

Interconnexion sud

des lignes à grande vitesse en Île-de-France

Pré-études fonctionnelles et préparatoires au débat public

Etudes Techniques

Février 2010



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



RÉSEAU FERRÉ DE FRANCE

SOMMAIRE

1. ETUDES GENERALES DES SCENARIOS..... 3

Avertissement..... 4

1.1. Référentiel 4

1.2. Caractéristiques géométriques 4

1.3 Option 12

1.4 Etude de l'implantation de nouvelles gares TGV..... 14

2 OUVRAGES SOUTERRAINS 22

2.1 Introduction 23

2.2 Influence de la STI sur des projets de tunnels dimensionnés selon l'ITI 98-300 23

2.3 Principes de conception du génie civil des tunnels de la ligne nouvelle d'Interconnexion Sud en Ile-de-France 26

2.4 Section géométrique minimale (hors critères aérodynamiques) et gabarits ferroviaires 27

2.5 Dimensionnement des tunnels de la nouvelle ligne d'Interconnexion Sud en Ile-de-France en fonction des critères tympaniques..... 28

2.6 Modalités d'estimation du coût des tunnels de la nouvelle ligne d'Interconnexion Sud en Ile-de-France 31

2.7 Gares 34

2.8 Textes de référence 36

1. ETUDES GENERALES DES SCENARIOS

Avertissement.....	4
1.1. Référentiel.....	4
1.2. Caractéristiques géométriques.....	4
1.2.1. Vitesses potentielles Interconnexion Sud et raccordements.....	4
1.2.1.1 Ligne d'Interconnexion Sud.....	4
1.2.1.2 Raccordements "normands".....	4
1.2.1.3 Raccordement optionnel.....	4
1.2.2 Profils en long.....	5
1.2.2.1 Profondeur des gares.....	5
1.2.2.2 Pentes longitudinales.....	5
1.2.3 Raccordements.....	5
1.2.3.1 Raccordements sur la LGV Atlantique.....	5
1.2.3.2 Raccordements au nord de Massy TGV.....	5
1.2.3.2.1 Raccordement A1 à Verrières-le-Buisson.....	5
1.2.3.2.2 Raccordement A2 dans le secteur des Baconnets.....	6
1.2.3.2.3 Raccordement A5 à Massy-Verrières.....	7
1.2.4 Raccordement sur la ligne de Grande Ceinture.....	9
1.2.5 Raccordements sur la LGV Sud-Est.....	10
1.2.5.1 Raccordements possibles sur le tronçon Valenton-Coubert.....	10
1.2.5.1.1 Raccordement C1 à Limeil-Brévannes - Yerres (ligne d'Interconnexion Sud).....	10
1.2.5.1.2 Raccordement C2 à Valenton (Val Pompadour) (Option TGV Sud-Est ↔ Paris Austerlitz).....	10
1.2.5.1.3 Raccordement C4 à Valenton (triage de Valenton) (ligne d'Interconnexion Sud).....	11
1.2.5.2 Raccordement possible sur la LGV Sud-Est historique.....	11
1.3 Option.....	12
1.3.1 Raccordements de Paris Austerlitz vers LN1 et LN2.....	12
1.3.1.1 Raccordement vers la gare TGV d'Orly et la LGV Atlantique.....	12
1.4 Etude de l'implantation de nouvelles gares TGV.....	14
1.4.1 Schémas fonctionnels.....	14
1.4.1.1 Gare à 4 voies.....	14
1.4.1.2 Gare à 2 voies.....	15
1.4.2 Gare dans le secteur d'Orly.....	15
1.4.2.1 Solutions techniques.....	16
1.4.2.1.1 Gare B1 "Cœur d'Orly".....	16
1.4.2.1.2 Gare B2 "Proche des aérogares".....	16
1.4.2.1.3 Gare B3 "Rungis la Fraternelle".....	17
1.4.2.1.4 Gare B4 "Pont-de-Rungis".....	17
1.4.2.2 Enjeux financiers.....	17
1.4.3 Gare RER D dans le Val de Marne.....	18
1.4.3.1.1 Gare B5a « Option GC ».....	18
1.4.3.1.2 Gare B5b « Option Nord ».....	19
1.4.3.1.3 Gare B5c « Option Sud ».....	20
1.4.3.2 Enjeux financiers.....	20
1.4.4 Gare dans le secteur Sénart.....	20
1.4.4.1.1 Gare B6 "Sénart RER D".....	20
1.4.4.1.2 Gare B7 "Sénart Villaroche".....	21
1.4.4.2 Enjeux financiers.....	21

AVERTISSEMENT

Les études techniques réalisées dans le cadre des pré-études fonctionnelles ont pour objectif d'apporter une première évaluation de la faisabilité, des performances et du coût des différents scénarios étudiés. Elles permettent aussi de dessiner des fuseaux de passage, dont les contours ne sont pas définitifs, à partir desquels sont identifiées les sensibilités environnementales de chaque scénario.

