

AVANT PROJET **MODIFICATIF** DU MAÎTRE D'OUVRAGE

Ligne 18
Versailles-Chantiers – Aéroport d'Orly

Livret 3

Sections souterraine et aérienne
Centre d'Exploitation

Grand Paris Express
Réseau de transport public du Grand Paris

Mars 2022



Cofinancé par l'Union européenne

Le mécanisme pour l'interconnexion en Europe

AVANT-PROJET **MODIFICATIF** DU MAITRE D'OUVRAGE LIGNE 18

SOMMAIRE GÉNÉRAL

Livret 1

1. Historique et caractéristiques principales du projet
 - 1.1. Le Grand Paris Express
 - 1.2. Le nouveau Grand Paris
 - 1.3. Le tronçon de la ligne 18
 - 1.4. Les étapes franchies et à venir
 - 1.5. **AVP modificatif 2022 – Modifications apportées dans le cadre de l'Avant-Projet Modificatif**
 - 1.6. **AVP modificatif 2022 – Demandes et réserves formulées par IDFM sur AVP en Octobre 2020**
 - 1.7. **AVP modificatif 2022 – Demandes et réserves formulées par RATP-I sur AVP en Octobre 2020**
2. Diagnostic transport des territoires concernés
3. Définition du projet de la ligne 18
 - 3.1. Les objectifs du projet
 - 3.2. La concertation continue

Livret 2

4. Description du projet
 - 4.1. Gares

Livret 3

- 4.2. Ouvrages souterrains et ouvrages annexes
- 4.3. Section aérienne
- 4.4. **AVP modificatif 2022 - Section ouest mise au sol**
- 4.5. Centre d'exploitation de Palaiseau

Livret 4

5. Description des systèmes
6. Exploitation et maintenance

- 6.1. Exploitation
- 6.2. Maintenance

Livret 5

7. Gestion environnementale du projet
 - 7.1. Contexte réglementaire : autorisation environnementale
 - 7.2. Principes directeurs de prise en compte de l'environnement
 - 7.3. Enjeux environnementaux, impacts et mesures associées
8. Management et calendrier du projet
 - 8.1. Organisation
 - 8.2. Planification
9. Economie du projet
 - 9.1. Coût de réalisation
 - 9.2. Coûts de fonctionnement de la ligne 18
 - 9.3. Coûts du matériel roulant
 - 9.4. Acquisitions foncières
 - 9.5. Gestion des risques
10. Opérations liées
 - 10.1. Intermodalité
 - 10.2. Interconnexions ferroviaires
 - 10.3. Projets immobiliers connexes
11. Principes de financement
12. Evaluation de l'intérêt socio-économique
 - 12.1. Coûts du projet
 - 12.2. Bilan quantitatif des effets socio-éco
 - 12.3. Conclusion
 - 12.4. **AVP modificatif 2022 - Mise à jour de l'évaluation socio-économique**

Sommaire

4.2. Ouvrages souterrains et ouvrages annexes.....	5		
4.2.1. Référentiel de conception des ouvrages.....	5		
4.2.2. Programme fonctionnel.....	5		
4.2.3. Conception du tracé de la ligne 18.....	6		
4.2.4. Étanchéité.....	7		
4.2.5. Caractéristiques des tunnels au tunnelier.....	8		
4.2.6. Description générale.....	9		
4.2.7. Contexte géologique et hydrologique.....	10		
4.2.8. Profil en long.....	12		
4.2.9. Conception du tracé et du tunnel.....	12		
4.2.10. Description détaillée.....	15		
4.2.10.1. Partie Est.....	15		
4.2.10.2. Partie Ouest.....	19		
4.2.10.3. Méthodes de construction des tunnels, et des puits de sortie.....	24		
4.2.11. Présentation générale des ouvrages annexes.....	25		
4.2.12. Définition.....	25		
4.2.13. Repérage et synoptique des ouvrages annexes.....	30		
4.2.14. Description des ouvrages annexes.....	32		
4.3. Section aérienne.....	35		
4.3.1. Avant-Projet modifié Février 2022 – Rappel des modifications.....	35		
4.3.2. Programme fonctionnel.....	35		
4.3.2.1. Principales caractéristiques du système de transport de la L18.....	35		
4.3.2.2. Principes structurels et architecturaux.....	35		
4.3.2.3. Caractéristiques géométriques du viaduc.....	35		
4.3.2.4. Réaménagement des espaces au droit de l'infrastructure.....	36		
4.3.2.5. Réseaux.....	36		
4.3.3. Caractéristiques génériques des sections circulées en viaduc.....	37		
4.3.3.1. Description du concept structurel du viaduc en section courante.....	37		
4.3.3.2. Piles.....	37		
4.3.3.3. Fondations courantes.....	38		
4.3.3.4. Fondations compactes.....	38		
4.3.3.5. Normes appliquées.....	39		
4.3.3.6. Intention architecturale.....	39		
4.3.3.7. Assainissement/Etanchéité.....	40		
4.3.3.8. Accès maintenance/exploitation.....	40		
4.3.3.9. Accès de secours.....	41		
4.3.3.10. Cheminement sur le viaduc.....	41		
4.3.4. Description des zones traversées en section aérienne.....	41		
4.3.4.1. Description générale.....	41		
4.3.4.2. Contexte topographique, géologique, hydrologique.....	42		
4.3.4.3. Gabarit sous viaduc.....	42		
4.3.4.4. Hauteur des gares aériennes.....	42		
4.3.5. Conception du tracé et du viaduc.....	42		
4.3.5.1. Insertion du tracé et franchissements singuliers.....	42		
4.3.5.2. Conception de la section aérienne.....	43		
4.3.5.3. La sous-face.....	43		
4.3.5.4. Les rives.....	43		
4.3.5.5. Les piles.....	43		
4.3.5.6. Sécurité du viaduc.....	43		
4.3.5.7. Impacts acoustiques.....	44		
4.3.5.8. Impacts vibratoires.....	44		
4.3.5.9. Impacts électromagnétiques.....	45		
4.3.6. Description détaillée.....	45		
4.3.6.1. Tronçon : OA 14 / Gare Camille Claudel (PK 7011+975).....	45		
4.3.6.2. Tronçon : Gare Camille Claudel / Gare Palaiseau (PK 7013+728.4).....	46		
4.3.6.3. Tronçon : Gare Palaiseau / Gare Orsay-Gif (PK 7015+942.7).....	48		
4.3.6.4. Tronçon : Gare Orsay-Gif / Gare CEA St-Aubin (PK 7018+337,4).....	50		
4.3.6.5. Tronçon : Arrière Gare CEA St-Aubin / OA 15.....	54		
4.3.6.6. Franchissements singuliers.....	54		
4.3.7. Méthodes de construction du viaduc.....	54		
4.3.7.1. Les fondations.....	54		
4.3.7.2. Les piles.....	54		
4.3.7.3. Le tablier.....	55		

4.3.7.4. Aire de préfabrication des voussoirs.....	55	4.4.5.6. Gestion des eaux pluviales RD838.....	69
4.3.7.5. Transport des voussoirs.....	55	4.4.5.7. RD36 déviée.....	69
4.3.7.6. Mise en place des voussoirs.....	55	4.4.5.8. Tracé en plan et profil en long.....	70
4.3.7.7. Réalisation du viaduc en zone courante.....	56	4.4.5.9. Emprises et terrassements.....	71
4.3.7.8. Cas particulier du franchissement de la RN118.....	56	4.4.5.10. Dispositifs de retenus.....	72
4.3.8. Zones de transition.....	57	4.4.6. Accès maintenance et locaux techniques.....	73
4.3.8.1. Principes de conception des zones de transition.....	57	4.4.7. Spécificités sur la ligne.....	74
4.3.8.2. Contexte géotechnique et hydrologique.....	57	4.4.7.1. Passage de la RD838.....	74
4.3.8.3. Les rampes.....	58	4.4.7.2. Chemin de randonnée.....	74
4.3.8.4. Tranchées couvertes.....	58	4.4.7.3. Porte de Mérantais.....	75
4.3.8.5. Tranchées ouvertes.....	59	4.4.7.4. Passage faune.....	75
4.3.8.6. Passage au sol.....	60	4.4.7.5. Autres sujets étudiés.....	75
4.3.8.7. Avant-Projet modifié Février 2022 – Passage au sol Ouest.....	60	4.5. Centre d'exploitation de Palaiseau.....	76
4.3.8.8. Etanchéité.....	61	4.5.1. Présentation générale.....	76
4.3.8.9. Sécurité des zones de transition.....	61	4.5.1.1. Localisation et contexte urbain.....	76
4.3.8.10. Principes généraux d'insertion architecturale et paysagère.....	61	4.5.1.2. Programme général et Organisation du site.....	76
4.3.8.11. Méthodes de construction des ouvrages.....	62	4.5.1.3. Raccordement ferroviaire du CE.....	77
4.3.8.12. Zone de transition Est « Camille Claudel ».....	62	4.5.1.4. Intégration architecturale et paysagère.....	78
4.4. Avant-Projet modifié 2022 – Section Ouest mise au sol.....	65	4.5.2. Le Site de Maintenance des Infrastructures (SMI).....	80
4.4.1. Préambule.....	65	4.5.2.1. Fonctionnalités du SMI.....	80
4.4.2. Présentation générale de la mise au sol Ouest.....	65	4.5.2.2. Description des aménagements du SMI.....	80
4.4.3. Contraintes techniques.....	66	4.5.3. Le Site de Maintenance et de Remisage (SMR).....	83
4.4.4. Sécurité et sûreté de la mise au sol.....	66	4.5.3.1. Fonctionnalités du SMR.....	83
4.4.4.1. Principes retenus.....	66	4.5.3.2. Description des aménagements du SMR.....	84
4.4.4.2. Gestion de l'anti-intrusion.....	67	4.5.4. Le Poste de Commande Centralisé et la Direction de Ligne (PCC).....	87
4.4.4.3. Les clôtures.....	67	4.5.4.1. Fonctionnalités du PCC.....	87
4.4.4.4. Système anti-intrusion.....	68	4.5.4.2. Description du bâtiment accueillant le PCC et la Direction de la ligne.....	88
4.4.4.5. Dispositifs de protection vis-à-vis de la chute d'objets.....	68		
4.4.5. Hypothèses d'étude.....	68		
4.4.5.1. Rappel des hypothèses d'étude.....	68		
4.4.5.2. Passage inférieur à Châteaufort.....	68		
4.4.5.3. LProfil en travers.....	68		
4.4.5.4. Abandon du TCSP.....	69		
4.4.5.5. Dispositifs de retenu.....	69		

LEGENDE : Texte en orange : AVP modificatif 2022

4.2. Ouvrages souterrains et ouvrages annexes

4.2.1. Référentiel de conception des ouvrages

4.2.2. Programme fonctionnel

Le document « Spécification des Exigences Systèmes » décrit les besoins fonctionnels et les choix de construction retenus pour chaque groupe d'ouvrage du système de transport de la ligne 18 (gares, tunnel, ouvrages annexes, ...). Ce document est localisable en jaune dans le synoptique de la Figure 1.

Au sein du document, les besoins fonctionnels et les choix de construction sont exprimés sous forme d'exigences allouées aux **Systemes Ligne** et aux **Systemes locaux**.

Ce document est établi :

- d'une part, sur la base du « Programme fonctionnel préliminaire des systèmes de la ligne verte », Version 0.4 du 13 mai 2015.
- d'autre part, à partir de l'analyse des documents des EPA et des commentaires y afférant.

Les documents de référence produits par la Maîtrise d'œuvre Systèmes sont détaillés dans le Référentiel de Conception Systèmes Ligne 18.

Ce document contient :

- Le Référentiel Technique applicable à l'ensemble de la Ligne 18 et produit par l'AMO ;
- Les documents spécifiques élaborés en avant-projet de la Ligne 18.

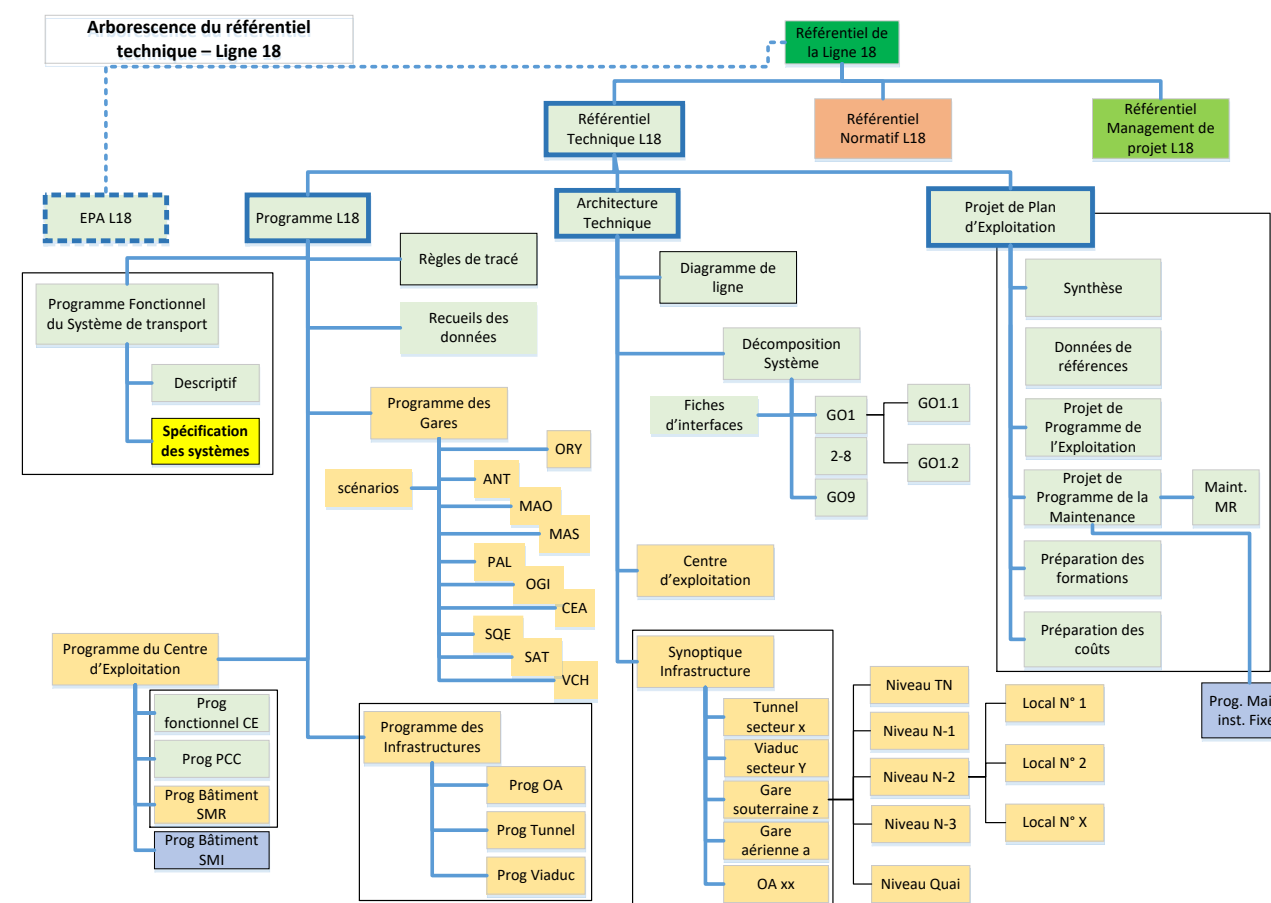


Figure 1 : Synoptique du référentiel technique de la ligne 18

Les productions du Maître d'Œuvre Systèmes sont les dossiers techniques issus de la phase avant-projet de la ligne 18 (AVP SYS1 et AVP SYS2) comprenant notamment les éléments suivants :

- Les spécifications techniques d'interface,
- Fiches d'interface (FI),
- Les Fiches de Locaux Techniques (FLT),
- Coupes fonctionnelles tunnel,
- Schéma unifilaire HT/BT,
- Ventilation tunnel,
- Schémas unifilaires et plans d'implantation des Postes de redressement (PR) / Postes de sous-sectionnement (PSS),
- Dossiers techniques par Groupe d'Ouvrage (GO).

Sur la base des évaluations infra et systèmes réalisés au cours de la phase d'avant-projet, de décisions partagées lors des comités tripartites entre la SGP, le STIF et la RATP-GI ou lors des comités techniques d'exploitation, des échanges lors des comités techniques de sécurité civile, la Société du Grand Paris a procédé à des arbitrages sur les décisions de conception nécessaires à la production des études infra et systèmes cohérentes, et, le cas échéant, permettant d'optimiser le coût global de possession du système (coûts d'investissement et de fonctionnement).

A titre d'exemple, la décision du maître d'ouvrage de reconduire à la ligne 18 l'application des hypothèses de conception de la ventilation/désenfumage de la ligne 15 permet de réduire significativement les coûts de construction et maintenance.

4.2.3. Conception du tracé de la ligne 18

• Matériel roulant

Caractéristiques principales		
Roulement		Fer
Conduite		Automatique
Vitesse maximum technique		110 km/h
Vitesse de circulation (voie principale VP)		100 km/h
Vitesse de circulation (voie de manœuvre VM)		15 km/h
Vitesse de circulation (voie secondaire VS)		30 km/h
Accélération et décélération de service		0,9 m/s ²
Longueur des trains (courts/longs)		45 / 60 m
Longueur des voitures		15 m
Largeur des voitures		2.50 m

Figure 2 : Tableau : Caractéristiques du matériel roulant de la ligne 18

• Contraintes sur le tracé

Paramètres de confort

	Valeur nominale	Valeur exceptionnelle
Accélération transversale non compensée maximale	0.883 m/s ²	non admise
Insuffisance de devers I maximale	135 mm	Non admise
Dévers maximum (en mm) d	160 mm	Non admise
Variation du devers maximale en fonction du temps	50 mm/s	60 mm/s
Pente de raccordement maximale p	180/V limité à 2,25 mm/m	216/V limité à 3 mm/m
Jerk maximal	0.4 m/s ³	0.6 m/s ³
Variation maximale de l'insuffisance de devers en fonction du temps	≤ 60 mm/s	≤75 mm/s
Accélération verticale maximale	0.20 m/s ²	0.40 m/s ²

Figure 3 : Tableau : Principales caractéristiques de conception du tracé pour le confort du voyageur de la ligne 18

Tracé en plan

	Valeur nominale	Valeur exceptionnelle
Rayon minimal en VP	485 m	300 m (250 m sur viaduc)
Rayon minimal en VM	300 m (250 m sur viaduc)	150m
Rayon minimal pour les autres voies	90 m	Non admis
Voies en gare	En alignement	Non admis
Zone d'alignement de chaque côté de la gare	15 m (gare aérienne)	Non admis
	20 m (gare souterraine)	
Longueur minimale développement courbe rayon constant (VP, VM)	20 m	Non admis
Longueur minimale clothoïde (VP, VM)	30 m	Non admis
Longueur minimale alignement entre courbe et contre courbe (VP, VM)	50 m	30 m
Longueur minimale entre fin de courbe et pointe d'aiguille appareil de voie (VP, VM)	20 m	A étudier

Figure 4 : Tableau des critères géométriques à prendre en compte pour le tracé en plan de la ligne 18

Profil en long

	Valeur nominale	Valeur exceptionnelle
Pente maximale en alignement droit	30/1000	45/1000
Pente maximale avec courbe en plan, R en m	30/1000 – 800/R	45/1000 –800/R
Rayon raccord déclivité en m (VP, VM) $R \geq V^2/12,96Y$	4235 m	3025 m
Rayon raccord déclivité en m (VS, VA)	1000 m	Non admis
Pente maximale en gare	0	Non admis
Pente maximale en VM et VS (hors voie de garage)	30/1000 – 800/R	45/1000 –800/R
Pente maximale en voie de garage	10/1000	30/1000
Zone en palier ou pente constante minimale de chaque côté de la gare (pour tunnelier)	15 m	à étudier

Figure 5 : Critères géométriques à prendre en compte pour le profil en long de la ligne 18

4.2.4. Étanchéité

L'étanchéité des tunnels est assurée par la mise en place de joints d'étanchéité entre voussoirs. Ils pourront être de type compressible associés à des joints hydro-expansifs. Le débit global d'infiltration dans le tunnel ne devra en aucun cas dépasser **300l/h/km** en moyenne hebdomadaire. Par l'utilisation des techniques modernes et l'effet favorable de la ventilation, les eaux en tunnel sont quasi-inexistantes.

Le soutènement des structures enterrées (gares, Ouvrages Annexes, Tranchées Couvertes/Tranchées Ouvertes) est assuré par des parois moulées. La mise en place de joint CWS est utilisée sur toute la hauteur des ouvrages. Cette technique procure un soutènement définitif présentant une étanchéité acceptable et sans doute la meilleure solution vis-à-vis de la non mise en communication des différentes nappes superposées. Aucune imperméabilisation ou étanchéité n'est donc prévue. Les faibles venues d'eau à travers le béton et les joints des parois moulées sont récupérées via un système de cunettes périphériques en pied des parois moulées. Le débit maximal admissible est de 0.5 l/m²/jour en moyenne annuelle à la réception pour les ouvrages soumis à une pression hydrostatique ≤ 30 m et de 2 l/m²/jour en moyenne annuelle à la réception pour les ouvrages soumis à une pression hydrostatique ≥ 30 m.

L'étanchéité de la dalle de couverture de la boîte gare est assurée via une membrane bitumineuse et une protection constituée d'un géotextile et une couche de béton. L'étanchéité du radier est localisée à l'extrados et posée sur le béton de propreté. Le complexe d'étanchéité est constitué par une protection inférieure en géotextile, une géomembrane synthétique et un écran opaque en PVC. Une protection lourde supérieure en béton complète le système.

Chaque connexion du tunnel dans les boîtes gare et chaque pénétration à l'intérieur du tunnel (par exemple la connexion des rameaux) sont traitées de manière spécifique avec des procédés d'étanchéité éprouvés.

4.2.5. Caractéristiques des tunnels au tunnelier

Le tracé de la ligne 18 comporte 2 sections souterraines en tunnel foré au tunnelier :

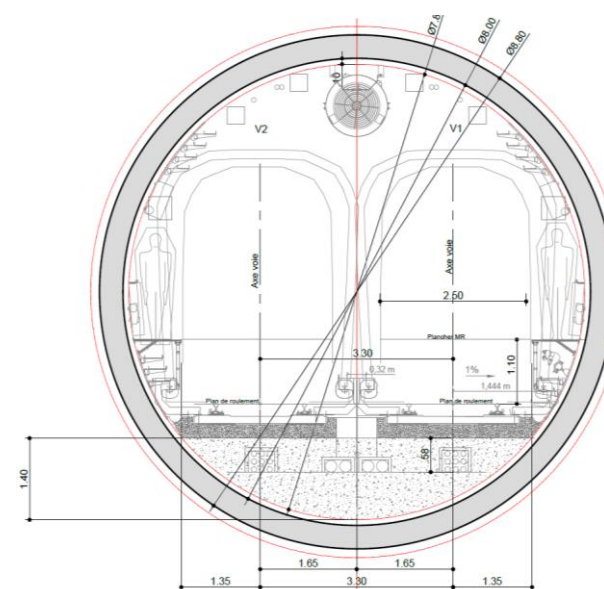
- Tronçon Est entre l'OA1 au sud de la gare d'Orly et le puits d'entrée de tunnelier de la tranchée couverte Est à proximité de l'OA14 d'un linéaire d'environ 11,8 km (hors traversée des ouvrages)
- Tronçon Ouest entre l'OA15 au niveau du Golf national et l'OA24 en aval de la gare Versailles Chantiers d'un linéaire d'environ 8,2 km. **Le tronçon Ouest se situe désormais de la gare de Saint Quentin Est à l'OA24, soit environ 6,4 km.**

Les tunnels Est et Ouest de la Ligne 18 sont des monotubes de même diamètre réalisés au tunnelier.

Leurs caractéristiques sont les suivantes :

- Diamètre de la section fonctionnelle : 7,80 m ;
- Diamètre à l'intrados du revêtement compte tenu d'une tolérance d'implantation de l'axe du tunnel de 0,10 m : 8,00 m ;
- Diamètre à l'extrados du revêtement compte tenu d'une épaisseur du revêtement de 0,40 m : 8,80 m ;
- Diamètre de l'excavation (diamètre de la roue de coupe du tunnelier) compte tenu d'un vide annulaire de 0,15 m mesuré sur le rayon : 9,10 m soit une section excavée de 65 m².

Coupe type en alignement droit



Coupe type en dévers pour un rayon de 250 m

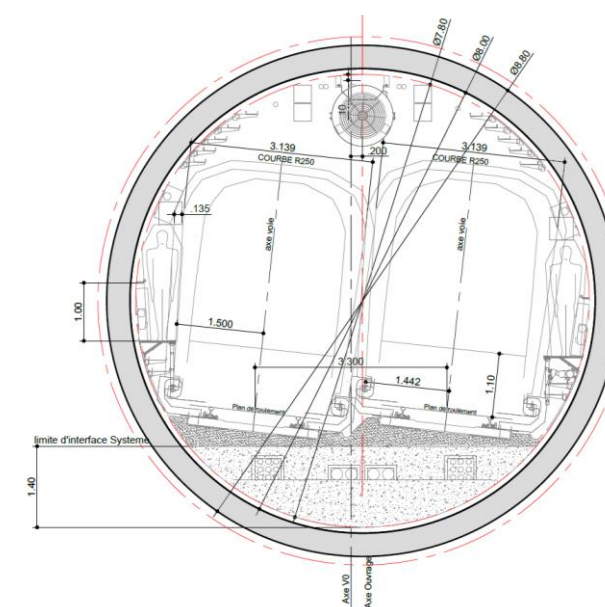


Figure 6 : Coupes types génie-civil tunnel

Parmi les hypothèses structurantes pour la détermination du diamètre utile du tunnel, il faut souligner les dispositions suivantes :

- les câbles du système ligne et fibres sont envisagés en chemin de câble accrochés en voûtes de l'ouvrage ;
- Le drainage de la plateforme du tunnel pour recueillir des eaux d'infiltration, lavage et incendie est envisagé par le biais de cunette et de caniveau en surface.
- Le béton de remplissage est équipé de multitubulaires pour accueillir les courants forts et fibres optiques ainsi que ponctuellement du drainage des chambres de tirage ;
- Passerelles de circulation ;

Système d'alimentation électrique par troisième rail

4.2.6. Description générale

La ligne 18 se compose d'un viaduc de 12,6 km, d'un passage au sol sur environ 600 m et de deux parties souterraines à l'est et à l'ouest du viaduc. A chaque extrémité de la zone en viaduc des zones de transition permettent la jonction avec les tunnels (tranchées couvertes, tranchées ouvertes et rampes).

La ligne 18 compte 10 gares et 24 ouvrages annexes. Ces ouvrages annexes servent d'accès aux secours et également, lorsque nécessaire, à la ventilation, désenfumage et décompression de la ligne, ainsi que le drainage des ouvrages.

Certains ouvrages annexes servent de puits de départ et/ou de sortie de tunnelier (voir détail chapitre 4.2.9). La gare de Satory est également utilisée comme puits d'entrée de tunnelier sur la partie ouest du projet. **Le point d'entrée se situe du côté de la gare de Saint Quentin Est suite aux modifications apportées dans le cadre de l'AVP modificatif.**

Dans le cadre de la mise au sol d'une partie de la section aérienne, la ligne se compose d'un viaduc de 6,7km, de 2 passages au sol à l'Est (environ 600 m) et à l'Ouest (environ 7,2 km, compris TC et T0km) et de 2 parties souterraines à l'Est et à l'Ouest de la section aérienne. Des zones de transition permettent la jonction entre les différents ouvrages, en tranchées couvertes, tranchées ouvertes et rampes.

La ligne comporte 10 gares et 25 ouvrages annexes : OA 1 à OA24 (OA 17 n'existe pas), OA 14bis et OA 22bis. A noter également un nouveau local technique situé au PK 22.650. Des accès de secours sont situés le long de la section aérienne (viaduc et mise au sol).

Le synoptique de la ligne mis à jour est présenté ci-dessous.

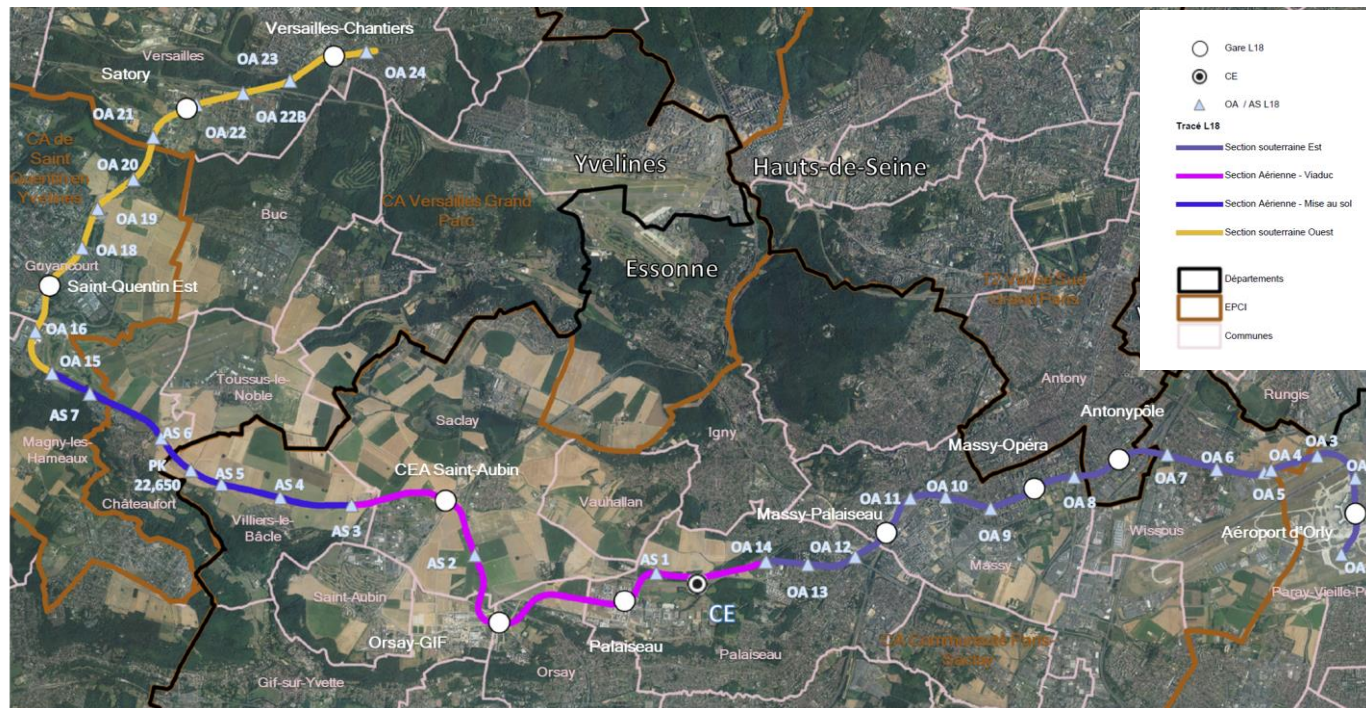


Figure 7 : Synoptique de la ligne 18 mis à jour

NOTA : La distance inter-gares à retenir est la distance de tympan à tympan

Intergare		Longueur (m)
Aéroport Orly	Antonypôle	4 653
Antonypôle	Massy-Opéra	1 446
Massy-Opéra	Massy-Palaiseau	2 807
Saint-Quentin Est	Satory	3 870
Satory	Versailles Chantier	2 516

Figure 8 : Distances des inter-gares



Figure 9 : Plan du tracé – Tronçon Est

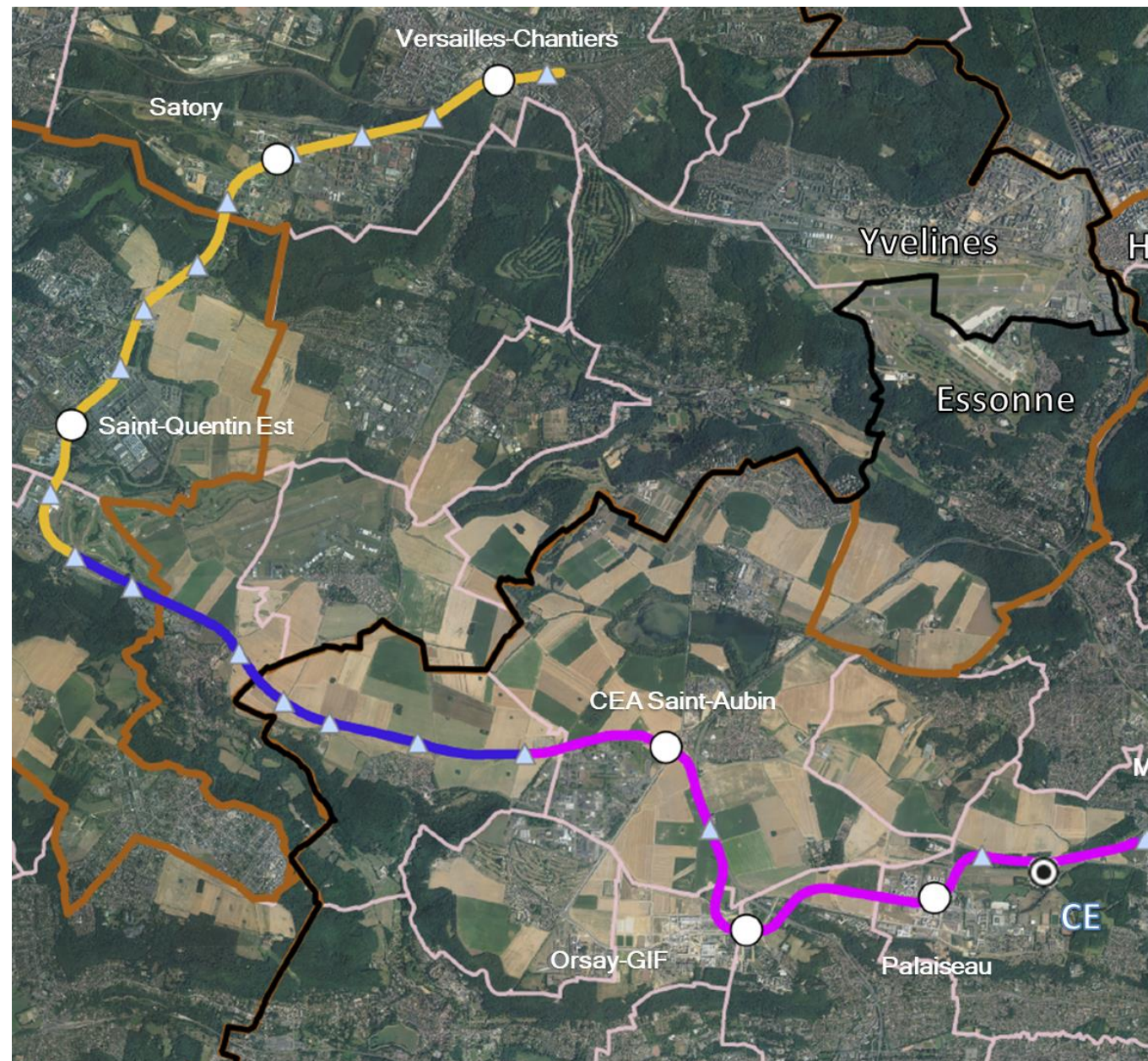


Figure 10 : Plan du tracé – Tronçon Ouest

4.2.7. Contexte géologique et hydrologique

Le tracé de la ligne 18 débute en souterrain au niveau de l'aéroport d'Orly dans les formations de l'Oligocène et de l'Eocène Supérieur pour rejoindre dans sa partie aérienne les couches tertiaires du Stampien dominées par les Sables de Fontainebleau avant de bifurquer au Nord-Nord-Est pour rejoindre Versailles et retrouver les mêmes étages géologiques que ceux rencontrés à l'Est mais sous couverture des Sables de Fontainebleau.

Le projet recoupe ainsi d'Est en Ouest trois grandes unités géologiques et géomorphologiques présentant une certaine « homogénéité » :

1. Le Plateau d'Orly de l'OA1 à l'OA13 pour lequel le tracé s'inscrit essentiellement dans les formations du Sannoisien (Calcaires de Brie et Glaises Vertes) et du Ludien (Marnes Supragypseuses et Masses et Marnes du Gypse) ;
2. Le Plateau de Saclay de l'OA13 à l'OA23 avec trois principales formations : les Limons des Plateaux, les Argiles à Meulière et les Sables de Fontainebleau sur une forte épaisseur (socle du plateau).
3. Le Plateau de Versailles de l'OA23 à l'OA24 où l'on retrouve les formations du Sannoisien/Ludien citées précédemment sous couverture des Sables de Fontainebleau.

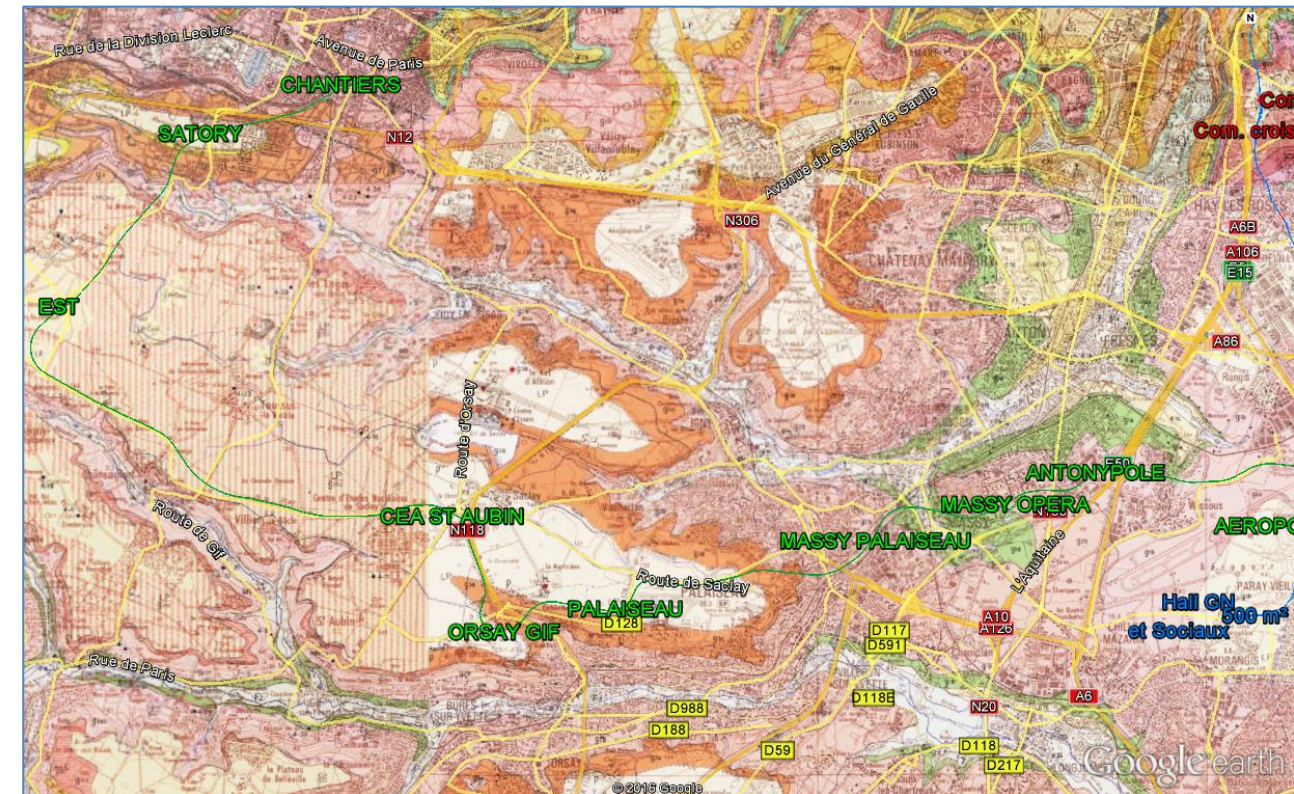


Figure 11 : Implantation de la ligne 18 sur fond de plan géologique

Trois nappes productives sont rencontrées sur le tracé du projet :

- La nappe des sables de Fontainebleau supportée par les Marnes à Huitres ;
- La nappe du calcaire de Brie supportée par l'Argile Verte ;
- La nappe des Marnes supragypseuses de Pantin supportée par les Marnes d'Argenteuil ;

Deux autres particularités hydrogéologiques sont à noter :

- Les Masses et Marnes de Gypse sont le siège d'une nappe circulant via le réseau de fractures et les éventuelles zones de dissolution du gypse ;
- Dans les Meulière de Montmorency sont retrouvées des poches d'eau piégées, assimilables à une nappe perchée, très en lien avec les précipitations.

La connaissance du sous-sol et la qualification des terrains en présence sont un enjeu majeur pour un projet de tunnel en zone semi-urbaine. Dans le détail, ces principaux enjeux sont :

1) Au niveau du plateau d'Orly :

- la bonne connaissance du fonctionnement hydrogéologique des différentes formations rencontrées. Les études préliminaires ont montrées la présence de trois nappes indépendantes et superposées (nappe du Calcaire de Brie, nappe des Marnes de Pantin et nappe des Masses et Marne du Gypse) qu'il convient de qualifier en terme de perméabilité des formations aquifères et de fluctuations de niveau d'eau (définition des niveaux caractéristiques) ;
- la caractérisation du potentiel de gonflement des formations argileuses notamment des Glaises Vertes et les Marnes d'Argenteuil qui pourrait avoir un impact important en terme de dimensionnement des ouvrages souterrains ;
- le risque de dissolution du gypse au sein des Masses et Marnes du Gypse pouvant entraîner des difficultés pour maintenir le confinement du front est jugée faible à la lecture des sondages réalisés.

2) Sur le plateau de Saclay

- La présence de blocs de meulière dans la Meulière de Montmorency et de lentilles et de bancs de grès dans les sables de Fontainebleau (usure des outils de forage, vibration...) ;
- La sensibilité des argiles de la Meulière de Montmorency (pouvoir gonflant, collage) lors des terrassements ;
- La parfaite connaissance des limites de couches au niveau du franchissement de la RN 118 afin d'assurer la bonne assise des fondations du viaduc ;
- La possible présence de marnières au niveau de la gare de Saint Quentin Est ;
- Le franchissement de la zone de l'étang de la Minière dans des terrains de mauvaise qualité et sous faible couverture (de l'ordre de 1 diamètre).

3) Sur le plateau de Versailles

- Les caractéristiques de l'aquifère des Sables de Fontainebleau (puissance et perméabilité du réservoir, écoulement...) en relation éventuellement avec les autres nappes ;
- Le nombre de couches de sol très important lié à la profondeur des excavations, nécessitant un échantillonnage et un nombre d'essais importants, notamment dans les formations sensibles (Argile Verte, Marnes de Pantin et d'Argenteuil, Masses et Marnes du Gypse).

Campagnes géotechniques

- Les études géotechniques sont régies par la norme NF P 94-500 de décembre 2013 relative aux missions d'ingénierie géotechnique. Cette dernière détermine, selon la phase du projet, les objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques, le niveau de management du risque géotechnique, et les prestations d'investigations géotechniques à réaliser. Quatre missions géotechniques sont à mener, chacune se basant sur des campagnes de reconnaissances en phases études, pour la phase travaux les campagnes de reconnaissances peuvent être à réaliser mais sont en général extrêmement réduites (survenance d'un aléa). Elles accompagnent la conception, le dimensionnement et la réalisation des ouvrages et la définition de leurs méthodes d'exécution :

Les missions en phase études :

- La mission G1 couvrant la phase préliminaire, dans ce cadre la Société du Grand a commandé une première campagne de reconnaissances dénommée G11 (ancienne appellation de la norme de novembre 2006), couvrant l'intégralité du RTPGP, qui s'est déroulée en 2012 et 2013.

- La mission G2 couvrant les phases de conception d'avant-projet et projet, dans ce cadre, deux campagnes de reconnaissances ont été commandées par la Société du Grand Paris, dénommées respectivement G12 (avant-projet) et G2 (projet). La campagne G12 s'est déroulée entre 2014 et 2016, la campagne G2, en cours, a débuté au 2nd semestre 2016 et s'achèvera en 2017 pour la ligne 18.

L'organisation mise en place autour de ces missions est la suivante :

Campagnes de reconnaissances G11 et G12 : elles ont été définies par l'Assistant à maîtrise d'ouvrage Géotechnique en regard du projet, qui a dimensionné, suivi et validé ces campagnes de reconnaissances afin d'assurer un niveau de qualité satisfaisant pour les études de conception. Les paramètres géotechniques retenus pour le dimensionnement de l'infrastructure ont fait l'objet de plusieurs discussions entre les experts de l'AMO géotechnique et du maître d'œuvre, afin d'obtenir un avis partagé sur les données d'entrées, double regard.

Campagne de reconnaissances G2 : elle a été définie par le maître d'œuvre, suivie et validée par l'Assistant à maîtrise d'ouvrage Géotechnique, le même processus de double regard a été mis en place afin d'obtenir un dossier partagé sur les données d'entrées et les paramètres à retenir dans le dimensionnement des ouvrages.

Les missions en phase travaux :

- La mission G3 d'études et suivi géotechnique de réalisation, à la charge des entreprises qui réaliseront les travaux.
- La mission G4 de supervision géotechnique d'exécution, cette mission est confiée au Maître d'œuvre et reste à la charge de la maîtrise d'ouvrage.

Au total sur la ligne 18, toutes campagnes confondues, ont été réalisés à mi-mai 2019 :

- 324 Sondages Carottés avec prélèvements d'échantillons pour essais en laboratoire ;
- 318 sondages avec Essais Pressiométriques ;
- 44 forages destructifs ;
- 17 Pressiomètres Dynamiques ;
- 19 CPT ;
- 33 Pelles Mécaniques ;
- 5 Sondages à la Tarière ;

Soit un total de 760 sondages sur 35 km et un site de maintenance.

La profondeur moyenne atteinte est de 38.5 m, la profondeur maximale de 65 m. En moyenne l'espacement des sondages est de l'ordre de 35 à 40 m sur le linéaire tunnel, et sur les gares le nombre de sondages est compris entre 12 et 30, selon le contexte géologique et hydrogéologique rencontré.

La quantité, la profondeur et la localisation de tous ces sondages, ainsi que la nature et le nombre des essais de laboratoire, ont été adaptés en fonction du contexte pressenti au démarrage des campagnes et des résultats des sondages au fur et à mesure. En effet, les informations recueillies lors de l'exécution des sondages, l'examen des carottes (conservées pendant toute la durée du projet), ainsi que les essais de laboratoire destinés à préciser les caractéristiques mécaniques des terrains rencontrés, sont suivis en temps réel. Ceci afin de modifier, adapter chaque campagne en cours de réalisation ou la suivante.

Alors que les campagnes G1 et G2 en phase avant-projet ont pour objectif la définition du modèle géologique, géotechnique et hydrogéologique ainsi que la finalisation du tracé, la campagne G2 phase

projet constitue un approfondissement des précédentes, qui en plus de resserrer la maille des sondages, vise à répondre à des questions précises soulevées par la mise au point des méthodes d'exécution envisagées. Dans ce cadre, il a été jugé nécessaire de compléter ces campagnes par la réalisation de puits et de galeries de reconnaissance en vraie grandeur afin de juger du comportement en grand des terrains face aux méthodes envisagées, de leur faisabilité et des mesures d'accompagnement (traitements de terrain) éventuellement exigées pour assurer la sécurité de ces méthodes.

La mission G3, placée sous la responsabilité de l'entrepreneur en charge des travaux a pour objet de permettre « de confirmer le modèle géotechnique retenu pour la conception des ouvrages. En cas de rencontre de conditions géotechniques ou de comportement des ouvrages géotechniques en cours de réalisation significativement différents de ceux prévus mais identifiés comme risques possibles, ce suivi permet d'adapter ou de modifier la partie correspondante de l'ouvrage géotechnique concerné selon les mesures correctives prédéfinies »

Toutes les reconnaissances qui seront jugées nécessaires seront menées, dès lors qu'il s'agit de la sécurité des riverains et du chantier. Ces reconnaissances entrent dans le cadre de la mission géotechnique G5 (diagnostic géotechnique spécifique).

La mission géotechnique G4 de supervision géotechnique est à la charge du maître d'ouvrage et assurée par le maître d'œuvre, elle permet d'assurer la supervision des études d'exécution de la mission G3 ainsi que le suivi d'exécution en organisation des interventions périodiques et discontinues sur le chantier, cette mission permet de contribuer à la maîtrise des risques géotechniques en assurant une supervision du suivi de l'entrepreneur, en vérifiant l'adéquation du comportement sur site avec le comportement prévu.

A noter que la Société du Grand Paris a organisé un double regard sur ces missions G3/G4 par l'attribution d'un marché spécifique d'assistance à maîtrise d'ouvrage en géotechnique en phase travaux, qui donnera un avis sur les grands sujets géotechniques rencontrés : notes d'hypothèses générales avec la définition des paramètres géotechniques retenus, adaptation de méthodes constructives majeures, interactions avec des existants par exemple.

Ce dispositif global participera à la maîtrise des risques géotechniques et au suivi de leurs effets.

4.2.8. Profil en long

NOTA : la profondeur de gare exprimée en mètres (m), s'entend du niveau du quai le plus profond jusqu'au parvis, arrondie au m supérieur

Gare	Profondeur (m)
Antony	20
Massy Opéra	21
Massy-Palaiseau	21
Saint Quentin Est	11
Satory	26
Versailles Chantiers	21

Figure 12 : Tableau récapitulatif des profondeurs des gares

4.2.9. Conception du tracé et du tunnel

• Insertion du tracé et franchissement des points singuliers

La sensibilité du bâti existant (voire futur existant, i.e. non encore construit à la date des études mais qui le sera lors du démarrage des travaux) constitue un point essentiel de calage de la conception des tunnels.

On recense une trentaine environ de points durs ou zones de points tout au long du tracé du tunnel.

- des bâtiments de moyenne à grande hauteur :
 - o Passage sous bâti R+3 à Wissous,
 - o Passage sous bâti (Institut d'éducation/Université de Cergy-Pontoise) R+1 à R+4 à Antony,
 - o Passage à proximité bâtiment R+10 Avenue de la République à Massy,
 - o Eglise Sainte Marie Madeleine à Massy,
 - o Bâtiment Cristal Plaza à Massy,
 - o Passage à proximité ou sous bâtiment Lycée à Guyancourt,
 - o Clinique Diaconesse à Versailles,

- Passage à proximité et sous les bâtiments de la rue de La Porte de Buc et des Chantiers à Versailles.
- des ouvrages d'art et leurs fondations :
 - Talus et Viaduc de la ligne 990 à Massy,
- des réseaux concessionnaires dont certains comportant des fondations spécifiques :
 - Passage à proximité / sous pylônes RTE DL18 Hangar industriel Gobe (H≈10m) à Antony,
 - Réseau structurant GRT-Gaz à Massy,
 - Tubage métallique du Sondage SP 2687 à Palaiseau,
- des infrastructures spécifiques routières ou ferroviaires :
 - Passage à proximité la rue de la rue de Moscou, rue d'Australie et de la rue des Etats-Unis à Massy,
 - Passage à proximité du bâti Rue de la Division Leclerc à Massy,
 - Nœud ferroviaire de Massy – Passerelle Atlantis Vilmorin- Passerelle historique,
 - Passage inférieur de l'autoroute A 126 à Palaiseau,
 - Voies ferroviaires et viaduc de la rue des Chantiers à Versailles,
- des infrastructures aéroportuaires :
 - Passage sous les zones de circulation et de stationnements avions à proximité de la L14 à l'Aéroport d'Orly: entre-axe ≈ 25 m,
 - Passage sous bâtiment de Jonction ADP-Proximité L14 à l'Aéroport d'Orly: entre-axe ≈ 24 m,
 - Passage sous parking P0 Silo à proximité L14 à l'Aéroport d'Orly: entre-axe ≈ 24 m,
 - Passage sous fondations des piles P4, P5 et W1 des piles de l'Orlyval Proximité L14 : entre-axe ≈ 24 m,
 - Passage à proximité de l'extension Nord du terminal ouest et du Parking P5 : R+2. Proximité L14 : entre-axe ≈ 24 m,
- des zones à topographie particulière :
 - Remontée vers OA 14 sous couverture réduite à Palaiseau,
 - Etang de la Minière à Guyancourt,

- modification de la géométrie en plan et/ou en profil (approfondissement, contournement, etc.) ;
- la mise en place d'une instrumentation spécifique ;
- le renforcement préalable des terrains avant passage des tunneliers pour limiter les incidences de leur passage sur les bâtis en fonction de leur sensibilité ;
- des ouvrages complémentaires pour protéger les structures existantes ;
- en ultime recours, de renforcement temporaire et/ou définitif du bâti lui-même.

• Synoptiques des tunnels

Les tunnels Est et Ouest de la Ligne 18 sont des monotubes de 7,80 m de diamètre utile réalisés au tunnelier. Le diamètre de l'excavation (diamètre de la roue de coupe des tunneliers) compte tenu d'un vide annulaire de 0,15 m mesuré sur le rayon s'élève à 9,10 m, soit une section excavée de 65 m² environ.

Les tunnels de la Ligne 18 seront réalisés à l'aide de **trois tunneliers** à front confiné. Ceci est justifié par la longueur des parties souterraines, la nécessité de maîtriser les tassements en surface lors de l'excavation, l'hétérogénéité des terrains, leurs caractéristiques mécaniques et hydrauliques, les variations de couverture le long du tracé, la présence non continue de nappes phréatiques.

Les tunneliers à front confiné permettent d'excaver le terrain en assurant la stabilité du front de taille, de poser un revêtement à l'abri d'un bouclier et de limiter les écoulements en équilibrant la charge hydrostatique. Les deux modes de confinement envisagés pour le creusement de ligne 18 sont par pression de boue (Slurry Shield, SPB), par pression de terre (Earth Pressure Balance, EPB) ou d'une combinaison des deux (densité variable ou multimode).

Deux tunneliers seront utilisés pour le creusement du tronçon Est et **un tunnelier** pour le creusement du tronçon Ouest.

Pour la réalisation des tunnels, les tirs de tunneliers suivants sont envisagés :

- Tunnelier TBM1 : de l'OA8 à l'OA1 (avec reconnexion logistique du tunnelier à l'OA5),
- Tunnelier TBM2 : du puits d'entrée de la tranchée couverte proche OA14 à l'OA8 (avec reconnexion logistique du tunnelier à l'OA12),
- Tunnelier TBM3 : de la Gare de Satory à l'OA15 et de la Gare de Satory à l'OA24.

Dans le cadre de la mise au sol d'une partie de la section aérienne, le tir du tunnelier TBM3 sur le tronçon Ouest est modifié, se déroule en une seule étape avec un puits d'entrée positionné en gare de Saint Quentin Est, et le puits de sortie à côté de l'OA24.

Le franchissement de ces points durs pourra nécessiter d'avoir recours à différentes solutions techniques dont notamment :

Tunnelier n°	Puits de départ	Puits d'arrivée	Linéaire [m]
TBM1	OA8	OA1	6214
TBM2	Puits TC	OA8	5964
TBM3	Gare de Saint Quentin Est	OA24	6720

Figure 13 : Tableau : Localisation des puits d'attaque (Puits de départ/ d'arrivée/ linéaire)



Figure 14 : Cinématique des tunneliers partie Est



Figure 15 : Cinématique du tunneliers partie Ouest

4.2.10. Description détaillée

4.2.10.1. Partie Est

• Intergare de l'Aéroport d'Orly à Antony

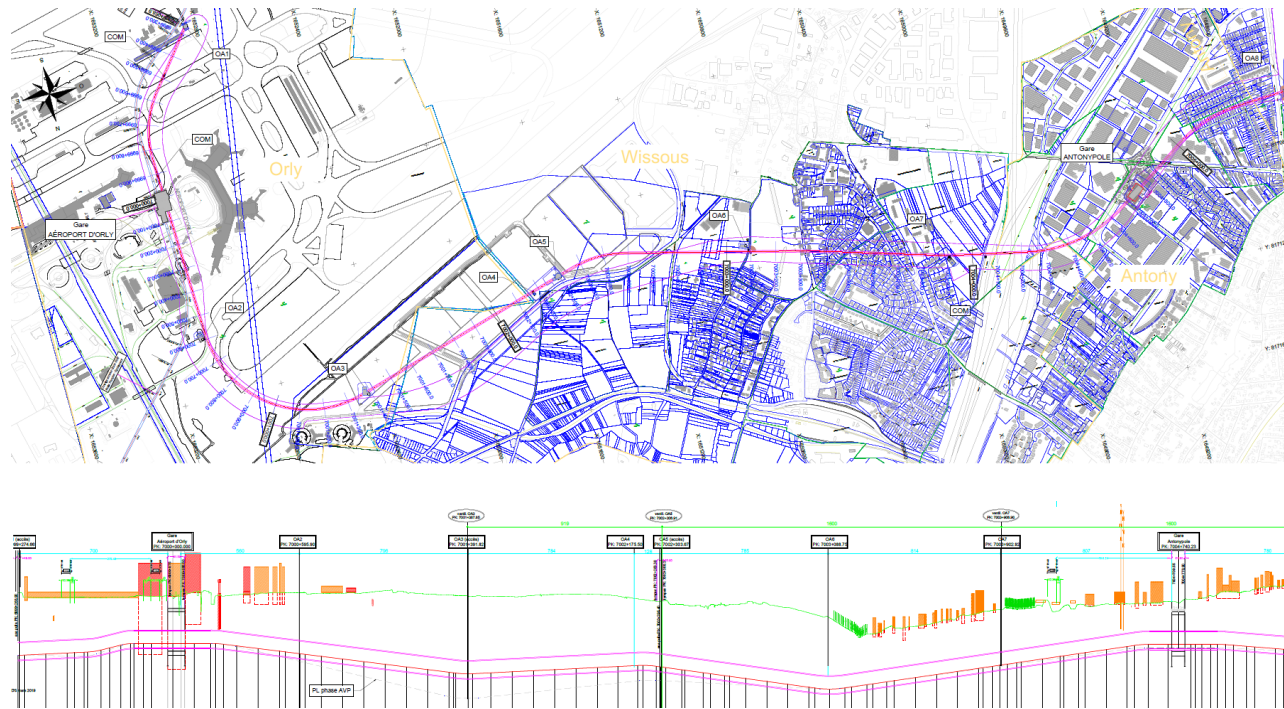


Figure 16 : Vue du tracé en plan et profil en long

Caractéristiques générales

Le creusement de cette portion de tunnel se fait sur les communes de Paray-Vieille-Poste, Wissous et Antony. Le tracé part de l'aéroport d'Orly où est implantée une gare commune avec la Ligne 14, puis il longe le tracé de l'Orly Val pour sortir de l'enceinte de l'aéroport. Il s'écarte alors de la ligne Orly Val, entre dans la commune de Wissous sous laquelle il traverse des parcelles agricoles (en cours de reconversion en Zone Industrielle) dans un premier temps, puis sous une zone bâtie principalement de type pavillonnaire. Le tracé en plan croise alors la jonction des autoroutes A6 et A10 qui marque la limite entre les communes de Wissous et d'Antony. Le tunnel passe alors sous une zone de bâti industriel, longe une ligne haute tension aérienne le long de l'avenue Léon Harmel pour arriver sur la gare Antonympole.

