

Etude de la stabilisation du sol de Buganga en RDC par ciment et chaux en vue de l'utilisation dans la construction routière

[Study on the stabilization of Buganga soil in DRC using cement and lime for road construction purposes]

Cirhuza Badesire Paterne¹, Ally Alinabiwe¹, Mlebing Bushiri Nelly¹, Bashige Germaine¹, Koko Katumbi¹, Prince Badesire², and François Ngapgue³

¹Department of Civil Engineering, Université Libre des Pays des Grands Lacs (BP 368), Goma, North Kivu, RD Congo

²Department of Civil Engineering, Université de Kinshasa (B.P. 127), Kinshasa, RD Congo

³Department of Civil engineering, Dschang University (BP134), Bandjoun, Cameroon

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This article studies the effect of stabilization through incorporation of cement and lime on the bearing capacity of soil from BUGANGA in the Democratic Republic of Congo, with the aim of using it in road construction. Physical, identification, compaction, and bearing tests were carried out in the laboratory on the natural soil as well as after stabilization. The results show that the soil is a fine, sandy clay with low plasticity consisting of 47.25% fines and has low bearing capacity. The addition of cement and lime increases the soil bearing capacity, with cement being more effective than lime. With 10% cement, the CBR rate increases from 5.37% to 46.32%, while with 10% lime, it increases from 5.37% to 28.916%. Soil stabilized with 10% cement or lime is suitable for use as a foundation layer for paved roads, while that stabilized with 5% cement or lime is suitable for platform layers for roads.

KEYWORDS: Cement, Lime, Soil, Stabilization, Bearing Capacity.

RESUME: Cet article étudie l'effet de la stabilisation par incorporation de ciment et de chaux sur la portance du sol de BUGANGA en RDC, en vue d'une utilisation dans la construction routière. Des essais physiques, d'identification, de compactage et de portance ont été réalisés au laboratoire sur le sol naturel et après stabilisation. Les résultats montrent que le sol est fin, argile sableuse peu plastique constitué de 47,25% de fines et a une faible portance.

L'ajout de ciment et de chaux augmente la portance du sol, l'ajout de ciment étant plus efficace que celui de chaux. Avec 10% de ciment, le taux de CBR augmente de 5,37% à 46,32%, tandis qu'avec 10% de chaux, il augmente de 5,37% à 28,916%. Le sol stabilisé avec 10% de ciment ou de chaux est approprié pour être utilisé en couche de fondation pour les chaussées revêtues, tandis que celui stabilisé avec 5% de ciment ou de chaux est adapté pour les assises de plateforme pour les chaussées.

MOTS-CLEFS: Ciment, Chaux, Sol, Stabilisation, Portance.

1 INTRODUCTION

Le développement durable doit être pris en compte dans toutes les activités humaines pour protéger l'environnement et gérer les ressources naturelles. La construction est une activité qui a le plus grand impact sur la nature, notamment lors des

travaux routiers (remblais, couches de forme ou d'assises autoroutiers, routiers, ferroviaires,...etc.) [1]. Pour éviter le transport de terres et valoriser les matériaux locaux, il est possible d'utiliser des sols extraits d'un déblai, d'améliorer les propriétés en fonctions des propriétés recherchées eu égard au milieu dans lequel ils vont intervenir [2].

Actuellement, la technique de traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques est largement utilisée pour améliorer les propriétés mécaniques du sol. La stabilisation chimique des sols permet d'améliorer les propriétés des sols et valoriser certains types de sol présentant des caractéristiques mécaniques faibles [3].

En somme, le sol de Buganga présente des imperfections diverses notamment une faible portance, des déformations importantes sous l'action des charges, etc. car il a été constaté pendant la période pluvieuse des bourbiers qui prennent naissance sur les routes en terre mais aussi on assiste à des glissements de terre dans cette cité. Le stabiliser permettrait de le valoriser pour des projets spécifiques [4], [5], [6], [7], [8].

Le présent article se propose de présenter les résultats de l'étude de la stabilisation du sol de Buganga en RDC par le ciment d'une part et la chaux la chaux d'autre part en vue de la meilleure utilisation dans les constructions routières.

