

les travaux spéciaux du métro du Caire

DUPEUBLE

leur Technique
Technichy

V. FENOIX

leur Technique
Technichy

2988

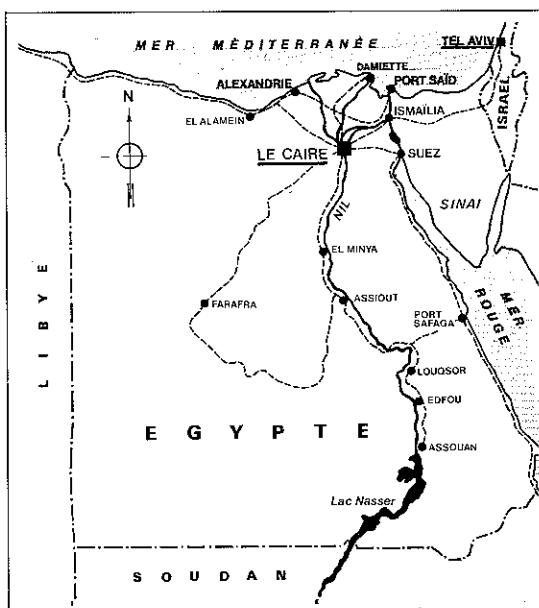
GÉNÉRALITÉS

travaux dits «du Métro du Caire» ont pratiquement débutés sur le terrain au cours de l'été 1980. Il s'agit de l'aboutissement d'un projet élaboré entre les années 1970 et 1980, qui vise à doter la capitale de l'Égypte d'un véritable réseau de transports en site propre.

Le projet global comprend, à l'heure actuelle, trois lignes (fig. 1): 1 ligne régionale et 2 lignes urbaines.

La ligne régionale est de tracé sensiblement nord-sud. Entièrement tracée sur la rive droite du Nil, elle va de El Marg au nord jusqu'à Helwan au sud. La distance est de 42 km.

Les deux lignes régionales sont destinées à desservir les deux rives de la ville. Leurs tracés sont plu-



tôt orientés Est-Ouest. Elles sont interconnectées entre elles d'une part et avec la ligne régionale d'autre part.

Pour le moment, seuls les travaux de la ligne régionale sont lancés. Toutefois, pour matérialiser l'idée du réseau, les stations de connection sont construites telles que prévues en phase ultérieure, en réservant les passages des lignes urbaines et les débouchés des voyageurs.

Deux lignes ferroviaires sont en service: la ligne Marg - Kobri El Leimoun au nord et la ligne El Louk - Helwan au sud. Ces deux lignes par un tronçon central Kobri El Leimoun - El Louk, constitueront la ligne régionale en quatuor. Cette ligne comprendra 33 stations et elle sera capable de transporter 60 000 passagers à l'heure dans chaque direction.

Les travaux en cours sous le nom du «métro du Caire» correspondent précisément à la réalisation du tronçon central Kobri El Leimoun - Bab El Louk, long de 4,7 km, souterrain, en site urbain, au cœur de la ville, dans la partie la plus commerciale et la plus encombrée en surface.

