

## RENFORCEMENT D'UN SABLE-LIMONEUX PAR LES DÉCHETS DE BRIQUES : EFFETS DE DIAMÈTRE

Réception : 10/03/2025

Acceptation : 29/04/2025

Publication : 10/06/2025

BETTAHAR Ayyoub<sup>1</sup>, ARAB Ahmed<sup>1</sup>, BENGHALIA Yacine<sup>1</sup><sup>1</sup>Génie civil, Laboratoire des Sciences de Matériaux et Environnement, Université Hassiba Benbouali, CHLEF, ALGERIE (ayyoubbettahar@gmail.com)

**Résumé-** Les déchets de démolition font référence aux matériaux et débris générés lors de la démolition d'un bâtiment ou d'une structure. Ces déchets incluent divers matériaux de construction tels que le béton, les briques, le mortier, le bois et les métaux ainsi que des déchets dangereux comme les peintures, solvants, amiante et autres produits chimiques. On y trouve aussi des débris tels que des morceaux de plâtre, des tuiles cassées, du verre, ainsi que des emballages en carton, plastique et palettes en bois. L'utilisation des déchets de démolition pour renforcer mécaniquement les sols constitue une approche à la fois efficace et durable, combinant avantages environnementaux et économiques. En intégrant ces matériaux recyclés dans les projets de construction, il est possible d'améliorer les performances des sols tout en adoptant une gestion responsable des déchets. Le recyclage des déchets est aujourd'hui reconnu comme une solution bénéfique, offrant des ressources renouvelables et durables qui soutiennent le processus de construction dans le domaine du génie civil, tout en contribuant à la protection de l'environnement. Dans ce travail, nous étudierons le comportement du sable de Oued Rass, situé dans la région de la WILAYA de CHLEF, mélangé avec 10 % et 20 % de fines retirées, traitées avec deux proportions de déchets de briques (10 % et 20 %) et deux tailles de grains (0,63 mm et 1 mm), sous une contrainte normale de 100 kPa, avec un indice de densité relative  $D_r = 90\%$  à l'état sec. Les résultats trouvés montrent qu'avec l'augmentation des déchets de brique la résistance augmente par rapport au sable-limon seul. Il a été trouvé que la résistance avec des grains de brique de 1mm conduit à une meilleure résistance que celle de 0,63mm.

**Mots - clés :** Sable, Cisaillement, Amélioration du sol, Déchets de briques, Résistance mécanique.

### 1-Introduction

Le sol est une ressource précieuse dont les humains dépendent pour toutes activités. Au niveau de la texture pure du sol, il existe trois composants essentiels : le sable, le limon et l'argile. Ce que l'on appelle la fraction minérale du sol. Celle-ci résulte de la dégradation de la roche mère située sous le sol. Ces composants se différencient en fonction de la granulométrie. On trouve deux sortes de sol : un sol stable et un sol instable.

L'instabilité d'un sol engendre plusieurs conséquences, tels que le gonflement, tassement, etc. La stabilisation d'un sol est un terme général désignant toute méthode physique, chimique, mécanique, biologique ou combinée, de la modification du sol naturel pour répondre à un objectif technique.

Généralement, la stabilisation des sols induit une amélioration de leurs propriétés. Un sol est étudié avec un autre élément mélangé avec le sol que nous souhaitons stabiliser. Ces améliorations comprennent l'augmentation des capacités portantes, les changements de volume et des performances des sous-sols in situ, afin de renforcer par exemple les surfaces routières et pourra aussi servir à d'autres applications géotechniques. Les déchets de construction, en particulier les déchets inertes, peuvent jouer un rôle essentiel dans le renforcement des sols et la préservation de l'environnement. Leur utilisation permet de limiter l'impact environnemental, d'éliminer le gaspillage des matériaux et d'économiser des ressources précieuses. Les recherches antérieures ont démontré que l'utilisation des déchets de briques dans le domaine de la construction présente des avantages significatifs, notamment en améliorant la résistance des matériaux. Selon

l'étude menée par Azzedine Lahmadi et al., l'incorporation de 30 % à 50 % de déchets de briques dans le béton a permis d'augmenter sa résistance à la traction à 3 MPa, contre 2 MPa pour un béton non traité [1].

