

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

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département Hydraulique

Mémoire De Projet De Fin d'Études

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

Valorisation de boues issues de station d'épuration des eaux usées de
Baraki dans la production de biogaz contenant du méthane

SEDDIKI Imene & OULD KHESAL Ilham

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

Composition du jury :

Président :	Mr. BENZIADA Salim	MAA	ENP
Examinatrice :	Mme. TCHOULAK Yamina	MAA	ENP
Examineur :	Pr. SELATNIA Ammar	Pr	ENP
Promoteur :	Dr. SAHNOUN Ali Yacine	MCA	ENP
Co-promotrice :	Mme. LEMDANI Safia	MAA	ENP

ENP 2025

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

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département Hydraulique

Mémoire De Projet De Fin d'Études

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

Valorisation de boues issues de station d'épuration des eaux usées de
Baraki dans la production de biogaz contenant du méthane

SEDDIKI Imene & OULD KHESAL Ilham

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

Composition du jury :

Président :	Mr. BENZIADA Salim	MAA	ENP
Examinatrice :	Mme. TCHOULAK Yamina	MAA	ENP
Examineur :	Pr. SELATNIA Ammar	Pr	ENP
Promoteur :	Dr. SAHNOUN Ali Yacine	MCA	ENP
Co-promotrice :	Mme. LEMDANI Safia	MAA	ENP

ENP 2025

الملخص

يهدف إنتاج غاز حيوي غني بالميثان للمساهمة في تحسين تسيير نفايات محطات التصفية، وحماية البيئة. يدور هذا العمل حول الهضم اللاهوائي للحمأة المختلطة الناتجة عن محطة التصفية براقى. تم إجراء عملية تخمير، تلاها تحليل لمكونات الغاز الحيوي الناتج. في البداية، تم التحقق من وضعية التطهير في الجزائر من خلال إعداد خريطة وتحليل البيانات المجمعة حول محطات التطهير على المستوى الوطني. بعد عرض عملية الهضم الحيوي والطريقة التجريبية المستخدمة، تمت مقارنة نتائج إنتاج الغاز ومناقشتها مع بيانات محطة براقى خلال الفترة من 2016 إلى 2019. أظهرت هذه المقارنة قابلية تأمين واستغلال الطاقة الكامنة في الحمأة لإنتاج الغاز الحيوي.

الكلمات المفتاحية: الهضم اللاهوائي – الحمأة – الغاز الحيوي – الميثان – محطة براقى – التخمير الحيوي – التطهير.

Abstract

In order to produce methane-rich biogas to improve waste management in wastewater treatment plants and protect the environment, this work studies the anaerobic digestion of mixed sludge from the Baraki wastewater treatment plant. A fermentation process was carried out, followed by an analysis of the composition of the biogas obtained. Upstream, an investigation into the state of wastewater treatment in Algeria was conducted through mapping and analysis of data collected on WWTPs across the country. After presenting the biomethanation process and the applied operating method, the biogas production results are compared and discussed with data from the Baraki WWTP between 2016 and 2019. This approach highlights the feasibility and potential of sludge-to-energy recovery for biogas production.

Keywords : digestion – sludge – biogas – methane – Baraki WWTP – biomethanation – sanitation

Résumé

En vue de produire un biogaz riche en méthane pour maîtriser la gestion des déchets des stations d'épuration et protéger l'environnement, ce travail étudie la digestion anaérobie des boues mixtes issues de la station d'épuration de Baraki. Une fermentation a été menée, suivie d'une analyse de la composition du biogaz obtenu. En amont, une investigation de l'état d'épuration de l'Algérie a été mise à travers la cartographie l'analyse des données recueillies sur les STEP en Algérie. Après une présentation du procédé de biométhanisation et du mode opératoire appliqué, les résultats de production de biogaz sont comparés et discutés avec les données de la STEP de baraki entre 2016 et 2019. Cette approche a permis de mettre en évidence la faisabilité et le potentiel de la valorisation énergétique des boues en vue pour produire le biogaz.

Mots clés : digestion – boues – biogaz – méthane – STEP Baraki – biométhanisation – épuration

Remerciements

Nous remercions Dieu, le Tout-Puissant, de nous avoir guidés, fortifiés et inspirés tout au long de ce travail. Sa grâce nous a donné la force, la patience et le courage nécessaires pour mener à bien ce projet.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur, **Dr. SAHNOUN Ali Yacine**, et à notre co-promotrice, **Mme. LEMDANI Safia**, pour leur accompagnement précieux, leurs conseils judicieux, leur bienveillance, leur disponibilité, ainsi que leur soutien constant tout au long de ce travail. Leur encadrement rigoureux et leur confiance ont grandement contribué à la réussite de ce mémoire.

