



AMELIORATION DE LA PORTANCE DES SOLS A CAVITES PAR GEOSYNTHETIQUES : APPROCHE NUMERIQUE

BOUACHA Nadjat¹

¹ Laboratoire de Gestion, Maintenance et Réhabilitation des Équipements et des Infrastructures Urbaines (InfraRES),
Département de Génie Civil, Université de Souk-Ahras, BP 1553, 41000 Souk-Ahras, Algérie, n.bouacha@univ-soukahras.dz

RESUME :

Ces dernières années, les géosynthétiques — notamment les Géotextiles, Géogrilles et Géomembranes — ont connu un essor considérable dans le domaine du génie civil, en particulier en géotechnique. Leur capacité à améliorer les performances mécaniques des sols en fait des matériaux de choix pour le renforcement des fondations, notamment dans des contextes complexes. La présente étude a pour objectif d'analyser l'influence du renforcement des sols médiocres, comportant des cavités souterraines, par des nappes de géotextile, dans le contexte de structures de grande hauteur. L'accent est mis sur l'amélioration de la capacité portante et la réduction des dommages liés à l'instabilité structurelle induite par la rupture progressive des cavités. L'étude s'intéresse également à l'effet de la rigidité du géosynthétique utilisé. Une série de modélisations numériques a été réalisée à l'aide de la méthode des éléments finis, via le logiciel PLAXIS. Les résultats obtenus permettent de comparer le comportement d'un sol non renforcé à celui d'un sol renforcé, en mettant en évidence l'apport significatif des géosynthétiques en termes de stabilité globale et de performance du système sol-structure.

MOTS CLES : Géosynthétiques, fondations profondes, cavités souterraines, structures de grande hauteur, stabilité des sols, modélisation numérique.

1. INTRODUCTION

La géotechnique constitue souvent la partie invisible de la construction. Les fondations, pourtant essentielles, n'apparaissent généralement pas dans les représentations des structures ou des ouvrages, bien qu'elles en soient le socle fondamental. Toute construction repose sur le sol ou la roche, dont le comportement peut s'avérer complexe et générer, à court ou long terme, divers désordres. Ce travail porte sur l'étude géotechnique appliquée aux structures de grande hauteur. Il s'appuie sur l'utilisation d'un logiciel spécialisé en géotechnique exploité ici pour modéliser le comportement d'un sol renforcé par géosynthétique, dans le cas spécifique d'un bâtiment de

type tour (R+8). L'objectif est de présenter les différentes étapes du processus de modélisation numérique ayant permis de concevoir un modèle représentatif réaliste. L'attention est particulièrement portée sur l'analyse des déformations au niveau de la zone de positionnement du géosynthétique. Dans un premier temps, l'ensemble des déformations du système sol-structure est évalué, afin de mieux cerner l'apport du renforcement dans le comportement global de l'ouvrage. Le modèle de calcul étudié concerne une tour de type R+8, d'une hauteur de 40 m et d'une largeur de 23 m, reposant sur des semelles filantes encastrée à 4 m de profondeur sur un sol de faible résistance. Cette structure est fondée sur un sol où une rupture progressive d'une cavité a été produite, dont le but d'analyser les déplacements du sol et l'influence du géosynthétique sur la stabilité de la structure.

