

29 novembre 2007 à Marseille

Le prolongement de la ligne 1 du métro entre la Timone et la Fourragère

Le 29 novembre 2007, les délégations Méditerranée de l'AFGC et de l'AFTES, ont organisé une conférence sur le **prolongement de la ligne 1 du métro de Marseille**, suivie de la visite de la station de la Blancarde ainsi que du tunnelier Gyptis.

Rappel du programme

- 9h00 Accueil chantier Parking et Station la Blancarde
- 9h20 Introduction
M. JABY AFTES et M. RESPLENDINO AFGC
- 9h30 Présentation générale de l'opération Métro et tramway par le Maître d'Ouvrage
M. KUNTZER - MMT
- 9h45 Présentation des ouvrages stations et tunnel par le Maître d'œuvre
B. LIONS - SMM/SEMALY - B. RICOME - ARCADIS
- 10h00 Présentation du parti architectural
M. DUJARDIN - AMEDEO
- 10h15 Présentation de la réalisation des ouvrages station et Parking de La Blancarde
Ph. IDRAC - CM Sud
- 10h30 Présentation des études aux éléments finis de la Station la Fourragère et des ouvrages sous terrain
P. PLACE - VCF
- 10h45 Présentation de la réalisation de la Station Louis Armand
JC. PEREZ - CARI
- 11h00 Présentation de la réalisation de la station SaintBarnabé
C. AMADIEU - GFC
- 11h15 Présentation de la réalisation du tunnel
Alban MARTINOTTO - CB TP
- 11h30 Discussions
- 12h00 Repas pris en commun
- 13h30 Visite du chantier

Introduction

L'AFTES

L'Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain composée de 700 à 800 membres, a pour objectif de regrouper toutes les compétences, hors hiérarchie et fonctions, pour une meilleure communication entre les acteurs intervenant dans l'espace souterrain.

C'est ainsi que de nombreuses recommandations techniques sont mises au point dans des groupes de travail et publiées avec l'aval de la profession.

La revue TOS (diffusée tous les 2 mois à nos membres) permet de faire un état de l'art permanent et de donner les informations sur tous les événements du monde souterrain.

La délégation sud-est a pour objectif d'organiser des conférences et visites techniques sur des chantiers en cours pour transmettre le retour d'expérience et permettre un dialogue constructif entre tous les intervenants (Maîtres d'Ouvrage, Maîtres d'œuvre, Bureaux d'Etudes, Entreprises, Fabricants et Fournisseurs...)

L'AFGC

L'Association Française de Génie Civil est un lieu d'échange entre tous les acteurs oeuvrant pour le génie civil (ingénieurs, architectes, entrepreneurs, chercheurs, étudiants, professeurs, ...). L'association a pour but de rapprocher les différents domaines constitutifs du génie civil.

La délégation Méditerranée a organisé en 2007 seule ou en partenariat quatre manifestations tels que la manifestation sur la mise en sécurité des tunnels de l'A8 ou le forum sur les fondations spéciales avec l'ISBA TP.

Présentation générale de l'opération Métro et tramway

Depuis quelques années, les conditions de circulation dans Marseille ont considérablement évoluées. La communauté urbaine de Marseille a élaboré un plan de déplacement urbain (P.D.U) pour rendre le cœur de la ville plus accessible et fonctionnel. Dans ce but, les projets de création du tramway et du prolongement de la ligne n°1 du métro ont été engagés.

En diversifiant les modes de transport en commun (bus, métro, tramway) la ville espère obtenir une augmentation du flux de 12% dans les transports en commun et ainsi désengorger le centre ville.



C'est une extension de 2.5 km de ligne supplémentaire, allant du terminus actuel Timone jusqu'à la Fourragère, pour un investissement de 350 M€.

Ce prolongement permettra de se déplacer du Vieux Port à Saint Barnabé en 10 minutes (au lieu des 25 minutes par les transports en commun actuels), et de désengorger le centre de la ville avec la création de

500 places de parking à La Fourragère ainsi que 350 places à la Blancarde.

