

Optimisation de la Gestion des Réseaux d'Eau Potable par l'Analyse Multicritère et l'Intelligence Artificielle *Application au réseau d'alimentation en eau potable d'Alger*

CHENNIT Aya

Sous la direction de **Mr. BENZIADA Salim** ENP

Présenté et soutenu publiquement le (30/06/2025)

Composition du jury :

Présidente	Pr. BENMAMAR Saâdia	Professeur	ENP
Promoteur	Mr. BENZIADA Salim	MAA	ENP
Co-Promoteur	Mr. GHERMOUL Madjid	Ingénieur	SEAAL
Examineur	Dr. MEZENNER Nouredine	Docteur	MRE / ENP
Examineur	Mr. LIMANE Abdelmounaim	Ingénieur/Doctorant	ENP
Représentant de l'incubateur	Dr. BOUSBAI M'Hamed	MCB	ENP

ENP 2025

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



Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique

Optimisation de la Gestion des Réseaux d'Eau Potable par l'Analyse Multicritère et l'Intelligence Artificielle

Application au réseau d'alimentation en eau potable d'Alger

CHENNIT Aya

Sous la direction de **Mr. BENZIADA Salim** ENP

Présenté et soutenu publiquement le (30/06/2025)

Composition du jury :

Présidente	Pr. BENMAMAR Saâdia	Professeur	ENP
Promoteur	Mr. BENZIADA Salim	MAA	ENP
Co-Promoteur	Mr. GHERMOUL Madjid	Ingénieur	SEAAL
Examineur	Dr. MEZENNER Nouredine	Docteur	MRE / ENP
Examineur	Mr. LIMANE Abdelmounaim	Ingénieur/Doctorant	ENP
Représentant de l'incubateur	Dr. BOUSBAI M'Hamed	MCB	ENP

ENP 2025

هذا العمل يندرج في إطار تقييم هشاشة شبكات مياه الشرب، بهدف تحسين إدارتها الاستثمارية. تعتمد الدراسة على استخدام تقنيات التعلم الآلي والذكاء الاصطناعي لمعالجة واستغلال البيانات، مما يشكل قاعدة قوية لتطبيق التحليل متعدد المعايير العملية التحليلية الهرمية.

وقد سمح هذا التحليل بتحديد المقاطع الأكثر هشاشة واقتراح أولويات تدخل مناسبة وعقلانية

كما تفتح هذه المقاربة آفاقاً ريادية من خلال إنشاء "ويفوليا"، وهي مؤسسة مصغرة مستقبلية. تطمح إلى دمج الذكاء الاصطناعي ضمن حلول عملية تهدف إلى تحسين الإدارة الاستثمارية للبنى التحتية بشكل مستدام، ليس فقط في مجال المياه بل أيضاً في سياقات أوسع تتعلق بإدارة الأصول.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي - التعلم الآلي - شبكات توزيع مياه الشرب - التحليل متعدد المعايير - الهشاشة.

Abstract

This study is part of an assessment of the vulnerability of drinking water networks, with the aim of optimizing their asset management. The approach is based on the use of machine learning and artificial intelligence methods for data processing and analysis, providing a solid foundation for the application of Multi-Criteria Analysis (MCA), particularly through the Analytic Hierarchy Process (AHP). The analysis made it possible to identify the most vulnerable network segments and to propose rational and well-prioritized intervention strategies.

This approach also opens the door to an entrepreneurial perspective through the creation of Wevolia, a future micro-enterprise. Wevolia aims to integrate artificial intelligence into practical solutions to sustainably optimize asset management, not only in the water sector but also in broader infrastructure management contexts.

0.5cm]

Keywords : Artificial Intelligence - Machine Learning - Drinking water networks - Multi-Criteria Analysis - Vulnerability.

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'évaluation de la vulnérabilité des réseaux d'eau potable, dans l'objectif d'optimiser leur gestion patrimoniale. L'étude repose sur l'utilisation des méthodes d'apprentissage automatique et d'intelligence artificielle pour le traitement et l'exploitation des données, constituant une base solide pour l'application de l'Analyse Multicritère (AMC), notamment à travers la méthode AHP (Processus Hiérarchique Analytique).

L'analyse a permis d'identifier les segments les plus vulnérables et de proposer des priorités d'intervention adaptées et rationnelles.

Cette démarche ouvre également la voie à une perspective entrepreneuriale à travers la création de Wevolia, une future micro-entreprise. Wevolia ambitionne d'intégrer l'intelligence artificielle dans des solutions concrètes pour optimiser durablement la gestion patrimoniale des infrastructures, non seulement dans le domaine de l'eau, mais également dans des contextes élargis de gestion d'actifs.

Mots clés : Intelligence Artificielle - Apprentissage Automatique - Réseaux d'eau potable - Analyse Multicritère - Vulnérabilité.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à tous les gens que j'aime et qui m'aiment.

À **ma mère et à mon père**, pour leur amour inconditionnel, leur soutien, et leurs sacrifices
qui m'ont permis de parvenir jusqu'ici

À **mes chères sœurs Ikram, Malek et Chahd**,

À **mes grands-parents**,

À **mes tantes et mes oncles**,

À **mes cousines et cousins**,

À **mes meilleures amies Nour El Houda et Amel**.

Remerciements

Avant toute chose, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à **Allah Le Tout-Puissant**, source de vie, de volonté et de persévérance, sans qui rien de ce travail n'aurait été possible.

Je remercie vivement **Monsieur Benziada Salim**, mon encadrant académique à l'École Nationale Polytechnique d'Alger, pour la confiance qu'il m'a témoignée, la richesse de ses idées, la pertinence de ses orientations et l'effort soutenu qu'il a consacré à l'encadrement de ce travail.

