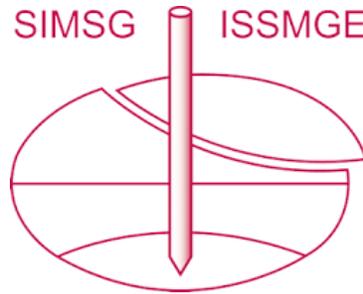


INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

Analyse des tassements en surface induits par le creusement d'une galerie dans des marnes

The analysis of surface settlements induced by a gallery excavated in marls

R. Bahar – *Institut de Génie, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie*

M. Akkiche & Z. Derriche – *Université des Sciences Technologiques de Bab-Ezzouar, Algérie*

RESUME : Cet article présente l'analyse des tassements en surface induits par le creusement d'une galerie dans le cadre du projet du réseau métropolitain de la ville d'Alger. La géologie et l'étude géotechnique des massifs dans lesquels cette galerie est creusée sont décrites. Les calculs ont été réalisés à l'aide d'un code de calcul par éléments finis. Les résultats de calculs menés sont confrontés avec les résultats de mesures in situ et ceux obtenus à partir des méthodes empiriques.

ABSTRACT : This paper deals with the analysis of surface settlements induced by a gallery excavation during the construction of Algiers city metropolitan. Geology and geotechnical studies of the site where the gallery is dug are given. The results of calculations carried out by finite elements method are compared with the results of in situ measurements and those obtained by empirical methods.

1 INTRODUCTION

Il y a actuellement en Algérie, et en particulier dans la région algéroise, plusieurs projets en étude, nécessitant la réalisation de travaux souterrains peu profonds dans des marnes. Le plus important est certainement celui du futur métro d'Alger. La ville d'Alger est considérée par les spécialistes comme étant une ville très encombrée en surface. Le site physique se caractérise par un relief extrêmement encaissé constitué par un tissu urbain très dense. En site urbain, l'existence de structures sensibles en surface et en profondeur (bâtiments, pieux, canalisations,...) impose que les déplacements et les déformations engendrés par le creusement des tunnels ne doivent pas affecter leurs stabilité ainsi que leurs fonctionnement. L'analyse des déplacements induits par le creusement d'un tunnel peu profond est donc très important pour éviter tout dommage sur les ouvrages existants. Ceci souligne la nécessité de parvenir, dès le stade des études à une bonne prévision du comportement des terrains au cours du creusement.

Cet article présente l'analyse des tassements en surface induits par le creusement d'une galerie dans des marnes dans le cadre du projet du réseau métropolitain de la ville d'Alger. L'analyse de ces tassements est réalisée à l'aide d'un programme éléments finis et en déformation plane. Les résultats des calculs menés sont confrontés avec les résultats des mesures in situ et ceux obtenus à partir des méthodes de Myriantthis (1974), O'Reilly et New (1982) et Rankin (1988).

2 PRESENTATION DU PROJET DU METRO D'ALGER

Le projet du réseau métropolitain de la ville d'Alger comprend trois lignes de 43,5 km de longueur avec 40 stations. La ligne 1 qui est actuellement en cours de construction, de 12.5 km de longueur, traversera la zone la plus dense et la plus ancienne de la ville, et nécessite impérativement une grande précaution dans la réalisation. Cette ligne traverse plusieurs horizons géologiques. La région traversée peut être représentée comme un dôme primaire métamorphique (schistes et micaschistes, calcaires et gneiss) bordé par des formations sédimentaires tertiaires (grès détritiques durs et marne) et quaternaires (formation sableuse plus ou moins argileuse rouge, d'alluvions, d'éboullis ou dépôts de pente et de remblais).

2.1 Description de la zone d'étude

La zone d'étude s'insère dans la tranche superficielle de la ligne 1. Elle se situe entre la station Khelifa- Boukhalfa et la station Mustapha. Le tunnel dans cette zone est à double voie. Il est de forme voûtée et a une section de 70 m². Ce tronçon du tunnel, à faible couverture, évolue dans un massif marneux très plastique où les marnes forment un mur imperméable pour la nappe aquifère astienne.

