

Analyse Expérimentale Paramétrique du Renforcement des Sols Sableux par Géotextiles sous Essai CBR

BEZIH Kamel¹, MERCHI Ahmed², LAOUCHE Mohamed³

¹ LGC-ROI, Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université de Batna 2. k.bezih@univ-batna2.dz

² LGC-ROI, Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université de Batna 2. ahmed.merchi@univ-batna2.dz

³ LGCE Département de Génie Civil, Faculté des Sciences et de la Technologie, Université de Jijel. mohamed.laouche@univ-jijel.dz

RESUME :

Cette étude expérimentale explore l'amélioration de la capacité portante des sols de faible résistance à l'aide de nappes de géotextile. L'objectif est d'évaluer l'impact de divers paramètres notamment la profondeur d'insertion des nappes, la forme de la fondation (circulaire, rectangulaire, filante) et l'énergie de compactage sur le comportement mécanique du sol. L'essai CBR (California Bearing Ratio) a été utilisé pour quantifier la portance dans des conditions sèches et humides, avec et sans renforcement. Les résultats mettent en évidence qu'un positionnement optimal du géotextile à 3,5 cm de la base maximise la portance, quelles que soient les conditions d'humidité et la géométrie de la fondation. En outre, les formes rectangulaire et filante présentent une meilleure résistance au tassement, notamment sous une compaction de 25 coups, traduisant une réduction significative des déformations verticales. Cette étude confirme l'efficacité du renforcement par géotextile et souligne l'importance d'une configuration adéquate pour optimiser les performances des fondations superficielles sur sols peu portants.

MOTS CLES :

Géotextile, renforcement du sol, capacité portante, essai CBR, énergie de compactage.

1. Introduction

Les fondations superficielles sont souvent mises en œuvre sur des sols à faible capacité portante, tels que les dépôts cohésifs ou les remblais mal compactés. Cette situation peut entraîner des tassements excessifs, voire des ruptures structurelles. Pour pallier ces limitations, plusieurs techniques de renforcement des sols ont été développées, dont l'utilisation des géosynthétiques, en particulier les géotextiles. Intégrés dans les couches de sol, ces matériaux permettent une meilleure répartition des contraintes et contribuent à la réduction des déplacements verticaux.

De nombreuses études expérimentales ont confirmé l'efficacité des géotextiles dans l'amélioration des performances mécaniques des sols. Par exemple, Panigrahi et Pradhan (2019) ont démontré que l'utilisation de géotextiles naturels, tels que le geojute, pouvait augmenter la capacité portante ultime des semelles jusqu'à 3,37 fois par rapport à un sol non renforcé, avec une

profondeur optimale de renforcement équivalente à $0,5B$ et une extension de $3,5B \times 3,5B$, B représentant la largeur de la semelle. De même, Cicek et Buyukakin (2022) ont observé, à travers des essais CBR, que le renforcement géotextile pouvait multiplier par 3,5 la portance des sols par rapport aux modèles non renforcés.

Par ailleurs, il a été établi que l'efficacité du renforcement dépend de plusieurs paramètres : la position des nappes de géotextile, leur nombre, la forme de la fondation et l'énergie de compactage. Une étude de Rashidian et al. (2016) a montré que l'augmentation du nombre de couches de géotextile n'améliore pas systématiquement la capacité portante, et qu'une configuration optimale doit être recherchée en fonction du contexte géotechnique. Ces résultats sont cohérents avec des travaux antérieurs comme ceux de Naeini et al. (2014) ou Lovisa et al. (2010). Par ailleurs, Latha (2007) avait déjà mis en évidence l'importance de la position relative des nappes de renforcement.

Dans le cadre de ce travail, nous avons étudié l'effet de la profondeur d'insertion du géotextile (1,5 cm, 2,5 cm et 3,5 cm) dans un tout-venant naturel (TVN), soumis à des charges à travers différents types de semelles. Les résultats obtenus sont en cohérence avec la littérature et indiquent que la profondeur de 3,5 cm est la plus efficace. Contrairement à certaines recherches antérieures, notre étude met également en évidence l'influence notable de la forme de la fondation sur les performances du renforcement. L'objectif de cette recherche est donc d'évaluer expérimentalement l'impact du renforcement des sols par géotextiles sur la capacité portante des fondations superficielles, en analysant l'effet combiné de la forme de la semelle, de la profondeur de pose et de l'énergie de compactage.

