

8 avril 2015 à Rennes

La ligne b du métro : chantier de réalisation des tunnels



Le 8 avril 2015 la délégation AFGC Grand-Ouest a organisé, en partenariat avec La Semtcar, Cimbéton et le SNBPE, une journée technique consacrée à la réalisation des tunnels de la ligne b du métro de Rennes.

Les travaux de construction de la ligne 2 du métro de Rennes comportent des travaux aériens et des travaux souterrains.

Quand l'encombrement en surface, la profondeur du tracé, la nature des sols le permettent, des parois berlinoises sont mises en oeuvre. Quand cela n'est pas possible, le tunnel profond est réalisé à l'aide d'un tunnelier, qui creuse à une profondeur d'environ -20 mètres.

Son principe de fonctionnement est celui d'une grosse "râpe à fromage" qui grignote le sol pour réaliser le tunnel à raison de 200 mètres par mois. Au fur et à mesure de l'avancement du tunnelier, sont posés des éléments préfabriqués en béton (voussoirs) qui constituent le revêtement définitif du tunnel. Les déblais sont extraits au moyen d'un tapis roulant que l'on rallonge en fonction de la progression du tunnelier.

Long de 82 m, d'un diamètre de 9 m, d'une masse de 1450 tonnes, ce tunnelier progresse en moyenne de 2m par heure en assurant la pose des voussoirs. Il a devant lui 580 000 m³ de sols à extraire.

Rappel du programme de la journée

9h00 : Accueil à l'INSA de Rennes

9h20 : Ouverture de la journée

AFGC GO et INSA

9h30 : Présentations Cimbéton et SNBPE

9h40 : La maîtrise du projet complexe de la ligne b du métro automatique de Rennes Métropole

10h00 : Contributions du Maître d'Oeuvre

10h50 : Les bétons employés

11h10 : Présentation des travaux et du chantier par les entreprises

13h00 : Déjeuner

14h15 : Départ vers le chantier pour la visite

17h15 : Retour à l'INSA

Synthèse des présentations

La maîtrise du projet complexe de la ligne b du métro automatique de Rennes Métropole

Le contexte

Ligne livrée en mars 2002 :

- 8,5 kms de ligne commerciale,
- 15 stations,
- 3,5 kms de souterrain profond,
- 3,5 kms de tranchées couvertes,
- 1 km de viaduc.

La mission de la Semtcar depuis fin 2006 :

- Une ligne de métro automatique de 15 stations intégrées dans un environnement adapté

- munies de pôles d'échanges d'intermodalité efficaces avec bus et parcs-relais en ouvrage (3 parcs totalisant 2000 places de parkings)
- à réaliser en milieu urbain sans nuire à la vie de la cité et aux autres projets construits dans la même temporalité

Les enjeux de la ligne b

Les attentes explicites du Maître d'Ouvrage (MOA)

- Respecter le budget
- Respecter les délais de réalisation
- Respecter les objectifs du programme
- Respecter l'ensemble des règles juridiques (dont l'application du Code des Marchés Publics comme entité adjudicatrice)
- Communiquer sur les études et chantiers

Les études et le montage opérationnel

Janvier-Septembre 2008 : les études de tracé et d'insertion sur le secteur Beaulieu-Longs Champs-Atalante

Les enjeux de la desserte du secteur Nord-Est:

- Desservir les quartiers d'habitat de Jeanne d'Arc et des Longs Champs
- Desservir les pôles d'enseignement secondaire Joliot Curie/Gayeulles/Chateaubriand et universitaire de Beaulieu
- Desservir la technopole et conforter son développement
- Favoriser les transferts modaux métro/bus/automobile dans le quadrant Nord Est de l'agglomération
- Préserver la possibilité de prolongement vers le secteur de Cesson-Sévigné Nord

Les premières études :

- Étude d'opportunité
- Études pré-opérationnelles
- Concertation en plusieurs phases
- Etude de la faisabilité technique et financière
- Modélisation budgétaire de RM à 30 ans
- AMO pour le Système de transport
- Etude préliminaire de sécurité et d'accessibilité
- Etudes géotechniques, topographiques, enquêtes cavesfondations, identité visuelle et architecturale

2008-2010 : choix du système

Sur la base d'un cahier des charges fonctionnel associé à l'étude de cadrage génie civil :