Six ouvrages annexes sont reliés au tunnel sur cette section:

- Les OA2, OA3, OA4, OA6 et OA7 sont des ouvrages excentrés ;
- L'OA1 et l'OA5 sont des ouvrages axés sur le tracé du tunnel.

Niveaux de rail et couverture

Sur cette portion le niveau de rail varie entre 38,7 NGF (point bas situé à proximité de l'OA3) et 63,0 NGF. Les deux gares Aéroport d'Orly et Antonympole sont en point haut (63,0 NGF et 61,0 NGF respectivement).

La couverture minimale est de 13,7 m sous l'Aéroport d'Orly au niveau de la gare, et atteint au maximum 30,1 m au droit du point bas de l'OA3.

Contexte géotechnique

Entre les PK6999+269 et PK7000+600 : le tunnel est excavé en front mixte Marnes de Pantin / Marnes d'Argenteuil. D'autre part, les Argiles Vertes sont rencontrées en toit du tunnelier. A partir du PK7000+600 au PK7003+550, le tunnel plonge, traverse l'horizon des Marnes d'Argenteuil, puis l'excavation se fait alors en front homogène dans les Masses et Marnes du Gypse. Ensuite le profil en long du tracé remonte, traverse de nouveau les Marnes d'Argenteuil pour retrouver un front mixte Marnes de Pantin/Marnes d'Argenteuil sur les 300 derniers mètres jusqu'au PK7004+730 (Gare d'Antonympole).

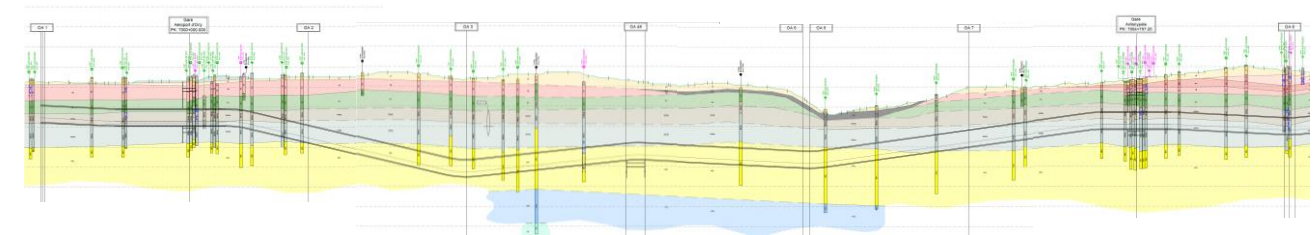


Figure 17 : Vue profil en long sur fond géologique

Contraintes de sites

Le tracé du tunnel de la Ligne 18 sous l'aéroport d'Orly comporte les principales contraintes de site de cette portion. En effet, cette zone est fortement urbanisée à l'Ouest et contrainte dans sa partie Est par les infrastructures de l'aéroport d'Orly. Au PK6999+900, se situe sous le bâtiment de jonction actuellement en construction. De même que pour le parking P0, des mesures conservatoires ont été prises pour permettre le passage du tunnelier :

- Au PK7000+100, sous le parking P0 qui sera réaménagé, le projet comporte des mesures conservatoires concernant ces fondations afin de permettre le passage du tunnelier. Ces mesures ont fait l'objet d'analyse au cours de la phase d'étude AVP.
- Au PK7000+220, sous les piles du viaduc de l'Orlyval ;
- Au PK7000+350, entre le parking P5 et l'extension nord du Terminal Ouest dont aucune information sur les fondations n'a été reconnue à ce jour ;
- En bout de piste (au PK7000+850) et sous la zone de circulation avions de l'aéroport (au PK6999+800) ;

En dehors de la zone d'Orly, le tunnel passe sous la commune de Wissous constituée principalement de logements pavillonnaires. On note cependant le passage du tunnel sous deux immeubles de logements collectifs R+3 (au PK7003+760) dont les fondations ne sont pas reconnues à ce jour.

• Intergare d'Antonypole à Massy-Opéra

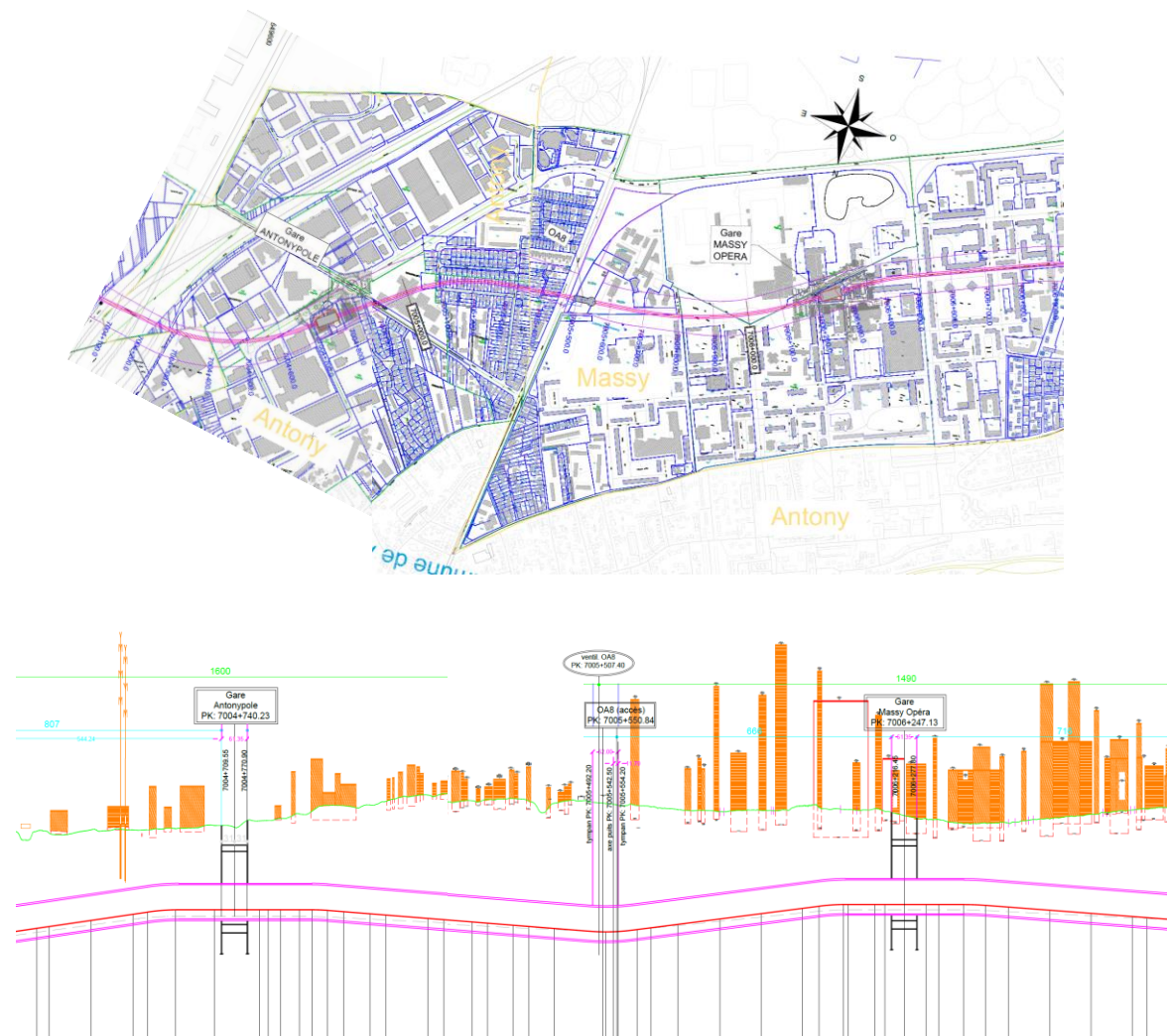


Figure 18 : Vue du tracé en plan et profil en long

Caractéristiques générales

Le creusement entre les gares Antonypole et Massy Opéra se fait entre les communes d'Antony et de Massy. A la sortie de la gare Antonypole le tracé passe sous l'Institut de formation (Annexe de l'Université de Cergy-Pontoise) puis sous une zone résidentielle de la commune d'Antony. Il traverse alors l'Avenue Maréchal Leclerc (RN20) pour rejoindre la commune de Massy et passer sous le centre d'Agro Paris Tech. L'arrivée sur la gare de Massy Opéra se fait au droit de l'Avenue du Noyer Lambert.

Un seul ouvrage annexe se trouve sur cette intergare. Il s'agit de l'OA8 qui est un ouvrage axé sur le tracé du tunnel.

Niveaux de rail et couverture

Sur cette portion le niveau de rail varie entre 58,1 NGF (point bas situé au niveau de l'OA8) et 64,75 NGF. Les deux gares Antonypole et Massy Opéra sont en point haut (62,60 NGF et 64,75 NGF respectivement).

La couverture minimale est de 13,2 m au niveau des deux gares, et atteint au maximum 24,6 m au niveau du point bas.

Contexte géotechnique

Du fait que le profil en long varie peu entre les gares Antonypole et Massy Opéra, le front mixte Marnes de Pantin/Marnes d'Argenteuil est rencontré sur tout le linéaire, dont le tiers supérieur est excavé dans les Marnes de Pantin.

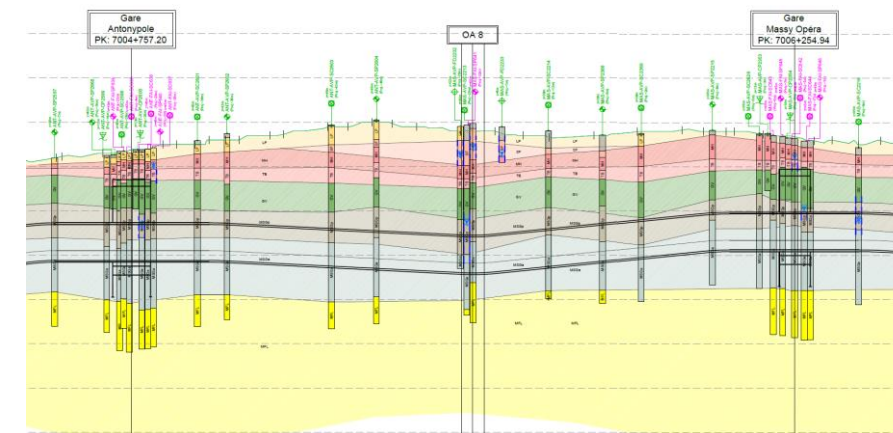


Figure 19 : Vue profil en long sur fond géologique

Contraintes de site

Le tunnel passe sous la zone urbanisée des communes d'Antony et de Massy. On distingue différents types de bâti : bâti industriel, zone pavillonnaire, et immeubles de logements collectifs (allant jusqu'à R+12).

• Intergare de Massy-Opéra à Massy-Palaiseau

Trois ouvrages annexes sont reliés au tunnel sur cette section : l'OA9, l'OA10 et l'OA11. Tous trois sont des ouvrages déportés.

Niveau de rail et couverture

Entre la gare Massy Opéra et l'OA9, le profil du tunnel est en pente douce à 7,55‰ avec une couverture comprise entre 14 et 22 m. Le Zrail y est situé entre 60 et 65 NGF. Entre l'OA9 et la gare de Massy-Palaiseau, le tunnel suit la déclivité du terrain naturel pour franchir le paléo talweg situé au niveau de la ligne ferroviaire RFN 990.

Le point bas du tronçon est situé à proximité de l'OA10. Le Zrail passe ainsi de 60 à 39 NGF pour atteindre 64 NGF au niveau de la gare de Massy-Palaiseau. C'est à ce niveau que le minimum de couverture est atteint avec une épaisseur de terrain de l'ordre de 13 m.

Contexte géotechnique

A partir de la gare de Massy Opéra et sur près de 1 km, le tunnel est excavé en front mixte Marnes de Pantin (MP)/ Marnes d'Argenteuil (MA) avec la moitié supérieure du front dans les Marnes de Pantin et la moitié inférieure dans les Marnes Argenteuil.

Sur les 300 m suivants, l'excavation se fait en front homogène dans les Marnes d'Argenteuil. Le creusement est ensuite réalisé en front mixte Marnes à « Fers de Lances » (MFL)/ Marnes d'Argenteuil sur 500m avec le tiers inférieur du tunnel dans les MFL dont la nappe est en charge.

Subséquent, le profil remonte pour trouver à nouveau un front homogène dans les MA sur environ 200 m. Le front mixte MP/MA est alors retrouvé sur 600 m pour finir par atteindre les Argiles Vertes (GV) en calotte de tunnel sur les 50 derniers mètres.

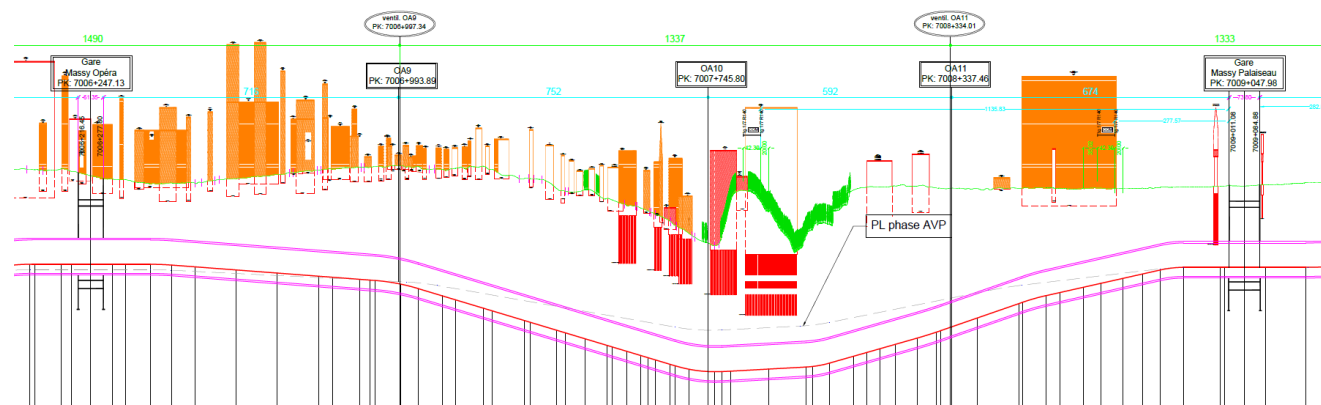


Figure 20 : Vue du tracé en plan et du profil en long

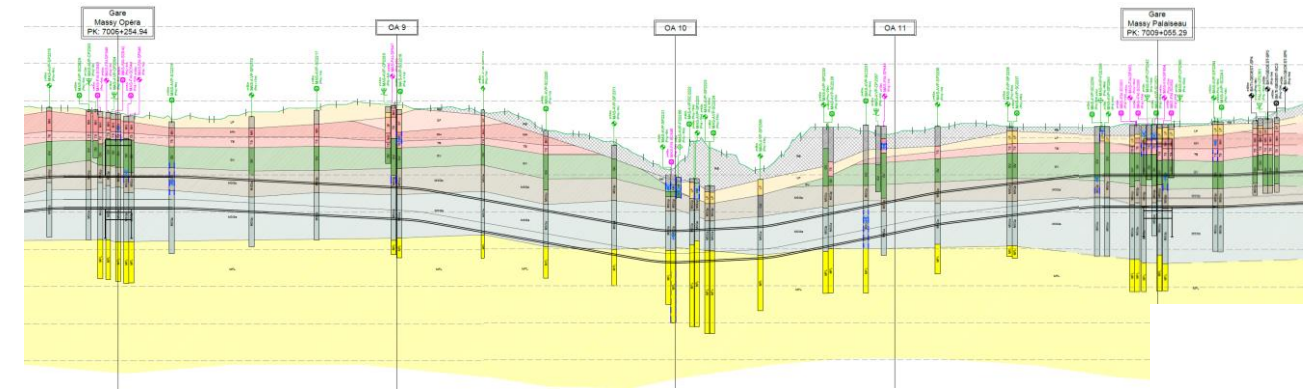


Figure 21 : Vue profil en long sur fond géologique

Caractéristiques générales

Le creusement entre les gares de Massy Opéra et de Massy-Palaiseau se fait entièrement sur la commune de Massy. Le tracé suit dans un premier temps la rue des Anglais qui devient la rue de Moscou puis la Rue des Etats-Unis avant de bifurquer vers l'est en longeant la rue Henri Gilbert. Le tunnel passe alors sous le centre ancien de Massy avant d'entrer dans la zone d'exploitation du nœud ferroviaire de Massy.

Contraintes de site

Dans cette zone, le projet s'inscrit dans un tissu urbain dense.

En sortie de la gare de Massy Opéra, au niveau de la rue des Anglais, de la rue de Moscou et de la rue des Etats-Unis, le tunnelier passe à proximité de bâtiments d'habitation collective de hauteur moyenne à importante (R+5 à R+12). Plus en aval, dans le centre de Massy, le tunnelier passe sous un bâti ancien de hauteur réduite. Le tunnel passe notamment à proximité de l'église de Massy classée Monument Historique. Le tunnel est ensuite creusé sur plus d'un kilomètre sous le nœud ferroviaire de Massy caractérisé par la présence d'ouvrages d'art et d'infrastructures ferroviaires. Le tunnel passe également à proximité du bâtiment Cristal Plaza lors de la traversée du talus de la ligne RFN 990.

• Intergare de la gare Massy-Palaiseau au puits d'entrée de tunnelier

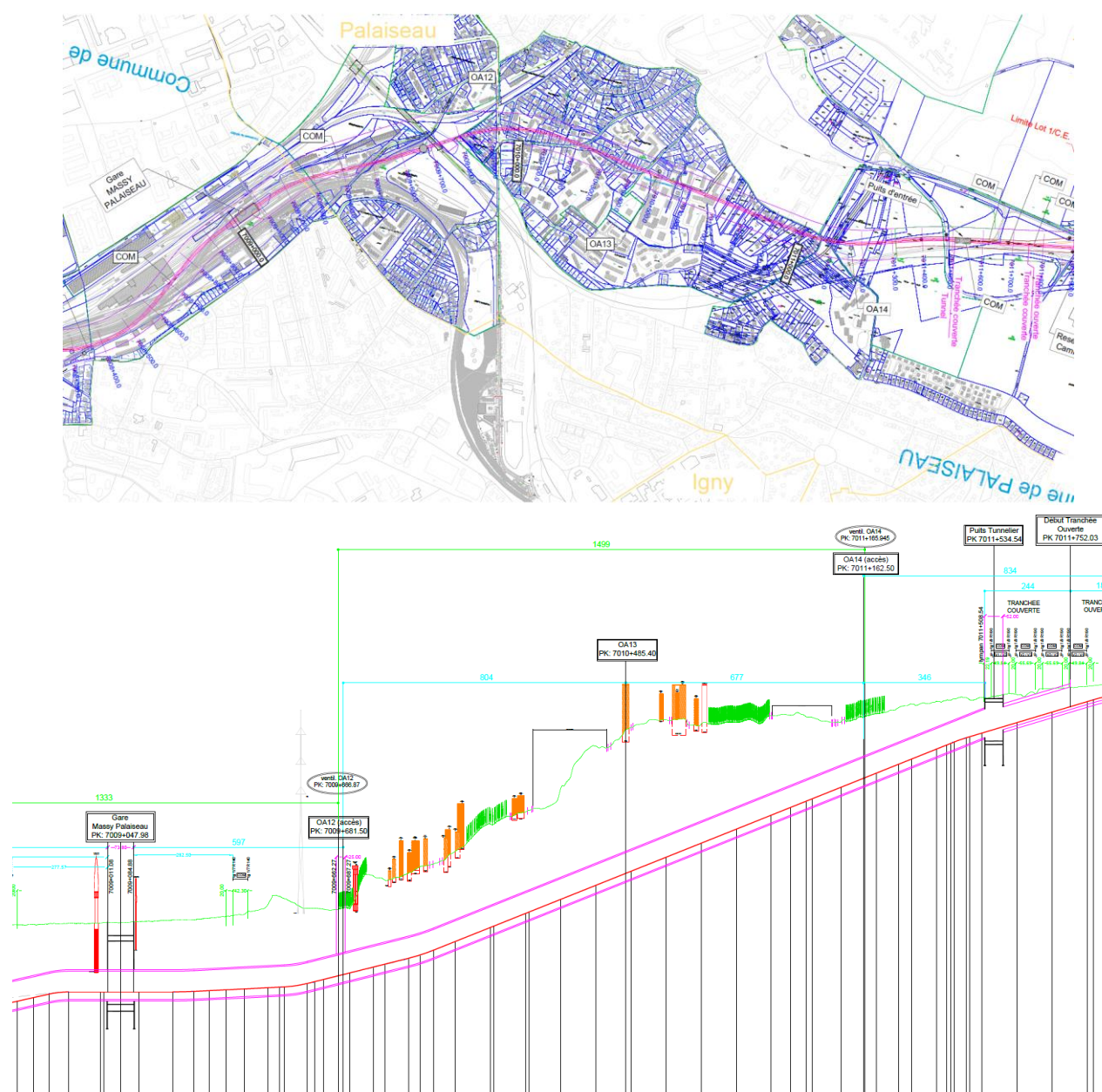


Figure 22 : Vue du tracé en plan et profil en long

Caractéristiques générales

Entre la gare de Massy-Palaiseau et l'OA12, le tracé se poursuit sous le domaine ferroviaire. En sortie de commune de Massy et au niveau de l'entrée sur Palaiseau, le tracé longe le Boulevard de la Grande Ceinture avant de croiser l'A126. Le tracé bifurque alors vers l'ouest pour traverser le centre de Palaiseau avant de rejoindre la D36.

Trois ouvrages annexes sont présents sur cette section. L'OA12 est un ouvrage axé et les OA13 et OA14 sont déportés.

Niveau de rail et couverture

En sortie de Massy-Palaiseau, sur les 450 premiers mètres, la pente du tunnel est réduite avec un Zrail passant de 64 à 65 NGF. La couverture y est comprise entre 13 et 20 mètres. Au niveau de l'OA 12 l'ascension des coteaux de Saclay débute et se poursuit sur 1800 mètres avec une pente croissante jusqu'à 4%. Le Zrail passe ainsi de 65 NGF à 140 NGF avec une couverture comprise entre 35 mètres et 4 mètres au niveau du puits d'entrée de la TC.

Contexte géotechnique

Entre la gare de Massy-Palaiseau et l'OA 12, le tunnel est excavé en front mixte dans les Argiles Vertes (GV) et les Marnes de Pantin (MP). Sur cette portion, la nappe des marnes est en charge sous l'argile. En remontant vers le plateau de Saclay, le tunnel rencontre une courte section de front homogène dans les GV (au niveau du PK 7009+700). Sur les 250 mètres suivants, l'excavation se fait en front mixte avec successivement Argiles Vertes, Calcaire de Brie (TB)/Marnes à Huitres (MH)/Sables de Fontainebleau (SF). Le creusement se poursuit sur 1000 mètres dans les SF dont la moitié est sous nappe. En arrivant sur l'OA 14, le tunnel rencontre les Meulière de Montmorency (TS).

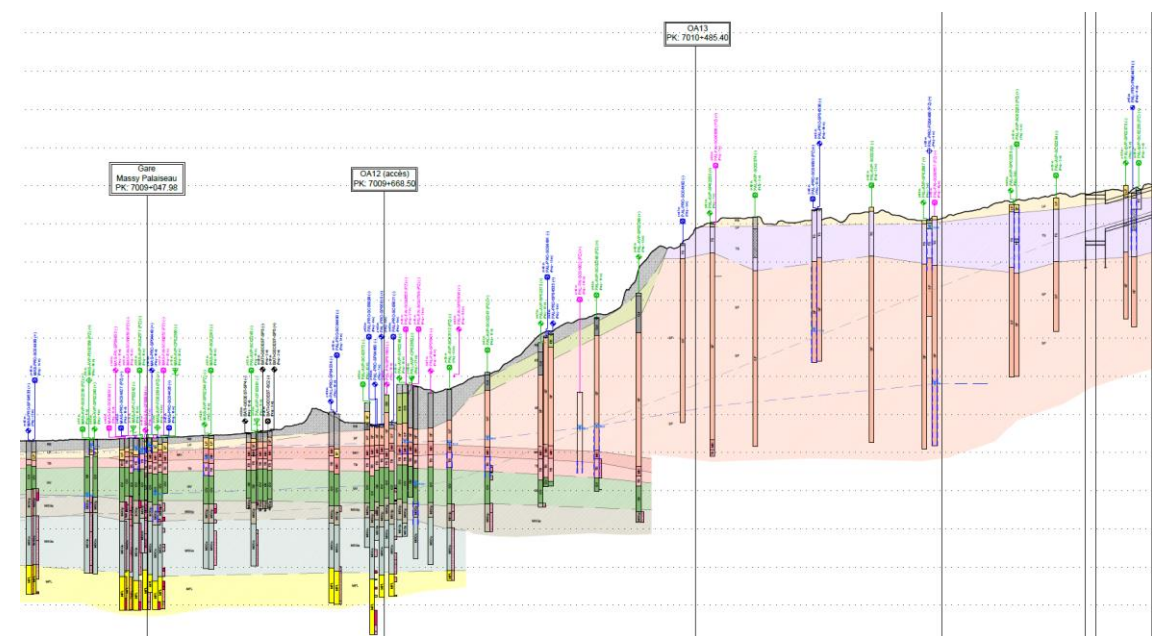


Figure 23 : Vue profil en long sur fond géologique

Contraintes de site

Le tracé se poursuit sur 350 mètres sous les voies ferroviaires en sortie de la gare de Massy-Palaiseau. A moins de 10 mètres du tympan sud-est de la gare de Massy, le tunnel se retrouve sous la passerelle historique de la gare de Massy. Une fois les voies traversées, le tunnel passe à une quarantaine de mètres en plan, de bâtiments de maintenance SNCF. Le tunnel croise alors le Boulevard de la Grande Ceinture (D156) pour se poursuivre sous le passage inférieur de l'A126. Au-delà, sur la commune de Palaiseau, la combinaison du creusement sous forte couverture et du bâti pavillonnaire de faible hauteur n'engendre pas de contraintes particulières.

A environ 190 m avant la sortie du tunnel à l'OA 14, celui-ci passe au droit du sondage SP 2687 dont le tubage métallique a été coincé et cassé.

4.2.10.2. Partie Ouest

• TO Ouest à Saint Quentin Est

Pour rappel, l'évolution du profil en long entraîne la modification de l'OA15 et le remplacement du tunnel au tunnelier par une tranchée couverte entre OA15 et la gare de Saint Quentin Est. Cette gare devient le puits de lancement de tunnelier jusqu'à l'OA24.

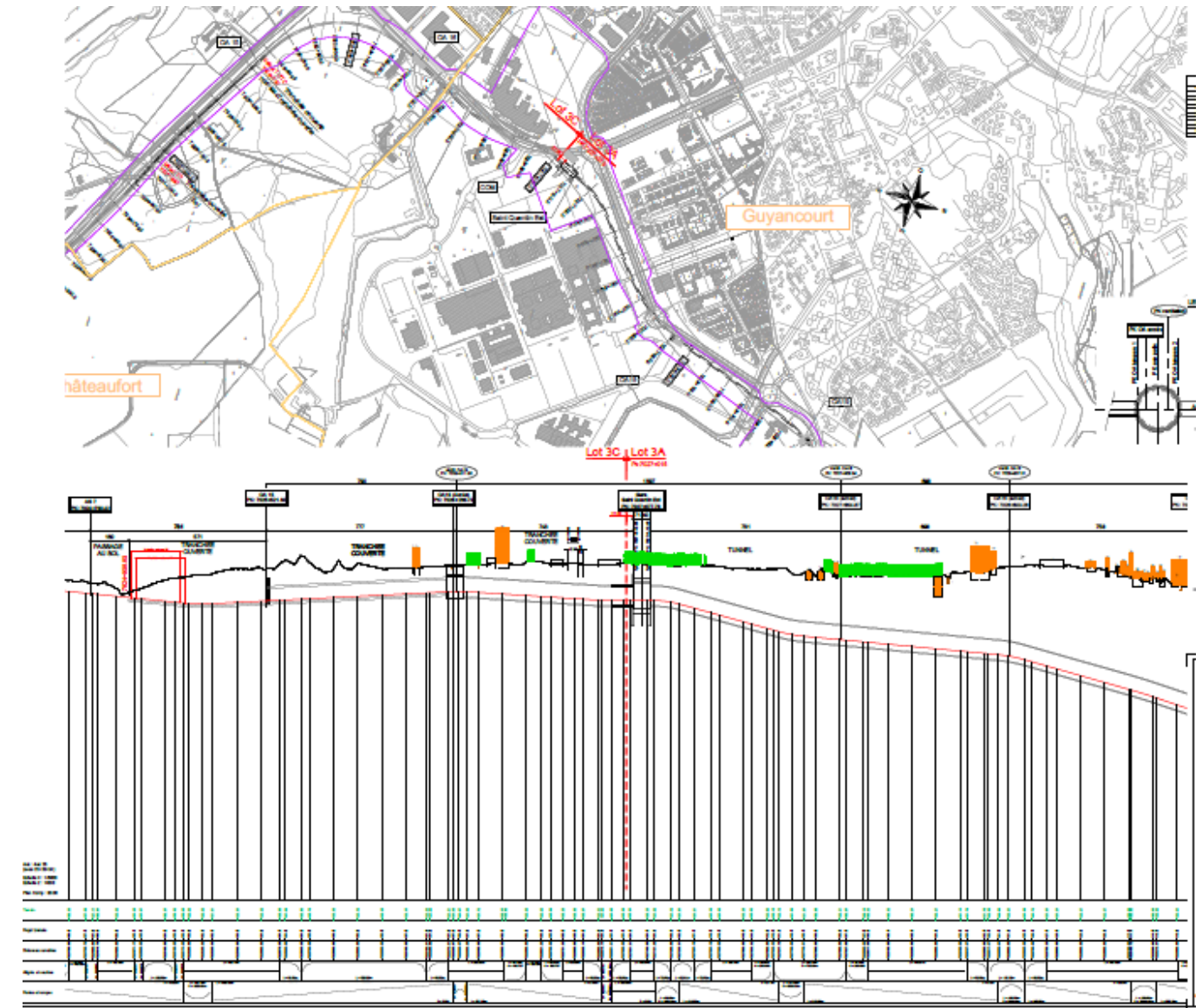


Figure 24 : Vue du tracé en plan et profil en long - TO Ouest à OA19

Contraintes majeures d'insertion du tracé

- Tracé lié au franchissement du golf et à la position des ouvrages annexes (tracé variante par rapport aux EP) ;
- Implantation de la boîte gare de SQE sous la future avenue de l'Europe déviée.

Caractéristiques géométriques principales

TRACE EN PLAN

RAYON EN PLAN MINIMAL 350 M

LONGUEUR ALIGNEMENT MINI ENTRE COURBE ET CONTRE COURBE 83.88

LONGUEUR MINIMALE DEVELOPEE COURBE 36.17 M

LONGUEUR MINIMALE CLOTHOÏDE 35 M

Tronçon TO Ouest / Saint Quentin Est - Caractéristiques en plan

PROFIL EN LONG

RAYON PL MINIMAL 5000 M

LONGUEUR MINIMALE RAYON 36.16 M

DECLIVITE MAXIMALE 10,02 ‰

LONGUEUR MINIMALE DECLIVITE CONSTANTE 185.09 M

Tronçon TO Ouest / Saint Quentin Est - Caractéristiques en profil

Points particuliers

Tracé en plan

Cette section présente un rayon de 350 m, du PK 7026+915 au PK 7026+951, RP 80 m → vitesse 90 km/h ;

L'introduction du rayon de 350m réduit la vitesse d'exploitation, il est néanmoins positionné en entrée de gare zone de décélération/accélération.

Profil en long

Le profil en long dans cette section ne présente pas de rayon inférieur à la valeur nominale en voie principale (4670 m).

Cohérence des critères de tracé en plan et de profil en long

Le tracé sur cette section ne présente aucune superposition entre raccordement progressif en plan et raccordement circulaire en profil en long.

Implantation des quais de la gare de SAINT QUENTIN EST

L'axe de la gare est situé au PK 7027+077.78

La longueur minimale requise de 102 m (62 m + 2x20 m) d'alignement et de pente nulle axée sur le milieu des quais n'est pas respectée. Nous avons 16m+62m+22m.

Implantation des appareils de voie

Cette section comporte une communication située à 227 m de l'extrémité des quais de la gare de Saint Quentin coté Orly. L'éloignement de la communication est lié à la sinuosité du tracé.

Cette communication respecte les critères d'implantation définis dans le paragraphe 2 (alignement droit, pente inférieure à 30 ‰, distance par rapport à un élément supérieure à 20 m et distance par rapport aux quais de gare supérieure à 30 m).

Point bas tunnel / Ouvrage annexe

Le tracé sur cette section présente un point bas situé à 7025+250 dans la tranchée ouverte.

• De Saint Quentin Est à Satory

Contraintes majeures d'insertion du tracé

- Franchissement des étangs de la Minière : le tracé est adapté pour tangenter au maximum la bande DUP, cette disposition permet d'éviter de passer sous les étangs (faible couverture du tunnel et sol de mauvaise qualité) tout en allongeant le tracé pour diminuer la pente importante du PL. Suivant le dernier tracé établi, la rampe est de 4.25%. Elle résulte du calage de la gare de Satory, altimétrie fixé en donnée d'entrée et de la cote de franchissement sous les étangs, le tracé en plan ne peut être allongé il tangente déjà la bande DUP). Le rayon en plan de R500 induit une augmentation de la rampe de 0.16%. On atteint donc la valeur de 4.25 + 0.16 = 4.41%, ce qui reste inférieur à 4.5% en exceptionnel (valeur EPA) ;
- L'OA 19 est implanté en toute proximité d'un lycée. L'implantation est facilitée au PRO_A mais elle reste toujours contrainte par la configuration en émergence, la présence des bâtiments de l'ANFA et les accès définitifs.

Caractéristiques géométriques principales

TRACE EN PLAN

RAYON EN PLAN MINIMAL 350 M

LONGUEUR ALIGNEMENT MINI ENTRE COURBE ET CONTRE COURBE 169.16 M

LONGUEUR MINIMALE DEVELOPPEE COURBE 92.81 M

LONGUEUR MINIMALE CLOTHOÏDE 70 M

Tronçon : Saint Quentin Est / Satory - Caractéristiques en plan

PROFIL EN LONG

RAYON PL MINIMAL 1000 M

LONGUEUR MINIMALE RAYON 42.47 M

DECLIVITE MAXIMALE 42.50 ‰

LONGUEUR MINIMALE DECLIVITE CONSTANTE 185.09 M

Tronçon : Saint Quentin Est / Satory - Caractéristiques en profil

- du PK 7029+600 au PK 7029+793, rayon 2500 m → vitesse 80 km/h ;
- du PK 7030+762 au PK 7030+800, rayon 1000 m → vitesse 50 km/h ;

Les calculs des rayons verticaux normaux et exceptionnels (présentés dans le référentiel tracé établi par la MOES PN1502 06 AVP NOT 000011 03.00) sont issus de formules de calcul de l'IN0272 (SNCF $R_{min} = 0.35 V^2$). Sur les autres lignes de la SGP, la formule utilisée est $R = V^2 / (3.62 * \gamma)$ avec $\gamma = 0.2$ en normal et 0.4 en exceptionnel. Cette formule permet, avec un R2500, une vitesse de 80 km/h en normal ou 110 km/h en exceptionnel.

Le profil en long présente entre les PK 7029+793 et 7030+762 une pente de 42.5 ‰ supérieure à la valeur nominale (30‰).

Cohérence des critères de tracé en plan et de profil en long

Le tracé sur cette section présente une superposition entre raccordement progressif en plan et raccordement circulaire en profil en long au Pk 7027+200 en sortie de gare Saint Quentin Est Cette superposition est nécessaire pour optimiser le profil en long vis-à-vis des fondations rencontrées.

Implantation des quais de la gare de SATORY

L'axe de la gare est situé au PK 7030+862.145

La longueur minimale requise de 102 m (62 m + 2x20 m) d'alignement et de pente nulle axée sur le milieu des quais est respectée.

Implantation des appareils de voie

Cette section ne comporte pas de communication.

Point bas tunnel / Ouvrage annexe

Le tracé sur cette section présente un point bas au droit du franchissement de la zone des étangs de la Minière. Il est situé à 326 m de l'axe de l'OA 20 et 466 m de l'axe de l'OA 21.

Points particuliers

Tracé en plan

Cette section présente un rayon de 350 m, du PK 7027+200 au PK 7027+294, RP 70 m → vitesse 80 km/h ;

L'introduction du rayon de 350m réduit la vitesse d'exploitation, il est néanmoins positionné en sortie de gare zone de décélération/accélération.

Profil en long

Le profil en long dans cette section présente 3 rayons inférieurs à la valeur nominale en voie principale (4670 m). Ces rayons ne permettent pas une circulation à 110 km/h :

- du PK 7027+150 au PK 7027+233, rayon 3500 m → vitesse 95 km/h ;

• De Satory à Versailles Chantier

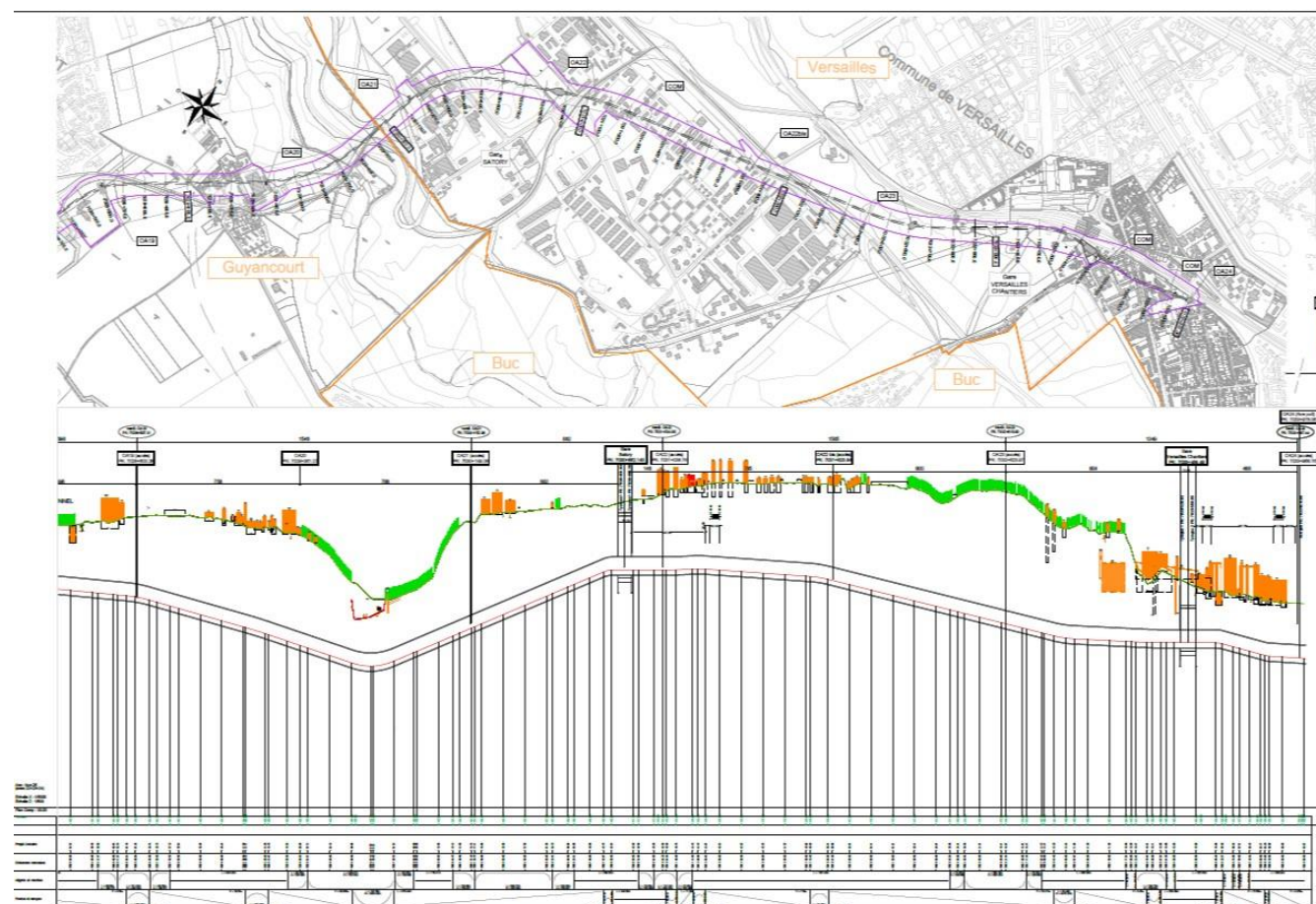


Figure 25 : Vue du tracé en plan et profil en long – OA19 à OA24

Contraintes majeures d'insertion du tracé

- La position de la gare Versailles chantier est une contrainte majeure. Elle doit s'inscrire entre la gare Transilien existante et un établissement religieux (Diaconesses) ;

Caractéristiques géométriques principales

TRACE EN PLAN

RAYON EN PLAN MINIMAL 300 M

LONGUEUR ALIGNEMENT MINI ENTRE COURBE ET CONTRE COURBE 222.32 M

LONGUEUR MINIMALE DEVELOPEE COURBE 110.10 M

LONGUEUR MINIMALE CLOTHOÏDE 45 M

Tronçon : Satory / Versailles Chantiers - Caractéristiques en plan

PROFIL EN LONG

RAYON PL MINIMAL 4670 M

LONGUEUR MINIMALE RAYON 50.00 M

DECLIVITE MAXIMALE 25 ‰

LONGUEUR MINIMALE DECLIVITE CONSTANTE 71.30 M

Tronçon : Satory / Versailles Chantiers - Caractéristiques en profil

Points particuliers

Tracé en plan

Le tracé présente un rayon de 300m correspondant à la valeur minimale admissible, du PK 7033+222 au PK 7033+361, RP 45 m → vitesse 70 km/h.

Cette disposition est admissible car le rayon est situé en entrée de gare.

Profil en long

Le profil en long dans cette section ne présente pas de rayon inférieur à la valeur nominale en voie principale (4670) m.

Cohérence des critères de tracé en plan et de profil en long

Le tracé sur cette section ne présente aucune superposition entre raccordement progressif en plan et raccordement circulaire en profil en long.

Implantation des quais de la gare de VERSAILLES CHANTIERS

L'axe de la gare est situé au PK 7033+464.49

La longueur minimale requise de 102 m (62 m + 2x20 m) d'alignement et de pente nulle axée sur le milieu des quais est respectée.

Implantation des appareils de voie

Cette section comporte une communication :

- en sortie de la gare de Satory à 363 m en extrémité de quai.

Cette communication respecte les critères d'implantation définis dans le paragraphe 2 (alignement droit, pente inférieure à 30 ‰, distance par rapport à un élément supérieure à 20 m et distance par rapport aux quais de gare supérieure à 30 m)

Point bas tunnel / Ouvrage annexe

Le point bas est situé en gare de Versailles Chantiers (zone de pente nulle).

- **De Versailles Chantier à l'OA 24**

Contraintes majeures

- Le passage sous le bâti du 38-40 rue de la Porte de Buc représente la contrainte majeure de ce tronçon. Ce bâtiment présente 2 niveaux de sous-sol et sa position assez proche du tympan de la gare de Versailles-Chantiers impose au tunnel de plonger rapidement après la gare pour l'éviter.
- Contraintes d'exploitation liées au besoin de remisage en arrière-gare entre Versailles-Chantiers et l'OA24. La fiche ID07 indique qu'un remisage de 14 rames est nécessaire.
- Par ailleurs, la pente maximale admissible en zone de remisage est de 3% et la pente maximale dans les zones d'aiguillage et de retournement est de 0,6%.

Caractéristiques géométriques principales

TRACE EN PLAN

RAYON EN PLAN MINIMAL 300 M

LONGUEUR ALIGNEMENT MINI ENTRE COURBE ET CONTRE COURBE 222.32

LONGUEUR MINIMALE DEVELOPPEE COURBE 29.80 M

LONGUEUR MINIMALE CLOTHOÏDE 45 M

Tronçon : Versailles Chantiers / OA24 - Caractéristiques en plan

PROFIL EN LONG

RAYON PL MINIMAL 1 000

LONGUEUR MINIMALE RAYON 21.00 M

DECLIVITE MAXIMALE 27.33 ‰

LONGUEUR MINIMALE DECLIVITE CONSTANTE 168.07 M

Tronçon : Versailles Chantiers / OA24 - Caractéristiques en profil

Points particuliers

Tracé en plan

Dans cette zone de manœuvre, la vitesse de circulation est de 50 km/h. La courbe de rayon 300 m associée à des raccordements de 45 m permet une circulation jusqu'à 70km/h.

Profil en long

Le profil en long dans cette section présente deux rayons de 1000 m inférieurs à la valeur nominale en voie principale (4670 m).

- du PK 7033+593 au PK 7033+620, rayon 1000 m → vitesse 50 km/h ;
- du PK 7033+819 au PK 7033+840, rayon 1000 m → vitesse 50 km/h ;

Cohérence des critères de tracé en plan et de profil en long

Le tracé sur cette section ne présente aucune superposition entre raccordement progressif en plan et raccordement circulaire en profil en long.

Implantation des appareils de voie

Cette section comporte deux communications à 30.00 m et 360 m en arrière gare de Versailles Chantiers.

Ces communications respectent les critères d'implantation définis dans le paragraphe 2 (alignement droit, pente inférieure à 30 ‰, distance par rapport à un élément supérieure à 20 m et distance par rapport aux quais de gare supérieure à 30 m)

Point bas tunnel / Ouvrage annexe

Point Bas situé au droit de l'OA 24.

4.2.10.3. Méthodes de construction des tunnels, et des puits de sortie

Tunnels

Il existe deux grands types de boucliers : les boucliers ouverts et les boucliers fermés. Les premiers ne sont pas capables de confiner le front de taille en vue d'équilibrer une pression hydrostatique associée (ou non) à un mécanisme de rupture du massif. Le tracé étant situé sous nappe sur la majorité du linéaire, ceci élimine de fait les boucliers ouverts. Dans la suite, nous n'aborderons donc que les types de boucliers fermés, que nous appellerons simplement bouclier par abus de langage.

Chaque bouclier doit être parfaitement adapté au tronçon qu'il va devoir réaliser : il n'est pas possible de le modifier en cours de chantier, sous peine de subir des conséquences importantes en termes de coûts et délais. Il faut donc dès à présent cibler les technologies envisageables en fonction des terrains traversés, pour que les besoins soient anticipés pour chaque bouclier.

Dans ce cadre, les points qui nécessitent d'être étudiés de manière plus approfondie et en corrélation les uns avec les autres sont les suivants :

- Mode de confinement du front
- Mode de confinement du terrain autour du bouclier
- Mode de marinage

Les tunnels seront réalisés au tunnelier avec confinement. Les recommandations de l'AFTES montrent que certains types de tunneliers sont moins adaptés dans certains contextes géologiques et géotechniques. Les choix des méthodes constructives doivent être faits en prenant en compte l'environnement du projet et les retours d'expérience propres à chaque entreprise.

Le choix du type de tunnelier est l'un des choix déterminants du projet.

Les modes de confinement présentent chacun leurs avantages et leurs inconvénients en termes d'avancement et de maîtrise des déformations.

Les entrées ou les sorties des ouvrages constituent des étapes sensibles du creusement du tunnelier. Sur une longueur correspondant à celle du bouclier, le tunnelier ne peut pas fonctionner avec sa pression nominale :

- en entrée d'un ouvrage, les pressions de confinement pourraient déstabiliser la structure traversée ;
- en sortie, sans dispositions constructives particulières à l'intérieur de l'ouvrage, le vide annulaire dû à la surcoupe pourrait engendrer des pertes de confinement vers l'intérieur de la boîte.

Des dispositifs spécifiques sont donc nécessaires pour pouvoir soit s'affranchir du besoin de confinement du tunnelier, soit permettre sa mise en œuvre.

Cette problématique du confinement ne se pose par contre pas si les ouvrages ne sont pas excavés au moment de la traversée du tunnelier.

Par ailleurs, les tunneliers n'étant pas capables de traverser des éléments métalliques, d'autres dispositions sont à prendre pour s'affranchir des armatures aciers au droit de l'ouverture dans les parois moulées. Il peut s'agir soit :

- d'armatures en fibre de verre (soft-eye) ;
- d'une découpe préalable de la zone traversée ;
- de paroi non armée.

Les dispositifs permettant de s'affranchir du besoin de confinement du tunnelier sont les suivants :

- réalisation d'un bouchon ou d'une couronne étanche par injection ;
- réalisation d'un bouchon de Jet Grouting ;
- réalisation d'une boîte étanche (barrettes au coulis, colonnes de jet-grouting sécantes).
- renforcement du front de taille (boulons en fibre de verre, colonnes de jet grouting) ;
- réalisation d'une voûte parapluie (tube pétroliers ou colonnes de jet-grouting subhorizontales) ;

Les dispositifs permettant la mise en œuvre du confinement du tunnelier en entrée d'ouvrage sont les suivants :

- cloche de confinement métallique étanche ;
- massif de béton intérieur ;
- ouvrage noyé pour équilibrage de la pression hydrostatique ;

Les dispositifs permettant de s'affranchir du besoin de confinement en sortie d'ouvrage sont identiques à ceux d'entrée.

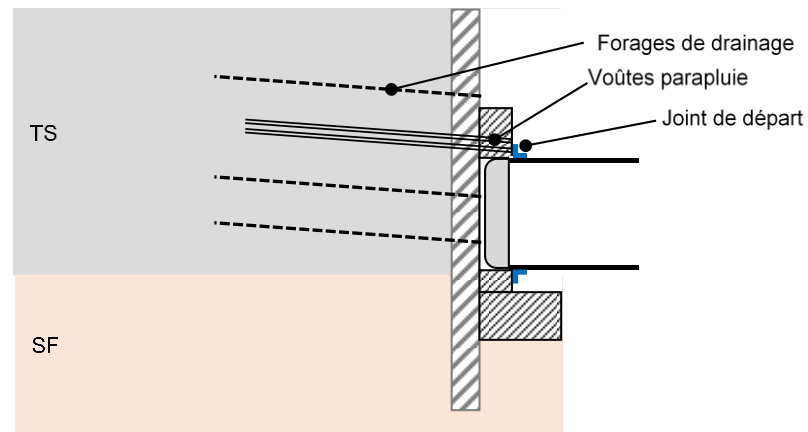


Figure 26 : Confinement d'un tunnelier en entrée d'ouvrage avec une voûte parapluie

Un démarrage de tunnelier nécessite la mise en œuvre d'un bâti de poussée sur lequel les vérins du tunnelier prennent appui.

Le seul dispositif permettant la mise en œuvre du confinement en sortie d'ouvrage est la cloche de confinement.

4.2.11. Présentation générale des ouvrages annexes

Sur la ligne 18, on distingue 24 ouvrages annexes entre Orly et Versailles.

Ces ouvrages se distinguent par des conceptions différentes liées souvent aux différentes fonctionnalités imposées pour le MOE Systèmes Ligne, mais aussi par les conditions d'insertion et de réalisation des travaux. Ainsi tous les ouvrages qui sont utilisés pour introduire ou sortir les tunneliers sont impérativement centrés sur le tunnel.

Six ouvrages annexes (OA1, OA5, OA8, OA12, OA15, OA24) sont centrés et servent à la cinématique des tunneliers soit comme puits d'entrée de tunnelier, puits de sortie ou puits logistique. L'ouvrage annexe 8 a la particularité de servir à la fois de puits d'entrée pour le TBM1 et de puits de sortie pour le TBM2 dans le cadre du lot 1, partie Est du projet .

Les 18 autres ouvrages sont excentrés par rapport au tunnel et sont construits le plus proche possible du tracé pour être ensuite raccordés par un rameau (ou par une connexion courte).

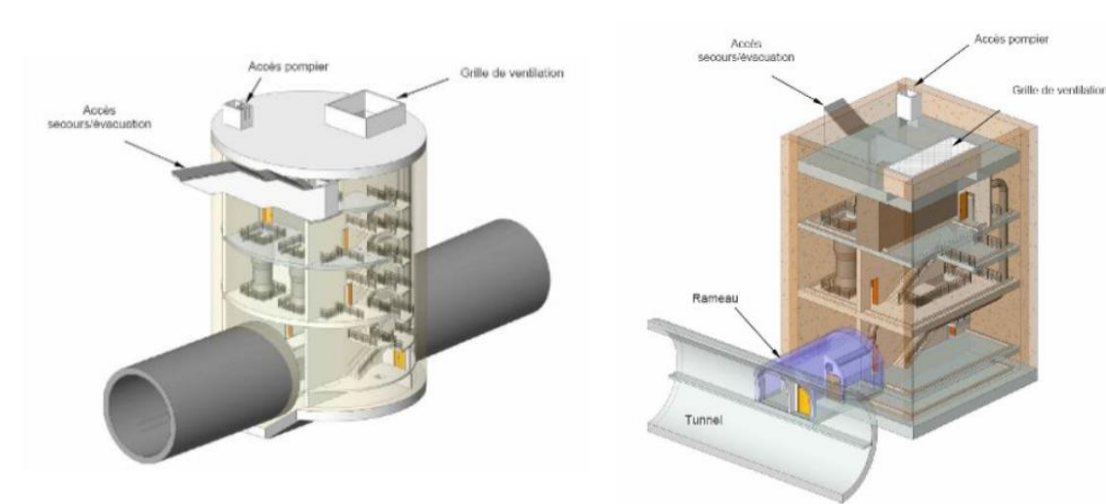


Figure 27 : Différents types d'ouvrages annexes : axé à gauche et excentré à droite

La conception des ouvrages annexes (OA) résulte de l'application de l'arrêté du 22 novembre 2005 relatif à la sécurité dans les tunnels des systèmes de transport public guidés urbains de personnes.

Les ouvrages annexes doivent pouvoir assurer une ou plusieurs des fonctions :

- Accès de secours pour les pompiers/ brigades d'intervention en situation critique ;
- Accès de maintenance pour effectuer des interventions dans l'ouvrage annexe ou le tunnel ;
- Evacuation contrôlée des voyageurs en cas d'incident ;
- Ventilation et désenfumage du tunnel ;
- Décompression pour réduire les effets du pistonnage ;
- Epuisement et relevage des eaux recueillies dans le tunnel ou dans l'OA ;
- Hébergement des différents locaux techniques qui assurent principalement l'alimentation ou la distribution électrique nécessaire au fonctionnement de la ligne (poste force, poste de redressement, local courant faible,...).

4.2.12. Définition

• Fonction de secours des ouvrages annexes

Les besoins fonctionnels d'accès assurés par tous les ouvrages annexes de la ligne 18 peuvent se résumer par un accès rapide des secours en cas d'urgence et une évacuation de tous les passagers par les services de secours en cas d'incident.

Les principaux dispositifs intégrés aux puits pour permettre l'accès des services de secours et l'évacuation contrôlée par les services de secours conformément à l'arrêté du 22 novembre 2005 sont décrits ci-dessous :

- L'accès des secours dans les tunnels forés ou en tranchée couverte est possible soit par une gare, soit une tête de tunnel ou par un puits si la distance entre deux accès est supérieure à 800 mètres.
- L'émergence des puits doit se situer à moins de 50 m d'une voirie permettant l'arrivée des véhicules de secours, le croisement des véhicules ainsi que leur retournement dans le cas d'une voie en cul de sac.
- Les dispositifs spécifiques d'accès secours ont une largeur minimale de 1,4 mètre et une hauteur minimale de 2,2 mètres. Ils sont reliés au tunnel par un sas mis en surpression et équipé de portes de degré coupe-feu une demi-heure ou EI 30, ou REI 30.
- Un volume tampon ayant une surface minimale de 25 mètres carrés est réalisé entre le sas et le volume ascenseur-escalier.
- Lorsque les voies se trouvent à moins de 30 mètres de profondeur, un monte-charge est prévu. Au-delà de 30 mètres de profondeur, un ascenseur permettant le transport du brancard normalisé doit être prévu dans les dispositifs d'accès.
- Par exception, l'OA7 est équipé d'un ascenseur bien que sa profondeur soit inférieure à 30 m. Il s'agit d'une mesure compensatoire au dépassement des 800 m pour l'interdistance OA6-OA7 et OA7-gare d'Antoypole.

Les escaliers assurent deux unités (2UP) soit 1.4m de largeur, conformément à la règle applicable dans les ERT et conformément au programme fonctionnel des infrastructures.