2 MATERIELS ET METHODES

Le site choisi pour le prélèvement de l'échantillon est situé à BUGANGA, un village de la cité de Minova situé dans la province du Sud Kivu en République Démocratique du Congo (RDC). Limitée au nord par la rivière Cingiri, au sud par la rivière Mweha, à l'est par le lac Kivu et à l'ouest par la rivière Nyabarongo. La zone est caractérisée par des montagnes, des vallées et des sols alluvionnaires qui influencent la production agricole. La végétation est caractérisée par les bambous, les arbres et la savane herbacée. Les précipitations annuelles sont en dessous de 1600 mm. La zone est hydrographiquement riche avec plusieurs rivières et le lac Kivu.

Après prélèvement de l'échantillon, les essais d'identification (analyse granulométrique, les limites d'atterberg) et les essais de caractérisation mécanique (par la détermination des indices Proctor et CBR) ont été effectués au laboratoire de génie civil de la faculté des sciences et technologies appliquées.

La teneur en eau a été déterminée suivant la norme NF P 94-050 [12] sur un échantillon de sol remanié, la masse volumique apparente suivant la norme NF P 94-053 [13], la masse volumique absolue mesurée au pycnomètre selon la norme NF P 94-054 [14]. L'analyse granulométrique a été effectuée par voie humide suivant la norme NF P 94-056 [9] en vue de connaître la distribution granulométrique du sol de BUGANGA. L'essai des limites d'Atterberg a permis de connaître l'état de consistance du sol de BUGANGA. La limite de plasticité a été déterminée suivant la norme NF P 94-051 [15] et l'indice de plasticité a été déterminé suivant la norme NF P 94-057 [16]. L'essai Proctor modifié nous a permis de déterminer la teneur en eau optimale ainsi que la densité sèche maximale suivant la norme NF P 94-093 [11]. L'essai CBR nous a permis de déterminer l'indice CBR suivant la norme NF P 94-078 [10].

3 RESULTATS

Cette section présente les résultats obtenus pour les différents essais effectués au laboratoire et leur interprétation sur le sol de BUGANGA à l'état naturel ainsi qu'à l'état stabilisé par la chaux et le ciment.

3.1 CARACTERISATION DU SOL DE BUGANGA A L'ETAT NATUREL

3.1.1 DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES D'ÉTAT

Les paramètres d'état du sol de BUGANGA sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1. Valeurs obtenues sur les différents paramètres d'état du sol de BUGANGA

Paramètres	Unités	Valeurs
Teneur en eau naturelle	%	11,08
Masse volumique apparente (ρ)	g/cm ³	1,08
Masse volumique sèche (ρ_d)	g/cm ³	0,97
Masse volumique des grains solides (ρ_s)	g/cm ³	2,49
Indice des vides (e)		1,56
Porosité (n)	%	60,93
Degré de saturation (Sr)	%	17,68

3.1.2 COMPOSITION GRANULOMÉTRIQUE

La composition granulométrique du sol de BUGANGA est présentée sur la Fig. 2.