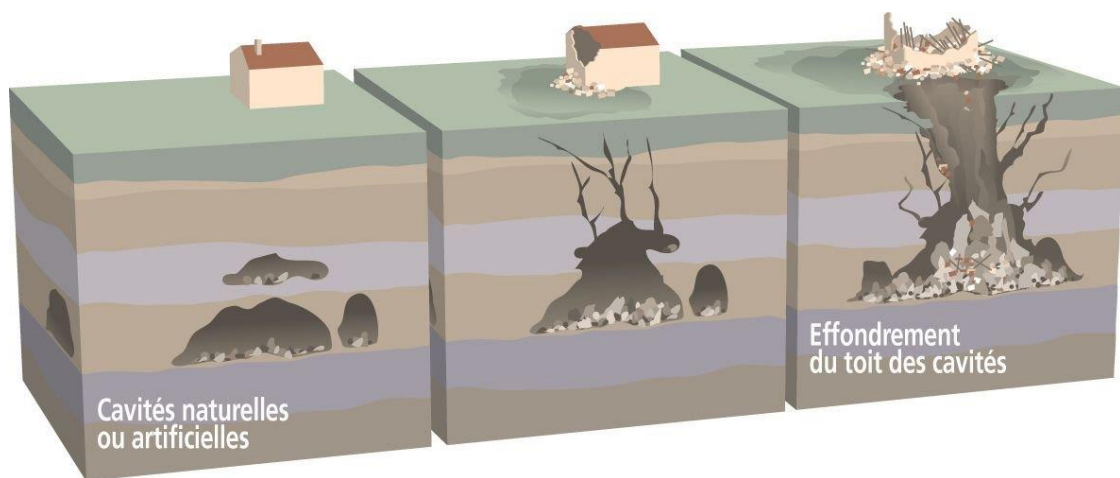


Figure 1. *l'influence de la Rupture progressive d'une cavité sur la structure [1]*

2. METHODOLOGIE

La géométrie du modèle a été définie dans un plan de déformation plane avec un maillage triangulaire à 15 nœuds, ce qui garantit une approximation précise des déplacements et des contraintes. Le modèle a été divisé en 298 éléments et 2489 nœuds, avec un raffinement particulier autour de la zone des semelles et sous sa base, où les gradients de contraintes sont les plus importants. Différents types de matériaux ont été utilisés pour la modélisation, notamment les propriétés du sol, du remblai, du géosynthétique, du radier et les charges appliquées à chaque niveau de la structure (R+8). Les charges ont été déterminées en fonction des masses respectives de chaque niveau. Les interfaces entre les différentes couches de matériaux ont été modélisées comme parfaitement collées, ce qui permet de garantir la continuité des contraintes verticales, radiales et des déplacements

verticaux. Les conditions initiales, quant à elles, ont été définies en utilisant la méthode K0 pour déterminer les contraintes effectives initiales, avec une formulation K0 basée sur la relation de Jacky ($K0=1-\sin\phi'$), ajustable selon les besoins du modèle.

Les propriétés du radier et des voiles sont résumées dans le tableau 03

Tableau 1. *Propriétés des sols*

Type		Sol	Remblai
γ_{unsat}	[kN/m ³]	16	16
γ_{sat}	[kN/m ³]	17	20
Kx	[m/day]	1	1
Ky	[m/day]	1	1
E	[kPa]	13000	8000
Cref	[kN/m ²]	45	1
ϕ	[°]	25	30
Ψ	[°]	10	0
ν	-	0,3	0.3
R interne	-	1	1

Tableau 2. *Propriétés du géosynthétique*

Paramètre	Valeur	Unité
Rigidité axiale	6.87 *10 ⁵	kN/m
Comportement	Elastique	
Epaisseur sous 2 kPa	1	Mm
Masse surfacique	200	g/m ²
Résistance à la traction	16	KN/m
Perforation dynamique (chute de cône)	17	Mm
Poinçonnement statique	0.9	KN
Perméabilité	0.045	m/s
Ouverture de filtration	75	Mm

Tableau 3. *Propriétés des éléments structuraux.*

Type	matériau	ν	Rigidité Normale EA [kN/m]	Rigidité Flexurale EI [kNm ² /m]	Epaisseur équivalente d[m]
Béton	Radier	0,30	1E09	1E08	0,8
	Voiles	0,30	7,5E06	1E06	0,25
	Dalle pleine	0,30	7,5E06	1E06	0,25

Les charges ont été déterminées en fonction des masses respectives de chaque niveau. Les interfaces entre les différentes couches de matériaux ont été modélisées comme parfaitement collées, ce qui permet de garantir la continuité des contraintes verticales, radiales et des déplacements verticaux. Les conditions initiales, quant à elles, ont été définies en utilisant la méthode K0 pour déterminer les contraintes effectives initiales, avec une formulation K0 basée sur la relation de Jacky ($K0=1-\sin\phi'$), ajustable selon les besoins du modèle. La figure 2 représente respectivement la notation des semelles, la géométrie du modèle numérique ainsi que le maillage.