Par ailleurs, des dispositifs supplémentaires sont à prévoir dans les puits, ces dispositifs sont :

- Deux colonnes sèches d'une surface de 0.3m x 0.3 m pour l'alimentation en eau en cas d'incendie ;
- Des prises électriques ;
- Des dispositifs d'éclairage.

• Fonction assainissement / exhaure

La plupart des OA n'assurent que le relevage de leurs propres eaux. Quelques ouvrages, notamment ceux placés aux points bas, assurent l'épuisement des eaux du tunnel. Des fosses de relevage sont installées aux pieds de chaque ouvrage.

Les points bas du profil en long du tunnel en intergares sont tous positionnés au niveau des ouvrages annexes hormis le point bas situé au niveau des étangs de la Minière qui nécessite la mise en place d'une structure spécifique dédiée au drainage du point bas.

Certains ouvrages annexes assurent donc en plus des fonctions d'accès pompiers / ventilation-désenfumage le rôle d'ouvrages d'exhaure / assainissement du tunnel (et d'eux-mêmes).

Ils sont dimensionnés pour permettre l'écoulement et le recueil des eaux d'infiltration du tunnel sur une période suffisamment étendue.

L'assainissement en tunnel repose sur un réseau unitaire collectant :

- les eaux d'exhaure provenant de l'infiltration d'eau de nappe dans les ouvrages (tunnel et ouvrage annexe) ;

- les eaux pluviales recueillies dans les ouvrages annexes par le biais des grilles de ventilation désenfumage (les eaux de toiture des émergences étant traitées en surface) ;
- les eaux d'incendie ou d'essais de fonctionnement ;
- les eaux « sales » (matériel roulant, nettoyage, ...).

L'écoulement se fait de façon gravitaire dans le tunnel ; les pentes nulles se situent aux abords des gares ou des ouvrages annexes.

• Locaux techniques et ouvrages annexes

Ventilation/désenfumage

Suivant l'arrêté du 22 novembre 2005 [1] l'implantation des ouvrages doit permettre de protéger les stations encadrant le tunnel et tout point situé à plus de 800 m de l'origine des fumées.

Les principes suivants sont retenus pour la conception du système de ventilation/désenfumage au sein des ouvrages annexes :

- Les points d'extraction massifs des usines de ventilation sont espacés d'un maximum de 1600m (fonction désenfumage) ;

La distance entre le tympan d'une gare et l'OA le plus proche ne peut pas excéder 800m

- Les fonctions de ventilation et de désenfumage sont mutualisées au sein des ouvrages annexes. Des puits de décompression « Bypass » qui assurent également une ventilation naturelle de l'OA sont réalisés avec les conditions suivantes :
 - o Le flux d'air dans le « bypass » est indépendant (e.g. pas d'interférence avec la zone de maintenance des usines de ventilation) ;
 - o Les « bypass » sont équipés de registres motorisés et de pièges à son.

Chaque usine de ventilation comporte deux ventilateurs réversibles pouvant assurer chacun 100% des besoins de désenfumage (redondance complète). Pour rappel, la fonction désenfumage doit être assurée en cas de défaillance d'un équipement de ventilation.

Selon les caractéristiques géométriques de l'ouvrage annexe concerné, les ventilateurs sont positionnés horizontalement, ce qui est préférable pour la maintenance.

Les conduits de ventilation présentent une section libre minimum de 20m². Le débit unitaire attendu par les ventilateurs de désenfumage tunnel est de 135 m³/s.

Afin d'assurer la maintenance et le remplacement des équipements dans les ouvrages, il est prévu une aire de stationnement de 250m² à proximité immédiate de chaque ouvrage, le plus près possible de la trappe de livraison du matériel.

Les grilles de désenfumage en voirie présentent une surface de 60 m² lorsqu'elles sont accessibles au public afin de limiter la vitesse de l'air au passage de la grille à 2,5 m/s. Cette vitesse peut être augmentée jusqu'à 5 m/s par exemple lorsque des cours anglaises sont utilisées (la taille de la grille peut être diminuée de moitié)

Des pièges à son et des registres sont utilisés pour piloter les usines de ventilation tout en réduisant les nuisances sonores.

• Poste force et locaux batteries

Le poste force (PF) assure la transformation et la fourniture de l'énergie électrique aux installations inter-gare à l'exclusion des installations de traction.

Un PF est divisé en deux ½ PF, chacun raccordé sur une artère Haute Tension distincte. Chaque ½ PF est composé :

- d'une partie qui assure la transformation HT/BT ;
- d'une autre partie qui assure la distribution BT Tunnel.

Chaque PF est associé à un local batterie (surface de 12 m²).

Pour les OA équipés d'usine de ventilation, la surface de ½ PF est de 50 m² (une puissance installée de 1000 KVA). Leur gabarit intérieur est de 4 mètres.

L'accès doit être proche de la voirie, et disponible 24h/24. Pour les OA sans émergence où ce local sera enterré, une trémie d'accès de matériel avec une grille technique est prévue (surface de passage libre/ grille est de 2m x 3m).

• Autres locaux techniques

Les ouvrages annexes constituent une opportunité d'intégration de certains des équipements nécessaires au fonctionnement de l'infrastructure et du système de transport. Le déport de ces équipements en ouvrage annexe permet ainsi d'éviter la création de niches en tunnel dont la réalisation est difficile et coûteuse.

Les locaux techniques concernés comprennent :

- Poste de Sous-Sectionnement (PSS)
- Point de livraison (PL)
- Poste de redressement (PR)
- Local courants faibles Opérateurs puits
- Local courants faibles Puits
- Local courants faibles Puits - mutualisé local annexe automatisme
- Local ventilation / désenfumage tunnel
- Local variateur pour ventilateurs
- Local de résistance de freinage pour ventilateurs
- Local CVC ouvrage annexe
- Poste de relevage épuisement puits
- Fosse de pompage
- Locaux opérateurs numériques (cahier des charges SGP).

• Maintenance

La conception est menée en intégrant les contraintes liées à la maintenance des équipements.

Les aménagements des ouvrages annexes doivent permettre aux personnels d'accéder facilement aux locaux, de manutentionner et d'acheminer le matériel, ou d'intervenir sur les équipements de façon aisée et dans le respect des exigences réglementaires de sécurité.

La desserte des locaux techniques doit être possible lors de l'installation initiale des équipements, mais aussi lors de l'exploitation de l'infrastructure. Le remplacement d'un équipement doit s'effectuer par un cheminement qui n'impose pas le démontage d'un quelconque autre équipement.

Les opérations de maintenance dans les ouvrages annexes sont :

- des interventions ponctuelles classiques de quelques heures qui se font de manière régulière ;
- des opérations de maintenance exceptionnelles pour le remplacement d'un gros équipement, par exemple un ventilateur, un transformateur.

• Contraintes de site

Les principes d'accessibilité principaux sont :

- Les trappes d'accès destinées aux Sapeurs-secours doivent se situer à moins de 50m d'une voirie permettant à la fois l'acheminement, le croisement et éventuellement le retournement (voie en cul-de-sac) des véhicules de secours ;
- L'aire de déchargement des équipements des ouvrages annexes (privative ou non) devra être accessible par voie routière de façon continue. Elle devrait être située à proximité directe des trappes d'accès de matériels (OA enterré) ou des portes (OA en émergence) ;
- Les locaux techniques sont accessibles par les équipes habilitées. L'accès d'un local technique se fait sans passage obligatoire par un autre local ;
- Afin de faciliter l'accessibilité du poste d'épuisement au personnel de maintenance, la hauteur minimale de la fosse est de 2,2m (identique pour l'accès de secours).
- Lorsque le Z Rail se trouvent entre 15 mètres et 30 mètres de profondeur, un puits de dimensions minimale 1 x 2 mètres avec poulie de descente de matériel est mis en place. Au-delà de 30 mètres de profondeur, un ascenseur permettant le transport du brancard normalisé doit être installé.

Les réseaux concessionnaires présents sur les sites de travaux de chaque ouvrage annexe sont identifiés sur les plans de synthèse des réseaux spécifiques à chaque ouvrage annexe.

Des concertations sont en cours avec leurs gestionnaires pour procéder à leur dévoiement préalablement aux travaux.

• Interface tunnel / ouvrages annexes

Les ouvrages annexes communiquent avec le tunnel par l'intermédiaire de galeries souterraines, creusées avec des méthodes conventionnelles à l'abri de traitement de terrains. Sur la ligne 18, étant donné la profondeur très importante de certains ouvrages annexes, il a été étudié des connexions courtes construites à partir de paroi au coulis directement lors de la réalisation des puits.

Ces galeries de liaison intègrent toutes les connexions entre ouvrages et tunnel. Il s'agit principalement de l'accès des secours, de la gaine de ventilation/désenfumage, ainsi que des passages de câbles et réseaux divers pour les différents corps sous-systèmes du tunnel.

• Les types rameaux de connexion entre le tunnel et les ouvrages annexes

Deux principales fonctionnalités de service ont été identifiées pour les rameaux de connexion entre le tunnel et les ouvrages annexes. Ces fonctionnalités sont en liaison directe avec la fonctionnalité des puits associés. Ainsi on distingue :

- Les rameaux d'accès secours servant essentiellement au cheminement des secours et au passage des réseaux vers les locaux techniques des puits.
- Les rameaux d'accès secours et de ventilation servant au cheminement des secours, au passage des réseaux vers les locaux techniques des puits ainsi qu'au passage des gaines de ventilation.

Les accès secours ont une largeur minimale de 1,4 mètre et une hauteur minimale de 2,2 mètres. Ils sont reliés au tunnel par un sas mis en surpression et équipé de portes de degré coupe-feu une demi-heure ou EI 30, ou REI 30. La porte coupe-feu donnant sur le tunnel doit prévoir le passage des tuyaux d'eau pour la lutte incendie. Un volume tampon ayant une surface de 25 mètres carrés est réalisé entre le sas et le volume ascenseur-escalier.

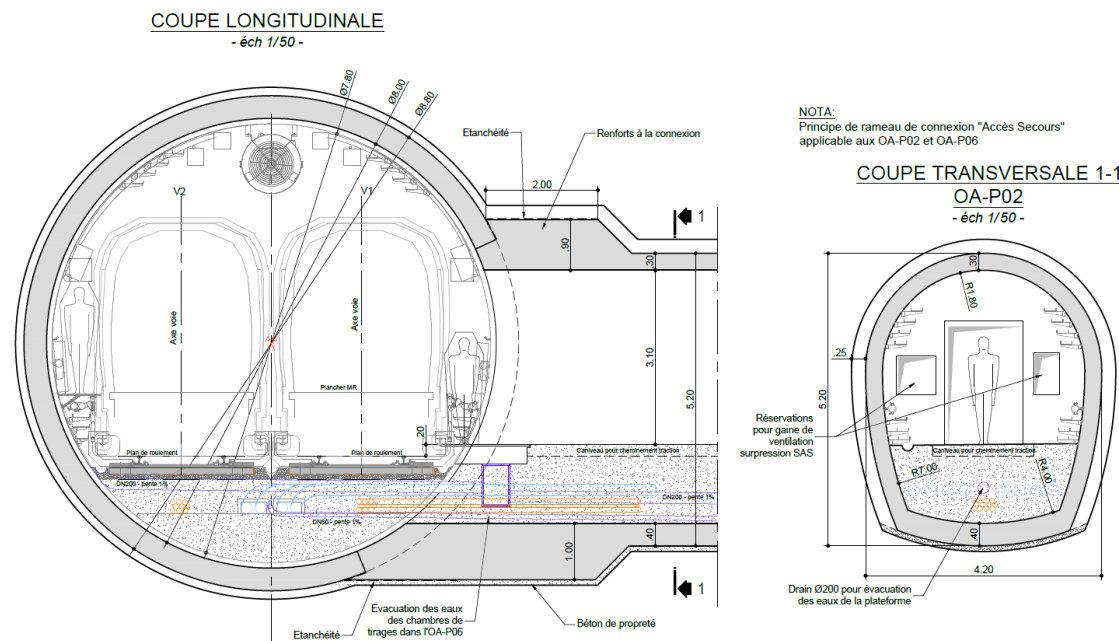


Figure 28 : Coupes types d'un rameau unitaire servant uniquement d'accès de secours (OA2, OA6)

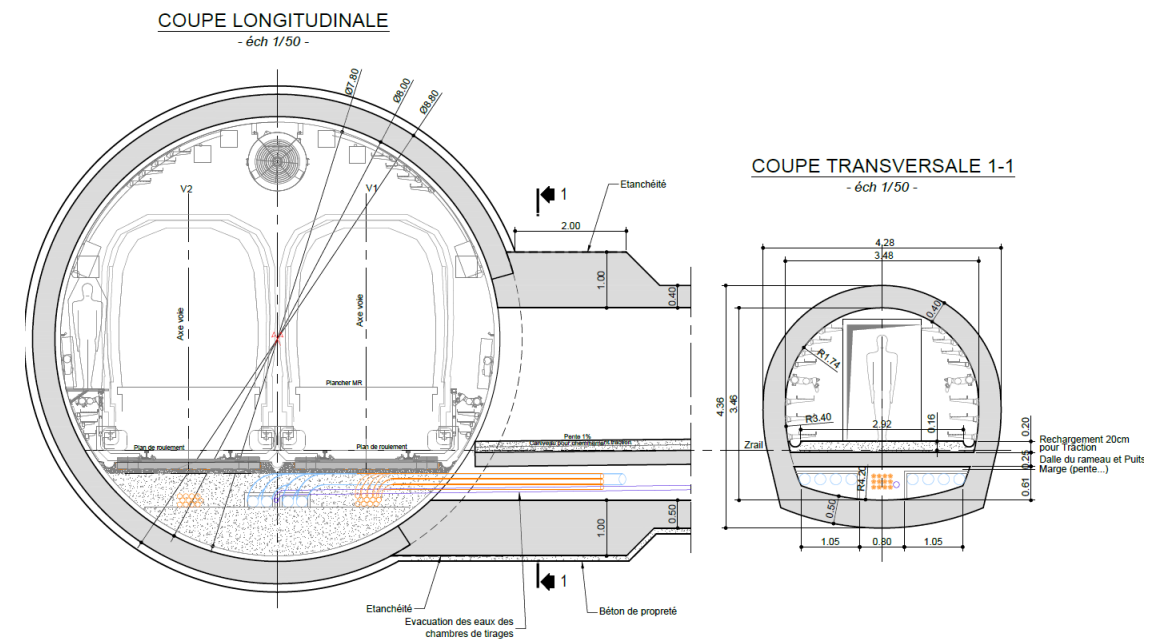


Figure 29 : Coupes types d'un rameau unitaire servant uniquement d'accès secours (OA10, OA13, 22bis)

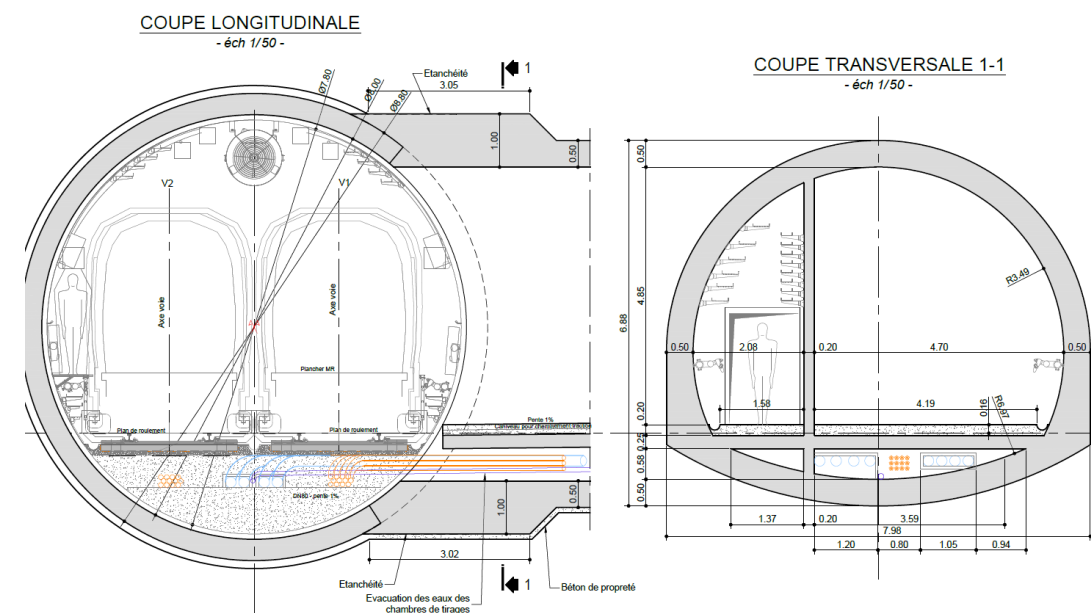


Figure 30 : Coupes types d'un rameau mutualisé accès secours et ventilation (OA9, OA11, OA14, OA21, OA22, OA23)

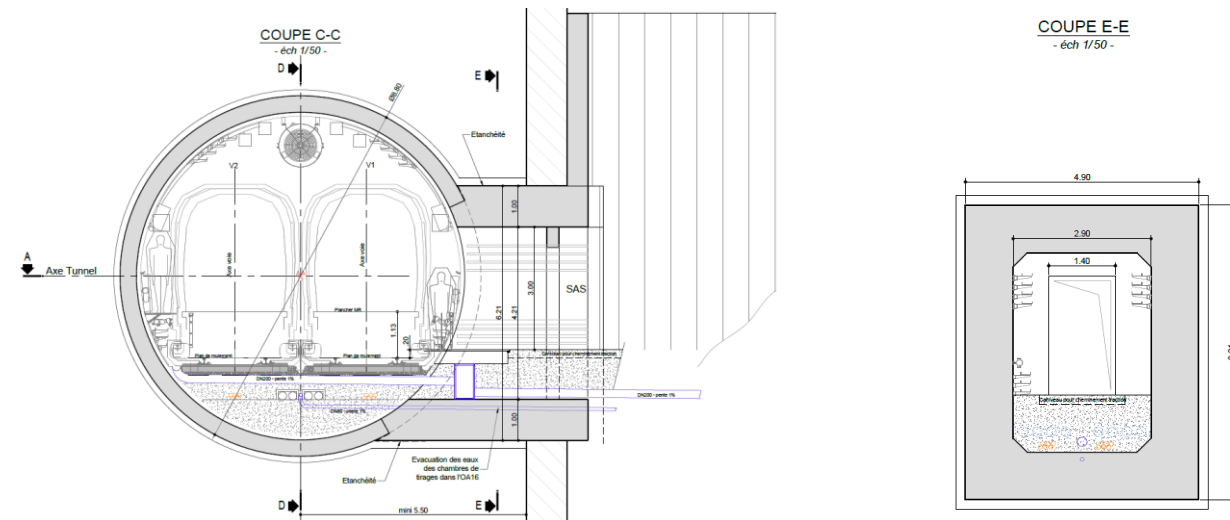


Figure 31 : Coupes types d'un rameau cadre servant uniquement d'accès secours (OA4, OA16, OA18 et OA20)

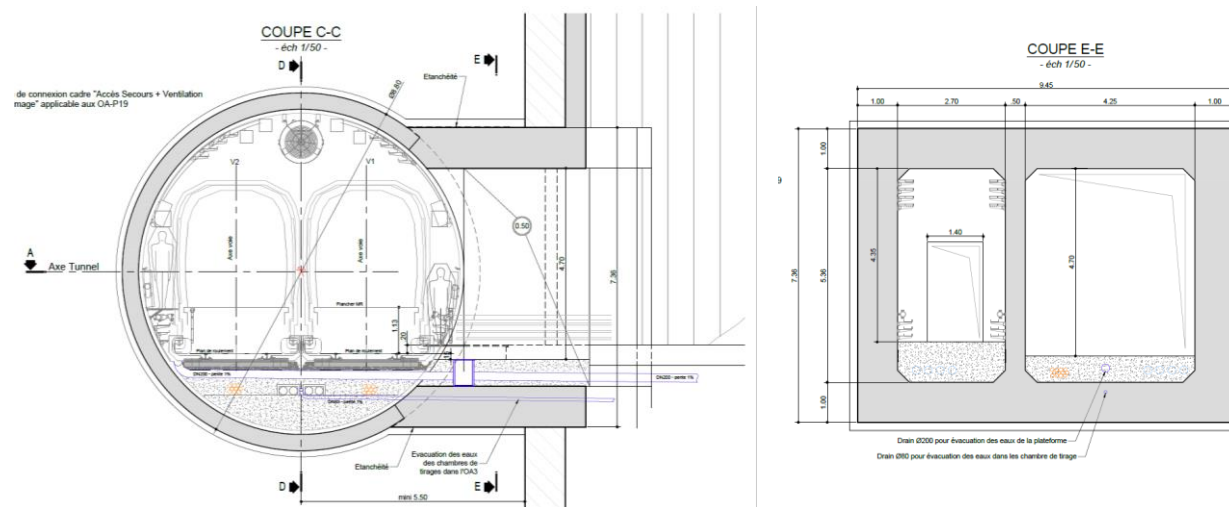


Figure 32 : Coupes types d'un rameau cadre (connexions courtes) accès secours et ventilation (OA3, OA7, OA19)

• **Traitement des terrains**

Pour réaliser le creusement des galeries, il est nécessaire de venir traiter les terrains soit pour réduire les arrivées d'eau, soit pour conforter les terrains. Les techniques envisagées selon les contextes géologiques sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

Faciès géologique	Pré-soutènement	Injection de consolidation	Injection d'étanchéité ou drainage selon perméabilité	Substitution (jet ou paroi ou coulis)	Congélation
Marnes de Pantin	X	X	X		
Marnes d'Argenteuil	X				
Masses et Marnes du Gypse	X	X	X		
Sables de Fontainebleau (hors nappe)	X			X	
Sables de Fontainebleau (sous nappe)				X	X

Figure 33 : Tableau des techniques de traitement de terrain en fonction du contexte géologique

La profondeur des ouvrages rend complexe et hasardeux la réalisation de ces traitements depuis la surface. Il faudra envisager les traitements par les puits, mais cette tâche est rendue complexe lorsqu'il faut travailler sous le niveau de la nappe (utilisation des SAS). Aussi les connexions courtes apportent une réponse puisqu'elles réduisent fortement la quantité des traitements. Chaque ouvrage annexe nécessite une étude particulière.

• **Cadres amorce types**

Le raccordement des rameaux au tunnel se fera par des structures en béton armé de forme rectangulaire à l'extrados et voûtée selon la géométrie du rameau à intrados.

Le revêtement du tunnel constitué d'anneaux de voussoirs juxtaposés ne permet pas des reports de charge très élevés de part et d'autre des ouvertures qui y sont créées. Pour y pallier il est nécessaire de prévoir des structures de raccordement d'autant plus lourdes que l'ouverture est large (par exemple rameau avec ventilation).

• **Confortement des anneaux**

Quelle que soit l'ouverture considérée un confortement provisoire des anneaux est à mettre en place pour :

- limiter les effets du déconfinement du terrain dus à la proximité du front de taille du rameau ; dans certaines conditions (terrain raide, rameau de petite section) il sera possible d'excaver la totalité du rameau et de réaliser le cadre depuis le rameau sans ouverture des anneaux ;

- compenser la perte de rigidité des anneaux de revêtement après ouverture.

On prévoit de mettre en œuvre tout ou partie des dispositions suivantes, en fonction des charges de terrains :

- Cintrages partiels ou complets du tunnel avec poutres longitudinales de transferts des charges des anneaux intérieurs vers les anneaux encadrant l'ouverture, si besoin par vérinage ;
- Mise en œuvre de jambes de force (cintres demi-lune) ;
- Mise en œuvre de plots de cisaillement le long des joints circonférentiels.

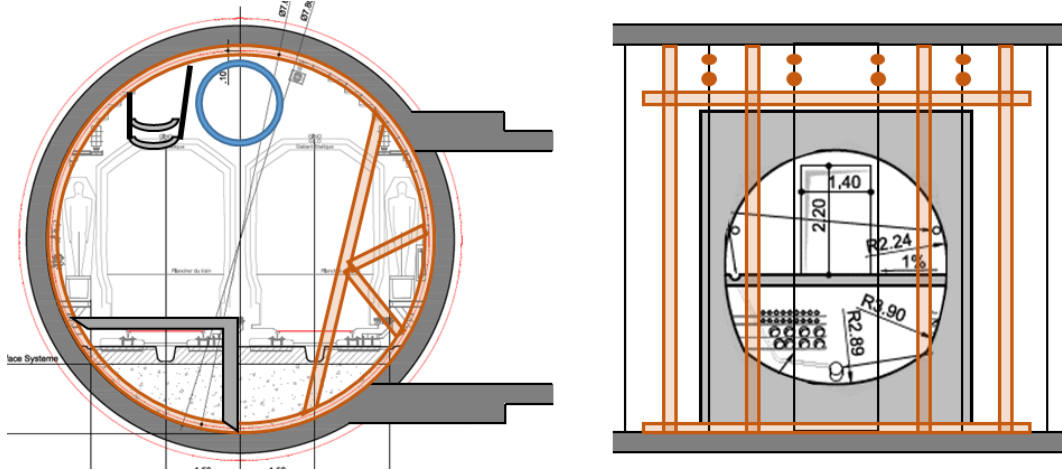


Figure 34 : Confortement des anneaux de voussoirs

• Démontage des voussoirs, excavation, bétonnage

Le démontage se fait par parties, anneau par anneau, en découpant les voussoirs par carottage et/ou à la scie au câble.

Le point délicat réside dans la mise en œuvre de l'étanchéité et sa continuité en cas de bétonnage par plots. Il peut être préférable de recourir à une étanchéité d'extrados.

4.2.13. Repérage et synoptique des ouvrages annexes

La ligne 18 présente 14 ouvrages annexes définitifs sur le tronçon Est et 10 ouvrages annexes sur le tronçon Ouest.

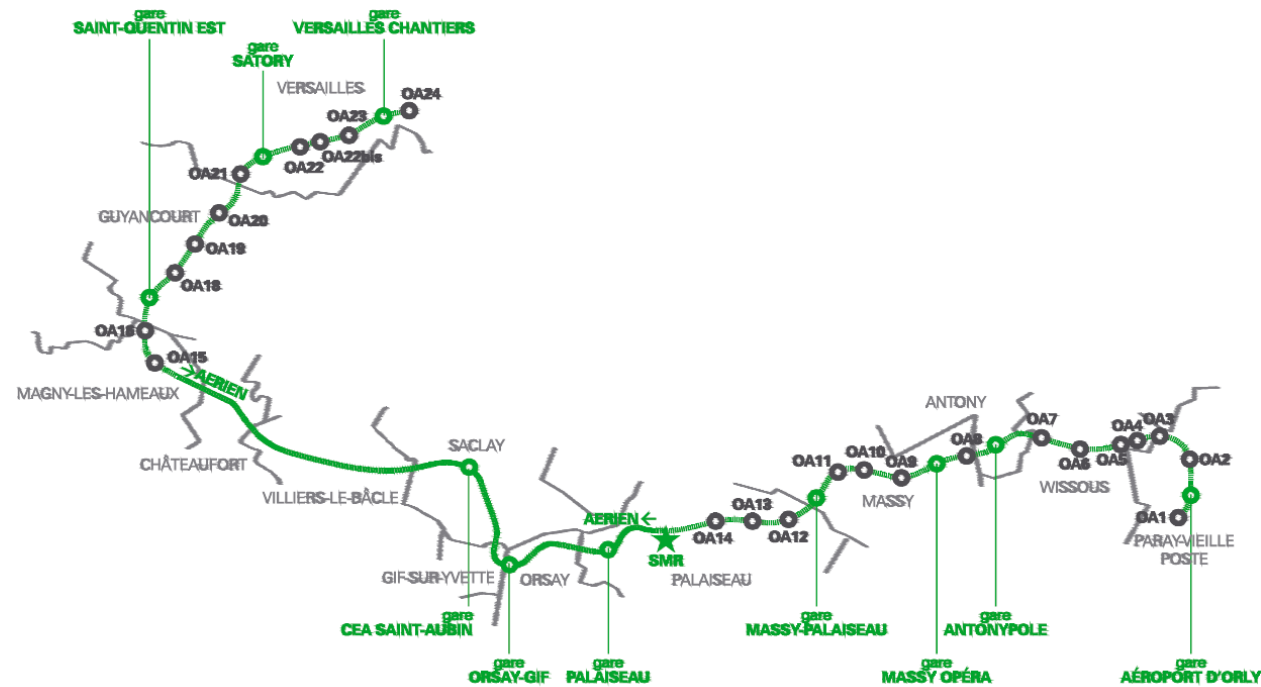


Figure 35 : localisation des ouvrages annexes

Le synoptique suivant présente les inter-distances entre les OA successifs ainsi que les principales caractéristiques et fonctionnalités des Ouvrages Annexes.

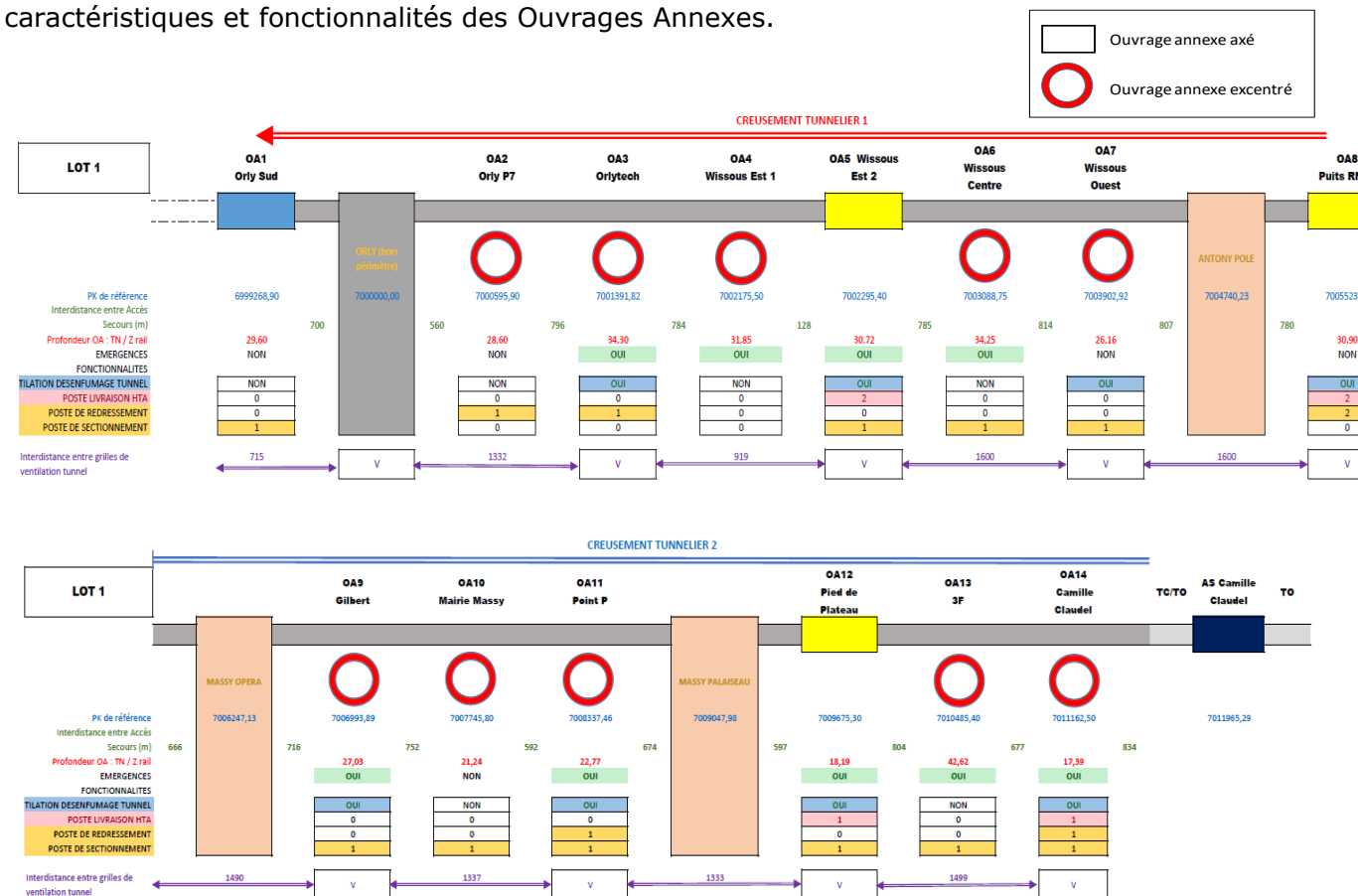


Figure 36 : Synoptique des ouvrages annexes sur la ligne 18 – Tronçon Est

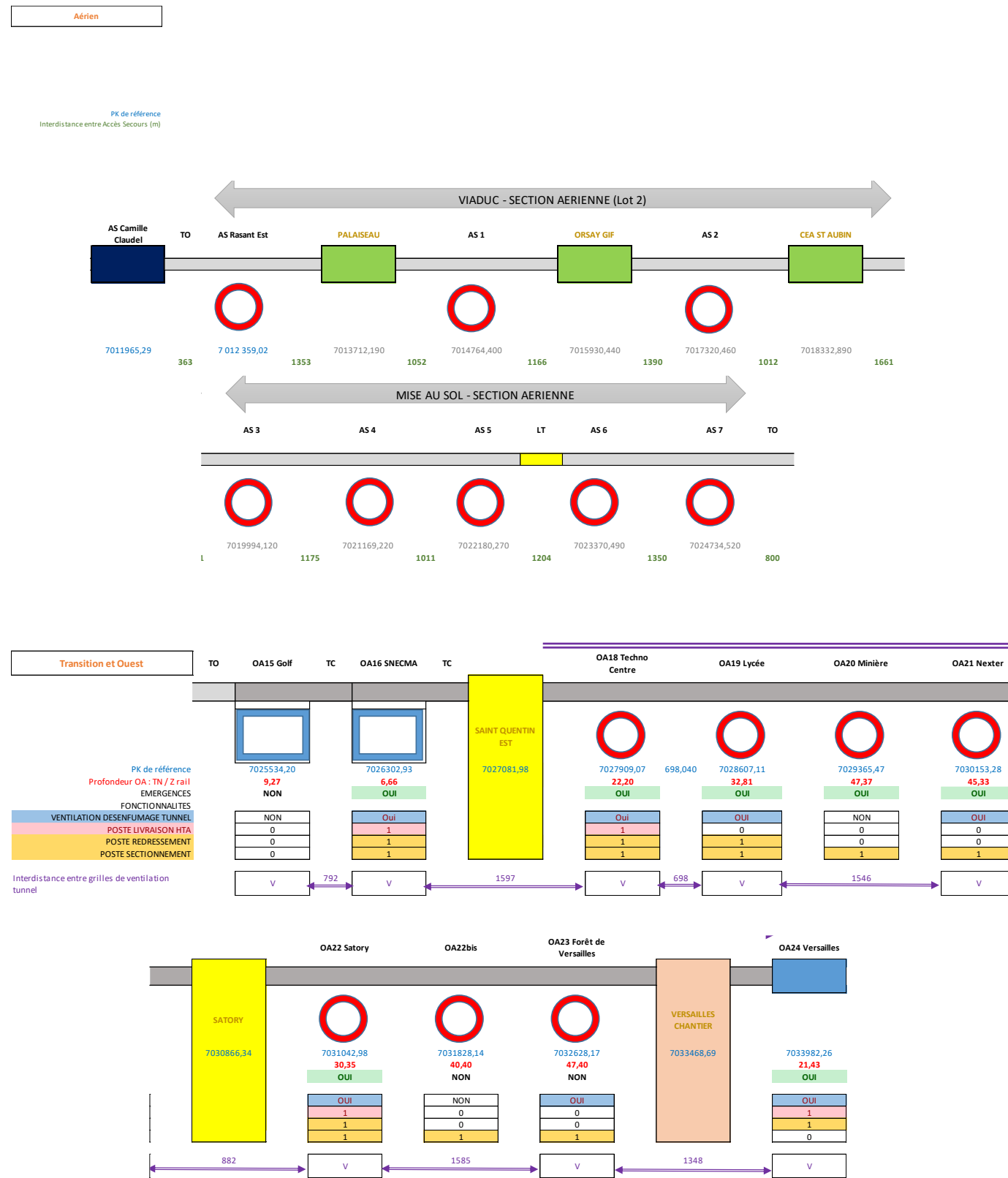


Figure 37 : Synoptique des ouvrages annexes sur la ligne 18 – Tronçon Ouest

Evacuation de secours	Interdistance
OA1	698 m
Gare d'Orly	565 m
OA2	796 m
OA3	784 m
OA4	128 m
OA5	785 m
OA6	814 m
OA7	807 m
Gare d'Antony	780 m
OA8	666 m
Gare de Massy-Opéra	716 m
OA9	752 m
OA10	592 m
OA11	674 m
Gare de Massy-Palaiseau	597 m
OA12	804 m
OA13	677 m
OA14	680 m
OA14 Bis - Camille Claudel (CC)	942 m
Accès rasant au niveau de la rampe	783 m
Gare de Palaiseau	1057 m
AS viaduc 1	1161 m
Gare d'Orsay-Gif	1390 m
AS viaduc 2	1012 m
Gare de CEA Saint-Aubin	1669 m
AS sol 3	1175 m
AS sol 4	1011 m
AS sol 5	1204 m
OA15 bis	-

Evacuation de secours	Interdistance
AS sol 6	1350 m
AS sol 7	800 m
OA15	742 m
OA16	598 m
Gare de Saint Quentin Est	801 m
OA18	794 m
OA19	803 m
OA20	767 m
OA21	704 m
Gare de Satory	135 m
OA22	783 m
OA22bis	800 m
OA23	804 m
Gare de Versailles-Chantier	473 m
OA24	

Figure 38 : Tableau récapitulatif des inter-distances

4.2.14. Description des ouvrages annexes

Comme évoqué précédemment, les ouvrages annexes sont de deux types :

- Les ouvrages axés : OA1, OA5, OA8, OA12, OA15, et OA 24. Ces ouvrages servent à la cinématique des tunneliers (puits d'entrée, de sortie ou de logistique).
- Les ouvrages excentrés : OA2, OA3, OA4, OA6, OA7, OA9, OA10, OA11, OA13, OA14, OA16, OA18, OA19, OA20, OA21, OA22, OA22bis, OA23.

• Ouvrages annexes axés

La volumétrie de ces ouvrages annexes axés est principalement conditionnée par les dimensions de trémies qu'il faut laisser pour introduire ou démonter le tunnelier à l'intérieur de ces puits. Leur profondeur est souvent dictée par le tracé et les conditions géologiques.

Pour l'ouvrage OA8 une forme intégrant un puits cylindrique relié à une partie rectangulaire a été retenue. Pour l'ouvrage OA15 une forme rectangulaire a été retenue, tandis que pour les ouvrages

OA1, OA5, OA12 et OA24 une forme circulaire a été préférée pour permettre de s'affranchir d'un réseau de butons complexe et intégrer dans la conception les prolongements de ligne.

De manière générale, les ouvrages de forme rectangulaires peuvent héberger de nombreux locaux techniques en souterrain, si plusieurs niveaux de dalle sont coulés. Les locaux techniques ne sont alors pas dimensionnants sauf exception.

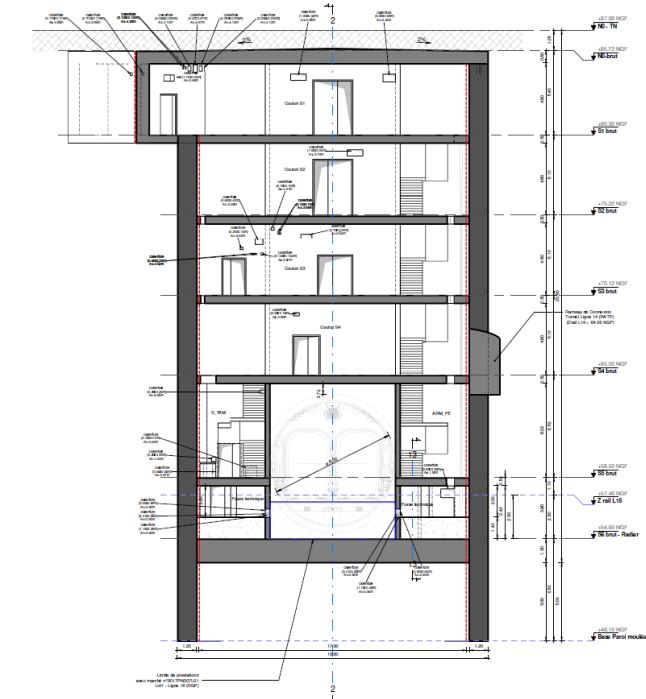
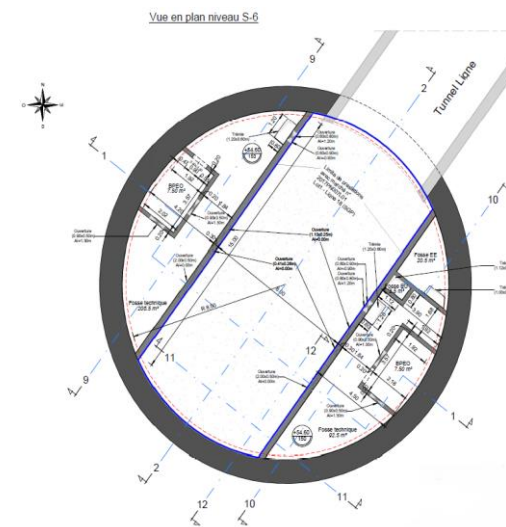


Figure 39 : exemple d'ouvrage centré – puits de sortie OA1 mutualisé avec L14

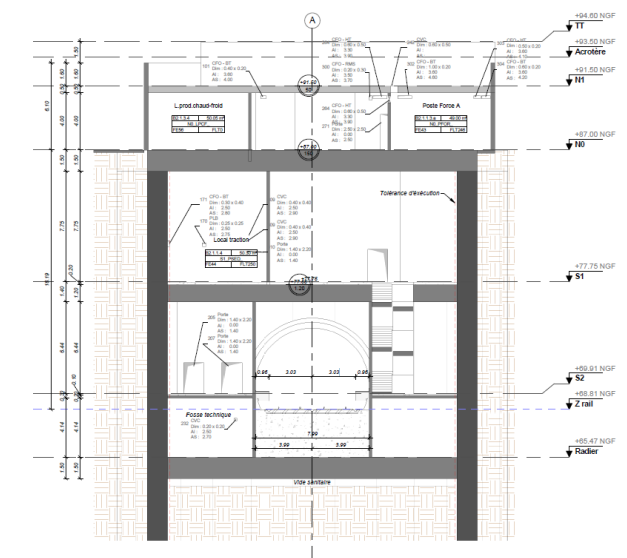
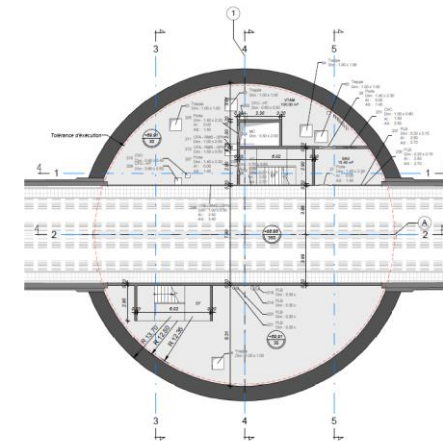


Figure 40 : exemple d'ouvrage centré – puits de logistique de tunnelier OA12

• **Ouvrages annexes excentrés**

Les ouvrages excentrés sont constitués par deux sous-ensembles :

- Un puits profond de diamètre limité puisque les locaux techniques sont exportés à proximité du terrain naturel. Il est réalisé en parois moulées, technique de construction qui s'applique bien à la profondeur des ouvrages dans le contexte géologique des sites (présence de nappes, pression de gonflement des argiles)
- Un ouvrage de tête abritant la plupart des locaux techniques et les zones de maintenance, les émergences. L'ouvrage se situe à une profondeur moindre, et donc il est envisageable de prévoir ses soutènements provisoires légers en utilisant les techniques des puits blindés ou des parois berlinoises.

Les ouvrages de tête présentent des émergences selon la configuration des sites, lorsque c'est autorisé afin d'optimiser le coût des ouvrages annexes.

Les puits profonds se distinguent suivants leurs fonctionnalités : soit un simple accès de secours, soit un puits de ventilation (toujours couplé à un accès de secours).

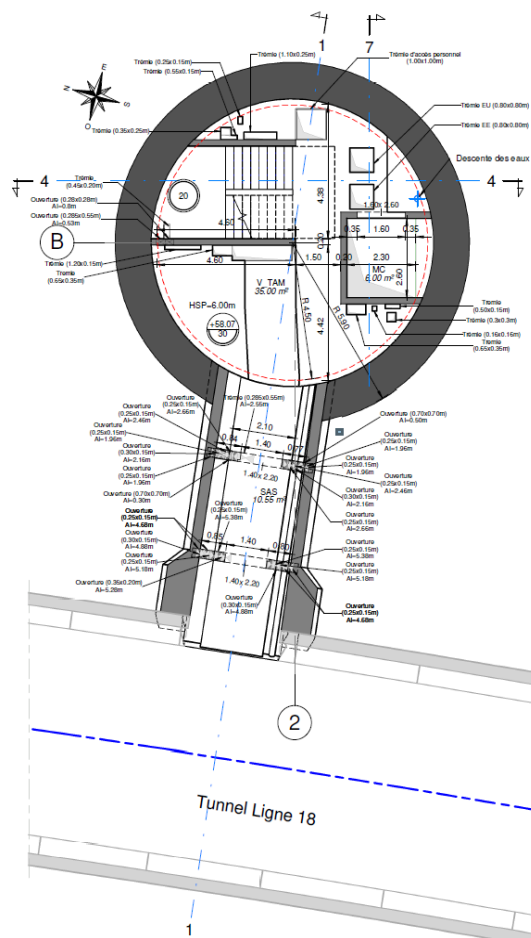


Figure 41 : Exemple d'un puits de secours excentré – Vue en plan niveau S5 (OA2)

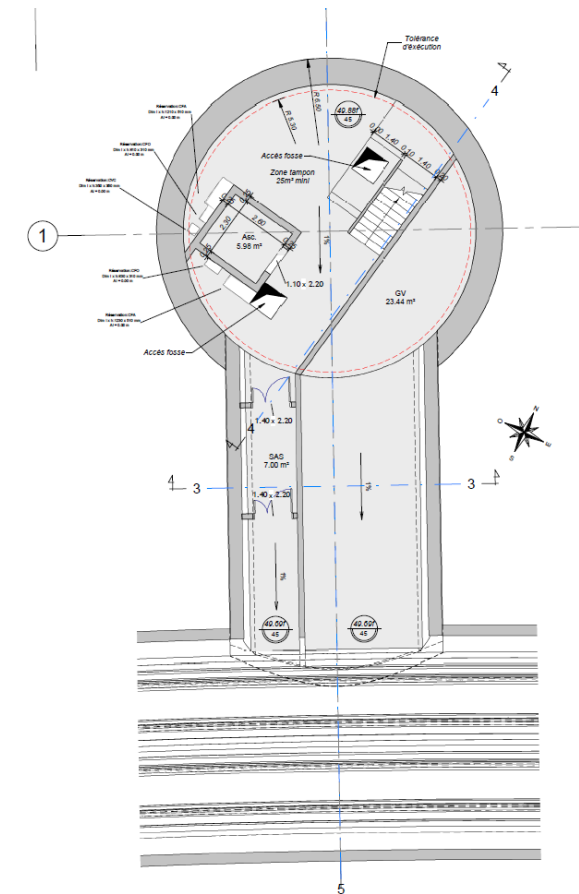


Figure 42 : Exemple d'un puits de ventilation – Vue en plan niveau Z-rail (OA11)

• **Les émergences**

Les émergences doivent permettre d'assurer :

- Les accès des secours, les évacuations
- Les accès pour la maintenance
- Les espaces nécessaires aux extractions/injections (gaine d'air, eaux de drainage, cheminement vertical et monte-charge, ascenseur...)
- Les passages des câbles, réseaux divers

Certaines émergences sont imposées : par exemple, ENEDIS demande que les postes de livraison électrique soient installés dans un bâtiment en bordure d'une voirie d'accès.

Pour les autres émergences, les données de sites sont prises en compte (proximité de bâtiment avoisinant, zone à protéger, site classé ...), ainsi que les données programmatiques qui imposent sur la ligne 18 un accès avec une porte.

Dans la conception de la ligne 18, il existe principalement 2 types d'émergence :

- Emergence limitée à des grilles et des trappes au sol (Exemple ORLY OA1 sous le parking des dégivreuses)

- Emergence d'un bâtiment d'une hauteur d'environ 5m qui vient s'insérer dans une parcelle avec les accès pour les secours et la maintenance. Dans le cas d'habitations proches, des études acoustiques sont menées pour rester conforme à la législation.



Figure 43 : Exemple d'une émergence limitée à des grilles et des trappes au sol -OA1 ORLY sous le parking des dégivreuses

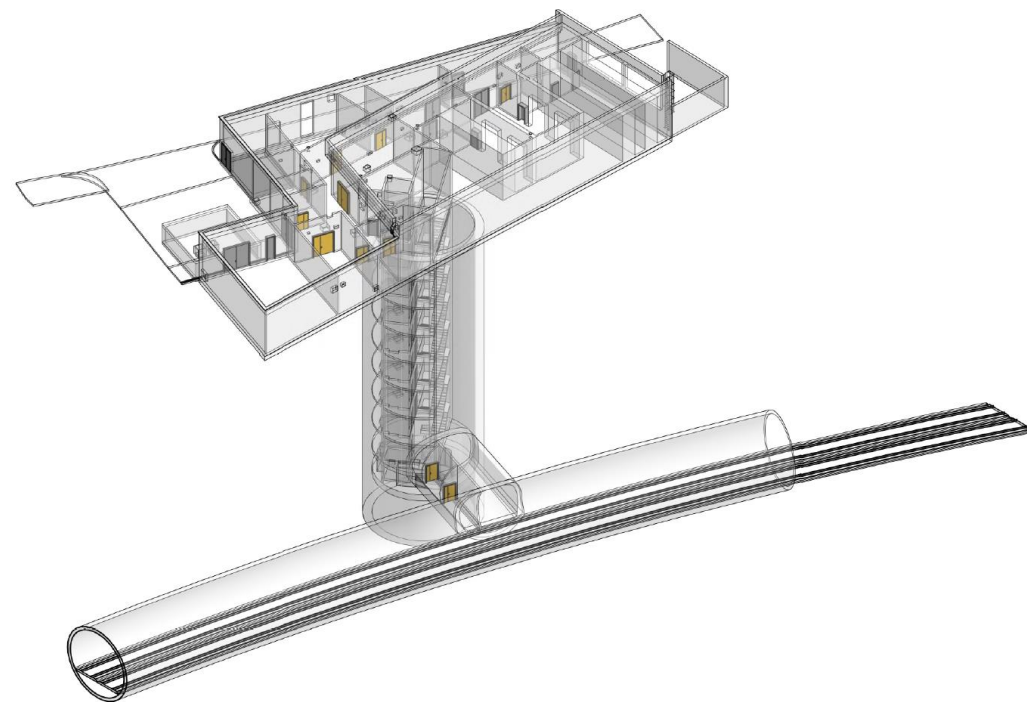


Figure 44 : Exemple d'une émergence bâtiment -- Vue 3D

4.3. Section aérienne

4.3.1. Avant-Projet modifié Février 2022 – Rappel des modifications

Initialement la conception de la section aérienne de la ligne 18 prévoyait un viaduc de 12,6 km et un passage au sol sur environ 600 m.

Les directives gouvernementales de février 2018 ont conduit la SGP à entreprendre une reprise de la conception de la ligne 18 avec l'objectif de réduire les coûts de réalisation des travaux, ainsi que d'en améliorer son insertion locale.

La SGP a alors lancé en 2019 une étude de faisabilité du passage au sol du viaduc sur le plateau de Saclay afin d'étudier l'opportunité de remplacer la section Ouest du viaduc par un passage au sol, de vérifier sa faisabilité et d'évaluer l'intérêt économique. Cette solution, finalement retenue, consiste à concevoir une section aérienne composée d'un viaduc de 6,7 km, d'un passage au sol côté ouest sur environ 7,2 km (compris la TO et la TC) et d'un passage au sol côté Est sur 600 m.

4.3.2. Programme fonctionnel

L'infrastructure aérienne de la ligne 18 du Grand Paris Express permet au système de transport retenu pour la ligne de franchir, en surface, 13 km environ au travers du plateau de Saclay.

Elle intègre trois gares aériennes qui sont, d'Est en Ouest :

- Gare de Palaiseau,
- Gare d'Orsay-Gif,
- Gare de CEA-Saint-Aubin.

4.3.2.1. Principales caractéristiques du système de transport de la L18

- Ligne de type automatique non interopérable,
- Vitesse d'exploitation de la ligne : 100km/h,
- Propulsion/Traction électrique en courant continu 1500 V, par ligne de contact en troisième rail et circuit de retour par la voie,
- Matériel roulant sans personnel à bord de largeur de caisse 2.50 m et de longueur maximum 60m,
- Guidage sur voie normale avec longs rails soudés, et écartement standard UIC
- Cheminement d'évacuation et de maintenance à hauteur moyenne du plancher train,
- Freinage mécanique et/ou régénératif électromagnétique,
- Trois gares, de construction éventuellement non simultanée dans le temps, conçues pour regrouper toutes les fonctions centrées sur l'accès au train, dont l'information sur le voyage, l'achat des titres de transports, ainsi que divers services commerciaux liés au voyage.

- Une zone de communication tangente 1/9^{ème} pour retournement en phase de test

4.3.2.2. Principes structurels et architecturaux

Les principes structurels, matériaux et formes des différentes parties du viaduc sont définis en phase AVP (-Inf A et -Inf B) par le biais d'une co-conception du MOE infrastructure avec le MOE architecture du viaduc et des gares aériennes.

La solution architecturale et technique retenue à l'issue de la phase AVP-Inf B est basée sur les critères suivants :

- L'insertion paysagère,
- La hauteur des voies ferrées (« z rail ») par rapport au sol,
- Les coûts d'exploitation : Coût d'entretien des infrastructures sur 100 ans,
- Les délais : Date de mise à disposition du tronçon aérien aux systèmes, durée de construction,
- Les nuisances en phase chantier : étendue des emprises de chantier, flux routier,
- Les problématiques acoustiques et vibratoires,
- Les problématiques environnementales : surfaces imperméabilisées, mesures de compensations,
- Eco-conception : émission de carbone et consommation de ressources naturelles.

4.3.2.3. Caractéristiques géométriques du viaduc

Elles respectent les spécifications systèmes :

- Les performances attendues,
- Le matériel roulant,
- Les systèmes ligne,
- Largeur du viaduc.

Elles sont issues d'une démarche de conception globale Systèmes + Infrastructure, sur la base des critères portant sur :

- L'intégration du matériel roulant,
 - L'intégration optimisée des systèmes ligne,
 - Les choix structurant concernant les croisements,
- et permettent d'intégrer les éléments suivants :
- Rails de roulement,
 - 3^{ème} rail d'alimentation électrique des rames en 1500 volts,
 - Cheminements courants forts, en fourreaux et/ou en chemin de câble,
 - Cheminements courants faibles, en fourreaux et/ou en chemin de câble,
 - Systèmes liés à la signalisation et aux automatismes de conduite,

- Systèmes liés à la couverture numérique, aux télécoms,
- Eclairage normaux et de secours,
- Systèmes de lutte contre l'incendie,
- Ouvrages de recueil des eaux pluviales.

Le viaduc doit également recevoir les fonctionnalités techniques suivantes, liées aux accès et à la maîtrise des nuisances :

- Accès longitudinaux,
- Ouvrages d'absorptions phoniques,
- Ecrans acoustiques si nécessaires.
- Atténuation des transmissions solidiennes

4.3.2.4. Réaménagement des espaces au droit de l'infrastructure

Au droit des tranchées couvertes, la dalle supérieure est recouverte :

- D'une étanchéité,
- D'une protection de l'étanchéité,
- D'une couche de terre végétale (épaisseur 1m50) et de plantations permettant au minimum de reconstituer le paysage environnant.
- La dalle de la transition Est doit également permettre la réalisation de voiries, dans le cadre des aménagements urbains de l'Etablissement Public d'Aménagement (EPA) Paris-Saclay.

Au droit des tranchées ouvertes, les garde-corps et clôtures doivent faire l'objet d'une insertion paysagère, tout en respectant les objectifs de sécurité :

- Empêcher les intrusions sur la voie,
- Empêcher les jets de projectiles.

Au droit de la transition Est, des mesures conservatoires (capacité de charge des voiles de soutènement) doivent être prises pour la réalisation de voiries ou de passerelles franchissant la tranchée ouverte. Ces mesures conservatoires doivent également être prises pour permettre la réalisation future d'une gare.

Au droit de la transition Ouest, il n'est pas nécessaire de prévoir de franchissement entre la RD36 et le golf national.

Au droit des rampes des transitions est et ouest, il n'est pas identifié de besoin de franchissement de la ligne.

Au droit de la transition Ouest, selon la position de la rampe, un passage faune peut également s'avérer nécessaire. Même si la RD 36 constitue une coupure écologique, il n'est pas souhaitable que la L18 renforce cette coupure.

Au droit des piles de viaduc : les piles de viaduc peuvent impacter :

- Des routes,
- Des chemins agricoles,
- Des réseaux de drainage agricoles,

- Des mouillères,
- Des bassins de rétention.

Les mesures prises sur les voies impactées par les piles doivent permettre de conserver la fonction initialement assurée, et doivent obtenir l'adhésion des collectivités.

Un déplacement de la voirie n'étant pas toujours possible, il pourra alors être nécessaire d'introduire une singularité dans la structure du viaduc.