2. MATERIAUX ET METHODOLOGIE EXPERIMENTALE

2.1. SOL D'ETUDE

Dans l'approche expérimentale, nous avons utilisé un sable provenant de la région de la ville de Sidi Abd Aziz, wilaya de Jijel. Initialement, nous avons procédé à l'identification et la caractérisation physique et mécanique de ce type de sol par l'élaboration d'une série d'essais exposé (voir tableau 1).

Tableau 1. Propriétés physico -mécaniques du sable étudié.

Propriétés	Unité	Valeurs
Poids spécifique, G_s		2,67
Taille effective des particules, D_{10}	(mm)	0,28
Taille effective des particules, D_{30}	(mm)	0,34
Taille de particule efficace, D_{60}	(mm)	0,40
Angle de frottement ϕ	(°)	30
Cohésion, C	(kN/m ²)	0
Coefficient d'uniformité, C_u		1,42
Coefficient de courbure, C_c		1,03
Poids unitaire sec maximum, γ_{max}	(kN/m ³)	16.24
humidité optimale, w_{opt}	(%)	6

2.2. Géotextile de Renforcement

Dans le cadre de notre travail de recherche, nous avons choisi d'utiliser un géotextile, un type de géosynthétique largement employé aujourd'hui dans le domaine de la géotechnique. Il s'agit du géotextile Stabilenka, produit par la société HUESKER Synthetic GmbH (Allemagne). Ce géotextile de renforcement est fabriqué à partir de fibres de polyester à haute ténacité, selon une méthode de tissage spéciale et brevetée. Il se distingue par sa haute résistance, même sous de faibles déformations. Le rouleau utilisé présente une masse surfacique de 300g/m², une couleur blanche, une longueur de 300m et une largeur de 5m. Le géotextile Stabilenka est couramment utilisé dans divers domaines, notamment pour le remblai sur pieux, les remblais sur sols mous et la couverture de boues, entre autres.

2.3. Essai CBR

L'essai CBR (California Bearing Ratio) a été réalisé sur des éprouvettes compactées dans un moule normalisé, conformément à la norme française NFP94-078. Les échantillons ont été testés à différentes teneurs en eau (0%,4%,6%,8% et 10%), à l'état sec ou après immersion, afin d'évaluer leur résistance à la pénétration. Plusieurs profondeurs de pose des nappes de renforcement (1,5cm, 2,5cm et 3,5cm) ont été étudiées pour analyser leur influence. Trois formes de semelles ont été testées : circulaires, rectangulaires et filantes, avec deux niveaux d'énergie de compactage, correspondant à 25 coups, ainsi qu'un essai à 55 coups pour comparaison. La courbure initiale souvent observée sur les courbes CBR a été identifiée et corrigée si nécessaire. Par ailleurs, des essais ont été menés sur le sable non renforcé afin de comparer les performances avec et sans renforcement.

Certaines expériences ont été répétées aléatoirement pour vérifier la reproductibilité et la fiabilité de la méthode adoptée.

3. RESULTATS ET ANALYSES

3.1. Sol non renforcé

La figure 1 illustre l'influence de la teneur en eau sur la portance d'un sol non renforcé à travers des courbes contrainte-déformation issues de l'essai CBR. On observe que la portance maximale est atteinte lorsque le sol est à sa teneur en eau optimale, correspondant au compactage le plus efficace. À ce stade, la structure du sol est suffisamment dense pour offrir une bonne résistance, tout en conservant une humidité favorable à la mobilisation des forces interparticulaires. À l'inverse, lorsque le sol est trop sec, il devient moins cohésif et présente une structure lâche, ce qui entraîne une réduction de la résistance à la pénétration. De même, en milieu saturé, l'excès d'eau remplit les vides et agit comme un lubrifiant, réduisant les frottements entre les grains de sable. Cela engendre une perte de stabilité et une diminution significative de la portance.

