



Rennes Ligne b – Viaduc
Points techniques MOE
Journée AFGC – 30/03/17

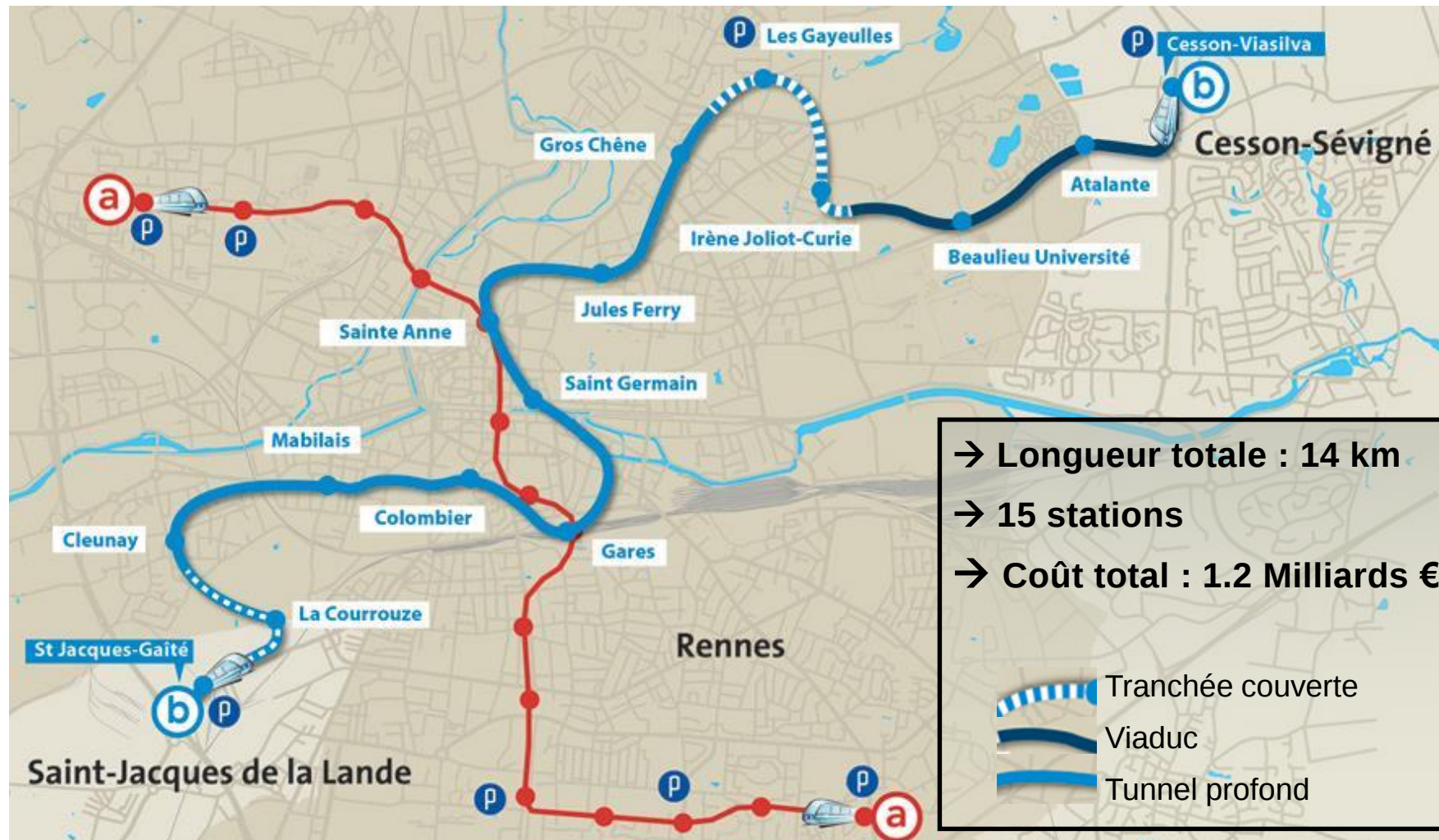
Sommaire

- A** | Présentation générale
- B** | Présentation du viaduc
- C** | Données et contraintes Siemens
- D** | Interaction voie/ouvrage
- E** | Description de la structure

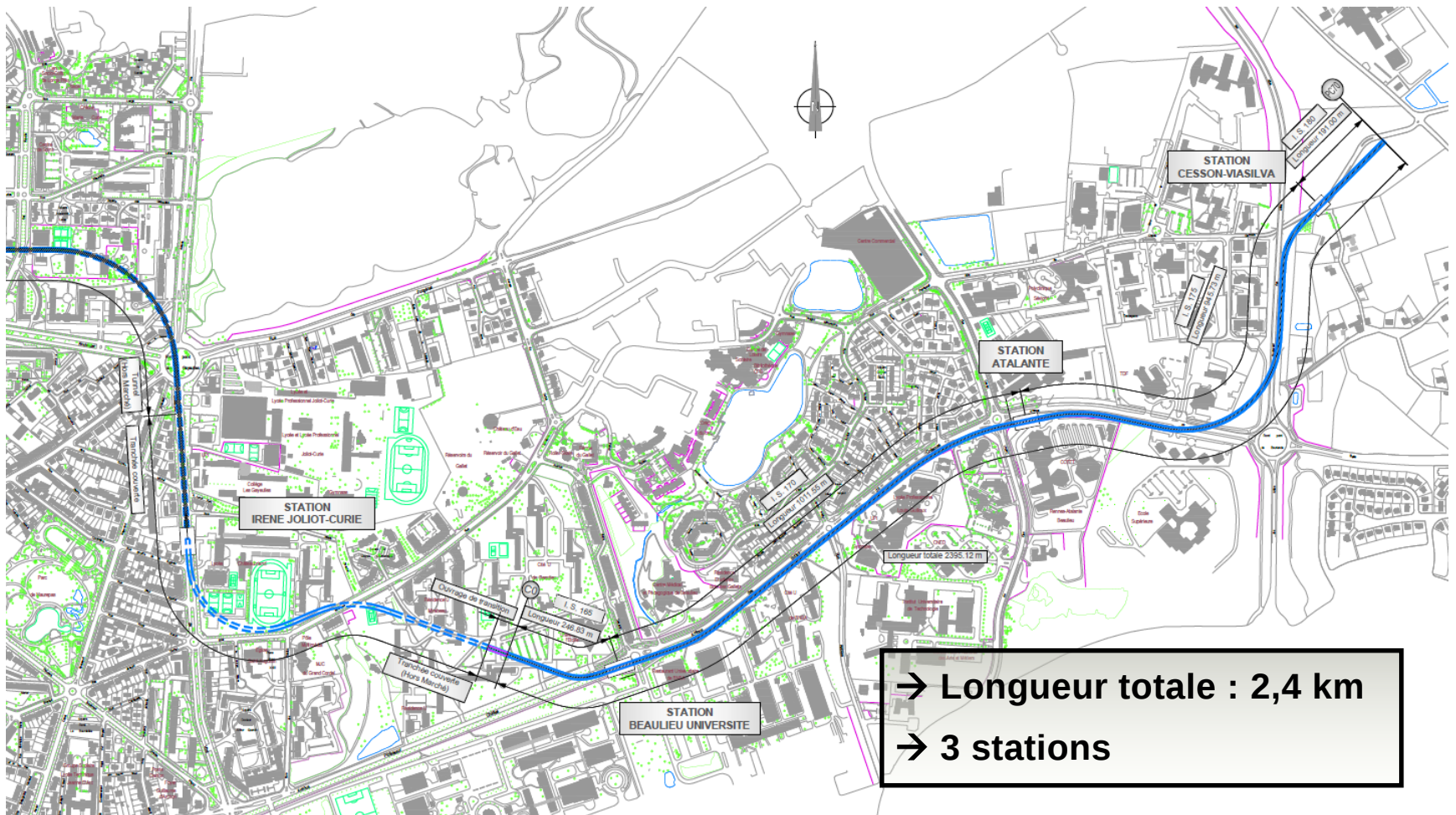


Présentation générale

Ligne b



Zoom viaduc



→ Longueur totale : 2,4 km
→ 3 stations

Les acteurs



► Egis Rail, Arcadis, L'Heude

MOE Infrastructure Génie Civil de la ligne b



LAVIGNE & CHÉRON
Architectes

► Egis Jean Muller International

MOE du viaduc

► Lavigne & Cheron Architectes

Architecte du viaduc

SIEMENS

► SIEMENS

Responsable du Matériel Roulant / dalle voie /
Equipements liés au Système

Matériel roulant

- Métro automatique CityVal de SIEMENS
→ innovation mondiale
- Matériel roulant sur pneus, guidé par un rail central
- Voie béton