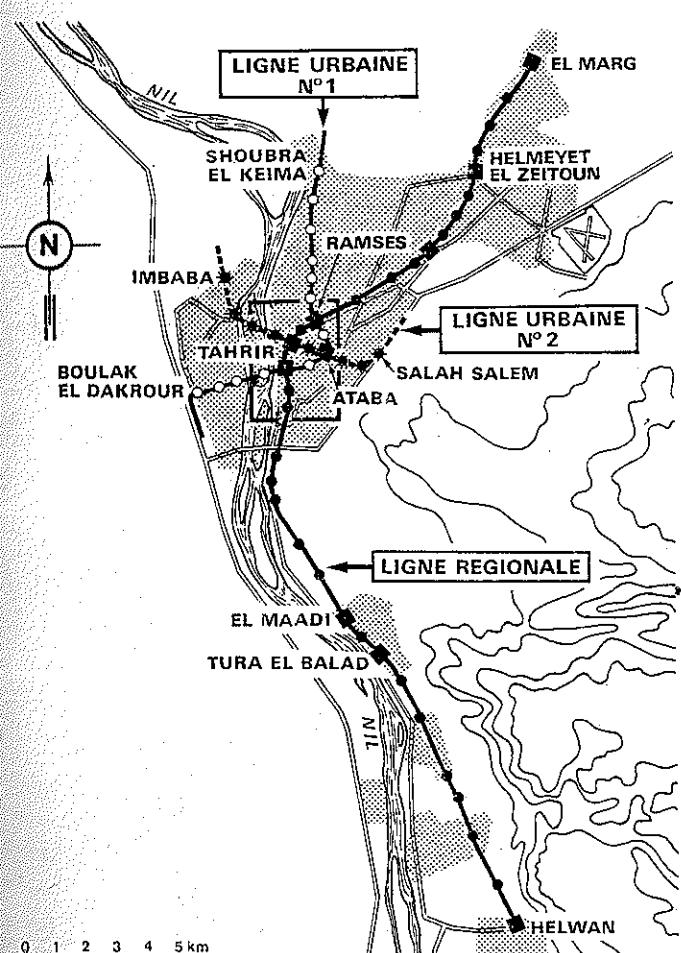
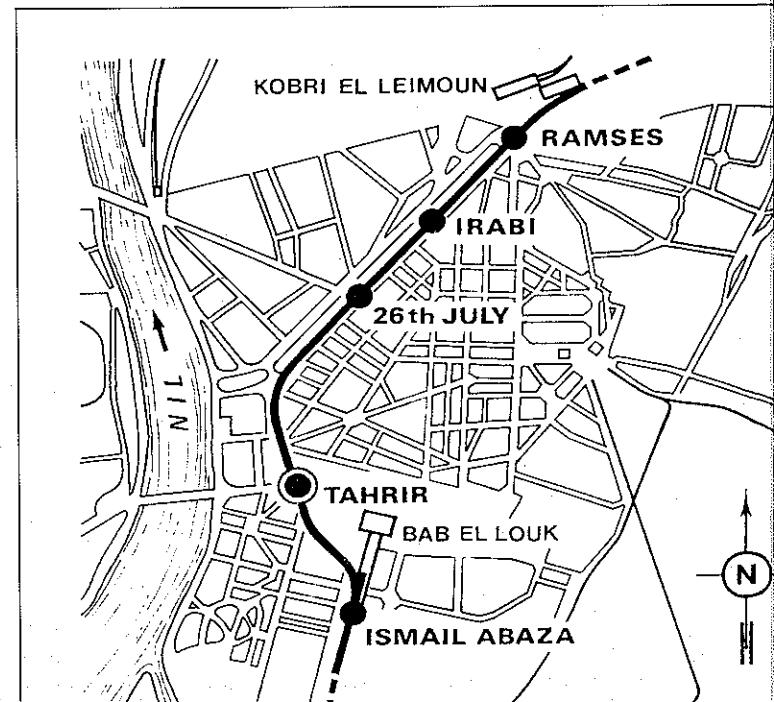


fig. 1 — Schéma du réseau complet de transport en commun en site propre au Caire.

Map of future transportation network of Cairo.

fig. 2 — Schéma du tronçon central en cours d'exécution.

Map of central part now under construction.