- Appel d'offres ouvert à tous les systèmes (fer, pneu)
- Critères d'analyse : 55% sur la valeur technique 30 % sur le coût d'investissement, 10% sur les coûts de fonctionnement et de maintenance et 5% sur l'organisation de l'entreprise
- Choix du Cityval de Siemens :
 - Bonne réponse à l'évolution de la fréquentation : 4000 à 9000 pphpd en doublet, jusqu'à 15000 pphpd en triplet sans modification du génie civil des stations
 - Coût d'investissement inférieur à la solution sur fer de Bombardier
 - Moindre consommation d'énergie

Notre organisation pour la ligne b

Face à la complexité de cette opération et de ses risques propres, il nous est apparu nécessaire de manager le projet, selon aussi les axes suivants :

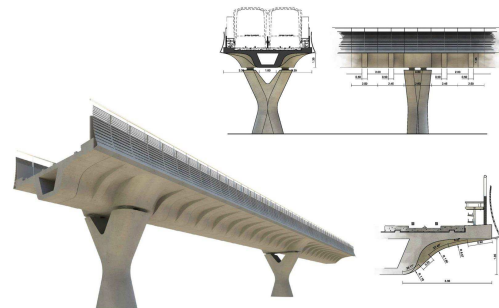
Les manifestations régionales

- Manager la Qualité de nos processus : nous nous sommes engagés dans la certification ISO 9001 en Management de Projets et sommes certifiés depuis 2009 et renouvelés depuis ;
- Organiser notre informatique de façon totalement adaptée et sécurisée (SEDI, réseau,...)
- Manager les risques : nous l'imposons à toutes les entreprises et nous la pratiquons à notre niveau
- Anticiper le raisonnement du « Développement Durable » pour les infrastructures de la ligne b

Quelques chiffres

- 800 M€ HT engagés à ce jour
- 1000 à 1200 emplois par an pendant les 6 ans de sa construction
- Pour les 24 lots de Génie civil, 158 entreprises se sont impliquées pour répondre aux appels d'offres
- Plus de 200.000 plans, notes et documents attendus

Quelques images du projet



Ligne nouvelle du métro b de Rennes Métropole

Une conception adaptée

- Deux décennies séparent les études de la ligne a de celles de la ligne b, avec une réglementation différente :
 - Arrêté du 25 novembre 2005 (ex IT 98-300)
 - Nouveau fascicule 69
 - Plusieurs recommandations AFTES (GT16, GT32...)
 - CCAG travaux
 - Les Eurocodes
- Une technologie des tunneliers en constante amélioration
- Des auscultations et contrôles de plus en plus automatisés (meilleure réactivité)
- Une contractualisation des risques

Prise en compte du retour d'expérience de la ligne a

- Une meilleure connaissance du comportement des différents faciès du substratum
- Pour les fouilles, des soutènements à forte inertie en présence d'avoisinants sensibles (déconfinement, déformations du massif, butons)
- Pour le tunnel, approfondissement du profil en long
- Pour le tunnel, un tunnelier à fort couple pour travailler en chambre pleine
- Une auscultation continue et automatisée (soutènements, tunnelier, avoisinants)

Les parois moulées :

Le puits d'introduction du tunnelier,
La station Cleunay,
La station Saint-Germain.

Les pieux sécants, parois lutéciennes et parois clouées

Le puits Voltaire
La station Mabilais
La station Colombier
La station Gares
La station Sainte-Anne
Le puits Duhamel

Blindage traditionnel

Le puits Vincennes
Le puits Lafond

La paroi berlinoise

La station Jules Ferry
La station Les Gayeulles

Quelques spécificités de cette opération

- Géothermie intégrée aux structures des stations (participation au concours du Grand Prix National de l'Ingénierie 2014).
- Une conception des stations en 3D (Revit).
- Une cellule de synthèse animée avec des plans 3D dès le démarrage des travaux.
- Première application concrète d'études d'exécutions avec prise en compte de la vulnérabilité des avoisinants.
- Une gestion des travaux avec une forte prise en compte du Management des Risques (présentation du processus retenue au congrès de l'AFTES octobre 2014 Lyon).

Le Management des Risques ligne b

Le PMRi s'applique durant les phases de conception et de réalisation, ainsi qu'à tous les acteurs de la ligne b.

