

30 mars 2017 à Rennes Le viaduc de la ligne B du métro



La délégation Grand-Ouest de l'AFGC a organisé le jeudi 30 mars 2017, en partenariat avec l'INSA de Rennes et la SEMTCAR, une journée technique consacrée à la ligne B du métro de Rennes.

La ligne B du métro de Rennes en cours de construction comporte d'importants travaux souterrains et aériens. La partie aérienne est constituée d'un viaduc en béton précontraint d'une longueur de 2,4 km (70 piles), reliant en site urbain trois stations aériennes.

Organisée comme une usine à ciel ouvert, la base vie du viaduc s'étend sur 4,5 ha, à l'extrémité de la future ligne B. Elle regroupe l'ensemble des installations nécessaires à la réalisation du viaduc (aire de ferrailage, centrale à béton, aire de pré fabrication et stockage des voussoirs).

La mise en place des voussoirs est effectuée par l'intermédiaire d'une poutre de lancement de 500 t et 110 m de long.

Rappel du programme

9h00 : Accueil des participants

9h30 : Ouverture de la journée
[AFGC et l'INSA](#)

9h40 : Présentation de l'opération
[SEMTCAR](#)

10h10 : Les particularités techniques du projet
[Maître d'oeuvre EGIS](#)

10h40 : Présentation de la préfabrication des voussoirs et ferrailage des piles

[Groupement EIFFAGE- RAZEL BEC](#)

11h10 : Présentation du mode constructif avec poutre de lancement

[Groupement EIFFAGE- RAZEL BEC](#)

11h40 : Présentation des caractéristiques et particularités des stations aériennes BEAULIEU UNIVERSITE et ATALANTE

[Entreprise ANGEVIN](#)

12h00 : Présentation des caractéristiques et particularités de la station CESSONVIA SILVA

[Entreprise CARDINAL.](#)

12h15 : Déjeuner sur place (INSA)

14h00 : Transfert en car de l'INSA vers la base vie du viaduc

14h10 : Visite de la base vie du viaduc

- Aire de ferrailage des piles et voussoirs
- Aire de préfabrication et zone de stockage des voussoirs
- Poutre de lancement
[EIFFAGE- RAZEL BEC](#)
- Station BEAULIEU
[ANGEVIN](#)

17h00 : Retour INSA

Synthèse des présentations

Présentation de l'opération ; SEMTCAR

Historique du choix du tracé et de l'insertion dans le secteur Nord-est

2008 : démarche d'étude et de concertation spécifique au secteur Nord-Est

- Des moyens importants mobilisés
- Interventions spécifiques de bureaux d'études et d'experts (Atelier de l'île, Systra, Xélis) aux cotés de la Semtcar
- Mise en oeuvre d'une démarche ambitieuse de concertation avec un prestataire spécialisé :
 - Instance de concertation (5 réunions de travail)
 - Rencontres avec les entreprises, l'université et les institutions concernés,
 - Outils d'information et de participation du public,
 - Réunion publique,
 - Relations presse...

19 scénarios étudiés par le groupement Systra / Xélis

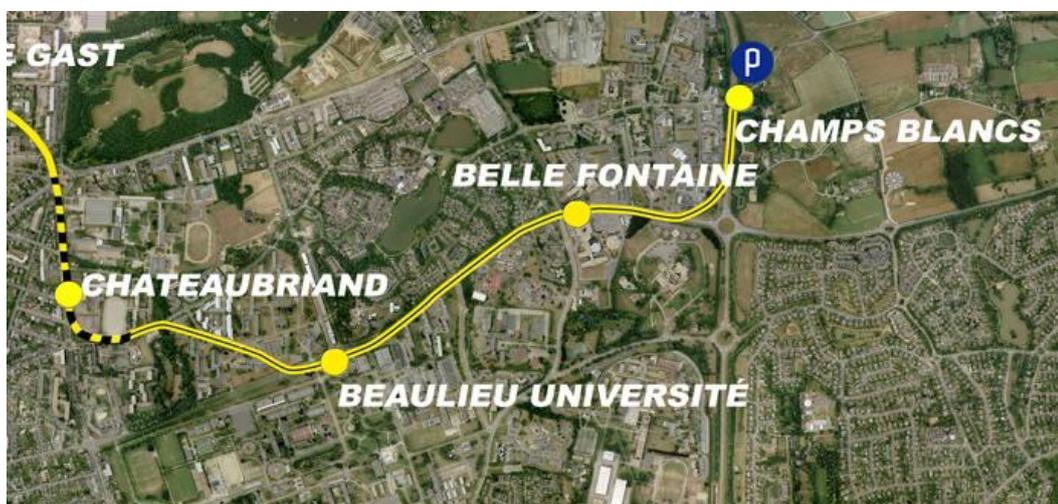
- Des scénarios écartés
- Abandon des hypothèses de tracés en aérien ou tranchée couverte au coeur du quartier
- Préservation de l'espace boisé classé
- Aucun impact sur les étangs et l'écosystème associé
- Maintien de l'intégrité des haies bocagères (chênes centenaires),
- Absence d'impact sur l'habitat d'une espèce protégée de coléoptère
- Aucune destruction d'habitation