Nous adressons également nos vifs remerciements à la **SEAAL**, représentée par **Madame Baya** et le **chef de la station d'épuration de Baraki**, pour leur collaboration et leur accueil chaleureux sur le terrain.

Nos sincères remerciements vont également à **Monsieur Bousbai** et **Monsieur Kerchich**, professeurs à l'École Nationale Polytechnique, pour leur aide précieuse qui nous a permis d'achever nos essais pratiques dans les meilleures conditions.

Nous remercions chaleureusement **Monsieur S. BENZIADA**, Chef du département d'Hydraulique, pour l'honneur qu'il nous fait de présider le jury de notre soutenance.

Enfin, nous exprimons toute notre reconnaissance à **Monsieur A. SELATNIA** et **Madame Y. TCHOULAK** pour avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce travail.

Dedication

*To my dear parents, **Mom** and **Dad***

whose love, prayers, and sacrifices are the foundation of everything I have been able to accomplish.

*To my twin sister, **Ahlam**,*

my mirror soul and my lifelong companion.

*To my beloved sisters, **Imane**, **Afaf**, and **Bouchra**,*

for their unwavering support and love.

*To the souls of my grandparents, **Baba Lameri** and **Mima***

may Allah have mercy on them and grant them the highest level of Paradise.

*To my dear grandparents, **Baba Chikh** and **Mani Yamina**,*

whose presence remains a blessing in my life.

*To my precious friend and teammate, **Imene**,*

thank you for walking this path by my side. You were truly a gift from God, sent at just the right time.

To all my friends and classmates,

thank you for the laughter, the lessons, and the dreams we shared.

And finally,

*to the **Vniverse Cult**.*

Ilham OULD KHESAL

Dédicaces

*Before anything else, i want to thank my parents for the support they have given me since a young age and throughout my entire academic journey. **Mum, Dad**, thank you for the love and the sacrifices you have made, and still making for me, may God protect you and keep you by my side to cherish more successes in the future.*

*For my two brothers thank u for everyhting,
Allaoua, for being the older brother you are, and always being there when needed.
Mohamed Reda, for being the funny guy and the chill younger brother, and my partner in crime.*

*For my grandmother, **Imma**, may Allah bless you and grant you a long life.
To my family memebers that were their for me and cherished me. I want to thank each of you, one by one.*

*For my freinds, who made the journey less lonely.
This one is for, **Selsabila**, for our slow-burn friendship,. Your Citroën Berlingo has witnessed all our progress, growth, and all kinds of memories throughout our university journey. Thank you for being the chaos to my silence, and the silence to my chaos.*

*Without forgetting, my binôme of three years, **Ilham**, for being a great partener and a beautiful sou. Toghether we made this possible. I wish you all the best in your future.*

*and last but not least ;
i wanna thank me for beleivnig in me. For never giving up halfway,
for the dreams you still holding inside you, and the life you are trying to give meaning to.*

Imene SEDDIKI

Table des matières

Liste des tableaux

Table des figures

Liste des acronymes

Introduction générale	18
1 État d'épuration en Algérie	20
1.1 Introduction	20
1.2 Processus d'épuration des eaux usées en Algérie	20
1.3 Types de procédés de traitement des eaux usées en Algérie	21
1.3.1 Boues activées	21
1.3.2 Lagunage naturel	21
1.3.3 Lagunage aéré	22
1.3.4 Filtres plantés (ou lits plantés de roseaux)	22
1.3.5 Monobloc	22
1.4 Les établissements gérants des stations d'épuration en Algérie	23
1.4.1 ONA (Office National d'Assainissement)	23
1.4.2 SEAAL (La Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger)	23
1.4.3 SEOR (La Société de l'eau et de l'Assainissement d'Oran)	24
1.4.4 SEACO (La Société de l'eau et de l'Assainissement de Constantine)	24
1.5 Répartition des stations d'épuration selon leurs gérances	24
1.6 Répartition des stations d'épuration selon leur type de procédé	25
1.7 Répartition des stations d'épuration selon leur capacité en équivalent-habitant	26
1.7.1 Interpretation	26