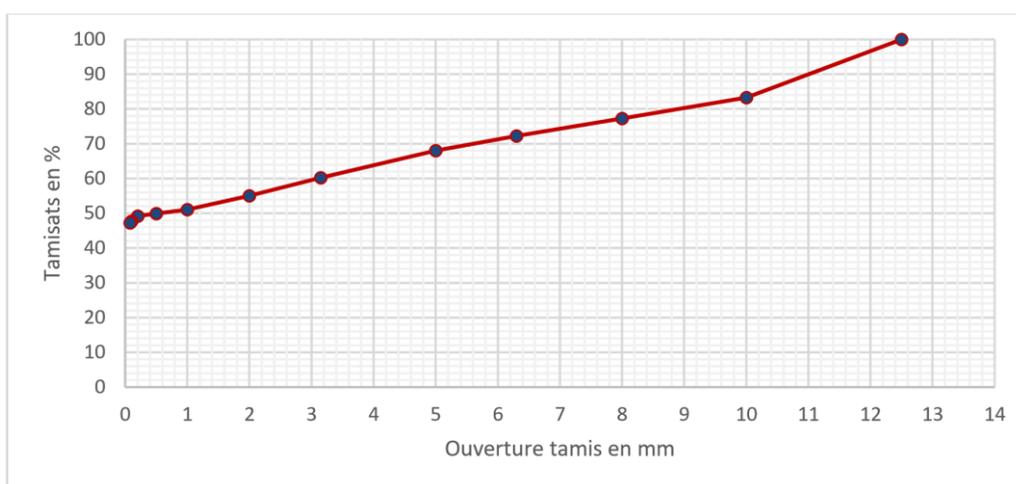


Fig. 1. Composition granulométrique du sol de BUGANGA

3.1.3 LIMITES D'ATTERBERG

La limite de plasticité moyenne obtenue pour les trois essais effectués est égale à 22,223% et la limite de liquidité trouvée à partir du graphique de la fig. 3 est de 39%. De par les valeurs de la limite de liquidité et de la limite de plasticité nous trouvons que l'indice de plasticité du sol de BUGANGA à l'état naturel est de 16,77%.

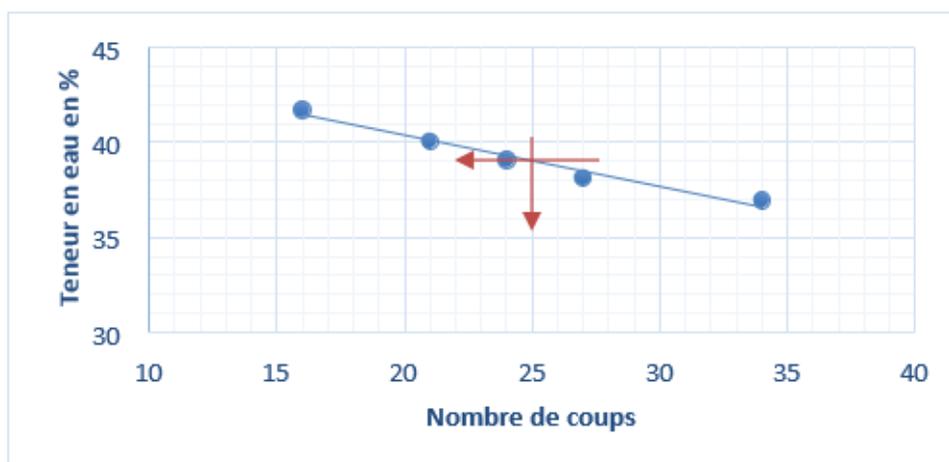


Fig. 2. Limite de liquidité du sol de BUGANGA à l'état naturel

3.1.4 CLASSIFICATION DU SOL DE BUGANGA

De par l'analyse granulométrique et les limites d'atterberg, il advient que le sol de BUGANGA appartient à la classe des sols fins. S'agissant du type, c'est une argile sableuse peu plastique avec un potentiel de gonflement moyen.

3.1.5 PROCTOR MODIFIE DU SOL DE BUGANGA

La densité sèche maximale du sol de BUGANGA (Fig. 4) est de 2,092 t/m³ avec une teneur en eau maximale de 10,9%.