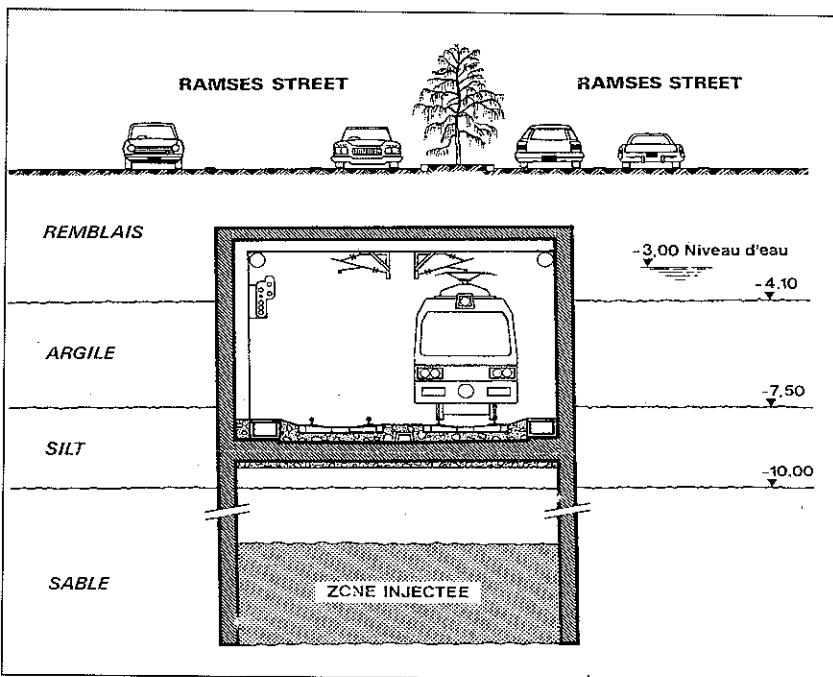


fig. 3 — Coupe type du métro en partie courante.

Typical cross-section of metro tunnel.

sable sous-jacent est perméable (de 10^{-4} à 10^{-5} m/s). Le risque de renard par le fond de fouille peut être éliminé.

Deux solutions étaient techniquement possibles : le rabattement de la nappe des sables ou l'application de fonds étanches artificiels par injection.

Le rabattement de nappe, avec pompage de la couche sableuse, aurait entraîné un déplacement d'ensemble du centre de la ville, et un tamisage des couches de silt et d'argile alors déjaugées. L'assèchement de surface, avec déformations importantes, était à craindre. La solution fut écartée.

La solution retenue consiste à faire apparaître une nappe étanche par injection, des essais préliminaires ayant montré que les sables étaient injectables avec la gamme des ciments utilisés.

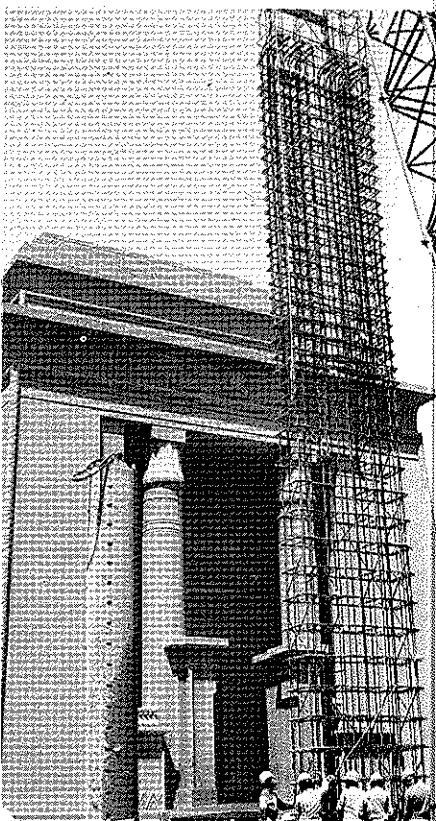
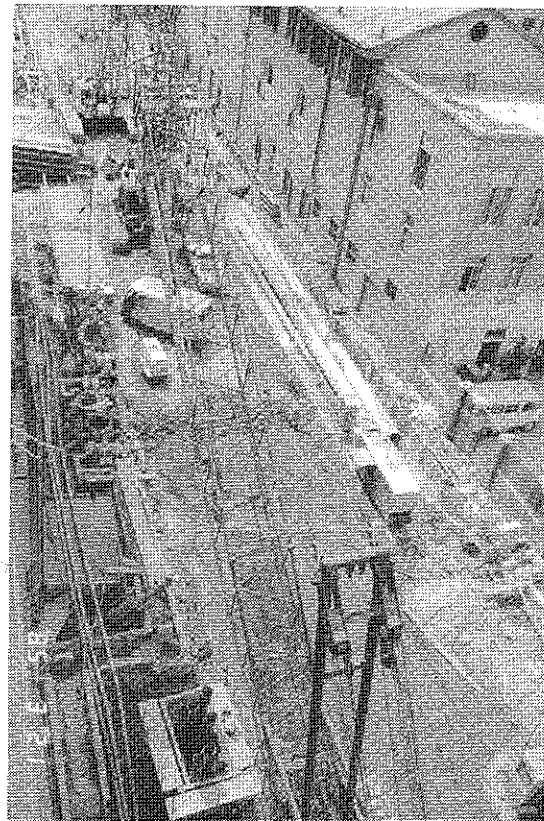
Dès lors, la méthode de construction est la suivante : on réalise les parois latérales depuis le fond de la tranchée.