9 scénarios retenus pour approfondir l'étude

- Aucune solution ne s'impose d'évidence à l'issue de l'analyse multicritères (non hiérarchisée)

Le choix proposé par Rennes Métropole (tracé n°7) :

- Un tracé aérien économique aux impacts acceptables et maîtrisés
- Evolution du tracé n°6 vers le tracé n°7 à la demande de la Préfecture pour éviter un site d'importance vitale (distance d'environ 20 mètres)



Les manifestations régionales

- Qualité de la desserte
- Impact environnemental, urbain et sur la vie quotidienne
- Réponse aux enjeux de développement urbain
- Coût

Trois scénarios contrastés proposés en dernier ressort par la Semtcar, l'urbaniste et les habitants :

- La Semtcar : un scénario « métropolitain » en aérien évitant le coeur du quartier, privilégiant le moindre coût et minimisant les impacts
- L'urbaniste : un scénario « aménagement urbain » en aérien évitant le coeur du quartier, desservant les secteurs d'urbanisation future
- Les habitants : un scénario du « moindre impact » écologique et visuel sur le bâti, desservant le coeur de quartier en tunnel profond

Avril 2009 : choix du tracé et de l'insertion dans le secteur Nord-Est

- Les enjeux qui éclairent le choix :
 - Minorer le coût du projet pour réaliser l'ensemble de la ligne
 - Desservir plus de 35 000 personnes avec 3 stations : 48% d'emplois,
 - 38% d'étudiants et 14% d'habitants (dont 10% aux Longs Champs)
 - Favoriser l'intermodalité et le maillage du réseau de transport à Beaulieu et aux Champs Blancs
 - Préserver la possibilité d'un prolongement vers la future EcoCité Viasilva (40 000 habitants et 25 000 emplois)
 - Limiter l'impact sur le bâti existant
 - Préserver le cadre de vie et l'écosystème du coeur de quartier

Les manifestations régionales

○ Impact visuel :

- Viaduc à 30 m environ des habitations : le double du minimum sur ligne A
- Pas de perte de luminosité pour la trentaine d'habitations concernées
- Viaduc à 10 / 15 m environ du lycée et des résidences universitaires de l'INSA, situation comparable à certains établissements sur la ligne A
- Possibilité d'écran végétal avec 3 alignements d'arbres entre maisons et viaduc

○ Impact sonore :

- Bruit en ligne : maîtrisé à la source, pas de nuisance constatée
- Bruit à proximité des stations aériennes : question réglée sur la ligne a par l'industriel et intégrée au cahier des charges pour la ligne B
- Environnement sonore des stations (bruits des portes palières, escalators, musique...) : pas de station à proximité immédiate d'habitations, conception à améliorer pour la ligne B

○ Impacts écologiques :

- Aucun impact sur la coulée verte du coeur de quartier
- Maintien de la biodiversité et des continuités écologiques

○ Sécurité autour des stations :

- Prise en compte dans les opérations d'accompagnement

Enquête d'Utilité Publique (2012)

○ Contestation virulente par les riverains du choix du tracé et de l'insertion

- Pétition de 3000 signatures
- Nombreuses observations sur les registres d'enquête
- Constitution en groupes de travail pour élaborer un dossier argumenté
- Présentation privée aux membres de la Commission d'Enquête

○ Réserves émises par la Commission d'Enquête et reprises dans la déclaration de projet :

