

Journée Technique commune AFTES – CFGI – CFMS

Chantiers linéaires souterrains en site urbain

Ligne b du métro automatique de Rennes Métropole
Adaptations du projet aux spécificités géotechniques

Paris (CNAM), 26 mars 2015

Guy MALBRANCKE

Jacques ROBERT

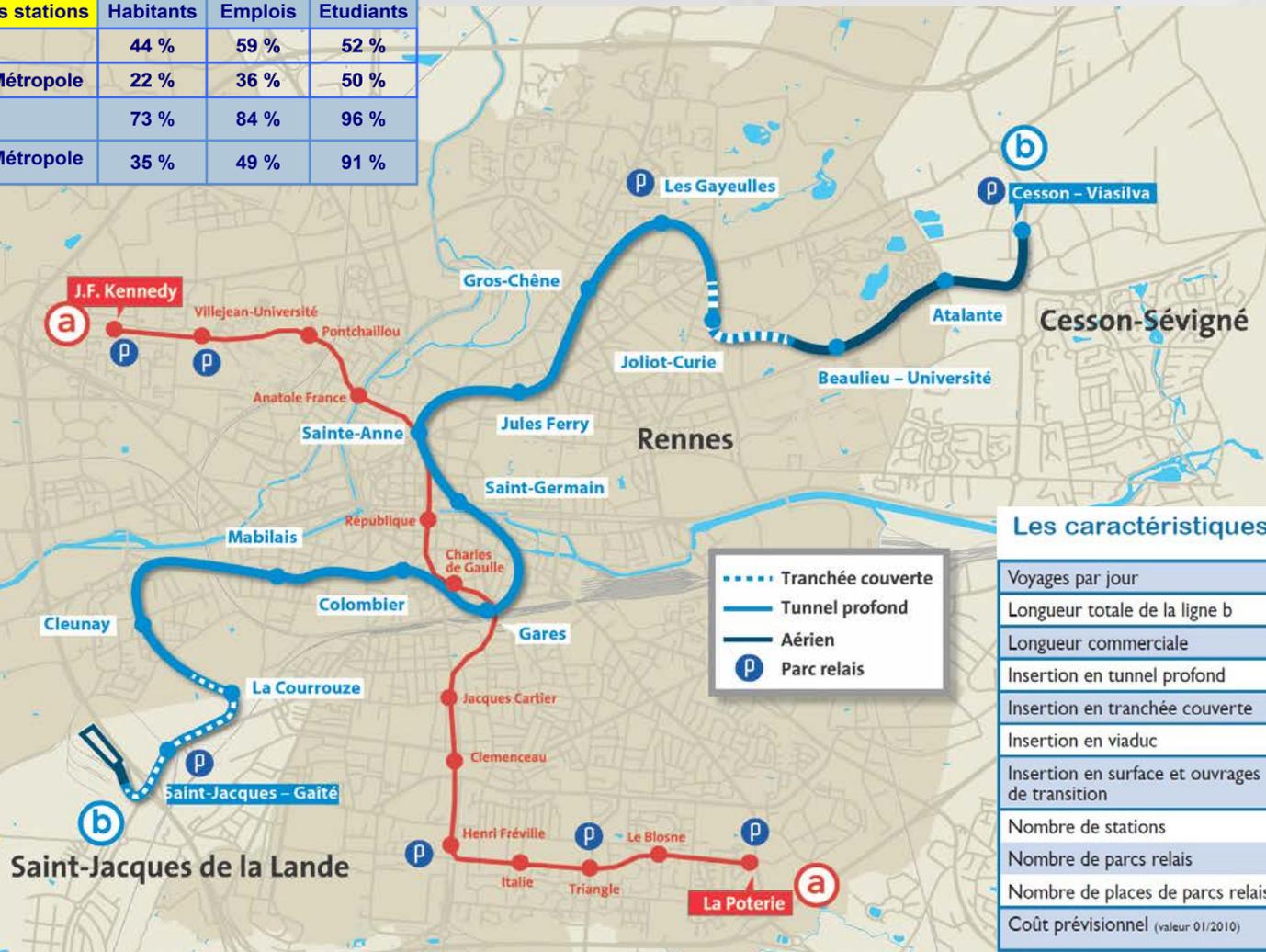


Sommaire

- Le tracé de la nouvelle ligne
- Les chiffres-clés
- Les acteurs
- Les investigations géotechniques
- Le retour d'expérience de la ligne a
- Une conception nouvelle
- La vulnérabilité des ouvrages
- Le partage des risques

Le Tracé de la nouvelle ligne

Desserte à 600 mètres des stations		Habitants	Emplois	Etudiants
Ligne b	Rennes	44 %	59 %	52 %
	Rennes Métropole	22 %	36 %	50 %
Lignes a + b	Rennes	73 %	84 %	96 %
	Rennes Métropole	35 %	49 %	91 %