Ma profonde reconnaissance s'adresse également à **Monsieur Ghermoul Madjid**, directeur de l'unité du patrimoine et encadrant professionnel au sein de l'Entreprise de l'Eau et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL), ainsi qu'à **Monsieur Touazi Fodil**, directeur technique de la SEAAL, pour leur accompagnement attentif, leur disponibilité et la pertinence de leurs conseils. Leur implication, leur rigueur et leur bienveillance ont été des soutiens essentiels dans l'aboutissement de ce travail.

Je souhaite adresser mes sincères remerciements à l'ensemble des enseignants de la spécialité, dont les enseignements et les conseils ont grandement contribué à ma formation.

Je tiens également à remercier les membres du jury, notamment **Pr. BENMAMAR Saâdia**, présidente du jury, ainsi que **Mr. LIMANE Abdelmounaim**, **Dr. MEZENNER Noured-dine** et **Mr. BOUSBAI M'hamed** pour l'intérêt porté à ce travail et le temps consacré à son évaluation.

Aya CHENNIT.

Table des matières

Liste des tableaux	8
Table des figures	9
Liste des acronymes	10
Introduction générale	12
1 Le contexte de la SEAAL	14
1.1 Introduction	14
1.2 Organisation	15
1.2.1 Missions	15
1.2.2 Chiffres clés	15
1.3 Direction du patrimoine	16
1.3.1 Missions principales	16
1.3.2 Rôle transversal au sein de l'entreprise	17
1.4 Conclusion	18
2 Généralités sur les modèles de machine learning	19
2.1 Introduction	19
2.2 Intelligence artificielle	19
2.3 Machine Learning	20
2.3.1 Définition et typologie	20
2.3.2 Les données d'apprentissage	21
2.3.3 Algorithmes de Machine Learning	21
2.3.3.1 Decision Tree (arbre de décision) :	22
2.3.3.2 Random Forest :	24

2.3.3.3	Random forest Regressor :	24
2.3.3.4	LightGBM (Light Gradient Boosting Machine) :	26
2.3.4	Mesures de performances et d'évaluation	28
2.3.4.1	Erreur Absolue Moyenne (MAE – Mean Absolute Error) : . . .	28
2.3.4.2	Erreur Quadratique Moyenne (MSE - Mean Squared Error) : . .	29
2.3.4.3	Racine de l'Erreur Quadratique Moyenne (RMSE - Root Mean Squared Error) :	29
2.3.4.4	Coefficient de Détermination (R^2 - Coefficient of Determination) :	30
2.3.4.5	F-mesure (F1-score) :	30
2.4	Logiciels utilisés	31
2.4.1	Visual Studio Code	31
2.4.2	Système d'information géographique	34
2.4.2.1	Définition du SIG	34
2.4.2.2	Les domaines d'application	34
2.4.2.3	Qu'est-ce que ArcGIS ?	34
2.4.2.4	Interface de ArcGIS ?	35
2.5	Conclusion	38
3	Nettoyage, Analyse et Prédiction des Données	39
3.1	Introduction	39
3.2	Présentation de la base de données	39
3.2.1	Source et structure des données	39
3.2.2	État initial de la base : manques et incohérences	40
3.2.3	Description des principales variables	41
3.3	Prédiction du diamètre	42
3.3.1	Objectifs de la prédiction	42
3.3.2	Choix de l'algorithme (Random Forest)	43
3.3.3	Évaluation des performances du modèle	44
3.3.4	Résultats obtenus et interprétation	44
3.4	Prédiction du type de matériau	46
3.4.1	Objectifs de la prédiction	46

3.4.2	Choix de l'algorithme Light GBM	47
3.4.3	Évaluation des performances du modèle	47
3.4.4	Résultats obtenus et interprétation	48
3.5	Résultats en chiffres	50
3.6	Traitement des variables restantes	53
3.7	Conclusion	56
4	Méthodologie et résultats de l'analyse multicritère	57
4.1	Introduction	57
4.2	Définition de l'analyse multicritère	58
4.2.1	Principes fondamentaux	58
4.2.2	Domaines d'application	58
4.2.3	Différentes familles de méthodes	59
4.2.4	Justification du choix de la méthode AHP	60
4.2.5	Les étapes de la méthode AHP	60
4.3	Identification, sélection et pondération des critères	62
4.3.1	Les méthodes de pondération des critères	63
4.3.2	Comparaison par paires des critères	66
4.3.3	Justification des notations	68
4.4	Résultats de l'analyse et interprétation	68
4.4.1	Scores globaux et classement des alternatives	68
4.4.2	Analyse comparative et interprétation des résultats	69
4.5	Vérification de la cohérence et validation	77
4.5.1	Indice de cohérence (CI)	77
4.5.2	Rapport de cohérence (CR)	80
4.6	Conclusion	82
5	Élaboration du Business Model Canvas (BMC)	83
5.1	Introduction	83
5.2	Présentation du Business Model Canvas	84
5.2.1	Définition du BMC	84
5.2.2	Présentation de la méthode d'élaboration	84

5.3	Construction du BMC de WEVOLIA	85
5.3.1	Segments de clientèle	85
5.3.2	Proposition de valeur	85
5.3.3	Canaux de distribution	87
5.3.4	Relations avec les clients	88
5.3.5	Sources de revenus	88
5.3.6	Ressources clés	89
5.3.7	Activités clés	90
5.3.8	Partenaires clés	90
5.3.9	Structure des coûts	91
5.4	Conclusion	92
	Conclusion générale	94
	Bibliographie	98

Confidentielle