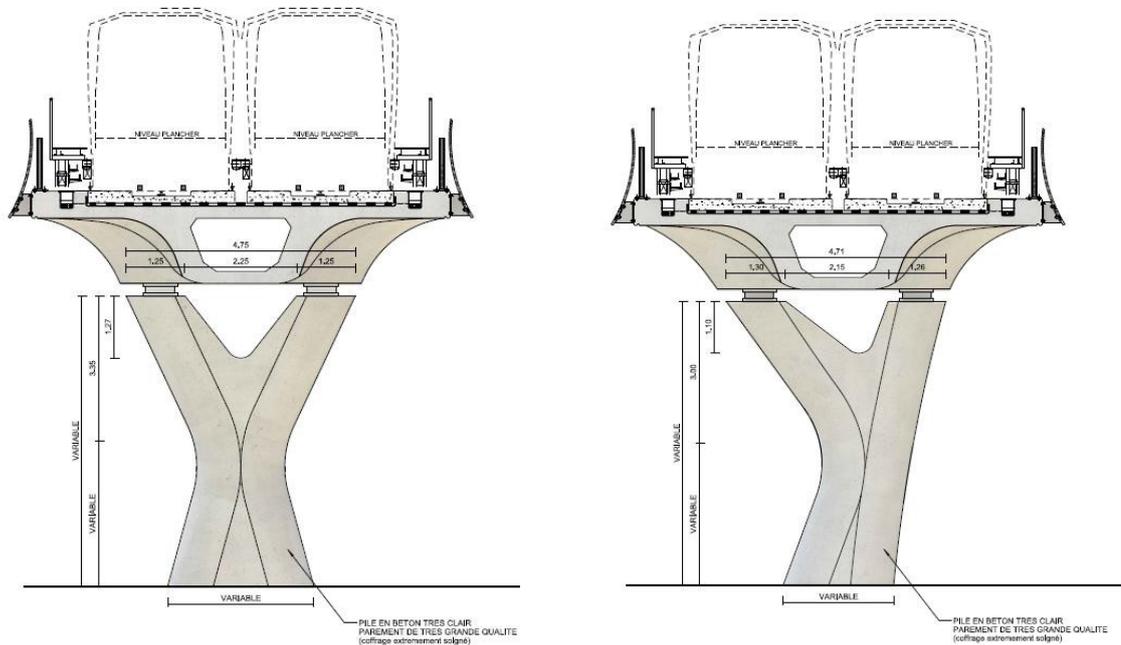
- « Prolonger le tracé en tranchée couverte vers le nord-est jusqu'en amont de la station Beaulieu Université » (600 m ; +10 M€ HT)
- « Mettre en place un comité de suivi intégrant les riverains afin d'assurer, en concertation, la mise au point et la réalisation du projet d'aménagement de l'avenue des Buttes de Coësmes, suivant les préconisations de la commission en vue de la meilleure intégration du viaduc. »

Dispositions techniques mises en oeuvre pour accompagner le choix du viaduc

- L'aménagement paysager des abords



- Parti architectural



- Dispositions retenues pour la maîtrise du bruit en station :

- Rez-de-chaussée : volume ouvert transparent et accessible
- Volume supérieur : complètement fermé
- Mise en oeuvre de matériaux absorbants : lattis de bois + isolant en plafond
- Escaliers mécaniques

- Niveau sonore : objectif ambitieux de 52 dB(A) à 1 m de l'escalier
- Matériel différent de la génération ligne a (système de graissage)
- Réduction du volume sonore en période creuse : diminution de la vitesse des escaliers mécaniques (0,65m/s à 0,2m/s) ;
- Escaliers mécaniques aériens adossés à une structure béton pour limiter les vibrations

Les manifestations régionales

○ Atalante : pied de l'escalier mécanique dans un local technique souterrain

○ Dispositions retenues sur le viaduc :

- Un écran latéral de 1,10 m sans dispositif acoustique spécifique suffit à respecter les objectifs réglementaires en façades des bâtiments (arrêté du 8 novembre 2009) :
 - 68 dB(A) en période diurne (6h–22h), pour les bâtiments à usage de bureau situés en zone d'ambiance sonore modérée (R19, R24 à R26, R31, R33 et R69),
 - 63 dB(A) en période diurne (6h–22h) et 58 dB(A) en période nocturne (22h–6h), en façade des autres bâtiments situés en zone d'ambiance sonore modérée. (Résultats de modélisation obtenus avec la configuration défavorable du CityVal à 80km/h).
- Le choix du maître d'ouvrage : Mise en place systématique d'écrans absorbants (4 dB(A)) latéraux sur