Le projet comprend la réalisation de :

- 4 stations : La Blancarde, Louis Armand, Saint Barnabé et La Fourragère.
- Un tunnel monotube à deux voies de 2,3 km orienté Ouest Est
- 3 puits de ventilation épuisement d'inter station

La mise en service des installations est prévue pour le 2ème semestre 2009.

Les intervenants

Le maître d'ouvrage : Communauté urbaine de Marseille Provence Métropole

Le maître d'œuvre : Société du métro de Marseille

Les entreprises : GTM, Chantiers modernes, Campenon Bernard Méditerranée, Campenon Bernard TP, Spie Batignoles TPCI.

Présentation du parti architectural

Les quatre stations présentent les mêmes caractéristiques architecturales : elles inspirent le confort et la sécurité. En effet, les stations possèdent de grands volumes avec des hauteurs sous plafond de 10m. Elles ne présentent ni recoins, ni espaces sombres puisque les quais sont naturellement éclairés par de vastes puits de lumière. Les matériaux simples et de couleurs claires comme les voiles en béton fibré beige des quais donnent aux stations un style très épuré.

L'architecture en surface respecte l'esprit et l'ambiance de chaque quartier. Les entrées du métro seront discrètes mais facilement repérables pour respecter les espaces publics.



Présentation de la Station et du Parking de La Blancarde

Le projet comprend :

- Une station de métro;
- Un parc de stationnement de 350 places;
- La création d'un tablier sous le boulevard Frangin pour le tramway.

Les manifestations régionales



Groupe d'entreprises

GTM GCS, CM Sud, Spie TPCI, CBM et Spie Fondations

Les dimensions de la station sont: 100m de long, 45m de large sur 25m de profondeur.

L'ouvrage est séparé en deux longitudinalement avec d'un côté la station de métro et de l'autre une zone parking souterrain.

La paroi moulée ceinturant l'ouvrage présente une développée totale de 10450 m², ancrée par 330 tirants provisoires.

Derrière la paroi péri phérique, sont réalisées aux angles nord-est, sud-est et sud-ouest de la fouille, des parois en jambes de pantalon sur des hauteurs de 17 à 19 m pour le soutènement des fouilles destinées aux locaux techniques (gaines de ventilation aux angles sud-ouest et nord-est) et aux rampes d'accès (côté sud-est).

Le volume terrassé à l'abri des huit poteaux pré fondés de 28 m est de 100000 m³. Le béton présente un volume total de 24000 m³ pour 2400 tonnes d'acier.

Le délai global est de 31 mois dont 24 mois de travaux.

Phasage travaux

- Décembre 2004 à Février 2005 : Démolitions du site de l'Alhambra



- Mars - Avril 2005 : Intervention des archéologues

- Mai 2005 : Début des travaux de génie civil



- Mai à Novembre 2005 : Travaux de parois moulées



- Juillet 2005 à Mars 2006 : Réalisation des terrassements

- Septembre 2005 à Janvier 2006 : Réalisation des parois moulées en périphérie de la future station et du parking

- Février 2006 : Dalle du Boulevard Frangin et du Tramway terminée



- Avril 2006 : Fin des terrassements



- Novembre 2006 : Livraison sous station tramway

- Mai 2007 : Fin des travaux de génie civil du parking



- Novembre 2007 : Passage du tunnelier

- Mars 2008 : Fin des travaux de génie civil de la station

Présentation de la Station la Fourragère et des puits de secours



La station de la Fourragère, terminus de la ligne, est située en bordure de la rocade L2. Elle sera un important pôle d'échanges doté d'un parking de 500 places et d'une gare de bus.

Elle est englobée dans un lot comprenant la construction des trois puits de secours, la réalisation du tunnel et toute la logistique de l'extension pour une enveloppe de 70,5 M€.

Elle est réalisée par un groupement constitué des entreprises GTM, Chantiers Modernes, Campenon Bernard Méditerranée et Spie batignolles.

La station est construite en fouille ouverte d'une profondeur de 25m ; les talus étant maintenus par une couche de béton projeté ancrée au terrain.

C'est la station clef du projet puisqu'elle est utilisée pour toute la logistique du tunnelier à savoir le stockage et l'évacuation du marinage. Elle accueille aussi la centrale à béton pour la fabrication du mortier de remplissage entre voussoirs et tunnel.