Les caractéristiques de la ligne b

Voyages par jour	113 000
Longueur totale de la ligne b	14 km
Longueur commerciale	13 km
Insertion en tunnel profond	8,1 km
Insertion en tranchée couverte	2,2 km
Insertion en viaduc	2,4 km
Insertion en surface et ouvrages de transition	0,3 km
Nombre de stations	15
Nombre de parcs relais	3
Nombre de places de parcs relais	2 000
Coût prévisionnel (valeur 01/2010)	1194 M€ HT

Les chiffres-clés

- Des travaux entre octobre 2013 et décembre 2019
- **14 km** de ligne nouvelle dont 8,1km en tunnel foré au tunnelier
- Un coût prévisionnel travaux de **1 194 M€HT (dont 760 M€ pour les infrastructures)**

Les Acteurs de la Maîtrise d'Ouvrage



Maître d'Ouvrage



**Mandataire de
Rennes Métropole**



- Missions normalisées :
 - Avoisinants
 - Tenue au feu
 - Solidités
 -



- OQA : relation avec le STPG
(sécurité des transports publics
guidés)



- Coordonnateur SPS

Les Acteurs de la Maîtrise d'œuvre



Domaines d'intervention : tunnel , génie civil des stations des puits, du viaduc et des Équipements NLS



Domaine d'intervention :
Tranchées couvertes , GC
des stations



Domaine d'intervention :
DET des stations aériennes &
SOA / SOE des stations



Architecte du Garage-
Atelier (Dépôt)

Les acteurs : Entreprises du lot 1 (Tunnel foré au tunnelier, stations et puits associés)

Sous-groupe
"Génie Civil"

Tunnel, stations et puits

Sous-groupe
"Fondations Spéciales"

Parois moulées et fondations spéciales



spie batignolles

/ Spie fondations

spie batignolles

/ Spie batignolles TPCI



**BOTTE
FONDATIONS**

Les acteurs : Entreprises du lot 2 (tranchée couverte Sud, stations et puits associés) et du lot 3 (tranchée couverte Nord, station et puits associés)