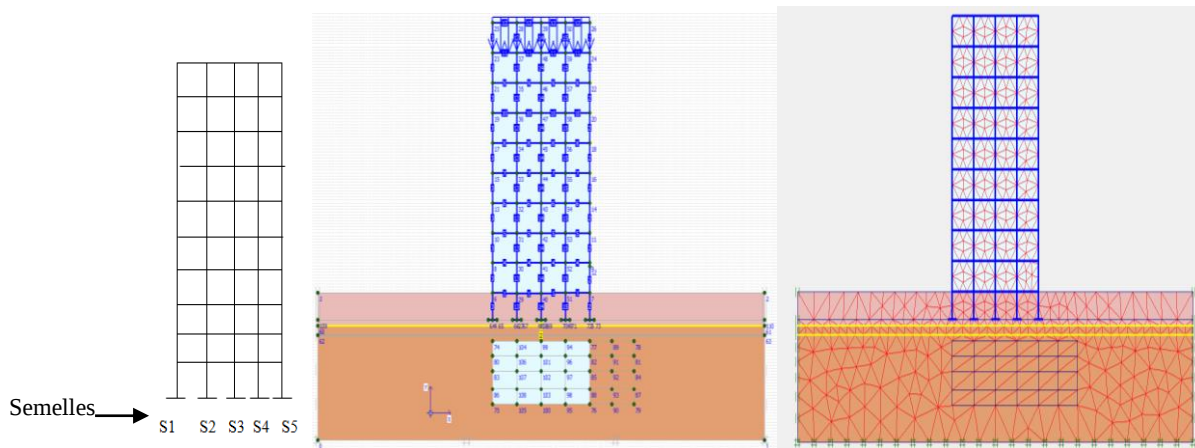


Figure 2. Description du cas d'étude

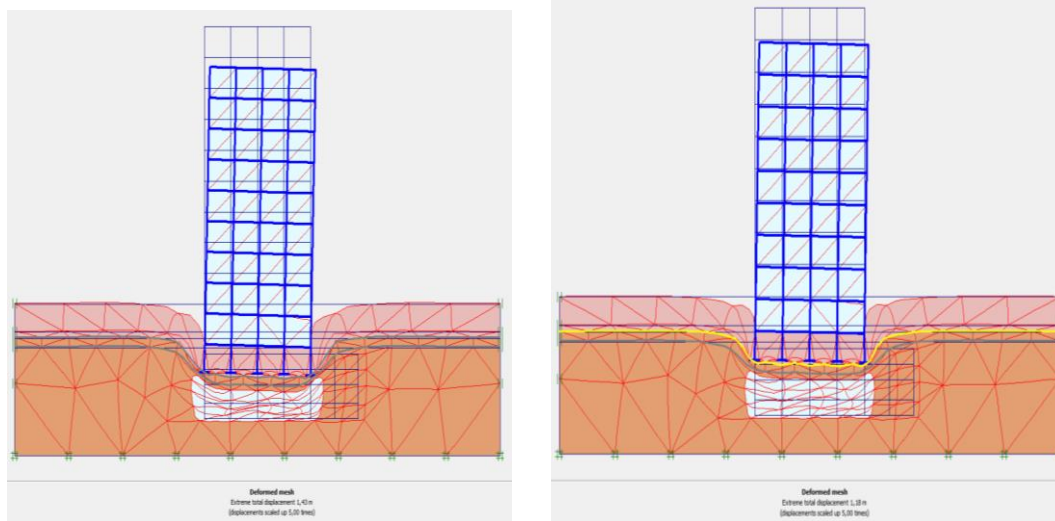
(a) Notation des semelles (b) Géométrie (c) Maillage

