

RETOUR D'EXPERIENCE SUR LE METRO DU CAIRE

26/03/2015

Benjamin LECOMTE, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

Construction de la ligne 1 du métro du CAIRE (anciennement Ligne Régionale Nord – Sud)

Dates : 11/1981 – 11/1987

Objet : réaliser sur un linéaire de 4900 m essentiellement souterrain dans le centre du Caire, une liaison entre 2 lignes de chemin de fer existantes, composée de :

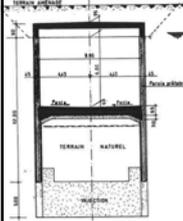
- 5 stations enterrées de 200 m de long, 17-19 m de large, et jusque 17 m de profondeur (dont 2 stations de correspondances, et une avec mesure conservatoires pour de futurs lignes de métro)
- Environ 3700 m de tunnels courant en tranchées couvertes (H=6 m x L=8.9m)

Client : NAT (National Authority for Tunnels)

Maitre d'œuvre : SYSTRA



Construction de la ligne 1 du métro du CAIRE (anciennement Ligne Régionale Nord – Sud)



Géologie au droit du projet :

- Terrains rencontrés à base d'alluvions récentes du Nil (sables fins, silt et argiles) sur une épaisseur variable de 20 à 60 mètres. En dessous, gisement de sables et graviers plus homogènes dont la puissance peut atteindre 600 m de profondeur)
- Des modifications du cours du Nil dans le temps, impliquant un profil en long géologique très tourmenté dans le détail, malgré sa monotonie
- Une nappe phréatique très proche du TN, subissant des variations saisonnières importantes (1 à 2 mètres)

Stratégie de construction :

- Paroi moulées préfabriquées (jusque 35 T) ou in-situ
- Bouchon injecté sous le fond de fouille
- Terrassement à ciel ouvert ou sous dalle

Des difficultés au final peu liées à la géologie :

- Variabilité des terrains ayant nécessité une campagne géotechnique additionnelle pour mieux définir les quantités de forage et injections,
- Difficulté pour dévier 60 km de réseaux pour un tronçon de 4.5 km seulement (permis administratif, emplacement incorrect des réseaux, ...)
- Gestion du trafic, avec des rues intégralement fermées à la circulation,
- Passage au droit d'ouvrages existants (reprise en sous-œuvre de fondations de viaducs)



3

Construction de la ligne 2 du métro du CAIRE Phase 1A & 1B

Dates : 02/1993 – 09/1997

Objet : réaliser sur un linéaire de 8500 m clé en main :

- 9 stations enterrées de 144 m de long, 20-24 m de large, et d'environ 20 m de profondeur
- Environ 1200 m de tunnels courants en tranchées couvertes
- 5900 m de tunnel forés aux tunneliers

Groupeement Génie Civil : similaire à la Ligne 1



Client : NAT (National Authority for Tunnels)
Maitre d'œuvre : SYSTRA

4

Construction de la ligne 2 du métro du CAIRE Phase 2A

VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

Dates : 10/1997 – 12/2000

- Objet :** réaliser sur un linéaire de 4500 m clé en main :
- 3 stations enterrées de 144 m de long, 20-24 m de large, et d'environ 20 m de profondeur
 - Environ 500 m de tunnels courant en tranchées couvertes
 - 3500 m de tunnel forés aux tunneliers

Groupement Génie Civil : similaire à la Ligne 1



Client : NAT (National Authority for Tunnels)
Maitre d'œuvre : SYSTRA

Nota : Après la phase 2A, il y a eu :

- La phase 2B, au sud de la phase 2A, avec des viaducs et ouvrages de surfaces
- La phase 2C, au sud de la phase 2B

5

Construction de la ligne 2 du métro du CAIRE

VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

Géologie au droit du projet :