La reconnaissance du site a consisté en :

- Une galerie de reconnaissance de section rectangulaire de 3 m × 3.20 m (hauteur × largeur) et 1.5 km de longueur, pour tester différents modes de réalisation, la stabilité du front et différents types de soutènements. Des abattages latéraux (gauche et droite) sur une travée pendant la réalisation de la galerie de reconnaissance ont été effectués pour obtenir une chambre d'essais (figure 1), où il a été procédé aux tests de comportement et d'efficacité des soutènements rigide et souple et de creusement;
- 137 sondages répartis sur le tracé de la ligne 1;
- des essais réalisés in situ.

La mesure de tassement au dessus de la chambre a été réalisée à l'aide de l'installation de trois tassomètres T1 sur l'axe du tunnel, T2 à 5 m de l'axe du tunnel et T3 à 10 m de l'axe du tunnel (figure 2). La figure 3 présente les mesures tassométriques obtenues. Ces résultats montrent une évolution rapide des tassements avant l'arrivée du front de taille. Lorsque le front de taille se trouve sous le tassomètre, la pente du tassement est moins raide, la stabilisation s'installe avant l'éloignement du front de taille. On note que plus de 75 % des tassements s'obtiennent avant le passage du front sous les tassomètres, ce qui traduit l'importance des déplacements du sol en avant du front de taille.

Les résultats mesurés sont très importants, compte tenu de l'environnement du tunnel. Il est par conséquent impératif de prendre des précautions; le mode de phasage d'ouverture du tunnel et ou les moyens de creusement devraient être reconsidérés.

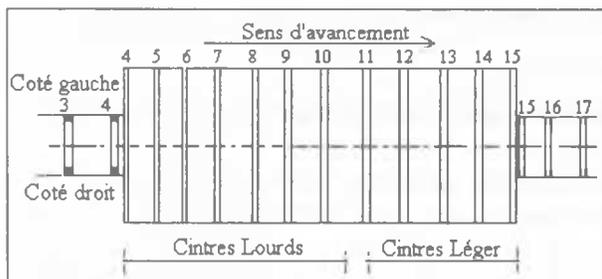


Figure 1 : Chambre d'essais avec différents types de soutènements.

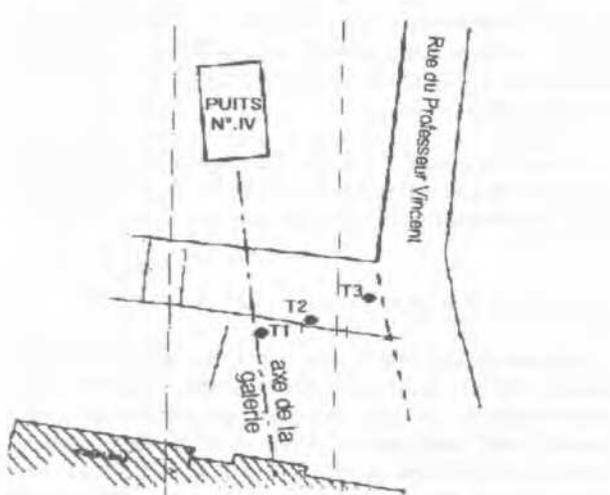


Figure 2 : Emplacement des tassomètres au niveau de la section d'étude.

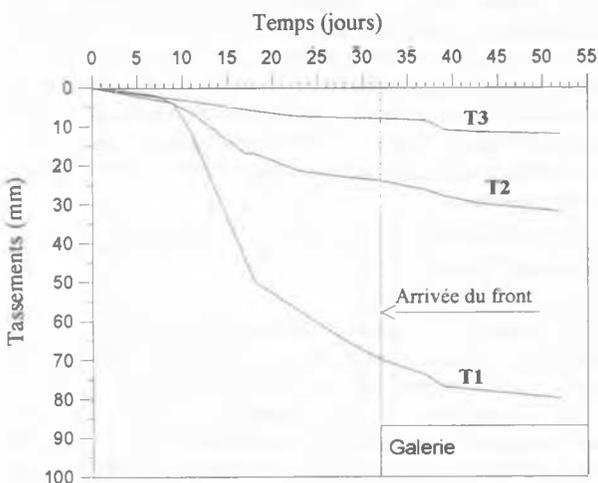


Figure 3 : Résultats tassométriques

2.2 Contexte géologique et géotechnique de la zone d'étude

Le massif à l'aplomb de la section d'étude est constitué d'une stratification de 4 horizons, au dessus de la marme, des couches de sable, d'alluvion et de remblai (Figure 4).