Au droit d'un passage au sol : une seule section existe sur le tracé. Elle se situe dans l'emprise du bois de Palaiseau, entre la tranchée ouverte Est et la rampe Est du viaduc. Cette partie du tracé fait l'objet d'une étude d'insertion paysagère particulière intégrant les aspects sécuritaires vis-à-vis des intrusions de personnes et de véhicules routiers. La gestion de la flore est aussi prise en compte s'agissant du passage au sein d'un site partiellement boisé. Les perturbations potentielles sur l'exploitation de la ligne et sur la maintenance du lieu doivent être réduites au minimum de leurs impacts.

Dans le cadre de la mise au sol de la section aérienne à l'ouest, une seconde section mise au sol est détaillée dans les paragraphes suivants.

4.3.2.5. Réseaux

Exigences génériques concernant les réseaux

Les piles et les rampes, les sections au sol, les tranchées couvertes et ouvertes peuvent impacter des réseaux enterrés. Ces réseaux doivent être préalablement déviés pour assurer la continuité de service, en concertation avec les concessionnaires.

Points de vigilance particuliers concernant les réseaux

Une campagne de collecte des données est menée auprès des concessionnaires réseaux (actuels et futurs) afin de déterminer une implantation optimisée des piles pour éviter d'impacter les réseaux. Dans le cas contraire, un dévoiement préalable est organisé.

Réseaux de rigoles et de drains

Le plateau de Saclay comporte des rigoles en surface et des drains enterrés destinés à assainir les champs agricoles.

Ces fonctionnalités d'assainissement doivent être :

- Maintenues pendant toute la durée du chantier,
- Restituées par des moyens pérennes en fin de travaux.

Une étude est à réaliser concernant la compatibilité avec le réseau RTE longeant la zone de transition au niveau du golf.

4.3.3. Caractéristiques génériques des sections circulées en viaduc

4.3.3.1. Description du concept structurel du viaduc en section courante

Concept structurel retenu pour le viaduc :

La contrainte structurelle fondamentale déterminant le schéma structurel et la position des joints de dilatation structurel du tablier de l'ouvrage est l'interaction voies-structure. Les voies modernes utilisent en effet la technique du long rail soudé (LRS).

L'ordre de grandeur de la longueur dilatable compatible avec le respect des contraintes admissibles d'origine thermiques dans un LRS est de l'ordre de 80/90 m. La longueur dilatable, distance du point fixe structurel au joint, est également la longueur entre joint dans le cas d'une succession de structures identiques.

Des travées isostatiques sont retenues pour les zones courantes du viaduc puisqu'elles permettent d'optimiser le cycle de pose en évitant la réalisation de joints coulés en place.

La hauteur de la section du tablier supportant le matériel roulant, ainsi que la longueur des portées isostatiques, est déterminée en fonction des critères de résistance définis par les experts du système ligne.

Ces critères ont conduit à retenir les principes de conception suivants (travée courante entre deux appuis successifs) :

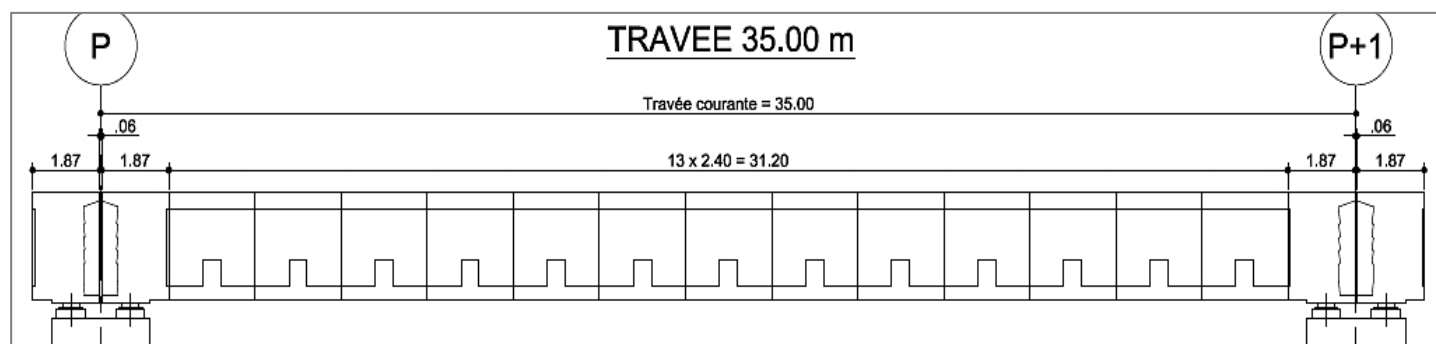


Figure 45 : Coupe longitudinale - Viaduc en zone courante

Appuis et fondations du viaduc :

4.3.3.2. Piles

Le viaduc comprend deux familles de piles sur le projet : les piles en fûts double qui sont les piles de référence, et les piles en fûts simples, qui sont utilisées lorsque les contraintes d'implantation au sol le requièrent.



Figure 46 : Pile à fûts doubles. Exploration architecture mai 2019



Figure 47 : Pile à fût simple. Exploration architecture mai 2019

Dans les deux cas, la forme elliptique permet d'assurer la continuité architecturale de la structure.

4.3.3.3. Fondations courantes

Le principe de fondations retenu est une fondation par semelle reposant sur quatre pieux.

Un système de fondations superficielles n'est pas souhaitable compte tenu de la présence d'argile à Meulière (le risque de tassement des argiles est trop important et trop difficile à maîtriser).

4.3.3.4. Fondations compactes

Dans certaines zones, il est nécessaire de recourir à des fondations plus compactes (emprises contraintes en sous-sol, présence de réseaux concessionnaires à ne pas impacter)

Pour ces cas particuliers il est envisagé des puits marocains de 4m de diamètre.

Le puits marocain peut être plein ou creux.

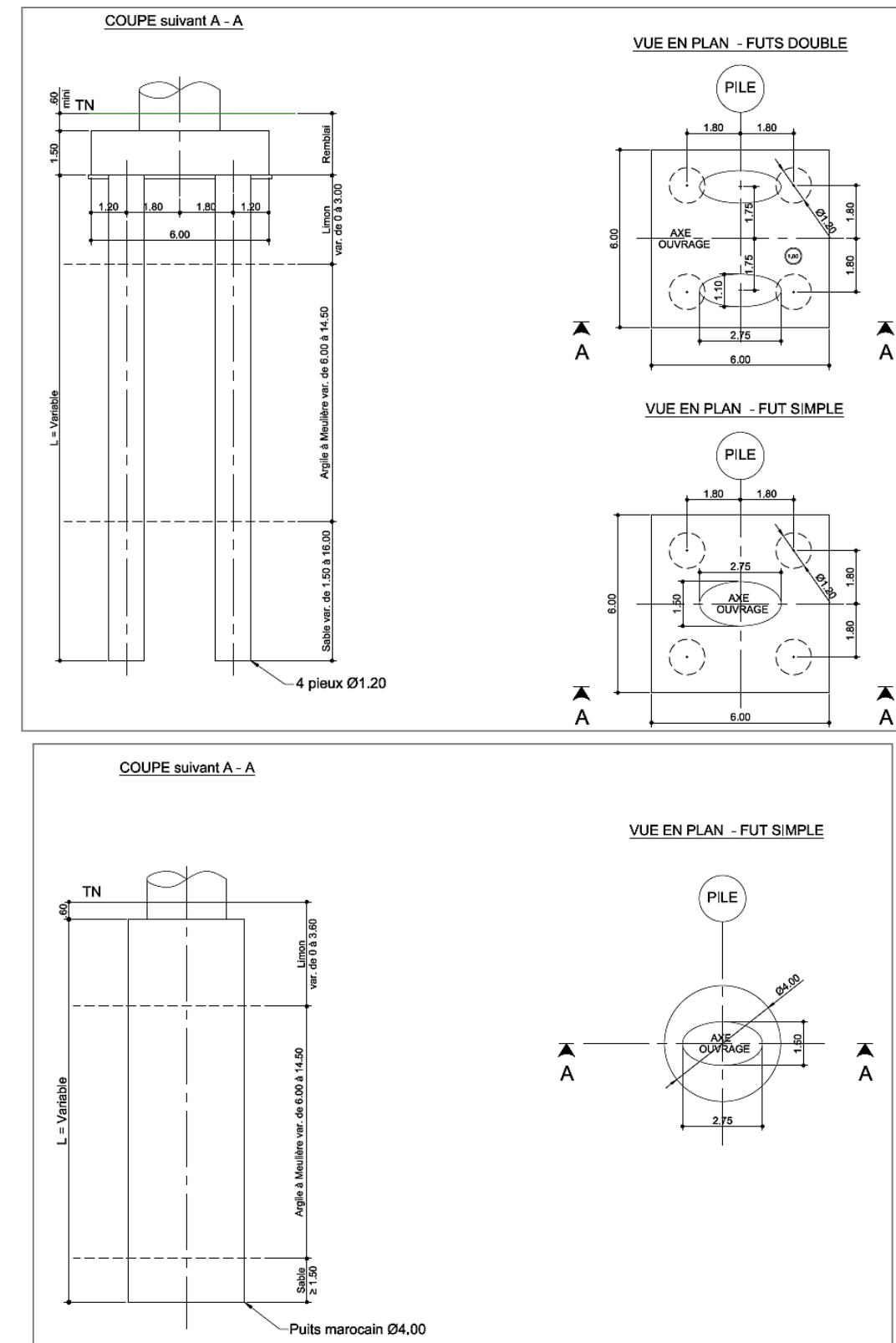


Figure 48 : Extrait du cahier de coupes types des ouvrages de génie civil – AVP-B – Coupes sur appuis - ICARE

Tablier du viaduc

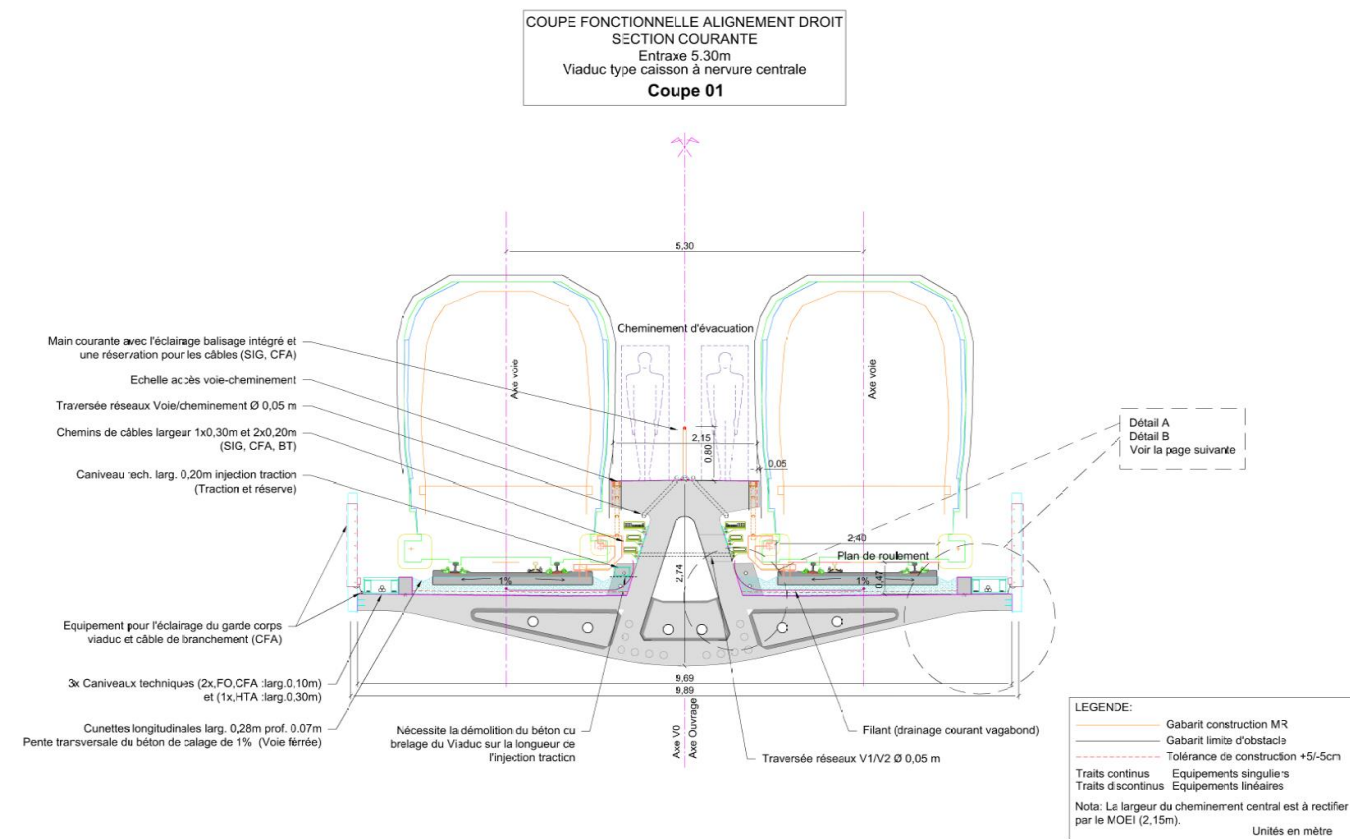


Figure 49 : Extrait du cahier de coupes types des ouvrages de génie civil – PRO_A – Coupe sur tablier – ICARE

Le concept de l'épine dorsale (ou T inversé) est relativement novateur. Plusieurs considérations orientent la conception de l'ouvrage dans ce sens:

- Compatibilité avec le système de la ligne 18,
- Structure porteuse en allège, réduisant l'élançement visuel (rapport de la hauteur visible de la structure à sa portée),
- Coût de construction optimisé, coffrage et bétonnage à poste fixe,
- Rapidité de pose et minimisation des interventions au sol dans un environnement urbain ou périurbain.

La structure consiste en une épine dorsale en caisson supportant les voies par l'intermédiaire d'encorbellements transversaux sur une portée courante de 35 m entre appuis.

« L'épine dorsale » a une hauteur de 2.4 m, mais n'est que peu visible depuis le niveau du sol. La hauteur apparente est globalement égale à la hauteur des nervures transversales surmontées du garde-corps de rive.

La stabilité transversale de la section sur appuis est assurée par une nervure plus large comportant des bossages d'appui sous le voussoir sur piles assurant le transfert des charges verticales depuis l'épine dorsale vers les appuis.

4.3.3.5. Normes appliquées

Pour le calcul des structures à construire, l'Eurocode EN 1990 est destinée à être appliquée directement, de façon conjointe avec les Eurocodes EN 1991 à 1999.

La norme européenne EN 1990 (« Eurocode 0 ») décrit les principes et les exigences pour la sécurité, l'aptitude au service et la durabilité des structures. Elle est fondée sur le concept d'état-limite, utilisé conjointement avec une méthode des coefficients partiels.

L'EN 1991 traite de l'action sur les ponts due au trafic ferroviaire, mais exclut les tramways et autres voies ferrées pour trafic légers. La ligne 18 étant une voie indépendante, non interopérable avec le réseau ferré SNCF, RATP et les autres lignes du Grand Paris, sa conception tombe par conséquent sous le coup de l'exclusion définie en section 6.1 de l'EN 1991, qui précise :

« Le chargement et les valeurs caractéristiques des actions de ces types de chemin de fer peuvent être définis dans l'Annexe nationale ou pour le projet individuel »

De fait, les actions et critères non définis dans l'Eurocode 1 (poids du matériel roulant, effort de freinage/accélération, critères de déformations,...) sont définis spécifiquement pour le projet de la ligne 18, en concertation avec le Maître d'œuvre des Systèmes.

La rame type en charge est la suivante, chaque essieu ayant un poids de 12,5 tonnes (8 passagers/m²) :

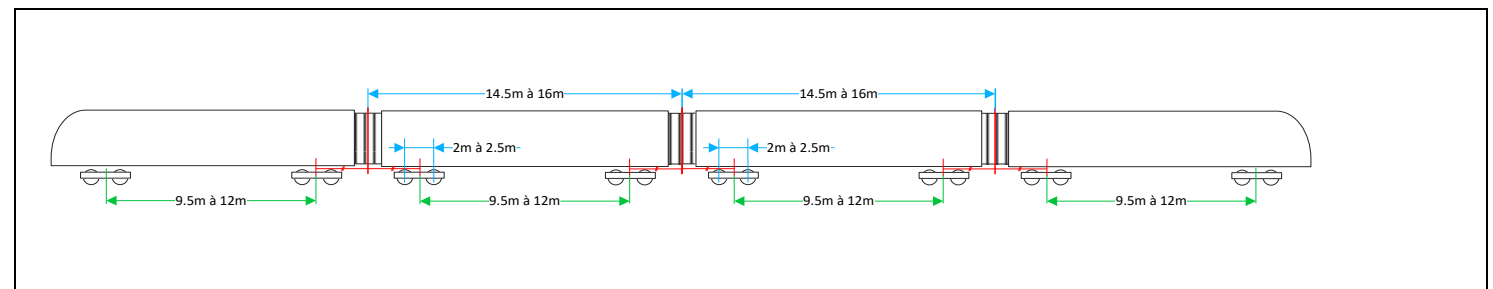


Figure 50 : Rame « type » prise en compte dans les calculs de prédimensionnement – AVP-B

4.3.3.6. Intention architecturale

La section aérienne de la ligne 18 traverse le plateau de Saclay d'Est en Ouest, de Palaiseau au Golf National.

Le viaduc parcourt un territoire composé de séquences paysagères variées qui alternent des zones agricoles ouvertes sur l'horizon, des zones boisées protégées ainsi que des secteurs urbains denses.

Cette succession de paysages est unifiée par un ouvrage élancé et aussi continu que possible dans sa conception architecturale.

La conception architecturale repose sur 3 idées principales :

- Une sous-face avec des nervures discrètes et harmonieusement séquencées
- Des rives légères
- Des piles dédoublées.



Figure 51 : Viaduc en T inversé, Explorations architecture, Juillet 2018



Figure 52 : Perspective le long de la RD 36 – Villiers le Bâcle – Explorations architecture, mai 2019

4.3.3.7. Assainissement/Etanchéité

La surface du tablier du viaduc est équipée d'un système d'étanchéité mis en œuvre sur la surface brute du béton.

De plus, des caniveaux d'évacuation des eaux pluviales sont prévus sur le tablier. Ceux-ci sont déterminés avec les caractéristiques pluviométriques issus de la station météorologique de Vélizy-Villacoublay, de façon à garantir l'évacuation pour une pluie de période de retour de 10 ans.

Les eaux s'évacuent ensuite par des conduits descendant à l'intérieur des piles, raccordés à un réseau d'assainissement spécifique mis en place dans le terrain dans le cadre du projet. Celui-ci rejoint généralement le réseau d'assainissement existant.



Figure 53 : Evacuation des eaux zénithales par un réseau à l'intérieur des piles du viaduc-Exploration architecture, mai 2019

4.3.3.8. Accès maintenance/exploitation

- Voie d'accès sous le viaduc

Sous ou à côté du viaduc, selon les zones, une voie d'accès (largeur > 3m) est aménagée au sol pour permettre les interventions suivantes :

- Assurer l'accès des véhicules de secours aux accès de secours principaux et secondaires,
- Assurer l'accès des véhicules de maintenance aux accès de secours principaux,
- Permettre l'accès aux camions nacelle à bras déporté, permettant la maintenance des parties d'ouvrage en sous-face du viaduc et des piles.

Cette voie est raccordée régulièrement au réseau viaire existant.

4.3.3.9. Accès de secours

Les accès de secours constitués, en zone courante, d'escaliers positionnés d'un côté du tablier ou intégrés aux gares aériennes, permettent aux services de secours d'accéder sur l'ouvrage. Ils ont également pour fonction de permettre aux opérateurs de maintenance d'intervenir sur l'ouvrage.

4.3.3.10. Cheminement sur le viaduc

Un cheminement est prévu sur le tablier du viaduc :

- En entre-voies en zone courante,
- Déporté sur l'un ou l'autre des côtés ponctuellement pour rejoindre les escaliers/accès de secours.

4.3.4. Description des zones traversées en section aérienne

4.3.4.1. Description générale

La partie aérienne de la Ligne 18 comprend trois sections distinctes. Une section purement en viaduc et deux sections mise au sol. La section « viaduc », y compris les rampes d'accès, représente 6,7 km, la section au sol à l'ouest environ 7,2km (compris la TO et la TC) et la section mise au sol à l'est reste inchangé (600 m). A chacune de ses extrémités la partie aérienne se raccorde sur les tranchées ouvertes qui précèdent les tranchées couvertes donnant accès aux tunnels proprement dit.

Cette section aérienne traverse sept communes :

- Palaiseau,
- Orsay,
- Gif-sur-Yvette,
- Saclay,
- Villiers-le-Bâcle,
- Châteaufort,
- Magny-les-Hameaux,

situées sur deux départements (l'Essonne et les Yvelines).

L'ouvrage en viaduc proprement dit intègre 3 gares aériennes (Palaiseau, Orsay-Gif, CEA-St-Aubin), et deux zones de communication de voies simple en ligne, l'une à Orsay-Gif et une autre à l'ouest de la gare de CEA St -Aubin pour les besoins de la mise en service de la phase 1.1.de la ligne 18.

Enfin, si l'on prend en compte la tranchée ouverte Est celle-ci comprend les mesures conservatoires pour la future gare Camille Claudel.

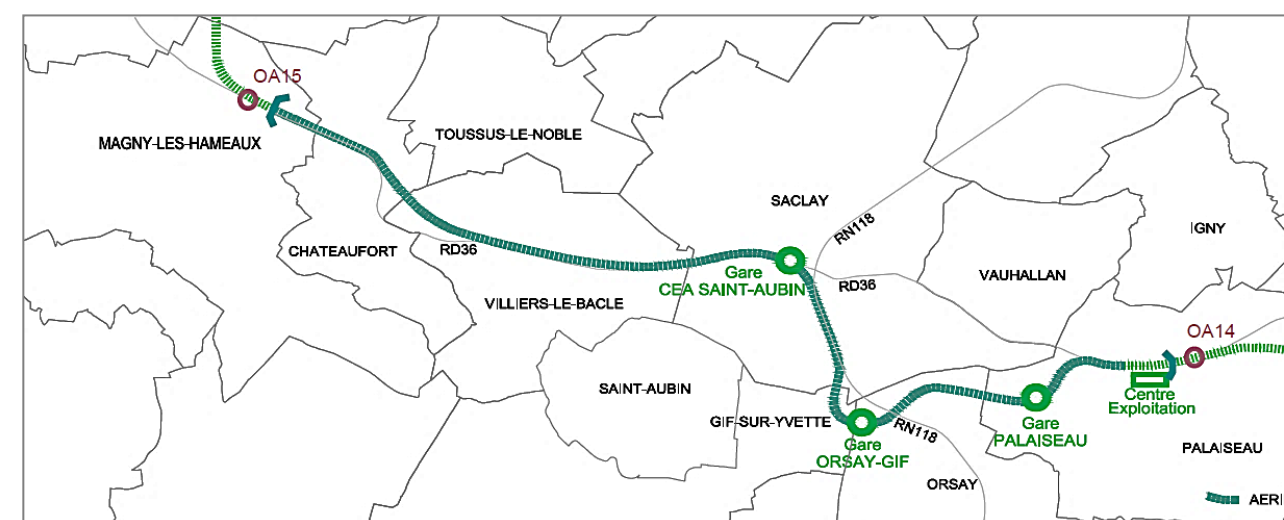


Figure 54 : Plan de situation de la partie aérienne de la Ligne 18 – AVP-B

Les zones de contraintes principales pour l'insertion du tracé de la section aérienne sont présentées sur la figure suivante :

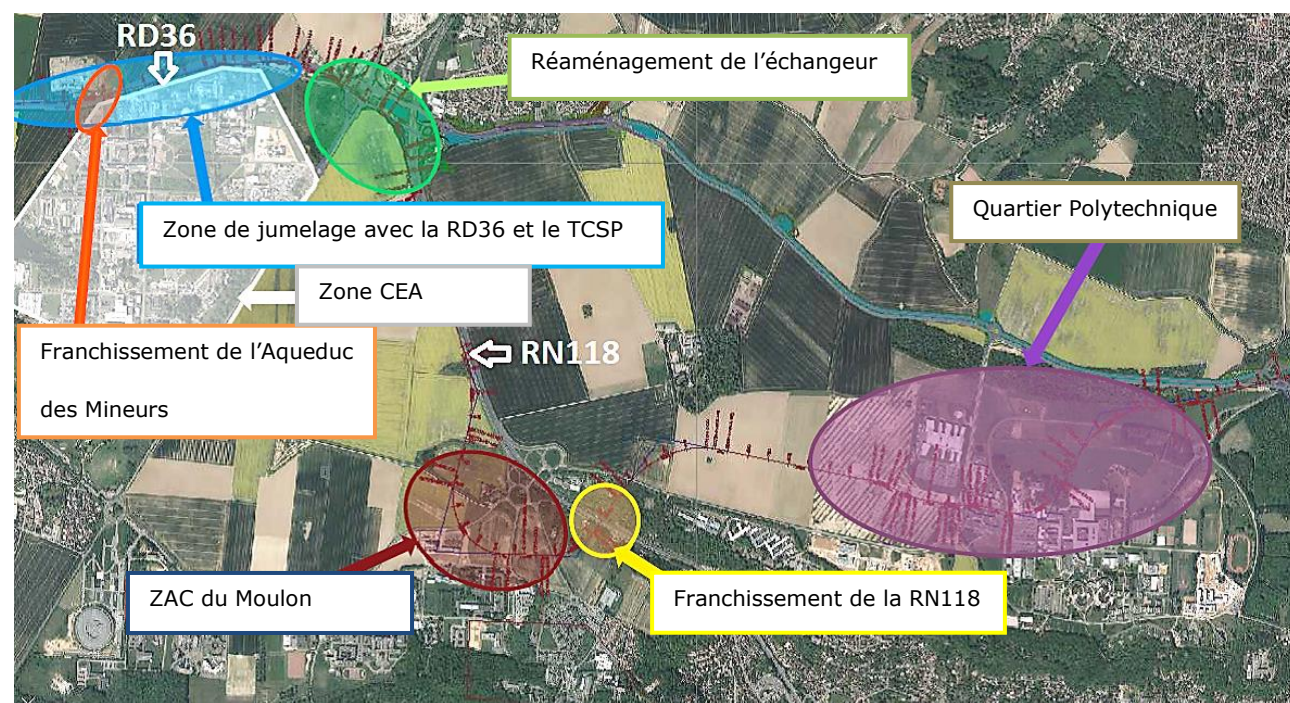


Figure 55 : Zones de contraintes principales – Extrait « Mémoire de tracé » AVP-B –Icare, mars 2017

Il est également tenu compte des projets en cours d'études et de réalisation aux abords des emprises de la ligne 18 :

Tableau 1 : Distance des intergares – 15/5/2019

Intergares	Longueur (m)
OA 14 – Palaiseau	2 519
Palaiseau – Orsay Gif	2 156
Orsay Gif – CEA St Aubin	2 340
CEA St Aubin – OA 15	7 079

4.3.4.2. Contexte topographique, géologique, hydrologique

La section aérienne de la ligne 18 traverse le Plateau de Saclay. Il se situe en partie nord du plateau de la Beauce avec une altitude moyenne autour de 160 NGF.

Les formations reconnues par les sondages sont essentiellement, en plus des formations superficielles, l'Argile à Meulière de Montmorency (TS) et les Sables de Fontainebleau (SF).

Les sondages piézométriques ont permis d'identifier des niveaux d'eau dans ces deux formations. Pour les Meulières de Montmorency, il ne s'agit pas d'une nappe au sens propre mais d'une série de lentilles aquifères perchées indépendantes d'extension et d'épaisseur variables, ces lentilles n'étant pas en continuité hydraulique. Les relevés piézométriques indiquent des niveaux d'eau qui varient entre les cotes 150 et 160 m NGF.

4.3.4.3. Gabarit sous viaduc

Sur la totalité du parcours, le gabarit transversal et le gabarit longitudinal minimum est de 4m50 entre le terrain naturel et la sous-face du viaduc. En dessous de 6m de hauteur libre sous tablier, des clôtures d'une hauteur de 3m sont à prévoir pour protéger les piles du viaduc et le chemin de maintenance.

4.3.4.4. Hauteur des gares aériennes

La hauteur des gares aériennes est de 10,40m au niveau quais.

En raison de la grande longueur de l'ouvrage et d'échelle, les plans de profil en long sont donnés par tronçon de viaduc au paragraphe 4.3.6.

4.3.5. Conception du tracé et du viaduc

4.3.5.1. Insertion du tracé et franchissements singuliers

Le parcours de la partie aérienne de la Ligne 18 s'insère dans deux séquences :

- Zone en cours d'urbanisation à l'est
- Zone rurale à l'ouest

En règle générale, le viaduc s'insère le long d'infrastructures existantes (RD36, RN118).

Le métro viendra desservir le pôle scientifique de Saclay qui rassemblera les plus grandes écoles d'ingénieurs Françaises (Polytechnique, Centrale, ENS...) et des laboratoires de recherches de technologie de pointe (Thales, CNRS, Agro Paritech, EDF, Danone, CEA).

L'un des grands enjeux de la réalisation du viaduc réside dans l'équilibre entre une parfaite insertion architecturale, paysagère et environnementale.

Le caractère emblématique et exceptionnel du viaduc et des gares aériennes est incontestable. La section aérienne contribuera au rayonnement non seulement de la ligne 18 et du plateau de Saclay, mais plus largement du réseau de transport du Grand Paris Express.

Cette infrastructure doit répondre surtout à des exigences techniques maîtrisées nécessaires au bon fonctionnement d'un métro automatique, notamment pour y intégrer tous les systèmes (voie, signalisation, alimentation, éclairage...) garantissant rapidité, confort et sécurité.

4.3.5.2. Conception de la section aérienne

Le scénario développé est une structure dite en « T inversé » en béton armé et précontraint. Cette structure est réalisée en voussoirs préfabriqués ce qui permet de répondre avec élégance aux fortes courbures du tracé.

L'ouvrage est positionné à une hauteur moyenne de 8m en sous-face avec un minimum de 4,50 m. Ces dispositions permettent de dégager les horizons du plateau et d'offrir une bonne continuité des espaces publics dans les zones urbaines.

4.3.5.3. La sous-face

La structure en « T inversé » permet de positionner la structure longitudinale porteuse à l'axe au-dessus du tablier. Elle permet donc de dégager la sous-face de toute retombée structurelle tout en offrant un cheminement d'évacuation mutualisé et axial.

Cette sous-face en béton clair, intègre des nervures adoucies séquencées harmonieusement entre chaque pile. Cette disposition se retrouve autant sur la section courante (travées de 35m) que sur les ouvrages non courants (franchissements de voirie, carrefours ou de brèches comme la RN 118). Elle donne son identité au viaduc qui est principalement perçu depuis des points de vue en contrebas, que ce soit le long des routes ou depuis les espaces publics des ZAC.

4.3.5.4. Les rives

Contrairement à un viaduc traditionnel en « U », la structure en « T inversé » permet d'offrir des rives minces de l'ordre de 25cm d'épaisseur.

Les systèmes de garde-corps et de protection acoustique en acier renforcent la perception de cette finesse.

Une hauteur constante de 1,5m est proposée pour l'ensemble de ces dispositifs afin d'offrir une continuité visuelle des rives.

Le système courant de garde-corps, est constitué de câbles en inox qui offrent une grande transparence, tant de près que de loin.

Les protections acoustiques implantées sur certaines séquences mettent en œuvre des produits translucides qui laissent passer la lumière et n'alourdissent pas visuellement l'ouvrage : verre opale et/ou membrane absorbante ETFE/aluminium.

4.3.5.5. Les piles

En section courante, le viaduc s'appuie sur une pile dédoublée en béton clair composée de 2 futs elliptiques à section constante.

La section elliptique permet de répondre aux sollicitations longitudinales imposées par les métros mais aussi d'intégrer les appuis provisoires nécessaires à la construction de l'ouvrage (poutres de lancement).

L'implantation de piles dédoublées n'est pas possible tout au long du tracé. Des obstacles d'ordre topographique ou infrastructurel obligent à avoir recours à des piles à fût simple et à augmenter la portée de certaines travées avec l'apparition d'une nervure longitudinale en sous-face.

Des piles à fût simple sont aussi prévues au cœur des gares de manière à réduire la zone d'appui au sol et ainsi offrir un hall plus généreux et plus fluide.

4.3.5.6. Sécurité du viaduc

L'architecture des escaliers fait appel à des formes douces et à une matérialité qui reflète son environnement (bardage inox) afin de limiter leur impact dans le paysage. Les escaliers intègrent également des locaux techniques pour les systèmes.

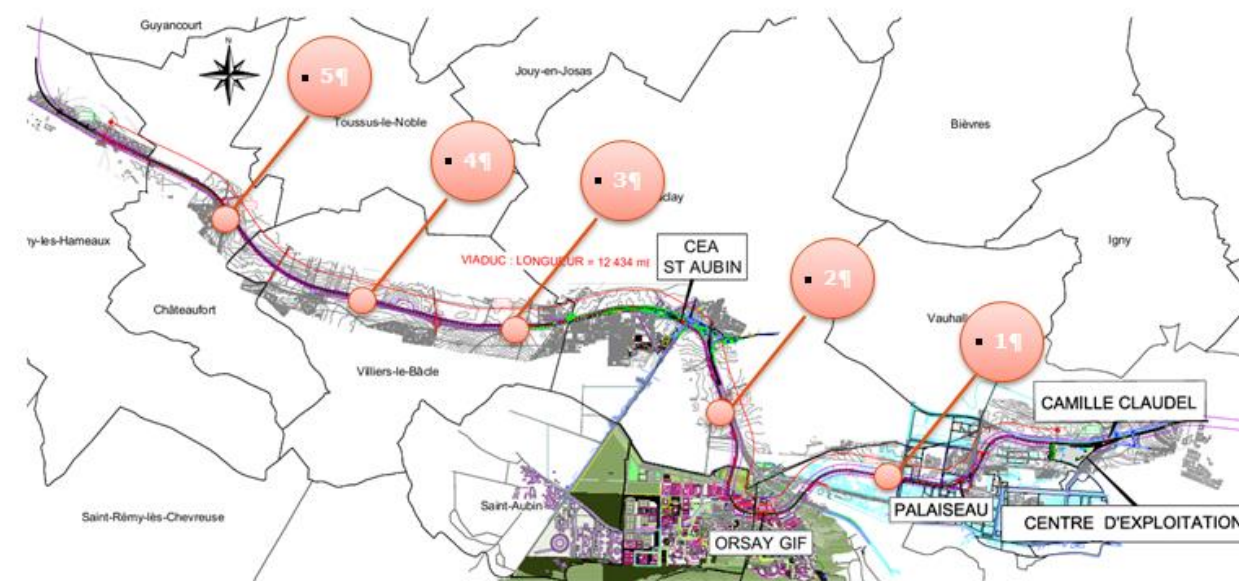


Figure 56 : Implantation des issues de secours sur la section aérienne – Explorations architecture, Mars 2017

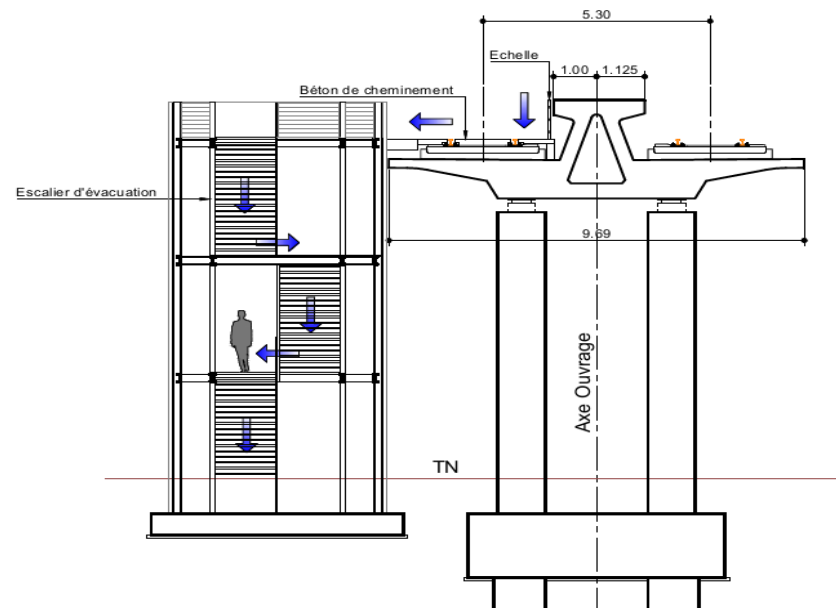


Figure 57 : Plan au niveau des voies des issues de secours – Explorations architecture, Mars 2017



Figure 58 : Perspective des escaliers de secours en évacuation latérale – Explorations architecture, Mars 2017

4.3.5.7. Impacts acoustiques

Les mesures et les cartographies de bruit ambiant effectuées dans le cadre de l'étude acoustique préliminaire datant de fin 2014 indiquent que, à l'exception du secteur Saclay, les secteurs le long du tracé aérien ont une situation sonore initiale modérée au sens de la réglementation.

Les objectifs réglementaires à respecter sont définis à partir de l'arrêté du 8 novembre 1999 relatif au bruit des infrastructures ferroviaires.

Pour les zones en ambiance préexistante modérée :

- 63 dB(A) de jour et 58 dB(A) de nuit à 2 m en façade des bâtiments à usage d'habitation,
- 63 dB(A) de jour à 2 m en façade des bâtiments à usage d'enseignement,
- 68 dB(A) de jour à 2m en façade des bâtiments à usage de bureau,

Pour les zones en ambiance préexistante non modérée :

- 68 dB(A) de jour et 63 dB(A) de nuit à 2 m en façade des bâtiments à usage d'habitation,
- 68 dB(A) de jour à 2 m en façade des bâtiments à usage d'enseignement,
- Aucun objectif n'est défini pour les bâtiments à usage de bureaux en ambiance préexistante non-modérée.

Une cartographie acoustique des différents secteurs composant le tracé aérien sera effectuée dans la phase suivante des études en tenant compte des éléments suivants :

- La géométrie du viaduc,
- Les traitements acoustiques intégrés prévus,
- Les caractéristiques acoustiques spécifiques au matériel roulant considéré,
- Les données de trafic (vitesse de circulation et fréquence) pertinentes à chaque section,
- Les effets de réflexions, diffraction et atténuation du sol et des bâtiments.

Ces cartographies permettront de calibrer les moyens de protection acoustique à mettre en œuvre.

4.3.5.8. Impacts vibratoires

L'étude d'impact environnemental a permis de cerner les principales incidences de l'exploitation de la ligne 18 selon les différents secteurs du tracé aérien.

Il en ressort que les secteurs suivants présentent des enjeux en termes vibratoires :

- Quartier de l'Ecole Polytechnique
- Quartier du Moulon
- CEA à Saclay

Dans ces secteurs se trouvent des laboratoires renfermant des instruments sensibles qui imposent des seuils vibratoires très faibles.

Des mesures d'atténuation des vibrations sont en cours d'étude. Ainsi, l'augmentation de la masse des fondations situées à proximité des laboratoires sensibles permet de réduire considérablement les impacts vibratoires.

4.3.5.9. Impacts électromagnétiques

Le sujet électromagnétisme est traité dans le plan de management de la compatibilité des effets électromagnétiques.

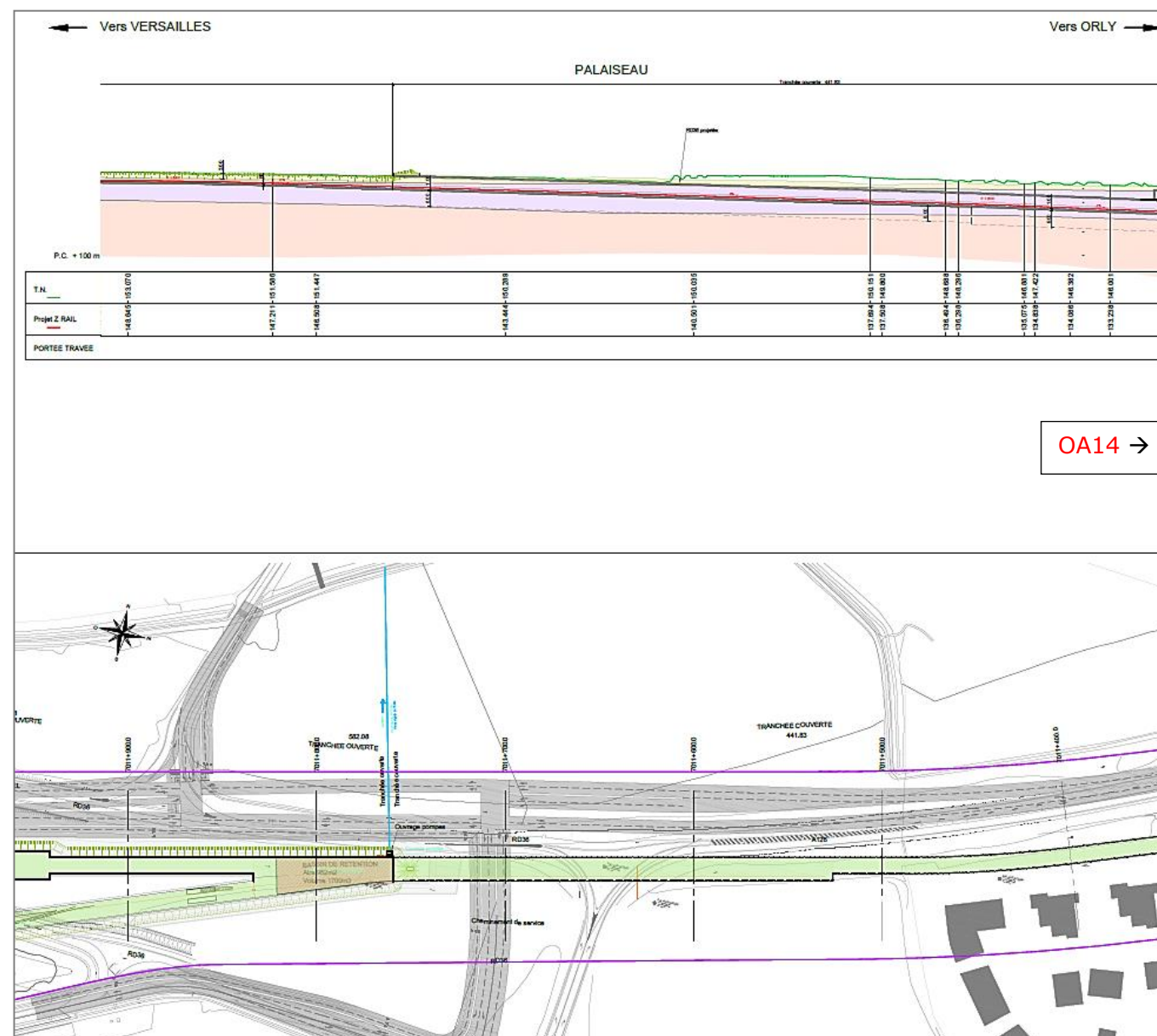
La CEM est un facteur à prendre en compte dans les choix de conception, par exemple :

- Des critères de choix du matériau utilisé dans la construction dans la maîtrise des courants vagabonds
- Des critères de vieillissement qui ne doivent en aucun cas générer des courants vagabonds qui auront un effet aggravant sur les émissions électromagnétique du système
- Des calculs des dimensions de l'infrastructure pour connaître les risques de propagation et effets de résonances des différentes sources d'émission dans le système.

4.3.6. Description détaillée

D'**Est en Ouest**, le tracé du viaduc est calé selon les éléments suivants :

4.3.6.1. Tronçon : OA 14 / Gare Camille Claudel (PK 7011+975)



4.3.6.2. Tronçon : Gare Camille Claudel / Gare Palaiseau (PK 7013+728.4)

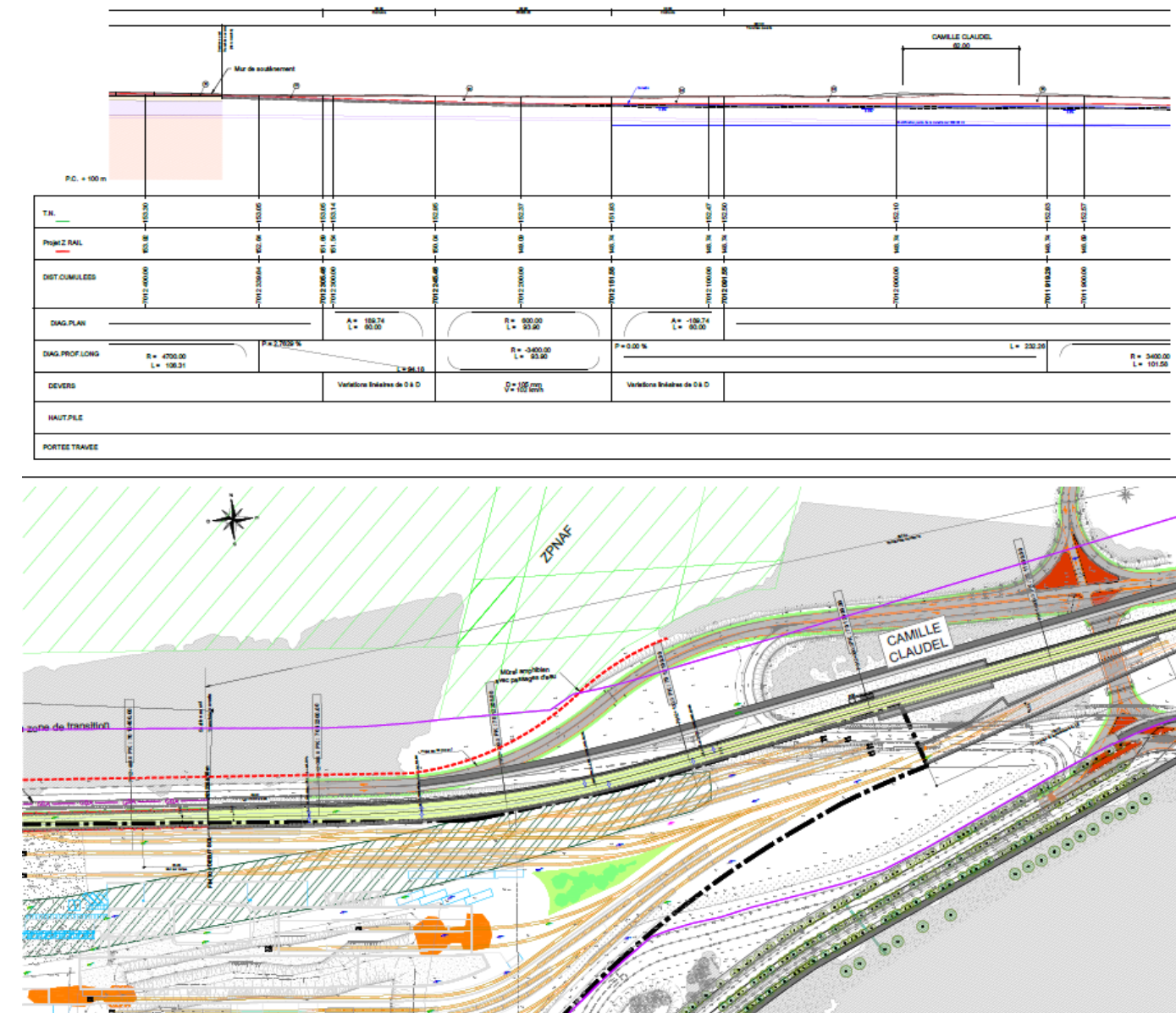
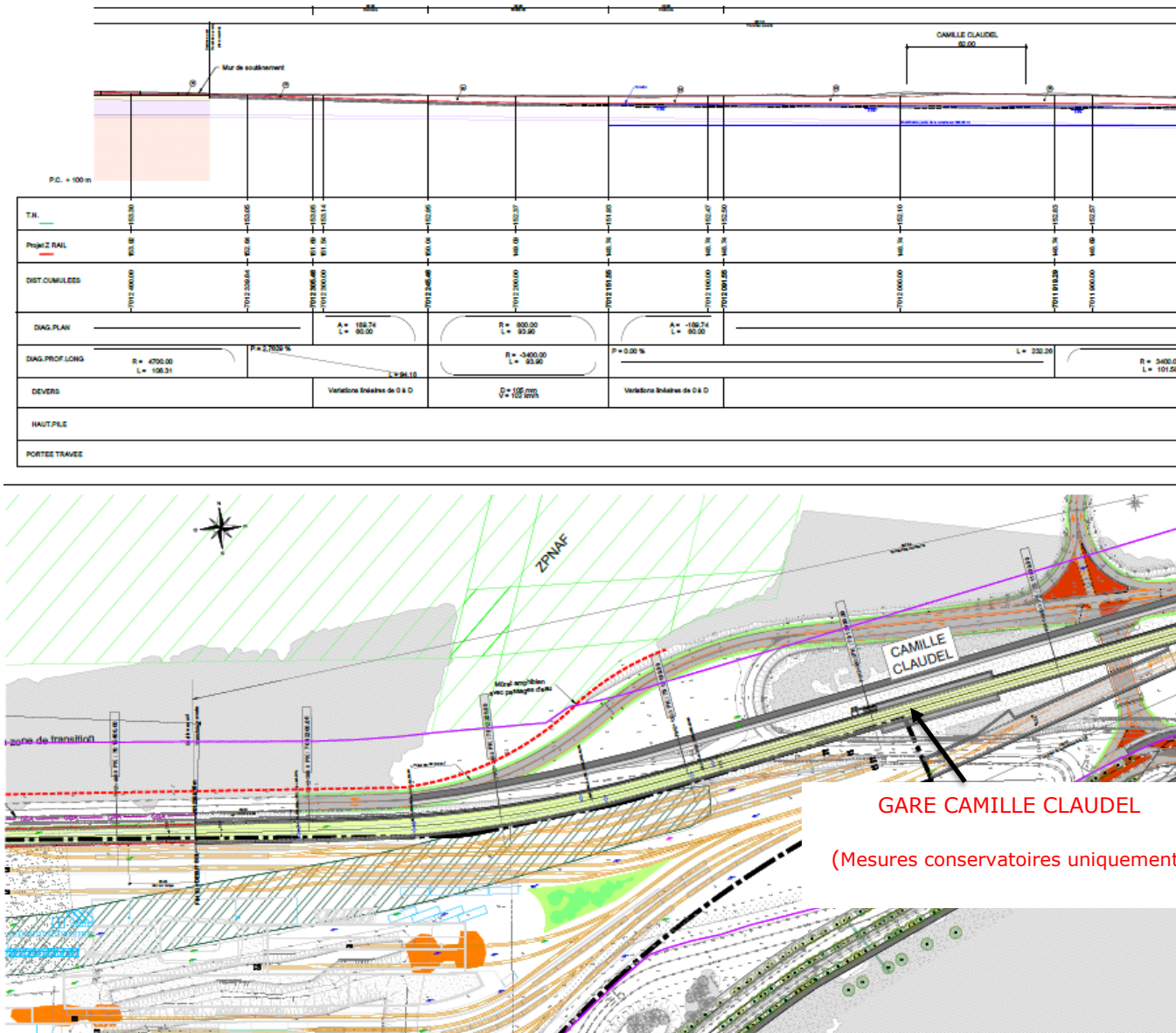


Figure 59 : Profil en long et vue en plan du tracé – Icare, R-PROa – décembre 2018

Les contraintes majeures d'insertion du tracé dans cette zone sont :

- Contrainte d'implantation des voies de communications avec la voie de débranchement vers le centre d'exploitation,
- L'intégration des mesures conservatoires pour une éventuelle gare Camille Claudel,
- Compatibilité des infrastructures de la L18 avec le schéma de circulation de la RD36 au droit de la transition tunnel-viaduc (tranchée couverte / tranchée ouverte).