Planning :

- *ordre de service : 29/08/2005
- *terrassment 3 mois
- *fin du gros œuvre : 26 mois
- *fin tce fourragère : 30 mois
- *fin de creusement du tunnel : 29 mois
- *fin des puits : 18, 21 et 27 mois
- *livraison : 01/09/2008

Quelques chiffres :

- *Station la fourragère :
 - Parois parisienne : pieux diamètre 800 - 2710 m²
 - Béton projeté 5387 m²
 - Béton de structure 14800 m³
 - Armatures 1510 T
 - Terrassements 60000 m³
- *Puits :
 - Béton de structure 2400 m³
 - Armatures 200 T
 - Terrassements 5100 m³



Phasage:

- * forage des pieux pour les parois parisiennes, mise en place des tirants et terrassement
- * projection du béton sur les parois
- * radier de la station



Les manifestations régionales

- *coulage du voile tympan pour démarrage du tunnelier
- *montage et démarrage du tunnelier



- *piédroits et voiles périphériques



- *dalle quai
- *dalle mezzanine



- *gaine de ventilation
- *dalle de couverture

Présentation de la Station Louis Armand

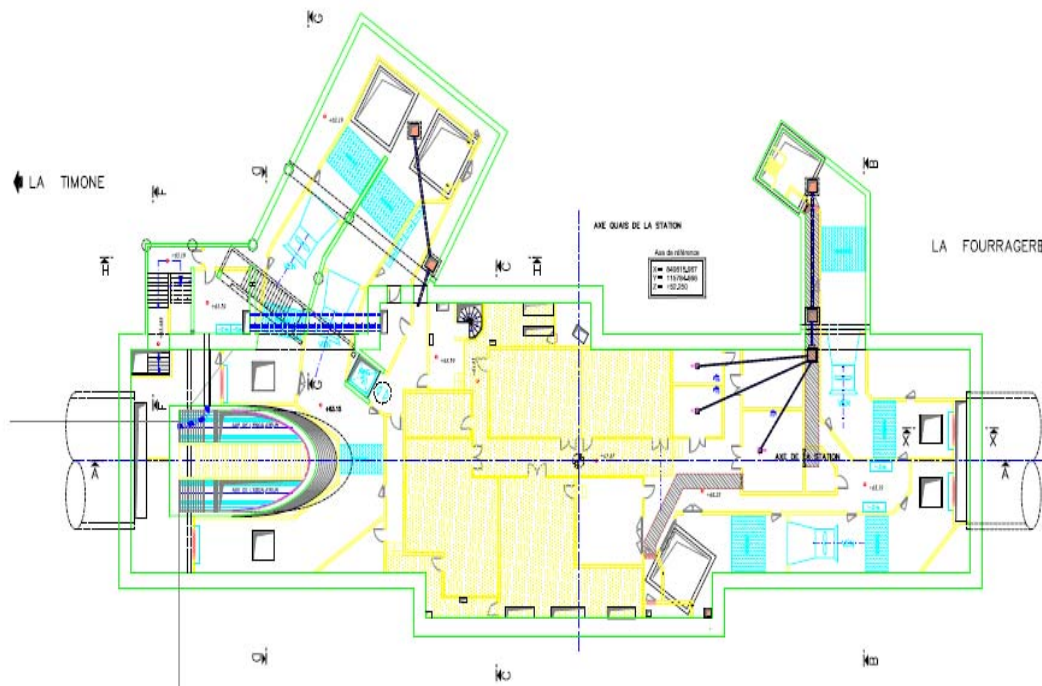
L'aménagement de la station Louis Armand permet le rapprochement entre le quartier et le centre ville. L'usage de la voiture est limité puisque un parking relais de 80 places sera créé.