Lot 2

Tranchée couverte Sud, stations et puits



Lot 3

Tranchée couverte Nord, stations et puits

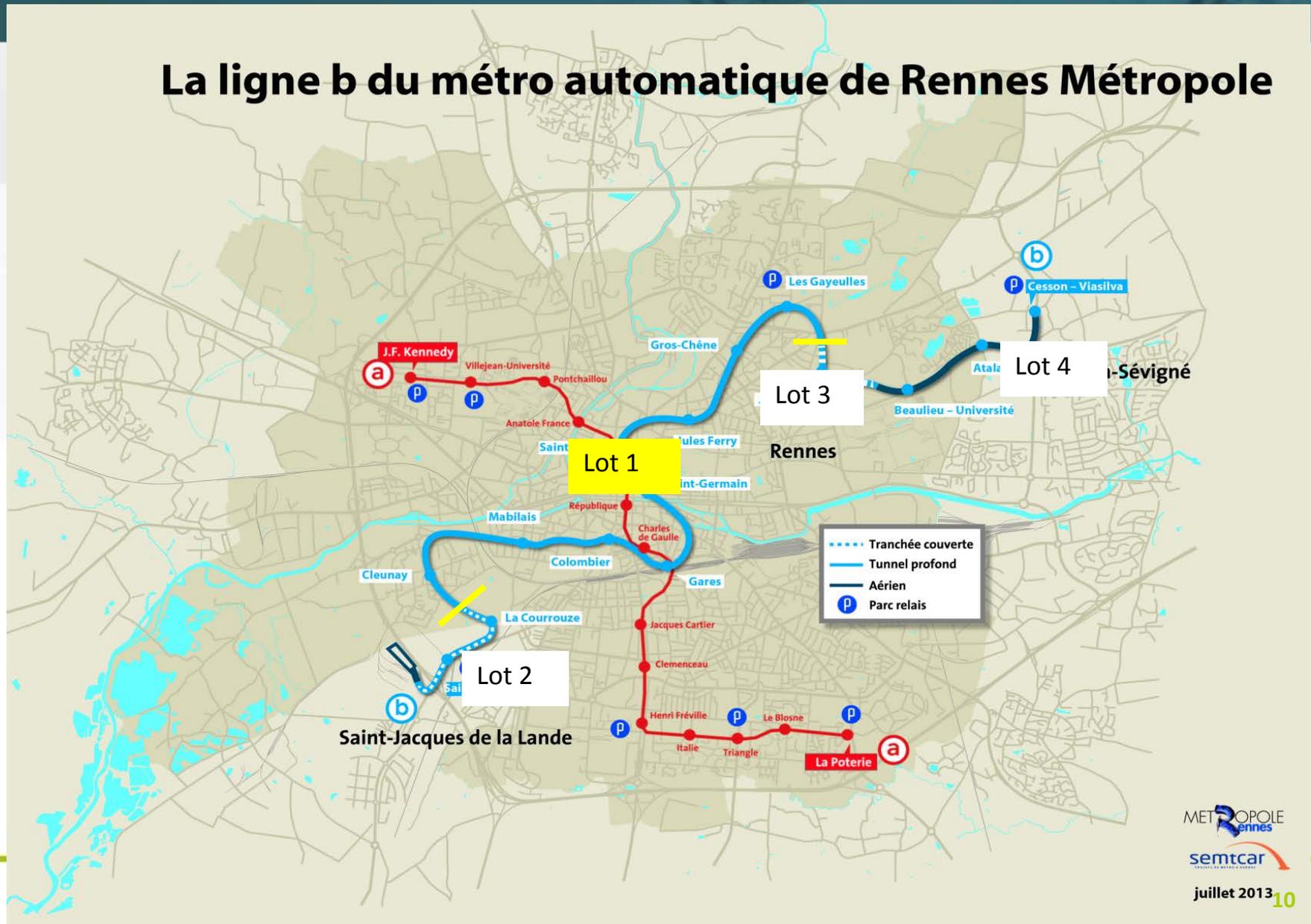


Le Tracé de la nouvelle ligne

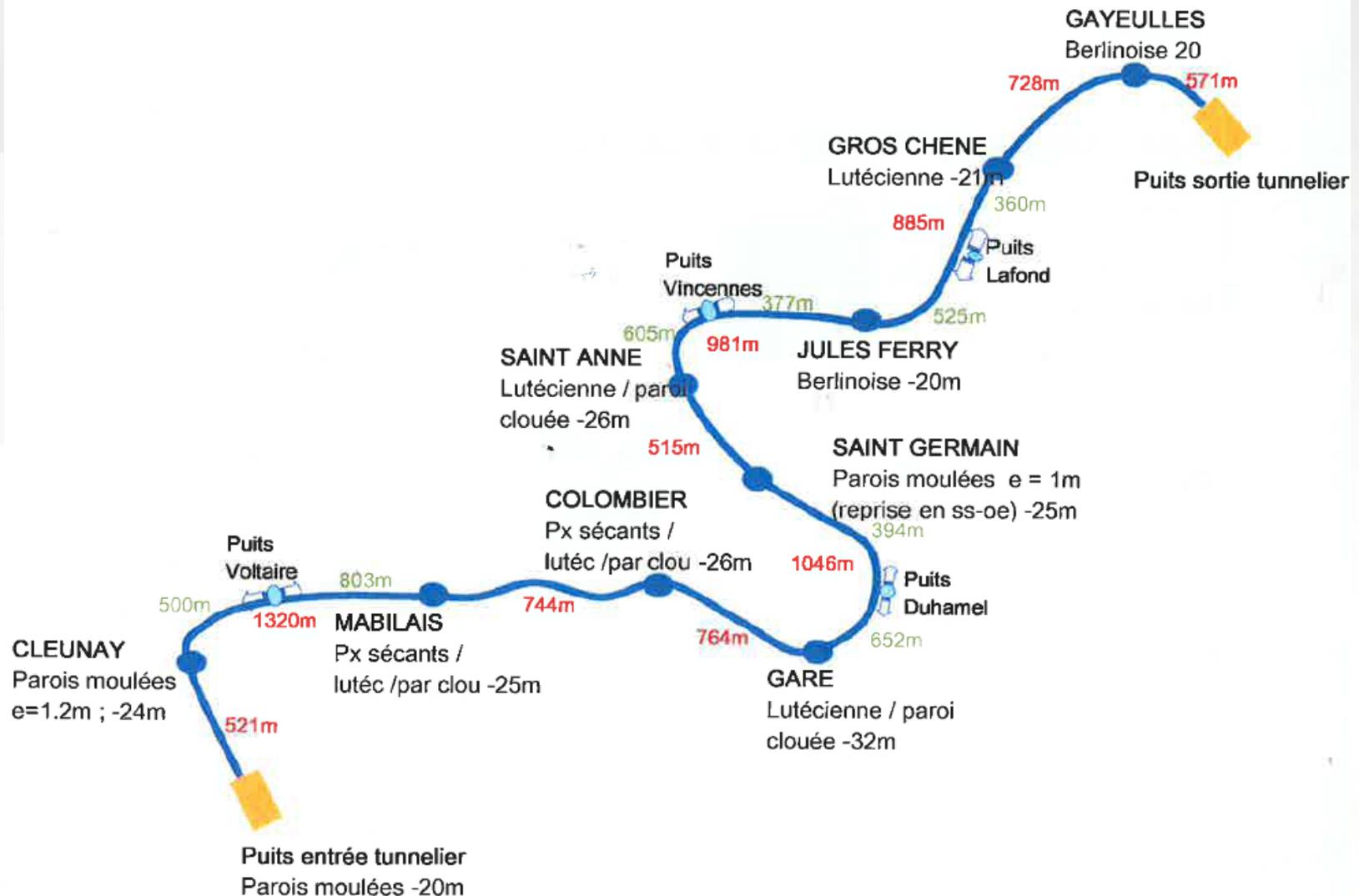
- ▶ Etudes de plusieurs tracés pour s'adapter au mieux :
 - ▶ aux pôles à desservir, aux emplacements pour un et pour deux tunneliers, aux emplacements potentiels pour un garage-atelier...
 - ▶ aux insertions dans le tissu urbain (tunnel profond, tranchée couverte, viaduc), au croisement des deux lignes,
 - ▶ aux élus de quartier,
 - ▶ aux dimensions du matériel roulant potentiel selon le trafic, aux pentes franchissables par le matériel roulant,
 - ▶ aux avoisinants (fondations, sensibilité au tassement),
 - ▶ aux coûts des insertions,
 - ▶ aux pressions des riverains,
 - ▶ aux contraintes géotechniques...

