



The first tunnels bored below the River Nile
The relatively shallow depth below the river
The possibility of scour reducing the cover and
so the factor of safety for buoyancy
The need to allow for liquefaction effects under
earthquake conditions

Les premiers tunnels sous le Nil
La profondeur relativement faible sous le fleuve
Les risques d'affouillements réduisant la
couverture et le facteur de sécurité en matière
de flottabilité
Les effets de liquéfaction en cas de tremblement
de terre

Longueur totale: 4.370 m (3.532 m percés, 388 m creusés et couverts, 450 m creusés et couverts dans les stations)
 Diamètre: 8.4 m intérieur, diamètre du bouclier 9.4 m
 Section: 70 m²
 Durée des travaux: 3 ans
 Mise en service: avril 1999

Après son achèvement, la ligne 2 du Métro du Grand Caire rejoindra Shubra El Kheima à Giza. La longueur totale de la ligne sera de 18.3 km, dont 75 % en souterrain. Les 2 premières phases sont en exploitation. La 3ème, entre les stations Sadat et Cairo University, inclut trois stations souterraines et franchit les deux branches du Nil en souterrain. Une des stations est située sur l'île de Gezira entre les deux branches.

Le projet et la construction des deux traversées du Nil ont constitué un challenge technique, eu égard au fait qu'ils constituaient les premiers tunnels creusés sous le fleuve. Le tunnel du Métro a été construit par un tunnelier à pression de boue bentonitique.

La largeur de la branche principale est de 370 m et celle de la branche Ouest de 120 m au point de traversée. La couverture du tunnel était conditionnée par le tracé vertical qui devait prendre en compte les emplacements des stations, où la profondeur de l'excavation dans le sable saturé avait été minimisée, ainsi qu'un gradient de la voie entre stations limité.

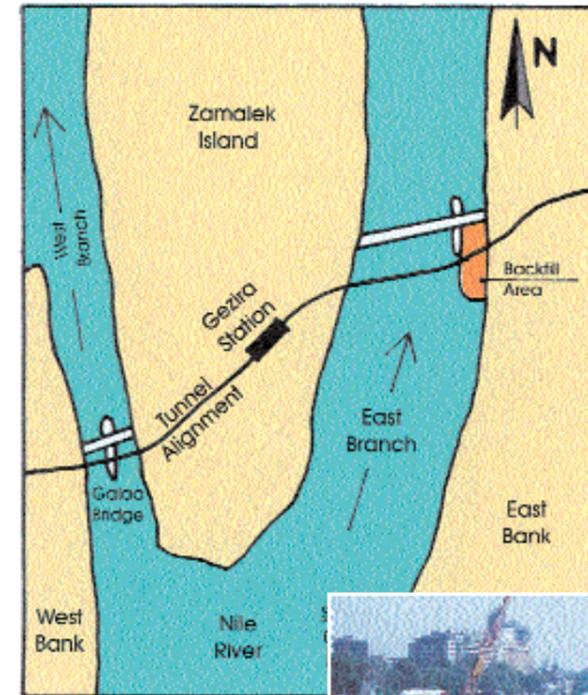
Au cours des cycles de sédimentation et d'érosion répétés avant la construction du Haut Barrage d'Asouan, un profond dépôt d'alluvions s'est formé avec, en général, un terrain granuleux en partie supérieure et sableux en profondeur. Les relevés réalisés avant la construction ont montré l'existence d'affouillements adjacents aux piles du pont routier. Les études préliminaires ont indiqué une profondeur potentielle de l'affouillement de 2,5 m au dessus du tunnel du Métro et dans la zone à très faible couverture, il a été nécessaire de remblayer le lit du fleuve par enrochement. Trois critères ont été pris en considération pour l'enrochement: premièrement assurer une stabilité suffisante de la flottabilité au tunnel durant la construction, deuxièmement résister à long terme aux affouillements dans les conditions d'inondation en s'assurant que les courants localisés ne produiront pas de nouvel affouillement. L'entrepreneur a engagé des levées bathymétriques complémentaires pour élaborer recueil de données plus dense et confirmer localement le niveau du lit du fleuve pour les études de



réalisation. De plus, un levé géotechnique a complété les dernières études et a mis en évidence une couche de remblai de 2 m d'épaisseur recouvrant une couche de boue alluviale de 10 m d'épaisseur, et une couche de sable dans laquelle le tunnel du Métro est situé. La nappe phréatique est de 4-5 m sous le niveau du sol. Le risque de liquéfaction à long terme, compromettant la stabilité du tunnel contre la flottabilité, a également été vérifié en utilisant un coefficient d'accélération maximum de 4 %, correspondant approximativement à un tremblement de terre d'une magnitude de 5,5 sur l'échelle de Richter. Le facteur de sécurité, variant de 2,8 à 13,5, est largement supérieur au 1,2 exigé par Eurocode.