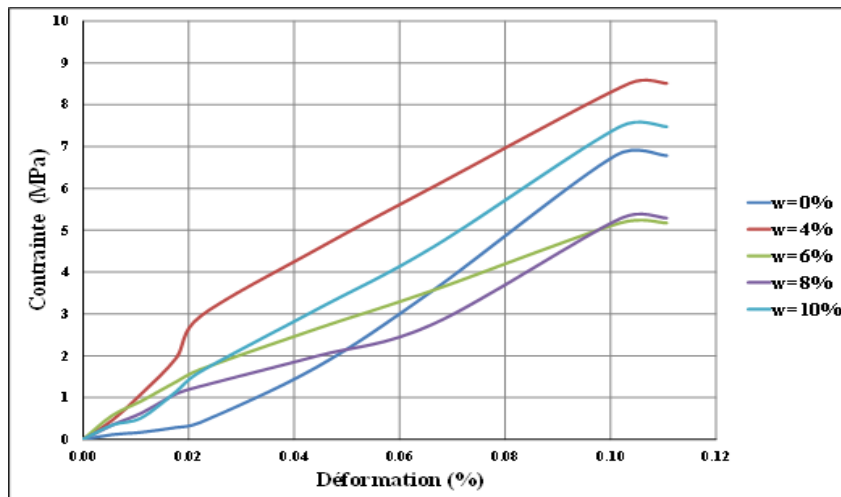


Figure 1. Courbes contrainte-déformation du sol non renforcé à différentes teneurs en eau.

3.2. Effet du renforcement par géotextile

Les résultats, présentés dans la Figure 2, illustrent l'impact significatif de la position du géotextile dans le sol renforcé, en fonction de la teneur en eau de l'échantillon. Quelle que soit la teneur en eau, la position optimale du géotextile pour maximiser son efficacité en tant que renfort se situe à 3,5cm. À cette profondeur, le géotextile joue pleinement son rôle de renforcement en distribuant correctement la contrainte et en offrant un soutien adéquat sous l'effet de la charge appliquée.

En revanche, lorsque le géotextile est positionné à 1,5 cm, son rôle de renforcement est fortement limité. À cette profondeur, le géotextile se comporte principalement comme un élément rigide, incapable de se déformer et de distribuer la contrainte de manière efficace. Ce comportement indique que le géotextile ne joue pas un rôle actif dans le renforcement du sol à cette position, ce qui limite son efficacité.