Sur le tronçon d'étude, ont été effectués 10 sondages dans lesquelles ont été prélevés 19 échantillons, à différentes

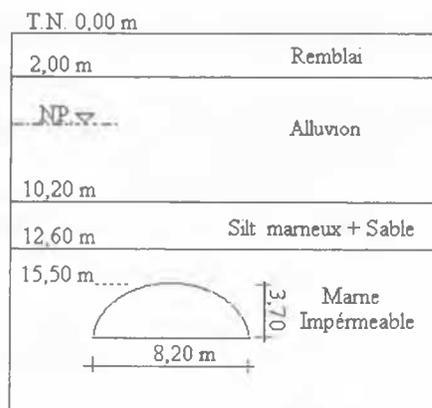


Figure 4 : Stratigraphie simplifiée au droit de la section de mesure.

Tableau 1 : Caractéristiques physiques des marmes obtenus en laboratoire.

	γ kN/m ³	γ_d kN/m ³	w (%)	w _L	w _p	I _p
Valeur moyenne	20	15.8	26.55	55.5	27.6	27.9

profondeurs. Les caractéristiques physiques et mécaniques obtenus pour les marmes sont résumés dans le tableau 1.

Les essais oedométriques réalisés sur des échantillons prélevés au cours des sondages ont mis en évidence des pressions de gonflement faibles. Les paramètres de cisaillement obtenus à partir d'essais triaxiaux consolidés non drainés sont : $c = 52$ kPa, $\phi = 20^\circ$. Le module de Young E obtenu varie entre 9 et 40 MPa. A l'aplomb de la section d'étude, ont été réalisés des essais de plaque et des essais au dilatomètre à des différentes profondeurs. Les essais en plaque ont donné un module de déformation variant entre 15 et 319 MPa. On note donc une dispersion importante. Les valeurs moyennes des modules de déformation obtenus à partir des essais dilatométriques varient de 75 et 85 MPa à 3 m de profondeur, et entre 73 à 90 MPa à 5.4 m de profondeur (marme). Les essais ont donné des résultats assez dispersés. Il convient de noter que cette dispersion peut être expliquée par la différence des champs de contraintes créés par les différents types d'essais dans la zone de l'essai.

3 CALCUL DES TASSEMENTS EN SURFACE

3.1 Calcul en déformation plane avec la méthode des éléments finis

La simulation du creusement de tunnel est réalisée à l'aide du code numérique CESAR-LCPC (Mestat, 1990). Ces calculs ont été effectués au Département de mécanique des Solides de l'Ecole Centrale de Lyon, France (Akchiche, 1996). La section considérée correspond à une section de mesure des tassements en surface et des déplacements du sol. Lors du creusement, le déconfinement est défini par le facteur λ qui caractérise la contrainte résiduelle au niveau de la paroi du tunnel et qui dépend de l'avancée du front de taille (figure 5) (Panet et Guélléc, 1974).

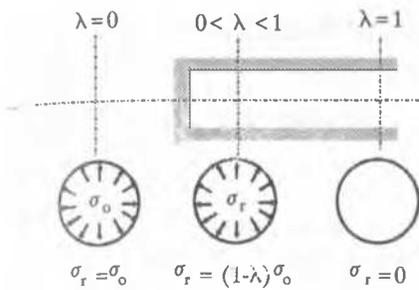


Figure 5 : Evolution des contraintes paramétrées par λ .