fig. 6 — Chantier de perforation sous coulis pour paroi préfabriquée. On remarque les dalles en attente de pose en second plan.

Drilling site. Mud drilling for prefabricated diaphragm wall. Note the prefabricated slabs ready for use in the background of the picture.

fig. 7 — Mise en place d'une cage d'armatures pour paroi moulée.

Lowering of a reinforcement cage for the diaphragm wall into the drilled slot.



mum de nuisances en surface d'autre part, a été retenu de ce fait.

De façon schématique, la coupe des terrains rencontrés sous la rive droite du Nil au droit du Caire, est la suivante :

- des remblais sur 3 à 4 m d'épaisseur ;
- des couches de silt et d'argile sur 6 à 7 m ;
- un substratum de sable moyen à fin (tous les fuseaux sont pratiquement compris entre 0,1 mm et 1 mm) à partir de 10 m de profondeur.

La nappe est à 3 m environ sous la surface.

En partie courante (fig. 3) les dimensions de l'ouvrage sont :

- largeur utile de 8,70 m ;
- hauteur utile de 6,00 m.

Compte-tenu d'un minimum de couverture au-dessus du toit et de l'épaisseur du toit, du radier et du ballast, le terrassement doit descendre à une profondeur de 9 m environ, soit 6 m en-dessous de la nappe. A cette profondeur, la couche d'argile ou de silt résiduelle sous le fond de fouille est très nettement insuffisante pour être stable. Le risque de voir le fond de fouille crevé par les sous-pressions est évident, avec des soulèvements du fond, des venues d'eau et des entraînements de matériau.

Par ailleurs, du fait de sa courbe granulométrique étroite, avec des grains de dimensions resserrées, le

fait l'injection du fond, également depuis la

enlève la terre entre les parois (un simple écoulement de surface a pour fonction d'évacuer le résiduel à travers le fond);

pose des butons pour assurer la stabilité des voies en phase provisoire d'exécution;

épouonne le radier, puis la dalle de couverture, avec étanchéités de surface correspondantes;

remblaye au-dessus du cadre et on rétablit la circulation.

Solution est employée chaque fois que le rétablissement de la circulation en surface ne revêt pas caractère prioritaire.

Le cas contraire, on utilise la stricte méthode

fig. 8 — Chantier d'injection. On remarque les tubes à manchettes hors sol. Les parois sont déjà posées.

Grouting site. Note the sleeve pipes heads. Lateral diaphragm walls are completed.