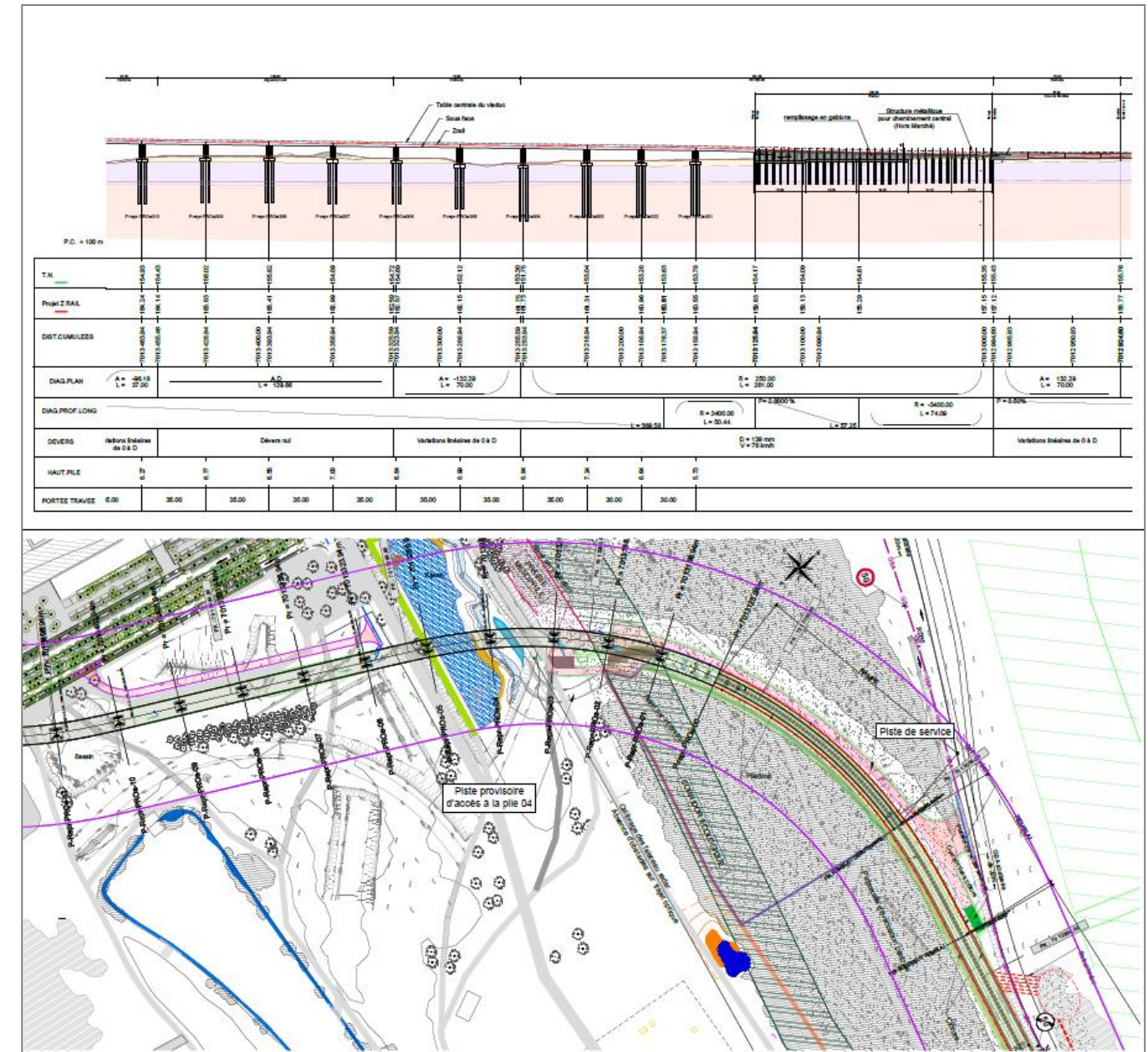
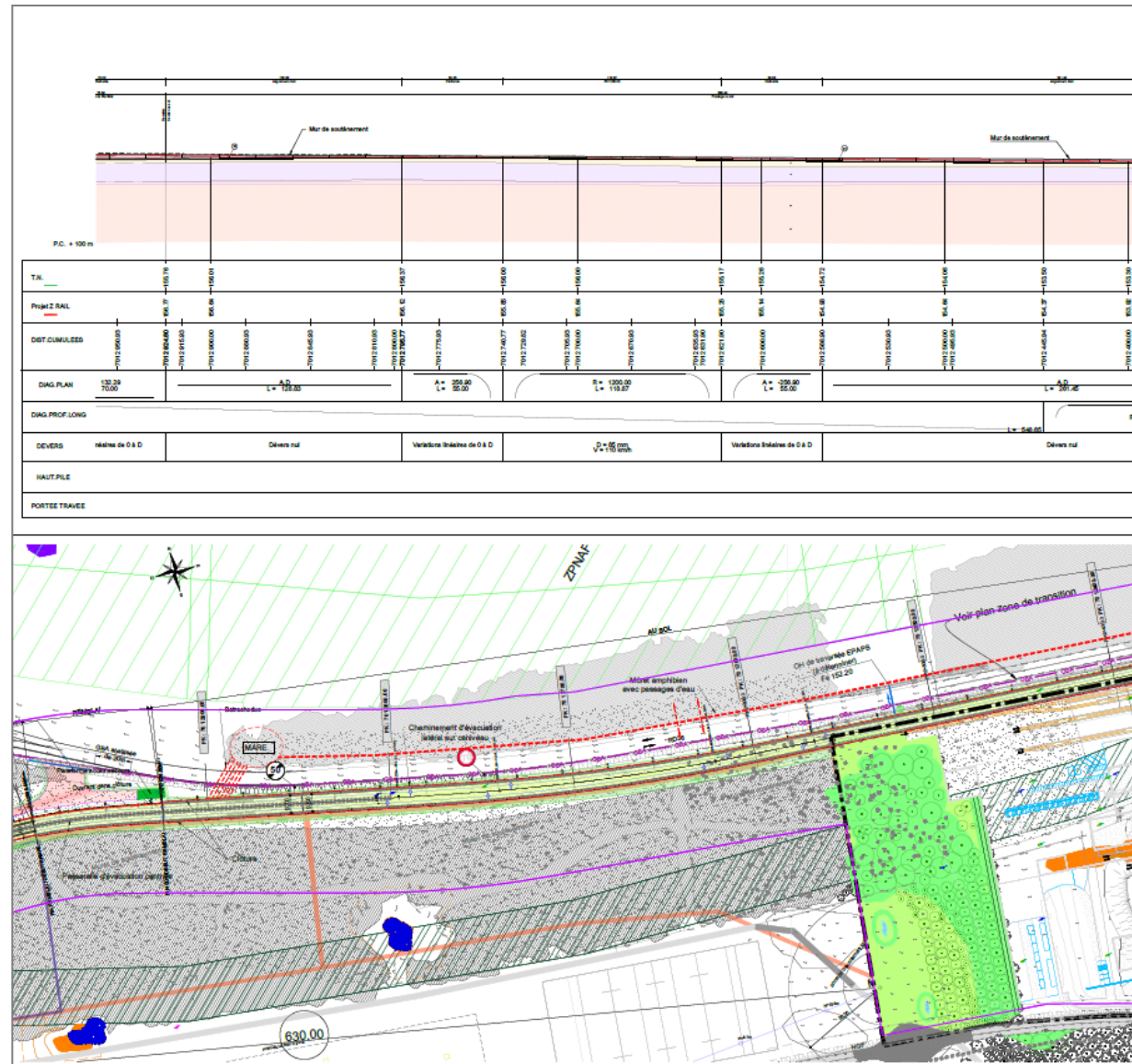
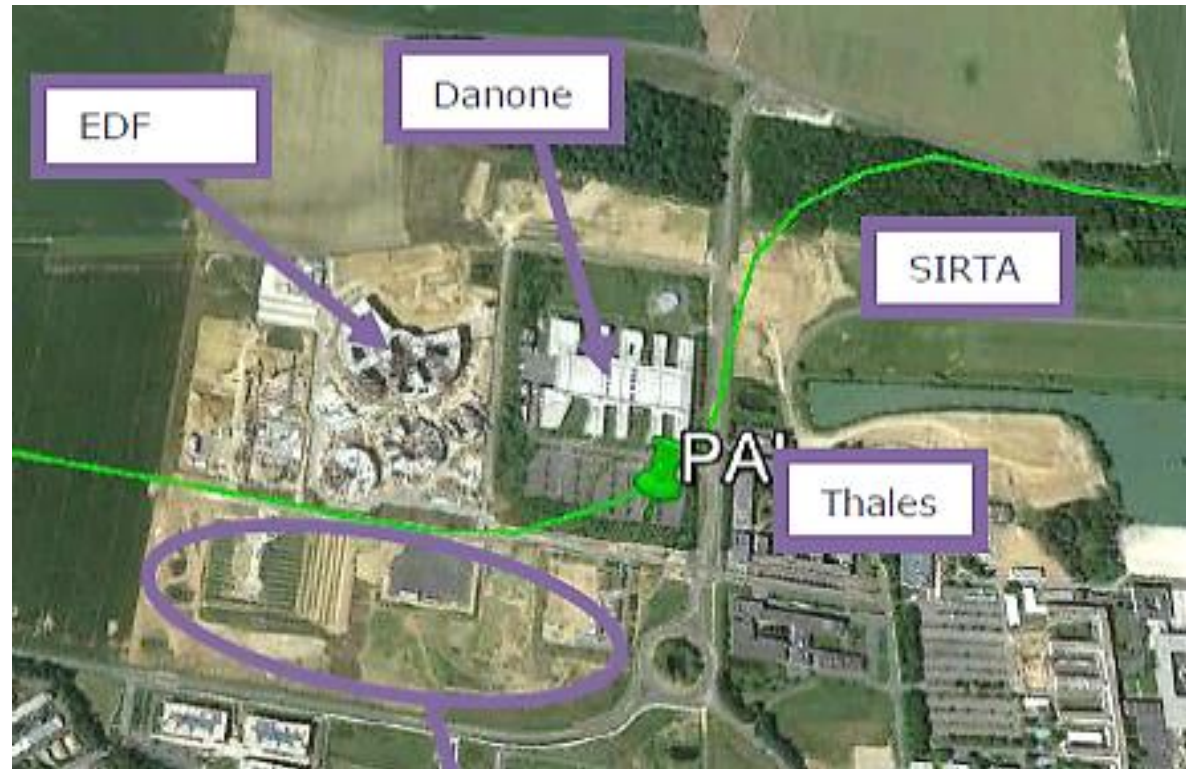


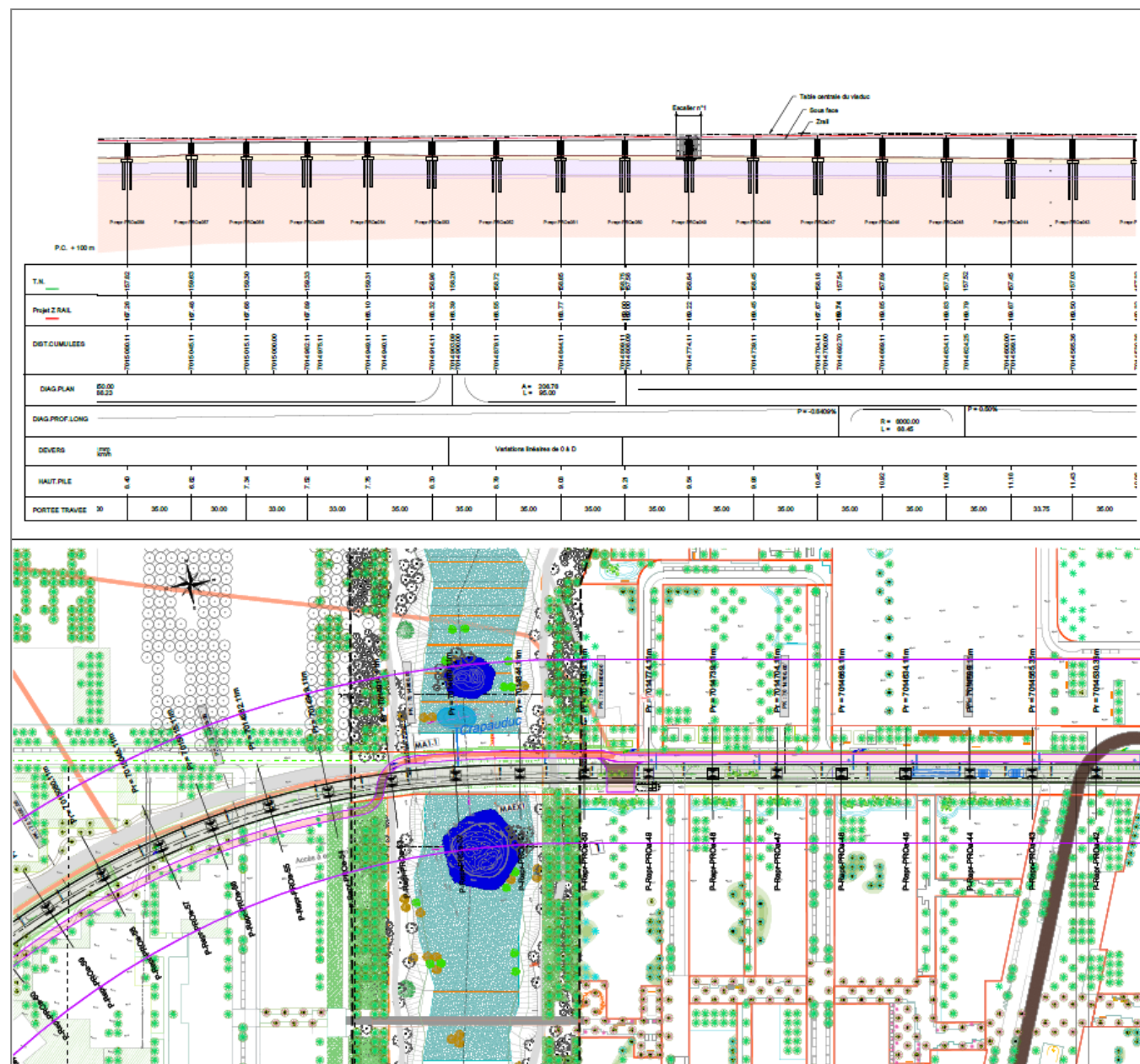
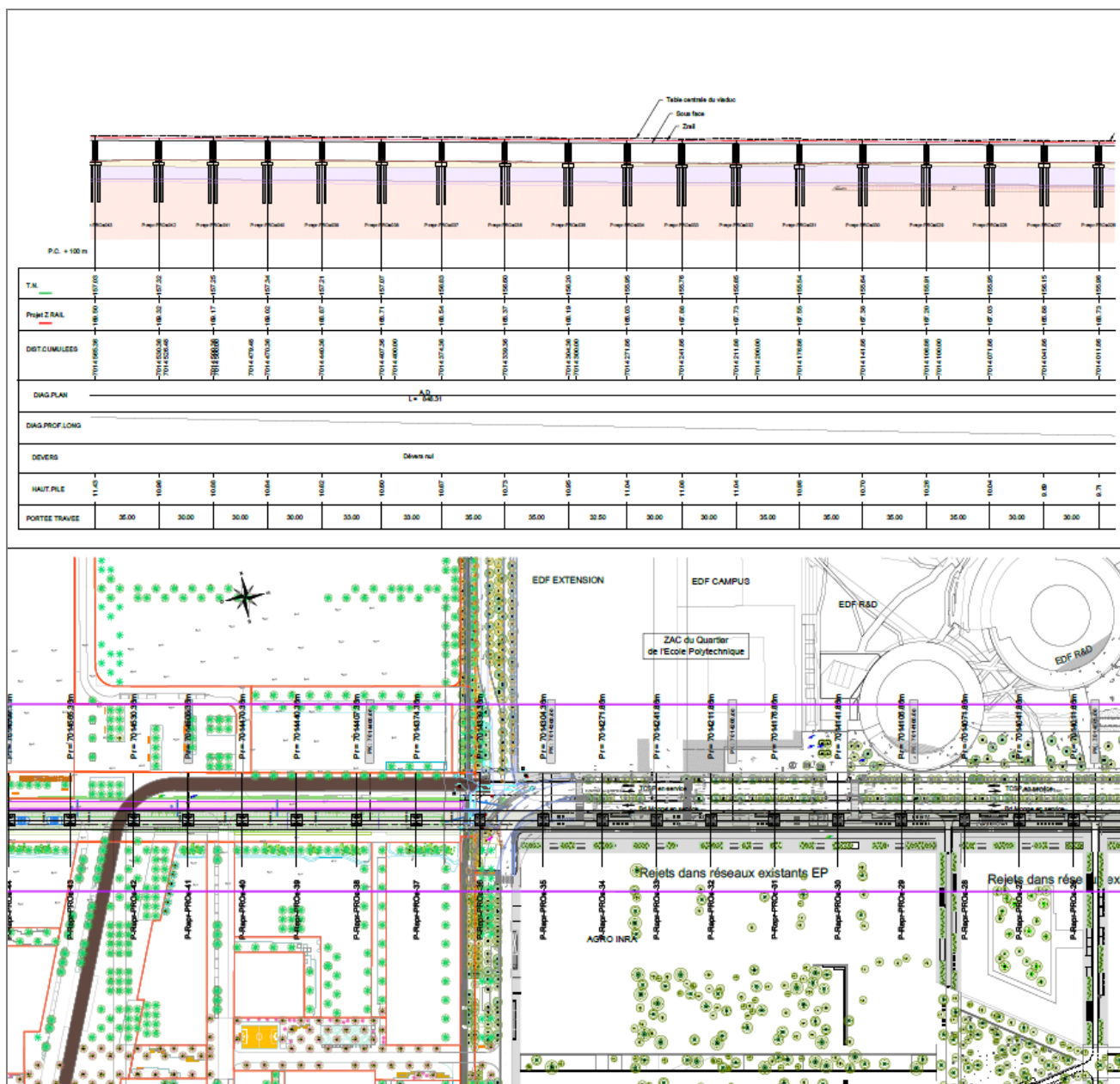
Figure 60 : Profil en long et vue en plan du tracé – Icare, R-PROa – décembre 2018

Les contraintes majeures d'insertion du tracé dans cette zone sont :

- Prise en compte des schémas d'aménagement portés par l'EPA Paris-Saclay (bâtiments et voiries en construction ou en projet) sur la ZAC du Quartier de l'Ecole Polytechnique,
- Prise en compte de la plateforme météorologique SIRTa,
- Réduction des nuisances vibratoires et électromagnétiques aux abords des entreprises et laboratoires du quartier de l'Ecole Polytechnique,
- Minimisation des impacts sur le corridor écologique de l'EPA-Paris-Saclay,
- Implantation d'un poste de redressement (cf. partie systèmes),
- Implantation retenue pour la gare Palaiseau.

4.3.6.3. Tronçon : Gare Palaiseau / Gare Orsay-Gif (PK 7015+942.7)





4.3.6.4. Tronçon : Gare Orsay-Gif / Gare CEA St-Aubin (PK 7018+337,4)

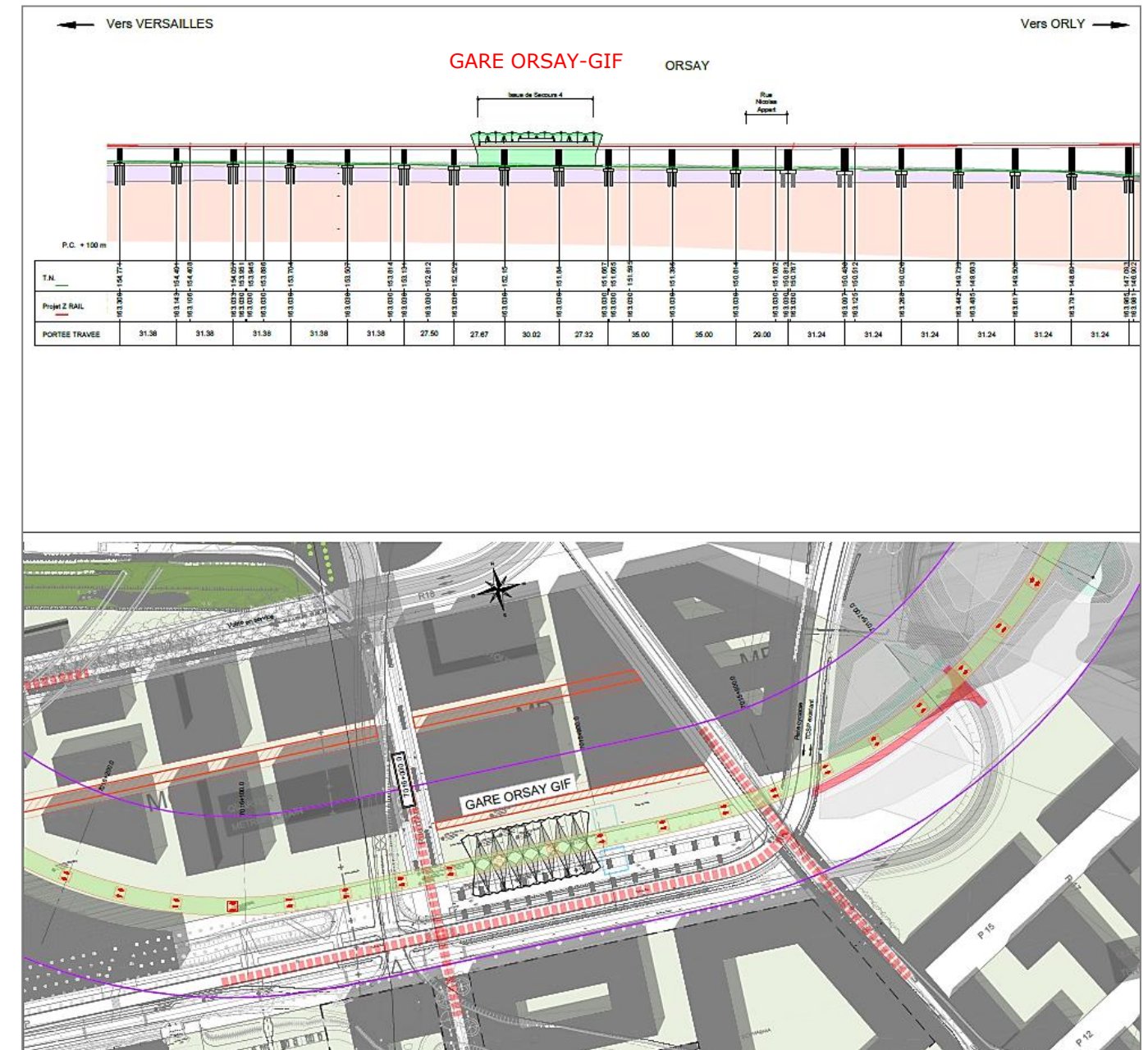
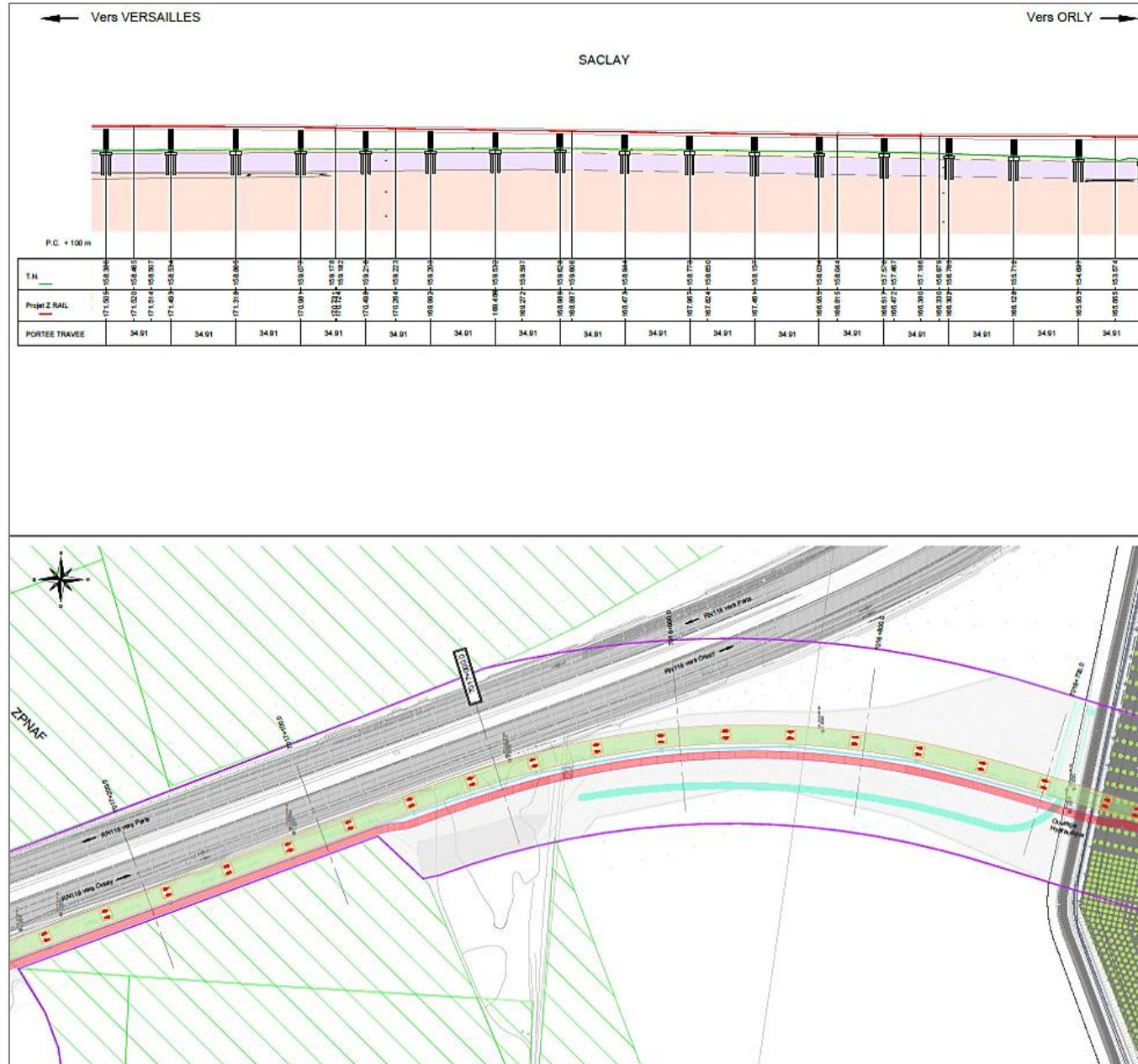


Figure 61 : Profil en long et vue en plan du tracé – Icare, Partie 5 AVP-B - mars 2017

Les contraintes majeures d’insertion du tracé dans cette zone sont :

- Prise en compte des schémas d’aménagement portés par l’EPA Paris-Saclay (bâtiments et voiries en construction ou en projet), en particulier les aménagements liés au boulevard Monge, au TCSP Massy-Saclay ainsi qu’aux ZAC du Moulon et de Corbeville,
- Franchissement de la RN118,
- Implantation retenue pour la gare d’Orsay-Gif,
- Viaduc implanté côté Sud du boulevard Monge,
- Mesures compensatoires de l’EPA Paris-Saclay



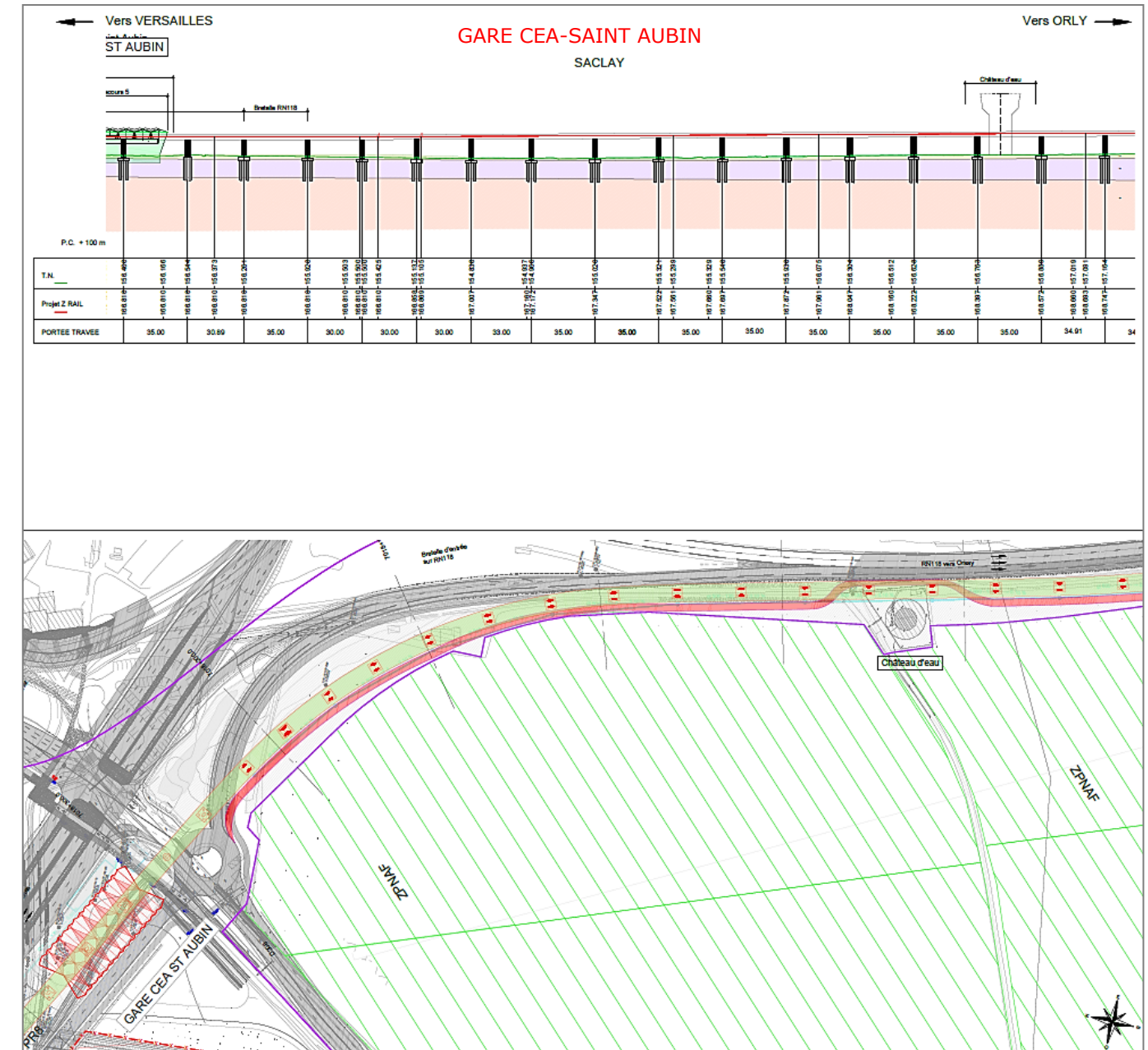
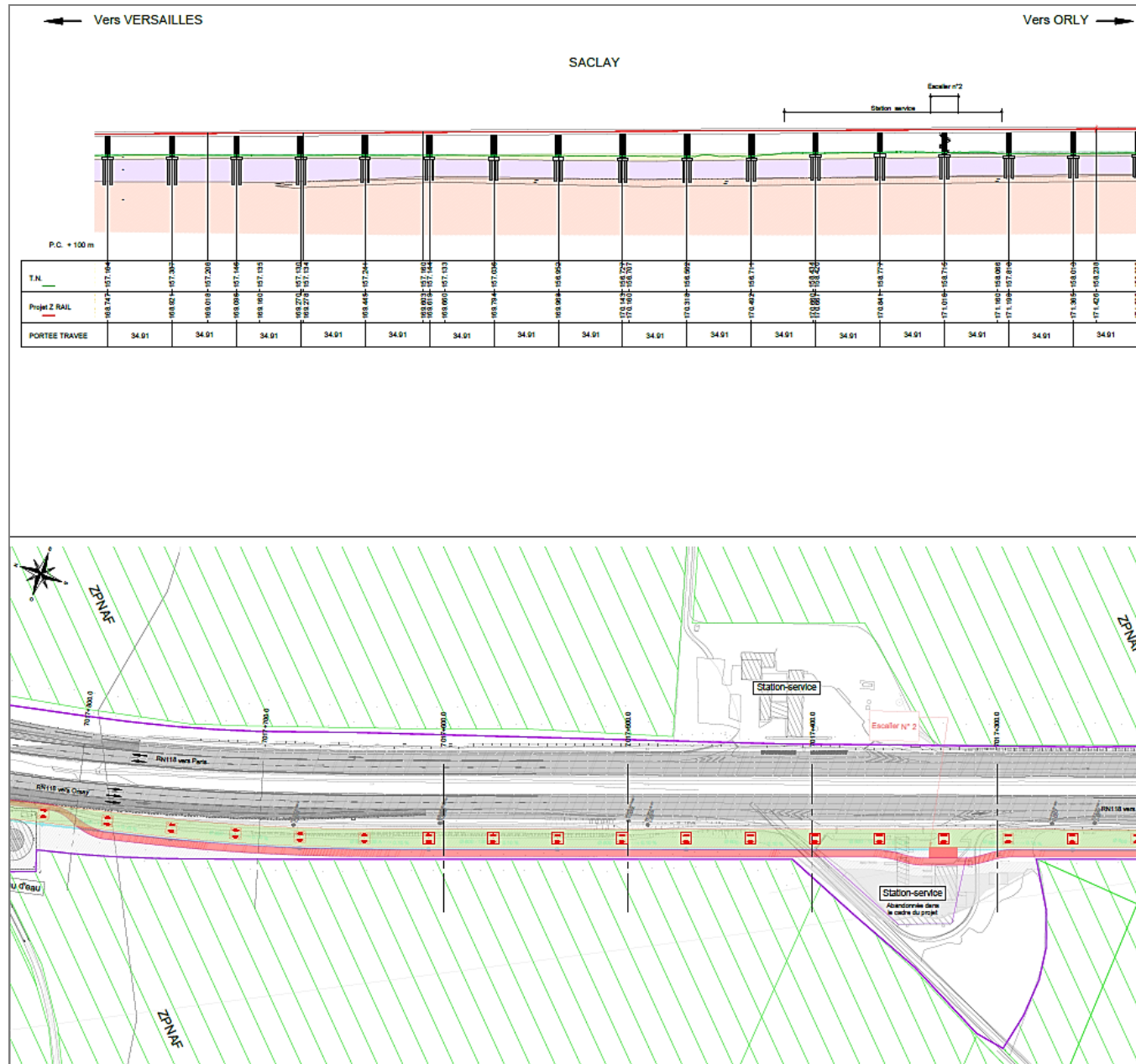


Figure 62 : Profil en long et vue en plan du tracé – Icare, Partie 5 AVP-B - mars 2017

Les contraintes majeures d’insertion du tracé dans cette zone sont :

- Implantation de la zone de communication en arrière gare d’Orsay-Gif (cf. partie systèmes),
- Présence de la ZPNAF à l’Ouest de la RN118, qu’il convient de n’impacter ni en phase définitive, ni en phase travaux,
- Projet de réaménagement de l’échangeur de Corbeville et des bretelles de la RN118,
- Présence d’une station essence : pour des raisons de sûreté, cette station doit être démolie.
- Présence du château d’eau du CEA,
- Projet de réaménagement du Christ de Saclay et des bretelles de la RN118 porté par le CD91,

- Nombreux réseaux concessionnaires et en particulier GRTGAZ et RTE.

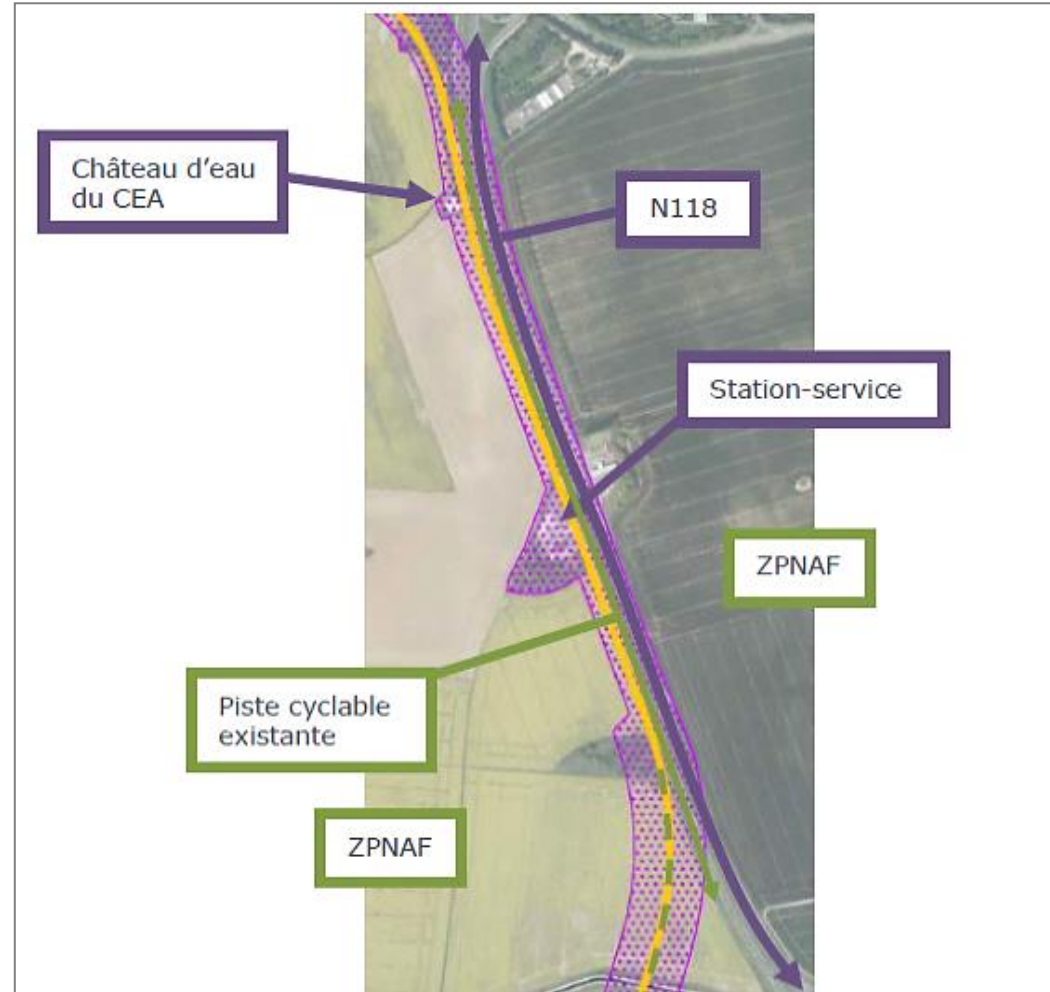


Figure 63 : Tronçon en jumelage avec la RN 118 – Extrait « Mémoire de tracé » AVP-B –Icare, mars 2017



Figure 64 : Implantation viaduc au droit du château d'eau

4.3.6.5. Tronçon : Arrière Gare CEA St-Aubin / OA 15

Ce tronçon, initialement prévu dans la section aérienne en viaduc fait l'objet de la mise au sol évoqué dans le cadre de la DUP modificative Ouest de 2021.

Il est traité dans le chapitre 4.4 AVP modificatif 2022 - Section ouest mise au sol.

4.3.6.6. Franchissements singuliers

Ils sont conçus au moyen d'ouvrage non-courants continus (absence de joints de dilatation, tout en respectant les critères vis-à-vis de la mise en œuvre de longs rails soudés) :

PK	Voie Franchie	Portée max (m)
7023+900	Giratoire Safran	55
7023+560	Giratoire Châteaufort	40
7020+920	Giratoire Villiers-le-Bâcle	40
7019+630	Aqueduc	55
7018+560	RD36	50
7015+530	N118	58
7013+900	Bd Monge	50

L'ouvrage franchissant la RN118 est perçu de la façon suivante :



Figure 65 : Perspective du franchissement de la RN 118 – Explorations architecture, Mars 2017

4.3.7. Méthodes de construction du viaduc

4.3.7.1. Les fondations

Pour la réalisation des massifs de fondations constitués de 4 pieux et d'une semelle en tête, il est prévu de réaliser préalablement une piste de chantier latérale au futur viaduc qui servira tout au long du chantier.

Le bétonnage est assuré par des toupies cheminant par la piste.

Exceptionnellement, lorsque les emprises au sol sont fortement contraintes (en particulier à proximité de l'aqueduc des mineurs et du poste source St Aubin), il est prévu de réaliser des fondations compactes de type puits marocains. La méthode de creusement est réalisé en blindage traditionnel (liernes, cerces, planches et butons).

4.3.7.2. Les piles

- Mise en œuvre d'un outil de coffrage à l'aide d'une grue mobile,
- Amenée des cages d'armatures préassemblées, à installer sur la semelle, à liasonner aux attentes,
- Mise en œuvre dans la pile des fourreaux ou canalisation EP pour l'assainissement,
- Bétonnage du ou des fûts et dans certains cas du chevêtre,
- Pose des appareils d'appuis à la grue mobile.

4.3.7.3. Le tablier

En zone courante, les éléments de tablier du viaduc sont réalisés en voussoirs préfabriqués sur une aire spécialement dédiée, puis mis en place à la poutre de lancement.

4.3.7.4. Aire de préfabrication des voussoirs

L'aire de préfabrication est prévue dans la zone dite de la Mare au Cuvier, qui est positionnée à peu près au milieu de la section, permettant ainsi de minimiser la distance de transport des voussoirs et en étant à proximité de la RN118.

La préfabrication du tablier se fait dans des moules en position fixe contre lequel on ajuste un voussoir préalablement coulé. Ces voussoirs sont ensuite stockés sur l'aire de préfabrication, sur un ou deux niveaux de façon à réduire l'emprise au sol.

4.3.7.5. Transport des voussoirs

Il est envisagé par convois exceptionnels, entre l'aire de préfabrication et de stockage, et le lieu de pose.

4.3.7.6. Mise en place des voussoirs

Les voussoirs sont suspendus à la poutre de lancement. L'opération de pose consiste à encoller les voussoirs, amener les voussoirs et les serrer avec des barres de précontrainte temporaires. Une fois l'ensemble des voussoirs assemblés, on procède à la mise en tension des câbles de précontrainte définitive. Le décintrement du tablier se fait par relâchement des voussoirs des appuis avant et arrière plutôt que par détensions des suspentes. On procède ensuite à l'enlèvement des barres de précontrainte. La travée est alors supportée sur des cales provisoires avant mise sur appuis définitifs.



Figure 66 : Exemple : (Pont de Laguna, État de Santa Catarina, Brésil)

Pour les ouvrages non-courants, les méthodes envisagées sont les suivantes :

PK	Voie Franchie	Portée max (m)	Méthode de construction envisagée
7023+900	Giratoire Safran	55	Encorbellements successifs avec modification provisoire des voiries
7023+560	Giratoire Châteaufort	40	Voussoirs préfabriqués ou poutre de lancement sur VSP
7020+920	Giratoire Villiers-le-Bâcle	40	Voussoirs préfabriqués ou poutre de lancement sur VSP
7019+630	Aqueduc des Mineurs	55	Encorbellements successifs
7018+560	RD36	50	Voussoirs préfabriqués
7015+530	RN118	58	Encorbellements successifs et rotation
7013+900	Bd Monge	50	Voussoirs préfabriqués

4.3.7.7. Réalisation du viaduc en zone courante

Cinématique des poutres de lancement

La cinématique des poutres de lancement dépend de la géométrie de la ligne, des différents obstacles sur le parcours et des contraintes de planning.

Pour répondre aux impératifs de planning, deux poutres de lancement seront probablement nécessaires.

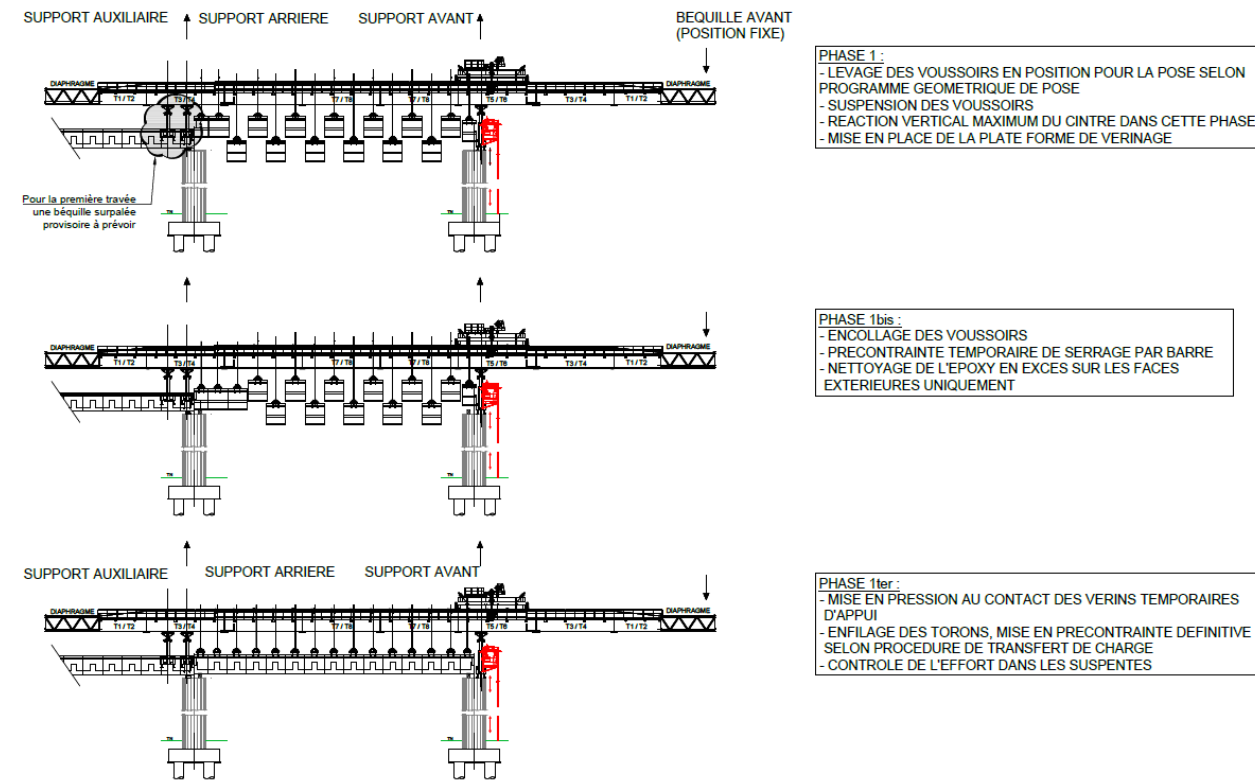


Figure 67 : Cinématique de construction des tabliers courants – AVP-B

4.3.7.8. Cas particulier du franchissement de la RN118

L'ouvrage de franchissement de la RN118 par la ligne 18 répond à des critères spécifiques pour sa construction et son fonctionnement à terme.

Les exigences d'exploitation de la RN118 sont prises en compte dans la conception et l'organisation des travaux :

- La circulation devra être maintenue à 2X2 voies durant tous les travaux dans la journée. A certains horaires établis en concertation avec le gestionnaire de la RN118, la circulation pourra être réduite à 1x2 voies.
- En phase exploitation, des opérations exceptionnelles de maintenance peuvent également impliquer une réduction du nombre de voies à des horaires convenus avec le gestionnaire de la RN118.

Description de la mise en place du tablier par rotation

Les fléaux sont construits parallèlement à la RN118.



Figure 68 : Construction des fléaux, orientés parallèlement à la RN118

Les fléaux sont ensuite tournés sur chacune des piles, à la position définitive. L'opération de rotation nécessite une coupure d'une nuit par fléau.

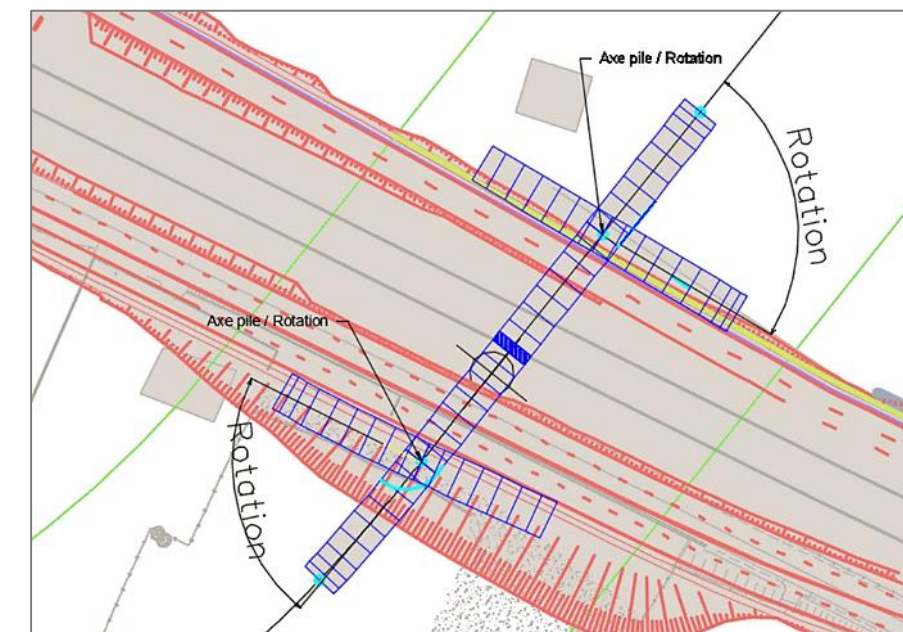


Figure 69 : Rotation des fléaux

Les fléaux sont clavés en milieu de travée centrale. Le clavage des deux fléaux nécessite également une nuit de coupure.



Figure 70 : Clavage des fléaux

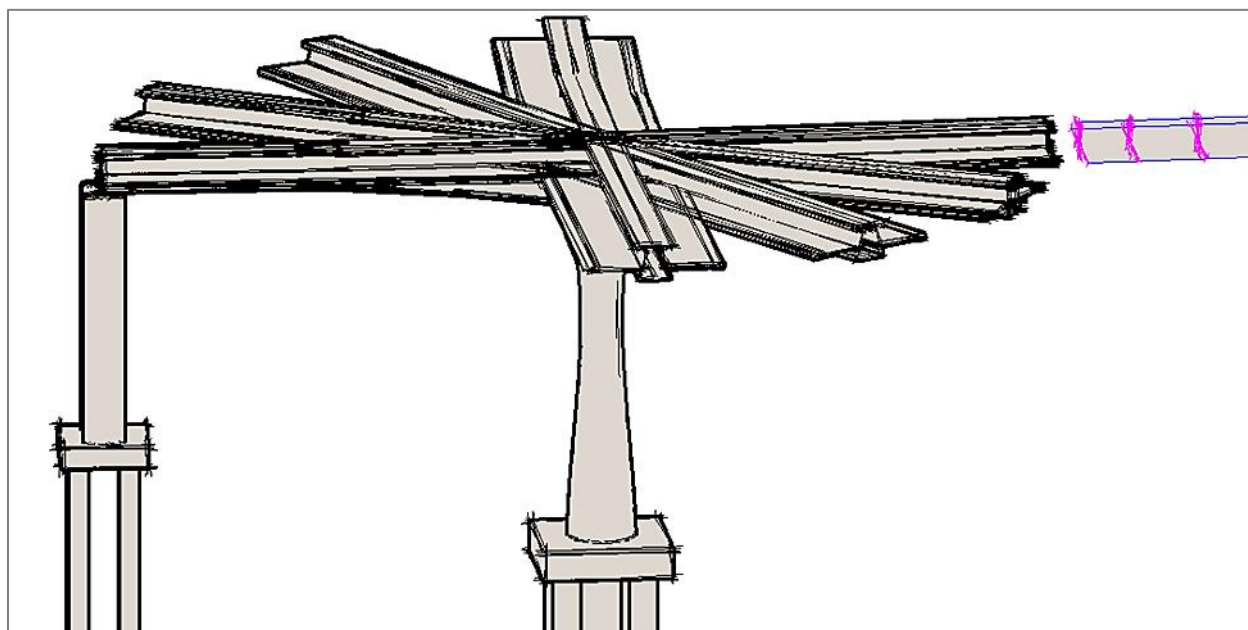


Figure 71 : Rotation d'un fléau - 3D

Une proposition est en cours de définition pour convenir d'une pose définitive qui permettrait de limiter la coupure de la RN118 .

4.3.8. Zones de transition

4.3.8.1. Principes de conception des zones de transition

Il s'agit des ouvrages situés entre la partie aérienne de la ligne sur viaduc et les parties souterraines en tunnel. Ils constituent deux zones d'ouvrages spécifiques :

- La zone de transition ouest ;
- La zone de transition est.

Ces zones particulières sont composées, depuis le tunnel vers le viaduc :

- D'une tranchée couverte (notée TC),
- D'une tranchée ouverte (notée TO),
- D'une rampe permettant de faire la transition du profil en long de la ligne du niveau terrain naturel au niveau « courant » sur viaduc.
- Un passage au sol entre la TO Est et la rampe Est

Ce paragraphe concerne donc les ouvrages suivants :

- Les tranchées couvertes,
- Les tranchées ouvertes
- Les rampes du viaduc proprement dites,
- La zone au sol

4.3.8.2. Contexte géotechnique et hydrologique

Le contexte géotechnique et hydrologique est similaire à celui du viaduc en zone courante :

- Le terrain est constitué :
 - o De limons du Plateau (épaisseur variable de 2.00m à 4.00m),
 - o De Meulière de Montmorency (reconnue sur des épaisseurs très importantes (de 8.00 à 14.00m), cette couche présente un risque de présence de bancs rocheux épais très durs),
 - o De sables de Fontainebleau (cette couche est à un horizon de 143.00 NGF côté Est (146.00 NGF côté Ouest),



- A ce stade de l'étude, et en l'absence de données piézométriques suffisantes, l'hypothèse d'une nappe perchée à 2.00 m en-dessous du niveau du terrain naturel a été prise en compte dans la conception des soutènements.

4.3.8.3. Les rampes

La zone des rampes est une structure en béton armé. Le départ de la rampe est constitué d'un radier porté sur deux files de pieux, afin d'éviter tout risque de tassement des meulrières.

A l'émergence du radier, la structure est un portique, dont la traverse rappelle la forme du tablier du viaduc. Les deux piédroits, de hauteur variable, sont portés par deux semelles filantes. Ces dernières sont fondées sur deux files de pieux. (cf. figure après).

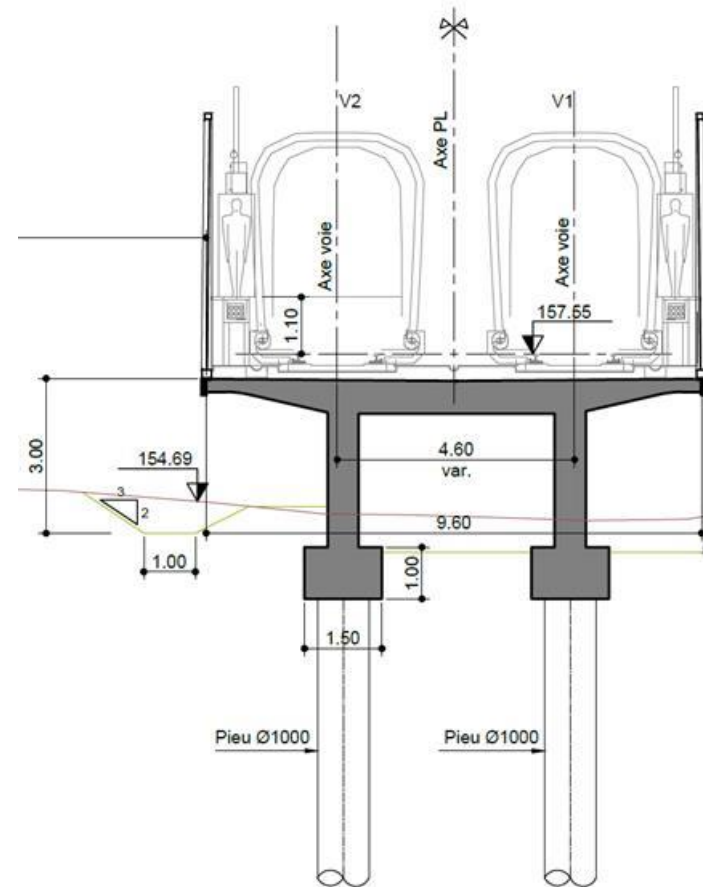


Figure 72 : Coupe type d'une rampe - Extrait du cahier de plan des coupes sur tranchées - PRO_A - ICARE

4.3.8.4. Tranchées couvertes

Le choix des méthodes constructives des tranchées couvertes a été principalement déterminé par :

- Le contexte géotechnique et hydrogéologique
- Le contexte environnant.

- Les aspects architecturaux et paysagers.

Ces ouvrages sont réalisées à partir de deux méthodes distinctes suivant que l'on se trouve à l'ouest ou à l'est du viaduc

• A l'Est

Le principe constructif fait appel à des fondations **en parois moulées** réalisées depuis une plateforme basse correspondant au niveau de la dalle de couverture.

Concrètement, la tranchée couverte Est a une longueur totale de près de 242 m (y compris puits d'entrée du tunnelier) et une largeur variable de 12,15 m à 16 m (dans le puits d'entrée du tunnelier).

La hauteur utile des ouvrages conditionnée par le gabarit ferroviaire est de 5,95 m.

L'ouvrage supporte une charge de terres allant jusqu'à 4 m au droit des sections les plus profondes, au voisinage des puits.

La problématique de gonflement des argiles dans la couche des Meulnières de Montmorency (TS), notamment sous les radiers, a conduit à retenir une conception d'ouvrage fondé profondément avec des soutènements en parois moulées (réalisées depuis une plateforme basse correspondant au niveau de la dalle de couverture) avec des radiers portés sur vide sanitaire.

A la suite des travaux de parois moulées, démarreront les travaux de terrassements à ciel ouvert et mise en place du butonnage provisoires à la descente.

Le premier coulage de béton sera réalisé pour le radier quand le terrassement arrivera au fond de fouille avec dispositif pour réalisation d'un vide sanitaire sous radier vis-à-vis du gonflement des argiles.

Par la suite, les travaux seront réalisés en bottom-up avec le dépôt du premier lit de butons au-dessus du radier, la mise en place des étalements pour la réalisation de la dalle de couverture, le coulage de la dalle de couverture, la dépose du deuxième lit de butons sous la dalle de couverture, puis la mise en place de l'étanchéité définitive au-dessus de l'ouvrage et le remblaiement.

La dalle de couverture sera à inertie variable encadrée sur les piédroits à travers des goussets pour constituer au final une structure en portique avec radier.

Il est à noter que ce mode de réalisation ne concerne pas les portions de tranchée couverte au droit du futur barreau du carrefour de la Croix de Villebois.

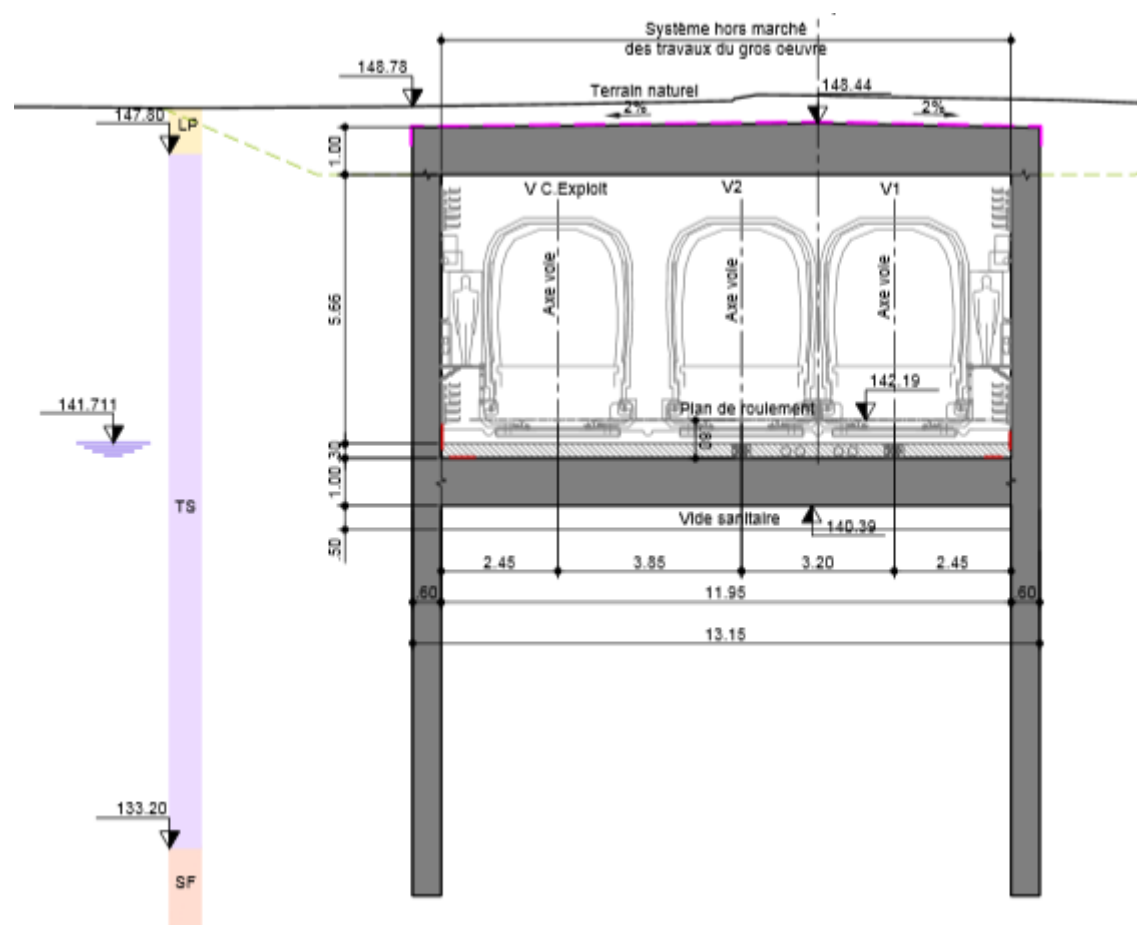


Figure 73 : Tranchée couverte Est réalisée avec parois moulées. Situation finale

• A l'Ouest

Pour la tranchée couverte Ouest, compte tenu du contexte hydrogéologique du projet, il est prévu de réaliser les structures en cadre des tranchées couvertes **à l'abri d'un soutènement provisoire type berlinoise**. Afin de prévenir les arrivées d'eau lors des travaux, des puits de pompage seront disposés le long des ouvrages.

Dans les zones où les emprises disponibles le permettent, une fouille talutée par l'intermédiaire des talus d'une pente de 3H/2V (trois horizontalement pour deux verticalement) pourra être réalisée.

Concrètement, la tranchée couverte Ouest fait un linéaire de 310 m et fait une largeur variant de 8,10 m à 12,90 m. La hauteur utile des ouvrages est de 5,95 m conditionnée par le gabarit ferroviaire.

L'ouvrage supporte une charge de terres allant jusqu'à 14 m de hauteur.