Stations aériennes

- 3 stations

indépendantes structurellement
du viaduc

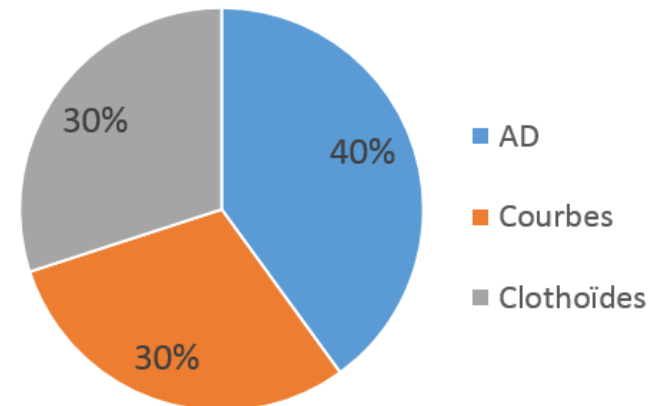
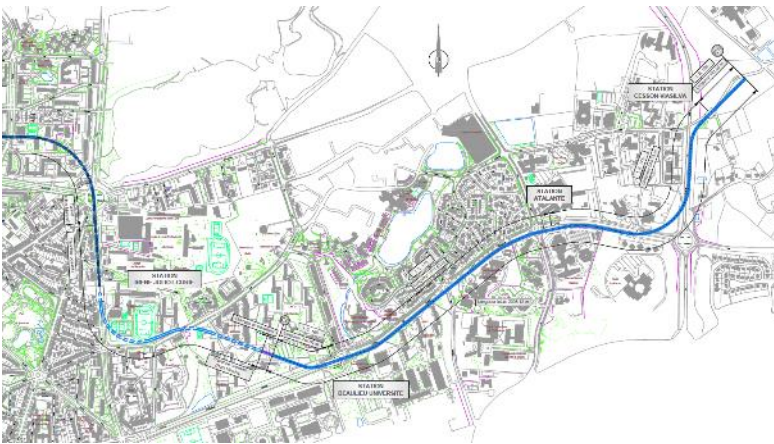




Présentation du viaduc

Tracé en plan

Succession d'alignements droits, courbes et clothoïdes



Linéaire total = 2400 m

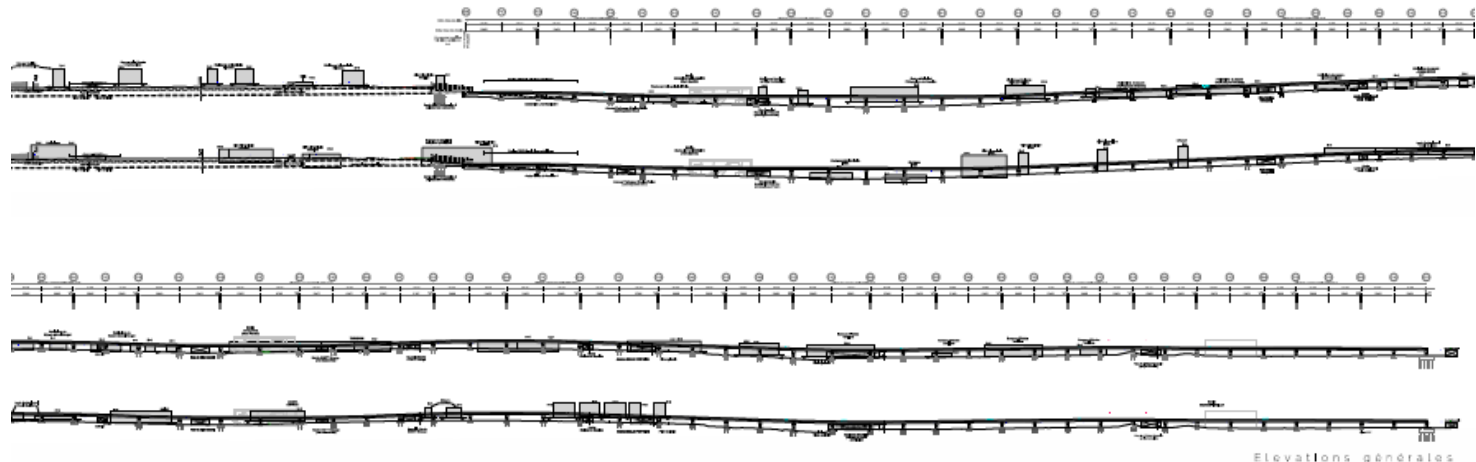
Rayons variant de 125 m à 600 m

➔ Tracé complexe

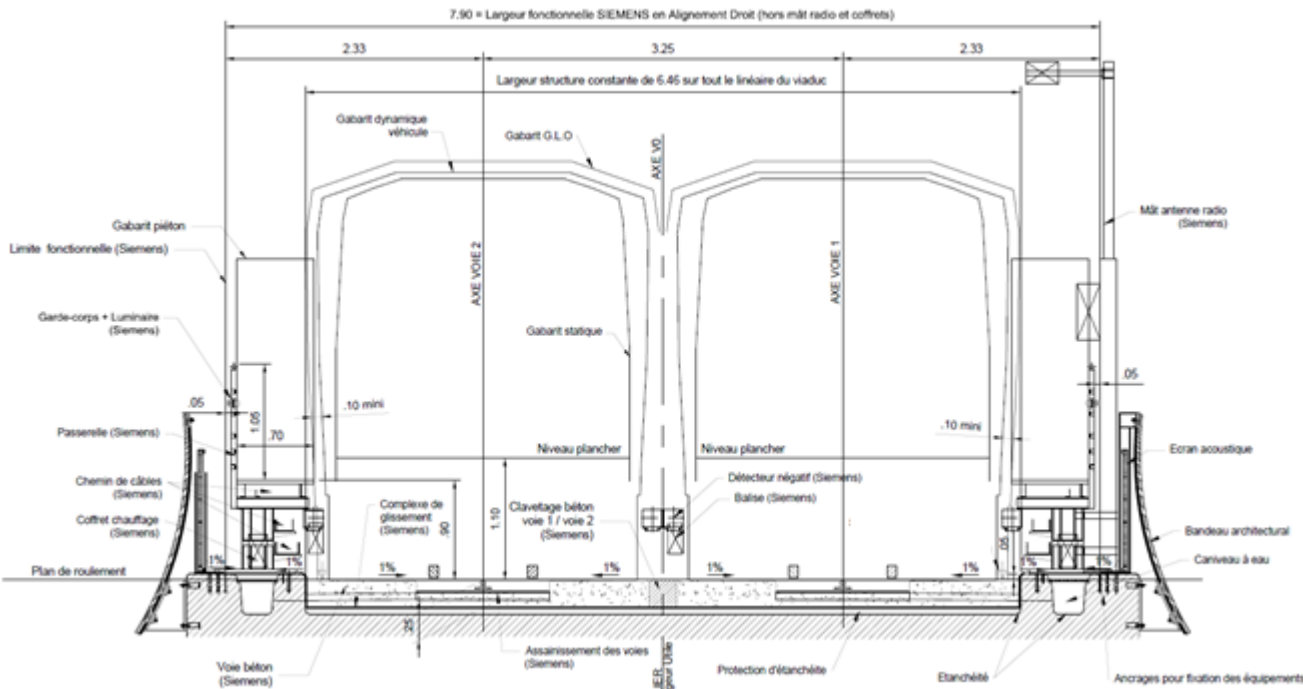
Profil en long

Calé par :