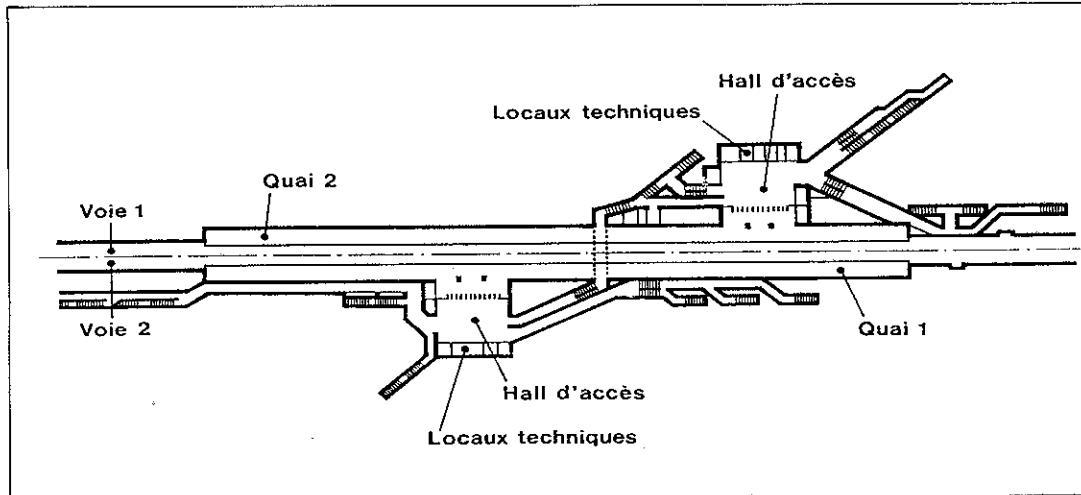


fig. 9 — Opération de maintenance mécanique sur un kelly. La sécurité des mécaniciens n'est pas négligée.

Maintenance operation of a kelly. Safety measures were a constant concern on the site.



fig. 4 — Vue en plan du tracé d'une station.

Metro station plan view.

des tranchées couvertes, qui consiste à couler en premier la dalle de couverture, puis à poursuivre le chantier en taupe (notamment le terrassement et le coulage du radier). Dans un tel cas, un seul bouton est posé.

Globalement, et en incluant les cas particuliers de stations où les deux méthodes sont utilisées simultanément, on a une répartition 80%/20% entre les tranchées ouvertes et les tranchées couvertes.

Les parois latérales des tunnels interstations sont du type paroi préfabriquée, avec joint water-stop extensible. Elles sont théoriquement utilisées en paroi courante. Pour les stations, d'un dessin plus complexe (se prêtant mal à la standardisation des maillages de paroi préfabriquée) et d'une profondeur pouvant atteindre 40 m (où l'emploi de la paroi préfabriquée n'est pas économiquement intéressant), il est fait appel aux classiques parois moulées (fig. 5).

Les épaisseurs courantes sont respectivement de 0,45 m et 0,55 m pour les parois préfabriquées, et 0,60, 0,70 et 1 m pour les parois moulées.

Les fonds injectés sont faits par tronçons d'une longueur de 60 m environ, séparés par des cloisons étanches, de façon à faciliter les contrôles de qualité et à bien limiter les incidents éventuels.

Après des essais en vraie grandeur, la technique est désormais figée (fig. 5):

- épaisseur du fond égale à 3 m;
- maille de forage égale à 1,60 m, carrée;
- utilisation du tube à manchettes;
- injection en 3 phases successives, avec des gels de ciment-bentonite, puis gel mou de silicate et enfin ciment-bentonite pour resserrer les gels et trôler le traitement.

Les quantités injectées correspondent à près de 90 % du volume théorique, en incluant les inévitables dispersions.