Montant des travaux : 12,4 M€



Principales quantités :

✓ Déblais	39 000 m ³	
✓ Bétons de structure	10 600 m ³	
✓ Autres béton	2 600 m ³	
✓ Armatures	1 350 t	
✓ Paroi parisienne	5 400 m ²	
✓ Pieux	2 600 ml	
✓ Etanchéité	8 650 m ²	



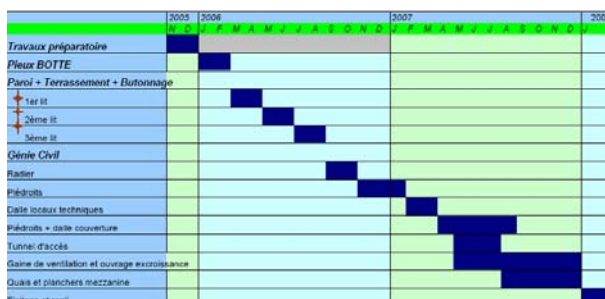
Planning des travaux :

O.S. de démarrage : 19 septembre 2005
 Démarrage des travaux : novembre 2005
 Durée des travaux : 28 mois
 Livraison : 18 janvier 2008

Coffrage barrage 3 m de haut

Etalement et coffrage de dalle moyenne 12 m de haut
 Banc de préfabrication foraine

Réalisation du soutènement, des terrassements et du
 butonnage de mars à août 2006



Matériel :

Grue à tour
 Grue automotrice de 130T
 Pompe à béton
 Coffrage 8 m de haut



Piédroits en zone courante et niveau des tympans



Réalisation de la voûte d'accès à la dalle mezzanine



Présentation de la station Saint Barnabé



Située au cœur du quartier de Saint Barnabé, le chantier présente des contraintes importantes d'insertion urbaine puisque son emprise dépasse de peu l'emprise de l'ouvrage.

Les travaux préparatoires de terrassement ont mis en évidence la présence d'une eau abondante qui a nécessité la mise en place de drains provisoires. Des travaux de confortements ont également été réalisés pour éviter les tassements éventuels des immeubles voisins. Les structures ont été réalisées selon des procédés classiques, avec en particulier une paroi moulée périphérique de 1.20m d'épaisseur. Les aménagements de surfaces permettront de restituer aux riverains des espaces publics adaptés, et d'améliorer les accès piétons dans le quartier.

Les manifestations régionales

La construction de la station Saint Barnabé a été confiée au groupement constitué par DTP Terrassement, SEFI Intrafor (fondations profondes) et GFC Construction, chargé du gros œuvre et mandataire.

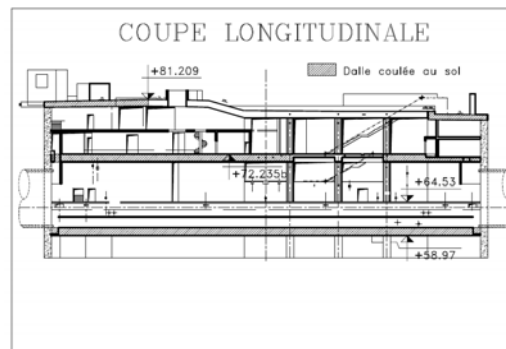
Ce lot comprend :

- * Le confortement éventuel des avoisinants
- * Le dévoiement d'un réseau d'assainissement
- * Le dévoiement d'un réseau d'éclairage public
- * Le pré terrassement d'une plateforme de travail
- * La construction d'une enceinte en parois moulées
- * La construction de parois berlinoises
- * La réalisation d'une dalle de couverture et d'une mezzanine
- * Le terrassement en sous-œuvre
- * L'ensemble des ouvrages en béton armé constitutifs de la station à l'intérieur de l'enceinte
- * Les ouvrages annexes en béton armé (GFC)

Le prix de ce lot est d'environ 20 M€.

L'ordre de service a été délivré le 16 août 2005 pour un délai de 27 mois dont 2 mois de préparation. La station Saint Barnabé en chiffre c'est 36 000 m³ de terrassement, 12 000 m³ de béton, 1100 tonnes d'armatures et 11 700 m² de coffrage.