- Hauteur structurelle
 - Franchissements de voiries
 - Et le terrain naturel (succession de creux et de bosses)
- ➔
- Altitude moyenne d'environ 6 à 7 m au-dessus du terrain naturel
 - Pente longitudinale max de 4 %



Profil fonctionnel / dévers



	Largeur utile
AD	7.90 m
Dévers 10 %	8.07 m
Dévers 8.5 %	8.13 m

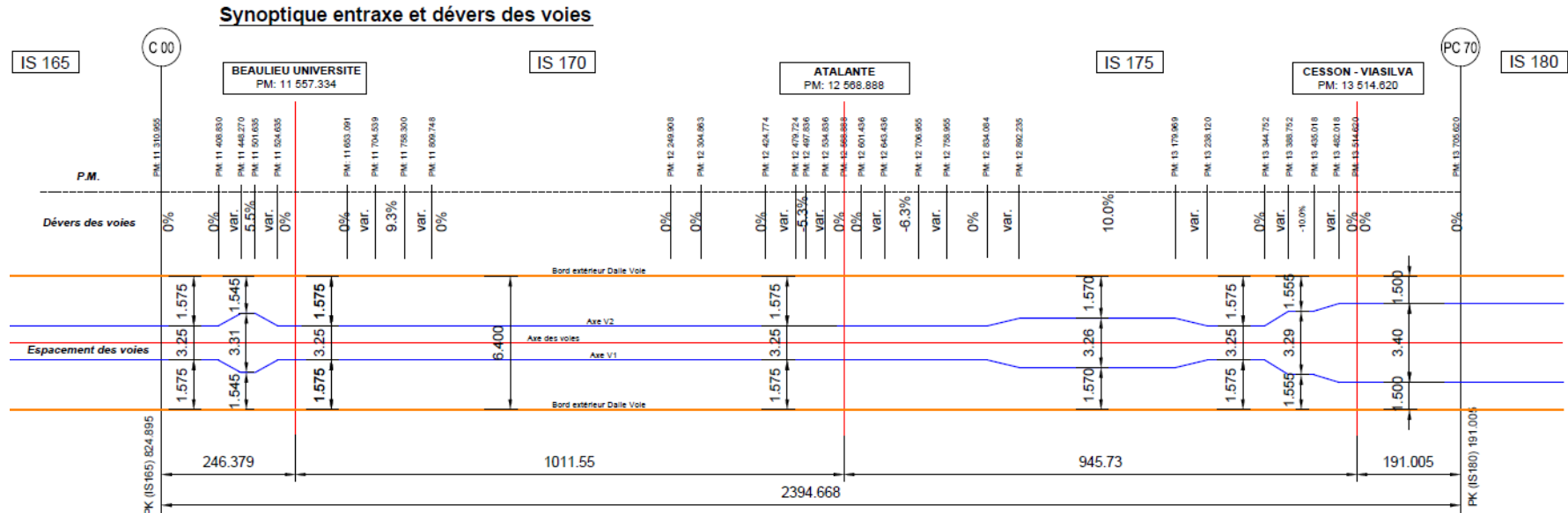
→ Surface utile de 19 000 m²

Rayon (m)	125	200	275
Dévers	10%	10%	6.3%

	300	350	600
	9.3%	5.3%	0%

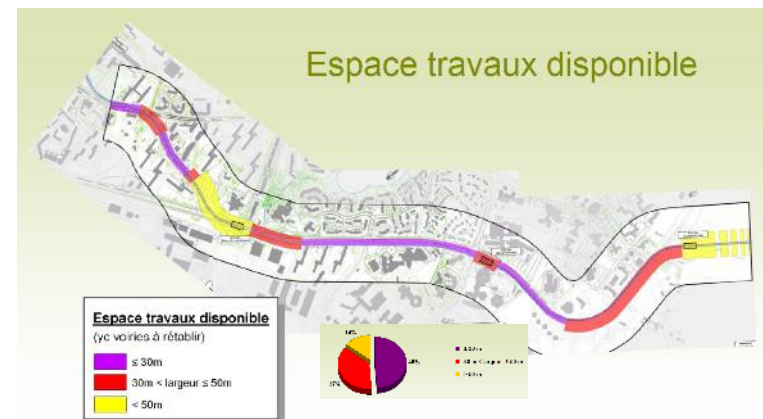
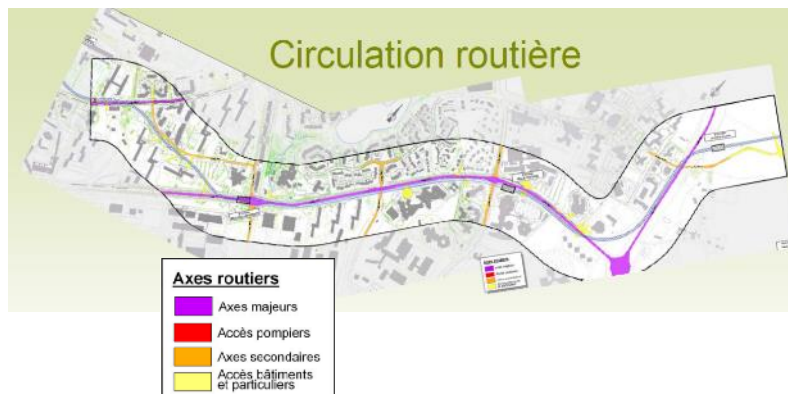
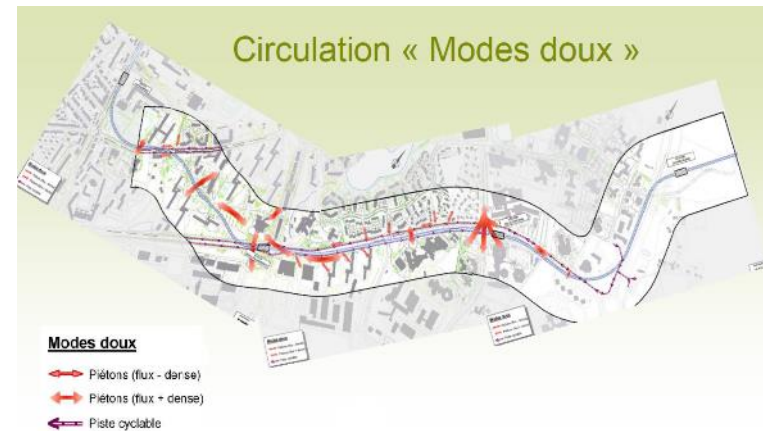
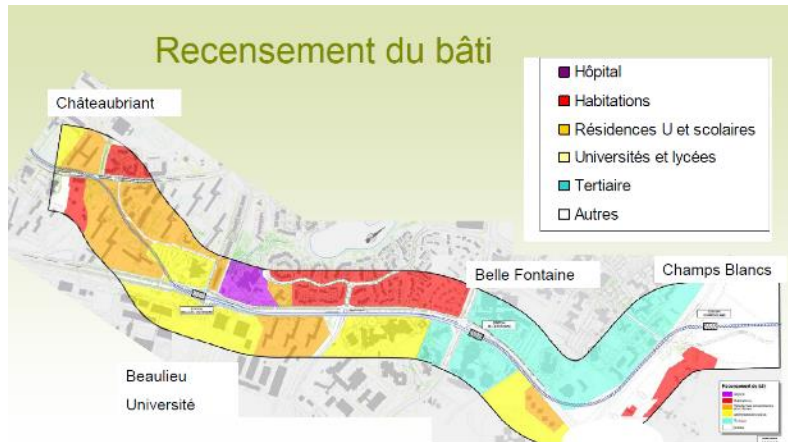
→ Dévers variable jusqu'à 10 %