La perméabilité résiduelle garantie, qui fixe le

COUPE A-A

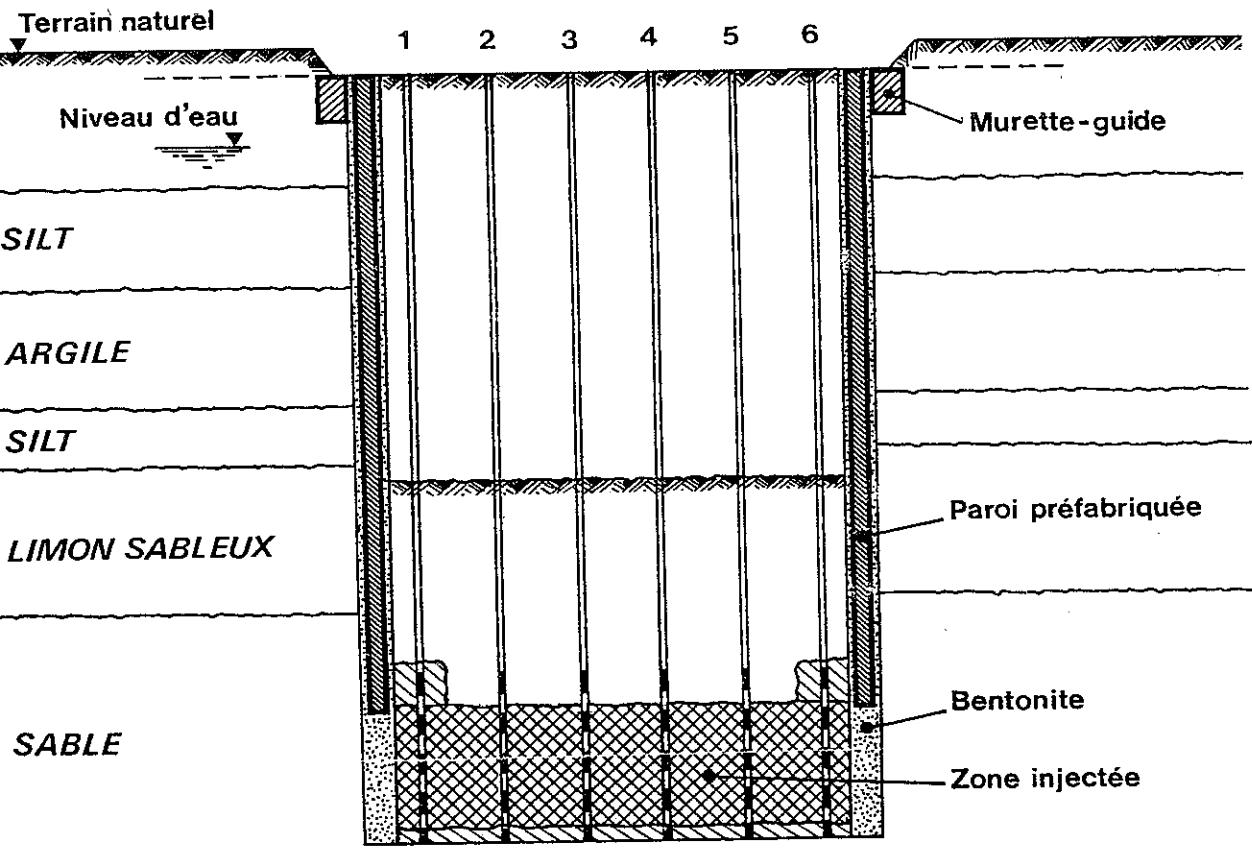
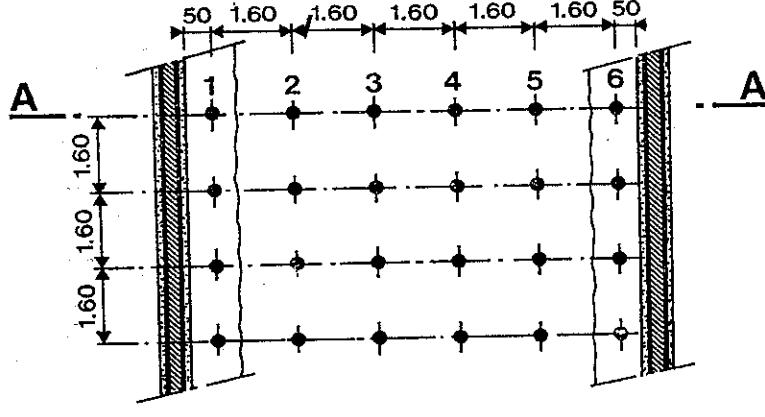


fig. 5 — Disposition des fonds injectés (position, maille, épaisseur).

Arrangement of grouted trench bottom (location, hole spacing thickness of grouted layer).

VUE EN PLAN



aire résiduel, est égale à 10^{-6} m/s. Il s'agit à valeur sévère eu égard à la finesse des sols ter.

LE CONTEXTE ADMINISTRATIF

Le maître d'ouvrage actuel est une entité spéciale créée à cette fin. Il s'agit de la «National Priority for Tunnel», émanation du ministère des ports.

