

# Essais de chargement sur des portions de tunnel sur une ligne de métro à Barcelone

C. Molins, A.R. Marí, T. Garcia

Département de l'Ingéniering en Construction, de l'Université Technique de Catalogne, Mòdul C1, Campus Nord UPC, Jordi Girona, 1-3, 08034 Barcelona.

<http://www.hbm.fr/custserv/SEURLF/ASP/SFS/ID.794/MM.4.36.34/SFE/techarticles.htm>

Numéro de référence: 794\_fr

## Introduction

La nouvelle ligne souterraine du métro L9, conçue comme un tunnel à deux niveaux, est actuellement en construction à Barcelone.

En décembre 2005, un essai complet à pleine charge a été mené sur site en chargeant une section expérimentale du tunnel construite avec des segments de SFRC (Steel Fiber reinforced Concrete : parois en acier renforcées de béton).

Le but principal de l'essai de chargement, développé particulièrement pour cette application, était de mettre en évidence par expérimentation le comportement des segments du tunnel construits en SFRC, sans aucun renfort conventionnel sous une pression concentrée de la terre.

Les capteurs de pression de HBM ont donnés des résultats d'essai corrects.



## Paramétrages des mesures

Le projet de la ligne L9 comprend 40 km de tunnel excavés en utilisant une machine de forage de tunnel, ayant un diamètre de 12m. L'anneau se compose de 7 segments + 1, chacun avec une largeur de 1.8 m et une épaisseur de 0.35m. Bien que l'utilisation de SFRC dans la fabrication de segments préfabriqués n'est pas du tout commun, elle permet d'augmenter la solidité des segments et réduit donc le risque de dommage pendant la réalisation du chantier de démolition, de transport, d'assemblage et de mise en place. Dans ce cas-ci, le renforcement a été entièrement substitué par des plaques d'acier à 60 kg/m<sup>3</sup>. Bien que quelques expériences complètes ont été menées en laboratoire sur des doublures segmentaires fabriquées en Hollande et en Allemagne, aucun essai de chargement n'avait été encore effectué sur site dans de vraies conditions de construction.

Cet essai a été réalisé pour mieux comprendre le comportement des segments du tunnel en SFRC. En particulier, le test d'assistance fait sur place a permis d'évaluer en réponse la contribution des anneaux adjacents. Il est supposé qu'elle dépend fondamentalement de la compression longitudinale résultante entre les anneaux due à la poussée du tunnelier. Les résultats seront très utiles pour valider l'hypothèse et les méthodes employées pour les essais structuraux des doublures segmentaires et pour évaluer ainsi le bien fondé d'utiliser du SFRC pour la construction des tronçons.

L'installation d'essai développée a comporté trois vérins hydrauliques plats incorporés dans la couche extérieure de deux segments d'un anneau. Les vérins ont été placés dans un secteur de 48° symétriquement répartie par rapport à la verticale au dessus de l'anneau (Fig.1).

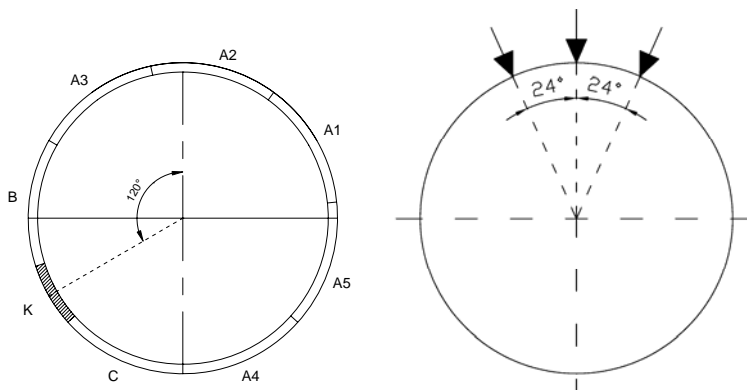


Fig 1 : La position du segment K dans l'anneau avec les vérins plats et la répartition choisie du chargement.

La décision pour un test sur site a été voulue pour des raisons techniques et économiques. Les avantages techniques sont :

(1) la réponse de la structure est obtenue en conditions réelles sur site, (2) elle inclut la contribution de tous éléments et, en conséquence, (3) elle tient compte de la contribution tangentielle du contact entre la doublure et la terre, ainsi que celle radiale ; (4) la précontrainte longitudinale entre les anneaux et sa relaxation est réelle; et, (5) l'état de contrainte-déformation avant l'essai est une condition « normale » dans le tunnel, après que la doublure ait été construite d'une façon normale.

Les avantages économiques de développer un essai sur place sont : (1) aucun équipement de laboratoire spécial, volumineux et cher n'est exigé ; (2) les instruments utilisés sur site peuvent également être utilisés dans d'autres buts, parce qu'ils peuvent mesurer avant, pendant, et après l'essai.

Cependant, quelques limitations dans l'essai sur place sont à retenir: (1) les difficultés en interprétant les résultats dus aux incertitudes inhérentes au comportement mécanique de la terre et du joint; (2) la réponse est obtenue sous un modèle prédéfini de charge parce qu'il est impossible de changer la position des vérins ; (3) les charges doivent être inférieures aux charges de rupture pour éviter un dommage majeur de la doublure et, (4) le cours de l'essai doit être adapté aux conditions de production.