Par ailleurs, Prooja Pardakhe et Preeti Ban, ont analysé l'effet des déchets de briques sur la résistance à la compression des sols noirs de coton. Leurs résultats indiquent une augmentation de 14,36 %, 28,50 % et 44,83 % de la résistance à la compression non confinée pour des mélanges contenant respectivement 10 %, 20 % et 30 % de ces déchets [2].

Rizgar et al., ont travaillé sur un sol limoneux plastique en Irak, constatant que la résistance du sol s'améliorait avec l'ajout de poudre de briques. Ils ont testé différentes proportions (6 %, 12 %, 18 %, 24 % et 30 %) en les mélangeant avec du sable, observant une augmentation de la résistance mécanique du sol, qui est passée de 150 à 300 kPa [3].

De même, Saand et al., ont étudié l'impact des déchets de briques sur un sol argileux, en intégrant des pourcentages allant de 5 % à 40 %. Ils ont relevé une amélioration de la résistance, passant de 377 kPa à 458 kPa grâce à la présence de poudre de briques [4].

Enfin, Shriful Islam et al., ont évalué l'évolution de la résistance mécanique d'un sol argileux faiblement résistant sur une période de 28 jours. Lorsqu'un taux de 25 % de poudre de déchets de briques a été utilisé, la résistance a atteint 300 kPa au bout de 7 jours, 400 kPa après 14 jours et 550 kPa au terme des 28 jours [5].

Depaa a montré que l'utilisation de matériaux stabilisants, tels que les déchets de briques, améliore les valeurs du CBR dans les couches de fondation ainsi que sur la plateforme routière [6]. De leur côté, Katti et Sankar, ont étudié l'évolution du rapport de portance et des propriétés de résistance d'un sol expansif stabilisé par un mélange de chaux et d'agrégats de brique. Leurs résultats ont révélé une amélioration notable de la valeur du CBR pour le sol traité avec cette combinaison, surpassant l'efficacité d'une stabilisation exclusive à la chaux [7].

Tiwari et al., ont également analysé un sol expansif stabilisé avec de la poussière de brique et de la chaux, ils ont observé une augmentation significative de la résistance à la compression non confinée à mesure que la proportion de ces matériaux augmentait, atteignant un maximum avec 6 % de chaux et 25 % de poussière de brique. Par ailleurs, la valeur du CBR a enregistré une hausse spectaculaire, pouvant atteindre 1000 % grâce à cette incorporation [8].

Hidalgo et al., ont démontré que l'ajout de poussière de brique renforçait la résistance du sol d'un facteur compris entre 1,7 et 2,3 par rapport à un sol non traité [9]. De même, Sabri et al., ont étudié la stabilisation d'un sol expansif à l'aide de chaux et de poussière de briques. Ils ont constaté que l'ajout de 5 % de chaux et de 30 % de poussière de brique permettait de réduire l'indice de gonflement du sol jusqu'à 8 % [10].

Cet article expose les résultats des essais de cisaillement rectiligne réalisés sur des mélanges composés d'éléments fins et des déchets de briques avec le sable-limoneux d'Oued Rass (Chlef). Cette étude expérimentale porte principalement sur l'impact de la fraction des fines peu plastiques et des déchets de briques sur la résistance au cisaillement ainsi que sur les propriétés mécaniques du mélange.

## 2- Matériels et Méthodes

Les essais ont été réalisés sur le sable de Oued Rass, qui se caractérise par une couleur jaune et une forte teneur en silice (81,37 %) ainsi qu'en chaux (6,40 %). Ce sable contient 5,08 % de fines. La courbe granulométrique de ce sable est illustrée sur la figure 1 conformément à la norme NF P 94-056 [11]. Il s'agit d'un sable moyen avec un diamètre  $D_{50}$  de 0,37 mm. Les grains de ce sable sont arrondis. Les essais ont été effectués dans un état dense ( $Dr = 90 %$ ), à sec, en utilisant deux proportions de déchets de briques (0,63 mm et 1 mm), sous une contrainte normale de 100 kPa.