Profil fonctionnel / dévers



➔ Géométrie générale **complexe** (plan / profil en long / dévers / fonctionnel)

Données du site



➔ Environnement urbain très contraint

Autres données de conception

Architecture ⇔ travail technico-architectural constant

Voie portée :

- Tracé
- Profil en long
- Raccordement aux extrémités
- Profils fonctionnels
- Réseaux

Obstacles franchis :

- Géométrie / gabarits des voies franchies / durée de fermetures
- Géotechnique

Environnement

- Enjeux environnementaux (yc acoustique + bruit structurel)
- Site / furtivité des travaux
- Emprises disponibles / travaux

Entretien / durabilité de la structure

Stations aériennes

- Indépendance = économie du viaduc
- Interface appuis / locaux techniques
- Interface PMR via quais / viaduc / MR

Assainissement

- voie béton
- noues (étude hydrologique)

Équipements non liés au système

- Anti-intrusion
- Vidéo-surveillance

Planning général

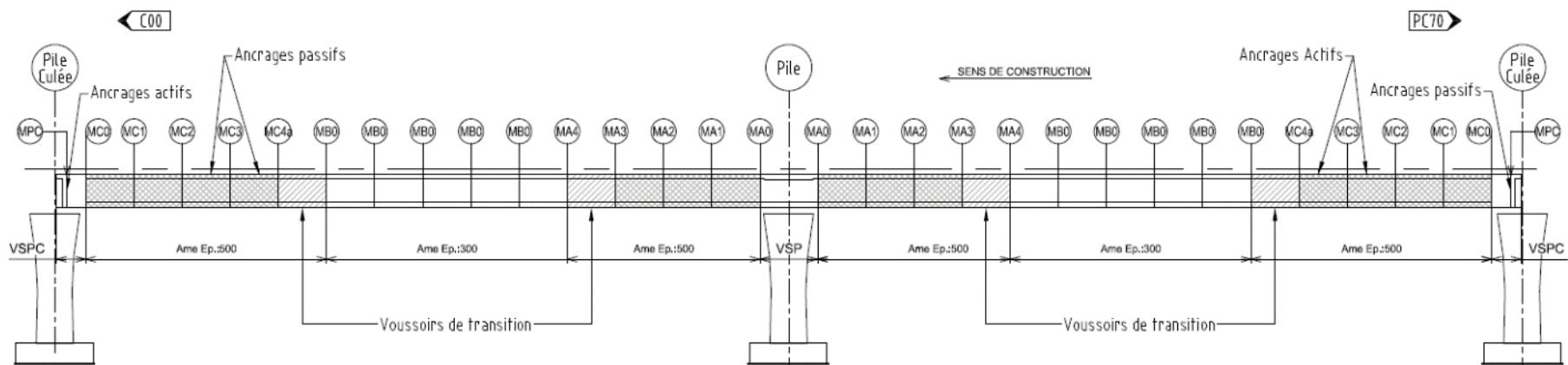
Données et contraintes Siemens

Règlementaire

Structure

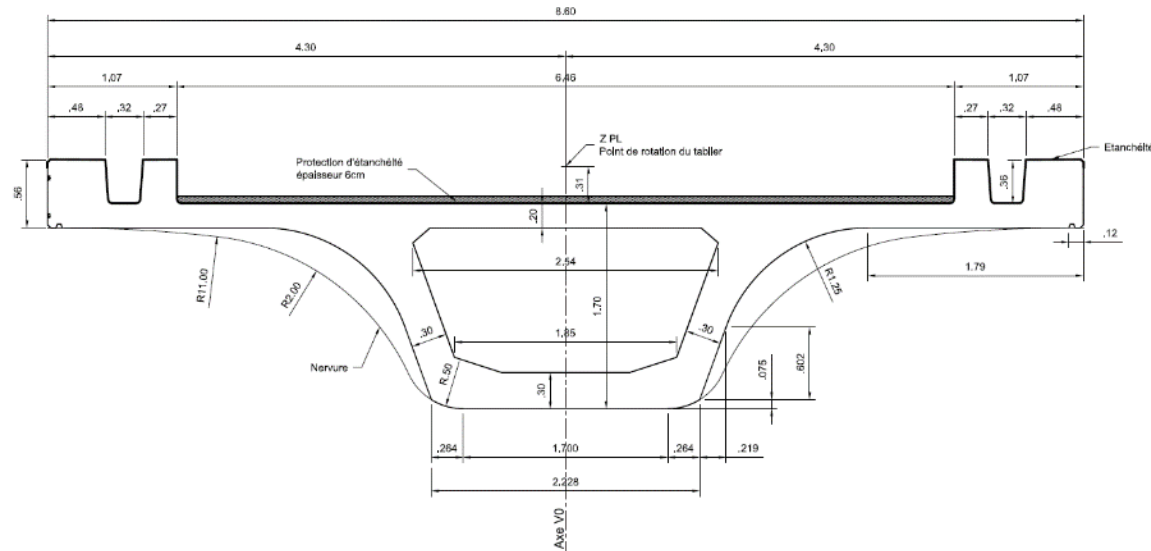
Nécessaire standardisation du viaduc + "furtivité" des travaux (4D) :

- 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 / 2 monotravées)
- 70 appuis (piles et piles-culées)
- Architecture urbaine sophistiquée



