

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.

Soutènements provisoires des tranchées du métro de Lyon

Temporary retaining structures of trenches of Lyon metro

R.KASTNER, Laboratoire Géotechnique, INSA de Lyon, France

P.LAREAL, Laboratoire Géotechnique, INSA de Lyon, France

J.FERRAND, Semaly, Lyon, France

P.DUPEUBLE, Entreprise Bachy, Paris, France

Y.FENOUX, Soletanche Entreprise, Paris, France

RESUME Les galeries du métro de Lyon ont été en majeure partie réalisées à l'abri de soutènements provisoires, en utilisant la technique de la tranchée ouverte. Plusieurs expérimentations in situ ont permis de préciser les propriétés des alluvions du site de Lyon et de suivre le comportement de divers types de soutènements (palplanches, parois moulées et procédés dérivés...) lors des phases d'excavation. Elles ont conduit à la validation d'une méthode de calcul utilisant le module de réaction et à l'évolution des dimensions et des types de soutènements retenus.

PRESENTATION DES TRAVAUX DU METRO DE LYON

Commencé en 1971, le métro lyonnais comporte actuellement trois lignes, la quatrième étant en cours de construction. Sur la majeure partie de son tracé, ce réseau est implanté dans un horizon d'alluvions sablo-graveleuses caractérisées par une granulométrie très étalée ($D_{60}=20\text{mm}$; $D_{10}=0,3\text{mm}$), une forte compacité ($d/w=2,15$) et une perméabilité élevée pouvant atteindre 10^{-2}m/s . 23 km de galeries ont été exécutées, à l'abri de soutènements provisoires, dans des tranchées ouvertes de 6 à 12m de profondeur et de largeur inférieure à 10m autorisant la pose de butons. La proximité des immeubles et la nappe phréatique ont été les facteurs importants à prendre en compte.

DIMENSIONNEMENT DES SOUTENEMENTS

Environ 180000 m² de palplanches, 100000 m² de parois moulées, 120000 m² de parois préfabriquées et 100000 m² de soutènements divers ont été réalisés. Ces 500000 m² de soutènement étant provisoires, il importait d'en minimiser le coût, tout en respectant les contraintes liées à l'environnement fortement urbanisé. Dans ce contexte, l'optimisation de ces soutènements nécessitait un outil de calcul des rideaux flexibles prenant en compte le déplacement du rideau et l'influence du déroulement des travaux. Le logiciel RIDO basé sur l'hypothèse du module de réaction (relation pression-déplacement avec hystérésis) a été développé dans ce but (FAGES et al. 1971).

Les limites évidentes de l'hypothèse du module de réaction ainsi que la difficulté des essais mécaniques sur ces alluvions ont conduit à une importante expérimentation (KERISEL et al., 1972 ; LAREAL, 1975) destinée à suivre le comportement en vraie grandeur des soutènements et mesurer les caractéristiques géotechniques des alluvions. Il s'agissait aussi de tester diverses techniques : vibro-fonçage des palplanches, excavation des parois à proximité des fondations...

Ce premier chantier expérimental a confirmé l'intérêt du logiciel utilisé par rapport aux méthodes de calcul traditionnelles des soutènements flexibles et a donné une première approche des propriétés des alluvions mettant en évidence en particulier une légère "cohésion".

EXPERIMENTATION

Pour le dimensionnement des soutènements de la ligne A, les données de sol retenues ont été prudentes en raison des risques liés aux constructions proches des fouilles et du manque d'expérience dans ce site ; la "cohésion" des alluvions n'a pas été prise en compte.

Sur chacune des 4 lignes, des expérimentations ont été effectuées (KASTNER, 1982, 1986) afin de cerner précisément les propriétés des alluvions et le comportement des soutènements, dans les conditions normales de réalisation (cisaillement des alluvions in situ à l'aide d'une boîte de 60 x 60cm, mesure des déformations des soutènements par inclinométrie et extensométrie, efforts dans les butons...) Au fur et à mesure de ces expérimentations, l'outil de calcul et les valeurs des paramètres ont été affinés et progressivement intégrés dans les calculs ultérieurs et la conception des soutènements provisoires.

PRINCIPAUX RESULTATS

Caractéristiques des alluvions

La courbe intrinsèque des alluvions obtenue par cisaillement in situ est une droite : $\sigma = 33'$ et $C = 10$ à 25 kPa selon les essais. Cette cohésion surprenante pour des alluvions sablo-graveleuses est confirmée par le comportement des soutènements expérimentaux : la poussée du sol est quasi nulle sur les 5 à 6m supérieurs et les rétro-analyses effectuées avec le logiciel conduisent à une cohésion de 20 à 25 kPa. Il est possible que les approximations