- ✓ Niveau 1 : Semtcar, Rennes Métropole, partenaires tels que Région, État, etc (Risques entre Maître d'ouvrage, atelier animé par Semtcar)
- ✓ Niveau 2 : Maîtrise d'oeuvre GC&E et maîtrises d'œuvre particulières, Ensemblier, opérations connexes, AMO DRDM, architectes, SPS, EOQA, etc.
- ✓ Niveau 3 : Concessionnaires réseaux et Entreprises travaux, Ensemblier.

Le Registre des risques en phase Etude

Un registre établi dès la phase Avant Projet, sur la base des entrants :

- ✓ Données géologiques, hydrogéologiques, géotechniques, enquêtes C&F....
- ✓ Un registre qui évolue en fonction des investigations complémentaires demandées par le maître d'œuvre pour réduire les incertitudes
- ✓ Pour chaque risque, une analyse des conséquences, du niveau de risque, des mesures préventives et des mesures correctives vis-à-vis du risque résiduel
- ✓ Le registre des risques intègre les risques liés à la géotechnique, au bâti et ouvrages enterrés, au voisinage et à l'environnement, aux méthodes et matériels

Les manifestations régionales

Répartition financière des risques

Dans le forfait de l'entreprise :

- Les mesures préventives intégrées dans la conception du maître d'œuvre
- Les risques résiduels majoritairement liés à la maîtrise d'une technique de construction et donc au savoir-faire de l'entreprise
- Les risques géologiques résiduels de faible gravité ou dépendant d'une évaluation très subjective

Au Bordereau de prix :

- Les autres risques résiduels, partagés entre l'entreprise et le maître d'ouvrage, et qui peuvent faire l'objet d'une rémunération sur prix unitaire défini au BPU

Par règlement spécifique en cours ou en fin de travaux :

Les risques de faible probabilité pour lesquels les mesures correctives ne peuvent pas être pré-définies dans le détail

Le management des risques en phase travaux

Des outils de suivi:

- Suivi des risques du registre: La survenue d'un événement lié à un risque génère l'ouverture d'une Fiche de Déclaration de Problème (FDP)
- Anticiper la survenue de risque non identifié: Création d'une Fiche de Nouveau Risque

Identifié (FNRI)

Des réunions mensuelles de revue du registre des risques (présence du MOE / MOA / CT et Entreprise + Experts selon l'ordre du jour):

- Un suivi du registre des risques en lien avec les études d'exécution et les événements rencontrés sur le chantier
- Une validation des Fiches de Déclaration de Problème et des fiches de Nouveau Risque Identifié

L'objectif ?

- En phase Etude : Cerner les événements pouvant influencer les techniques de construction, les délais, les coûts d'une opération
- Les Identifier et les Quantifier, puis proposer des solutions pour réduire l'occurrence de l'évènement.
- En Phase Travaux : Améliorer les discussions entre les acteurs si un événement survient et gagner en réactivité.
- La condition de la réussite : les acteurs (MOA / MOE / Entrepreneur) y participentavec un esprit GAGNANT / GAGNANT.

Présentation Lot1 : Tunnel Foré et ouvrages associés :
Dodin / Spie TPCI / LEGENDRE / GTM Ouest / Botte Fondations / Spie Fondations.

Présentation générale

Tunnel de 8 056 m forés au tunnelier

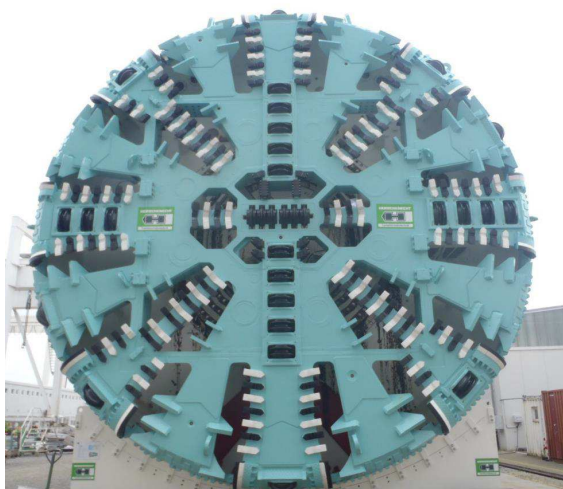
- Réalisation de 9 stations
- Réalisation de 5 puits : le puits d'introduction du tunnelier et 4 puits de ventilation et de secours
- 52 mois de chantier (du 07 octobre 2013 au 07 février 2018)
- 318,7 millions d'euro HT