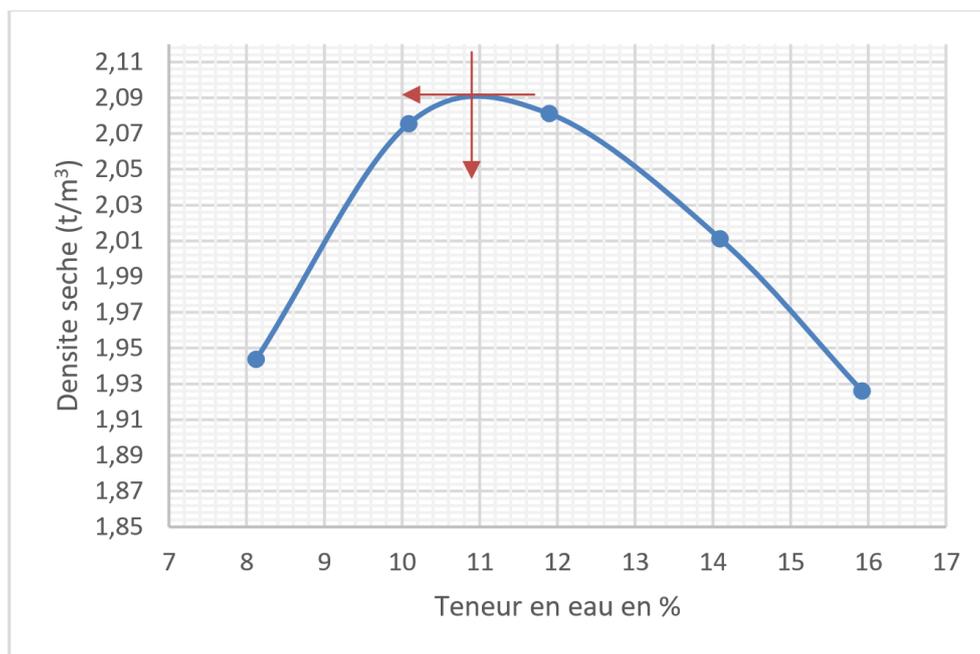


Fig. 3. Courbe Proctor du sol de BUGANGA

3.1.6 PORTANCE DU SOL DE BUGANGA

L'indice CBR après quatre jours d'immersion (Tableau 2) étant égal à 5,37% correspondant à 95% de compactage. D'après [16], ayant trouvé un CBR compris entre 3% et 6% nous pouvons dire alors que le sol de BUGANGA appartient à la classe de portance S1 correspondant à une portance faible.

Tableau 2. Indice de Portance du sol de BUGANGA

Enfoncement	Effort de pénétration	CBR après immersion
CBR2,5	$\frac{0,65}{13,6} \times 100$	4,78%
CBR5	$\frac{1,09}{20,3} \times 100$	5,37%

3.2 CARACTERISTIQUES DU SOL DE BUGANGA STABILISE AU CIMENT

3.2.1 EVOLUTION DES LIMITES D'ATTERBERG EN FONCTION DE LA TENEUR EN CIMENT

Les limites de liquidité et de plasticité ont été déterminées sur différents pourcentages de ciment allant de 0 à 10% (Tableau 3). La limite de liquidité (WL) ainsi que l'indice de plasticité (Ip) du sol de BUGANGA diminuent en fonction de l'ajout en teneur en ciment. Quant à la limite de plasticité (Wp), elle augmente en fonction de l'ajout en teneur en ciment.

Tableau 3. Limites d'atterberg du sol de BUGANGA en fonction du pourcentage en Ciment

Teneur en ciment	0%	5%	7,5%	10%
Wl (%)	39,00	37,25	35,9	35,3
Wp (%)	22,223	23,846	25,30	26,37
Ip (%)	16,77	13,404	10,6	8,93

3.2.2 EVOLUTION DES CARACTERISTIQUES PROCTOR MODIFIE EN FONCTION DE LA TENEUR EN CIMENT

L'ajout de la teneur en ciment diminue la densité sèche du sol de BUGANGA et augmente la teneur en eau optimale de ce dernier (Tableau 4).

Tableau 4. Variation de la densité sèche maximale et de la teneur en eau en fonction de différents dosages en Ciment

Dosage en Ciment	0%	5%	7,5%	10%
Densité sèche maximale	2,092	2,057	1,965	1,81
Teneur en eau optimale (%)	10,9	11,62	13,2	15,25

3.2.3 EVOLUTION DE L'INDICE CBR EN FONCTION DE LA TENEUR EN CIMENT

L'ajout de la teneur en ciment augmente l'indice CBR du sol de BUGANGA (Tableau 5).

Tableau 5. Variation de l'indice CBR en fonction du % de Ciment

Teneur en Ciment (%)	0	5	7,5	10
CBR après immersion	5,37	24,29	33,11	46,32

3.3 CARACTERISTIQUES DU SOL DE BUGANGA STABILISE A LA CHAUX

3.3.1 EVOLUTION DES LIMITES D'ATTERBERG EN FONCTION DE LA TENEUR EN CHAUX

On remarque (Tableau 6) que la limite de liquidité ainsi que l'indice de plasticité du sol de BUGANGA diminuent en fonction de l'ajout en teneur en chaux. Quant à la limite de plasticité, elle augmente en fonction de l'ajout en teneur en chaux.

Tableau 6. Limites d'Atterberg du sol de BUGANGA en fonction du pourcentage en chaux

Teneur en chaux	0%	5%	7,5%	10%
W _L (%)	39,00	37,8	36,5	35,8
W _p (%)	22,223	25,699	26,396	27,026
Ip (%)	16,77	12,101	10,104	8,774

3.3.2 EVOLUTION DES CARACTERISTIQUES PROCTOR MODIFIE EN FONCTION DE LA TENEUR EN CHAUX

L'ajout de la teneur en chaux diminue la densité sèche du sol de BUGANGA et augmente la teneur en eau optimale de ce dernier (Tableau 7).