A ce stade des études, elles ne portent pas sur la définition de tracés. Cependant, l'analyse des points singuliers (raccordements au réseau existant, gares nouvelles, ...) nécessite une approche locale plus détaillée basée sur des esquisses de tracé, qui sont présentées ici à titre indicatif.

1.1. RÉFÉRENTIEL

La définition des caractéristiques géométriques potentielles des divers scénarios de la ligne d'Interconnexion Sud est basée sur les deux référentiels IN 3278 – "Référentiel technique pour la réalisation des LGV – Partie Génie Civil", et IN 3279 – "Référentiel technique pour la réalisation des LGV – Partie Équipements Ferroviaires" communs à la SNCF et à RFF, pour toutes les zones où la vitesse potentielle maximale retenue est supérieure ou égale à 230 km/h.

Ce référentiel ne s'applique ni aux zones de la ligne d'Interconnexion Sud où la vitesse potentielle est inférieure à 230 km/h, ni aux divers raccordements du projet où la vitesse est encore plus limitée. Dans ce cas, les tracés sont basés sur les prescriptions du référentiel infrastructure IN 0272 "conception du tracé de la voie courante à $V \leq 220$ km/h", commun à la SNCF et à RFF.

1.2. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES

1.2.1. Vitesses potentielles Interconnexion Sud et raccordements

1.2.1.1 Ligne d'Interconnexion Sud

Les caractéristiques géométriques envisagées pour la ligne d'Interconnexion Sud permettent les vitesses potentielles maximales suivantes :

	Scénario A	Scénario B	Scénario C
de la LGV Atlantique à Orly	160 km/h	160 km/h	160 km/h
d'Orly à la LGV Sud-Est	200 km/h	200 km/h	230 km/h

Le passage des trains sans arrêt en gare TGV d'Orly est limité à 100 km/h du fait de la présence en gare de communications croisées spéciales Tg 013, implantées dans un entraxe de 3.62 m.

Les vitesses de débranchement de la ligne d'Interconnexion Sud depuis les LGV Atlantique et LGV Sud-Est, reprises dans les deux tableaux ci-après, sont dictées par la géométrie et les caractéristiques techniques des zones de raccordement sur ces deux LGV :

Vitesses de débranchement depuis la LGV Atlantique :

Site A1 Verrières-le-Buisson	Site A2 Massy-Verrières Les Bacconnets	Site A3 Villejust	Site A5 Massy-Verrières	Site A6 Janvry
170 km/h Tg 0,0218 (1/46)	100 km/h Tg 0,0476 (1/21)	230 km/h Tg 0,0154 (1/65)	100 km/h pas d'appareil*	230 km/h Tg 0,0154 (1/65)

Vitesses de débranchement depuis LGV Sud-Est :

Site C1 Yerres	Site C2 Val Pompadour	Site C3 Lieuxaint – Réau	Site C4 trriage de Valenton
170 km/h Tg 0,0218 1/46	160 km/h Tg 0,0336 (1/29)	230 km/h Tg 0.0154 (1/65)	100 km/h pas d'appareil*

- **raccordement en voie directe, par déviation de voies existantes.**

1.2.1.2 Raccordements "normands"

Les caractéristiques géométriques des raccordements normands permettent en principe une vitesse potentielle maximale de 130 km/h. Cette vitesse peut être abaissée à 100 km/h sur tout ou partie de leur longueur dans le cas de certaines variantes plus contraintes.

La vitesse de débranchement depuis la ligne de Grande Ceinture à Wissous est potentiellement de 130 km/h (appareils Tg 0.0372 [1/26]), mais devrait être limitée dans la pratique à 110 km/h (vitesse d'exploitation actuelle de la ligne de Grande Ceinture à l'endroit du débranchement).