Techniquement, le projet se présente sous la forme d'une enceinte étanche en parois moulées, reposant sur des pieux, à l'intérieur de laquelle la station peut être divisée en trois niveaux principaux :



- * La dalle de couverture, au niveau de la surface, qui sera recouvert de 2 mètres de remblai et accueillera la nouvelle place Caire ;
- * La dalle mezzanine, dalle intermédiaire, qui accueillera la billetterie et des locaux techniques ;

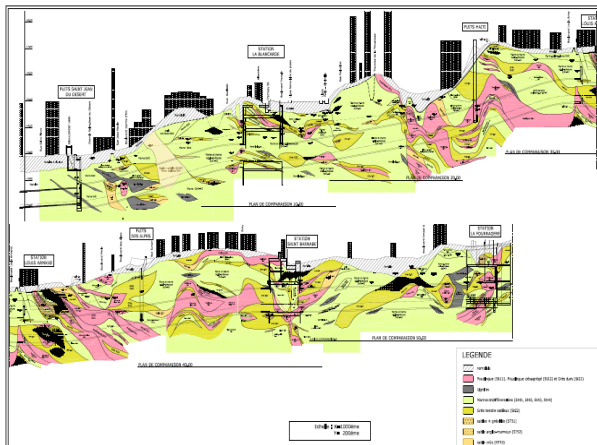


- * Le radier sur lequel reposeront les quais.



Réalisation du tunnel

Etude géotechnique



Afin d'établir la coupe géologique, de nombreuses reconnaissances géotechniques ont été menées : Essais pressiométriques, essais dilatométriques, essais en compressions simples, carottages...

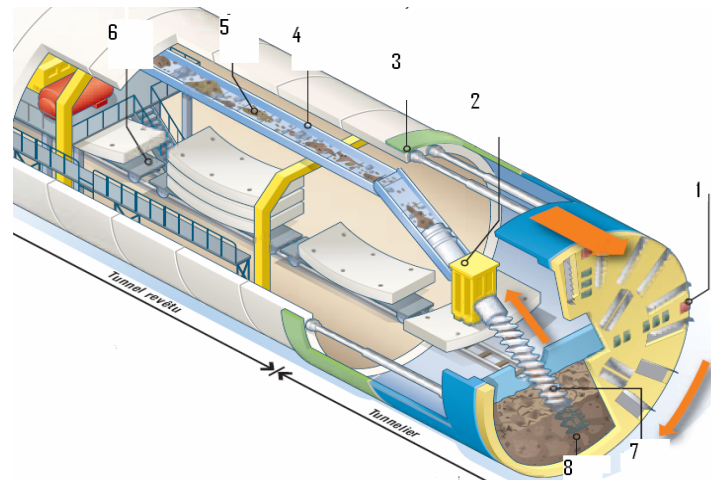
Les problèmes suivants ont été rencontrés :

Le terrain présente des caractéristiques mécaniques variées allant du Poudingue Marseillais très dur aux marnes tendres. Cette hétérogénéité du sol a nécessité l'élaboration d'une roue de coupe adaptée. Le tunnelier employé a donc été spécialement conçu pour l'opération.

Par ailleurs, les couches de substratum étant fortement inclinées transversalement du Sud vers le Nord des problèmes de conception des parois de soutènement se sont posés. En effet, le logiciel César, n'est pas adapté à cette configuration des couches.

Enfin le tunnel passant sous des bâtiments très hétéroclites, il était difficile de prévoir les déformations du terrain d'autant plus qu'un tassement maximum de 5mm et un tassement différentiel de 1 pour mille étaient exigés.

Le Tunnelier



Il assure trois fonctions :

- L'abattage du terrain réalisé par la roue de coupe
- L'Evacuation du déblai réalisé dans le bouclier
- La mise en place du soutènement dans la jupe

L'abattage

La partie avant du tunnelier est constituée d'une roue de coupe de 10m de diamètre spécialement conçu pour la diversité de la géologie Marseillaise: 28 molettes qui sous l'action de la poussée tracent des saignées dans les terrains durs (poudingues) et 100 couteaux qui abattent les terrains meubles (marnes) (n°1).

De la mousse est injectée sur la roue de coupe pour faciliter l'abattage.

L'évacuation des terres

La terre abattue, le marin, située dans la chambre du bouclier est extraite par une vis sans fin de 19 m de long muni d'un couple de 24 T/m (n°7).