Relation entre allotissement des marchés de GC et tracé de la ligne b

La ligne b du métro automatique de Rennes Métropole



Le Tracé de la partie en souterrain profond



Données morphologiques

- ▶ Rennes à la confluence de la Vilaine et de l'Ille
- ▶ Versant Ouest du plateau du Pigeon Blanc
St Jacques – Gaîté à Cleunay
- ▶ Plaine alluviale de la Vilaine
Cleunay à St Germain
- ▶ Butte du Vieux Rennes
St Germain à Ste Anne
- ▶ Plateau et butte de Coësmes
Ste Anne à Cesson-Sévigné

Données géomorphologiques

- ▶ Failles profondes orientées WNW – ESE
direction armoricaine, cours de la Vilaine
- ▶ Famille de fracturations NE – SW
cours de l'Ille
- ▶ Famille de fracturations N – S
- ▶ Famille de fracturations NNW – SSE

Données géologiques

- ▶ Remblais sur 2 à 5 m
- ▶ Limons de recouvrement
dans 20% des sondages
- ▶ Alluvions et colluvions
faciès grossier plus fréquent (fonds de vallées, terrasses)
- ▶ Substratum : schistes briovériens
terrains meubles (altérites) à roches (schistes et grès) recoupées par granodiorites intrusives et filonets de quartz

Données hydrogéologiques

- ▶ Nappes perchées
R, Alluvions des terrasses
- ▶ Nappes alluviales
vallées de la Vilaine et de l'Ille, écoulement selon leur axe
- ▶ Nappes du socle rocheux
écoulement des crêtes vers les vallées
- ▶ Pour les calculs, définition des :
 - EH (retour 50 ans)
 - EB (quasi-permanent)
 - EE (retour 100 ans)









Des investigations géotechniques progressives

- ▶ Mission G1 (04/2008 à 06/2009) : 163 sondages (interdistance 83 m)
- ▶ Mission G2 (04/2010 à 11/2012) : 179 sondages (interdistance 40 m)
- ▶ Une exploitation des investigations conforme aux recommandations de l'AFTES et du fascicule 69 :
 - Cahier A : Données brutes issues des sondages et essais
 - Cahier B : Mémoire de synthèse géotechnique
 - Cahier C : Mémoire de conception du maître d'œuvre.
- ▶ Des investigations supplémentaires rémunérées par le maître d'ouvrage, laissées à l'initiative de l'entreprise
 - à ce jour, 107 sondages réalisés

Données géotechniques générales du substratum rocheux

► Lithologie

Sud-ouest : 97% schiste, 3% grès

Intermédiaire : 79% schiste, 20% grès, 1% granodiorite

Nord-est : 53% schiste, 29% grès, 18% granodiorite

► Schistosité

orientation N80 à N120, pendage 10° à 90° mais 65% entre 60° et 90°

► Fracturation

ID 1 (>200cm), 2 (60 à 200), 3 (20 à 60), 4 (6 à 20), 5 (<6cm)

► Altération

AM 1 (faib altéré), 2 (lég alt), 3 (mod alt), 4 (très alt), 5 (compl alt),
6 (décomposé)

► Résistance

ISRM R5 (100 à 250), R4 (50 à 100), R3 (25 à 50), R2 (5 à 25)
essais en laboratoire (compression simple, CERCHAR)

Données géotechniques générales du substratum rocheux

- ▶ Dureté : 60 = 120 à 160 MPa, 50 = 110 à 150 MPa, 40 = 100 à 140 MPa
- ▶ Abrasivité : 2 à 4 = très abrasif, 1 à 2 = abrasif, 0.5 à 1 = peu abrasif

Formation	ID	AM	ISRM	Dureté	Abrasivité
BRD		4 à 5		0.5 à 40	0.1 à 1.4
BRC	5	1 à 3	R3 à R4	1 à 40	0.1 à 3.3
BRB	3 à 4	1 à 3	R3 à R4	1 à 60	0.1 à 2.4
BRA	1 à 2	1 à 3	R4	5 à 50	0.1 à 0.9