Structure

- Hauteur tablier : 1,70 m



- Portées variant de 30,25 m à 37,65 m

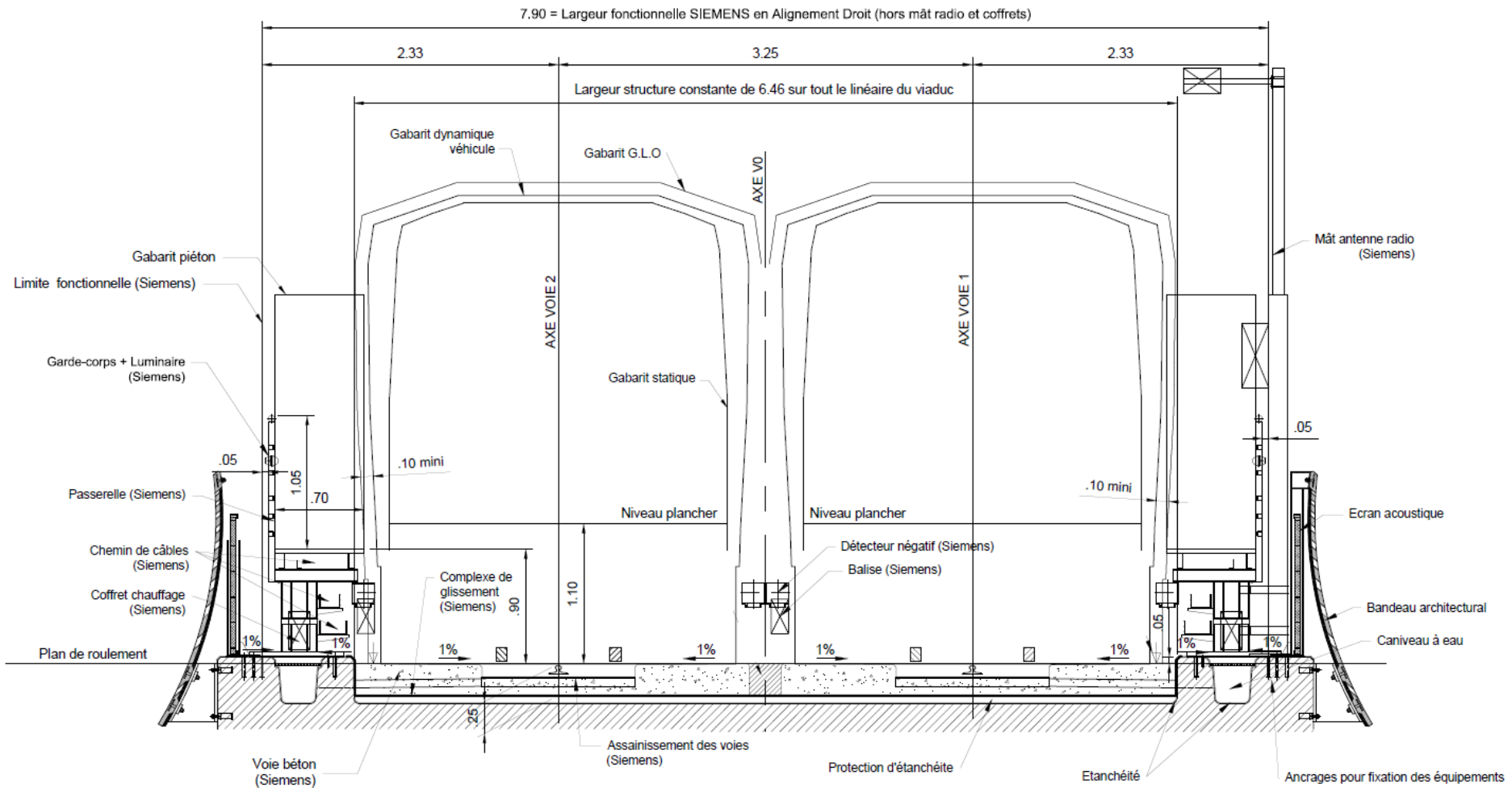
De C0 à PC70 :

(2 x 34.60 m) - (2 x 34.472 m) - (2 x **31.05 m**) - (2 x **37.65 m**) - (1 x **32.10 m**) - (2 x **36.30 m**) - 5 * (2 x 36.35 m) - (2 x 32.75 m) - 4 * (2 x 30.25 m) - (2 x **33.805 m**) - (2 x **36.70 m**) - (2 x **36.70 m**) - 2 * (2 x **32.291 m**) - 2 * (2 x 34.90 m) - (2 x 37.65 m) - 2 * (2 x 32.00 m) - (2 x 36.70 m) - 4 * (2 x 31.20 m) - (2 x 30.34 m) - (2 x 31.75 m) - (1 x 30.09 m) - 2 * (2 x 30.89 m).



Données et contraintes SIEMENS

Coupe fonctionnelle



Interface Système / Viaduc

Données système (en interface viaduc)

- Matériel roulant
- Dalle-voie en béton armé
- Rail de guidage central (sécurité du système)
- Équipements liés au système (électricité, chauffage, assainissement voie, bastaing, appareil de voie, mât radio, passerelle de service,...)

Conséquences sur le viaduc

- Efforts (verticaux, horizontaux, centrifuge), flèche admissible, gabarits, ...
- Travaux : impact méthodes de réalisation de la dalle-voie (protection de l'étanchéité), interface planning
- Ancrages et réservations liés dans la préfabrication de l'ouvrage



Interaction voie/oa



Enjeux propres à Siemens

Roulement :

- Usure des pneus (franchissement des joints)
- Qualité de l'uni (adhérence des pneus)

Rail de guidage :

- Sécurité du système
- Long rail soudé
- Joint de dilatation de rail



Interaction voie/OA

Interaction voie/OA

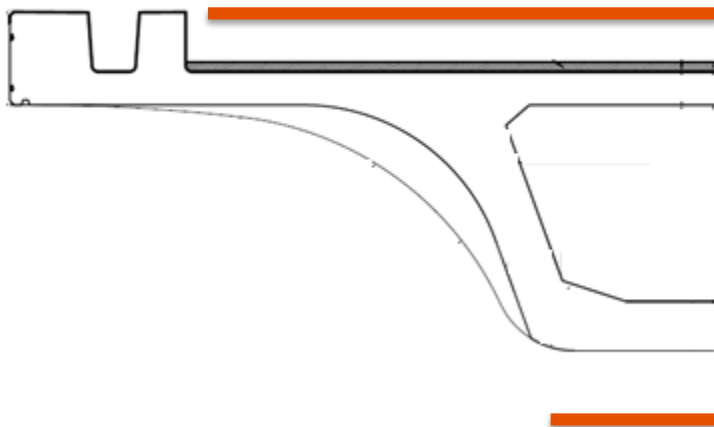
Actions sollicitantes :

- Principale : **Delta de Température**
- Accompagnement : **retrait/fluage du tablier** + freinage MR

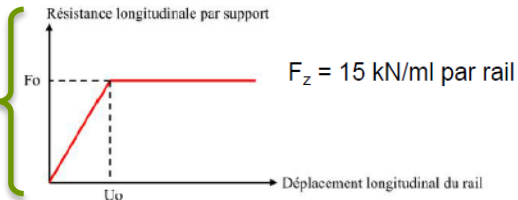
Particularités propres au projet :

- Nombre de couches avec leurs lois de comportements propres yc celles des interfaces
- Innovation mondiale

Interaction voie/OA



$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta T_{\text{exp}} = +45^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{\text{con}} = -35^{\circ}\text{C} \end{array} \right.$$



$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta T_{\text{exp}} = +35^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{\text{con}} = -23^{\circ}\text{C} \end{array} \right. + \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{\text{dalle}} = -10 \cdot 10^{-5} \\ \varepsilon_{\text{dalle}} = -30 \cdot 10^{-5} \end{array} \right. + \text{Loi}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{loi de frottement de type Coulomb} \\ \mu = 0,5 \\ \mu = 1,0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta T_{\text{exp}} = +27^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{\text{con}} = -17^{\circ}\text{C} \end{array} \right. + \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{\text{tab}} = -9 \cdot 10^{-5} \\ \varepsilon_{\text{tab}} = -45 \cdot 10^{-5} \end{array} \right.$$

+

Retrait & Fluage	Phasage considéré	t = 100 ans	t = 30 ans	t = 2 ans	t = 6 mois
Tablier ε_{tab}	PH1	$-45 \cdot 10^{-5}$	$-31 \cdot 10^{-5}$	$-9 \cdot 10^{-5}$	$-3 \cdot 10^{-5}$
Dalle $\varepsilon_{\text{dalle}}$	PH1	$-30 \cdot 10^{-5}$	$-25 \cdot 10^{-5}$	$-16 \cdot 10^{-5}$	$-8 \cdot 10^{-5}$