3. RESULTATS ET ANALYSES

Les résultats obtenus à partir des simulations numériques ont permis de visualiser la déformation du maillage avec et sans géosynthétique (Voir figure 3). La comparaison des deux modèles numériques présentés met en évidence l'influence significative de la configuration du sol sur le comportement d'une structure reposant au-dessus d'une cavité souterraine.

Dans le premier cas, on observe un enfoncement marqué de la fondation au droit de la cavité, accompagné d'un développement important des zones plastiques autour de celle-ci. La structure présente également une légère inclinaison traduisant une instabilité accrue. Cette réponse mécanique traduit soit une faible profondeur de la cavité, soit l'absence de renforcement du sol, conduisant à une concentration excessive des contraintes et à un tassement différentiel important. En revanche, le second modèle présente une déformation plus modérée, mieux répartie dans la masse du sol, avec une fondation globalement

plus stable et peu de signes de plastification.



(a) (b)
Figure 3. Déformation sol structure
(a) avec géosynthétique (b) sans géosynthétiques

Pour le tassement de la structure les résultats ont montré que la structure reste pratiquement verticale, ce qui indique une distribution plus homogène des contraintes et une meilleure capacité portante du système sol-fondation. Ce comportement suggère l'effet bénéfique d'une cavité plus profonde ou d'une amélioration du sol (par exemple par inclusion de matériaux renforçants), réduisant sensiblement les déplacements verticaux et les déformations latérales. Ces observations confirment l'importance de la géométrie de la cavité et des caractéristiques mécaniques du sol dans l'analyse de stabilité des structures construites sur des terrains affectés par des vides souterrains.

la figure 4a correspond à un cas sans renforcement, tandis que la figure 4b montre le comportement du sol renforcé par une nappe de géotextile. Dans le premier cas, les déplacements verticaux sont plus importants et s'étendent davantage vers le haut de la structure, traduisant une instabilité marquée au niveau de la cavité. La concentration des contraintes verticales est localisée de manière plus intense, ce qui augmente le risque de rupture progressive autour du vide souterrain.

En revanche, dans la seconde configuration, le renforcement du sol par une nappe de géotextile permet une redistribution plus homogène des contraintes et une réduction significative des déplacements verticaux. Le renforcement agit comme un mécanisme de confinement qui limite la propagation des zones de déformation et améliore ainsi la stabilité globale du système sol-structure.