l'ensemble de l'ouvrage pour réduire les émissions de bruit provenant des rames

Dispositions constructives

- Configuration du viaduc à réaliser :
 - Longueur 2 395 m, 1/3 en alignement droit, 1/3 en clothoïde, 1/3 en courbe
 - 34 ouvrages indépendants à 2 travées et 2 ouvrages mono-travée, de 30 à 37 m de portée avec pente longitudinale jusqu'à 4,2% et dévers jusqu'à 10%
 - Tablier : caisson nervuré en béton précontraint constitué de 973 voussoirs préfabriqués, largeur : 8,60 m, hauteur : 1,70 m, longueur moyenne : 2,50 m
 - Rives équipées d'écrans acoustiques et de bandeaux architecturaux préfabriqués en BFUP (Béton Fibré Ultra hautes Performances)
 - 70 piles en « X » ou « Y »



○ Configuration de l'ouvrage de transition à réaliser (Longueur 34 m)



Contraintes d'environnement et enjeu de « furtivité » du chantier

- Spécificité des chantiers
- Deux chantiers successifs de réalisation des appuis et de pose du tablier le long des 2400 m de l'ouvrage, comportant de nombreux franchissements de voirie et d'accès à des sites d'entreprises et d'établissements d'enseignement
- Importants travaux (terrassements, parkings, ouvrage de transition, piles et pose du tablier) sur le site des résidences universitaires du CROUS de Beaulieu et à proximité du restaurant universitaire.
- Contraintes d'environnement urbain
- Limiter l'impact des travaux sur la population, les entreprises et les établissements riverains, la circulation des véhicules, des cycles et des piétons
- À l'exception de la pose des voussoirs du tablier, la circulation est maintenue sur les avenues Professeur Charles Foulon, Buttes de Coësmes, Belle Fontaine et sur le boulevard des Alliés
- L'accès aux différents sites riverains et aux résidences universitaires (CROUS, SUPELEC, INSA) est maintenu
- Dispositions en matière de « furtivité » du chantier
- Enjeu majeur d'organisation du chantier : gestion des emprises, des circulations et des approvisionnements, caractéristiques des matériels principaux et contraintes d'utilisation, nuisances et impacts des travaux, durée de la gêne, information, sécurité du personnel et des tiers
- Moyens matériels :
- Mise à disposition d'un site pour la préfabrication et le stockage des voussoirs
- Méthodologies mises en oeuvre :
- Réalisation des piles