1.7.2	Conclusion	27
1.8	Cartographie des statistiques des stations d'épuration en Algérie	27
1.8.1	Répartition des stations d'épuration en Algérie	33
1.8.2	Répartition des stations d'épuration à boue activée en Algérie	34
1.8.2.1	Interprétation de la distribution des stations à boues activées en Algérie	34
1.8.2.2	Conclusion	35
1.8.3	Répartition des stations d'épuration à Lagunage aéré en Algérie	36
1.8.3.1	Interprétation de la distribution des stations à lagunage aéré en Algérie	36
1.8.3.2	Conclusion	37
1.8.4	Répartition des stations d'épuration à Lagunage naturel en Algérie	38
1.8.4.1	Interprétation de la distribution des stations à lagunage naturel en Algérie	38
1.8.4.2	Conclusion	39
1.8.5	Conclusion de synthèse sur les procédés de traitement des eaux usées en Algérie	39
2	Gestion des boues	42
2.1	Introduction	42
2.2	Généralités sur les eaux usées	42
2.2.1	Définition et composition des eaux usées	42
2.2.2	Origine des eaux usées	42
2.2.2.1	Les eaux usées d'origine domestique	43
2.2.2.2	Les eaux usées d'origine industrielle	43
2.2.2.3	Les eaux usées d'origine agricole	43
2.2.2.4	Les eaux pluviales	43
2.3	Types de boues	43
2.3.1	Boues primaires	44
2.3.2	Boues biologiques	44
2.3.3	Boues physico-chimiques	44
2.3.4	Boues mixtes	44
2.3.5	Boues d'aération prolongée	44

2.3.6	Boues tertiaires	44
2.4	Traitement des Boues	45
2.4.1	Épaississement	45
2.4.1.1	Épaississement statique gravitaire	45
2.4.1.2	Épaississement dynamique	46
2.4.2	Stabilisation et Hygiénisation	46
2.4.3	Conditionnement des Boues	47
2.4.4	Déshydratation des Boues	47
2.4.5	Séchage	47
2.4.5.1	Voie naturelle	48
2.4.5.2	Voie thermique	48
2.4.6	Digestion	48
2.4.6.1	Digestion aérobie	49
2.4.6.2	Digestion anaérobie	49
2.4.6.3	Les conditions optimales pour la digestion anaérobie	49
2.4.6.4	Paramètres influençant la digestion	49
2.4.6.4.1	La température	49
2.4.6.4.2	Le temps de séjour hydraulique (TSH)	49
2.4.6.4.3	Le pH	49
2.4.6.4.4	La nature des boues à digérer	49
2.4.6.4.5	La présence de toxiques et d'inhibiteurs	50
2.4.6.4.6	L'agitation	50
2.5	Valorisation des boues	51
2.5.1	Valorisation énergétique	52
2.5.1.1	Production du biogaz	52
2.5.1.2	Le Compostage	52
2.5.2	Valorisation agricole	52
2.5.3	Valorisation industrielle	52
2.6	Caractéristiques des boues	53
2.6.1	Caractéristiques physico-chimiques	53
2.6.1.1	Les matières en suspension (MES)	53

2.6.1.2	Matière sèche (MS)	53
2.6.1.3	Siccité	53
2.6.1.4	Consistance de la boue	53
2.6.1.5	Matières volatiles (MV)	53
2.6.1.6	Potentiel d'hydrogène (pH)	54
2.6.1.7	Indice de Mohlman (Sludge Volume Index : SVI)	54
2.6.1.8	Charge spécifique	54
2.6.1.9	Compressibilité	54
2.6.1.10	Éléments nutritifs	54
2.6.1.11	Demande biologique en oxygène (DBO ₅)	54
2.6.1.12	Demande chimique en oxygène (DCO)	55
2.6.2	Caractéristiques biologiques	55
2.6.2.1	Composition des matières organiques	55
2.6.2.2	Pouvoir calorifique inférieur (PCI)	55
2.6.2.3	Composition des matières minérales	55
2.6.2.4	Micropolluants	55
2.6.3	Caractéristiques physiques	56
2.6.3.1	Résistance spécifique à la filtration	56
2.6.3.2	Conductivité électrique	56
2.6.3.3	Viscosité	56
2.7	Production de boue de la STEP	56
2.7.1	Interprétation	56
2.8	Contraintes et perspectives	57
2.8.1	Normes de rejet Algériennes	57
2.8.2	Risques environnementaux	57
2.9	Conclusion	58
3	Présentation de la STEP de Baraki	60
3.1	Introduction	60
3.2	Localisation géographique de la STEP de BARAKI	60
3.3	Caractéristiques techniques de la STEP de Baraki	61