Tableau 7. Variation de la densité sèche maximale et de la teneur en eau en fonction de différents dosages en chaux

Dosage en Chaux	0%	5%	7,5%	10%
Densité sèche maximale	2,092	2,059	1,935	1,826
Teneur en eau optimal (%)	10,9	13,2	14,97	16,8

3.3.3 EVOLUTION DE L'INDICE CBR EN FONCTION DE LA TENEUR EN CHAUX

On remarque (Tableau 8) que l'ajout de la teneur en chaux augmente l'indice CBR du sol de BUGANGA.

Tableau 8. *Variation de l'indice CBR en fonction du % en chaux*

Teneur en Chaux (%)	0	5	7,5	10
CBR après immersion	5,37	15,52	22,25	28,92

4 DISCUSSIONS DES RESULTATS

Les résultats obtenus en se basant sur la classification GTR et LCPC permettent de dire que le sol de BUGANGA appartient à la classe des sols fins (% fines $\geq 35\%$: 47,25%) [16]. S'agissant du type de sol, c'est une argile sableuse ($I_p = 16,77\%$) et peu plastique mais aussi ce sol est caractérisé comme étant un sol de faible portance (CBR=5,37%). S'agissant du gonflement, il a été trouvé que le sol de BUGANGA a un gonflement moyen.

Avec une portance faible [16], le sol de BUGANGA nécessite une stabilisation pour son utilisation dans les constructions routières.

Partant de l'évolution en teneur en ciment et en chaux, on remarque que:

- L'ajout du ciment diminue plus la limite de liquidité par rapport à l'ajout de la chaux. D'où pour une teneur en chaux de 10%, la limite de liquidité est réduite de **8,2%** et pour la même teneur on observe une réduction de **9,48%** pour le ciment
- L'ajout de la chaux augmente plus la limite de plasticité par rapport à l'ajout du ciment. D'où pour une teneur en chaux de 10% la limite de plasticité a augmenté de **21,61%** et pour la même teneur, on observe une augmentation de **18,66%** pour le ciment
- L'indice de plasticité du ciment dépasse celui de la chaux. D'où pour une teneur en ciment de **10%**, l'indice de plasticité est réduit de **46,75%** et pour la même teneur on observe une réduction de **47,68%** pour la chaux
- Il y a abaissement de la densité sèche maximale pour le ciment et pour la chaux. D'où la densité sèche maximale est passée de **2,092 t/m³** à **1,81 t/m³** pour 10% de teneur en ciment et de **2,092 t/m³** à **1,826 t/m³** pour la même teneur en chaux
- Il y a une augmentation de la teneur en eau à la fois pour le ciment et pour la chaux. D'où la teneur en eau optimale est passée de **10,9%** à **15,25%** pour le ciment; soit une augmentation de **39,9%** et pour la chaux, elle est passée de **10,9%** à **16,8%**; soit une augmentation de **54,128%**
- Le sol de BUGANGA a un CBR de **5,37%** à l'état naturel et par conséquent il est d'une portance faible (classe S1) [16]. Stabilisé à **5%** au ciment et à la chaux, il passe de **5,37%** à **15,517%** et **24,29%** respectivement; il passe alors d'une portance faible à une portance élevée (classe S3). Stabilisé à **7,5%** au ciment et à la chaux, la portance du sol de BUGANGA passe de faible à élevée pour la chaux soit **22,2516** et très élevée pour le ciment soit **33,1128**. La stabilisation à **10%** quant à elle permet de passer d'une portance faible à une portance très élevée; soit **46,32%** pour le ciment et **28,916%** pour la chaux

D'où la stabilisation du sol au ciment augmente significativement la portance du sol de BUGANGA par rapport à la stabilisation à la chaux.

5 CONCLUSION

La présente étude avait comme objectif de faire une comparaison de la stabilisation du sol au ciment et à la chaux avec application au sol de BUGANGA à Minova en vue de son utilisation dans les constructions routières (couches d'assise et plateforme support des chaussées).