Caractéristiques géotechniques pour les soutènements

formation	γ_h (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	c' (kN/m ³)	ϕ' (°)	E_M (MPa)	α
Terre végétale	19.5	10.5	0	20	3	1/2
Remblais	19.5	10.5	0	30	3	1/2
Alluvions	19.5	11	0	30	7	1/3
altérites	20	10	10	30	10	2/3
BRD	21.5	11.5	15	32	20	2/3
GD	20	10	10	35	50	2/3

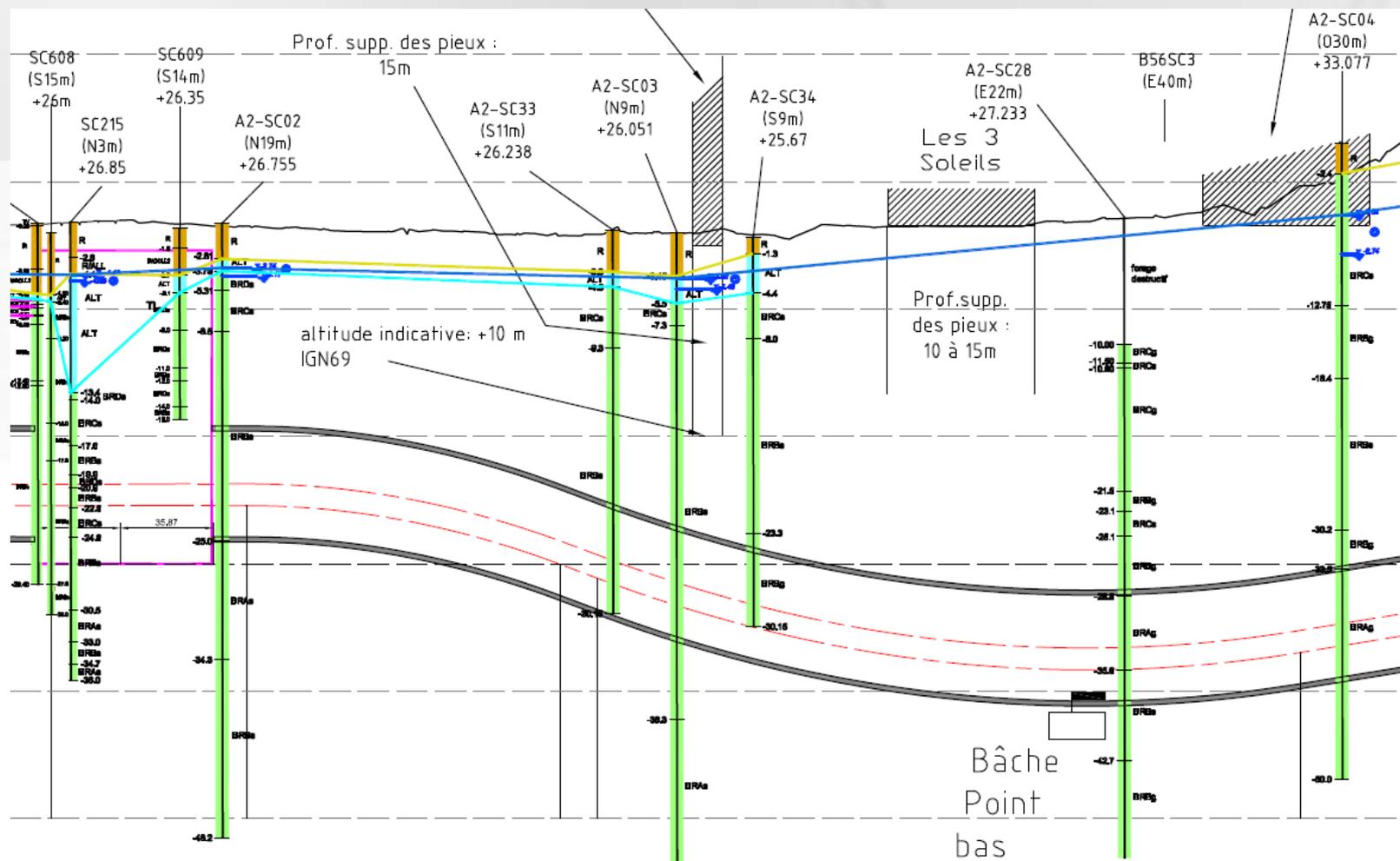
Caractéristiques géotechniques pour le tunnel

formation	γ_h (kN/m ³)	c (kN/m ³)	ϕ (°)	E_0 (MPa)	K_0
Altérites	20	25*	25*	80 à 100	0.6
GD	20	30	30	120 à 150	0.6 - 1
BRD	21.5	30	30	120 à 150	0.6 - 1
BRC	23	60	35	200 à 400	0.5 - 1
BRB	24	100	35	500 à 700	0.5 - 1
BRA	25	140	40	800 à 1000	0.5 - 1