AT a passé avec un consortium franco-égyptien le marché prévoyant la livraison d'un métro «clé dans la main», avec génie civil, équipements fixes, matériels roulants, aménagement complet des stations et équipements techniques. Ce type de marché, classique par ailleurs, était une première en Égypte.

Le consortium adjudicataire des travaux est un groupement d'intérêt économique où se trouvent réunies 5 entreprises françaises et 2 égyptiennes. Le nom de

Pour les travaux de génie civil, le GIE a sous-traité à une «Joint-Venture», de 9 entreprises, elles-mêmes partenaires dans «Interinfra-Arabco». Le pilote de cette JV est la société SGE TPI.

Pour les travaux spéciaux de paroi et d'injection des lots interstations, la JV génie civil a sous-traité à la société en participation dont le nom commercial est : «Soletanche Bathy Égypte». Le pilote de ce regroupement est Soletanche.

Il importe de préciser que la Sofretu a assuré l'essentiel des études préliminaires et joué un rôle primordial lors des lancements des appels d'offres. La Sofretu assure actuellement un rôle de conseil et d'assistance technique auprès du maître d'ouvrage pour les travaux en cours.

des matériaux et des techniques) au cours de 1982, les travaux spéciaux de fondation doivent durer environ 4 années.

On peut les résumer en quelques chiffres :

- extension du chantier: 5 km;
- parois moulées classiques: 187 000 m²;
- parois préfabriquées: 130 000 m², 3 200 d;
- injection de 150 000 m³ de sable.

L'effectif total de SBE (Soletanche Bathy Égypte) est de 500 personnes.

On trouve d'une part 70 expatriés français, 12 catégories de qualification, dont 5 ingénieurs, 1 cadre administratif, et d'autre part 430 locaux, dont 40 ingénieurs et cadres.

Le chantier travaille à 2 postes, 11 heures et 5 (quelquefois 6) jours par semaine.

Le matériel mobilisé est considérable: son coût estimé à plus de 60 millions de francs.

4 — LES TRAVAUX SPÉCIAUX

Démarrés avec une relative lenteur (difficultés pour trouver des fournisseurs de certains équipements)

On peut détailler d'une part le matériel de réalisation des parois, avec 5 ateliers de perforation (4 outillages kelly et un outillage benne) desservis par 11 grues, et d'autres part le matériel de réalisation des injections (des perforatrices et des pompes d'injection).

Tout au long du chantier, on peut dénombrer 8 centrales à boue (paroi classique), à coulis (paroi préfabriquée) ou à injection (22 presses).

Une soixantaine de véhicules divers complète cette énumération (camions, véhicules légers de transport du personnel, élévateurs et chargeurs).

Pour ce qui concerne l'exécution des travaux spéciaux proprement dits, la mission de l'association SBE est limitée à la réalisation des travaux pour lesquels du personnel spécialisé est nécessaire. L'entreprise générale assure les prestations ordinaires telles que murettes-guides, évacuation des déblais, fourniture des cages d'armatures et des dalles préfabriquées, emprises et éclairage du chantier.

Les conditions de travail sont difficiles. Le bruit des engins, une intense et permanente circulation locale des piétons et des voitures, la pollution atmosphérique, la chaleur, sont autant de facteurs qui expliquent cette appréciation.

5 — CONCLUSION

Le chantier du métro du Caire présente plusieurs caractéristiques intéressantes: sa situation au cœur d'une ville qui n'était pas habituée à recevoir de tels travaux (alors que c'est banal dans la plupart des grandes villes européennes), ses dimensions, son degré de technologie.

Souvent, on considère que les travaux à l'étranger sont d'un niveau technique réduit par rapport à ce qui se pratique sur le marché national. Au Caire, il en est tout autrement. Les techniques mises en œuvre sont des techniques de pointe: paroi préfabriquée, injection fine de gels de silicate dans les sables fins par exemple.

Les engagements pris sur les délais et les résultats techniques obligent à ce que des efforts permanents soient faits tant sur place, qu'aux sièges respectifs des sociétés de façon à assurer le «soutien logistique» en personnel et en matériel de qualité.