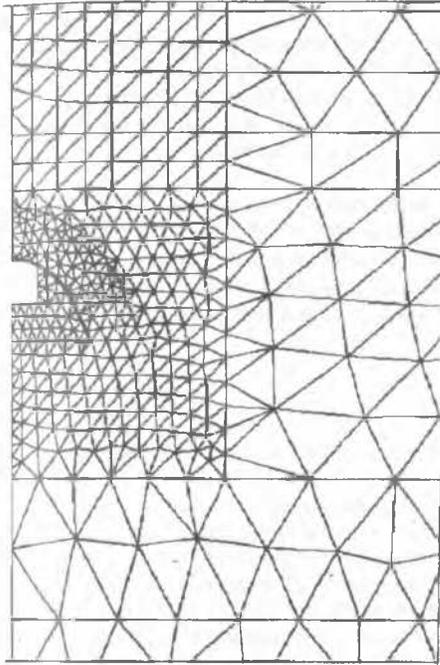


Figure 6 : Maillage du modèle.

$$[\sigma] = (1 - \lambda) [\sigma_0] \quad (1)$$

$[\sigma_0]$ étant le tenseur des contraintes initiales au niveau considéré avant creusement. Nous avons considéré un taux de déconfinement $\lambda = 70\%$ au moment de la pose de soutènement (Panet et Guenot, 1982).

Le maillage de la figure 6 a été utilisé. il est constitué de 1079 éléments triangulaires à 6 nœuds. Le comportement du massif est supposé élastoplastique avec le critère de Mohr-Coulomb défini par un module de Young E , un coefficient de Poisson ν , une cohésion c , un angle de frottement ϕ et un coefficient de dilatance ψ . Le tunnel est considéré implanté dans un milieu anisotrope ($K_0 = 0.5$, K_0 est le coefficient des terres au repos). Les caractéristiques mécaniques retenues pour chaque couche de la stratigraphie définie ci dessus sont résumés dans le tableau 2. Une étude paramétrique a été menée pour mettre en évidence les paramètres influents sur les résultats de calcul. La figure 7 indique qu'une diminution du module de Young E induit une augmentation significative du tassement à l'axe du tunnel.

3.2 Calcul des tassements en surface à partir des modèles empiriques

Plusieurs méthodes empiriques ont été proposées pour prédire les tassements en surface lors de creusement de tunnels. On

Tableau 2 : Caractéristiques mécaniques

	γ kN/m ³	E MPa	ν	C (kPa)	ϕ (°)	ψ (°)
Remblai	17	36.2	0.33	10	15	10
Alluvion	20	36.2	0.33	10	20	10
Sable	18	108	0.33	15	30	15
marne	20	82	0.33	52	20	10

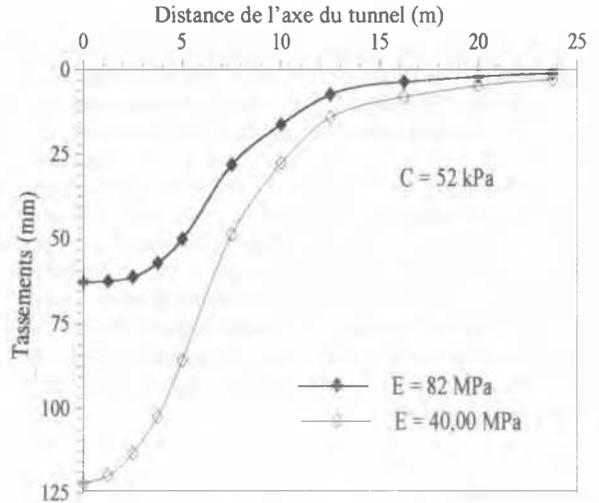


Figure 7 : Influence du module de Young E sur les tassements en surface.