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 (confinement, surexcavation)
- ▶ Pour le tunnel, un tunnelier à fort couple pour travailler en chambre pleine
- ▶ Une auscultation continue et automatisée (soutènements, tunnelier, avoisinants)

Tracé en chaînette : exemple : stations Mabilais/Gares



Mission : Caves & fondations + Vulnérabilité

- Des enquêtes caves et fondations établies sur l'ensemble du tracé et sur la zone d'influence géotechnique, pour définir la sensibilité des avoisinants
- Une analyse de leur vulnérabilité, tenant compte de la position du tunnel, des stations et des ouvrages annexes
- Une cartographie des zones sensibles.

Le Management des Risques

Le PMRi s'applique durant les phases de conception et de réalisation, 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 la Semtcar)
- Niveau 2 : Maîtrise d'œuvre 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 Etudes

- 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

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

Répartition financière des risques

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 prédéfinies dans le détail

En phase Travaux

- Les risques résiduels ont été classés selon 3 types :
 - Le type 1 : risque pris en charge par l'entreprise
 - Le type 2 : risque partagé entre l'entreprise et le maître d'ouvrage, les mesures correctives étant réglées sur la base du BPU
 - Le type 3 : risque restant à la charge du maître d'ouvrage par règlement spécifique en cours ou en fin de travaux

En phase Travaux

- Bonus / malus sur la base du DE marché, en fonction de la rémunération finale (RF) des prestations liées à la survenance d'évènements correspondant aux risques de type 2 :
 - Si $RF < DE$, bonus représentant un pourcentage de $DE - RF$
 - Si $RF > DE$, malus représentant un pourcentage de $RF - DE$
- Prix nouveaux pour la rémunération des prestations liées à la survenance d'évènements correspondant au risque de type 3, à partir de la DPGF, du BPU, des sous-détails de prix

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 (FDP) et des Fiches de Nouveau Risque Identifié (FNRI)

Les techniques de constructions

➤ **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

➤ **Blindage traditionnel**

- Le puits Duhamel
- Le puits Vincennes
- Le puits Lafond

➤ **La paroi berlinoise**

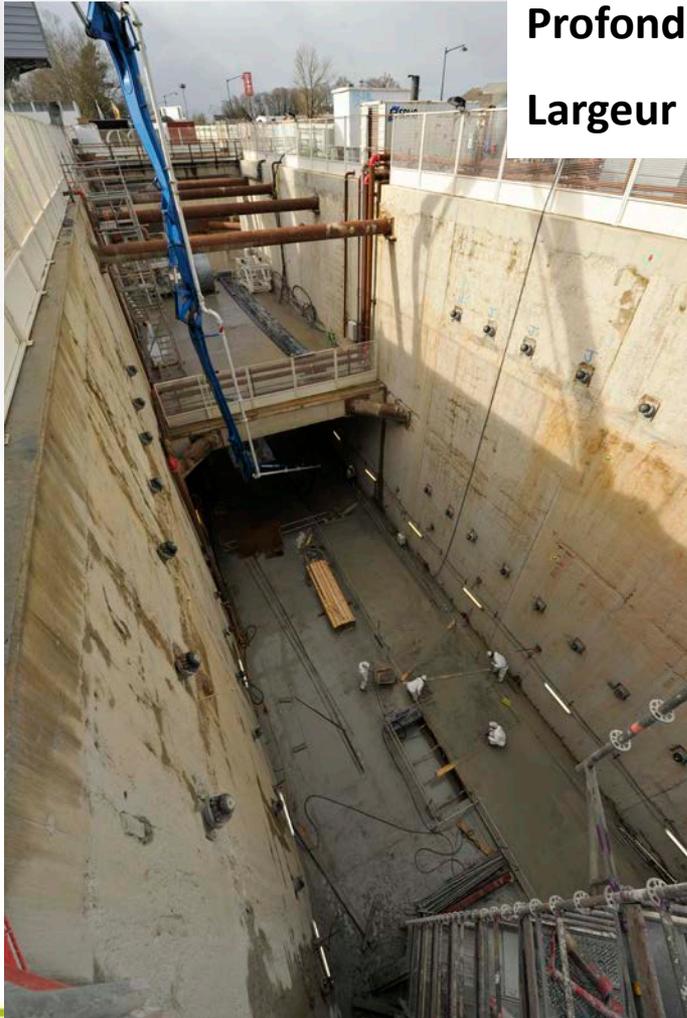
- La station Sainte-Anne
- La station Jules Ferry
- La station Les Gayeulles