- Cellule de préfabrication des voussoirs

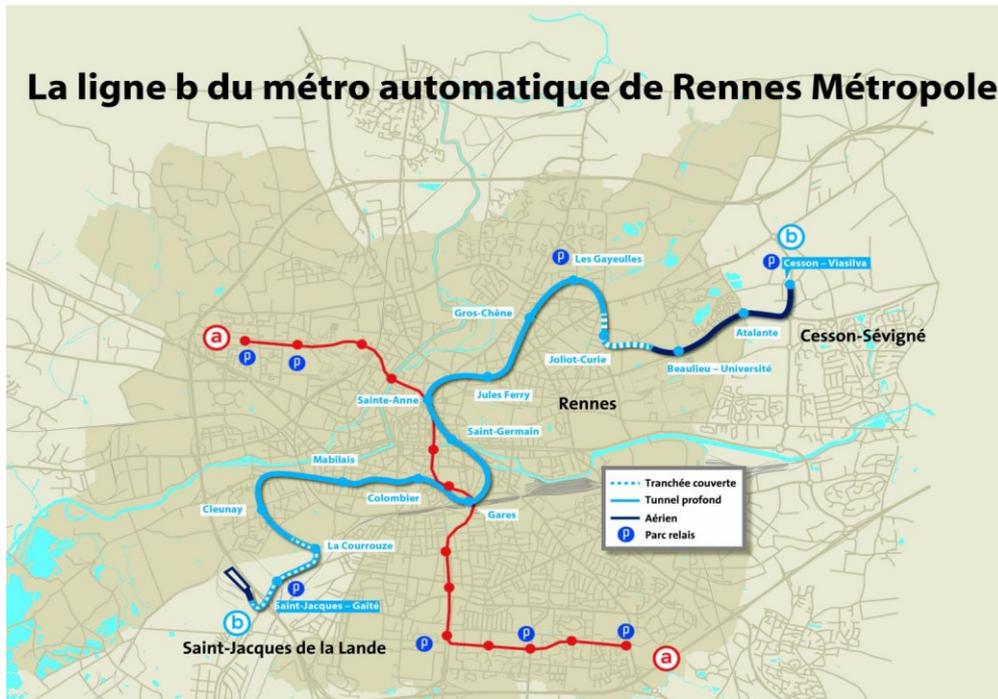


- Aménée des voussoirs et pose du tablier à la poutre de lancement



Les particularités techniques du projet : EGIS

Présentation générale



Longueur de la ligne B : 14 km



Zoom viaduc

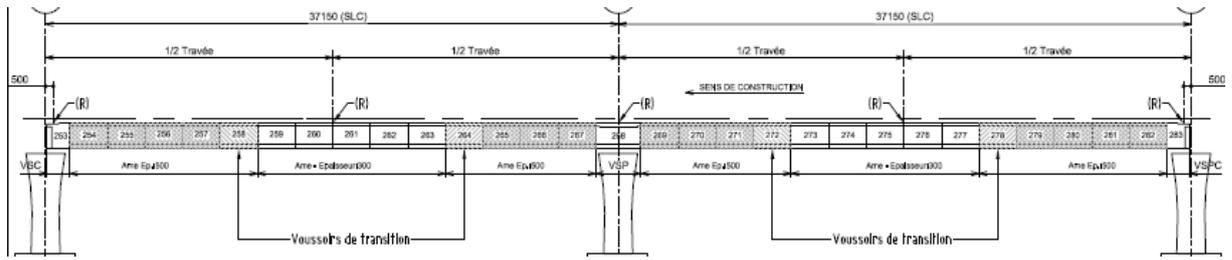
Les caractéristiques

- Longueur viaduc : 2,4km
- Dévers max +/-10%
- Pente max +/-5%
- Rmini= 125m
- Trois stations indépendantes structurellement du viaduc
- 70 piles (40% sur pieux)
- 36 tabliers

- 973 voussoirs
- 22.000m³ de béton

Vue générale d'un bi-travée

- 2 tabliers isostatiques (1 travée)
- 34 tabliers bi-travées
- 34 Voussoirs sur pile (VSP)
- 72 Voussoirs sur pile-culée (VSPC)
- Voussoir courant (VC)



Les trois stations



Beaulieu Université



Atalante



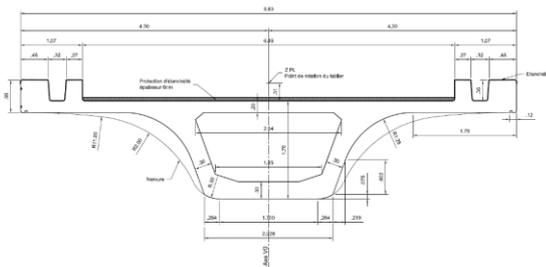
Cesson ViaSilva

Présentation du viaduc

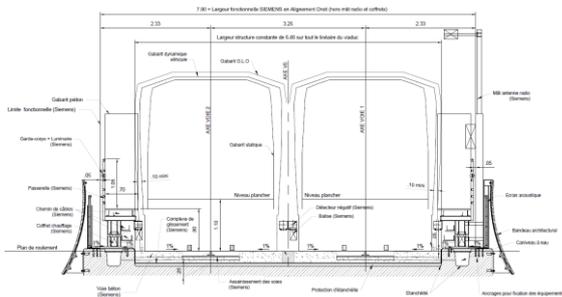
Structure

Nécessaire standardisation du viaduc+ "furtivité" des travaux (4D) :

- Caisson en béton précontraint à précontrainte interne
- Voussoirs préfabriqués
- Pose à la poutre de lancement, à l'avancement, depuis l'atelier de préfabrication
- 36 ouvrages indépendants (34 bitravées et 2 monotravées)
- 70 appuis (piles et piles-culées)
- Architecture urbaine sophistiquée