Le marin est évacué par un convoyeur à bande (n°4) jusqu'à la station de la Fourragère où le tapis est stocké dans une tour de conteneurs (dix kilomètres de tapis). L'avantage du dispositif c'est qu'il perturbe pas la circulation routière des quartiers concernés. En effet, les terres ne sont évacuées par camions qu'à partir de la station de la Fourragère idéalement située près de la rocade L2.



Conteneurs de stockage du tapis et évacuation des terres à la station La Fourragère

Mise en place du soutènement

Tous les 1m50 d'avancement du tunnelier, un anneau est posé. Cet anneau est constitué de huit pièces: sept voussoirs et une clef. Celle-ci détermine la courbure du tunnel.

Tous les anneaux sont identiques et ont les deux faces opposées non parallèles de telle sorte qu'une variation en rotation de torsion d'un anneau modifie l'angle d'orientation de la fibre moyenne du tube. Suivant la position repérée de chaque anneau, un logiciel de pilotage calcule la rotation de torsion à donner à l'anneau suivant (position du voussoir de clef) pour orienter l'axe de l'ouvrage afin de respecter au mieux l'axe théorique prévu.

Les voussoirs (5 T par pièce) sont acheminés quatre par quatre sur un train suiveur (n°6) depuis La station de La Fourragère. Ils sont mis en place grâce à un érecteur (n°2), bras hydraulique qui positionne les voussoirs sur la voûte du tunnel.

La pause d'un anneau nécessite environ trente minutes. Pour cette raison le tunnelier progresse de trente mètres par jour au maximum.

Le vide compris entre l'extrados du voussoir et le tunnel (de l'ordre de vingt centimètre) est comblé par du mortier au fur et à mesure de l'avancement.

Cela permet de réduire le tassement et d'assurer l'étanchéité du tunnel.

L'anneau posé, le tunnelier pousse sur le pourtour de celui-ci à l'aide de 14 paires de vérins développant 60000KN de poussée.



Paires de vérins sur le pourtour de l'anneau

Progression du tunnelier en station

En station, le tunnelier est révisé.

Des blocs de ripage surmontés de rails lubrifiés posés au sol permettent au tunnelier de progresser dans la station.

Le redémarrage dans le tunnel s'effectue grâce à un bâti de poussée.

Positionné au nu du mur de fin de station, celui-ci prend appui sur des voussoirs métalliques. Ce dispositif assure l'avancement du tunnelier jusqu'à ce que la pose des

Les manifestations régionales

voussoirs en béton armé puisse recommencer. (Environ cents anneaux soit cent cinquante mètres environ)

Le passage des stations est une opération toute aussi délicate que la percée dans le tunnel puisqu'un chef de chantier dirige cette seule opération.



Voussoir métallique manipulé

Les contrôles

La trajectoire du tunnel est contrôlée par théodolite.

Le poids de marin excavé ainsi que le volume de mortier injecter sont mesuré. Cela permet d'être immédiatement au fait d'un quelconque problème. En effet, si trop de terre est excavée et ou si trop de mortier est injectée, il y a un risque d'effondrement du sol en surface: un fontis. On imagine la gravité du phénomène en milieu urbain. Enfin, Tous les paramètres du tunnelier sont commandés et contrôlés depuis la cabine de pilotage qui transmet toute ces données à l'extérieur via un réseau informatique sécurisé.

Conclusion

Cette journée de conférence et de visite a permis aux participants d'appréhender les tenants et les aboutissants d'un projet de grande envergure tel que le prolongement de la ligne de métro de Marseille.

Nous remercions l'AFGC ainsi que tous les intervenants de la visite pour nous avoir fait partager leur savoir et leur savoir faire.

Pour terminer, une anecdote sur le tunnelier:

La tradition veut que les engins servant à creuser des tunnels portent des prénoms féminins.

Marseille n'a pas dérogé à la règle en baptisant son tunnelier Gyptis, co-fondatrice avec Protais de la cité phocéenne.

Compte-rendu rédigé par
Fanny Vanel et Charles Bonnard, élèves ingénieurs en
génie civil 2^{ème} année à Polytech' Marseille