- Projet situé intégralement dans la plaine alluvial moderne du Nil à base de sols quaternaires et d'alluvions tertiaires (sur 60 à 90 m de profondeur). En surface, d'importantes variations peuvent être observés suite aux mouvements du fleuve dans le temps alors que plus en profondeur, les sédiments sont généralement homogènes.
- Le niveau de la nappe varie avec le niveau du Nil, lui-même régulé par le lac Nasser

Stratégie de construction :

- Tranchée couverte et stations : parois moulées, radiers injectés, puis terrassement en taube
- Tunnels : 2 tunneliers à pression de boue de 8.35 m de diamètre intérieur, avec des voussoirs de 40 cm d'épaisseur et un diamètre d'excavation de 9.40 mètres

Difficultés observées:

- Les traitements de terrains sont parfois incomplets et difficiles à réaliser compte tenu de la variabilité des terrains
- Le passage entre zones traitées et zone sans traitement a été délicats pour les tunneliers et générateurs de fontis



6

Construction du tunnel d'El Azhar

Dates : 05/1998 – 07/2001

Objet : réaliser un bi-tube routier de 2700 m au total passant sous le vieux Caire :

- Environ 700 m de tranchées couvertes
- Environ 300 m de tranchées ouvertes
- 2x1700 m de tunnel forés au tunnelier

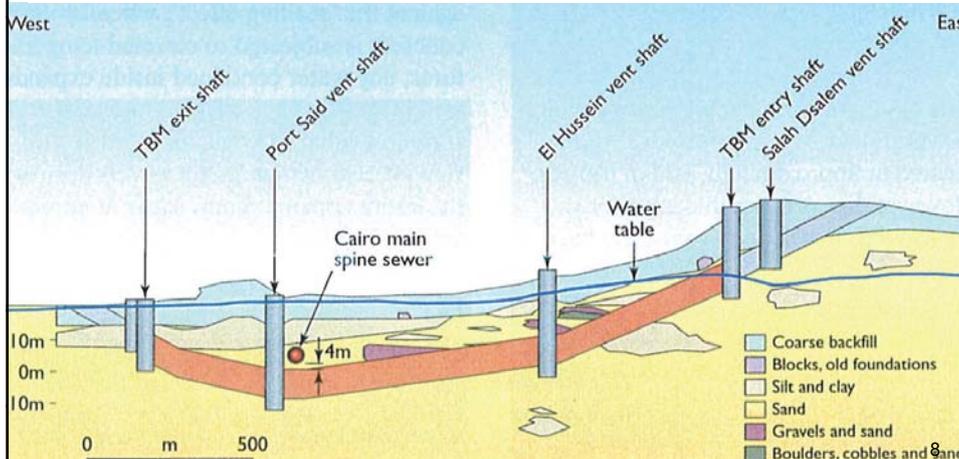
Groupeement Génie Civil : similaire à la Ligne 1



Construction du tunnel d'El Azhar

Géologie au droit du projet :

- Un projet qui à la différence de la ligne 2, s'éloigne de la plaine alluvial moderne du Nil en se dirigeant sur les coteaux du Caire, vers l'est.
- En s'éloignant du Nil, 2 nappes phréatiques apparaissent : une nappe supérieure et perchée, une nappe inférieure associée au niveau du Nil
- Au droit de Port-Said vent shaft, présence d'un substratum argileux à 90 m de profondeur



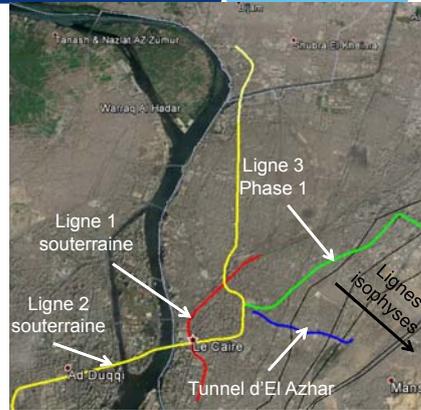
Construction de la ligne 3 Phase 1

Dates : 07/2007 – 01/2012

Objet : réaliser sur un linéaire de 5100 m environ :
 - 3 stations enterrées de 150 m de long, 1 station enterré de 300 m de long, 1 station de connexion de 150 m de long
 - 4200 m de tunnel forés au tunnelier