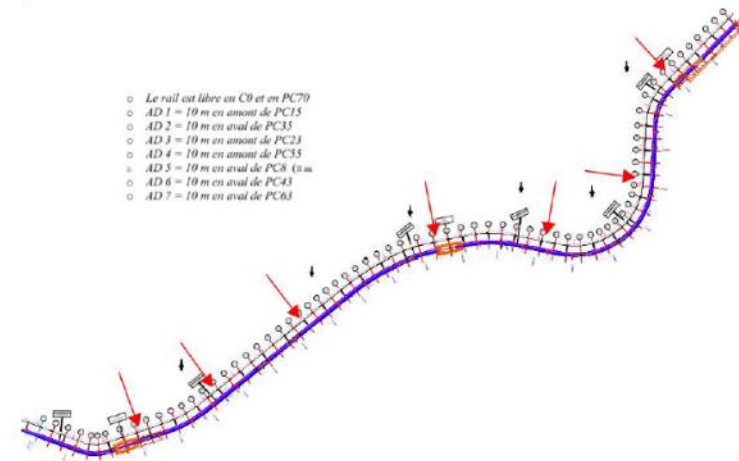
Raideurs AA

Interaction voie/OA

Paramètres précédents

- + géométrie en plan
- + profil en long
- + nécessité de modéliser l'ensemble de l'OA
- + position des ADD de rail / joints de dalles ADD / joints courants dalles
- + freinage MR
- dévers non modélisé

➔ Forte complexité



Critères admissibles

Système

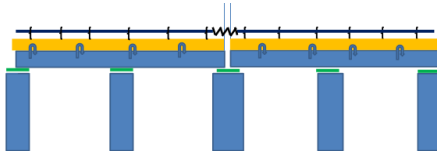
- Performance système
(déplacements transversaux admissibles = $f(R,V)$)
- Interface stations indépendantes
(10 mm = déplacement transversal admissible)
- Bruit
(franchissement des joints)
- Ouverture ADD de rail
(certification 150 mm + conditions géométriques implantation)
- Rotations admissibles au droit des joints d'OA
- Lacune = 15 mm
(casse du rail par défaut intrinsèque)

Viaduc

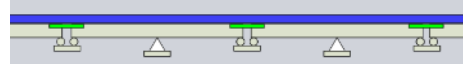
- Capacité résistante du tablier
($M_{z \text{ ivoa}} < 2,5 \text{ MNm}$ sinon ouverture des joints entre voussoirs)
- Réactions d'appuis
($\Leftrightarrow$ compatibles avec les dimensions des AA en lien avec la géométrie des têtes de piles)
- Déplacement transversal admissible du tablier (5 cm)
- Conservation de la géométrie des piles
- Non participation de la dalle en flexion longitudinale
- Durabilité de la structure
(étanchéité, ancrages)

Évolution conception dalle-voie

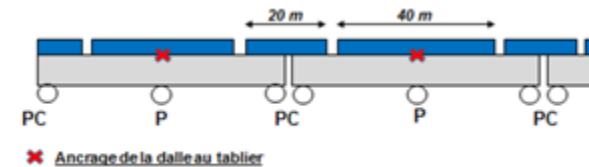
Dalle encastrée



Dalle désolidarisée continue



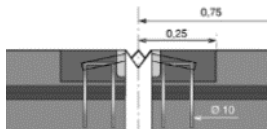
Dalle désolidarisée discontinue



= 3 ans d'études (concepteur dv = Siemens) pour aboutir
> 20 grandes options ⇔ > 150 modélisations effectuées

À chaque discontinuité :

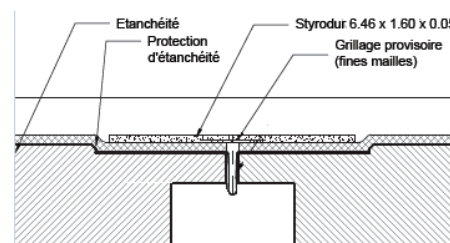
Joint de dilatation



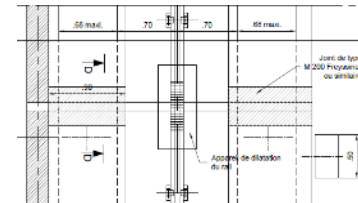
Lacune



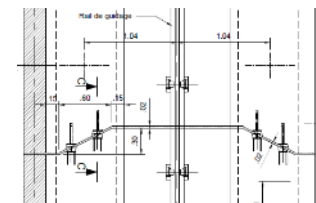
Styrodur



ADD rail



Joint courant
lacune

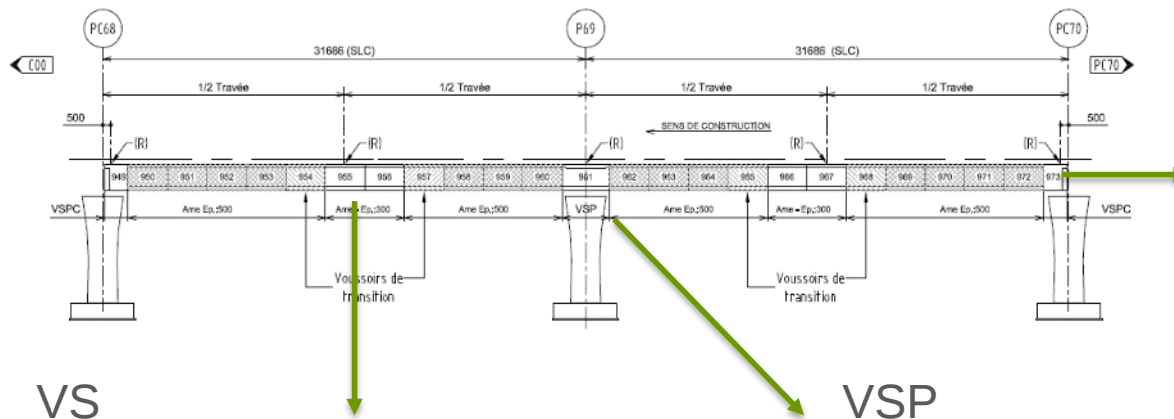




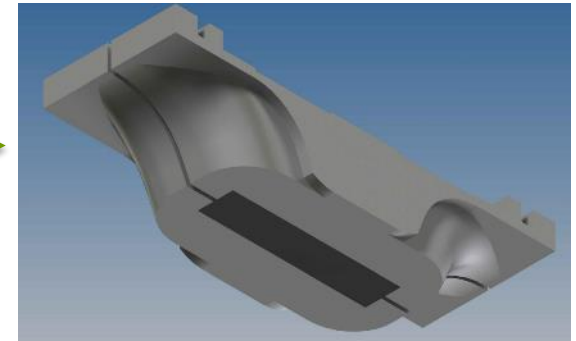
Description de la structure

Tablier

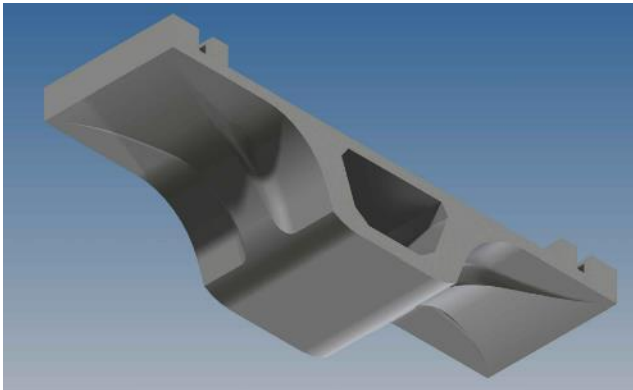
973 voussoirs préfabriqués



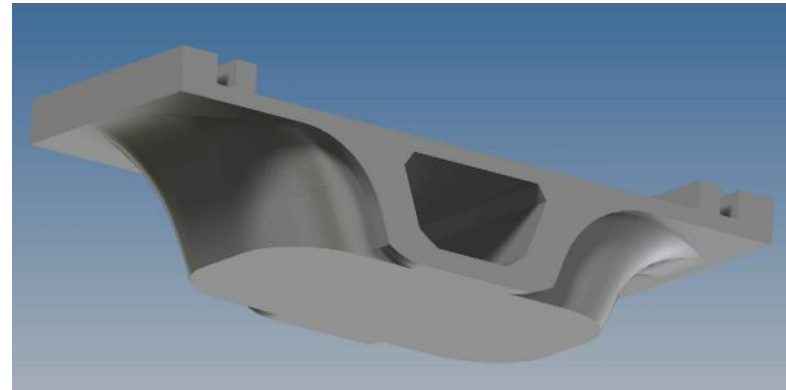
VSPC



VS



VSP



Tablier

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

Quelques références ...