Hauteur du tablier = 1,70 m

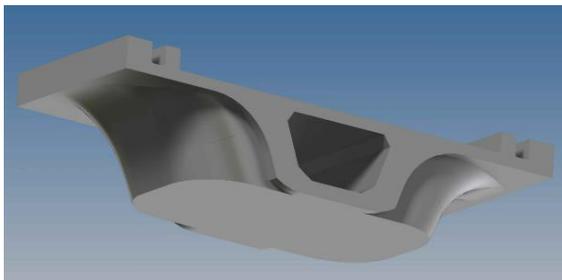


Coupe fonctionnelle

Description de la structure

Tablier

973 voussoirs préfabriqués

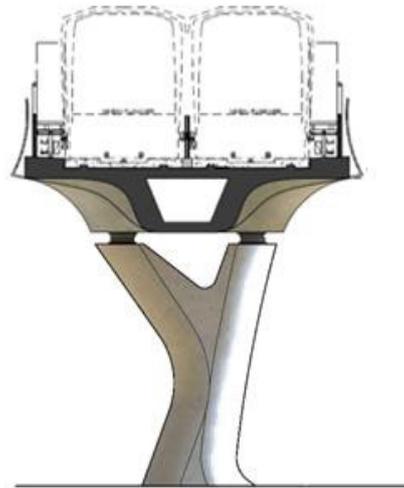


VSP

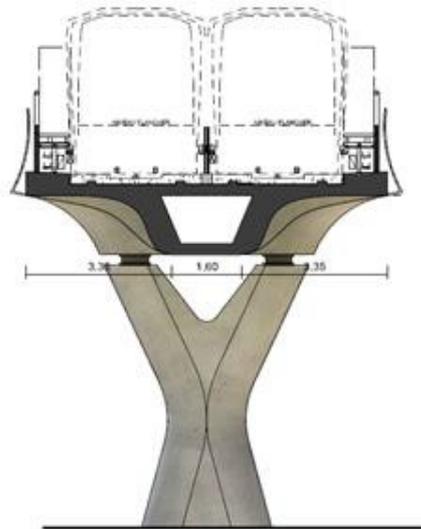
Technique des voussoirs préfabriqués, posés à la poutre de lancement = invention de Jean Muller ("disciple" d'Eugène Freyssinet)

Appuis

70 appuis : piles et pile-culées avec la même géométrie (hors X/Y) (architecture + utilisation des mêmes outils + résistance au choc)



Piles Y dissymétriques pour les courbes et certains alignements droits



Piles X symétriques pour les transitions courbes/contre-courbes et les alignements droits

Fondations superficielles (x38) et profondes (x32)

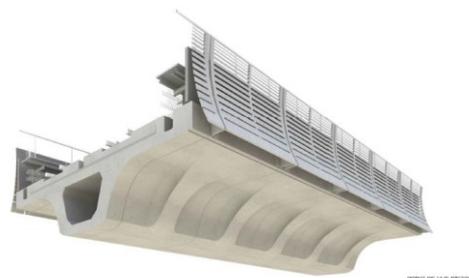
Appareils d'appuis néoprène :

Sur pile-culées : majoritairement 400*500 ; 6 (12+5) ; 2*6

Sur piles : majoritairement 600*600 ; 4 (16+5) ; 2*8

Équipements principaux

Écrans en bfup (corniche architecturale)



Présentation du mode constructif avec poutre de lancement

Michel BOUSQUET : RAZEL BEC

Matthieu CARRY : EIFFAGE GENIE CIVIL

PRINCIPE GENERAL

Décomposition du chantier en 3 ateliers :

- Chantier mobile des piles
- Préfabrication des voussoirs sur la base vie
- Pose à la poutre par tabliers (bi-travées)

Construction des appuis



Fondation des appuis sur pieux ou sur fondations superficielles avec substitution de terrain (32/70 d'appuis sur pieux de 6 à 20 m environ)

- Réalisation des semelles dans des fouilles d'ouvrage talutées ou blindées
- Travaux dans les emprises mobiles en amont de la réalisation des fûts
- Reconnaissances réseaux préalables au droit de chaque appui

Fondations profondes

- 4Ø1000 par appui sur pieux
- Longueur des pieux 6 à 20 m selon les appuis
- Pieux forés à sec, tubés provisoirement en tête.
 - Tarière
 - Bucket
 - Carottier dans le dur
- ou substitutions de terrain par gros béton

Semelles

- 6*4 à 7*8 selon les piles
- 1m à 1,50m d'épaisseur
- Armatures : 200kg/m³
- Pleines fouilles
- Blindées