Groupement Génie Civil :

- Vinci Construction Grands Projets (leader): 28.5%
- Arab Contractors : 27.5%
- Bouygues Travaux Publics : 26 %
- Orascom : 18 %



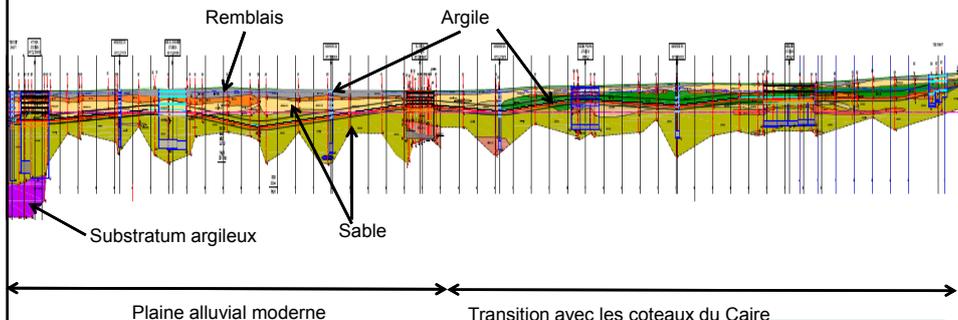
Client : NAT (National Authority for Tunnels)
Maitre d'œuvre : SYSTRA



Construction de la ligne 3 Phase 1

Géologie au droit du projet :

- Une géologie pouvant être découpé en 2 zones :
 - Attaba à El Geish : le projet est dans la plaine alluvial moderne, sous nappe
 - De El Geish au puits d'entrée du TBM : le projet se situe dans la transition avec les coteaux du Caire, et est localement hors nappe
- Géologie en général à base de remblai sur quelques mètres, argile sur environ 5-6 mètres, pis sables, avec localement des poches graveleuses, silteuses ou argileuse
- A environ 90 m sous le TN, il peut être observé un substratum argileux (Attaba)



Construction de la ligne 3 Phase 1

A propos des méthodes de construction :

- Phase 1 essentiellement situé sous nappe dans des horizons sableux de la plaine alluvial, à l'exception de la zone à proximité du démarrage du projet, où il est rencontré des horizons plus argileux

→ Utilisation d'un tunnelier à pression de boue

- Les stations courantes sont situées sous nappe, dans des horizons sableux.

→ Radier injecté

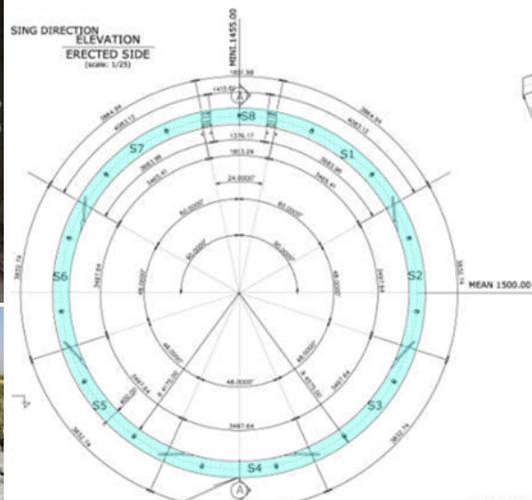
- La station Attaba nécessite des parois moulées à 78 m de profondeur.