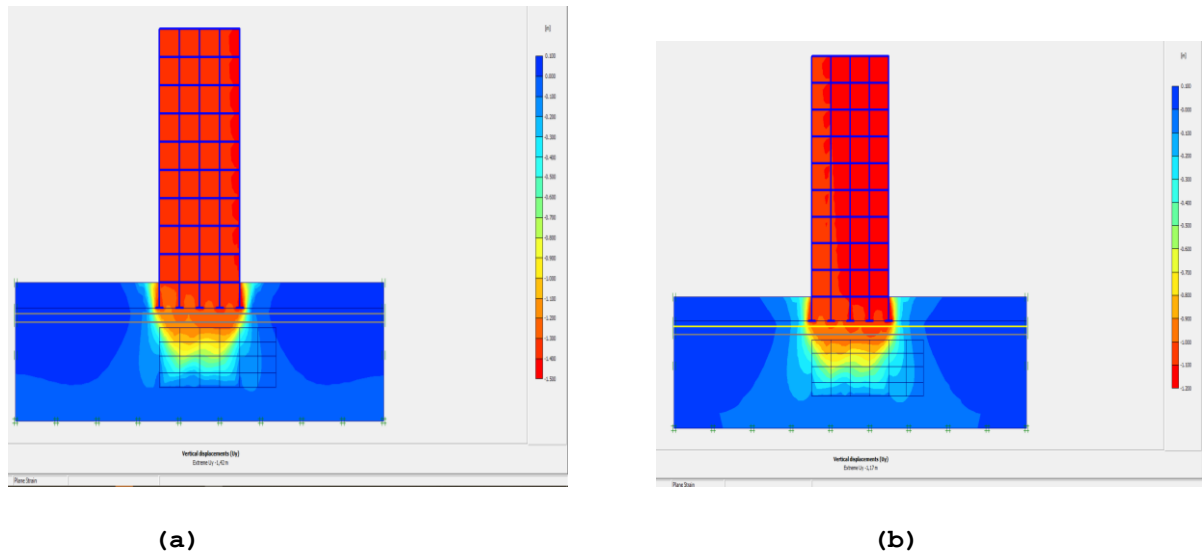


Figure 4. *Déplacements verticaux (a) avec géosynthétiques (b) sans géosynthétiques*

La figure 5 illustre l'évolution des déplacements verticaux en fonction de la position des semelles de S1 à S5. Les résultats montrent clairement que la présence de la cavité engendre une perturbation significative au niveau des semelles.

Les semelles S1 et S5 présentent des déplacements verticaux plus importants, ce qui traduit un affaissement plus prononcé du sol en lien avec une transmission directe des charges vers la cavité. En revanche, les semelles S3 et surtout S4 enregistrent des déplacements plus modérés, indiquant une meilleure répartition des charges et une atténuation des effets de la cavité.

La figure 6 présente une comparaison des résultats avec et sans renforcement montrant des pourcentages d'amélioration allant de 16 à 30. Ce qui prouve l'intérêt du renforcement.