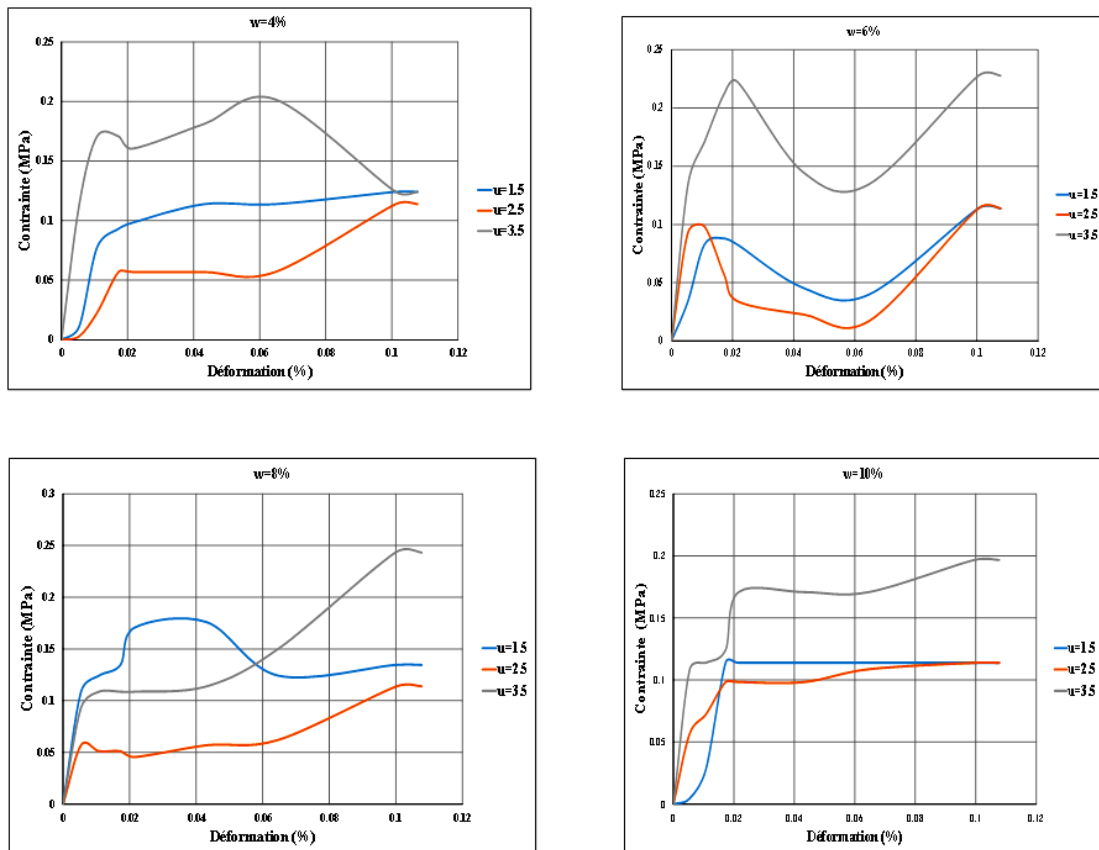


Figure 2. Courbe contrainte-déformation en fonction de la teneur en eau pour un sol renforcé par géosynthétique.

3.3 Influence de l'énergie de compactage et de la forme de la fondation

Cette section analyse l'effet combiné de la forme de la fondation et de l'énergie de compactage sur la portance du sol renforcé par géotextile. L'étude repose sur l'essai de poinçonnement CBR immédiat réalisé pour trois types de fondations : circulaire, rectangulaire et filante. Trois profondeurs de positionnement des nappes de renforcement ont été testées : 1,5cm, 2,5cm et 3,5cm par rapport à la base de la fondation. L'énergie de compactage ont été considérés est de 25coups.

3.3.1 Cas sans renforcement

La Figure 3 présente les courbes contrainte-déformation pour les trois types de semelles sans renforcement, sous une énergie de compactage de 25 coups

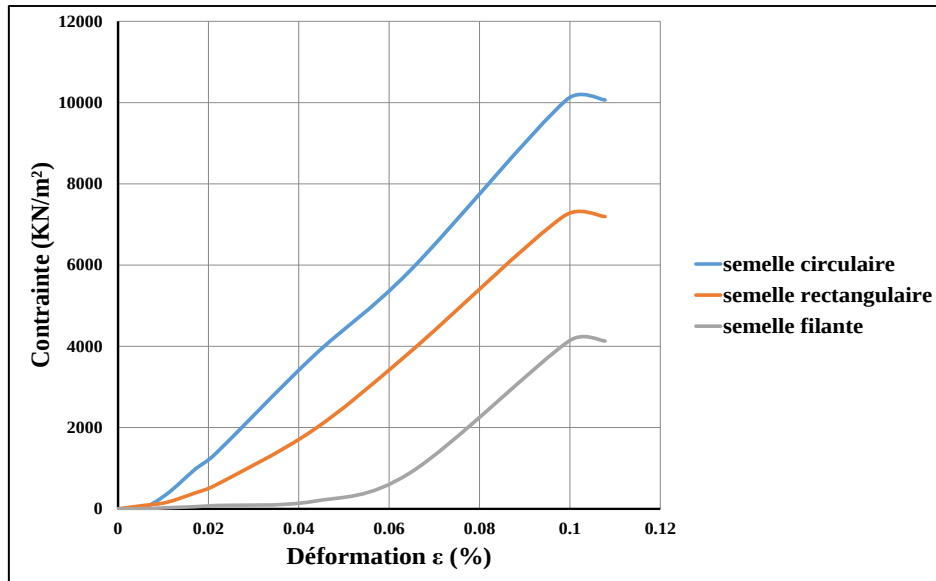


Figure 3. Courbes contrainte-déformation pour les trois types de semelles sans renforcement avec une énergie de compactage de 25 coups.