Tout d'abord, nous allons caractériser la résistance mécanique du sol étudié (témoin), puis le traiter avec des déchets de briques. Ces derniers seront broyés à l'aide de l'appareil de LOS ANGELES afin de les réduire en grains (Figure 2). Ensuite, ils seront tamisés pour obtenir des particules passant entre 1 mm et 0,63

mm, ainsi qu'entre 0,63 mm et 0,25 mm. La courbe granulométrique des grains de déchets de briques est présentée sur la figure 3 selon la norme [11]. Le tableau 1 présente les caractéristiques physiques des sols analysés. La norme NF P 94-054 [12] a été utilisée pour caractériser la masse volumique des grains solides à l'aide du pycnomètre et la norme NF P 94-059 [13] pour l'identification de l'indice des vides maximales et minimales des sols étudiés.

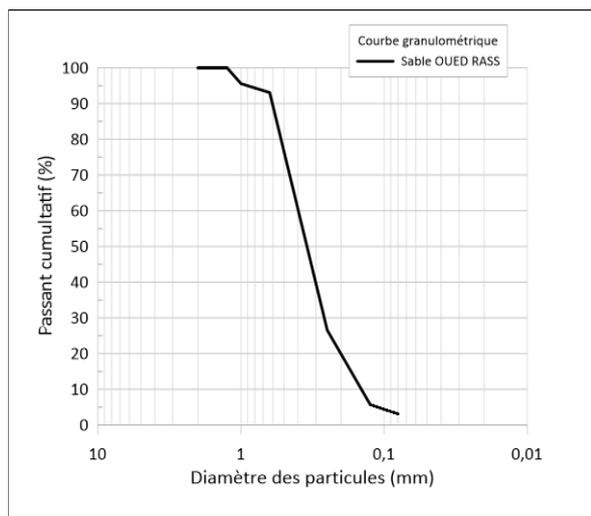


Figure 1 : Courbe granulométrique (sable Oued Rass).



Figure 2 : Grains des déchets de briques.

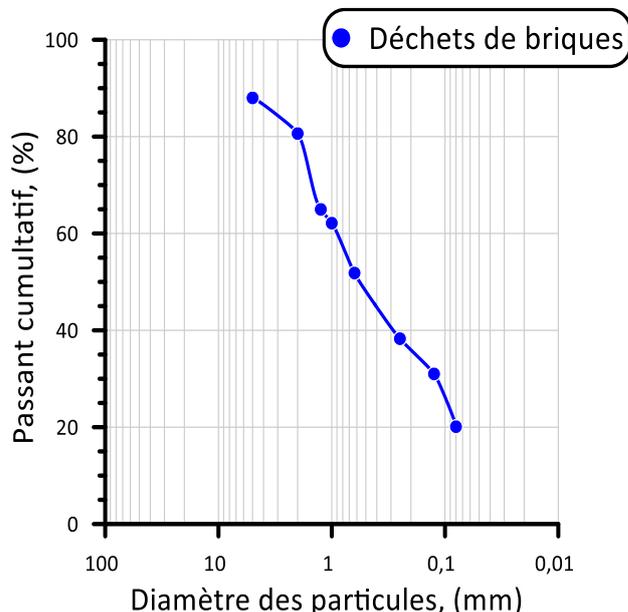


Figure 3 : Courbe granulométrique (Déchets de briques).

Tableau 1 : Caractéristiques des matériaux.