→ Sur une partie de la station, les parois sont descendus jusqu'au substratum argileux à 83 m de profondeur



11

Construction de la ligne 3 Phase 1 Définition du tunnel



12

Construction de la ligne 3 Phase 1

Les zones graveleuses :

Pendant l'appel d'offre, suspicion de présence de couches de graviers crus



Réalisation de forage de gros diamètres pour mieux estimer la granulométrie des terrains



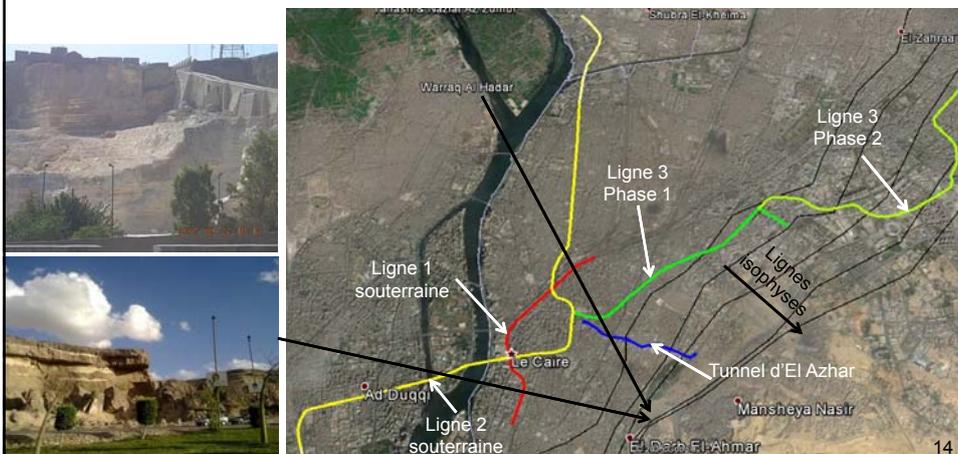
Construction de la ligne 3 Phase 2

Dates : 06/2009 – 04/2014

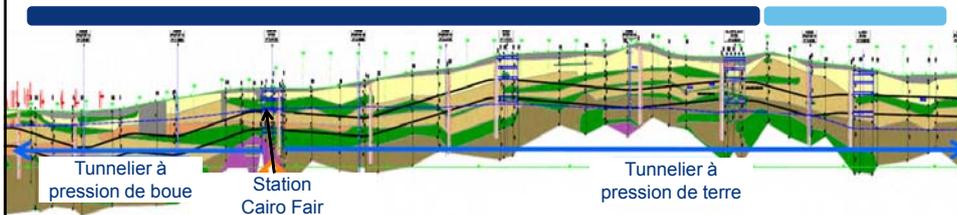
Objet : réaliser sur un linéaire de 8000 m environ :

- 5 stations enterrées de 150 m de long,
- 7200 m de tunnel forés aux tunneliers

Groupement Génie Civil : idem Phase 1



Construction de la ligne 3 Phase 2



Géologie au droit du projet :

- Une géologie pouvant être découpé en 2 zones :
 - Abassia à Cairo Fair: le projet se situe dans la transition avec les coteaux du Caire, et est localement hors nappe
 - De Cairo Fair à Haroun Station, le projet se situe dans les coteaux du Caire hors nappe.
- Géologie en général à base d'un mélange sable-argile hors nappe
- Au droit de la station Cairo Fair, il est localement rencontré un substratum calcaire