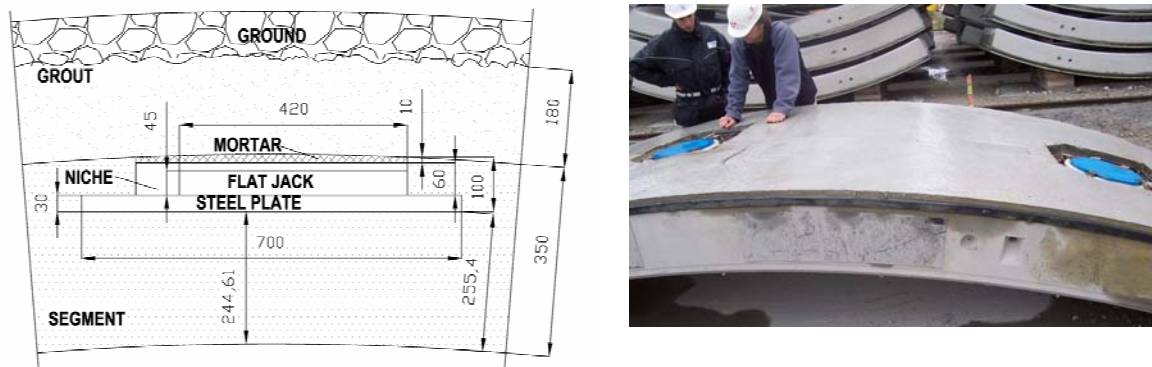


Fig 2 : Vérins plats insérés dans les segments

150 jauges de contrainte et 18 capteurs de pression ont été noyés dans tous les segments des anneaux chargés pour surveiller l'essai. En outre, sept capteurs de déplacement verticaux et 52 autres capteurs de déplacement ont été installés extérieurement pour mesurer le mouvement tangential et vertical dans les joints entre les segments.

### Choix de bons capteurs de pression

Des capteurs de pression de très bonne sensibilité de 200 bar ont été exigés parce que 1 bar dans le vérin se traduit par une force de 10 kN. Dans l'installation d'essai le capteur de pression P2V de HBM a été utilisé, car c'est un capteur analogique compensé numériquement. Notre essai a montré que c'est un dispositif très précis et fiable. La figure 4 montre la pompe à huile, les valves et le capteur de pression. La figure 5 montre la disposition du circuit hydraulique.

Un total de 222 instruments, y compris les capteurs de pression du circuit hydraulique, a été utilisé.

Le procédé de chargement a comporté trois phases (Fig. 3). Dans la phase 0, une charge de 100kN par vérin a été appliquée et maintenue pendant presque dix-huit heures. Cette phase préliminaire a fourni des informations au sujet de la relaxation de la pression des vérins.

Dans la phase 1, une charge du 500kN a été appliquée par chaque vérin. Au début de cette phase, le vérin 3 a échoué. Dans la phase 2, la même charge a été également appliquée au vérin 1 et au vérin 2 séparément.

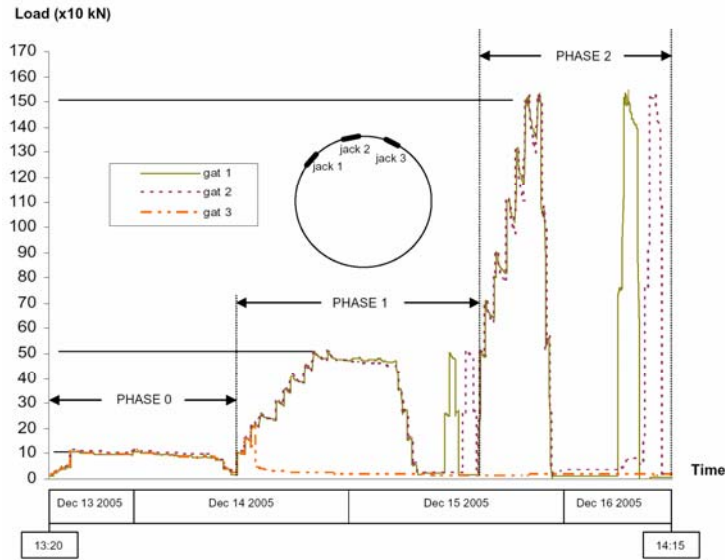


Fig 3 : Surveillance des pressions (transcrites en Forces) pendant l'essai



Fig 4 : Pompe à huile, valves et capteurs de pression

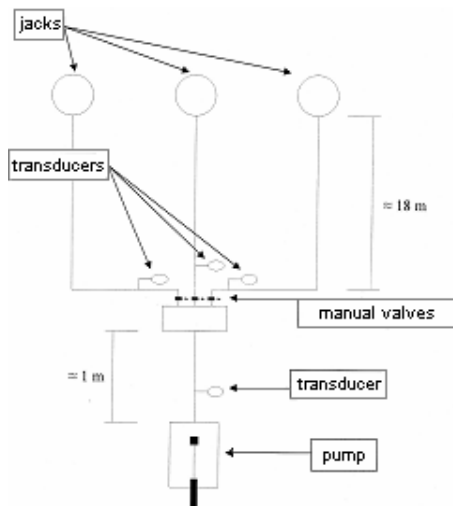


Fig 5 : Représentation du circuit hydraulique

## **Remerciements**

Les auteurs remercient Gestió d'Infraestructures, SA (GISA), la société public responsable de la conception et de la construction de la ligne souterraine L9 du métro de Barcelone, pour avoir confié cette recherche au Département de la Construction Engineering de l'UPC (Technical University of Catalogne), et à toutes les personnes de UTE L9, de Payma Cotas et de l'UPC qui ont été impliquées, en particulier le personnel du laboratoire des structures, Mr. Carlos Hurtado et Jordi Lafuente, et Mad. Roser Valls, Mad. Marta de la Torre et Mad. Gemma Viladomat.