Matériau	D <sub>50</sub> (mm)	γ <sub>s</sub>	e <sub>min</sub>	e <sub>max</sub>
Sable Oued Rass	0,37	2,67	0,44	0,66
Déchets de briques	0,59	2,59	0,83	1,27

### 2.1- Dispositif des essais

Le dispositif expérimental utilisé comprend un appareil de cisaillement direct (Figure 4). Avant de procéder à tout essai sur le comportement mécanique du sol, il est nécessaire de préparer les échantillons et de peser les mélanges que l'on souhaite tester, en fonction de la nature du sol étudié, afin d'assurer une exécution fiable. L'échantillon de sol est placé dans des demi-boîtes, qui peuvent se déplacer horizontalement l'une par rapport à l'autre. Un piston applique une contrainte normale constante sur le sol durant toute la durée

de l'essai, tandis qu'une des demi-boîtes est déplacée horizontalement à une vitesse constante selon la norme NF P 94-071-1 [14].



Figure 4 : Machine de cisaillement.

### 2.1.1- Mode opératoire

Après avoir rempli la boîte de CASAGRANDE, les vis sont serrées, puis la boîte est placée sur l'appareil de cisaillement. Ensuite, elle est fixée à l'appareil à l'aide de boulons spéciaux. Une fois la boîte correctement installée, un capteur est positionné sur le dessus. Les données concernant la vitesse et la contrainte normale souhaitée sont ensuite saisies dans le logiciel connecté à la machine. L'essai est lancé après avoir retiré les vis de la boîte, permettant ainsi son déplacement horizontal sans contrainte.

### 2.1.2- Préparation des échantillons

Pour le remplissage de la boîte par l'échantillon (**sable propre**) est illustré ci-dessous:

On prendra la densité relative  $D_r = 90\%$ , ensuite on procède au calcul des paramètres suivants :

1. Caractéristiques d'indentification ( $\gamma_{dmin}$ ,  $\gamma_{dmax}$ ,  $\gamma_s$ ,  $e_{min}$  et  $e_{max}$ )
2. Indice des vides ( $e$ )
3. Masse de l'échantillon (g) pour remplir la boîte.

### Cas du sable propre + limon

Avec la même procédure comme pour le cas du sable propre, en introduisant cette fois-ci des

taux (%) de limon à partir de la masse calculée précédemment, soit :

10% limon + 90% sable propre

20% limon + 80% sable propre

### Cas du sable propre + limon + déchets de briques :

On garde les mêmes procédures précédentes pour le remplissage de la boîte, cette fois-ci on varie le taux des déchets de briques avec leurs tailles, soit :

10% limon + 10% déchets de briques (0,63mm ; 1mm) + 80% sable propre

10% limon + 20% déchets de briques (0,63mm ; 1mm) + 70% sable propre

20% limon + 10% déchets de briques (0,63mm ; 1mm) + 80% sable propre

20% limon + 20% déchets de briques (0,63mm ; 1mm) + 70% sable propre

## 3-Résultats et discussions

Les essais de cisaillement réalisés sur le sable de l'Oued Rass, mélangé avec les fines retirées, ont été effectués en incorporant deux proportions de grains de briques de tailles différentes (0,63 mm et 1 mm) dans un état dense ( $D_r = 90\%$ ) sous une contrainte normale de 100 kPa.

### 3.1- Influence de la teneur des fines sur la résistance au cisaillement

La figure 5 illustre la variation de la contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal du mélange de sable propre d'Oued Rass mélangé par ses propres fines de 10 et 20%. On constate que chaque augmentation des fines au sable s'accompagne d'une diminution de la résistance au cisaillement du sol. Pour le sable propre on remarque que la résistance atteint une valeur maximale de 90 kPa par l'ajout de 10% des fines au sable la résistance diminue à une valeur de 85 kPa, par l'ajout de 20% la résistance réduit jusqu'à la valeur de 80 kPa.

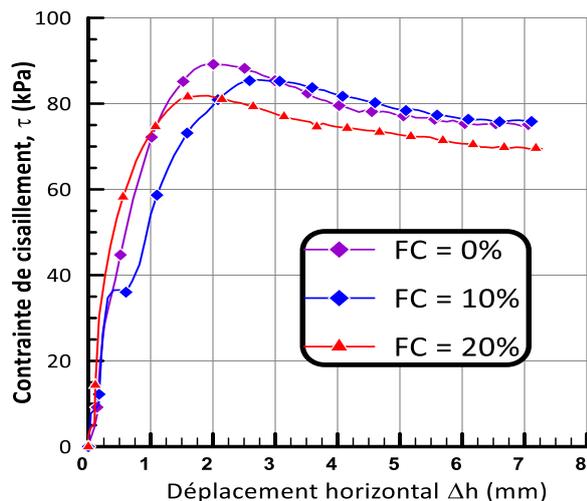


Figure 5. Influence des fines sur la résistance au cisaillement du sol.