Ateliers de préfabrication ...



PS préfabriqués du réseau Area



Bangkok – Second Express Way

Tablier

Poutres de lancement en cours à Bangkok



Sirat Expressway

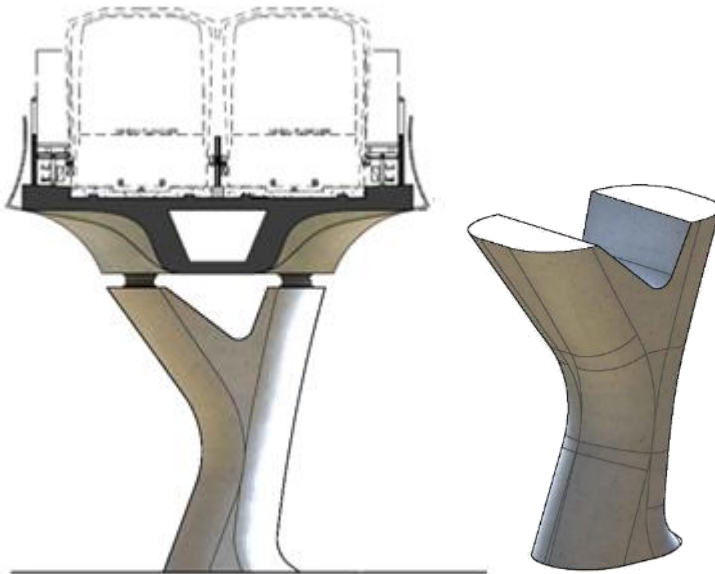


Appuis

70 appuis : piles et pile-culées avec la même géométrie (hors X/Y)

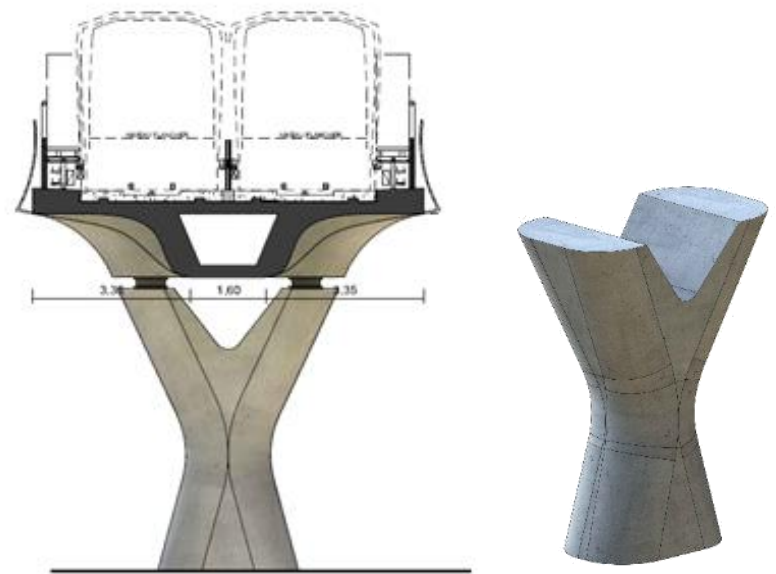
(architecture + utilisation des mêmes outils + résistance au choc)

Pile Y (dissymétrique)



➡ Pour les courbes et certains AD

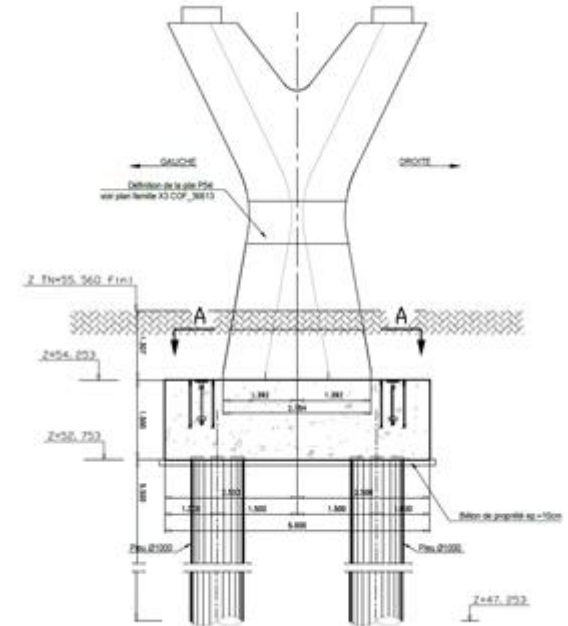
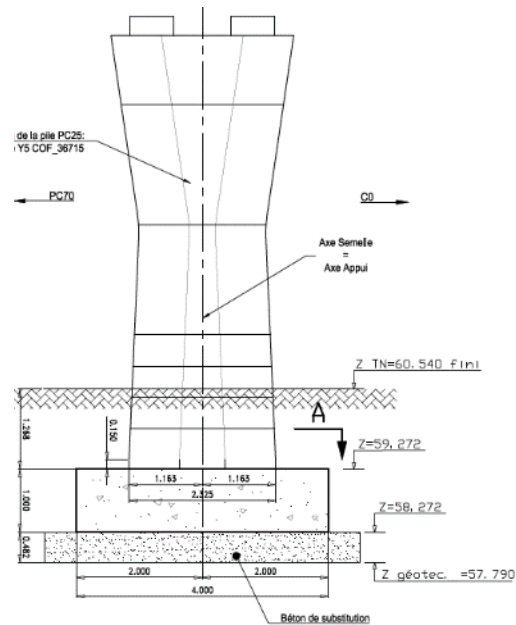
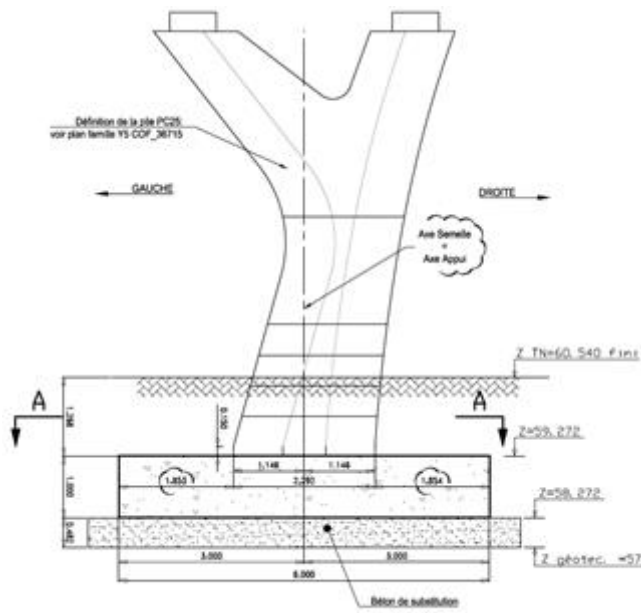
Pile X (symétrique)