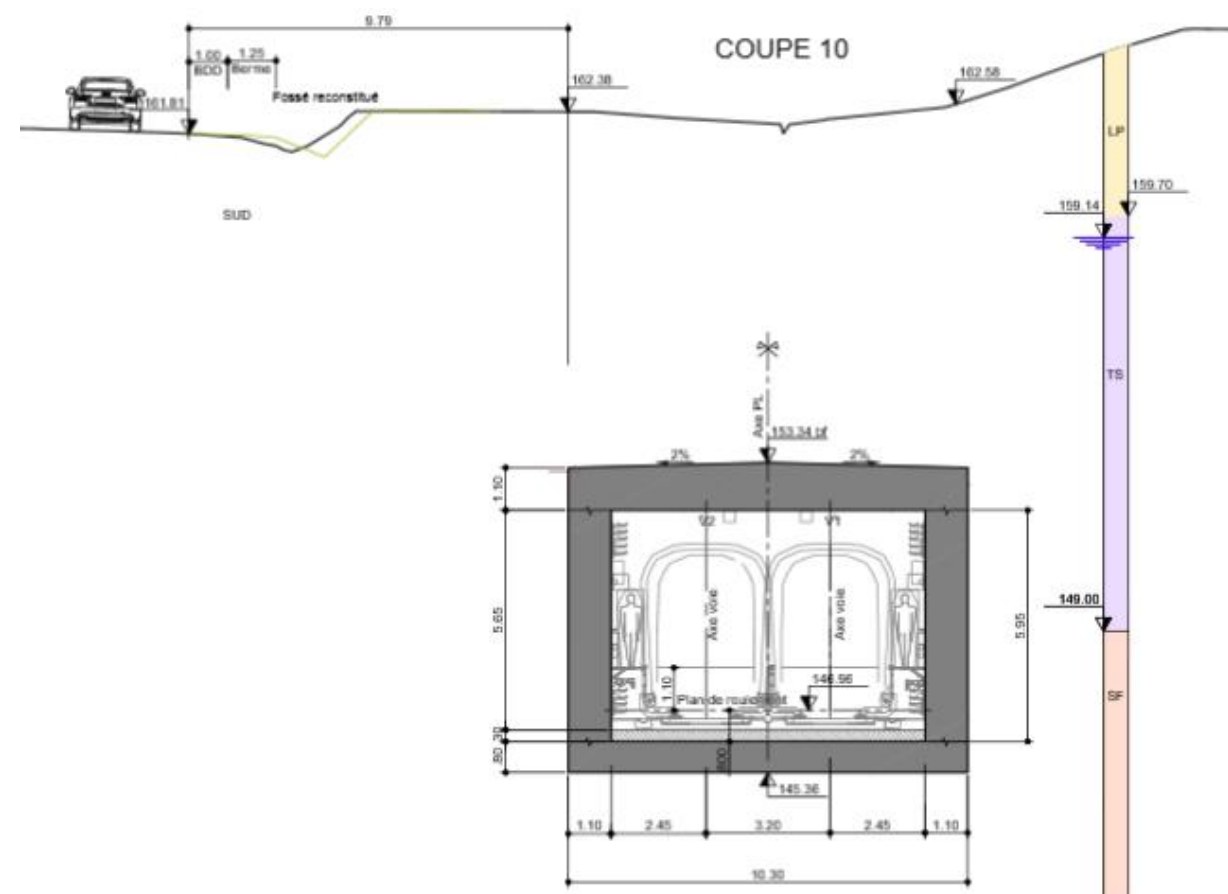


Figure 74 : Tranchée couverte Ouest réalisée à l'abri d'un soutènement provisoire type Berlinoise. Situation finale

4.3.8.5. Tranchées ouvertes

Comme pour les tranchées couvertes, la réalisation des tranchées ouvertes utilise deux méthodes constructives différentes suivant que l'on se situe à l'ouest ou à l'est du viaduc.

• A l'Est

La tranchée ouverte est réalisée par le biais de **parois moulées** qui constituent les éléments verticaux de la structure en phase définitive.

Les parois moulées sont réalisées depuis une plateforme. Puis, les terrassements entre parois sont réalisés à ciel ouvert entre soutènements et mise en place du butonnage provisoire à la descente. Le coulage du radier est ensuite réalisé avec dispositif pour réalisation d'un vide sanitaire sous radier vis-à-vis du gonflement des argiles. Enfin, le terrain définitif est mis en place.

Le phasage des travaux des tranchées ouvertes est également fortement impacté par la proximité de la RD 36 existante et du centre d'exploitation (CE). Les tranchées ouvertes au niveau de l'ouvrage du futur « barreau » du carrefour de la Croix de Villebois sont réalisées en priorité afin de permettre au plus tôt les travaux de cet ouvrage de franchissement.

Les travaux n'impactant pas la RD36 existante peuvent être réalisés ensuite.

Enfin sont réalisés les travaux interceptant la RD36 existante et devant attendre son dévoiement. Il s'agit de la partie Ouest des tranchées et du branchement au CE.

Concrètement, la zone de tranchée ouverte Est comporte :

- Tranchée ouverte (TO) d'un linéaire de 545 m environ en 2 voies, hors mesures conservatoires Camille Claudel (voir ci-après) ;
- Une branche de raccordement au centre d'exploitation (CE) d'une longueur de 140 m en 2 voies ;
- Les mesures conservatoires pour une éventuelle gare supplémentaire (dite « Camille Claudel »), qui correspondent à un élargissement de la Tranchée ouverte à 14,54 m sur 62 m de longueur.

• A l'Ouest

La structure de la tranchée ouverte Ouest est **une structure en U fondée sur radier**. Le tracé de voies est en pente de près de 3%. En fonction des niveaux des arases basses des radiers, du profil du TN, les piédroits auront un rôle de soutènements sur des hauteurs variables allant jusqu'à 7 m maximum.

La méthodologie de réalisation consiste à réaliser une fouille d'une profondeur de 7 à 8 mètres maximum pour réaliser le radier depuis ce fond de fouille, suite à la mise en place de l'étanchéité.

Les mêmes dispositions de réalisation vis-à-vis de l'hydratation des fonds de fouille dans les argiles à meulière de Montmorency, prises en compte pour les tranchées couvertes, sont conservées.

En fonction de l'encombrement et de l'espace disponible, des fouilles talutées ou des soutènements provisoires en talus cloué seront réalisées

Par la suite les piédroits seront coffrés sur place et les terrains remaniés derrière les écrans pour s'adosser à l'aménagement final.

Concrètement, la tranchée ouverte Ouest fait un linéaire de 80 m et fait une largeur variant de 8,10 m à 12,90 m respectivement pour accueillir les 2 et 3 voies.

4.3.8.6. Passage au sol

La zone de transition Est est la seule qui accueille une section de passage au sol sur un linéaire de l'ordre de 600 m.

Cette partie comprend une zone en profil rasant et une autre en remblai.

Les dispositions techniques principales envisagées pour franchir cette zone s'appuie sur la méthode constructive suivante :

- nettoyage de l'emprise
- décapage de la terre végétale
- substitution de sols ou traitement en place de l'arase des terrassements pour obtenir un EV2 de 50 MPa
- réalisation de la structure de voie comprenant béton de fondation et béton de calage des voies
- réalisation des réseaux d'assainissements de la plateforme et des voies ainsi que les dispositifs destinés aux cheminements des câbles en fonction du profil en travers type qui sera définitivement retenu à l'issue du dialogue compétitif du lot 2 intégrant cette section au sol.

- Réalisation du cheminement pour l'évacuation des passagers suivant la proposition retenue à l'issue du dialogue compétitif du lot 2.

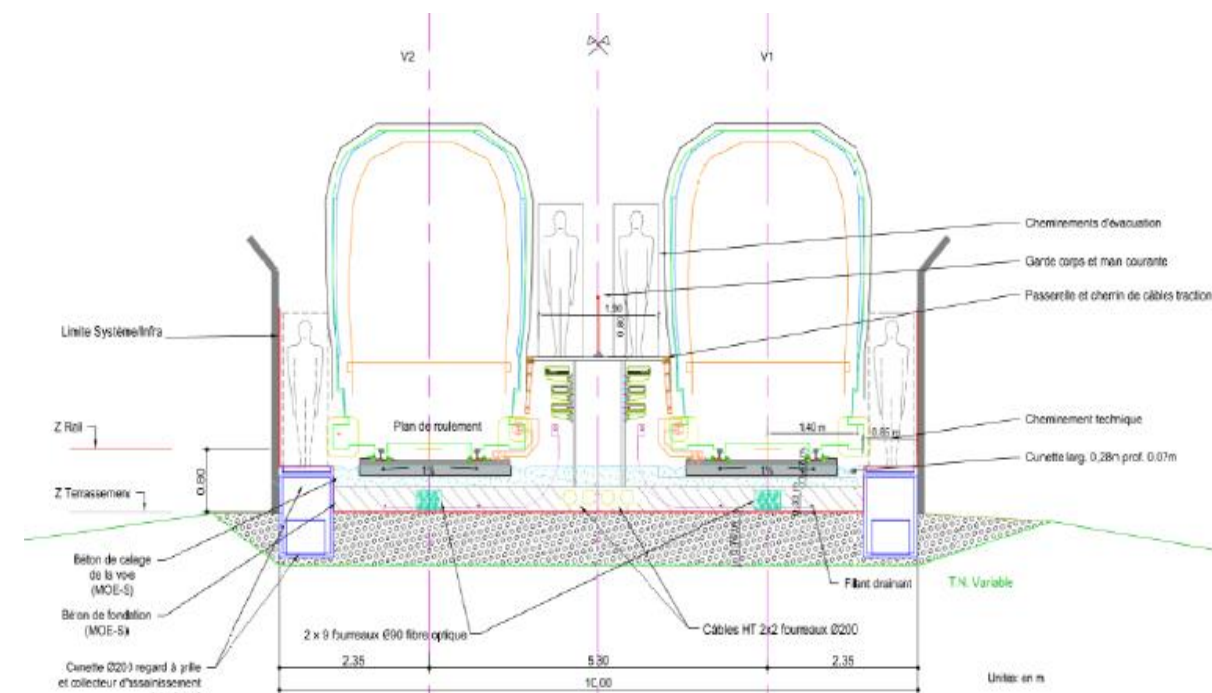


Figure 75 : Passage au sol avec cheminement central . Egis nov. 2018

4.3.8.7. Avant-Projet modifié Février 2022 – Passage au sol Ouest

La zone de transition Ouest a été totalement revue dans le cadre de la reprise des études du secteur Ouest de 2020. En lien avec la remontée du profil en long du tunnel entre l'OA15 et SQE, l'OA15 a été réduit aux fonctionnalités d'un accès de secours et le tunnel jusqu'à SQE est réalisé en tranchée couverte.

La zone de transition Ouest est située dans la commune de Magny les Hameaux et de Guyancourt, elle représente un linéaire de 2,1 km du PK 7024+950 (début de la TO) au PK 7027+052 (tympan sud de gare de Saint-Quentin Est). La TO et la partie Est de la TC sont situées dans les emprises du golf national en longeant la RD36. Le tracé marque ensuite un virage de rayon 400 pour rejoindre l'avenue de l'Europe.

L'ouvrage annexe 16 est situé dans la section en tranchée couverte au niveau du restaurant du Golf. Le tracé franchit ensuite l'avenue du Golf au niveau de la place du Général de Gaulle avant de rejoindre la gare de Saint Quentin dont la position a été revue pour s'inscrire dans le projet de ZAC de l'EPAPS.

La tranchée ouverte a une longueur de 571 m et la tranchée couverte a une longueur totale de 1531 m (790 m entre l'OA15 et l'OA16 puis 741 m entre l'OA16 et la gare SQE).

Entre l'AS et l'OA16, le profil en long de la tranchée couverte suit la pente montante du tracé de 5% (dans la direction vers Versailles) puis de l'OA16 à la gare SQE, la tranchée couverte suit la pente descente du tracé à 5% (dans la direction de Versailles).

La tranchée couverte reprend une charge de terres de 12,7 m à la section la plus profonde au niveau de la gare Saint Quentin Est.

4.3.8.8. Etanchéité

Au niveau des deux zones de transition, les ouvrages sont adjacents à la RD36. Le système de drainage de cette voirie se fait par l'intermédiaire d'avaloirs, regards et collecteurs enterrés.

Ce réseau permet de récupérer les eaux en provenance des rampes et tranchées ouvertes :

Les eaux en provenance des rampes d'accès au viaduc sont collectées via des caniveaux latéraux raccordés au réseau de la RD36 par pente gravitaire,

Les eaux des tranchées ouvertes cheminent par des caniveaux latéraux vers l'intérieur de la tranchée couverte (à 10m environ). Elles sont ensuite évacuées vers le réseau de la RD36 grâce à une station de relevage.

Comme pour le viaduc en zone aérienne, les eaux provenant de la plateforme ferroviaire ne sont pas considérées comme polluées : elles peuvent donc être rejetées dans le réseau des eaux pluviales sans avoir recours à un dispositif de traitement.

Au niveau des fossés le long des tranchées ouvertes, et des rampes, le drainage des eaux pluviales est assuré par des noues.

En particulier, au sud du passage au sol de Palaiseau, un bassin de rétention de 550 m³ est créé afin de récolter les eaux météoriques. Celui-ci tamponne le Bassin Versant Naturel intercepté par le Centre d'Exploitation qui s'écoule vers le nord-est.

4.3.8.9. Sécurité des zones de transition

• Issues de secours

Une issue de secours est prévue dans la zone de transition Est au droit des mesures conservatoires pour la gare Camille Claudel.

Par ailleurs, deux accès de secours dits « rasants » sont prévus à l'Est et à l'Ouest du viaduc lorsque le tracé rejoint le TN. Ces accès sont matérialisés par des accès dans les clôtures bordant la ligne.

Au bout de la zone de transition Ouest une issue de secours est assurée par l'ouvrage annexe OA15.

• Accès des secours

L'évacuation des passagers s'effectue suivant des accès de secours latéraux. Seule la rampe de la zone de transition Est présente une évacuation centrale, dans le prolongement de celle du viaduc.

• Sûreté des zones de transition

Des dispositifs anti-intrusion sont installés au niveau des transitions. Ils ont pour objectifs :

- D'interdire toute intrusion sur la ligne,
- D'empêcher le jet de projectiles sur la ligne.

4.3.8.10. Principes généraux d'insertion architecturale et paysagère

Les transitions, véritables entrées et sorties de la section aérienne, représentent le lieu où le métro émerge du sol.

L'aménagement paysager proposé (sauts de loup, plantations), tout comme la conception du génie civil (soutènements) assurent à la fois la sécurisation de ces points névralgiques de la ligne et une insertion aussi douce que possible.

L'enjeu principal consiste donc à dissimuler tous les éléments techniques depuis l'extérieur en donnant l'illusion d'une sortie progressive et discrète du viaduc depuis le sous-sol.

Le principe privilégié consiste à dissimuler les murs de soutènement en tranchée ouverte puis de surcreuser les abords de la rampe par la suite en insérant une clôture végétale et/ou une haie végétale dans ce fossé jouant alors un rôle de « saut de Loup ».

La rampe demeure dissimulée derrière des haies et/ou clôtures végétales jusqu'au moment où arrivée suffisamment haute, elle laisse place au viaduc ne nécessitant alors plus de végétations opacifiantes pour dissimuler les éléments techniques divers.

A l'Est, le long du passage au sol et des TO à proximité de la RD36, un mur de protection de 3 à 4m assurant sûreté et sécurité vis-à-vis de la circulation routière sera érigé. Son intégration paysagère sera réalisée par une largeur plantée et un parement en gabions de pierres de meulière.

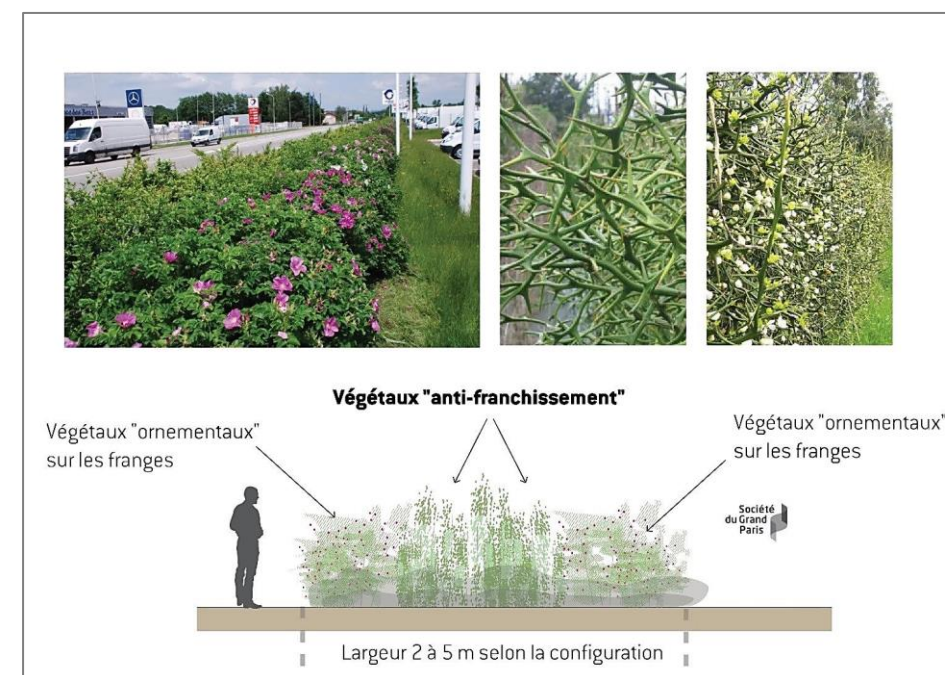


Figure 76 : Principe de Clôture végétale LCV (Dispositif breveté et certifié) – Agence ter, Mars 2017

4.3.8.11. Méthodes de construction des ouvrages

La réalisation de la rampe est envisagée comme suit :

- Excavation des terres jusqu'au fond de fouille des semelles
- Réalisation des pieux par une machine de forage (ou carotteuse suivant les couches de terrains traversées) et une grue mobile pour manipuler les cages d'armatures. Le bétonnage est assuré par des toupies.
- Le recépage des pieux, réglage du fond de fouille avec du béton de propreté et le dégagement des attentes des pieux
- L'amenée des cages d'armatures à la grue mobile. Le coffrage latéral et bétonnage des semelles filantes
- La mise en œuvre à la grue du coffrage, l'amenée des cages d'armatures et le bétonnage des piédroits
- La mise en place du coffrage, l'amenée des cages d'armatures et le bétonnage du tablier

La méthode de construction des ouvrages de transition TC/TO est la suivante :

- Installation de chantier, y compris pour travaux de parois moulées,
- Décapage de la terre végétale,
- Réalisation des murettes de guidage le long des tranchées
- Forage et excavation des terres à l'aide d'une benne ou d'une « Hydrofraise » (ou équivalent), suivant la dureté du terrain traversé. L'injection de la boue assure la stabilité des terres en phase provisoire
- Coulage du béton,
- Insertion des cages d'armatures.

Le déroulement des travaux de terrassement est comme suit:

- Recépage des parois moulées et démolition des murettes de guidage
- Excavation des terres entre les parois moulées jusqu'au niveau du 1^{er} lit de butons provisoires
- Mise en place du 1^{er} lit de butons
- Excavation jusqu'au 2^{ème} lit des butons provisoires
- Mise en place du 2^{ème} lit de butons ;

Ces tâches se succèdent jusqu'au fond de fouille. A noter qu'au niveau des tranchées couvertes, il est nécessaire par endroit de mettre en place un 3^{ème} lit de butons provisoires.

Quand les travaux d'excavation arrivent au fond de fouille, commence à ce moment l'atelier de béton. Son avancement est comme suit :

- Coulage du radier
- Suppression d'un ou plusieurs lits de butons provisoires
- Coulage de la dalle pour la tranchée couverture
- Suppression du dernier lit de butons provisoires

De même que pour le terrassement, les travaux de béton peuvent être effectués par plusieurs ateliers en parallèle.

A la fin des travaux de béton, la couche de béton de rechargement est mise en œuvre le long des tranchées.

A l'achèvement du coulage de la dalle de couverture, la mise en œuvre des remblais commence.

4.3.8.12. Zone de transition Est « Camille Claudel »

• Localisation et contraintes du site

Localisation

La zone de transition Est se trouve dans la commune de Palaiseau, à proximité du quartier de « Camille Claudel » et de l'École Polytechnique. Elle longe la RD36, au droit du branchement de l'A126 à la commune de Palaiseau. Cette section intègre outre la tranchée ouverte un passage au sol sur une distance de l'ordre de 600 m avant d'attaquer la rampe est du viaduc

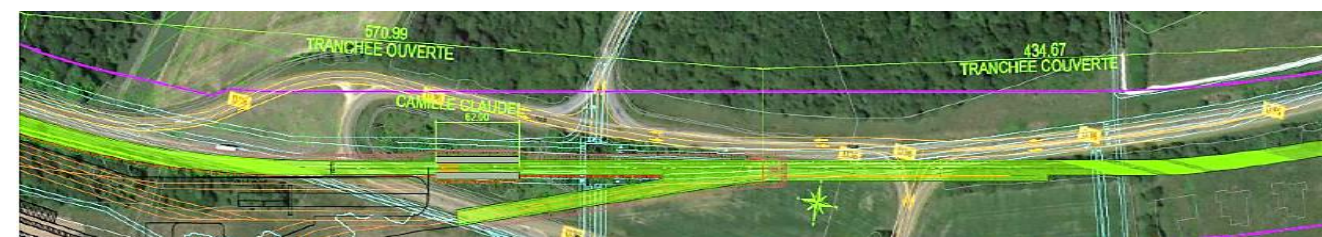


Figure 77 : Vue aérienne de la zone de transition est « Camille Claudel »

• Contraintes du site

Au nord, la zone de transition « Est » est adjacente à la RD36.

Le tracé de la zone de transition intercepte également une branche de la RD36. Un phasage de circulation spécifique est étudié.

Au sud, la rampe, le passage au sol et la tranchée ouverte de la zone de transition Est sont à la limite du centre d'exploitation (C.E). Une clôture de 3.00m sépare les deux espaces, assurant ainsi la fonction de sûreté en empêchant l'intrusion d'individus.

L'ensemble de cette section fera l'objet d'une étude paysagère spécifique en vue d'associer l'intégration paysagère et les dispositifs de sécurité propres à éviter toute intrusion sur la plateforme ferroviaire.

• Configuration de l'ouvrage

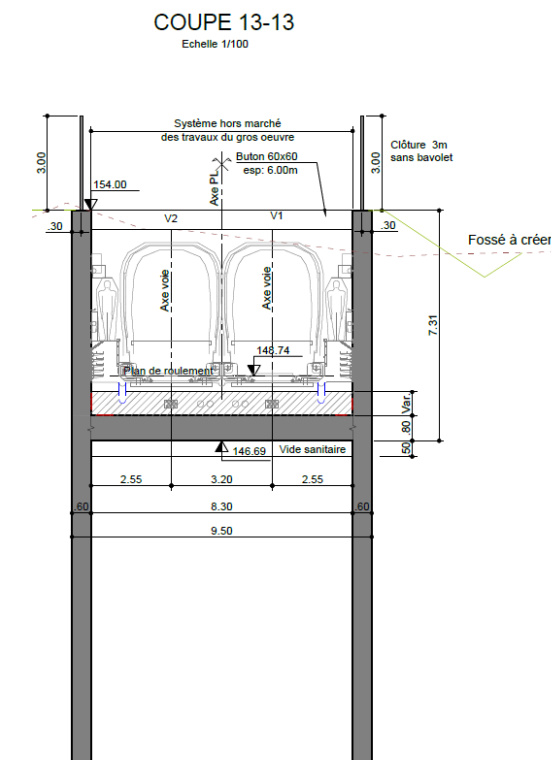
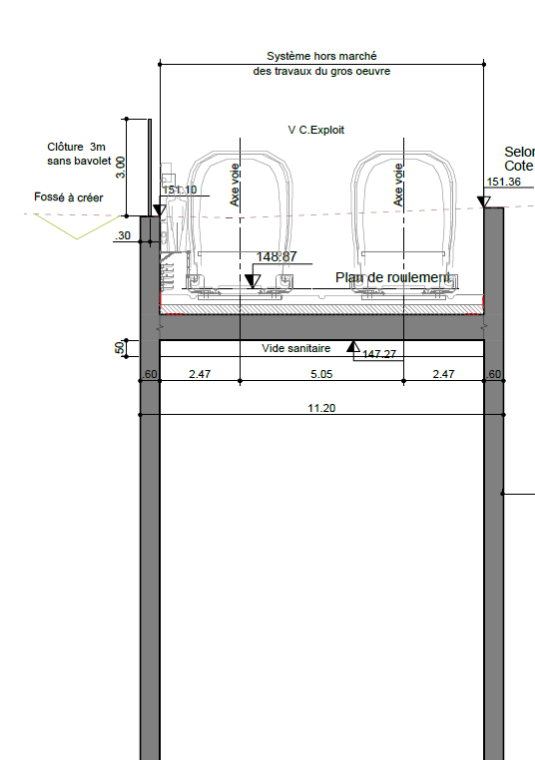
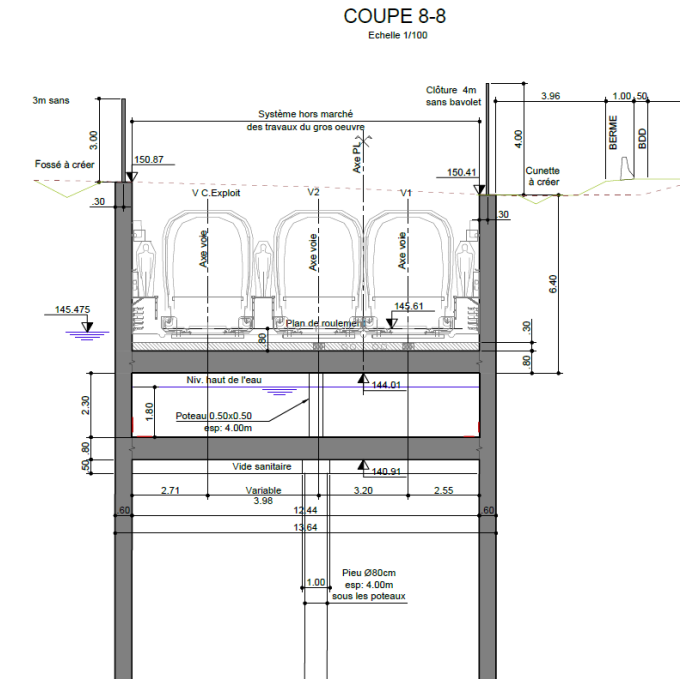
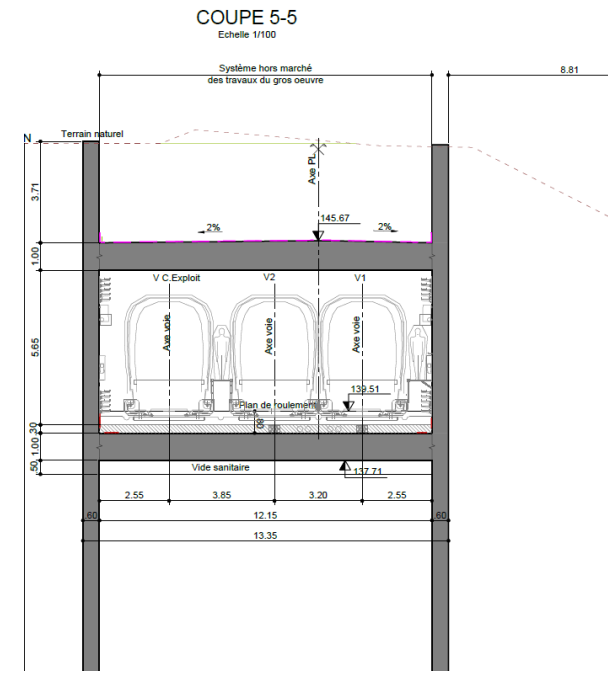
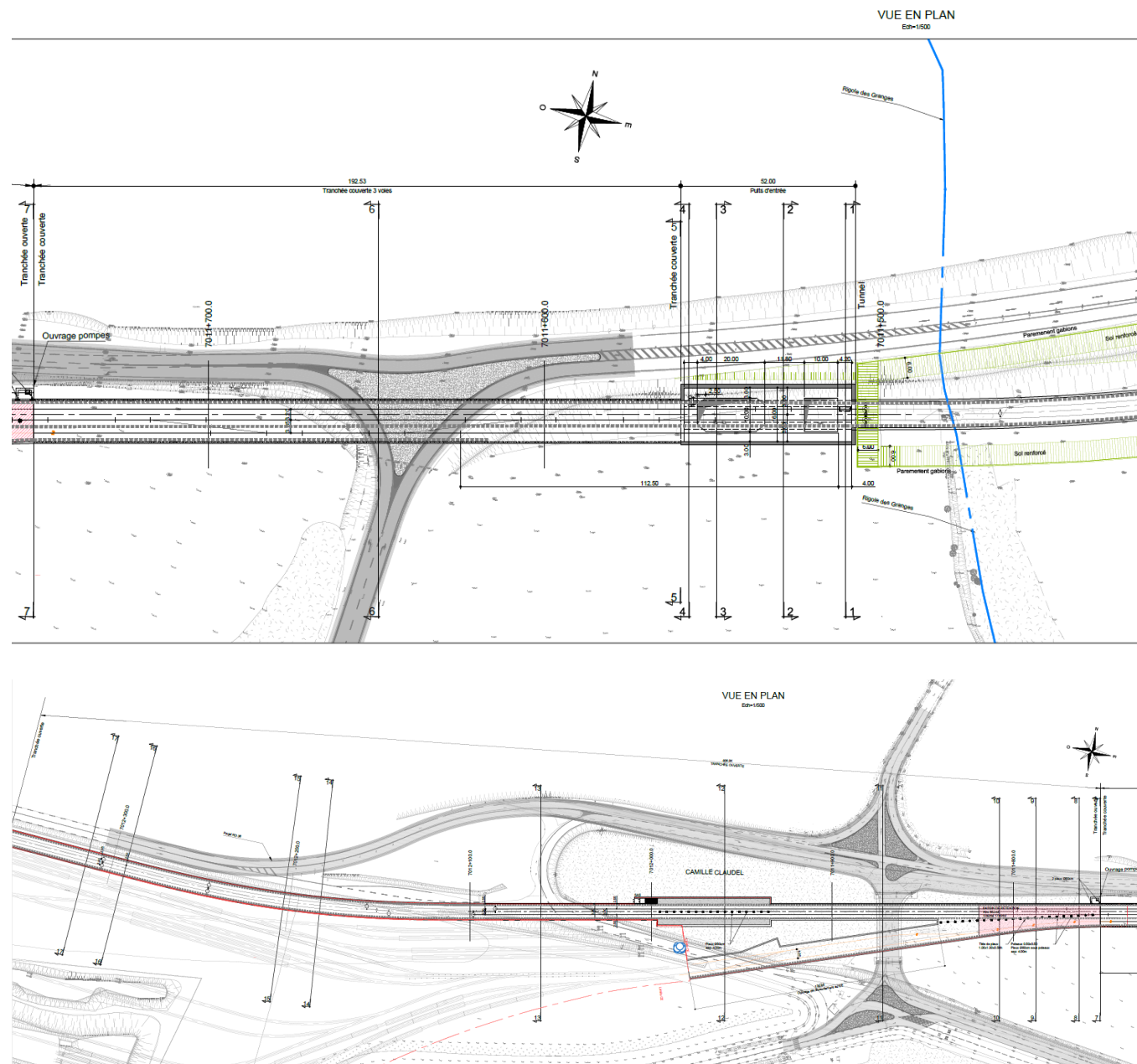


Figure 78 : Vue en plan et coupes Zone de transition « Camille Claudel » - Extrait PRO_A

• Insertion architecturale et paysagère

A la sortie Est du viaduc (coté CE/Camille Claudel), l'enjeu de protection se prolonge sur une zone plus longue en raison de l'intégration des mesures conservatoires Camille Claudel.

Dans ce secteur, la proximité du SMI/SMR nécessite une sécurité renforcée par un système de double enveloppe de clôture.

D'un point de vue paysager il convient également de dissimuler les clôtures depuis l'extérieur en donnant l'effet d'une sortie progressive du viaduc depuis le sol.

Le principe privilégié pour cette séquence consiste donc à dissimuler les murs de soutènement des tranchées ouvertes et les abords de la rampe en les dissimulant :

- Soit par un dispositif de clôtures végétales épineuses (cf transition ouest)
- Soit par un système de haie conventionnelle dissimulant les murs de soutènement de la tranchée ouverte.

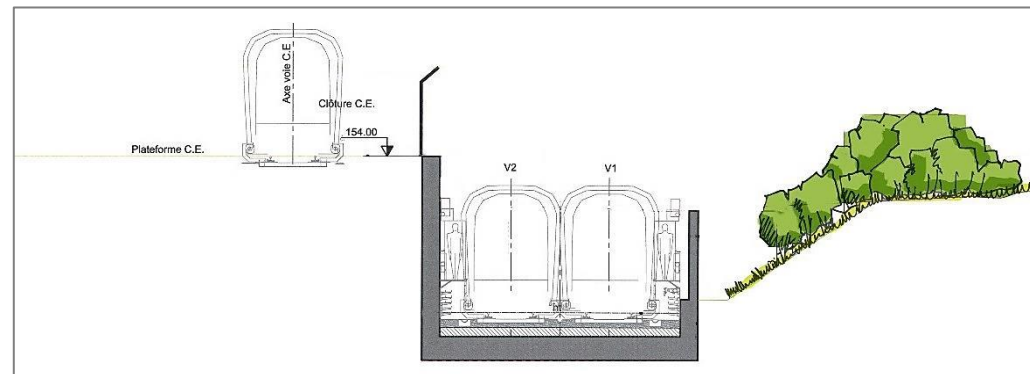


Figure 79 : Coupe transversale Tranchée ouverte – Agence ter, Mars 2017

4.4. Avant-Projet modifié Février 2022 – Section Ouest mise au sol

4.4.1. Préambule

Un dossier de Déclaration d'Utilité Publique modificatif a été rédigé et soumis à enquête publique en Juin 2021. Ce dossier concerne plus particulièrement la section Ouest de la ligne 18 et modifie le projet déclaré d'utilité publique par le décret n° 2017-425 du 28 mars 2017, modifié par le décret n° 2021-26 du 14 janvier 2021.

La Société du Grand Paris a souhaité se pencher sur l'insertion de la section aérienne entre l'arrière-gare de CEA Saint-Aubin, au niveau du poste source RTE de Villiers-le-Bâcle, et Magny-les-Hameaux, au sud du Golf national, du fait de la grande sensibilité locale vis-à-vis du projet en viaduc manifestée notamment lors des enquêtes publiques successives et relayée par les élus locaux.

La SGP a donc engagé des études sur une « mise au sol » de la ligne entre l'arrière gare CEA Saint-Aubin, dernière gare aérienne du tracé, et le Golf national de Guyancourt, tout en conservant le même tracé le long de l'infrastructure routière existante (RD36). Ces études ont notamment permis de s'assurer que l'insertion au sol de cette partie de la ligne serait compatible avec le projet de doublement de l'infrastructure routière de la RD36 porté par le conseil départemental de l'Essonne (CD91), sans la voirie dédiée à un transport en commun en site propre (TCSP) officialisé par délibération n°2021-04-0015 du 3 mai 2021.

L'emprise au sol ainsi dégagée permettra une optimisation – en particulier sur les bassins de gestion des eaux – économisant, à l'issue des travaux, de l'ordre de quatre hectares de terres cultivables.

Le tracé de la ligne présenté dans ce dossier est « au sol » : il épouse au mieux le terrain naturel, avec un léger encaissement pour maintenir un niveau le plus constant possible. Il reste sur les emprises prévues pour la réalisation de la ligne en viaduc : la modification du projet n'a donc pas d'impact sur les emprises foncières définitives.

4.4.2. Présentation générale de la mise au sol Ouest

La section au sol de la ligne 18 parcourt un environnement sensible qui est en évolution constante.

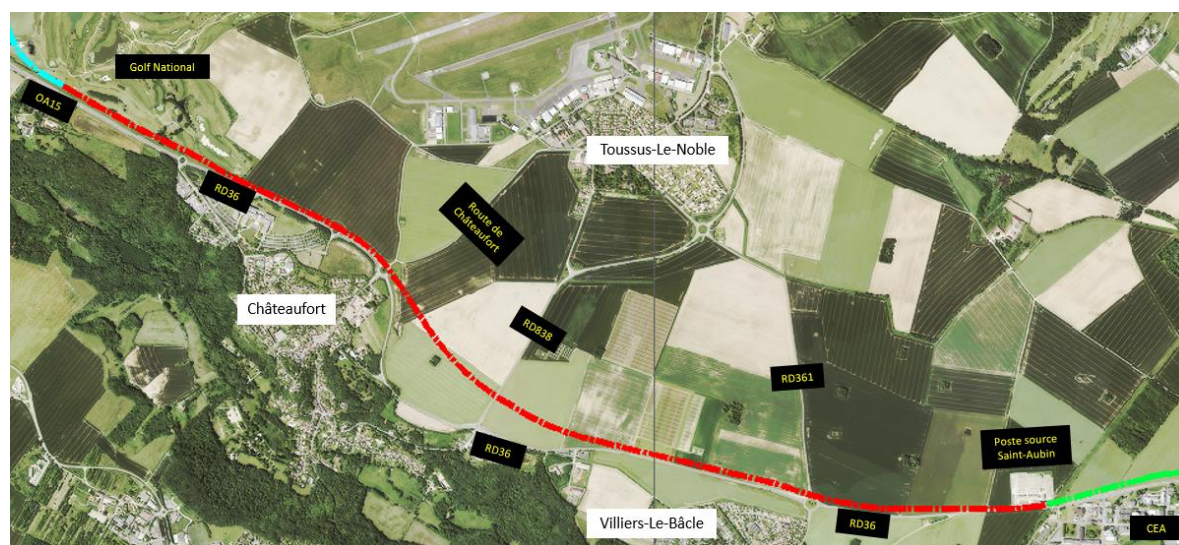


Figure 80 : Synoptique de la Mise au sol

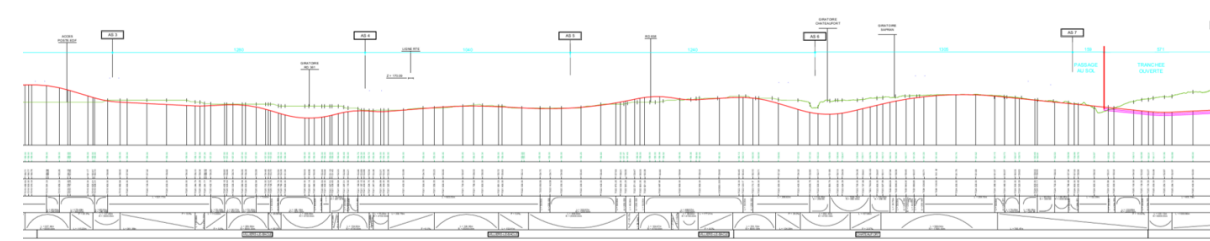


Figure 81 : Profil en long de la ligne

Son parcours au sol (en rouge ci-dessus) :

- Est concernée par le projet de doublement de la RD36 porté par le Conseil Départemental 91 (CD91) entre le Christ de Saclay et Châteaufort ;
- Traverse une Zone de Protection Naturelle Agricole et Forestière (ZPNAF) ;
- Traverse et impacte des axes routiers secondaires essentiels pour la vie locale (RD361, RD838, route de Châteaufort) ;
- Longe les infrastructures sensibles du Golf National ;
- Se situe proche de villages préservés.

Les optimisations proposées par la Société du Grand Paris quant à la conception de la mise au sol prennent tout leur sens dans ce contexte particulier avec comme fil conducteur de l'optimisation du coût de l'infrastructure par rapport au viaduc.

Les ouvrages compris dans la section mise au sol sont :

- La rampe de transition : elle est située le long du poste ERDF de Saint-Aubin, à l'Ouest de l'aqueduc des Mineurs franchit par le viaduc. Elle fait la transition entre le viaduc et la section au sol. Elle présente une longueur totale de 100 m ;
- L'ouvrage Villiers : La tranchée est située sur la commune de de Villiers-Le-Bâcle, à l'intersection entre les routes départementales 36 et 361. Les caractéristiques principales de l'ouvrage sont : longueur de 640m, largeur intérieure de 9.00m et hauteur d'excavation allant jusqu'à 10.55m ;
- L'ouvrage RD838 est situé à l'intersection de la RD838 et de la ligne 18. Il permet la circulation de la ligne 18 en surface en franchissement de la RD838. Cet ouvrage partiellement enterré accueille 2 locaux techniques permettant de compenser la réduction de l'OA15 ;
- L'ouvrage Châteaufort : la tranchée est située sur la commune de Châteaufort, au niveau du giratoire sur la route départementale 36. Les caractéristiques principales de l'ouvrage sont : longueur de 940m, largeur intérieure de 9.00m et hauteur d'excavation comprise entre 1.68m et 11.50m.

4.4.3. Contraintes techniques

La justification technique de la mise au sol répond également aux contraintes techniques liées à l'usage de la ligne 18, à savoir un transport de passagers sur des distances de plusieurs kilomètres en milieu rural à des vitesses de l'ordre de 100 km/h. L'infrastructure au sol constitue le support structurel physique du Système de Transport dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Automatique non interopérable ;
- Vitesse d'exploitation de la ligne de 100km/h ;
- Propulsion/Traction électrique en courant continu 1500 V par ligne de contact en troisième rail et circuit de retour par la voie ;
- Matériel roulant sans personnel à bord de largeur de caisse 2.50 m et de longueur maximum 62 m ;
- Guidage sur voie normale avec rails continus soudés, écartement standard UIC des rails ;
- Cheminement d'évacuation et de maintenance à hauteur moyenne du plancher train (tolérance de +/- 30cm) ;
- Pas de maintenance autorisée sous opération ;
- Infrastructures d'opérations et de maintenance.

A l'inverse du viaduc qui franchit les obstacles au sol par des travées à intervalle régulier sur des piles et fondations, la mise au sol doit s'adapter aux infrastructures existantes. Il convient d'intégrer la ligne dans son environnement tout en répondant aux exigences de conception ferroviaire (géométrie, sureté, sécurité, assainissement ...).

L'élaboration des choix constructifs du passage au sol, du profil en long et du tracé en plan ont été déterminés suite à la synthèse des éléments suivants :

- Le dégagement économique le plus significatif pour le projet ;
- Un recours minimum au relevage pour la gestion hydraulique des eaux d'exhaure, des eaux de ruissellement ;
- L'application stricte des règles de tracé ;
- La limitation des emprises de la ligne enclavée entre ZPNAF et RD36 ;
- Une insertion paysagère cohérente avec le milieu ;
- La sureté et la sécurité de la ligne.

Les emprises sur le tronçon sont en interface directe avec le projet de doublement de la RD36 et la limite de la ZPNAF définie par le tracé de la DUP du viaduc. Ainsi le tracé en plan de la mise au sol est assez similaire à celui du viaduc, sauf exception, notamment dans la zone de Châteaufort et du Golf. Dans cette configuration, les entrées en terre nécessaires (tranchées, noues, remblai, talus, saut de loup etc.) en limite d'infrastructure seront limités :

- au Nord par la ZPNAF ;
- au Sud par de projet de doublement de la RD36.

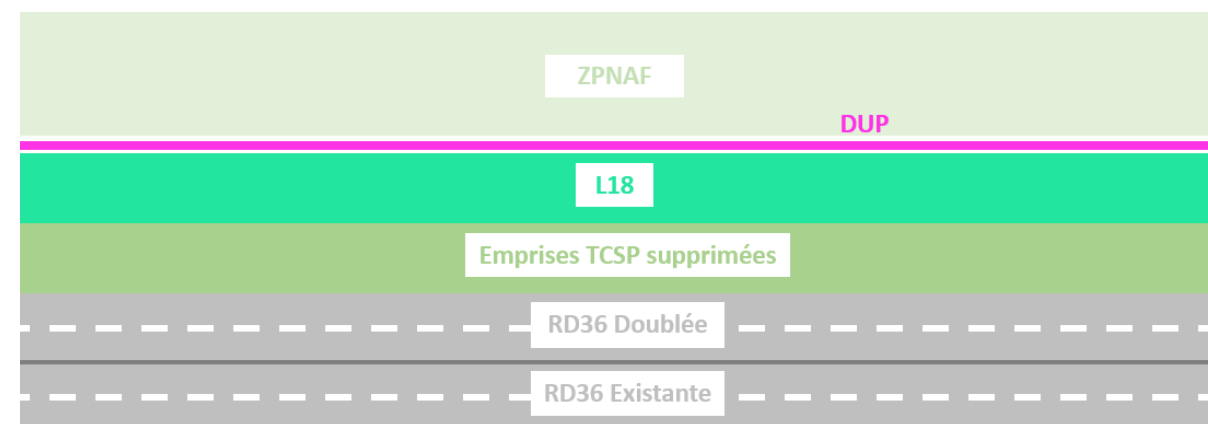


Figure 82 : Schéma de l'implantation de la mise au sol

Le tronçon de la mise au sol la ligne au niveau des voiries croisées sera :

- en passage supérieur, en association avec un abaissement du profil de la RD838 ;
- en passage inférieur au droit des carrefours giratoires de Châteaufort et de Villiers-le-Bâcle.

4.4.4. Sécurité et sûreté de la mise au sol

4.4.4.1. Principes retenus

Les infrastructures de la ligne lors d'une mise au sol sont facilement accessibles contrairement à un viaduc ou un tunnel. Ainsi des mesures de sûreté supplémentaires doivent être mises en place. Suivant le Guide d'application des dispositions de sûreté (V2 janvier 2016), le projet est comparable à une zone de transition viaduc/tunnel décrite comme étant à la fois visible du public et sans présence humaine apparente. Située dans une zone non urbanisée (moins de passage), l'infrastructure tend à paraître plus accessible et favorise les actes de malveillance.

Ainsi la ligne se doit d'être en tout temps et lieux hermétique afin d'éviter, d'une part les intrusions dans l'emprise des voies ferroviaires avec comme risques identifiés:

- Les risques d'accident pour les personnes elles-mêmes, du fait de la présence de tension électrique et de circulations de rames,
- Les risques de dégradation des ouvrages (tags, obstacles ou objets sur les voies, squat...),
- Les actes de malveillance vis-à-vis des rames ou des ouvrages.

D'autre part, les actions de malveillance favorisées par la proximité de la voie, telles que les jets d'objets sur les emprises à proximité d'ouvrage (voirie, passerelle ...).

4.4.4.2. Gestion de l'anti-intrusion

La mise au sol de la ligne 18 se situe dans une zone peu urbanisée, sur l'un des tronçons inter gares le plus long. La circulation à très grande vitesse du métro automatique et l'accessibilité apparente des infrastructures nous amène à insister sur la problématique de l'anti-intrusion via des dispositifs de protection d'ouvrage, là où ils n'étaient pas nécessaires dans une configuration en viaduc. Le système de protection de l'ouvrage est basé sur un ensemble d'obstacles et d'équipements placés à une distance suffisante pour dissuader et interdire l'accès à toute personne non autorisée. Des équipements complémentaires permettront de confirmer l'infraction ou la tentative d'infraction et de déclencher des mesures d'intervention adaptée à la menace identifiée.

Les fonctions du système de protection de la mise au sol sont donc multiples. Il s'agira de fournir une emprise de la L18 totalement hermétique :

- Matérialisation des limites d'emprises et interdiction d'accès au site à l'aide de clôtures non franchissables ;
- Dissuasion de l'intrusion à l'aide de panneaux rappelant l'interdiction de franchissement et les risques encourus: Dangers de haute tension, mais aussi les poursuites juridiques auxquelles s'exposent les contrevenants ;
- Caractérisation du type de franchissement (intrusion volontaire) par la mise en place de caméra et détecteur de mouvement périphérique sur tout le périmètre permettant d'évaluer la menace afin de déclencher les dispositifs dissuasifs comme des alarmes anti-intrusion et le renforcement de l'éclairage ;
- Retarder la progression des intrus à l'aide de bavolets barbelés sur les clôtures.

4.4.4.3. Les clôtures

Les clôtures des ouvrages du Réseau du Grand Paris doivent offrir un niveau de très forte protection, en cohérence avec les autres sites du réseau, Conformément au guide d'application des dispositions de sûreté (V2 janvier 2016) « Les clôtures seront de type mur plein, ou grillage renforcé de 3.00 m de hauteur, avec un bavolet en retour à l'intérieur ou mise en place de concertina. L'escalade de ces murs ou grillage ne doit pas être possible par un individu non équipé, et aucun mobilier (mats, coffrets, édicules) ne doit permettre de faciliter leur franchissement. »

La hauteur nécessaire des clôtures anti-intrusion en fonction de la distance de la ligne par rapport à la RD36 est:

- Si distance métro / RD36 < 10 m : hauteur clôtures = 4 m
- Si distance métro / RD36 > 10 m : hauteur clôtures = 3 m
- Pour la zone de transition Ouest, compte tenu des contraintes d'insertion territoriales liées à la présence du lieu historique de la porte de Méry, la hauteur des clôtures est limitée à 3m quelle que soit la distance à la RD36.

La disposition des clôtures est en étroite relation avec la mise en place des dispositifs de retenue le long de la ligne.

Les clôtures délimitent les emprises SGP qui seront à entretenir avec le projet. En première approche, le système de clôtures prévoit les dispositions suivantes :

En section courante : sur la plateforme de part et d'autre de l'ouvrage, le plus rapproché possible :

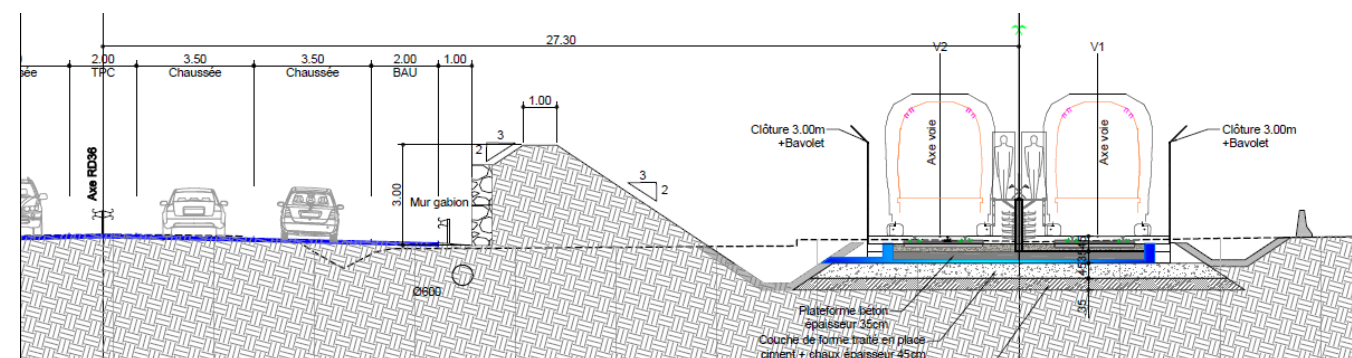


Figure 83 : Implantation de la clôture en section courante

Au droit des ouvrages de franchissement : directement sur les murs de soutènement de l'ouvrage :

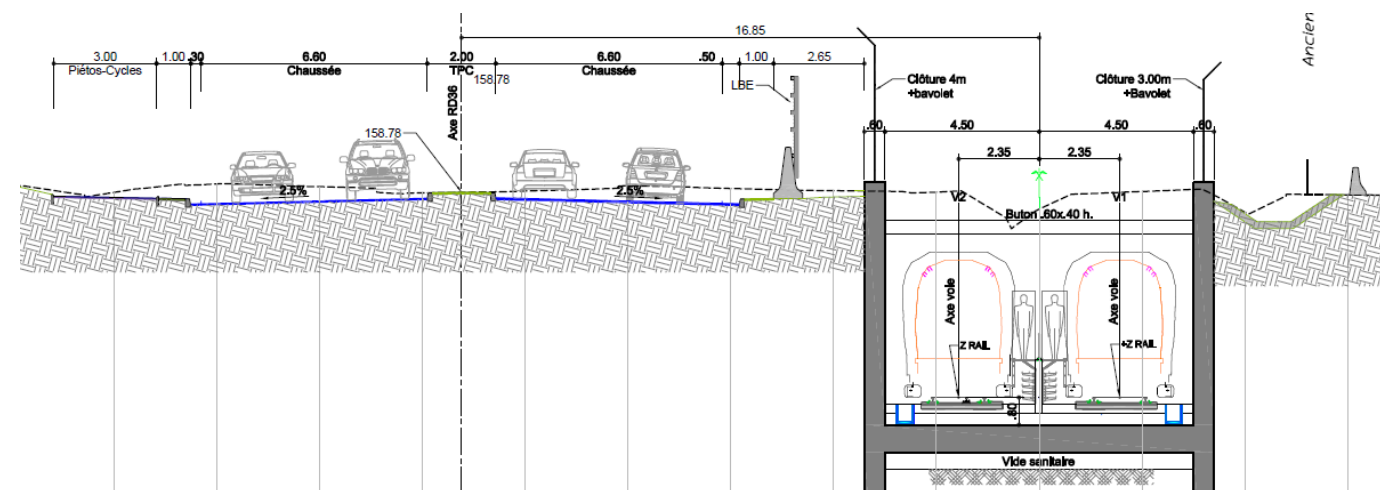


Figure 84 : Disposition des clôtures au droit d'un ouvrage de franchissement

Au droit de la porte de Méry : sur les murs de soutènement de l'ouvrage. A noter la réalisation d'un décaissé (saut-de-loup) après le merlon de retenue afin d'obtenir les 3m de hauteur de clôture minimum tout en conservant le champ de vision à hauteur 1,50m depuis la RD36

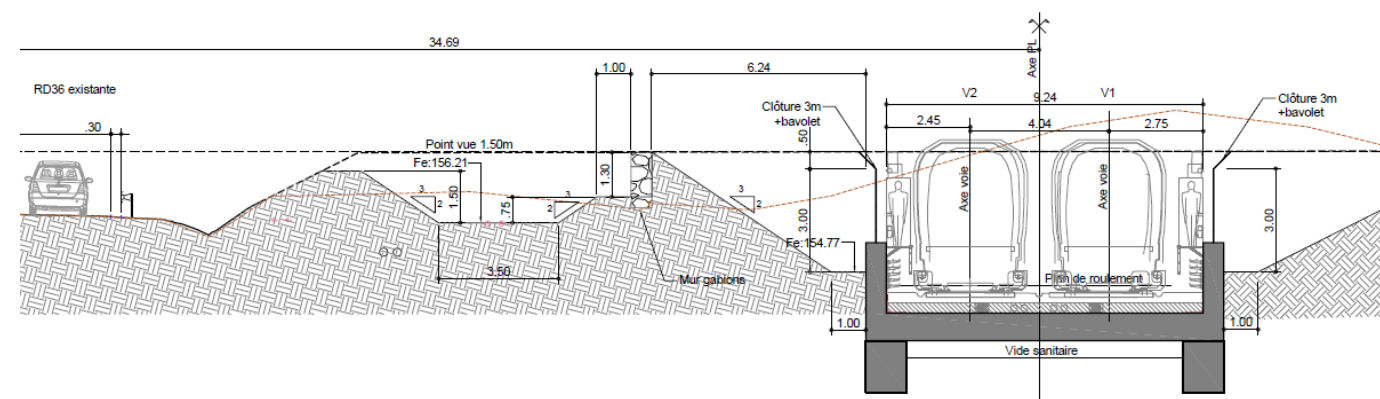


Figure 85 : Disposition des clôtures au droit de la porte de Méry

4.4.4.4. Système anti-intrusion

Conformément au guide d'application des dispositions de sûreté (V2 janvier 2016) l'intérieur du site protégé est éclairé sur commande manuelle depuis le Poste Central de Surveillance (dispositif d'éclairage télécommandé). Le niveau d'éclairage doit permettre de distinguer les formes (environ 3 Lux au sol).

La totalité des clôtures de périphérie des sites est éclairée en période normale entre 3 et 5 lux. En cas de détection d'intrusion, ou sur commande depuis le PC de sûreté, le niveau d'éclairage est porté à 50 lux afin d'une part de permettre la meilleure vision sur les intrusions (levée de doute, dénombrement des individus, informations diverses permettant de préparer une intervention), mais aussi de participer à la dissuasion en montrant une réaction rapide du système de protection lors d'une tentative d'intrusion.

Un éclairage sur tout le périmètre est prévu en veillant à ce que la végétation plantée ne vienne pas perturber la mise en place de ces systèmes. Dans un souci d'optimisation, l'éclairage pourra être placé sur le même mât que la vidéo.

La détection de personnes aux têtes de tunnels, par balayage de faisceaux optiques et/ou vidéo avec assistance par analyse d'images est possible, mais les risques de déclenchements intempestifs sont nombreux, et les conséquences sur l'exploitation importantes. Il convient donc d'associer ces dispositifs de détection d'intrusion à une levée de doute efficace et rapide, afin de réagir très rapidement en cas de pénétration avérée d'intrus dans le tunnel, mais sans prendre le risque d'arrêter l'exploitation des circulations des rames en cas de doute.

4.4.4.5. Dispositifs de protection vis-à-vis de la chute d'objets

La RD36 borde l'infrastructure du métro sur tout le linéaire de la mise au sol. Il est nécessaire de prendre en compte les possibles actions de malveillance favorisées par la proximité de la RD36, telles que les jets d'objets sur les rames depuis les routes adjacentes, les emprises derrière les clôtures ou au niveau des passages inférieurs de Châteaufort et Villiers-Le-Bâcle. Selon le guide d'application des dispositions de sûreté, des dispositifs de protection de type grillage horizontal, avec détection de chute d'objets seront mis en place sur ces points sensibles. Une mesure conservatrice afin de limiter ce phénomène est d'éviter le plus possible les surplombs des têtes de tunnels (tympan) par un espace public, un recul de la limite de clôture de 10 à 15 m est prévu en ces points.

Ainsi au niveau des passages inférieurs de Châteaufort, Villiers-Le-Bâcle et lorsque la RD36 borde la ligne entre le giratoire de Châteaufort et le giratoire du Golf des grillages horizontaux de protection seront mis en place. La reprise du chemin de randonnée est également une zone de vulnérabilité. Dès que le chemin longera la ligne des grillages horizontaux seront également être mis en place.