### 3.2- Influence des déchets de briques

Les figures 6 et 7 représentent l'évolution de la contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal pour un sable propre additionné de 10 et 20 % de ses propres fines, traité avec des déchets de briques de diamètres respectifs de 0,63 mm et 1 mm. Plus précisément, les figures 6.a et 6.b illustrent les résultats obtenus avec des déchets de 0,63 mm et des teneurs de 10 et 20 %, tandis que les figures 7.a et 7.b concernent des déchets de 1 mm avec les mêmes teneurs, le tout sous une densité relative de 90 %, correspondant à un état dense, et sous une contrainte de 100 kPa.

L'analyse des figures révèle que la résistance au cisaillement du sol limoneux s'accroît avec l'augmentation de la teneur en déchets de briques. En revanche, lorsque le sable propre est mélangé à ses propres fines, sa résistance diminue à mesure que la proportion de fines augmente. Par ailleurs, la taille des déchets de briques a un impact notable sur la résistance au cisaillement et son amélioration. En effet, avec des particules de 0,63 mm, la résistance atteint 151 kPa, tandis qu'avec celles de 1 mm, elle s'élève à 169 kPa pour les mêmes proportions de fines. Les figures 8 et 9 illustrent les phénomènes de contractance et de dilatance des mélanges. Avec 10 % de déchets de briques de taille 0,63 mm, le sol présente une contractance initiale, puis commence à se dilater après 1 mm de déplacement horizontal, mais sans amélioration notable du sol traité. En revanche, avec 20 % de

la même taille, le mélange réagit très bien, améliorant significativement le sol. Concernant la taille de grains de 1 mm, avec 10 % de déchets de briques, on constate une amélioration de la contractance des fines, tandis qu'avec 20 %, le mélange conserve les mêmes comportements de dilatance et de contractance que le sol limoneux d'origine.