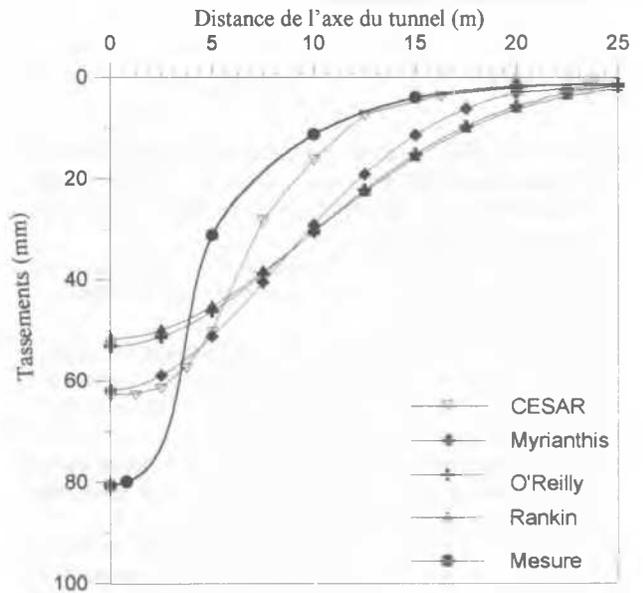


Figure 8 : Comparaison des tassements en surface calculés et ceux mesurés in situ.

peut citer la méthode classique introduite par Peck (1969) sur des bases expérimentales. Elle est basée sur le concept de perte de volume. Pour le cas du tunnel du métro d'Alger, on se propose d'analyser les tassements en surface en utilisant les méthodes proposées par Myrianthis (1974), O'Reilly & New (1982) et Rankin (1988).

3.3 Analyse des résultats

Les résultats de calculs obtenus par le code CESAR-LCPC et les différentes méthodes citées ci dessus sont représentés sur la figure 8. On peut observer sur cette figure que les tassements obtenus en surface à partir des différents méthodes sont inférieurs aux mesures au niveau de l'axe du tunnel. Mais, Entre 5 m et 15 m de l'axe de la galerie, les calculs en éléments finis donnent des résultats assez proches de ceux des mesures; les méthodes empiriques donnent des tassements supérieurs aux mesures.

CONCLUSION

On analysé dans cet article, les tassements provoqués en surface par la réalisation de la chambre d'essai du tunnel de la ligne 1 du métro d'Alger. Les mesures tassométriques ont permis de montrer la grande influence de la décompression des terrains en avant du front de taille; plus de 75 % des tassements se produisent avant l'arrivée du front. Les mesures en surface ont enregistré un tassement maximal de l'ordre de 80 mm accompagné d'apparition de désordres importants sur les ouvrages à proximité de la chambre. Ces résultats recommandent d'exécuter le tunnel par phasage pour limiter l'extension de la zone plastique en surface et ainsi d'éviter un tassement important en surface. Pour le creusement de la chambre d'essai, les calculs prévoient des tassements à l'axe inférieurs à ceux mesurés.

REMERCIEMENTS

Les calculs avec le logiciel CESAR-LCPC ont été effectués au Département de Mécanique des Solides de l'Ecole Centrale de Lyon, France. Nous remercions le Professeur Cambou B. pour son aide technique et scientifique.

REFERENCES

- Akchiche M. 1996. Analyse de l'adaptation de la méthode convergence-confinement aux tunnels peu profonds, application au tunnel du métro d'Alger. *These de Magister*, Université USTHB, Alger.
- Mestat P. 1990. Manuel de description de la programmation des comportements des massifs non linéaires dans CESAR-LCPC, *Rapport LCPC*.
- Myriantithis M. L. 1974. Quelques relations phénoménologiques sur le tassement d'un terrain de faible résistance surmontant un tunnel. *Annales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publics*, n° 317.
- O'Reilly M.P. & New B.M. 1982. Settelements above tunnels in the united Kingdom - their magnitude and prediction. *Tunnelling 82*, pp 173-181. London.
- Panet M. & Guenot A. 1982. Analysis of convergence behind the face of a tunnel, *Tunnelling 82 - The Institution of Mining and Metallurgy*, pp.197-204, London.
- Panet M. & Guellec. 1974. Contribution à l'étude d'un tunnel à l'arrière du front de taille, *Proc. 3rd Int. Cong. Rock Mechanics*. Denver, Vol. II B, pp.1163-1168.
- Peck R. B. 1969. Deep excavation and tunneling in soft ground. *Proc. 7th Int. Conf. on Sol Mech*. Mexico, pp. 225-290.
- Rankin W.J. 1988. Ground movements resulting from urban tunnelling. *Proc. Conf. Engng. Geol. Underground Movements*, Nottingham, pp 79-92. London. geological Society.