4.4.5. Hypothèses d'étude

4.4.5.1. Rappel des hypothèses d'étude

Les hypothèses prises en compte dans la conception de la mise au sol sont reprises ci-dessous :

- Passage inférieur à Châteaufort ;
- Profil en travers dit « sans muret » avec une plateforme traitée retenue. Un cheminement latéral est retenu en phase PRO. Par ailleurs, les chemins agricoles au nord de la L18 ne sont pas intégrés à l'étude et le merlon anti-intrusion est remplacé par une GBA au nord de la ligne ;
- Abandon du TCSP dont le projet est porté par le CD91 ;
- Terrassements provisoires en ZPNAF autorisés ;
- Dispositifs de retenue : les Dispositifs de Retenue ont été étudiés sur la base d'une conformité au GEFRA (ou GAME au GEFRA) et sont définis en fonction de l'inter distance entre la limite des infrastructures ferroviaires de la Ligne 18 et routières de la RD36 ;
- Gestion des eaux pluviales RD838 : dans la mesure où les culées de l'ouvrage de la RD838 accueillent des locaux techniques sensibles et en attendant une concertation avec le CD91, il a été convenu à ce stade que le relevage des eaux soit pris en charge, tant pour la réalisation que pour l'exploitation, par la SGP.
- RD36 déviée ;
- Chemin de randonnée devant le Golf : l'étude PRO est basée sur un chemin non accessible aux Personnes à Mobilité Réduite (PMR).

4.4.5.2. Passage inférieur à Châteaufort

L'hypothèse de base prise en compte pour le tracé de la mise au sol au droit du giratoire de Châteaufort est celui du franchissement du giratoire de Châteaufort par réalisation d'un Passage Inférieur.

4.4.5.3. LProfil en travers

Le profil en travers type de la ligne a évolué tout au long de l'AVP de la mise au sol. Nous retenons aujourd'hui un profil en travers dit « sans muret » avec une plateforme traitée.

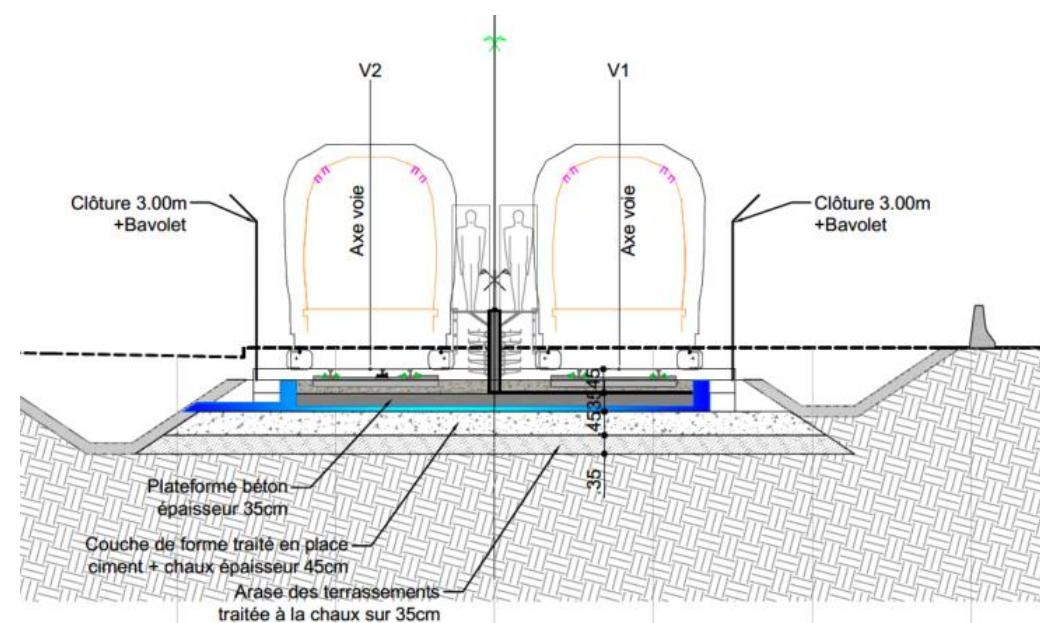


Figure 86 : PT type gabarit rasant

Afin de limiter les emprises de la ligne :

- les chemins agricoles au nord de la L18 sont intégrés à l'étude ;
- le merlon anti-intrusion est remplacé par une GBA au nord de la ligne afin de limiter les emprises de celles-ci.

4.4.5.4. Abandon du TCSP

Le tracé de la mise au sol a été étudié en intégrant le projet de réalisation d'un TCSP (Transport en Commun en Site Propre) porté par le CD91. Cependant, suite à la réunion du 24/06/2020, il a été convenu qu'aucune mesure conservatoire spécifique (murs de soutènement par exemple) relative à ce projet de TCSP ne soit retenue suite à l'abandon de ce projet.

4.4.5.5. Dispositifs de retenu

Dans le cadre de la mise au sol, les Dispositifs de Retenu ont été étudiés sur la base d'une conformité au GEFRA (ou GAME au GEFRA) et sont définis en fonction de l'inter distance entre les limites des infrastructures ferroviaires de la Ligne 18 et routières de la RD36 :

- $L < 6m$ - Mise en place d'une LBE :
 - o lorsque le périmètre de la ligne 18 jouxte la RD36 à Châteaufort;
 - o au droit du passage inférieur de Villiers-Le-Bâcle.
- $L > 10m$ - Mise en place d'un merlon de « type » GEFRA :
 - o lorsque le périmètre de la ligne 18 jouxte la projet de déviation de la RD36.
- $L > 17m$ - Mise en place d'un fossé de « type » GEFRA :
 - o le long de la zone du golf entre la ligne et la RD36.

Ceux-ci pourront éventuellement faire l'objet d'optimisations ou modifications en fonction des observations de l'EOQA.

4.4.5.6. Gestion des eaux pluviales RD838

Afin de permettre le franchissement de la RD838 par la L18, le projet prévoit un abaissement du profil en long de la RD838 ainsi que la réalisation d'un Passage Supérieur (PS).

Cet abaissement implique la création d'un point bas sur la RD838 au droit du franchissement qui nécessite l'installation d'un dispositif de relevage.

Dans la mesure où les culées de l'ouvrage de la RD838 accueillent des locaux techniques sensibles, et en attendant une concertation avec le CD91, il a été convenu à ce stade que le relevage des eaux soit pris en charge, tant pour la réalisation que pour l'exploitation, par la SGP.

4.4.5.7. RD36 déviée

La volonté de ne pas inscrire les infrastructures de la ligne 18 dans la ZPNAF implique le dévoiement de la RD36 entre le carrefour de Châteaufort et le Golf, entraînant un impact sur la RD36 et le giratoire de SAFRAN sur environ 1km.

L'étude de la RD36 se base sur les hypothèses établies lors de la réunion avec les services du CD78 du 11/07/2020 :

- PT identique à l'existant non conforme au VSA90. Utilisation ICTAVRU voie U ;
- Conservation au maximum des structures de chaussées existantes (PL au plus proche de l'existant) ;
- Lorsque les infrastructures de la ligne et celles de la RD36 sont attenantes application du GEFRA et utilisation d'une LBE.

4.4.5.8. Tracé en plan et profil en long

La mise au sol depuis l'arrière gare du CEA jusqu'à la tranchée s'inscrit dans un territoire rural propice à une mise au sol. Sur son parcours au sol, la ligne 18 s'insère dans une grande diversité de séquence :

- Le long de la RD36, une voirie à grande circulation ;
- Des terres agricoles protégées ;
- Le périmètre proche de villages préservés ;
- Le long du Golf National, infrastructure de renommée mondiale.

• Passage inférieur de Villiers-Le-Bâcle

Dans la continuité du profil rasant, la ligne va plonger sous le giratoire de Villiers-Le-Bâcle pour ressortir en profil rasant le long de la RD36 sur environ 1km. L'option en passage inférieur à Villiers-Le-Bâcle a été retenue car elle permet de limiter les besoins d'emprise sans impact dans la ZPNAF, et tout en améliorant l'insertion paysagère de la ligne. Sur ce secteur les infrastructures du métro se trouvent clôturées de part et d'autre par les limites de la ZPNAF et les nouvelles emprises de la RD36.

La réalisation d'ouvrages de type Passage Supérieur pour permettre le franchissement de la RD361 n'a pas été retenue en raison de la proximité immédiate du giratoire le RD36 et de la RD361 et des problématiques d'insertion paysagère, essentielles dans ce milieu naturel : la volonté de préserver le paysage d'origine en minimisant l'impact de la L18 a guidé les choix de conception. En effet, devoir réaliser un passage supérieur au droit de la RD361 implique de laisser un gabarit routier suffisant sous la ligne, qui dans cette zone plane et non boisée, rendra la ligne fortement visible. Ainsi la mise au sol a été étudiée de façon à prendre le contrepied de l'aspect remarquable du viaduc.

• Passage en plein champs

Les critères de conception géométrique de l'infrastructure développés dans le mémoire de tracé ont contraint le tracé de la ligne à s'éloigner de la RD36 et à passer en plein champs.

• Passage supérieur de la RD838

Dans le secteur en plein champs, la ligne intercepte la R838 et passera au-dessus. Le passage supérieur de la ligne est associé à la reprise du profil en long de la RD838 afin de limiter l'impact visuel de la ligne. Cette option a pu être retenue en raison de l'éloignement du carrefour RD838/RD36 ainsi que pour des raisons économiques en comparaison du coût d'un passage inférieur.

• Passage inférieur de Châteaufort

Suite au passage de la RD838, la ligne arrive au niveau du giratoire de Châteaufort où, de nouveau, elle vient plonger sous le giratoire pour ressortir en profil rasant le long de la RD36 et des emprises du golf. Les emprises limitées sur le secteur nécessitent de dévier la RD36 qui jouxte la ligne sur environ 1km afin d'éviter l'impact de la Ligne 18 en ZPNAF.

• Tranchée ouverte

Au niveau du golf et à l'approche de la porte de Mérançais (monument classé) la ligne va progressivement s'approfondir en Tranchée Ouverte (TO) et se raccorder à la Tranchée Couverte (TC) au niveau de l'OA15 réduit aux fonctionnalités d'accès de secours dans cette nouvelle étude.

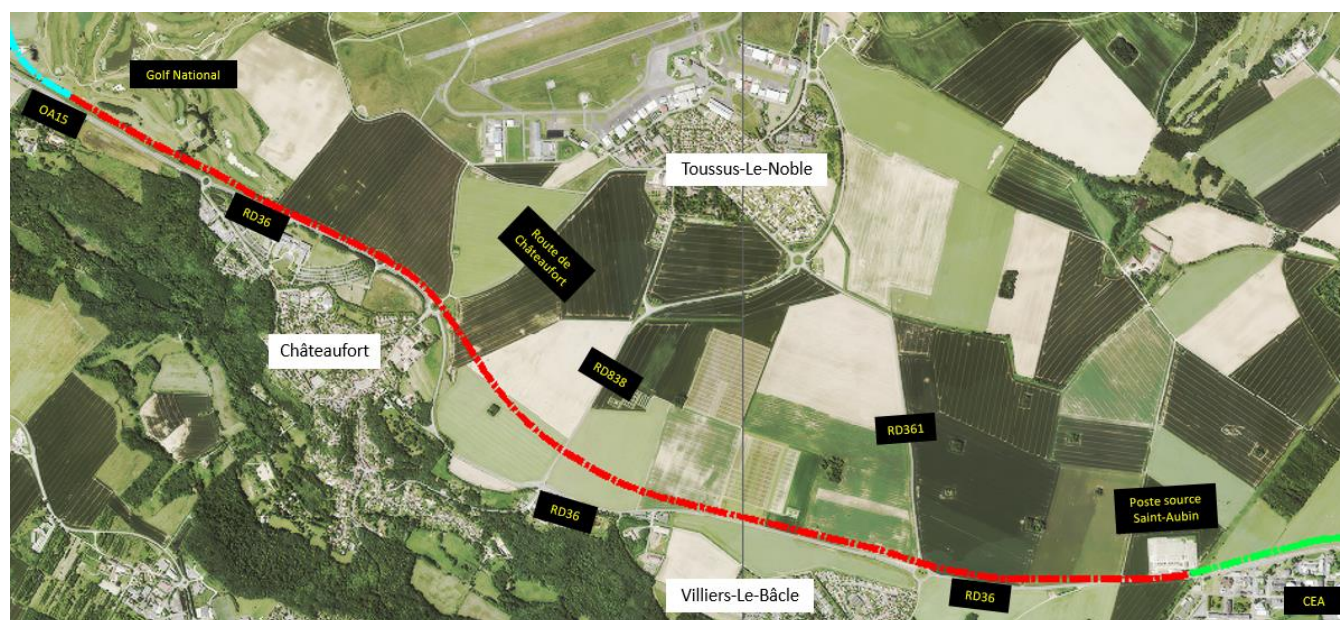


Figure 87 : Synoptique de la mise au sol

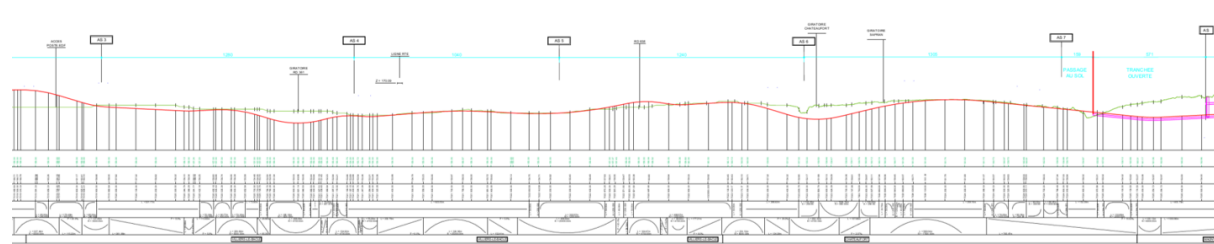


Figure 88 : Profil en long de la ligne

• Raccordement Ouest

La ligne se raccorde au niveau du TN via une rampe au niveau du poste source Saint-Aubin. Elle longe ensuite en profil rasant la RD36 sur environ 700m.

4.4.5.9. Emprises et terrassements

• Entre ZPNAF et RD36

Les emprises du projet s'inscrivent dans la DUP du viaduc avec un élargissement au niveau de la RD838 et du Golf. Ces modifications sont respectivement dues à l'abaissement de la RD838 et au décalage du tracé dans le golf afin de limiter l'impact sur les réseaux concessionnaires existants, en particulier RTE.



Figure 89 : RD838 - Superposition DUP viaduc et DUP mise au sol

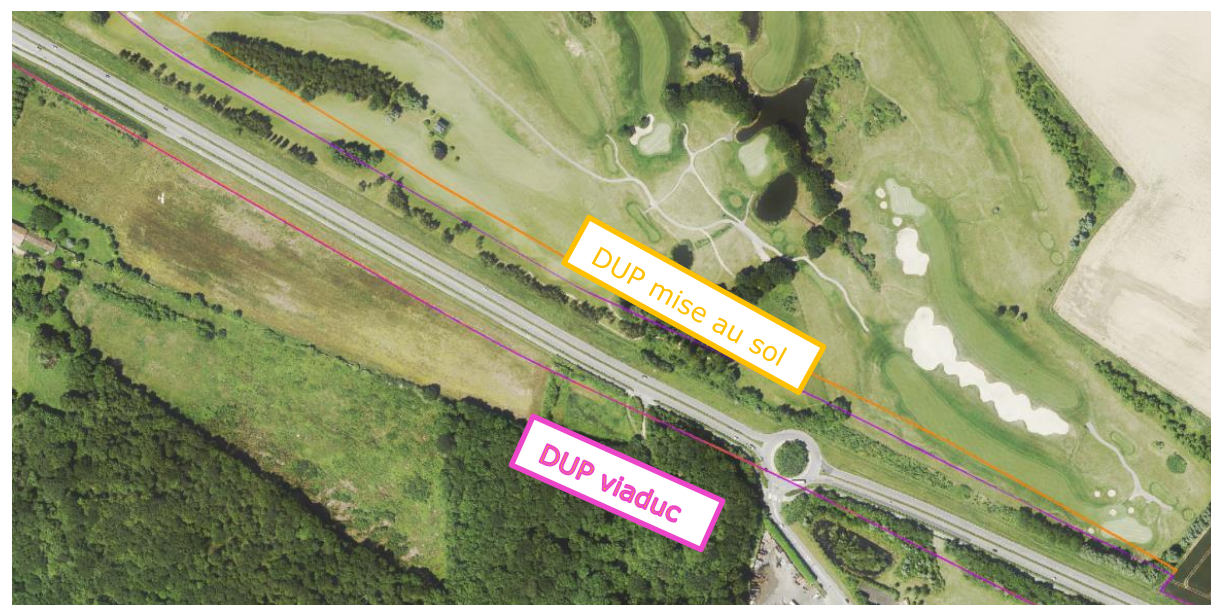


Figure 90 : Zone du golf - Superposition DUP viaduc et DUP mise au sol

Les emprises sur le tronçon sont contraintes au Sud par la RD36 existante et au Nord par la limite de la ZPNAF dessinée par la DUP. Ainsi le tracé en plan de la mise au sol est assez similaire à celui du viaduc, sauf exception, notamment dans la zone du Golf.

Dans cette configuration, les terrassements nécessaires (tranchées, noues, remblais, talus, saut de loup etc.) en limite d'infrastructure seront limités :

- au Nord par la ZPNAF ;
- au Sud par la RD36 existante (côté Yvelines) ou le projet de doublement de la RD36 (côté Essonne).

L'enjeu principal lié aux emprises est de ne pas inscrire les infrastructures de la ligne dans la ZPNAF. Dans les zones les plus contraintes, et notamment au niveau des passages inférieurs, qui nécessitent des emprises importantes, des soutènements seront mis en place. Néanmoins restent en dehors de la DUP à la suite de l'étude AVP, les talus de la RD838.

• Gestion des terres

Classification environnementale

Dans le cadre de la mise au sol, les hypothèses prises en compte pour le lot n°2 ont été reconduites :

	ISDI	ISDI+	ISDND	ISDD
Limon des Plateaux : LP	50%	25%	22%	3%
Meulière de Montmorency : TS	64%	20%	15%	1%
Sables de Fontainebleau : SF	80%	15%	3%	2%
Remblais : R	20%	20%	55%	5%

Figure 91 : Hypothèses des classifications environnementales

Déblais/Remblais

De par sa nature et les contraintes liées à la topographie du site, le projet est largement excédentaire en déblais : plus de 300.000 m³.

Ainsi, afin de limiter l'impact environnemental et pour optimiser les frais d'évacuation de ces déblais, le projet a pris en compte les optimisations suivantes :

- Réalisation de la couche de forme par traitements chaux/ciment de matériaux extraits du site après traitement en place de l'arase ;
- Protection de ligne assurée par un merlon type GEFRA quand les emprises le permettent ;
- Utilisation en priorité des terres présentant des seuils incompatibles avec une évacuation en ISDI sauf pour les remblaiements au droit de la ZPNAF.

Les phases d'études ultérieures permettront :

- De préciser les emprises complémentaires nécessaires au stockage des terres ;
- De définir la classification GTR des déblais ;
- De confirmer que l'ensemble des terrains ayant fait l'objet de remblais, hors ZPNAF, relèvent d'un foncier SGP.

4.4.5.10. Dispositifs de retenues

La proximité de la plateforme ferroviaire aux infrastructures existantes (RD36 et chemin agricole) rend la pénétration accidentelle de véhicules routiers ou le déversement de leur chargement sur la plateforme possible. Des dispositifs de protection anti-pénétration sont donc nécessaires pour empêcher ces phénomènes.

Le guide technique GEFRA « Jumelage des plates-formes ferroviaires et routières ou autoroutières » a été utilisé pour définir le choix du dispositif de retenue des véhicules routiers et de leur chargement. Cependant, de par le contexte très contraint de la mise au sol L18, des adaptations par rapport au GEFRA ont été réalisées afin notamment de limiter le coût du projet, d'assurer l'inscription du projet dans son environnement et de réduire l'agressivité du dispositif vis-à-vis de l'utilisateur de la route.

Côté Sud, la plateforme ferroviaire est bordée en grande partie par la RD36. Les dispositifs de protection anti-pénétration sont définis en fonction de l'inter-distance (L) entre la limite de la largeur circulaire de la RD36 (bord extérieur de la bande d'arrêt d'urgence) et la limite des aménagements ferroviaires (l'entrée en terre de la plateforme ferroviaire).

En fonction des cas proposés par le guide GEFRA, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Lorsque $L < 6m$: périmètre correspondant à la zone de la L18 jumelée avec la RD36 côté Châteaufort.

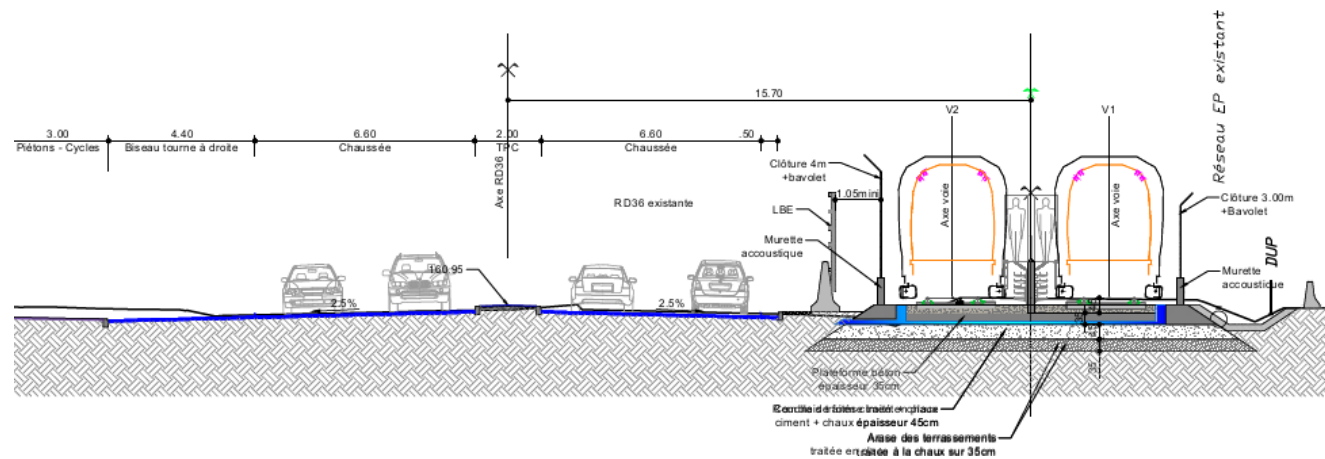


Figure 92 : Coupe type L18 jumelée avec la RD36 - L < 6m

Le dispositif de protection est constitué par une barrière en béton LBE (LBA + écran de retenue de chargement) de 3,50 m de hauteur. La LBE pouvant faire office d'échelle pour accéder à la L18, elle est complétée par une clôture 4m de hauteur.

- Lorsque $L > 10m$: périmètre correspondant à la zone de la L18 jumelée avec la RD36 côté CD91.

Les emprises disponibles ne suffisent pas pour mettre en place un merlon de type GEFRA (L > 17 m au minimum). Il s'agit donc ici d'adaptations par rapport au guide GEFRA dont l'avis de l'EOQA sera sollicité.

- o Cas d'un merlon de retenue complet

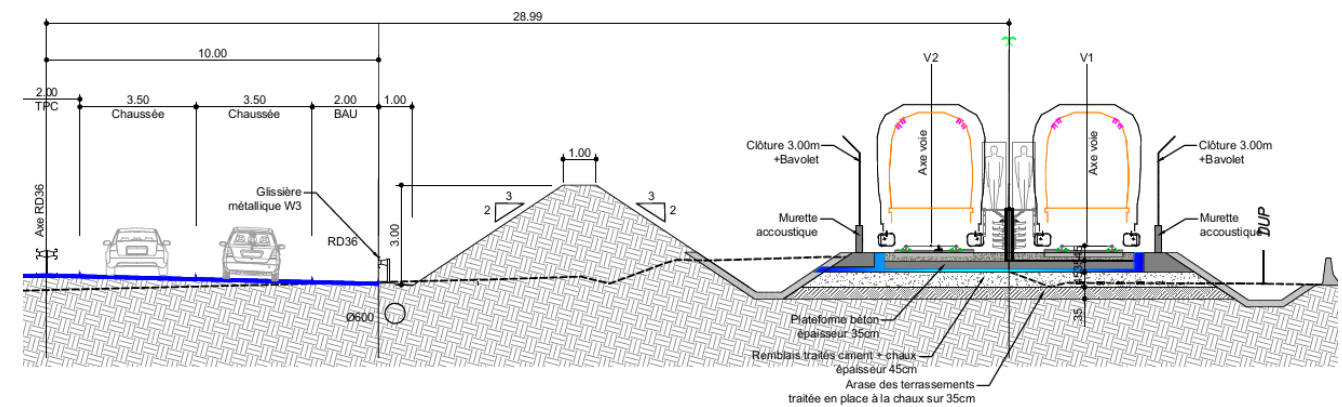


Figure 93 : Coupe type L18 jumelée avec la RD36 - L > 10m avec merlon

Le dispositif de protection est constitué par un merlon de hauteur 3 m taluté, à 3/2. Il est complété par une glissière (W3) avec une largeur de fonctionnement 1m en bordure de BAU côté RD36.

- o Cas d'un merlon + mur gabions

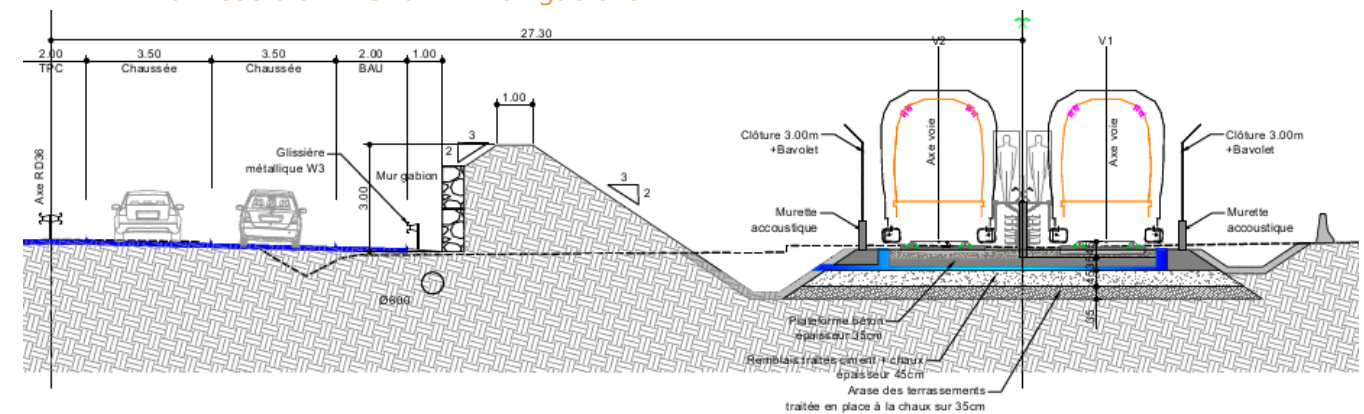


Figure 94 : Coupe type L18 jumelée avec la RD36 - L > 10m avec merlon + mur gabions

Lorsque l'inter-distance L ne permet pas d'avoir un merlon complet, celui-ci est tronqué et soutenu par un mur gabions. La glissière en bordure de BAU côté RD36 est maintenue.

o Cas particulier de la porte de Mérançais

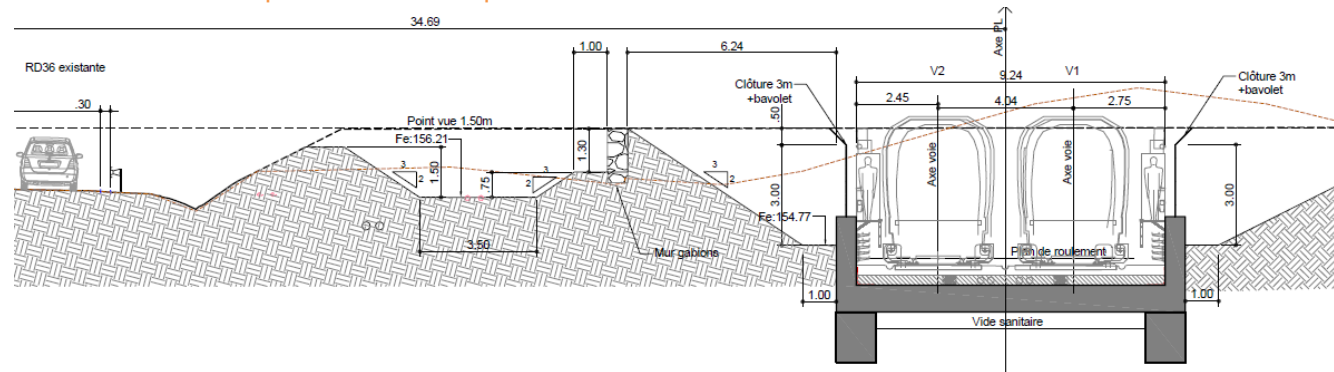


Figure 95 : Cas particulier de la Porte de la Mérançais

• Stabilité des talus

Concernant l'étude de la stabilité des divers talus présents sur les coupes fournies, plusieurs hypothèses sont réalisées. Tout d'abord, on estime que les plateformes et autres remblais d'apport traités atteignent les caractéristiques géotechniques des Limons des Plateaux.

L'hypothèse d'une surcharge de 30 kPa au passage des trains est également prise en compte.

Les niveaux de nappes pris en compte sont le niveau EH, soit 1 m sous le TN.

Les calculs de stabilités sont menés de part et d'autre des talus des coupes types « merlon complet » ; « merlon avec gabion » et au droit de la Tranchée ouverte.

Le facteur de sécurité minimal à obtenir est fixé à 1,5 (méthode traditionnelle – pas de facteur partiels). Des calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel Géostab développé par Géos Ingénieurs Conseils afin de confirmer ce facteur de sécurité.

Coupe	Facteur de sécurité
Merlon complet - côté métro	2.351
Merlon complet - côté route	2.314
Merlon avec gabion - côté métro	1.856
Merlon avec gabion - côté route	1.762
TO – saut de loup nord	2.123
TO – fossé GERFA	1.798

TO – saut de loup sud

2.877

TO – GERFA sud

2.463

Figure 96 : Synthèse des résultats GEOSTAB obtenus pour les différentes coupes

4.4.6. Accès maintenance et locaux techniques

Les emprises contraintes entre la ligne et la ZPNAF ne permettent pas la création d'une voie d'accès mainteneur au nord. L'accès des équipes de maintenance se fera depuis la RD36, au sud de la ligne. Les accès maintenance et locaux techniques le long de la ligne ont été positionnés aux mêmes endroits que les accès secours afin de limiter le nombre d'ouvertures dans la clôture anti-intrusion. Une inter-distance de 1500m maximale a été retenue (cf. partie 3) Les accès seront limités et seul des personnes autorisées pourront pénétrer dans l'enceinte de la ligne.

Conformément au guide d'application des dispositions de sûreté (V2 janvier 2016) l'ensemble des accès aux ouvrages annexes du système est soumis à un dispositif de contrôle d'accès, dont le but est de restreindre les accès aux seules personnes habilitées. Les accès de véhicules aux sites seront filtrés par un dispositif de contrôle d'accès (lecteur de badge, interphonie, vidéo d'identification). Pour les véhicules, l'accès sera contrôlé par un portail coulissant, dont l'ouverture peut être commandée à distance par le PC de sûreté ; une couverture vidéo large permettra de vérifier l'absence d'entrées d'individus pendant la période d'ouverture du portail. La zone d'accès devra être très dégagée, et bien éclairée.

Les accès maintenance seront composés de :

- 1 local technique d'une surface comprise entre 30 et 60 constitué d'un petit bâtiment.
- Une voie d'accès à ce local technique permet aux équipe de maintenance d'approcher jusqu'à l'entrée de ce local avec un petit véhicule (3.5 T)
- L'accès au local de maintenance se fait directement depuis la voie d'accès des mainteneurs, sans passer nécessairement par la zone de sécurité.
- Les équipes de maintenance ont un accès à la zone de sécurité
- Contrôle d'accès y compris caméras et badges : à tous les accès

Les dispositifs anti-intrusion abordé précédemment. (Vidéo protection périmétrique, alarme anti intrusion, éclairage, détecteur de mouvement périphérique)

4.4.7. Spécificités sur la ligne

4.4.7.1. Passage de la RD838

Le passage de la ligne au droit de la RD838 associe l'abaissement du profil en long de la RD838 et la remonté du profil en long de la ligne.

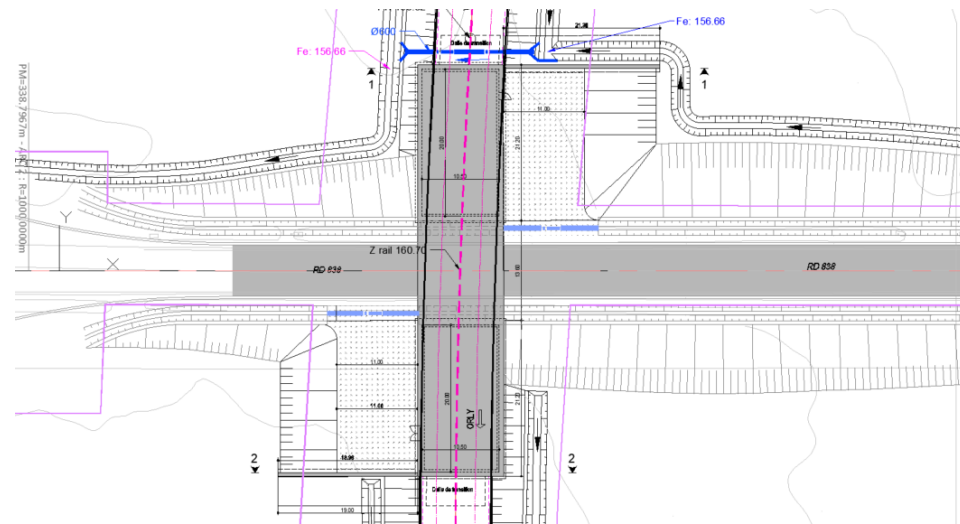


Figure 97 : Vue en plan PS RD838

Les culées de l'ouvrage accueillent deux locaux technique de 210m² (20x10,5m) chacun pour la mise en place d'un poste de redressement électrique. L'accès aux culées de l'ouvrage est réalisé via des plateformes de 220m² (20x11m) qui permettent également le stationnement de véhicule de service.

Compte tenu de la sensibilité des infrastructures présentes au niveau de l'ouvrage, la SGP prend en charge le relevage des eaux du point bas créé par l'abaissement du PL de la RD838. Un bassin de rétention avec un volume utile de 700m³ est placé sous la plateforme Nord-ouest.

4.4.7.2. Chemin de randonnée

Le tracé de la mise au sol au niveau du golf vient impacter un chemin de randonnée reliant la vallée de la Mérantaise à Guyancourt qui doit être rétabli.



Figure 98 : Synoptique du chemin de randonnée existant

L'étude PRO est basée sur base du prolongement existant via une rampe.

Le profil en long de la ligne et les emprises disponibles imposent de longer la ligne au nord sur environ 120m et passer en dessous au niveau du Pk7024 564. Il chemine ensuite entre la ligne et la RD36 pour se raccorder au chemin existant.

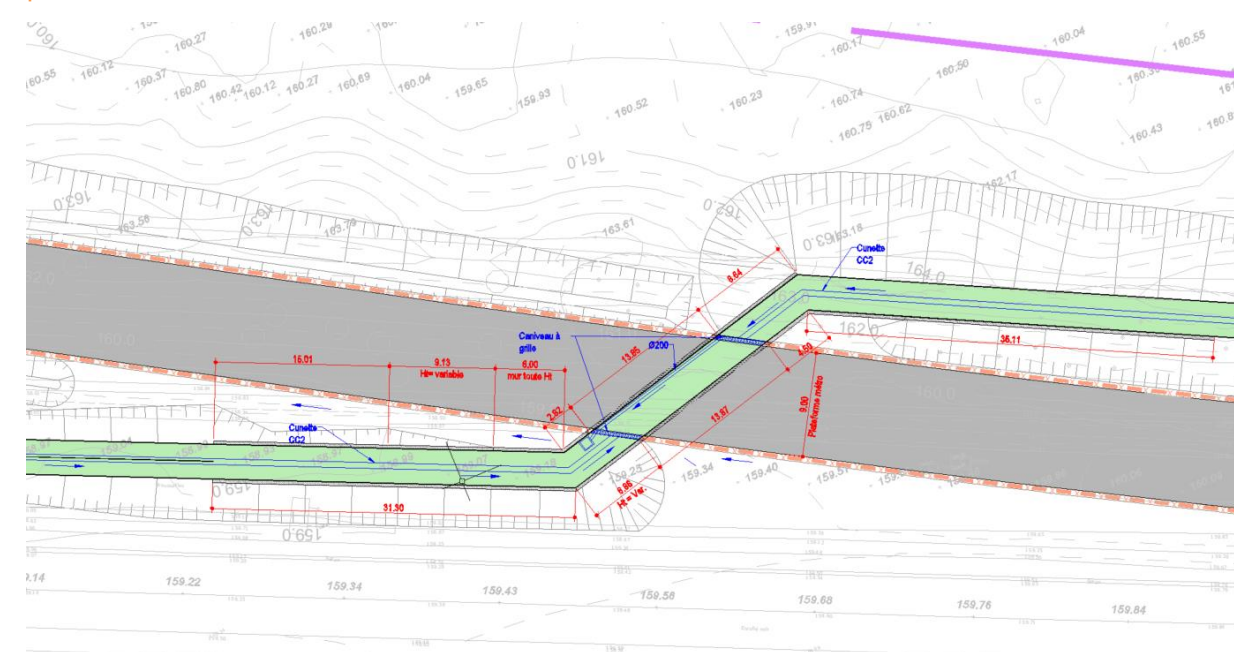


Figure 99 : Vue en plan du PI - Chemin de randonnée

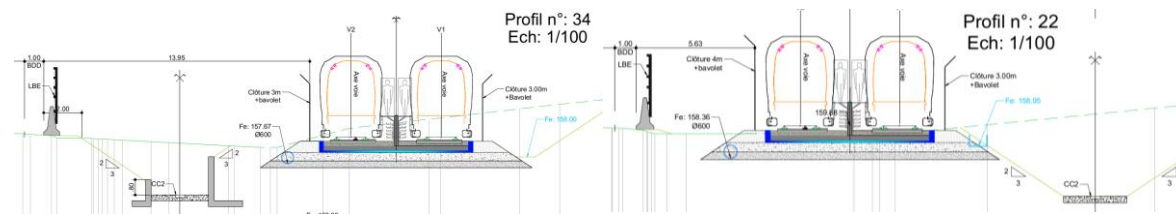


Figure 100 : PT – Chemin de randonnée

4.4.7.3. Porte de Mérançais

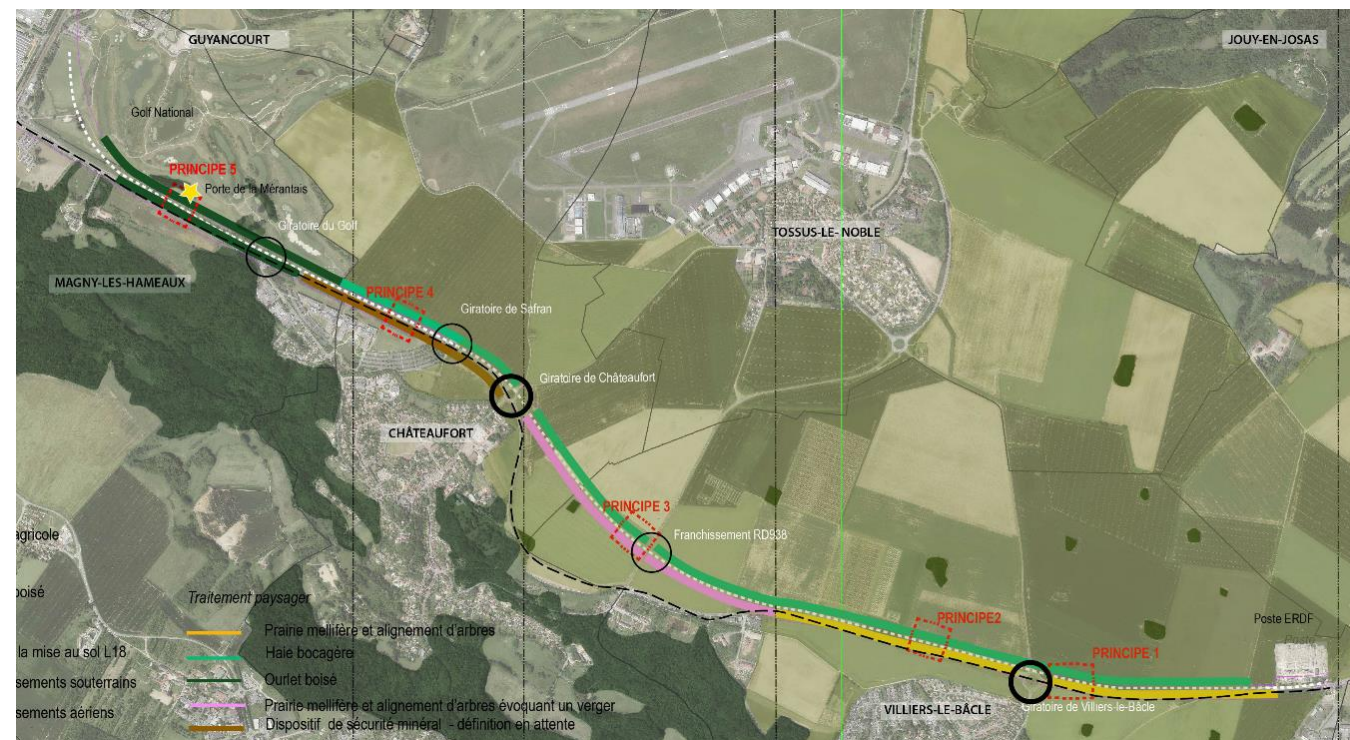


Figure 101 : Synoptique insertion paysagère (DVA paysages)

Une des particularités du tracé est la protection du golf National et la mise en valeur de la Porte de la Mérançais, classée à l'Inventaire des Monuments Historiques. Son emplacement est représenté par une étoile jaune ci-dessus. La ligne est à cet endroit en tranchée ouverte, avant le raccordement à la tranchée couverte. Les études des profils tranchée ouverte / tranchée couverte et leur transition ont permis une gestion fine des vues et du nivellement visant à améliorer l'insertion paysagère de la ligne et la mise en valeur de la Porte de la Mérançais.

Le principe défini et proposé à l'ABF (Architecte des Bâtiment de France) est qu'un individu dont le point de vue est positionné à 1m50 depuis la RD36 puisse voir la porte de Mérançais. Toutes les infrastructures se situent sous cette ligne théorique. Ce principe a défini le profil en long de la ligne, mais aussi les aménagements autour de l'infrastructure.

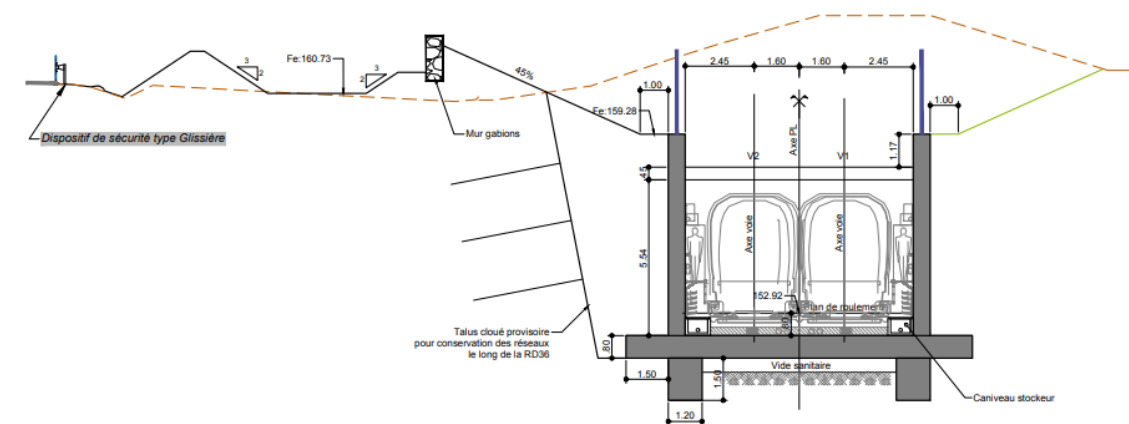


Figure 102 : PT type TO ouest

Le fossé de la ligne assure la sécurité des infrastructures vis-à-vis des sorties de route depuis la RD36. Les sauts de loup de part et d'autre de la ligne assurent la sureté et l'anti intrusion. Enfin la limitation de la hauteur des infrastructures sous la ligne de visée à 1m50 favorise l'insertion paysagère de la ligne et la compatibilité du projet avec la vision de l'ABF.

4.4.7.4. Passage faune

A l'inverse du viaduc, la mise au sol vient créer une barrière pour la faune du plateau de Saclay. A ce titre il a été retenu l'hypothèse de rallonger les tranchées ouvertes des passages inférieurs (Villiers-Le-Bâcle et Châteaufort) afin de laisser un espace suffisant pour le passage des animaux. Il n'a pas été jugé opportun d'étudier un passage faune spécifique. Des passages petites faunes viendront compléter le dispositif.

4.4.7.5. Autres sujets étudiés

Les thèmes suivants font l'objet d'analyses spécifiques non reprises dans le cadre de cet avant-projet mais disponible dans les documents annexés :

Le dévoiement de la RD36 - document PN1424_05_AVB_NOT_003806_1 ;

Les thématiques Sureté et Sécurité - document PN1424_05_AVB_NOT_003719_1 ;

Le sujet assainissement - document PN1424_05_AVB_NOT_003720_1 ;

L'option Châteaufort en passage rasant - document PN1424_05_AVB_NOT_003808_1.

4.5. Centre d'exploitation de Palaiseau

4.5.1. Présentation générale

4.5.1.1. Localisation et contexte urbain

Le Centre d'Exploitation (CE) de la ligne 18 est situé à l'entrée Nord-Est du campus de l'Ecole Polytechnique sur la commune de Palaiseau.

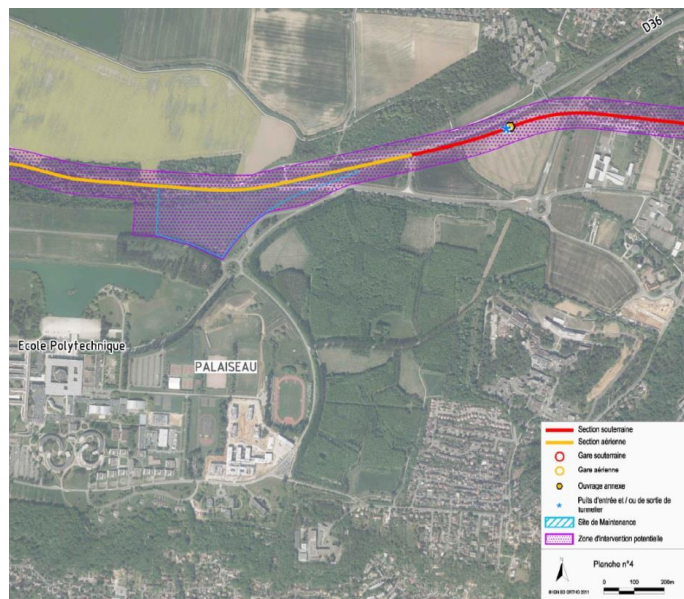


Figure 103 : Extrait du Plan général des travaux - Dossier d'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique de la ligne

Il est composé de deux entités techniques : d'une part le Site de Maintenance et de Remisage (SMR) avec le Poste de Contrôle Centralisé (PCC) regroupant les services de la direction et de l'exploitation de la ligne et d'autre part le site de Maintenance des Infrastructures (SMI).

Les fonctions tertiaires du SMR ainsi que le PCC se situent dans un même bâtiment localisé au plus proche du rond-point Denfert-Rochereau afin d'assurer la jonction entre l'Avenue René Descartes et le Boulevard des Maréchaux.

Ce bâtiment indépendant marque un point d'appui du Centre d'Exploitation à l'entrée du campus de l'Ecole Polytechnique et raccroche le SMR au tissu urbain.

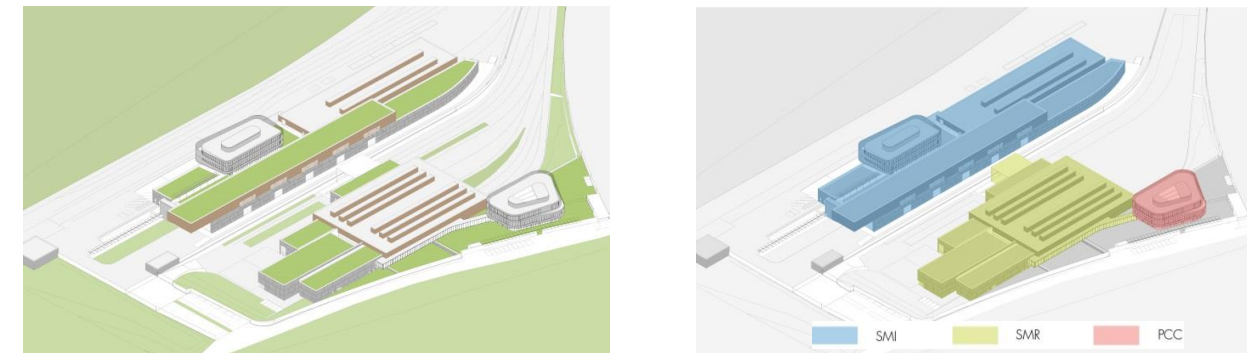


Figure 104 : Axonométrie et entités du Centre d'Exploitation

4.5.1.2. Programme général et Organisation du site

• Programme

Le programme du Centre d'Exploitation comprend les entités suivantes :

- Le SMR devant accueillir 180 personnels dont 20 prestataires extérieurs, le projet compte 11 500 m² de surface utile ;
- Le SMI devant accueillir environ 190 personnels, le projet compte 11 700m² de surface utile ;
- Le PCC - Exploitation de la ligne a son personnel inclus dans les effectifs du SMR. Le projet compte une surface utile 1 400m².

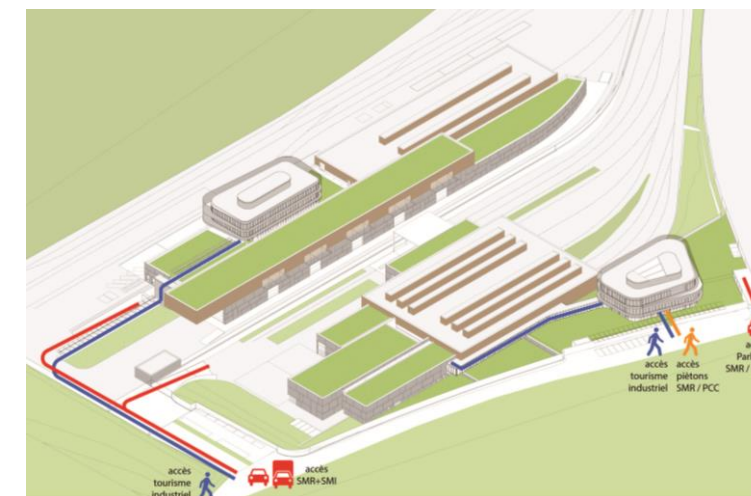


Figure 105 : Accès du Centre d'Exploitation

• Organisation

La spécificité de l'implantation du Centre d'Exploitation est l'étagement des faisceaux de voies du SMI et du SMR sur deux niveaux altimétriques afin d'optimiser les terrassements. Le site se caractérise par les éléments suivants :

- L'adaptation au terrain et l'optimisation des terrassements ;
- L'insertion urbaine et paysagère : la position des éléments emblématiques du SMI en direction du viaduc de la ligne 18, ceux du SMR à proximité du quartier Descartes, et ceux d'un bâtiment signal en lien avec le quartier ;
- La dissociation des flux entre le SMI et le SMR.

Contraintes d'aménagement :

INTITULÉ	CONTRAINTES	IMPACT PROJET
LIMITE DUP	Définition d'une « zone d'intervention potentielle » dans le Dossier d'enquête publique	Respect de la limite, à l'exception de la limite Sud repoussée de 10m vers le Sud pour se raccorder au Boulevard des Maréchaux.
EMPRISE FONCIERE	En AVP B, la limite Nord est fixée par le tracé du viaduc et de la tranchée ouverte accolés à la RD36 existante. La limite Est est fixée à 50m du fil d'eau de l'Avenue Descartes actuelle. La limite Sud est fixée par le Boulevard des Maréchaux. La limite Ouest est fixée par la DUP.	L'exiguïté du site demande l'élaboration de solutions de sécurisation et d'insertion paysagère spécifiques pour préserver la RD36 actuelle.
SIRTA	Le SIRTA est un observatoire de recherches atmosphériques. Situées à l'Ouest du site, ses installations effectuent : <ul style="list-style-type: none"> - Des tirs radar en direction d'un mat situé dans le futur centre d'exploitation, à 630m de la zone de tir du SIRTA ; - Des tirs laser effectués avec un angle de 2° par rapport à un plan horizontal. 	Pas de végétation dans un rayon de 20m autour du mat de réception des tirs laser. Végétation d'une hauteur de 4m maximale dans un rayon de 20 à 50m du mat. Recul des constructions de 50m à l'est du mat. Pas de construction ou végétation au-dessus du plan incliné de 2°. Les émissions de particules et émissions de vapeur d'eau (Machine à Laver) doivent être contenues à l'intérieur du bâtiment. L'effet « îlot de chaleur » doit être limité par le choix des matériaux de voirie et de façade, ainsi que par la végétalisation partielle des couvertures.
RIVERAINS BANDE À URBANISER	La bande à urbaniser est située coté Est et fait une largeur de 50m entre l'Avenue René Descartes et le site du Centre d'Exploitation. Les bâtiments seront occupés par des activités. La proximité du faisceau de voies automatiques impose des retraits de sureté.	Trois contraintes d'urbanisme de la bande sont à prévoir: <ul style="list-style-type: none"> - Protections phoniques significatives sur les futurs bâtiments, - retrait de sûreté de 10m entre les futures constructions et la limite du site du CE - limitation de la hauteur des bâtiments à 25m.
PLU DE PALAISEAU	Déclassement de l'Espace Boisé Classé sur un périmètre inférieur à la bande DUP	Nécessité de procéder à un déclassement complémentaire, via une révision simplifiée ou modification de PLU.

CORRIDOR ECOLOGIQUE ET ESPECES PROTEGEES	Un corridor écologique boisé traverse le site d'Ouest en Est. Il est fréquenté par plusieurs espèces protégées d'oiseaux et de chiroptères. Par ailleurs, l'EPAPS prévoit sur ce site la création d'un corridor humide composé de mares et mouillères pour les amphibiens (mesure compensatoire imposée par arrêté).	La coupure des corridors boisé et humide nécessite un rétablissement par le Sud, et par conséquent : - <u>La plantation d'une bande boisée pour les chiroptères en limite Ouest;</u> La création de mares et mouillères pour les amphibiens, ainsi que la pose de batrachoducs pour le franchissement des voiries par les amphibiens.
TOPOGRAPHIE	La topographie des bassins versants naturels à proximité du site montre que des eaux de ruissellement se dirigent vers le Centre d'Exploitation en cas d'événements très exceptionnels.	- <u>La rétention et l'évacuation des EP centennales prises en charges par l'EPAPS au niveau du Bassin BEP 6.</u>
RACCORDEMENT AUX RESEAUX	Le raccordement au réseau d'eaux pluviales de l'EPAPS est infaisable à l'Est du site, selon l'étude EPAPS présentée en cours d'AVP B.	Exutoire d'eau pluviale unique au NORD OUEST du site.
ASSAINISSEMENT	Stockage de la pluie de retour 50 ans et protection du site vis-à-vis de la pluie de retour 100 ans.	Dispositif de stockage important à mettre en œuvre.
GEO-TECHNIQUE	Sol de faiblement perméable à imperméable. Sondages géotechniques complémentaires en cours.	Toute l'eau de pluie tombant sur le site du Centre d'Exploitation doit être considérée comme étant à stocker. Provisions pour des fondations profondes des bâtiments.

4.5.1.3. Raccordement ferroviaire du CE

Le raccord entre le Centre d'Exploitation et la ligne est assuré par une voie qui se branche au niveau de la limite de Tranchée Couverte et Tranchée Ouverte de la transition Est à Palaiseau.

Ce raccordement comprend :

- 1 voie Z permettant le stationnement d'une rame en cours d'injection ou de retrait dans le sens 1 (en direction de Versailles Chantier)
- 1 zone d'insertion/retrait (ZIR)
- 1 tronçon voie d'essai / zone de test
- Les accès au SMI et au SMR

La voie Z est située en Tranchée Couverte, les autres parties sont en Tranchée Ouverte.

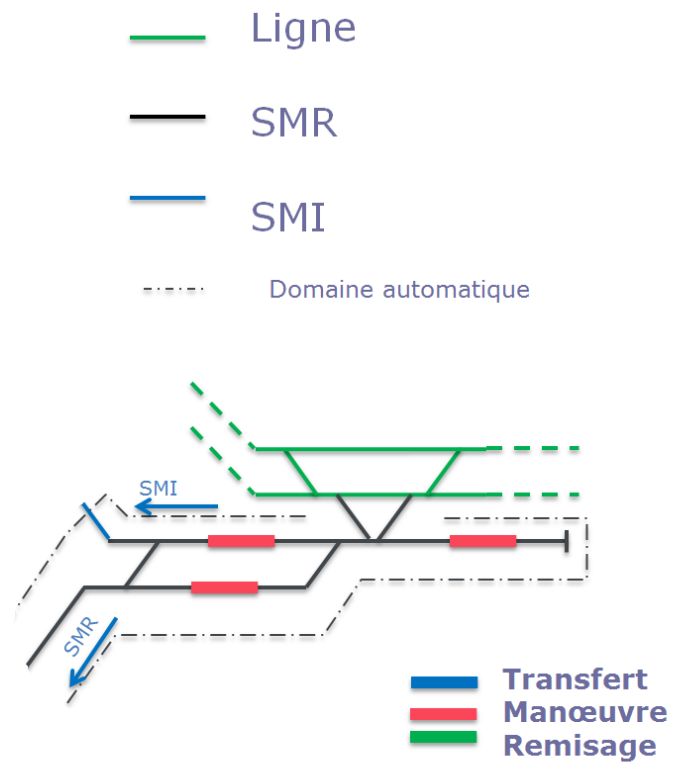


Figure 106 : Voie de raccordement au SMI et SMR

4.5.1.4. Intégration architecturale et paysagère

• Description des contraintes environnementales et des solutions apportées

Le Centre d'Exploitation s'inscrit sur des parcelles aujourd'hui non bâties où les activités humaines sont limitées. Les principales contraintes sont liées à la diversité écologique du site d'implantation retenu : mosaïque d'habitats naturels (boisements de feuillus, prairie de fauche, dépôts de remblais terreux) qui abritent des espèces végétales et animales dont certaines sont protégées.