➡ Pour les transitions
courbe/contre courbe et les AD

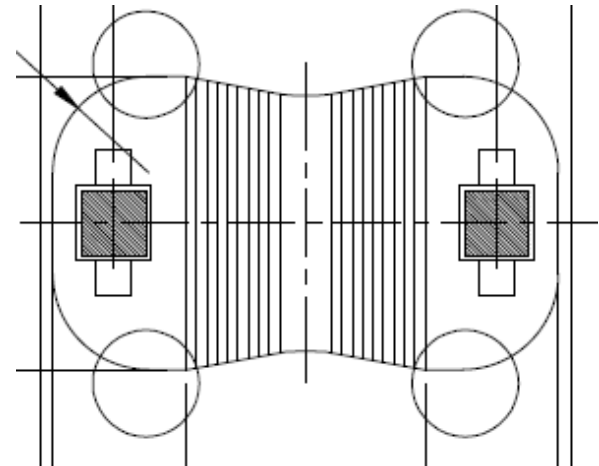
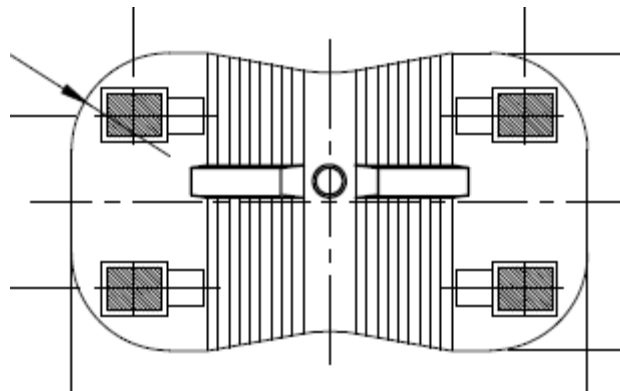
Appuis

Fondations superficielles (x38) et profondes (x32)



Appuis

Appareils d'appuis néoprène



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

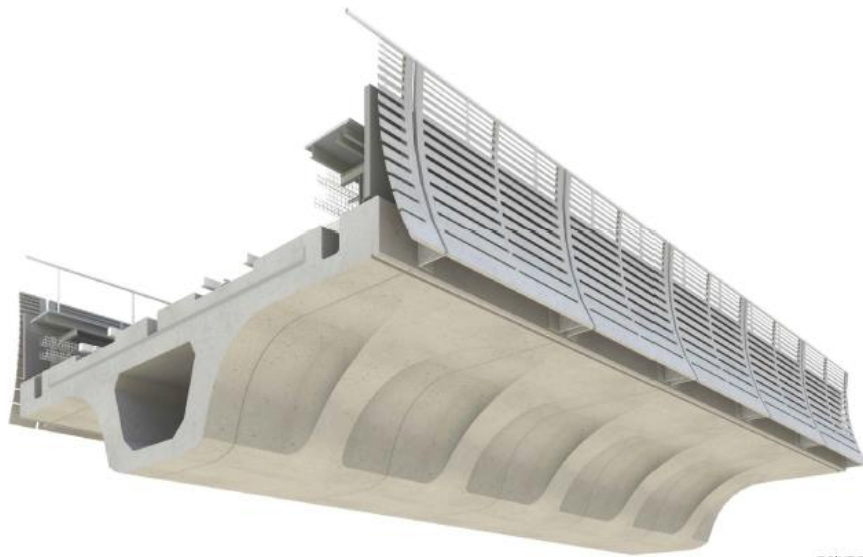
Sur piles : majoritairement 600*600 ; 4 (16+5) ; 2*8

Assainissement

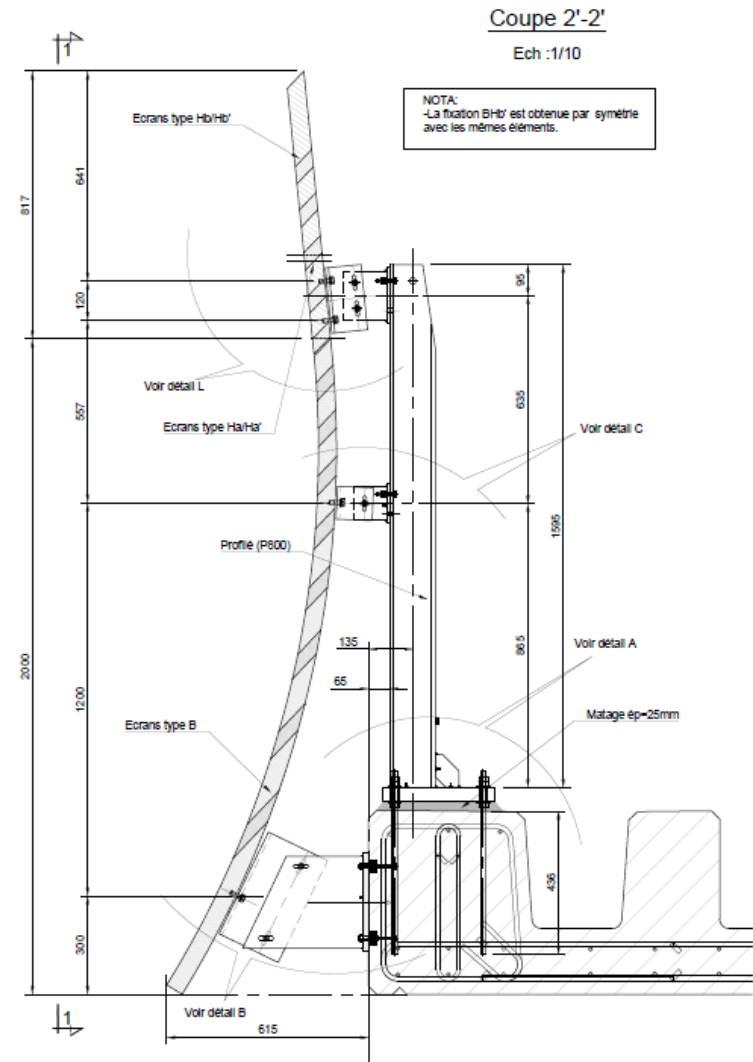
[illegible]

Équipements principaux

Écrans bfup (corniche architecturale)

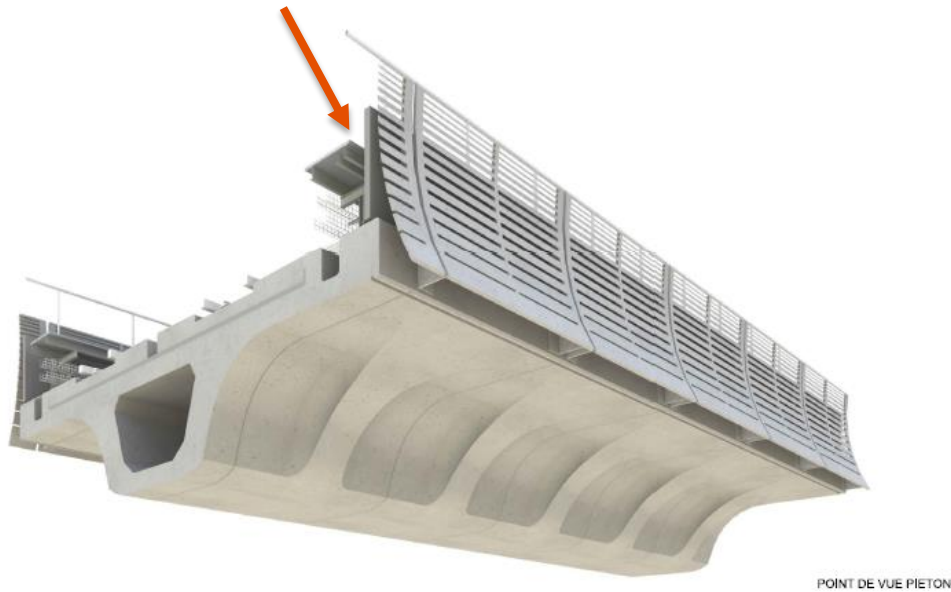


POINT DE VUE PIETON



Équipements principaux

Écrans acoustiques





Conclusion

Conclusion

Travail collectif MOA/MOE/Architecte

Ouvrage urbain = complexe

Ouvrage urbain économique (/ souterrain) et de qualité architecturale

Interaction voie/OA doit être anticipée dès les études amont