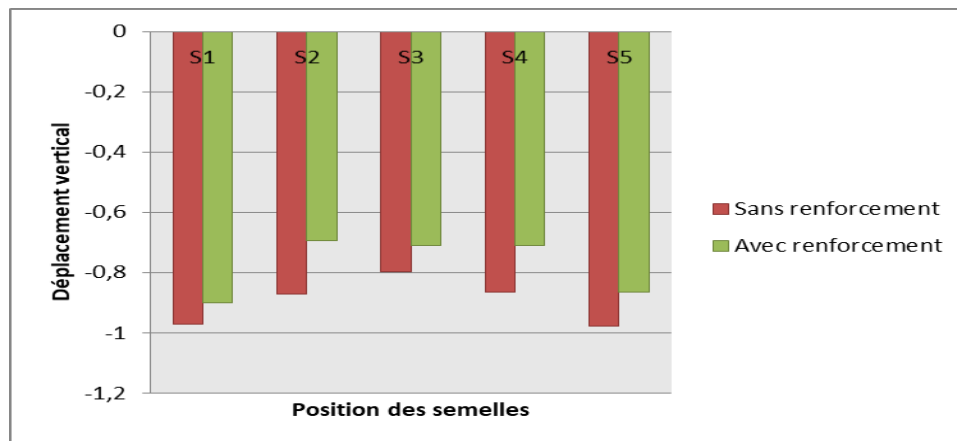


Figure 5. Tassement des semelles

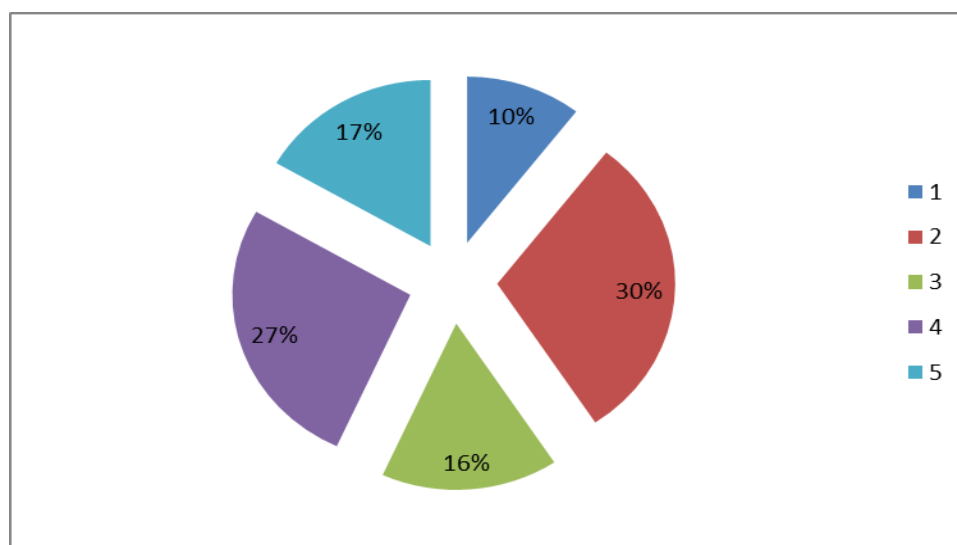


Figure 6. Pourcentage de différence des Tassements

4. CONCLUSION

Les résultats de cette étude confirment l'intérêt croissant de l'intégration des géosynthétiques dans la conception et la réalisation des ouvrages soumis à des conditions géotechniques complexes, notamment en présence de cavités souterraines.

En assurant une meilleure répartition des contraintes et une amélioration des tassements avec un pourcentage de sécurité qui varie de 10 à 30 %. Bien qu'ils aient démontré leur efficacité dans de nombreuses applications géotechniques, les géosynthétiques restent encore peu utilisés dans les projets de bâtiment.

Cette sous-utilisation est paradoxale, car ces matériaux jouent un rôle clé dans le renforcement des sols et peuvent limiter considérablement les risques d'effondrement en cas de rupture de cavités souterraines. En contribuant à stabiliser les structures, ils permettent de protéger les occupants et d'augmenter la sécurité globale des ouvrages, tout en s'inscrivant dans une démarche de durabilité.

5. References

- [1] Ginger CEBTP - www.ginger-cebtp.com, consulté le 05/07/2025. Illustration des mécanismes d'effondrement liés aux cavités souterraines.
- [2] Jean-Pierre MAGNAN - IFSTTAR, GÉOTECHNIQUE ET CATHÉDRALES, LES PLÉNIÈRES 2012 de l'Ifsttar Sciences et techniques du Génie Civil JOURNÉES GÉOTECHNIQUE , AUTRANS - 02 au 04 octobre 2012 france.
- [3] Fu Xiang-Shen et al. (2025), Interaction between Adjacent Soil-Archiving Effect in Homogeneous Clay and the Corresponding Stability Analysis of Underground Voids: Insights from Trapdoor Modeling, Journal of Geomechanics, doi: 10.1061/IJGNAI.GMENG-9781.
- [4] Gupta, A., et al. (2019). *Renforcement des structures en zones de cavités souterraines instables : Solutions géotechniques et études de cas*. Journal of Geotechnical Engineering, 68(4), 89-102.
- [5] Bertoni, S., et al. (2020). "Stabilité des anciennes mines et dynamique des cavités abandonnées : Approches géotechniques." Geotechnical Engineering Journal, 35(3), 114-123.
- [6] Giraud, G., et al. (2015). "Impacts des changements hydrogéologiques sur les effondrements généralisés dans les anciennes mines." Journal of Hydrogeology, 26(2), 243-257.
- [7] Boramy Hor. Évaluation et réduction des conséquences des mouvements de terrains sur le bâti : approches expérimentale et numérique. Autre. INSA de Lyon, 2012. Français. ffNNT : 2012ISAL0003ff. fftel-00737787ff