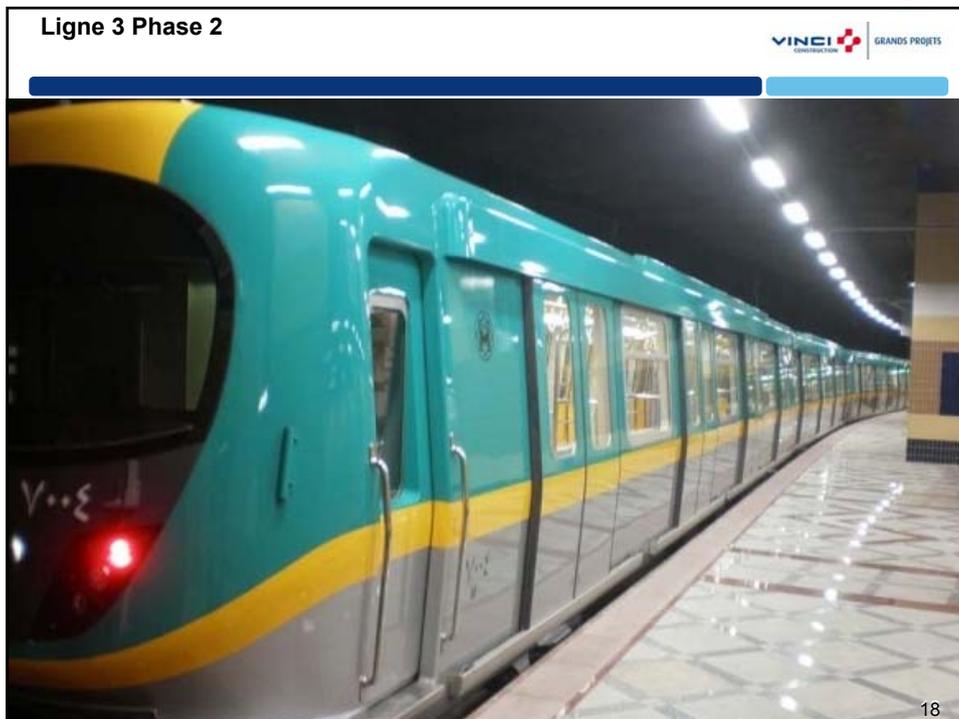
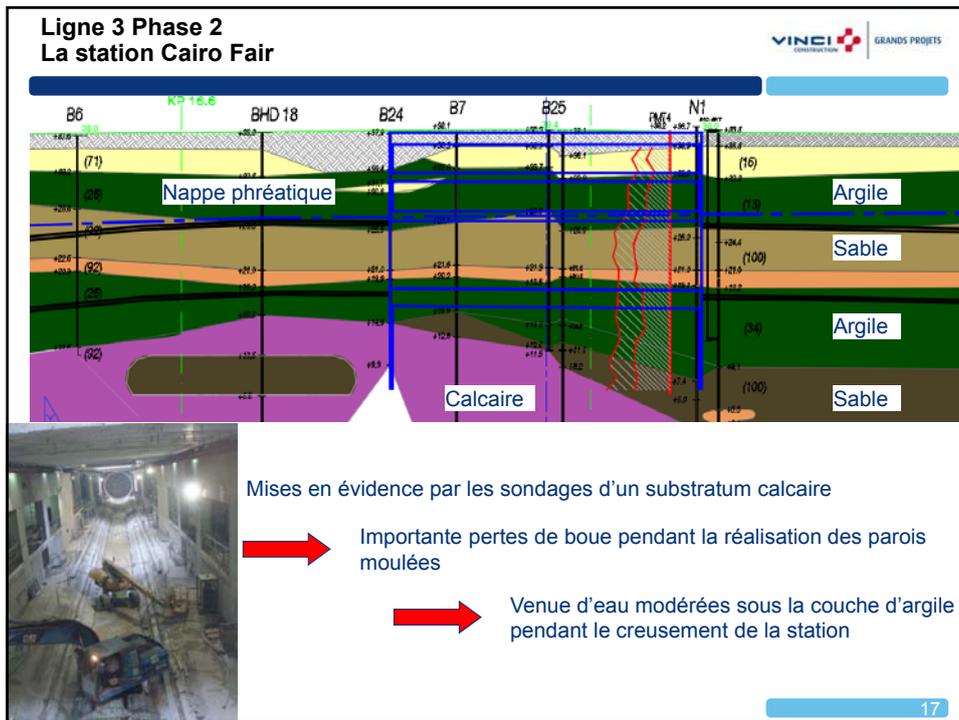
Ligne 3 Les terrains de la phase 2 versus terrains Phase 1