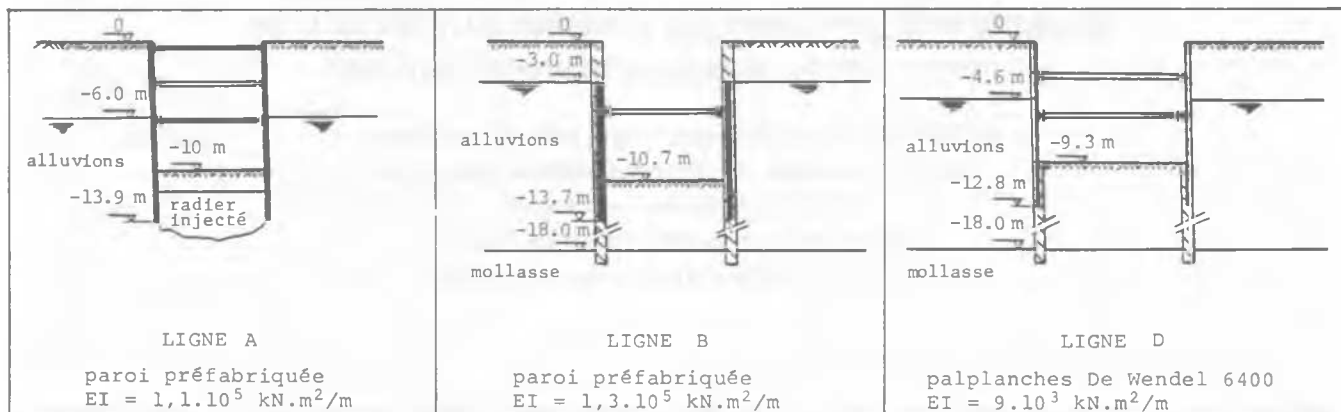


Fig. 1. Evolution des soutènements

conduit à une légère surestimation de cette "cohésion".

Le module de réaction K_h dépend du modèle de calcul. Les calculs effectués montrent une faible sensibilité à la valeur de K_h , des écarts du simple au double restant sans influence notable. Les valeurs obtenues, nettement supérieures à celles préconisées par Terzaghi et par Rowe, restent supérieures à celles déduites des résultats pressiométriques.

Calculs suivant l'hypothèse de Winkler

Les comparaisons calcul-mesure ont permis de mettre en évidence les possibilités d'un logiciel tel que RIDO mais aussi ses limites :

- les moments fléchissants des soutènements butonnés sont correctement calculés. Les efforts dans les butons passifs sont d'autant plus sous-évalués que le soutènement est plus flexible. Cet écart est dû à l'effet de voûte qui provoque une concentration de la poussée du sol au niveau du buton, ce qui ne peut être décrit par l'hypothèse de Winkler.

- la courbe de déformation des rideaux minces (palplanches) est correctement calculée. Par contre, pour les soutènements plus épais (parois moulées), il est nécessaire d'augmenter de 50 à 100% la valeur réelle de la rigidité EI du rideau. Cet artifice peut être justifié par le fait que dans ces calculs on néglige la contrainte de cisaillement sol-écran. Ceci est confirmé par le calcul aux éléments finis.

EVOLUTION DES SOUTÈNEMENTS

Les expérimentations ont permis d'affiner le dimensionnement des rideaux en mobilisant au maximum la résistance du sol, et en particulier la "cohésion". La figure 1 illustre cette évolution : sur la ligne A (calculée sans cohésion), la fouille est protégée par une paroi préfabriquée de forte raideur maintenue par 3 niveaux de butons. Sur la ligne B, on se contente pour une fouille équivalente d'un seul buton. Pour la ligne D, on a adopté deux

niveaux de butons et des palplanches de rigidité EI 10 fois plus faible, noyées dans le coulis (économie : 15 %).

Dans les zones hors d'eau, des variantes économiques ont été substituées aux solutions classiques en palplanches ou parois moulées. Dans ces variantes la résistance du sol est aussi sollicitée dans le plan horizontal : pieux non jointifs (ligne C), colonnes "Jet Grout" non jointives, parois au coulis armées d'éléments espacés, parois clouées (ligne D).

CONCLUSION

Les expérimentations effectuées tout au long des travaux du métro, en permettant une meilleure connaissance du sol et des méthodes de calcul, ont contribué à abaisser progressivement le coût des soutènements. Toutefois, quelques incidents ont montré qu'une trop forte diminution du coefficient de sécurité expose les ouvrages aux hétérogénéités géologiques locales.

BIBLIOGRAPHIE

- Fages, R. and al. (1971). Calcul de rideaux de parois moulées ou de palplanches. Travaux n° 439 et 441,
- Kastner, R. (1982). Excavations profondes en site urbain. Thèse : sci. INSA Lyon - Université Lyon 1, n° I.DE.8210, 409 p.
- Kastner, R. and al. (1986). Performance of a low cost retaining structure. 8th Danube C.S.M.F.E., 25-30, Nuremberg.
- Kerisel, J. and al. (1972). Mesures de poussée et butée faites avec 42 paires de butons asservis. 5th E.C.S.M.F.E., 1, 265-273, Madrid.
- Lareal, P. (1975). Sol de la région lyonnaise. Thèse : sci. : univ. Lyon 1, n° 75-13, 139-180.