Trois cas de flottabilité ont été étudiés pour la phase de construction, à court terme entre le creusement et la mise en place du revêtement, à moyen terme après la mise en place du revêtement, et à long terme avec l'achèvement du

tunnel mais sans prendre en compte le béton de rechargement sous la voie. La phase moyen terme, avec un facteur de sécurité de 1,5 s'est avérée la plus critique. Pour la phase long terme, la possibilité d'un affouillement de 3 m au dessus du tunnel a été prise en compte réduisant le coefficient de sécurité pour la flottabilité à 1,39. Avec 4,5 m d'affouillement, ce facteur est réduit à 1,21. Ces résultats ont été considérés comme acceptables eu égard aux améliorations survenues dans l'évolution du lit du fleuve et du fait que la possibilité que le débit du fleuve pris en compte dans le calcul se réalise était minime compte tenu du contrôle de ce débit effectué à partir du Haut Barrage d'Asouan. La construction de la traversée de la branche Ouest du fleuve a été réalisée en 5 jours ouvrables et celle de la branche Est en 14 jours, et ce sans aucun problème. La construction a été achevée 8 mois plus tôt que prévu au programme.



Line 2 of the Greater Cairo Metro will, when completed, extend from Shubra El Kheima to Giza. The total length will be 18.3 km, of which about 75 % are in tunnel. The first two phases are operational. This third phase of the line, which extends between Sadat and Cairo University stations, includes three underground stations and passes below two branches of the river Nile.

The design and construction of the two Nile crossings presented an engineering challenge, as they are the first bored tunnels below the river. The Metro tunnel was constructed using a bentonite slurry pressurised face TBM.

The main branch is 370 m wide and the western branch 120 m wide at the crossing points. One of the stations is located on Gezira Island, between the two branches. Cover to the tunnel was governed by the vertical alignment, which had to take account of the station locations where it was

necessary to minimise the excavation in the saturated sand, and the limitations on track gradient.

Repeated sedimentation and erosion cycles, prior to the construction of the Aswan High Dam, have resulted in deep deposits of alluvium, generally with fine-grained soils near the surface and sands at depth. Surveys, prior to construction, showed scour occurring at the adjacent road bridge piers. Preliminary studies indicated a potential scour depth of 2.5 m over the Metro tunnel, and in the area with the shallowest overburden, it was necessary to backfill the riverbed with riprap. Three criteria were applied for the

Name of Project/Nom du projet
Greater Cairo Metro, Line 2, Phase 2A
 Location/Région
Cairo, Arab Republic of Egypt
 Tunnel Use/Destination du tunnel
Metro Tunnel
 Client/Maitre d'ouvrage
National Authority for Tunnels
 Consulting Engineer/Planification et direction des travaux
Greater Cairo Metro Consultants
 Contractor/Exécution
Interinfra Consortium

Total Length: 4,370 m (3,532 m bored, 388 m cut and cover, 450 m cut and cover in stations)
 Diameter: 8.4 m inside, shield diameter 9.4 m
 Cross-Section: 70 m²
 Construction Time: 3 years
 Opened: April 1999

riprap, firstly to ensure sufficient buoyancy stability to the tunnel during construction, secondly, in the long-term, to resist scour under flood conditions and finally to ensure that localised currents do not produce new scour.

The contractor carried out additional bathymetric surveys to provide a denser pattern of soundings to confirm the riverbed levels locally for the design and construction studies. In addition a geotechnical survey supplemented the earlier studies and showed a 2 m thick layer of fill overlying an alluvial silty layer about 10 m thick. This is underlain by a sandy layer in which the Metro tunnel is located. The groundwater table is about 4-5 m below the ground surface. The long-term risk of liquefaction reducing tunnel stability against buoyancy was also checked. Using a peak ground acceleration of 4 %, approximating to an earthquake magnitude of 5.5 on the Richter scale, the factors of safety ranged from 2.8 to 13.5, well above the 1.25 required by the Eurocode.

Three cases of buoyancy were checked for the construction phase: short term, between excavation and erection of the ring, medium term, just after erection of the lining, and long-term, with the tunnel completed but no invert concrete executed. Of these the medium term was found to be the most critical, with a factor of safety of 1.5. For the long-term operation of the tunnel, the possibility of 3 m of scour above the tunnel reduced the factor of safety for buoyancy to 1.39. With 4.5 m scour, this factor reduced to 1.21. These are considered acceptable as improvements to the river bed have taken place, and the possibility of the design discharge ever occurring are small due to the control of the rivers flow by the Aswan High Dam.

Construction of the crossing below the west branch of the river was completed in 5 working days and that of the east branch in 14 days, both without any problem.

Construction was completed 8 months ahead of schedule.