

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



المرکز الوطني للتحريات
والتقنية



Département d'Hydraulique
Mémoire de projet de fin d'études

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

Valorisation des boues des stations d'épuration municipales dans la
production du ciment

BOUFELLAH Lina & TARZI Chaima

Sous la direction de : **Dr. SAHNOUN Ali Yacine & Dr. BENAZZOUZ
Brahim-Khalil**

Présenté et soutenu publiquement le (04/07/2024)

Composition du jury :

Président :	Mr. BENZIADA Salim	MMA	ENP
Promoteur :	Dr. SAHNOUN Ali Yacine	MCA	ENP
Promoteur :	Dr. BENAZZOUZ Brahim khalil	MCA	ENP
Examineur :	P. BOUKHEMACHA Mohamed Amine	Pr	ENP
Examineur :	Dr. CHERRAK Messaouda	MCA	ENP

ENP 2024

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



المرکز الوطني للتحريات العلمية
والتقنية



Département d'Hydraulique
Mémoire de projet de fin d'études

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

Valorisation des boues des stations d'épuration municipales dans la
production du ciment

BOUFELLAH Lina & TARZI Chaima

Sous la direction de : **Dr. SAHNOUN Ali Yacine & Dr. BENAZZOUZ
Brahim-Khalil**

Présenté et soutenu publiquement le (04/07/2024)

Composition du jury :

Président :	Mr. BENZIADA Salim	MMA	ENP
Promoteur :	Dr. SAHNOUN Ali Yacine	MCA	ENP
Promoteur :	Dr. BENAZZOUZ Brahim khalil	MCA	ENP
Examineur :	Dr. BOUKHEMACHA Mohamed Amine	Pr	ENP
Examineur :	Dr. CHERRAK Messaouda	MCA	ENP

ENP 2024

ملخص

أدى النمو السكاني السريع والتوسع الحضري المتزايد إلى زيادة كبيرة في إنتاج الحمأة في محطات معالجة مياه الصرف الصحي المحلية، مما يشكل تحديًا بيئيًا كبيرًا لهذه الأخيرة.

غالبًا ما يتم تخزين حمأة مياه الصرف الصحي بطريقة غير مستدامة، مما قد يضر بالبيئة. إن استعادة الحمأة في صناعة الأسمنت هو حل واعد. من خلال دمج هذه الحمأة في صناعة إنتاج الأسمنت، فإننا لا نقلل فقط من اعتمادنا على المواد الخام التقليدية مثل الحجر الجيري والطين فحسب، بل يساهم أيضًا في تحقيق المزيد من الإدارة المستدامة للنفايات. يساعد هذا النهج في الحفاظ على المواد الطبيعية مع تقليل البصمة البيئية لصناعة الأسمنت بصرامة وإعطاء المزيد من الحياة للودائع.

الكلمات المحورية: معالجة مياه الصرف الصحي، الأسمنت، التثمين.

Abstract

Rapid population growth and increased urbanization have considerably increased sludge production at municipal wastewater treatment plants, posing a major environmental challenge. Sewage sludge, which is often stored or disposed of in an unsustainable manner, contains components that are potentially harmful to the environment. Recycling these sludges in cement production represents a promising solution. By integrating these sludges into the cement production process, we not only reduce our dependence on traditional raw materials such as limestone and clay, but also contribute to more sustainable waste management. This approach helps preserve natural resources while reducing the cement industry's environmental footprint and meeting environmental standards. Giving more life to the deposit

Keywords : sludge,wastewater treatment ,cement ,valorization.

Résumé

La croissance démographique rapide et l'urbanisation accrue ont considérablement augmenté la production de boues dans les stations d'épuration municipales, posant ainsi un défi environnemental majeur. Les boues d'épuration, souvent stockées ou éliminées de manière non durable, contiennent des composants potentiellement nocifs pour l'environnement. La valorisation de ces boues dans la fabrication de ciment représente une solution prometteuse. En intégrant ces boues dans le processus de production de ciment, non seulement on réduit la dépendance aux matières premières traditionnelles comme le calcaire et l'argile, mais on contribue aussi à une gestion plus durable des déchets. Cette approche aide à préserver les ressources naturelles tout en réduisant l'empreinte environnementale de l'industrie du ciment, tout en répondant aux normes environnementales de plus en plus strictes. L'impact environnemental associé est de donner plus de vie au gisement.