Les espèces protégées identifiées sur le site occupent soit le boisement au Nord du site (Pic noir, Bouvreuil pivoine, chiroptères, amphibiens), soit la partie prairiale au Sud (Locustelle tachetée, Grillon d'Italie). Elles représentent des contraintes pour le projet, soit du fait de leur niveau d'enjeu élevé, soit car elles utilisent le corridor écologique boisé, soit car elles sont liées aux zones humides et donc concernées par le projet d'aménagement d'un corridor humide sur le site.

L'implantation du Centre d'Exploitation a donc un impact sur les espèces protégées et leurs habitats. Des compensations sont donc nécessaires. Ces mesures compensatoires, hors site, sont recherchées par CDC Biodiversité pour le compte de la SGP.

En complément de ces compensations exigées par la réglementation, le projet nécessite de rétablir le corridor écologique boisé et humide prévu par l'arrêté de dérogation de la ZAC Polytechnique, que l'EPAPS s'est engagé à maintenir (corridor boisé) ou à créer (corridor humide) sur le site du Centre d'Exploitation. Les aménagements prévus pour répondre à ces besoins sont les suivants :

- Restauration du corridor écologique boisé déplacé pour lui faire contourner le viaduc par le sud par la plantation de haies de guidage pour les chiroptères et la préservation d'une bande boisée de 30 mètres de largeur le long de la voirie au sud du Centre d'Exploitation ;
- Restauration du corridor écologique humide par la création de mares et mouillères et par la pose de crapauducs pour les franchissements de voiries.

Principes de mesures compensatoires Zoom 3

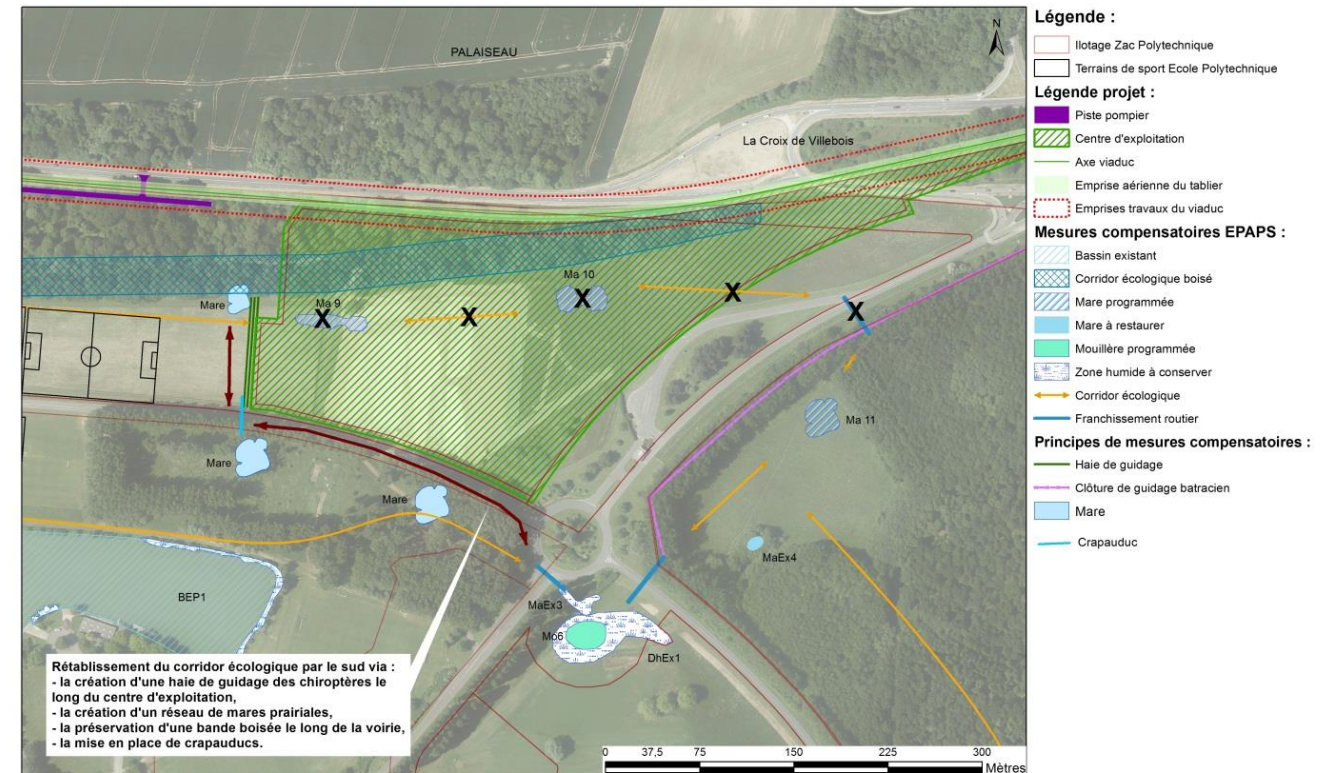


Figure 107 : Principe de mesures compensatoires au droit du Centre d'Exploitation

• Description du concept architectural et paysager

- Intention

Deux volumes en forme de galets forment une diagonale sur le site. Les fonctions tertiaires du SMR sont dissociées du bâtiment SMR et intégrées au bâtiment PCC – direction de la ligne.

Cela permet de mettre en exergue les fonctions de ce bâtiment en les reliant au campus par un rapprochement du tissu urbain.

- Altimétrie du plan de voies

Afin d'optimiser les volumes de terrassements, deux niveaux de voies sont créés à la cote 154,00 NGF pour le SMI et à la cote 151,90 NGF pour le SMR.

- Accès et stationnement

Les accès au SMI, ainsi que les accès de livraison SMR sont situés à l'Ouest. Le volume du bâtiment PCC - direction de ligne comporte un accès piétons direct depuis le Boulevard des Maréchaux. Il est jouxté par l'accès au parking enterré situé à l'Est. Un parking dédié aux visiteurs borde le Boulevard et permet de les accueillir directement dans le bâtiment PCC - direction de ligne. Une galerie longeant la façade Sud du SMR relie celui-ci au volume d'accueil pour les visiteurs et les utilisateurs quotidiens. Elle offre une vision de l'activité intérieure aux personnes effectuant du tourisme industriel.

- Compositions

La composition volumétrique est identique pour le SMR et le SMI : un socle massif abritant l'activité industrielle surmonté d'émergences diaphanes logeant l'activité tertiaire, ainsi qu'une couverture végétalisée rythmée par des boîtes à lumière. L'émergence Nord-Ouest du SMI existe en réponse au volume libre du PCC et de la direction de la ligne. Ils sont visibles et identifiables depuis la ligne. Le volume d'accueil raccroche le Centre d'Exploitation au tissu urbain et marque l'activité à l'entrée du campus d'excellence.

- Façades

L'ensemble du site s'adresse tant aux voyageurs côté Nord qu'aux riverains de la ZAC côté Sud-Est. Le site participe à la séquence d'entrée du campus grâce au volume construit à l'Est. La position du tour en fosse et de la machine à laver à l'intervalle entre SMR et SMI permet de libérer la façade sur rue de l'impact visuel d'équipements industriels. Celle-ci gagne donc en urbanité et en discrétion pour le passant à l'entrée du campus.

- Matérialité

Le socle est constitué de panneaux en béton préfabriqué texturé, teinté. Il assoit les volumes des SMR et SMI. L'intervention d'un artiste pourrait se faire dès la conception pour travailler les matrices de coffrage des murs. Certains volumes sont revêtus d'un bardage de bois vertical.

Une résille métallique laisse entrer la lumière, tout en filtrant le rayonnement solaire ; elle revêt les deux galets permettant d'épouser courbes et fluidité des volumes.

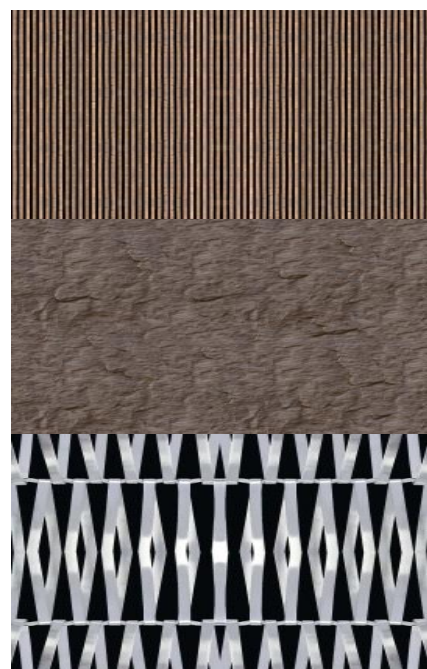


Figure 108 : Matières (bois – béton matricé – maille métallique)

- Jardins

Les jardins se déclinent suivant quatre thèmes : les structures paysagères humides, les structures paysagères de transition, les jardins sur dalle et les ouvrages liés au nivellement.

• Description de la démarche HQE

Le projet du Centre d'Exploitation de la ligne 18 à Palaiseau suit une démarche d'écoconception certifiée selon le référentiel NF HQE – bâtiment tertiaire – millésime 2015.

Une démarche environnementale réfléchie et aboutie permet de mettre à profit les atouts environnementaux du site, tout en se prémunissant des contraintes, voire de transformer ces contraintes en avantages.

Ainsi, une des priorités du projet a été d'intégrer dès l'amont la qualité environnementale à la conception du projet. De cette façon, la démarche environnementale n'est pas subie. Cela permet de concevoir et réaliser un projet environnemental très performant à moindre coût.

Le périmètre de certification concerne les bâtiments du SMR et du SMI avec quatre entités fonctionnelles : les parties maintenance du SMR et du SMI, ainsi que les parties bureaux du PCC et du SMI.

Le profil environnemental de l'opération est ambitieux avec 9 étoiles à obtenir pour un passeport de niveau Excellent :

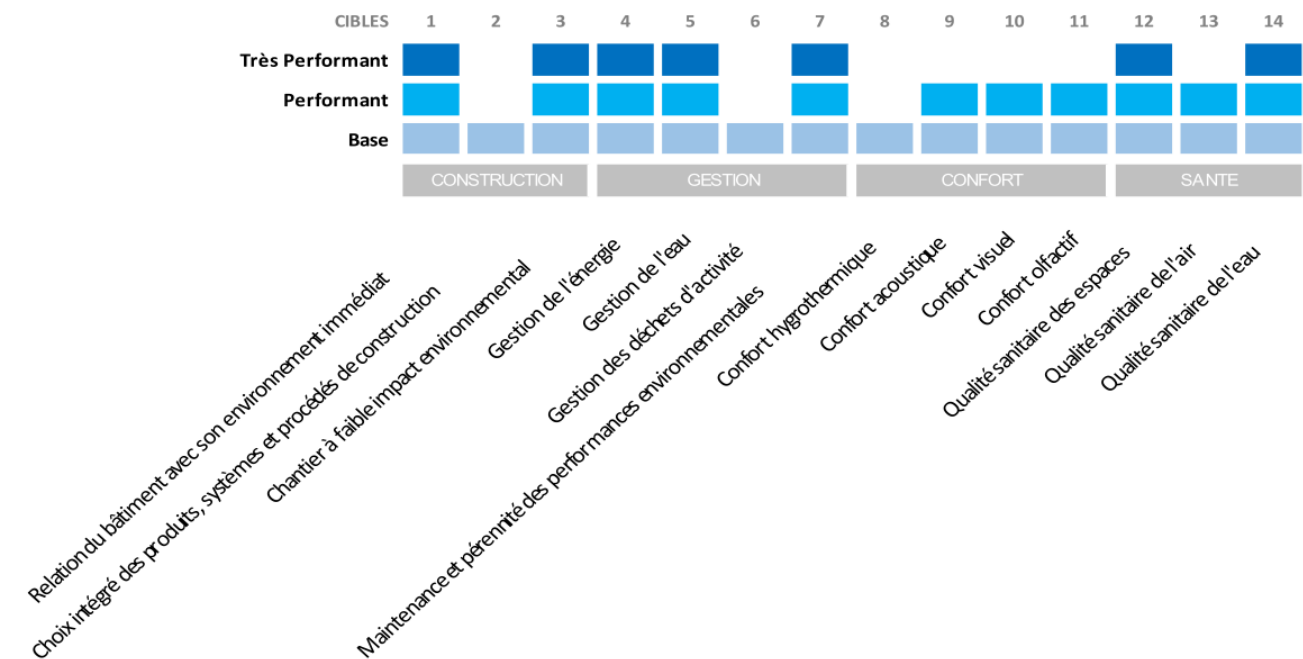


Figure 109 : Tableau des cibles et performances HQE

4.5.2. Le Site de Maintenance des Infrastructures (SMI)

4.5.2.1. Fonctionnalités du SMI

• Disciplines

Le site de maintenance des infrastructures regroupe toutes les disciplines et métiers destinés à garantir la disponibilité et la sécurité des infrastructures, voie, énergie, contrôle-commande et signalisation, gros équipements électromécaniques.

Il s'agit d'une véritable base opérationnelle pour intervenir sur les domaines :

- Génie civil pour les Ouvrages d'Art, tunnels, viaducs ;
- Voie pour l'entretien des supports de rails, traverses, remplacement de rails.
- Énergie pour l'entretien des dispositifs d'alimentation électrique ;
- Automatismes et signalisation ferroviaire pour l'entretien de la signalisation et des systèmes de contrôles-commandes ferroviaires et les façades de quais ;
- Équipements de sécurité du système de transport [sont exclus les activités de maintenance liées aux aménagements de confort des gares (comme par exemple l'information voyageurs, l'éclairage, le contrôle d'accès ou la billetterie) ou des bâtiments, comme les SMR] ;
- Maintenance propre des véhicules d'intervention (véhicules de maintenance industrielle).

Le site regroupe à la fois ces moyens opérationnels, humains et matériels, mais aussi des moyens administratifs.

Le SMI de Palaiseau doit être opérationnel 24h/24, 365 jours par an.

A ce stade des études, les effectifs sont estimés à environ 190 agents.

• Activités

Les principales activités qui se déroulent sur le Site de Maintenance des Infrastructures de Palaiseau sont :

- Le gardiennage du site, la surveillance des personnes et des biens ;
- La circulation des piétons, des véhicules (personnel, visiteurs externes, prestataires, livreurs) et des trains ;
- La circulation des véhicules de secours ;
- L'organisation de la maintenance des infrastructures de la ligne 18 du Réseau de Transport du Grand Paris : remisage des VMI, chargement et déchargement des VMI, formation des convois, stockage des pièces lourdes, livraison et enlèvement du matériel par la route ;
- La maintenance courante et renforcée des véhicules de maintenance des Infrastructures (VMI) ;
- Les activités techniques propres au fonctionnement du site ;

4.5.2.2. Description des aménagements du SMI

Le SMI regroupe différentes entités :

- Un bâtiment abritant des locaux administratifs, d'exploitation, logistiques et techniques ainsi que des locaux sanitaires et sociaux et des places de stationnements d'une surface d'environ 8300m² ;
- Un hall / centre de maintenance VMI d'une surface d'environ 2300m² ;
- Des espaces de stationnement et des espaces ou des locaux extérieurs comprenant notamment des aires de stockage et de tri des déchets d'une surface d'environ 6200m².



Figure 110 : Vue sur le SMI depuis le viaduc phase AVP-a.

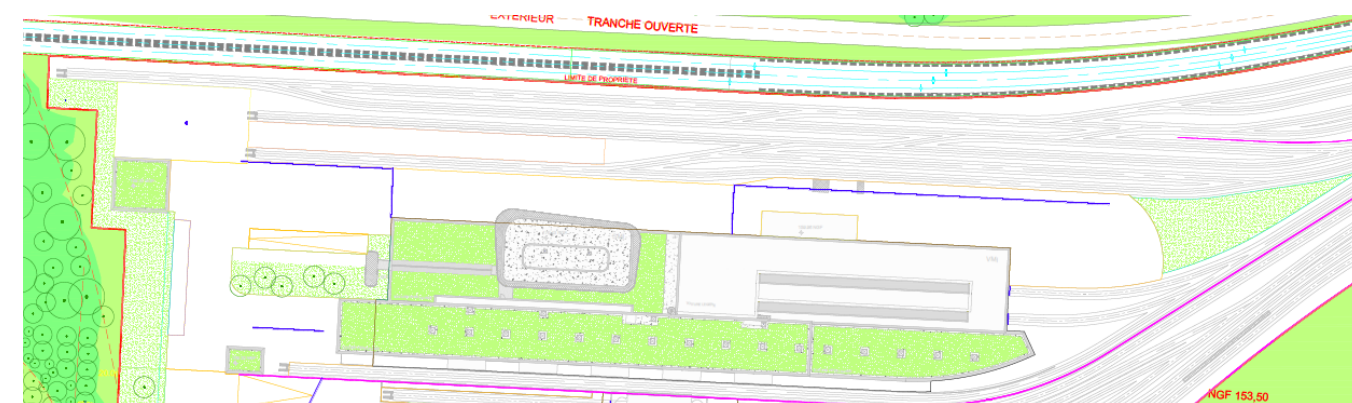


Figure 111 : Plan masse du SMI.

• Faisceau de voies du SMI

L'emprise envisagée pour le SMI représente 3,2 hectares (31770m²) et se situe au Nord de l'emprise générale, contre le tracé de la ligne 18.

Le site n'est pas raccordé au réseau ferré national ni aux réseaux existants du RER et du métro.

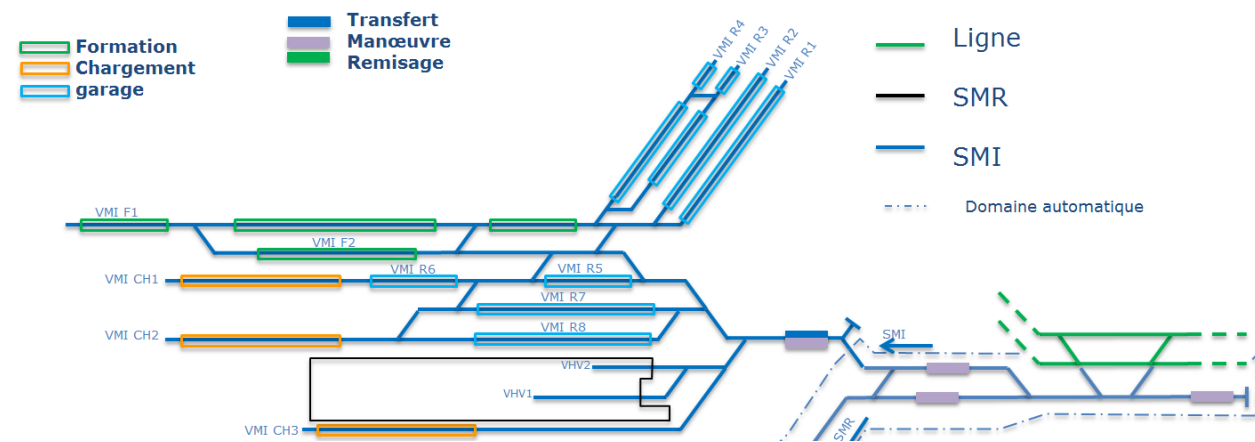


Figure 112 : Plan schématique des voies du SMI.

Cinq fonctions principales sont assurées par les voies définies sur le site :

- Chargement et déchargement (voies orange CH1 à CH3), ces voies sont associées à des quais ou dalle de chargement équipés de pont roulant.
- Formation (voies vertes), ces voies permettent par des mouvements en « tiroir », la constitution des convois en associant différents wagons.
- Remisage (voies bleues), ces voies accueillent le stockage du parc des VMI nécessaires aux opérations de maintenance attribuées au site de Palaiseau.
- Récupération des déchets de Maintenance et Nettoyage des VMI (voie polyvalente Remisage/Nettoyage/Chargement hydrocarbures)
- Accès au Hall de maintenance et à la ligne (voies noires).

1- Voies de chargement/déchargement

Voie CH1 : d'une longueur de 90 m, cette voie est située le long du quai accolé au bâtiment du côté des zones de stockages des équipements énergie et signalisation.

Voies CH2 et CH3 : ces 2 voies, chacune d'une longueur de 90 m permettent le chargement et le déchargement des fournitures (rails, traverses, appareils de voie, pièces d'appareil de voie) depuis la dalle extérieure de chargement dite à plat. Un portique de manutention enjambe les deux voies ainsi que la dalle.

2- Voies de formation

Voies F1 à F4 : permettent de former des convois atteignant 90 m avec les VMI stationnés sur les positions de remisage.

3- Voies de remisage

Voies R1 à R4: regroupées à l'Est du site, elles sont reliées par une voie biaisée facilitant les manœuvres et le tri des VMI à choisir pour former les convois.

Nota : A la suite de l'étude SDMI 2018 réalisée par la RATP, un raccourcissement des voies R1 et R2 est à l'étude.

Voies R6 à R7 : positions de remisage pour vérification des chargements avant insertion en ligne

Voie R8 : voie polyvalente à proximité des zones de déchets et de la voirie routière permettant l'enlèvement des déchets après intervention, le nettoyage des VMI et le chargement des hydrocarbures avant intervention.

Les voies du SMI sont électrifiées avec un 3^{ème} rail capoté pour permettre les mouvements des VMI et le rechargement de leurs batteries durant le remisage. Les batteries des locotracteurs leur permettent d'évoluer en marche autonome.

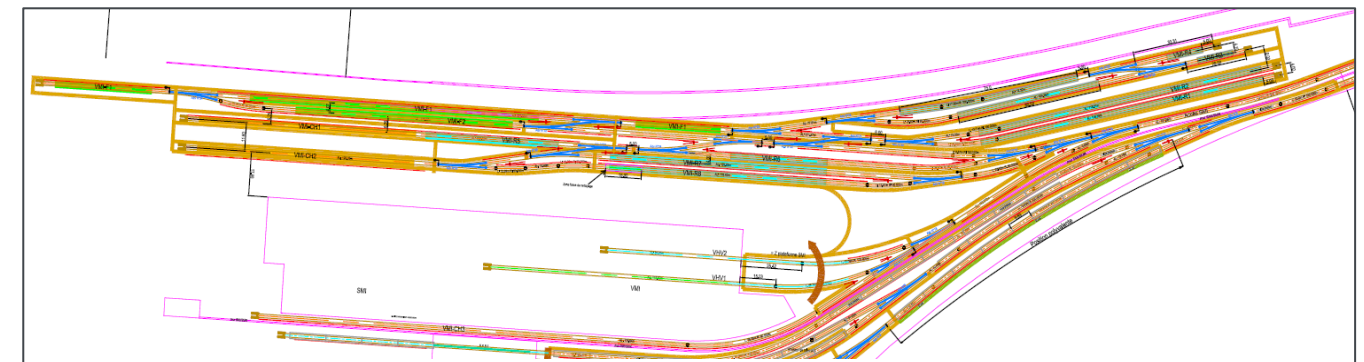


Figure 113 : Plan 3^e rail et cheminements du SMI.

Le plan du 3^e rail intègre l'implantation des cheminements piétons sur l'ensemble du site afin de s'assurer de la compatibilité des différents systèmes, équipements. En effet, l'implantation du 3^e rail constitue un obstacle non franchissable, il doit prendre en compte les besoins de déplacements du personnel de maintenance sur le site.

Dans la mesure du possible, le troisième rail est implanté du côté opposé au cheminement piéton dans les zones où l'espace est restreint.

• Flux routiers du SMI

Le SMI est accessible via le Boulevard des Maréchaux à l'ouest du Centre d'Exploitation. Une première barrière levante permet de contrôler l'accès à la portion de voirie partagée avec le SMR.

Une seconde barrière contrôle l'accès au SMI. Un portail permet si nécessaire d'assurer la fermeture du SMI.

Cette voie d'accès est une voirie lourde avec dallage béton pour supporter les manœuvres de braquage serré des camions.



Figure 114 : Accès des différents flux aux sites, SMI et SMR.

La voirie peut être également utilisée dans des situations exceptionnelles par les véhicules pompiers ou ERDF, par les véhicules de récupération des eaux résiduelles industrielles et par les convois exceptionnels.

Des parkings distincts permettent le stationnement de ces véhicules routiers :

- Véhicules de service légers (VL) : 35 places au nord du SMI ;
- Véhicules du personnel (VL) : 97 places en parking souterrain sous le bâtiment (Nota : suite à l'étude SDMI 2018 réalisée par la RATP, une réduction de ce parking à 71 places est envisagée) ;
- Véhicules visiteurs (VL) : 10 places, 7 en amont du poste de garde et 3 du côté des places visiteurs du PCC ;
- Véhicules hors gabarit : 8 places ;
- Motos et vélos : respectivement 35 et 22 places.

• Le bâtiment du SMI

- Le Pôle Exploitation

Le pôle exploitation situé à rez-de-chaussée comprend les magasins, les stocks de pièces de rechange et les ateliers. Il est en communication avec le quai de chargement ferroviaire et le quai de livraison.

- Le Pôle Technique

Les locaux techniques sont répartis dans le bâtiment suivant les besoins des activités.

- Le Pôle Sanitaire

Le pôle sanitaire comprenant vestiaires, douches et réfectoire est localisé au premier niveau et jouxte l'accueil.

- Le Pôle Administratif

Le pôle administratif est situé aux niveaux 2 et 3 du volume tertiaire du bâtiment du SMI. La particularité de l'accueil du SMI est d'être positionné à R+1 afin d'innover le bâtiment directement au centre et faire bénéficier de terrasses et de vues les locaux sociaux et de détente.



Figure 115 : Vue du pôle tertiaire SMI depuis l'accès principal en terrasse.

• Le Hall de maintenance des VMI

Le hall de maintenance des VMI est situé en partie Est du SMI. Il est organisé en trois pôles :

- Le pôle exploitation qui correspond à la zone des voies de maintenance ;
- Le pôle logistique et technique (ateliers, locaux techniques et stockage) ;
- Le pôle sanitaire et social.

Le hall de maintenance des VMI abrite deux voies de maintenance correspondant à deux usages : maintenance courante et maintenance renforcée.

La voie de maintenance renforcée équipée d'une pré-fosse est une voie à plat équipée de colonne de levage mobile permettant d'accueillir un VMI d'une longueur de 20m.

La voie de maintenance courante est une voie sur fosse permettant d'accueillir un convoi de 60m.

Compte tenu de la variété des VMI, des passerelles mobiles réglables en hauteur équipent cette voie.

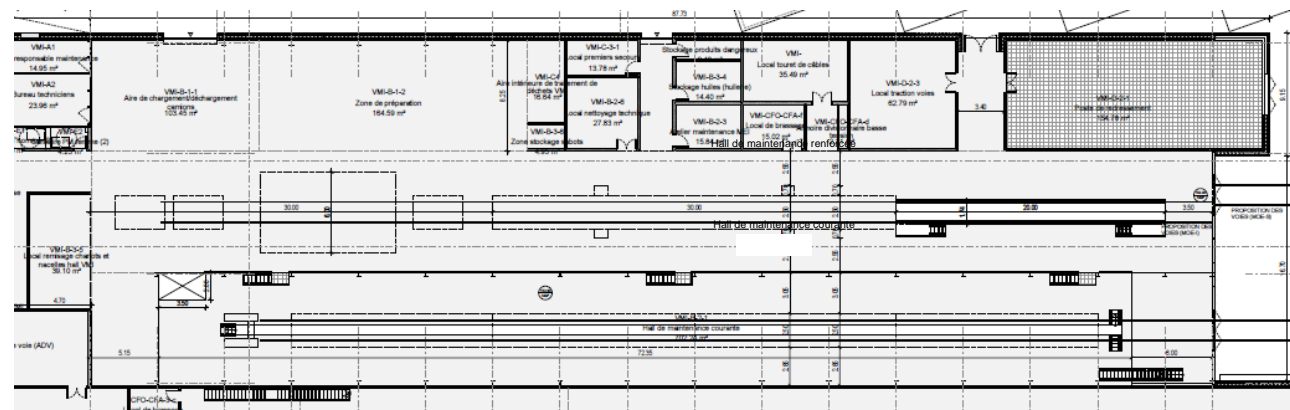


Figure 116 : Aménagement du hall VMI.

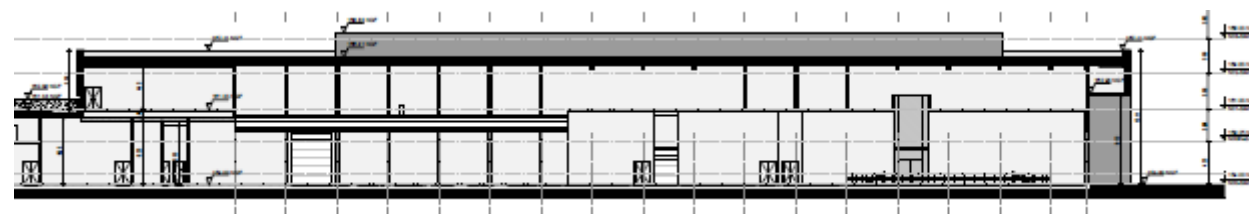


Figure 117 : Coupe transversale sur le hall SMI.

4.5.3. Le Site de Maintenance et de Remisage (SMR)

4.5.3.1. Fonctionnalités du SMR

Les sites de maintenance du matériel roulant sont les installations indispensables pour permettre au futur exploitant d'assurer le niveau de qualité, de performance et de sécurité de l'offre de service imposé par l'autorité organisatrice de transport. Le SMR est le lieu où le matériel roulant du réseau est révisé, entretenu, réparé et remisé. Le SMR constitue également les espaces de réception des futures rames du métro automatique. Il sera confié, par IdFM, à l'exploitant et mainteneur des trains de la ligne.

La maintenance de 29 trains de voyageurs constitués de 3 voitures sera réalisée au SMR de Palaiseau (kilométrage annuel estimé : 220 000 kms). Celui-ci est dimensionné pour permettre l'exploitation de la ligne durant les différentes phases de mises en service de la ligne 18 jusqu'à Versailles Chantiers. Les VMI seront maintenus par les moyens propres à RATP-GI sur le site du SMI.

L'ensemble des opérations de maintenance du niveau 1 au niveau 3 sera réalisé sur le site (au sens de la norme NF EN 13-306 X 60-319), tout en :

- Optimisant le processus industriel, avec pour objectifs de :
- Réduire l'immobilisation du matériel, notamment par une circulation automatique des trains jusque dans les halls de maintenance courante et de grand nettoyage (y compris la machine à laver),
- Assurer la fluidité des accès et approvisionnements, en identifiant, hiérarchisant et facilitant les différents flux, en regroupant les stockages et leur gestion,
- Faciliter les accès aux composants techniques du matériel en assurant une conception ergonomique des interfaces homme / équipement
- Garantissant la sécurité du site en considérant sa vulnérabilité mais également les contraintes des différentes plages de services.
- Garantissant les modalités de réalisation d'une gestion durable du site, pour la consommation d'énergie, la gestion des déchets industriels et des sources de nuisances, le choix des matériaux et principes de maintenance patrimoniale.
- Garantissant les conditions sociales, la qualité, la sécurité du travail et l'accessibilité pour l'ensemble des 180 employés.

Niveaux de maintenance :

Les opérations de maintenance sont classées suivant leur complexité et leur type suivant 5 niveaux. Chacune de ces opérations peut être réalisée sur le remisage, dans les ateliers du SMR ou bien dans des ateliers de révision.

Le SMR de la ligne 18 a vocation à assurer les opérations de maintenance des niveaux 1 à 3 ainsi que les opérations de niveau 4 ne nécessitant pas d'outillage supplémentaires. Cependant le SMR est conçu de manière à assurer les moyens logistiques nécessaires à la sous-traitance ou délocalisation des niveaux de maintenance non assurés par les équipements du SMR (exemple : aire de livraison, stockage de bogies).

Le SMR de Palaiseau intégrera également le Poste de Commandement Centralisé, et le management, de l'ensemble de la ligne 18. Par ce PCC, transitent toutes les informations relatives à l'exploitation de la ligne de transport. Point névralgique de la ligne, il est le lieu de convergence de données en temps réel sur son fonctionnement.

Le site présente la particularité de fonctionner en 2 services pour la maintenance du matériel roulant et 7 jours/7, 24h/24 pour le PCC. L'ensemble du site sera géré en une entité unique en charge de tous les moyens opérationnels, administratifs, humains et matériels mis à disposition de l'exploitant.

4.5.3.2. Description des aménagements du SMR

• Le faisceau de voies :

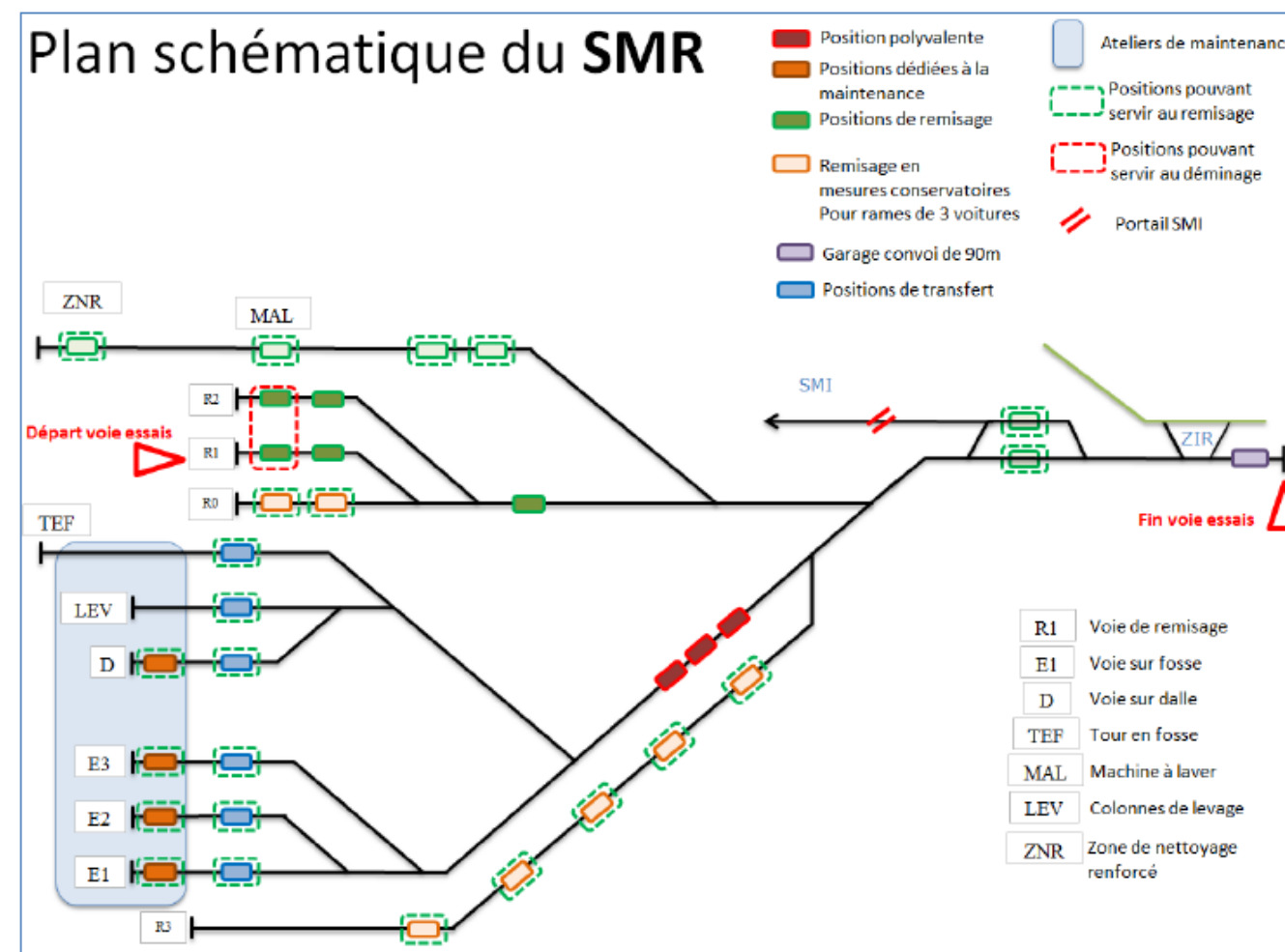


Figure 118 : Plan schématique des voies du SMR.

Les voies du SMR comprennent :

- **La zone de stockage des rames en attente de maintenance**
Les six voies faisant face aux portes du hall de maintenance et du hall de tour en fosse permettent d'accueillir 6 rames de 60m.
- **Les voies de stockage des trains**
Deux voies dédiées au stockage des rames en attente de maintenance sont positionnées au Nord de l'emprise SMR. Ces voies de remisages polyvalentes (R1 et R2) permettent le remisage de 5 rames de trains voyageurs, le nettoyage intérieur pour 4 positions parmi les 5, ainsi que le déminage éventuel. En complément de ces positions de remisage, il est possible d'utiliser des positions supplémentaires sans contrainte sur l'exploitation, portant à 15 le nombre total de positions de remisage au SMR.

- Une voie MAL permettant le nettoyage des rames en automatique ainsi que le positionnement d'une rame pour un nettoyage renforcé manuel;
- Une position de d'accouplage /découplage de rame en panne ;
- Les voies d'accès aux différents équipements de maintenance du SMR (positions de transfert), soit :
 - o la voie tour en fosse (TEF) permettant l'usinage des roues du matériel roulant ;
 - o la voie Colonnes de levages encastrées (LEV / VCE) permettant le remplacement des bogies ;
 - o la voie D de maintenance renforcée, à plat ;
 - o les voies sur fosse E1 à E3 pour la maintenance courante.

Les voies du SMR permettent tous les mouvements des trains. Par conséquent, l'équipement en 3eme rail est le plus complet possible sur la zone de mouvement automatique des trains compte tenu des contraintes techniques, les appareils de voies nécessitant d'introduire des interruptions du rail de traction. Les voies de l'atelier sont prévues sans 3eme rail pour préserver la sécurité du personnel de maintenance. L'autonomie embarquée des véhicules permet le transfert de la zone de mouvement automatique à la zone d'atelier.

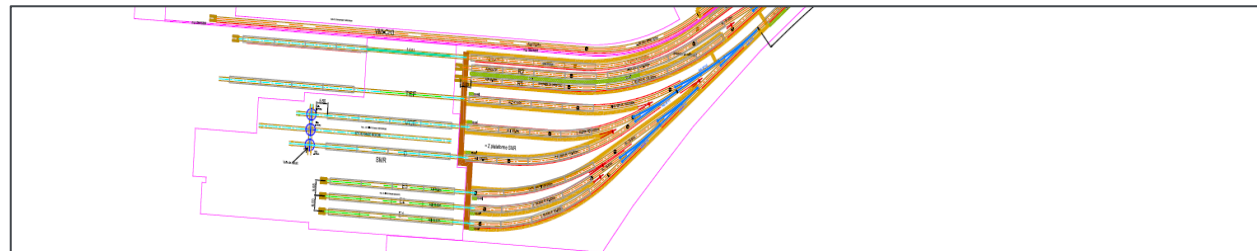


Figure 119 : Plan 3^e rail et cheminements du SMR.

L'entrée des rames sur les voies de maintenance courante s'effectue sans personnel à bord des trains, en conduite automatique supervisée par un opérateur au sol.

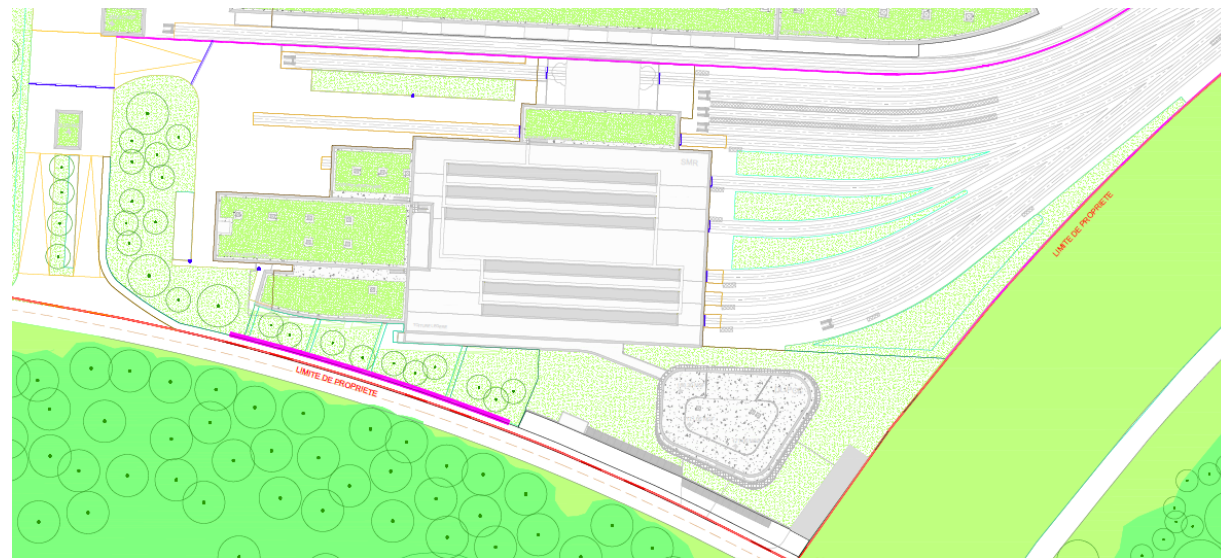


Figure 120 : Plan masse du SMR.

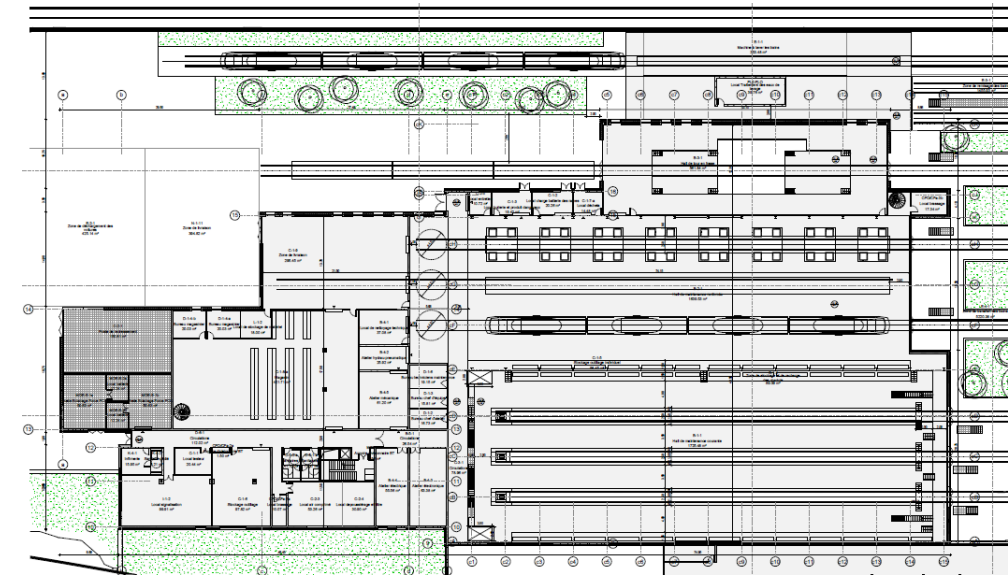


Figure 121 : Organisation spatiale du SMR - Niveau 0.

• Atelier de maintenance des trains

L'atelier de maintenance des trains composé des éléments suivants :

- Le hall de maintenance courante dans la partie Sud du SMR. Il comprend trois voies sur fosse bordées de passerelles mobiles et surmontées de deux ponts roulants de 1600kg de charge utile couvrant chacun les trois voies.
- Le hall de maintenance renforcée dans la partie Nord du SMR. Il comprend une voie « à plat », une voie équipée de colonnes fixes de levage encastrées et une voie de stockage des bogies. Les deux premières voies sont équipées chacune d'une poutre roulante de faible capacité.
- Le hall de tour en fosse qui comprend une voie équipée de la machine dite "tour en fosse" qui permet le reprofilage des roues des trains. La fosse est surmontée d'un pont roulant de 1600kg de charge utile.
- Les ateliers spécifiques (nettoyage technique, maintenance des équipements industriels, ateliers électronique, électrique et mécanique) qui jouxtent l'atelier de maintenance courante.

L'ensemble de ces locaux est aménagé en rez-de-chaussée.

• Aire de livraison

L'aire de livraison logistique permet les opérations de chargement/déchargement suivantes : par l'arrière, avec le hayon du camion, au chariot élévateur, sur les côtés du camion, pour les produits longs ; par-dessus, au pont roulant (bogies par exemple).

• La zone de déchargement des voitures et de reconstitution des rames

La zone de déchargement des voitures et de reconstitution des rames est située à l'arrière de la machine à laver. Celle-ci est directement accessible aux convois exceptionnels depuis la cour de livraison PL desservie par l'accès de livraison Ouest.

• Les espaces logistiques et techniques

L'ensemble des locaux logistiques et de stockage est situé à l'Ouest du SMR, ils sont directement accessibles depuis l'aire de livraison Poids Lourds. Les locaux techniques sont répartis dans le bâtiment suivant les besoins des activités.

• Les espaces tertiaires

Le volume indépendant du bâtiment tertiaire situé au Sud-Est du site comprend également l'accueil du site. Il est organisé autour d'un atrium permettant la desserte des niveaux, mais également l'apport de lumière naturelle au cœur du volume.

Les locaux tertiaires sont distribués sur trois niveaux de la façon suivante : fonctions communes à rez-de-chaussée, exploitation de la ligne au premier niveau, et direction de ligne au second niveau.

Une salle de détente et de convivialité est également mise en place au rez-de-chaussée au niveau de l'accueil sur le circuit d'accès au hall de maintenance des trains et aux espaces tertiaires. Elle bénéficie d'une terrasse extérieure orientée à l'Est.

Les sanitaires et les vestiaires sont situés à rez-de-chaussée, au niveau de l'accueil, sur le circuit d'accès au hall de maintenance des trains et aux espaces tertiaires. Les sanitaires sont répartis à chaque niveau au sein de pôles centraux. Les vestiaires sont divisés en deux pôles.

L'organisation des fonctions tertiaires sur trois niveaux, permet de privilégier les circulations verticales pour optimiser les circulations horizontales et desservir rapidement toutes les fonctions.

• Les zones extérieures

L'aire de livraison logistique

L'aire de livraison logistique est située à l'angle Nord-Ouest du hall de maintenance des trains. Elle est desservie par l'accès Poids Lourds commun au SMI permettant de franchir le dénivelé.



Figure 122 : Vue sur le SMR depuis le Boulevard des Maréchaux - phase AVP-a.

Accès au site, parking et accueil

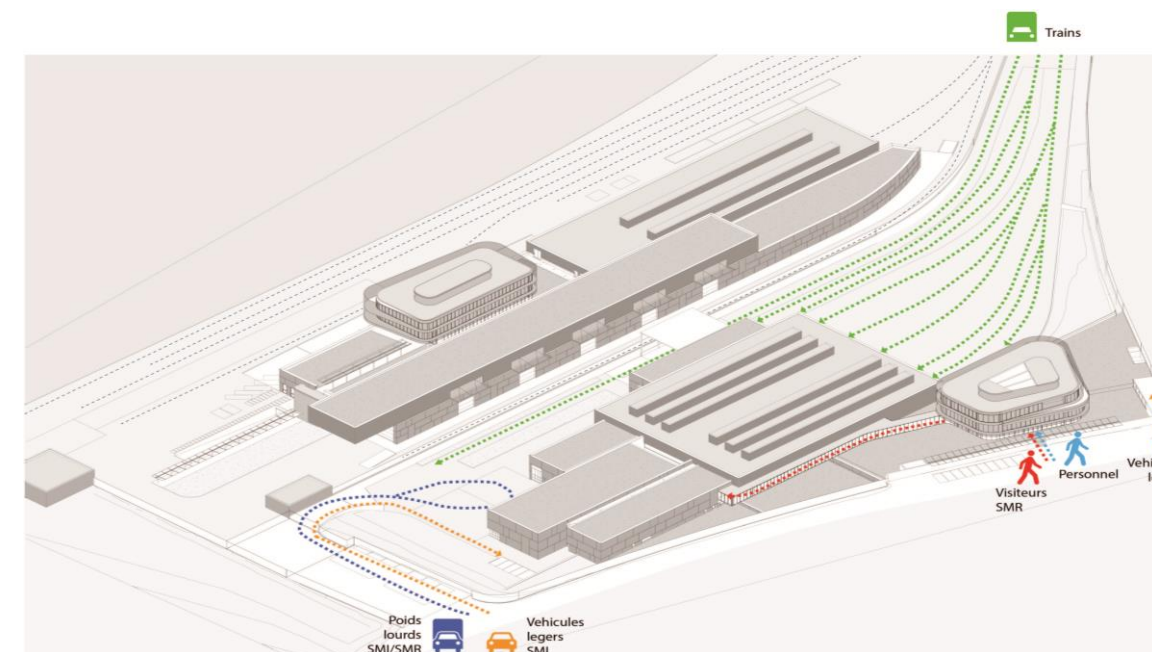


Figure 123 : Organisation spatiale et description des flux du SMR

La méthode d'accès au SMR dépend du mode de transport et du motif d'accès. Le personnel peut accéder au SMR via le parking souterrain pour VL accessible depuis le Boulevard des Maréchaux à l'Est du Centre d'Exploitation (120 places). Un portail ainsi qu'une barrière levante permettent de contrôler l'accès. Le parking visiteur se situe à l'extérieur de l'enceinte du site, le long du Boulevard (11 places VL, 1 pour les cars et 16 pour les vélos). La fin du trajet s'effectue à pied. Le contrôle d'accès pour les piétons se situe dans le hall d'accueil suite au franchissement d'un portail d'entrée.

Ce hall d'accueil se situe au rez-de-chaussée du bâtiment SMR. Cet espace d'accueil commun sert également au PCC. Le cheminement depuis le parking jusqu'à l'accueil est indiqué à l'aide de signalétique.

L'accès livraison / véhicules d'intervention se fait par le Boulevard des Maréchaux à l'ouest du Centre d'Exploitation. Un contrôle par barrière levante est prévu pour l'accès de ces véhicules aux 5 places de stationnement réservées au SMR.

• Remisage des rames

Deux voies dédiées sont prévues pour le remisage (cf. Figure Plan schématique des voies du SMR., voies R1 et R2). Ces voies se situent en extérieur et peuvent accueillir 4 rames. L'accès à ces 4 rames est permis par un quai central commun à R1 et R2 puis par un quai supplémentaire pour R1. Le remisage principal de la ligne 18 est assuré en arrière gare de terminus sur la ligne.

Le principe de circulation sur ces voies de remisage est le « mode automatique ». Un quai central de largeur 1,20m (dont 0,20m de garde-corps) permet de desservir les rames pour permettre la maintenance légère / nettoyage des wagons. Afin d'assurer ces fonctionnalités, un accès au réseau électrique 230V est prévu.

L'accès au quai est sécurisé par une clôture en treillis soudé qui entoure les deux voies où la circulation s'effectue en « mode automatique ». Un dispositif de contrôle permet d'accéder à cette zone clôturée. Le cheminement dédié aux personnels en charge du nettoyage des trains longe le SMR à l'extérieur au niveau du sol.

Les quais, les deux voies de remisage ainsi que le cheminement y menant sont éclairés selon les recommandations de la norme NF EN12464-1 et selon son usage.

Le bilan global de remisage est défini dans le chapitre « Exploitation » du présent dossier d'avant-projet du maître d'ouvrage.

A titre conservatoire, deux emplacements sont réservés pour réaliser ultérieurement les voies R3 et R0 pour permettre respectivement le remisage :

- de 4 rames de 3 voitures sur la voie R3
- d'une rame de 4 voitures et d'une autre de 3 voitures sur la voie R0.

• Propreté du matériel roulant

La propreté des rames est assurée au niveau :

Des voies de remisage pour tout ce qui concerne le nettoyage intérieur ;

De la machine à laver les trains et de la voie de décrassage pour tout ce qui concerne le nettoyage extérieur.

La machine à laver les trains :

Afin de libérer des équipements industriels la façade Sud du SMR côté Boulevard des Maréchaux, la machine à laver est positionnée en partie Nord entre le hall de tour en fosse et la limite du SMI. Un véhicule léger de maintenance peut accéder aux équipements techniques de la machine à laver depuis l'aire de livraison logistique.

4.5.4. Le Poste de Commande Centralisé et la Direction de Ligne (PCC)

4.5.4.1. Fonctionnalités du PCC

L'ensemble fonctionnel Exploitation de la ligne se compose des ensembles fonctionnels suivants :

- **La Direction de la ligne qui assure :**
 - l'organisation de l'exploitation de la ligne 18 ;
 - la gestion du domaine de la ligne 18 (ligne et gares) et des abords ;
 - la gestion du personnel ;
 - la formation du personnel de l'exploitant.
- **La Direction Exploitation qui est composée de six sous-ensembles fonctionnels :**
 - les bureaux ;
 - les salles de réunion ;
 - la reprographie ;
 - le Poste de Commande Centralisé (PCC) et le Poste de Commandement sécurité (PCS),
 - les bureaux de passage ;
 - les circulations.
- **Le parcours des visiteurs accompagnés ;**
- **Les locaux techniques et divers.**



Figure 124 : Plan masse du PCC.

4.5.4.2. Description du bâtiment accueillant le PCC et la Direction de la ligne.

• Les moyens communs mutualisés

- Hall d'accueil :

Le hall d'accueil est situé à rez-de-chaussée du bâtiment tertiaire.

- Salle de réunion et de projection :

La salle de réunion est positionnée au niveau de l'exploitation de la ligne, au premier niveau du bâtiment tertiaire. Elle jouxte la salle de réunion dédiée aux visiteurs.

- Stockage, infirmerie, local syndical, local du comité d'entreprise

Ces locaux sont positionnés au niveau du SMR, proches de l'accueil du hall de maintenance des trains, au niveau de la plateforme des voies.

- Les locaux des prestataires extérieurs :

Ces locaux sont positionnés au niveau du SMR, proches de l'accueil du hall de maintenance des trains, au niveau de la plateforme des voies. Ils sont directement accessibles depuis l'aire de livraison logistique.

- Les fonctions de convivialité :

Les tisaneries sont dissociées : l'une est située à rez-de-chaussée du bâtiment tertiaire proche du lieu de prise de repas. La seconde est située à proximité des vestiaires du hall de maintenance des trains.

La salle de prise de repas est située à rez-de-chaussée du pavillon d'accueil et bénéficie d'une terrasse extérieure.

• Exploitation de la ligne (Direction de la ligne et PCC)

- Direction de la ligne :

Le niveau 2 du bâtiment tertiaire est dédié à la direction de la ligne. Elle bénéficie d'une vue directe sur les voies.

- Direction exploitation :

Le niveau 1 du bâtiment tertiaire est dédié à la direction de l'exploitation. PCC et PCS bénéficient d'une double hauteur. La direction de l'exploitation bénéficie d'une vue directe sur les voies.

- Parcours des visiteurs accompagnés :

Les visiteurs sont accueillis au rez-de-chaussée du bâtiment tertiaire et empruntent la passerelle de visite bordant la façade Sud du SMR et offrant une vue plongeante sur le hall de maintenance courante. Ils rejoignent ensuite le hall de maintenance des trains.

• **Locaux techniques et divers**

- Les locaux techniques sont répartis dans le bâtiment suivant les besoins des activités.

Pour la description détaillée des fonctionnalités du PCC, se référer au chapitre « Systèmes » du présent dossier.

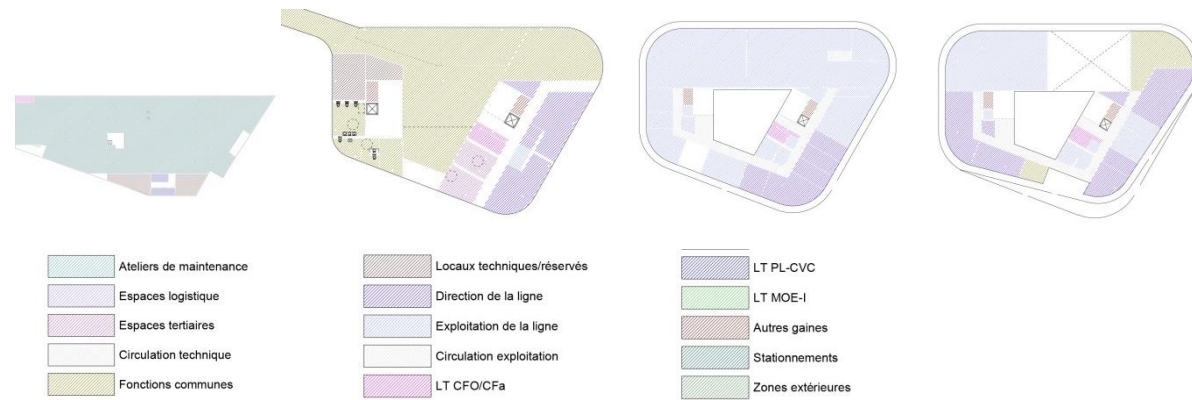


Figure 125 : Niveaux -1,0, 1 et 2 du PCC.



Figure 126 : Vue sur le pavillon d'entrée abritant le PCC et la direction de la ligne (AVP-a)



Société du Grand Paris
Immeuble « Le Cézanne »
30, avenue des Fruitières
93200 Saint-Denis

societedugrandparis.fr