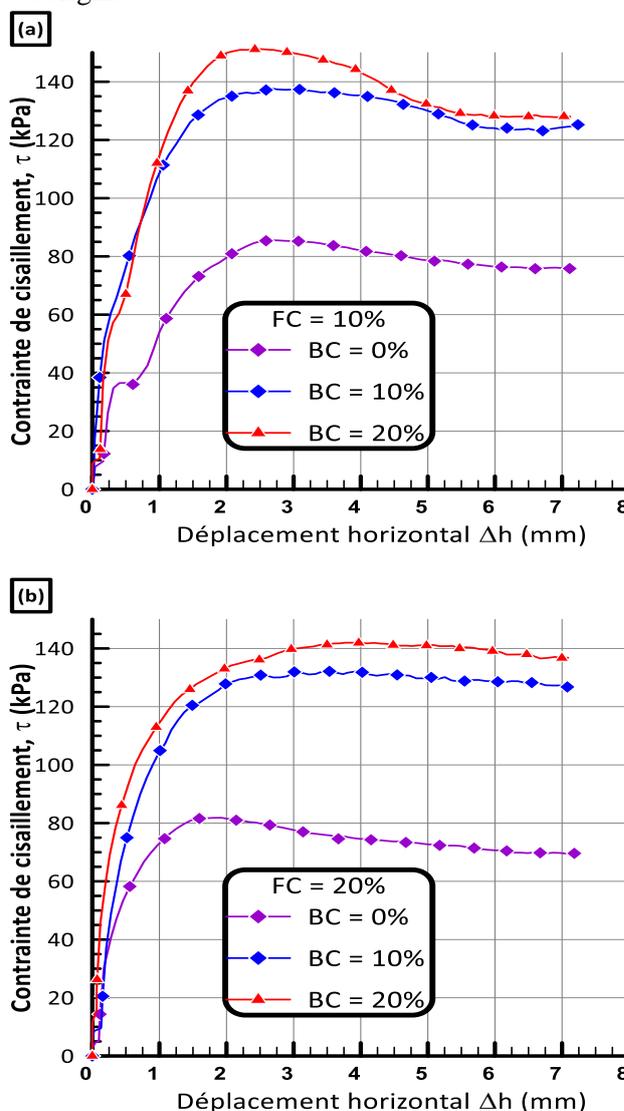
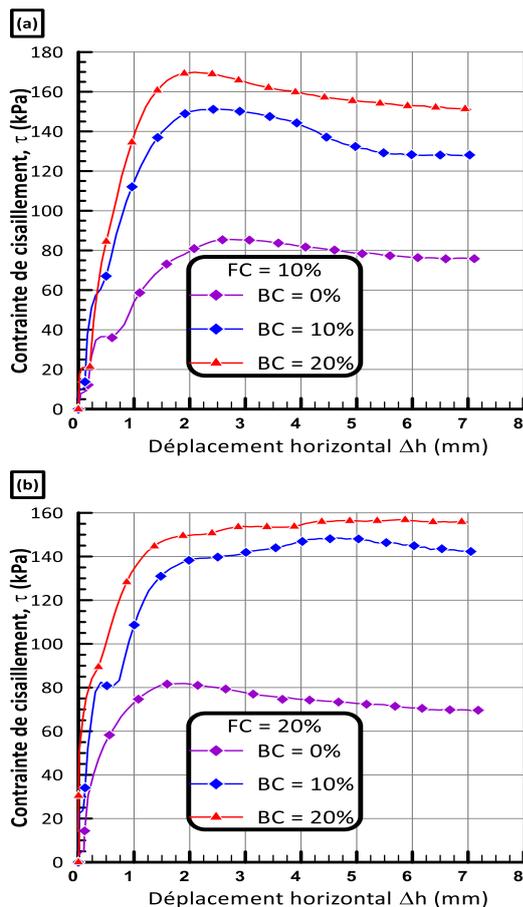
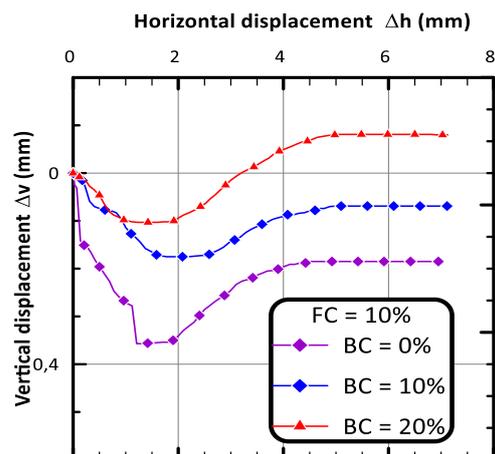


Figure 6. Influence des déchets de briques (0,63mm) au renforcement de la résistance de cisaillement de sable: (a) 10% limon; (b) 20% limon.



**Figure 7.** Influence des déchets de briques (1mm) au renforcement de la résistance de cisaillement de sable: (a) 10% limon; (b) 20% limon.

La figure 8 illustre la variation du déplacement vertical en fonction du déplacement horizontal pour le mélange sable propre-10 % de fines, renforcé avec 10 % et 20 % de déchets de briques. Le mélange non renforcé présente d'abord un comportement de contraction, suivi d'une expansion progressive, atteignant un déplacement vertical final de 0,5 mm. Cependant, l'ajout de déchets de briques améliore ce comportement en réduisant la contraction avec 10% des déchets de briques, ce qui diminue le déplacement vertical final à 0,2 mm grâce à l'effet de renforcement, par ailleurs avec 20% de déchets de briques on observe un paramètre dilatant suite à ce renforcement.