En somme, cette étude a révélé que la stabilisation du sol de BUGANGA à Minova à l'aide du ciment ou de la chaux est efficace pour améliorer ses propriétés géotechniques et le préparer à une utilisation dans les constructions routières. Les résultats montrent une diminution de la limite de liquidité, une augmentation de la limite de plasticité, une diminution de

l'indice de plasticité, une diminution de la densité sèche maximale, une augmentation de la teneur en eau optimale, une augmentation de l'indice CBR après immersion et une diminution du gonflement linéaire, après sa stabilisation par le ciment ou la chaux.

Il est recommandé de procéder à une stabilisation du sol à la pouzzolane et de réaliser une étude technico-économique approfondie pour éclairer le choix de la procédure de stabilisation la plus appropriée [17], [18], [19].

Ces résultats pourront être utiles aux ingénieurs et professionnels du génie civil dans leurs projets de construction de routes dans la région de Minova.

REFERENCES

- [1] B. Indraratna, «Developing sustainable geotechnical solutions in transport infrastructure construction,» *International Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 1-2, Jan. 2017.
- [2] J.F. Chatab et al., Valorisation des sols latéritiques pour la construction des remblais routiers au Bénin, *Revue CAMES - Science et Technique*, vol. 7, pp. 75-86, 2013.
- [3] P. Duffaut et al., «Traitement des sols aux liants hydrauliques pour les chaussées en Allemagne, » *Le Moniteur des Travaux Publics*, no. 5802, pp. 59-62, Mai 2015.
- [4] T.D. Lin et al., «Stabilization of Roadway Subgrade Soil by Water Repellent Admixtures,» *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 33, no. 3, Mar. 2021.
- [5] Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, *Guide pratique de la construction durable*, Éditions Territorial, 2015.
- [6] A. Debrit, «Valorisation des sols de carrière pour la construction de chaussées, » *Le Moniteur des Travaux Publics*, no. 5795, pp. 70-72, Mar. 2015.
- [7] L. Mohajeri et al., «Mechanical and Micro-structural improvement of soil treated by cement and lime,» *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 10, no. 1, Jan. 2021.
- [8] M. Hong et al., «Environmental characterisation of stabilised dredged mud for sustainable road infrastructures,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 266, Mar. 2020.
- [9] Association Française de Normalisation (AFNOR), Norme NF P 94-056. Granulats –Analyse granulométrique – Méthode par voie humide, AFNOR, France, 2003.
- [10] Association Française de Normalisation (AFNOR). Norme NF P 94-078. Granulats – Détermination de l'indice CBR – Méthode d'essai, AFNOR, France, 2005.
- [11] Association Française de Normalisation (AFNOR), Norme NF P 94-093. Sol stabilisé – Essai Proctor modifié – Méthode d'essai, AFNOR, France, 2007.
- [12] NF P 94-050, Sols: Reconnaissance et essais - Détermination de la teneur en eau des sols, AFNOR, France, 1995.
- [13] NF P 94-053, Sols: Reconnaissance et essais - Détermination de la masse volumique apparente d'un sol, AFNOR, France, 1995.
- [14] NF P 94-054, Sols: Reconnaissance et essais - Détermination de la masse volumique absolue d'un sol au picnomètre. AFNOR, France, 1996.
- [15] NF P 94-051, Sols: Reconnaissance et essais - Limites d'Atterberg: Limite de plasticité, AFNOR, France, 1995.
- [16] LCPC, Guide de caractérisation des sols et des enrochements pour les travaux routiers, Editions du LCPC, 1993.
- [17] F. Hedayati, A. Behnia, and S. Hedayati, «Stabilization of soil with cement and lime: A review», *Journal of Materials Science Research*, vol. 5, pp. 20-31, 2016.
- [18] R. Basha, T. Hashim, and M. Mahmud, «Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement», *Construction and Building Materials*, vol. 23, pp. 2245-2250, 2009.
- [19] J. M. Galera, M. M. Martín-Rosales, and J. L. Santana, «Mechanical properties of materials stabilized with different blends of lime, cement, and fly ash», *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 28, 2016.
- [20] C. Wei and Y. Wu, «Effective utilization of lime and cement in marine soft soil stabilization», *Materials Research Express*, vol. 5, 2018.