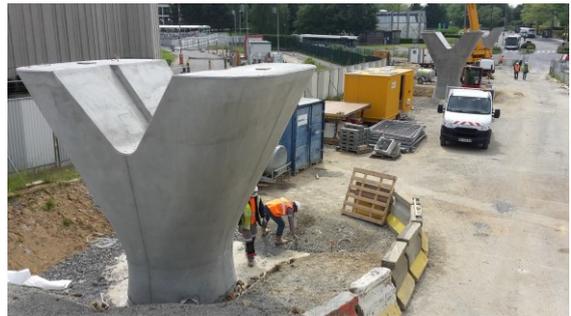
Elévations

- Ferrailage
 - En place pour le fût
 - Préfabriqué pour le chevêtre sur la base vie
 - Difficultés à mettre au point un ferrailage généralisé pour tous les appuis du fait des réservations importantes en conflit avec les aciers transversaux (densités de ferrailage très importante (jusqu'à 385kg/m³ pour les chevêtres)
 - Cheminée de bétonnage

Cinématique : construction par la méthode des voussoirs conjugués

Les manifestations régionales

- Colonnes de vibration
- Gains de précontrainte pour le clouage des voussoirs
- Aciers spécifiques selon les sollicitations provisoires
- 2 outils coffrants : 1 coffrage piles X + 1 coffrage piles Y
- Fermeture du coffrage pour bétonnage toute hauteur. Variation des hauteurs de piles par familles en disposant ou non les sous-hausses (h = 5 à 9 m environ)
- Pas de tiges traversantes
- Bétonnage à la benne : 11m³/h maximum en 1fois



Préfabrication des voussoirs



Particularités :

- Maitrise géométrique : courbures et dévers prononcés
- « Village » des voussoirs nervurés dans les zones de variation de dévers
- Faible hauteur des voussoirs





Pose du tablier



Poutre de pose capable de suspendre la totalité de 2 travées

- Compatible avec la géométrie en plan ($R_{min} = 125m$)
- Compatible avec les variations de portées de 30 à 40 m environ

Livraison au chantier des éléments constitutifs du lanceur (48 semi-remorques)

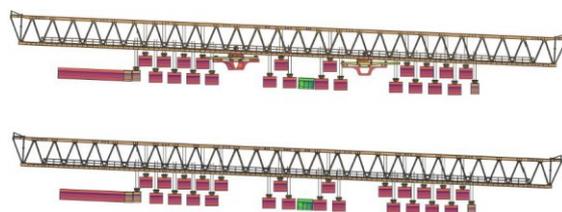
- Assemblage des structures indépendantes au sol
- Hissage sur les premiers appuis et mise en service (câblages, hydraulique, mécanique..)
- Tests de fonctionnement et épreuves de chargement



Avancement de la poutre de lancement par déplacements successifs de ses pieds et de la structure



Mise en suspension de tous les voussoirs d'un bi-travée
Approvisionnement et suspension des voussoirs



Approvisionnement des voussoirs pré-équipés avec un fardier circulant sur le tablier déjà construit



Les manifestations régionales



Réalisation de la précontrainte longitudinale

- 6 à 9 câbles 22T15 Actifs/Passifs
- 4 câbles 15T15 Passifs/Actifs, sortis en extrados

Présentation des caractéristiques et particularités des stations aériennes Beaulieu Université et Atalante

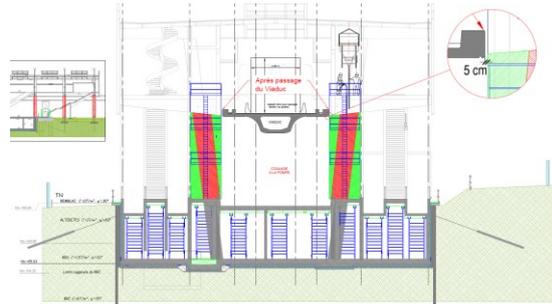
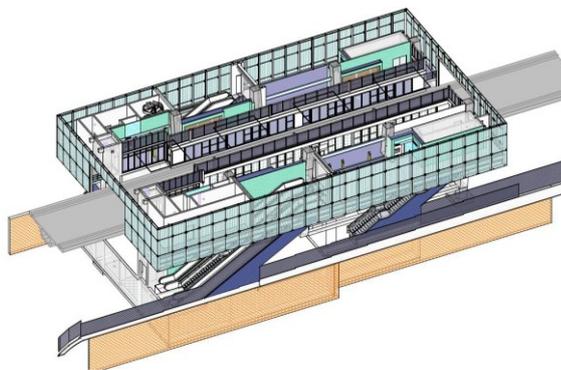
Entreprise ANGEVIN

Station Atalante

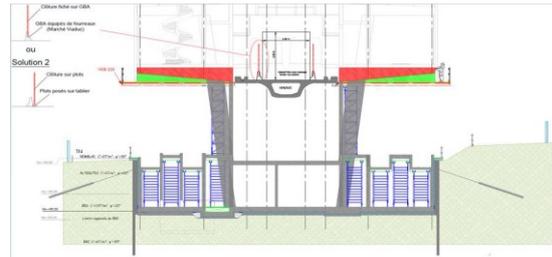
C'est une station compacte d'environ 16 m de haut, 46 m de long et 2 5 m de large, conçue comme une boîte en verre sur pilotis.