**Figure 9.** Courbe déplacement vertical en fonction de déplacement horizontal (mélange 10% et 20% déchets de briques 1mm)

#### 4- Conclusion

Cette étude, visant à améliorer les sols, nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

Plusieurs facteurs doivent être pris en compte avant d'entamer des travaux de stabilisation. Il est essentiel que les ingénieurs aient une connaissance approfondie des propriétés des stabilisants à utiliser ainsi que du sol à traiter.

La taille des grains des déchets de briques joue un rôle crucial dans l'amélioration de la résistance mécanique du sol traité. En effet, il est possible de conclure que la taille de 1 mm procure une meilleure résistance par rapport à celle de 0,63 mm.

Les sols fins sont sujets au phénomène de tassement. Afin de réduire ce risque, ils peuvent être mélangés avec des déchets de briques pour limiter le tassement des sols et des surfaces routières, ce qui contribue également à la stabilité des structures habitables.

Le choix de la taille des grains des déchets de briques doit être basé sur une combinaison de critères incluant les caractéristiques du sol existant, les types de charges, et les résultats des essais pratiques. Une approche mixte, utilisant une variété de tailles de grains, est souvent la plus efficace pour maximiser la résistance mécanique et la durabilité des matériaux de construction.

## Références bibliographiques

- [1] A. Lahmadi, L. Zeghichi Et Z. Benghazi, L'influence De La Substitution Des Granulats Naturels Par Les Déchets De Brique Sur Le Comportement Mécanique Du Béton, Acma, Fès Maroc (2012).
- [2] P. Pardakhe et P. Ban, Soil Stabilization by using Waste Material - Brick Dust (International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 06 (09) (2019)
- [3] Rizgar A. Blayi, Aryan Far H. Sherwani, Hawkar Hashim Ibrahim & Shwan Jalal Abdullah. Stabilization Of High Plasticity Silt Using Waste Brick Powder. Springer Link 2, 1989. (2020)
- [4] A. Saand, M.A. Zardari, M.A. Keerio, S.H. Shaikh & D.K. Bangwar. Suitability Of Brick Klin Waste As A Stabilizer For Clayey (2018). Scientia Iranica. 27(5),2258-2263 (2020).
- [5] Shriful. I, Janaidul. I, Sabrin. A (2020). Improving The Geotechnical Behaviour Of Clay Soil Using Construction And Demolition Waste. Conference : 6th International Conference On Advances In Civil Engineering (Icace-2022).
- [6] Depaa, B. (2013). Stabilization of pavement material using waste brick kiln dust. Int. J. Eng. Rse. Technol, 2, 1684-1691.
- [7] Katti, B. K., & Sankar, A. V. (1989). A study on CBR strength characteristics of expansive soils with reference to brick and brick lime stabilisation. Indian Highways, 17(6).
- [8] Tiwari, N., Shringi, S., & Chaudhary, N. (2018). Review on stabilisation of black cotton soil by brick dust & lime. International Journal of Advance Research in Science and Engineering, 7(2), 594-598.
- [9] Hidalgo, C., Carvajal, G., & Muñoz, F. (2019). Laboratory evaluation of finely milled brick debris as a soil stabilizer. Sustainability, 11(4), 967. doi:10.3390/su11040967
- [10] Sabri, M., Ihson, J., Fahad, A., & Hasib, R. (2023). Stabilization of expansive soil with lime and brick dust. Magazine of Civil Engineering, 124(8), 12401. doi: 10.34910/MCE.124.1
- [11] NF, P. 94-056. (1991). Sols: reconnaissances et essais, Analyse granulométrique, Méthode de tamisage à sec après lavage. Association Française de Normalisation, France (in French).
- [12] NF P 94-054. (1991). Sols: Reconnaissances et essais, détermination de la masse volumique des particules solides des sols, méthode du pycnomètre à eau.
- [13] NF, P. 94-059 (2000). Sols: Reconnaissance et essais—Détermination des masses volumiques minimale et maximale des sols non cohérents.
- [14] NF, P. 94-071-1. 1994). Sols: Reconnaissance et essais-essai de cisaillement rectiligne à la boîte-Partie 1: Cisaillement direct. Editions AFNOR Boutique, Saint-Denis, France.