Phase 1



Phase 2





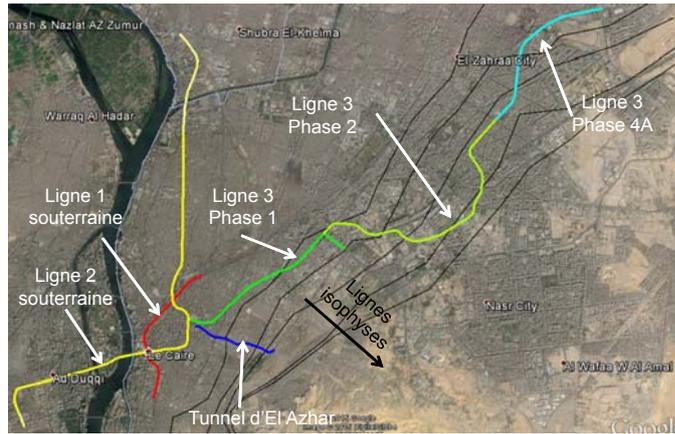
Construction de la ligne 3 Phase 4A

Dates : 03/2015 – 01/2017

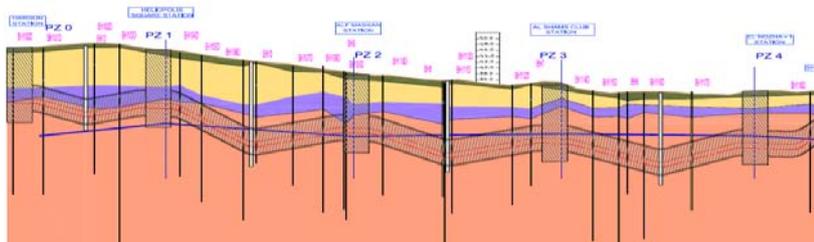
Objet : réaliser sur un linéaire de 5100 m environ :

- 5 stations enterrées de 150 m de long,
- 4200 m de tunnel forés au tunnelier

Groupement Génie Civil : idem Phase 1



Construction de la ligne 3 Phase 4A



- Une partie du linéaire est hors nappe et dans les argiles
- Une partie du linéaire est sous nappe et dans les sables



Utilisation d'un tunnelier à densité variable



Une campagne géotechnique additionnelle est à réaliser

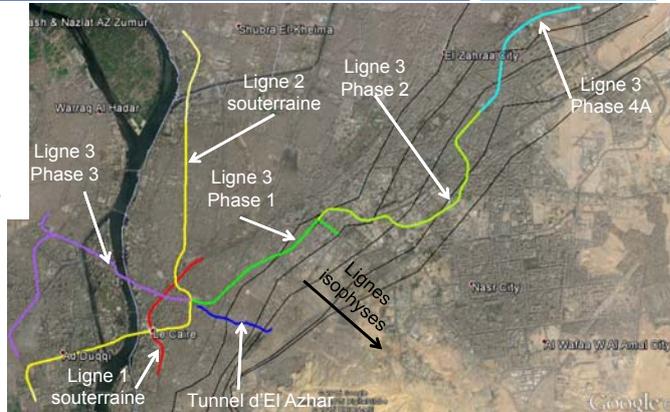
Construction de la ligne 3 Phase 3

Dates : ?

Objet :

- 8 stations enterrées,
- 7100 m de tunnel forés au tunnelier,
- Des ouvrages de surfaces

Groupement Génie Civil : ?



→ Un projet nécessitant l'usage de la technologie à pression de boue

21

Définition des caractéristiques géotechniques sur la ligne 3

Des données basées sur:

- Des sondages avec essais SPT : 2 par station, et 1 tous les 300 m environs
- Des essais laboratoires à base d'essais d'identifications essentiellement

Des données mettant en évidence:

- Des doutes locaux quant à la définition de la stratigraphie, liés à l'imprécision des sondages.
- Une difficulté à caractériser précisément les couches de sables très denses (refus au SPT)
- Une perméabilité des zones graveleuses mal définie

- - Réalisation d'une campagne additionnelle avec des pressiomètres pour mieux caractériser les sables très denses
- - Des sondages supplémentaires pour mieux qualifier la stratigraphie (et la vérifier)
- - Des essais laboratoires supplémentaires

Au final :

- Phase 1 : 1 forage tous les 100 m en moyenne
- Phase 2 : 1 forage tous les 150 m en moyenne



22