On observe que la forme de la fondation influence significativement le comportement du sol. La semelle circulaire concentre la charge sur une surface réduite, entraînant une contrainte plus élevée et un tassement plus important. À l'inverse, la semelle filante répartit mieux la charge, ce qui réduit le tassement.

3.3.2 Cas avec renforcement

La Figure 4 présente les résultats obtenus avec renforcement par géotextile, pour une énergie de compactage de 25 coups.

Dans le cas d'un compactage élevé (25 coups), le sol est très dense, ce qui limite la déformation. Les nappes de géotextile, peu sollicitées en traction, se comportent comme des éléments rigides. Par conséquent, l'effet de renforcement est peu perceptible, et la présence de deux nappes n'améliore pas significativement la portance, quelle que soit la forme de la fondation. Cela peut s'expliquer par une géométrie de renforcement peu adaptée ou une interaction sol-géotextile insuffisante dans ces conditions.

En comparant les résultats avec et sans renforcement, on constate que l'efficacité des nappes de géotextile dépend fortement : de l'énergie de compactage, de la forme de la fondation, et de la position des nappes.

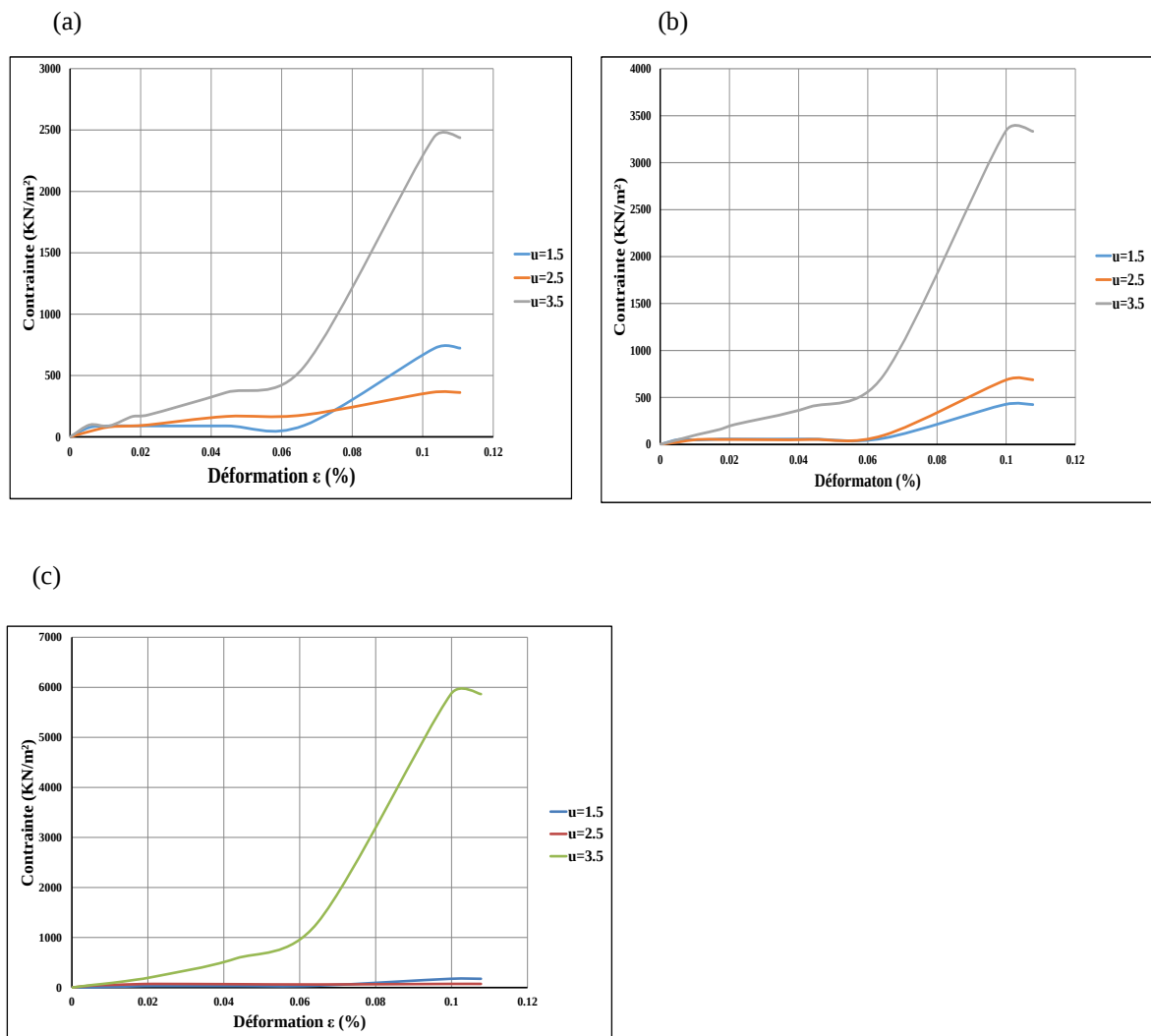


Figure 4. Courbes contrainte-déformation pour les trois types de semelles avec renforcement: (a) semelle circulaire, (b) semelle rectangulaire, (c) semelle filante avec une énergie de compactage de 25 coups.

4. Conclusion

L'étude expérimentale menée a permis de démontrer l'efficacité du renforcement des sols sableux à faible capacité portante à l'aide de géotextiles, en particulier dans le cadre des fondations superficielles. L'essai CBR a été utilisé pour analyser l'impact de plusieurs paramètres tels que la profondeur de pose du géotextile, la forme de la semelle et l'énergie de compactage. Les résultats ont révélé que la position du géotextile joue un rôle déterminant : une profondeur de 3,5 cm à partir de la base de la fondation s'est avérée optimale, quel que soit le type de semelle utilisé. Lorsque le géotextile est placé trop près de la surface (1,5cm), il ne joue plus un rôle de renforcement mais agit plutôt comme un élément rigide, limitant l'effet de membrane. Par ailleurs, la forme de la