Mots clés : Boue ,station d'épuration,ciment,valorisation,durable .

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Nous remercions tout particulièrement la Société des Ciments de la Mitidja (SCMi) pour nous avoir accueillis en stage dans leur laboratoire. Leur soutien et leurs installations ont été essentielles à la bonne conduite de cette recherche.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à nos encadrants, Dr.SAHNOUN Ali Yacine et Dr.BENAZZOUZ Ibrahim Khalil, pour leur accompagnement, leurs précieux conseils et leur disponibilité tout au long de ce projet. Leur expertise et leurs encouragements ont été déterminants pour mener à bien ce travail.

Nous souhaitons également remercier Mme Messaouda CHERRAK, professeur au département de génie civil, pour son aide précieuse. Son soutien académique et son expertise ont été d'une grande aide.

Enfin, nous remercions notre famille et nos amis pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements tout au long de nos études .

Table des matières

Liste des tableaux

Table des figures

Liste des acronymes

Introduction générale	15
1 Généralités sur le ciment	16
1.1 Introduction	16
1.2 Définition du ciment	16
1.3 Fabrication du ciment	17
1.3.1 Extraction des matières premières	19
1.3.2 Préparation mécanique (Concassage)	19
1.3.3 Fabrication du ciment	20
1.3.3.1 La préparation du cru	20
1.3.3.2 Cuisson	21
1.3.3.3 Refroidissement	23
1.3.3.4 Broyage	23
1.3.3.5 Stockage, ensachage et expédition	24
1.3.4 Production du ciment en Algérie	25
1.4 Caractéristiques et propriétés du ciment	27
1.4.1 Caractéristiques chimiques du ciment	27
1.4.2 Caractéristiques physiques du ciment	28
1.4.3 Propriétés physiques du ciment	29
1.5 Hydratation du ciment	30

1.5.1	Hydratation des C_3A	33
1.5.2	Hydratation des C_3S	34
1.5.3	Hydratation du C_2S	35
1.6	Différents types de ciment et leurs classifications	36
1.6.1	Classification	36
1.6.2	Classes de résistance	37
1.7	Présentation de la cimenterie	37
1.7.1	Présentation Générale	37
1.7.2	Localisation	37
1.7.3	Historique	37
1.7.4	Utilité	38
1.8	Impacte de la production du ciment sur l'environnement	38
1.8.1	Emissions gazeuses	39
1.8.2	Rejets de poussières	39
1.9	Conclusion	40
2	La boue d'épuration	41
2.1	Introduction	41
2.2	Généralités sur la boue	41
2.3	La station d'épuration de Baraki	44
2.3.1	Présentation de la station	44
2.3.2	Localisation de la station de Baraki	44
2.3.3	La filière initiale de traitement de la STEP Baraki	45
2.3.4	Caractéristique de la station	45
2.4	Les types de boue	46
2.4.1	Les boues primaires	46
2.4.2	Les boues physico-chimique	46
2.4.3	Les boues biologique	47
2.4.4	Les boues mixtes	47
2.4.5	Les boues d'aération prolongées	48
2.4.6	Boues tertiaire	48

2.5	Le traitement des boues dans les stations d'épuration	49
2.5.1	L'épaississement	49
2.5.2	Stabilisation et hygiénisation	49
2.5.3	Déshydratation et conditionnement des boues	50
2.5.4	Séchage	50
2.6	Les caractéristiques de la boue	51
2.6.1	Caractéristiques physico-chimiques des boues	51
2.6.1.1	Les matières en suspension (MES)	51
2.6.1.2	Matière sèche (MS) et siccité (S)	51
2.6.1.3	Les matières volatiles (MV) et minérales(MM)	51
2.6.1.4	Charge spécifique	52
2.6.1.5	Potentiel d'hydrogène (pH)	52
2.6.1.6	Éléments nutritifs	52
2.6.1.7	Compressibilité	52
2.6.1.8	Indices de Mohlman (Sludge Volume Index : SVI)	52
2.6.2	Caractéristique Biologique	53
2.6.2.1	Composition des matières organiques	53
2.6.2.2	Pouvoir calorifique inférieur	53
2.6.2.3	Composition des matières minérales	53
2.6.2.4	Micropolluants	53
2.6.3	Caractéristiques physiques	53
2.6.3.1	La résistance spécifique à la filtration	53
2.6.3.2	Conductivité thermique	53
2.6.3.3	Viscosité	54
2.6.4	Les données de référence de la boue de la station d'épuration de Beraki .	54
2.6.5	Éléments traces métalliques de station d'épuration de beraki	54
2.7	Demande chimique en oxygène DCO	54
2.8	Demande biologique en oxygène	55
2.9	La biodégradabilité	55
2.10	surface spécifique de la boue	55
2.10.1	définition	55