La part importante de personnel local oblige des expatriés un comportement qui est plus proche du «moniteur» que de l'«exécutant». Le niveau d'une partie de ce personnel (les 40 ingénieurs) fait qu'au fur et à mesure du déroulement du chantier s'opère un véritable transfert de technologie.

De tels chantiers permettent aux entreprises de pallier les manques d'activité en France. Ils impliquent tenacité, patience et obstination. Ils constituent

RÉSUMÉ FRANÇAIS

Les travaux spéciaux du métro du Caire

P. Dupeuble, G.-Y. Fenoux

Les travaux de construction du métro du Caire (Égypte) sont actuellement en période d'intense activité. La partie centrale, urbaine, longue de 4,7 km, est entièrement enterrée. Les terrains encaissants sont meubles et perméables, et la nappe est proche de la surface. De ce fait, il est fait largement appel aux techniques spéciales de construction telles que les parois moulées et préfabriquées, ainsi qu'aux injections. Les entreprises françaises jouent un rôle essentiel dans le déroulement des opérations. Les conditions de travail locales sont difficiles. Ces travaux sont l'occasion d'un transfert de technologie vers l'Égypte.

ENGLISH SUMMARY

Special construction works of the metro of Cairo

P. Dupeuble, G.Y. Fenoux

The building works of the metro of Cairo, Egypt, are now in a period of intense activity. The central, urban, part of the regional line is fully underground, over a length of 4.7 km. The surrounding soils are soft and pervious, and the ground water level is close to ground surface. Therefore, special construction techniques such as prefabricated or cast-in-situ diaphragm walls and grouting, are used to a considerable extent.

The French contractors play a very important part in the project. Local working conditions are difficult. The works are the occasion of significant technology transfert to Egypt.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Die Spezialarbeiten beim Bau der Untergrundbahn in Kairo (Ägypten)

P. Dupeuble, G.Y. Fenoux

Die Bauarbeiten der Untergrundbahn in Kairo befinden sich derzeitig in lebhafter Tätigkeit. Der mittlere Teil, 4,7 Km lang, ist vollständig unterirdisch. Die Nachbargelände sind locker und durchlässig. Das Grundwasser liegt nahe an der Oberfläche. Es kommen sodann Spezialtechniken

des Bauwesens zum Einsatz, wie zum Beispiel gefertigte Formwände sowie Einspritzungen. Den französischen Unternehmen obliegt eine wesentliche Rolle beim Ablauf der Arbeiten. Die örtlichen Arbeitsbedingungen sind mit Schwierigkeiten verbunden. Bei Gelegenheit dieser werden Technologien nach Ägypten übertragen.

RESUMEN ESPAÑOL

Obras especiales del metro de el Cairo

P. Dupeuble, G.Y. Fenoux

Las obras de construcción del Metro de El Cairo (Egipto) se encuentran en un período de actividad. Su parte central, urbana y de longitud de 4,7 km, esta totalmente subterránea. Los terrenos de caja son muebles y permeables, la capa se encuentra muy cerca de la superficie. Debido a ello, se ha recurrido ampliamente a diversas técnicas especiales de construcción, por ejemplo, las pantallas continuas y prefabricadas, así como a las inyecciones de consolidação. Las empresas constructoras francesas desempeñando un papel primordial en el desarrollo de las operaciones. Las condiciones de trabajo locales resultan difíciles. Estas obras han sido el lugar a una transferencia de tecnología hacia Egipto.

RESUMEN EM PORTUGUÊS

As obras especiais do metrô do Cairo

P. Dupeuble, G.Y. Fenoux

As obras de construção do Metrô do Cairo estão atualmente em período de intensa atividade. A parte central, urbana, longa de 4,7 km, é completamente enterrada. Os terrenos recebem meubles e permeáveis ao nível das águas subterrâneas. Por esta razão, foi feito uso de técnicas especiais de construção tais como paredes moldadas e pré-fabricadas, assim como injeções. As empresas francesas têm um papel essencial no desenvolvimento das operações. As condições locais de trabalho são difíceis. As obras são a oportunidade de uma transferência de tecnologia para o Egito.