fondation influence significativement le comportement du sol renforcé. Les semelles rectangulaires et filantes présentent une capacité portante supérieure par rapport à la semelle circulaire, en raison de leur plus grande largeur, qui répartit mieux les charges et réduit les tassements.

Enfin, l'énergie de compactage a montré un effet positif direct sur les performances mécaniques du sol. Une compaction à 25 coups augmente la densité sèche maximale du sol, ce qui améliore sa rigidité, réduit les déformations et augmente la portance.

En somme, cette étude confirme que l'utilisation de géotextiles, lorsqu'elle est bien configurée, constitue une solution efficace et économiquement viable pour améliorer la stabilité des fondations superficielles sur sols meubles. Ces résultats ouvrent des perspectives intéressantes pour la conception d'ouvrages sur sols faiblement portants, à condition d'optimiser les paramètres de mise en œuvre du renforcement.

5. REFERENCES

- [1] B. Panigrahi, and P. K. Pradhan, Improvement of bearing capacity of soil by using natural geotextile, International Journal of Geo-Engineering 10 (2019), pp.1-12.
- [2] E. Cicek, and V. Buyukakin, Determining geotextile effects on bearing capacity ratio and cost of pavement layers by conducting CBR tests, Journal of Natural Fibers 19.15(2022), pp.11270-11282.
- [3] V. Rashidian, S. Abolhasan Naeini, and M. Mirzakhani, Laboratory testing and numerical modelling on bearing capacity of geotextile-reinforced granular soils, International Journal of Geotechnical Engineering 12.3 (2018), pp.241-251.
- [4] G. Latha, and Vidya S. Murthy, Effects of reinforcement form on the behavior of geosynthetic reinforced sand. Geotextiles and Geomembranes 25.1 (2007), pp.23-32.
- [5] J. Lovisa, S. K.Shukla, and N. Sivakugan, Behaviour of prestressed geotextile-reinforced sand bed supporting a loaded circular footing, Geotextiles and Geomembranes 28.1 (2010), pp. 23-32.
- [6] S. A. Naeini, and N. Gholampoor, Cyclic behaviour of dry silty sand reinforced with a geotextile, Geotextiles and Geomembranes 42.6 (2014), pp. 611-619.