Puits d'introduction du tunnelier et tranchée couverte

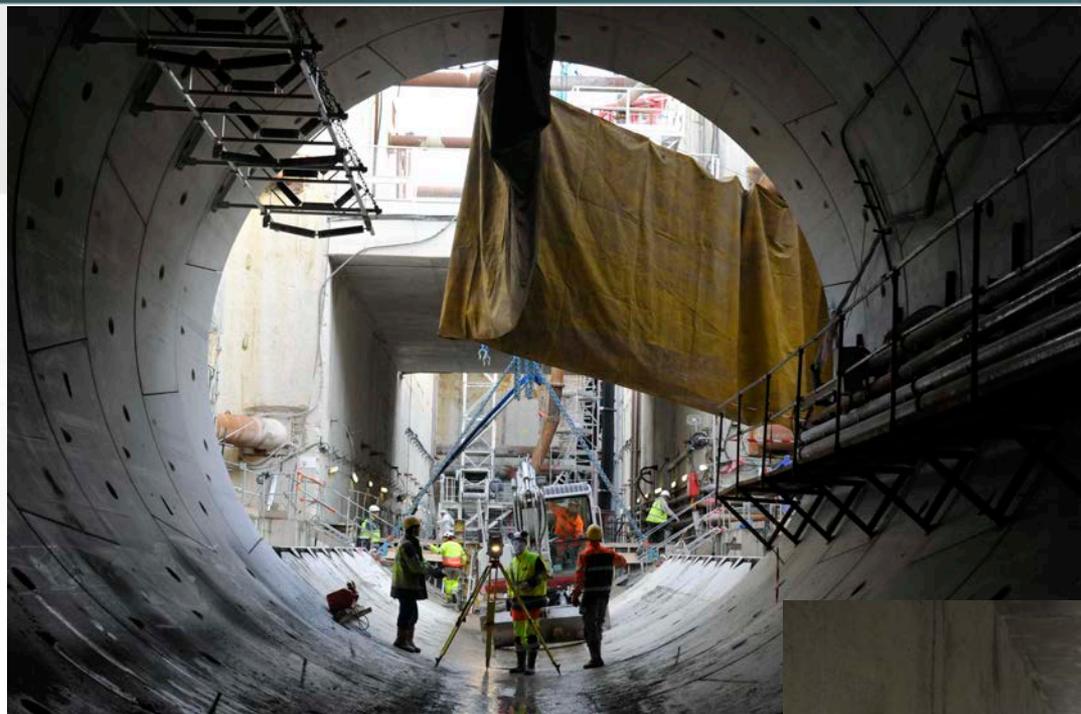
Longueur : 75 m

Profondeur : 20 m

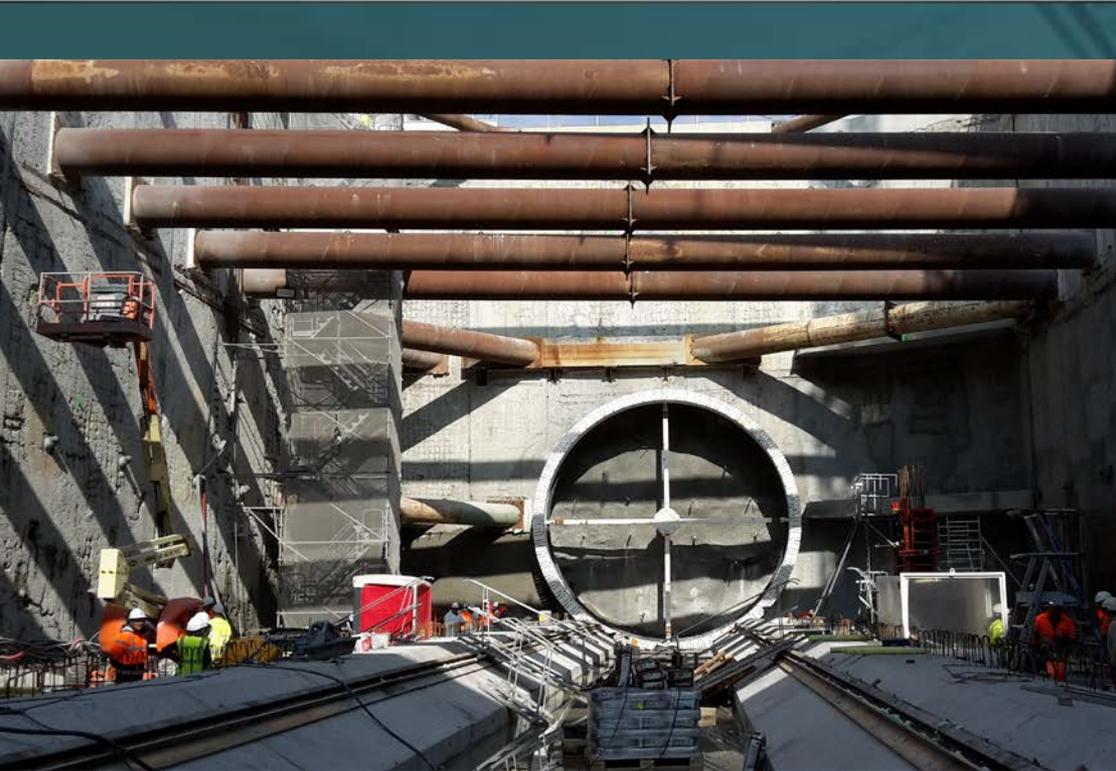
Largeur : 10 m / 20 m



Puits d'introduction du tunnelier et tranchée couverte



La station Cleunay



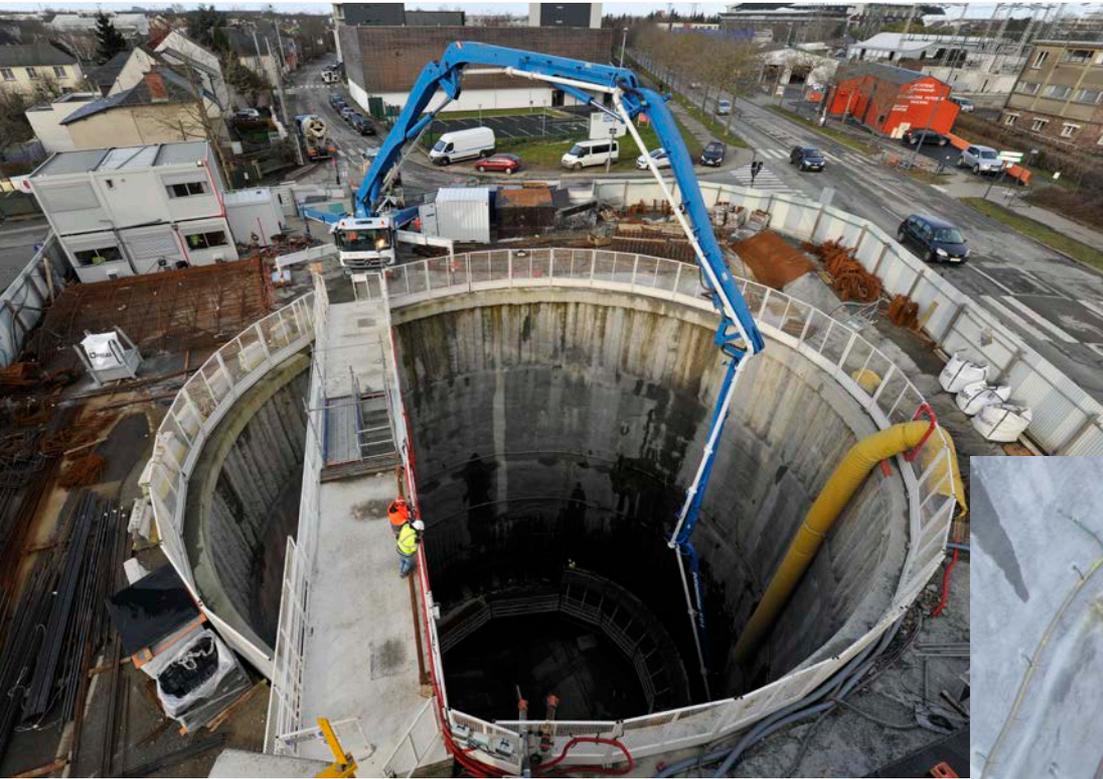