La structure de la station est basée sur une trame de portiques en béton et la toiture repose sur des panneaux métalliques. Les escaliers d'accès aux quais sont situés sous la station.

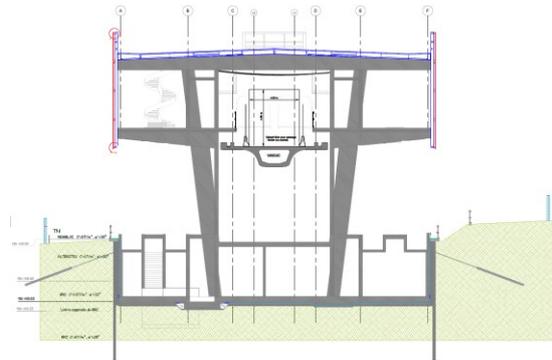
2300 m³ de béton
220 T d'armatures
13000 Heures de Génie Civil
1250 m² de vitrage VEA



Poteaux Niveau surface



Réalisation des consoles



Pose des menuiseries extérieures

Station Beaulieu Université

C'est une station compacte d'environ 16 m de haut, 60 m de long et 21 m de large, conçue comme une boîte de béton évidée au droit des flux de piéton

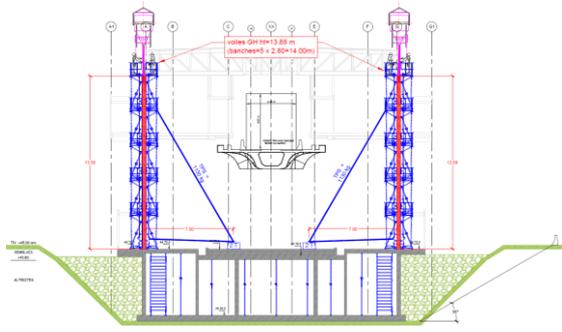
La station

Panneaux béton préfabriqués agrafés sur les voiles porteurs en béton
Toiture en métal
Quais suspendus à la toiture principale par des tirants
Escaliers d'accès aux quais souterrains

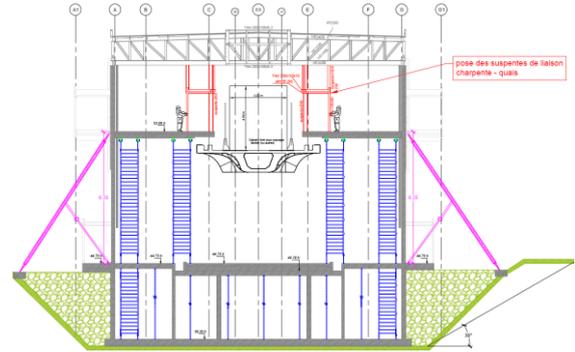


7000 m³ de déblais de terre
2100 m³ de béton
160 T d'armatures
14000 Heures de Génie Civil

Les manifestations régionales



Elévations des voiles de grande hauteur



Pose des suspentes de liaison charpente/quais

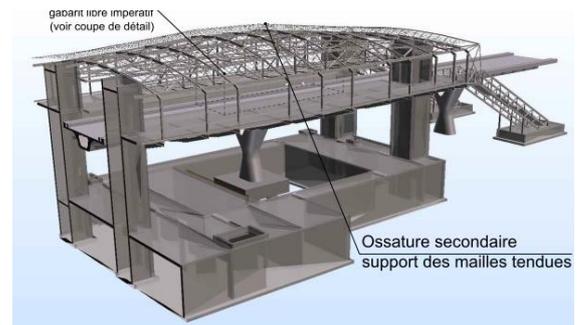
Présentation des caractéristiques et particularités de la station Cesson Via Silva *Entreprise CARDINAL*



La station Cesson Via Silva



Projet architectural de la station



Phasage détaillé