Tunnelier à pression de terre : fournisseur HERRENKNECHT

- Ø d'excavation : 9 445 mm
- Ø Intrados voussoir : 8 300 mm
- Longueur du tunnelier : 89 m
- Masse du tunnelier : 1450 t
- 7 voussoirs d'épaisseur 40 cm, longueur 2,00 m et 1,30 m en fonction du rayon du tracé
- Poids d'un anneau : 36 t et 55 t (1300 et 2000 mm)
- 28 vérins de poussée de 3000 mm de course et 60344 kN de poussée
- 20 moteurs d'entraînement et 25790 kNmde couple
- 5 trains sur pneu pour voussoirs et mortier
- Marinage par tapis, sortie du puits par marinage vertical

La roue de coupe



- 9445 mm de diamètre
- 121 t
- 25 molettes doubles
- 6 molettes simples au centre (diamètre de 17")
- 178 couteaux
- 16 racleurs
- Taux d'ouverture de la roue de 32%

La préfabrication des voussoirs



Les manifestations régionales



Livraison et stockage des voussoirs



Présentation du lot 2 – TC Sud et ouvrages associés :
LEGENDRE / Angevin

Quelques chiffres

- 250 000 m3 de déblais de terre
- 50 000 m3 de béton (LEGENDRE-ANGEVIN)
- 30 000 m3 de béton (Soutènements provisoires)
- 58 000 u de scellements
- 6 000 T d'armatures
- 110 000 h de Génie Civil (LEGENDRE-ANGEVIN)

Méthodes de réalisation des ouvrages

Tranchée couverte





Murettes guide

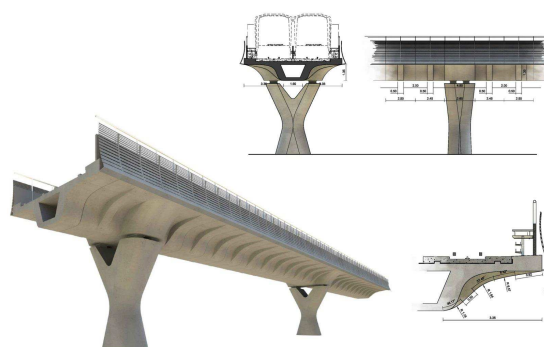


Paroi moulée



Les manifestations régionales

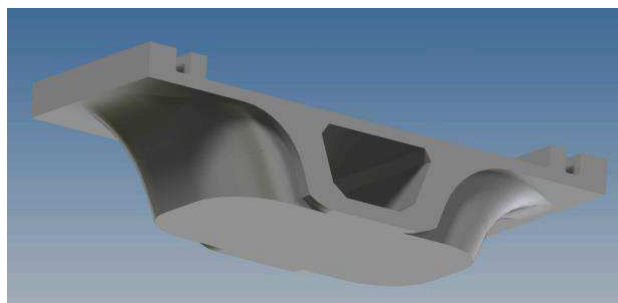
Présentation du viaduc du lot 4 du Métro ligne b



Présentation de l'ouvrage

- Ouvrage emblématique du métro
- Géométrie complexe du tablier
- Production de 15 000 m³ de bétons clairs
- Environ 1000 voussoirs préfabriqués sur site
- Chantier urbain furtif de 2400 ml
- Pose à la poutre à l'avancement
- 10 000 m² d'écrans BFUP
- 70 Piles

• Préfabrication des voussoirs :



– Particularités :

- Maîtrise géométrie (courbures + dévers)
- « Vrillage » des voussoirs nervurés dans les zones de variation de dévers
- Fabrication par joints conjugués



Aire de préfabrication

Présentation du mode constructif de pose

Une poutre de pose capable de suspendre la totalité des 2 travées

Compatible avec la géométrie en plan ($R_{min} = 125m$)

Compatible avec les variations de portées (30 à 40m)



Les manifestations régionales

Mode constructif de pose des voussoirs

- Distribution des voussoirs
- Mise en place et collage
- Précontrainte
- Reprise du cycle
- Pose des écrans
- Mise sur appui définitifs