Longueur : 60 m

Profondeur : 27 m

Largeur : 25 m/35m



Le puits Voltaire



Diamètre : 18 m

Profondeur : 25 m

La station Mabilais



Longueur : 49 m

Profondeur : 26 m

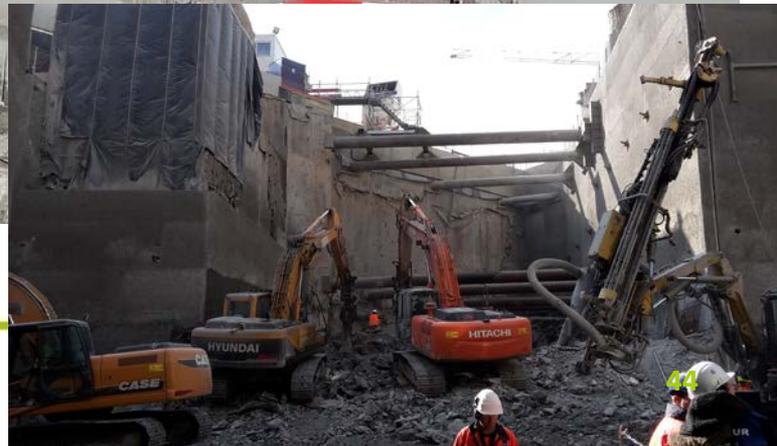
Largeur : 26 m/35m



La station COLOMBIER



La station SAINTE ANNE



Merci de votre attention