2.10.2	Importance de la Surface Spécifique	56
2.11	Normes de rejet Algériennes	57
2.11.1	Caractéristiques de l'effluent	57
2.11.2	Caractéristiques des boues	57
2.11.2.1	Teneurs en éléments traces métalliques dans les boues	57
2.11.2.2	Spécifications microbiologiques des boues	58
2.11.2.3	Fréquence des analyses des boues	58
2.12	Impact environnemental et le risque sanitaire des boues	58
2.12.1	L'impact sur l'environnement :	58
2.12.2	Risque sanitaire	58
2.12.2.1	Les éléments traces inorganiques	59
2.12.3	Les éléments traces organiques	59
2.12.3.1	Eléments biologiques	59
2.13	Gestion de boue	60
2.14	Valorisation des boues	60
2.14.1	La valorisation énergétique	61
2.14.1.1	La production de biogaz	61
2.14.1.2	Incinération des boues	62
2.14.2	Valorisation agricole	62
2.14.3	Le compostage	62
2.14.4	Valorisation industrielle	62
2.15	conclusion	63
3	Mode opératoire	64
3.1	Introduction	64
3.2	Boue de station d'épuration	64
3.2.1	Source des boues	64
3.2.2	Méthode de collecte	64
3.2.3	Prétraitement des Boues	65
3.2.3.1	Séchage de la boue	65
3.2.3.2	Broyage de la boue	65

3.2.3.3	Tamisage de la boue	66
3.3	Ciment	66
3.3.1	Source du ciment	66
3.3.2	Préparation des mélanges ciment-boue	66
3.3.2.1	Première expérience	67
3.3.2.2	Deuxième expérience	67
3.3.3	Essais de caractérisation physique (normes NA 442- NA 231)	68
3.3.3.1	Sur ciment	68
3.3.3.2	Sur pâte	68
3.3.3.3	Sur mortier :	71
3.3.4	Essais de caractérisation chimique	74
3.3.4.1	Détermination de la perte au feu sur ciment	74
3.3.4.2	Détermination de la Chaux libre par acidimétrie	75
3.4	Conclusion	77
4	Résultats expérimentaux	78
4.1	Introduction	78
4.2	Résultats de la première expérience	78
4.2.1	Résultats de tamisage Alpine	78
4.2.2	Résultats de temps de prise	79
4.2.2.1	Résultats de début de prise	80
4.2.2.2	Résultats de fin de prise	81
4.2.3	Résultats d'expansion	81
4.2.4	Résultats de résistance	82
4.2.4.1	Résistance à 2jours	82
4.2.4.2	Résistance à 7jours	83
4.2.4.3	Résistance à 28 jours	83
4.3	Résultats de la deuxième expérience	84
4.3.1	Résultas de refue	84
4.3.2	Résultats de la résistance a la compression	85
4.3.2.1	Résistance à 2jrs	85

4.3.2.2	Résistance à 7jours	85
4.3.2.3	Résistance à 28 jours	86
4.4	Analyse des résultats	87
4.4.1	Analyse de la première expérience	87
4.4.1.1	Analyse des résultats de temps de prise	87
4.4.1.2	Analyse des résultats de résistance a la compression	87
4.4.2	Analyse de la deuxième expérience	88
4.5	Résultats finaux	89
4.6	Conclusion	90
	Conclusion générale	91
	Bibliographie	92

Confidentiel