3.4	Fonctionnement de la STEP de baraki	61
3.4.1	Filière Eau	62
3.4.2	Filière Boue	62
3.5	Conclusion	63
4	Biométhanisation	65
4.1	Introduction	65
4.2	La biomasse	65
4.2.1	Conversion de la biomasse	65
4.2.1.1	La voie sèche	66
4.2.1.2	La voie humide biochimique	66
4.2.1.3	La production de biocarburants liquides	66
4.3	Biométhanisation	66
4.3.1	Les procédés biologiques de la biométhanisation	67
4.3.1.1	Hydrolyse	67
4.3.1.2	Acidogenèse	67
4.3.1.3	Acétogenèse	67
4.3.1.4	Méthanogenèse	67
4.4	Paramètres influents sur la biométhanisation	68
4.4.1	La température	68
4.4.2	Temps de rétention hydraulique (TRH)	69
4.4.3	Le pH	69
4.4.4	Le rapport Carbone / Azote	69
4.4.5	Absence de l'oxygène	69
4.4.6	Brassage	70
4.4.7	Pression partielle en hydrogène	70
4.4.8	Humidité	70
4.5	Type de digesteurs	70
4.5.1	Classification des digesteurs	70
4.5.1.1	Mode d'alimentation	71
4.5.1.1.1	Digesteur batch (discontinu)	71

4.5.1.1.2	Digesteur continu	71
4.5.1.1.3	Digesteur semi-continu	71
4.5.1.2	Type de substrats	72
4.6	Technologies disponibles	72
4.7	Type de boue utilisée	72
4.8	Biogaz	73
4.8.1	Historique de la production du biogaz	73
4.8.2	Définition et principe de formation	73
4.8.3	Composition de biogaz	73
4.9	Valorisation du biogaz	74
4.9.1	Valorisation électrique	74
4.9.2	Valorisation thermique	74
4.9.3	Injection dans le réseau	74
4.9.4	Production de carburant véhicule	74
4.10	Équivalent énergétique du biogaz	75
4.11	Avantages et limites de la biométhanisation	75
4.11.1	Avantages	75
4.11.2	Inconvénients et risques	76
4.12	État de la biométhanisation en Algérie	76
4.13	Conclusion	76
5	Partie expérimentale	78
5.1	Introduction	78
5.2	Matériels utilisés	78
5.2.1	Boues résiduelles	78
5.2.2	Les caractéristiques de la boue utilisée	79
5.2.3	Interprétation	79
5.2.4	Appareillage	79
5.2.5	Équipement et verrerie	81
5.3	Mode opératoire	81
5.3.1	Mesure du pH de la boue	81

5.3.2	Préparation des réacteurs	81
5.3.3	Conditionnement anaérobie	81
5.3.4	Contrôle de la température	82
5.3.5	Suivi de la production de biogaz	82
5.3.6	Analyse de la composition du biogaz	82
6	Résultats et discussions	84
6.1	Introduction	84
6.2	Évolution de la production de biogaz	84
6.2.1	Interprétation	85
6.2.2	Interprétation	85
6.2.3	Analyse du rendement de production de biogaz	86
6.3	Analyse de la composition du biogaz	86
6.3.1	Qualité du biogaz produit	86
6.3.2	Perspectives d'optimisation	86
6.4	Évolution des principaux indicateurs de pollution à la STEP de Baraki	87
6.4.1	Évolution de la production de biogaz produit par la STEP	87
6.4.2	Interpretation	89
6.5	Évolution de quatité de MES présente dans les eaux de la STEP	90
6.5.1	Interprétation	91
6.6	Évolution de quatité de MVS présente dans les eaux de la STEP	92
6.6.1	Interprétation	93
6.7	Évolution de quatité de DCO présente dans les eaux de la STEP	93
6.7.1	Interprétation	95
6.8	Composition de biogaz produit dans la STEP	96
6.8.1	Interprétation	96
	Conclusion générale	98
	Bibliographie	99

Confidentielle