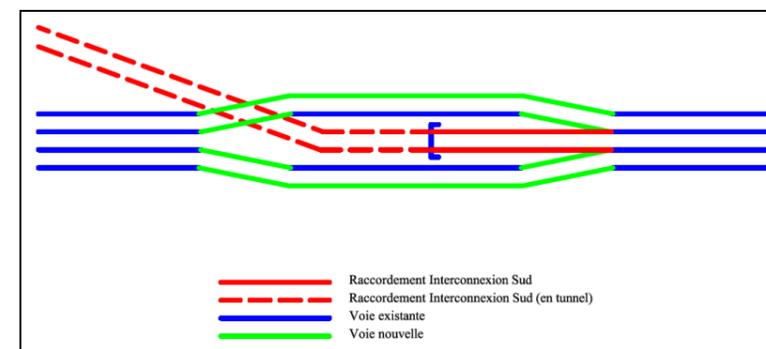
La vitesse de raccordement sur la ligne d'Interconnexion Sud, à l'entrée de la gare TGV d'Orly est limitée à 100 km/h (appareils Tg 0,0476 [1/21]).

1.2.1.3 Raccordement optionnel

Le projet d'Interconnexion Sud comprend un raccordement optionnel avec débranchement à Vitry-sur-Seine et permettant de relier Paris-Austerlitz à la ligne d'Interconnexion Sud (raccordements Paris-Austerlitz – Orly).

Les caractéristiques géométriques de ce raccordement optionnel permettent des vitesses potentielles maximales de 160 km/h. Cette valeur est réduite à 130 km/h pour la voie 2 du raccordement Paris-Austerlitz – Valenton dans le cas des variantes avec gare souterraine dans le secteur « Pompadour » (scénario A avec gare supplémentaire).

Le raccordement optionnel se débranche des lignes classiques en voie directe selon une vitesse de 160 km/h, avec déviation des voies existantes, suivant le principe ci-après (cas de la ligne Paris-Orléans à 4 voies) :



Le raccordement optionnel se raccorde sur la ligne d'Interconnexion Sud (et/ou sur d'autres raccordements) avec des appareils circulables en voie déviée à 130, 160 ou 170 km/h, en fonction des contraintes géométriques propres à chaque variante.

1.2.2 Profils en long

Les profils en long des diverses variantes de la ligne d'Interconnexion Sud et de ses raccordements optionnels n'ont pas été examinés à ce stade des études pré-fonctionnelles. Seuls quelques grands principes ont été définis concernant :

- la profondeur des gares,
- les pentes longitudinales.

1.2.2.1 Profondeur des gares

En première approche, et sous réserve d'études ultérieures plus détaillées, les gares souterraines envisagées se situeraient aux profondeurs suivantes :

Gare	Altitude terrain	Altitude rail projet
B1 – Orly – Cœur d'Orly	≈ 85,5 NGF	≤ 55,5 NGF
B2 – Orly – Proche des aéroports	≈ 86,5 NGF	≤ 56,5 NGF
B3 – Orly – La Fraternelle (souterraine)	≈ 82,5 NGF	≤ 58,5 NGF
B4 – Orly – Pont-de-Rungis (souterraine)	≈ 85 NGF	≤ 65 NGF
B5b – RER D 94 – Pompadour	≈ 32 NGF	≤ 2 NGF
B5c – Val RER D 94 – Villeneuve-Saint-Georges	≈ 32 NGF	≤ - 6 NGF

Les gare B5a (à Villeneuve-Triage) et B6 (à Lieusaint), toutes deux à l'air libre, se situeront au même niveau que la ligne de Grande Ceinture actuelle au-dessus du triage pour la première et à peu près au niveau du terrain naturel pour la seconde.

1.2.2.2 Pentés longitudinales

La configuration du terrain naturel permet d'envisager une limitation des pentes longitudinales de la ligne d'Interconnexion Sud à 25 ‰ entre la LGV Atlantique et les sites des gares d'Orly. Cependant, il pourra s'avérer nécessaire de recourir à des pentes de 35 ‰ dans les zones de raccordement aux voies existantes compte tenu des contraintes de l'environnement urbain.

Les pentes longitudinales entre les gares d'Orly et la LGV Sud-Est côté Est de la vallée de la Seine pourraient pour leur part atteindre jusqu'à 35 ‰, notamment pour quelques variantes de tracé franchissant cette vallée en tunnel.

Les pentes longitudinales de la plupart des raccordements optionnels devraient également atteindre des valeurs de l'ordre de 35 ‰, notamment dans les zones d'émergence sur les voies existantes.

1.2.3 Raccordements

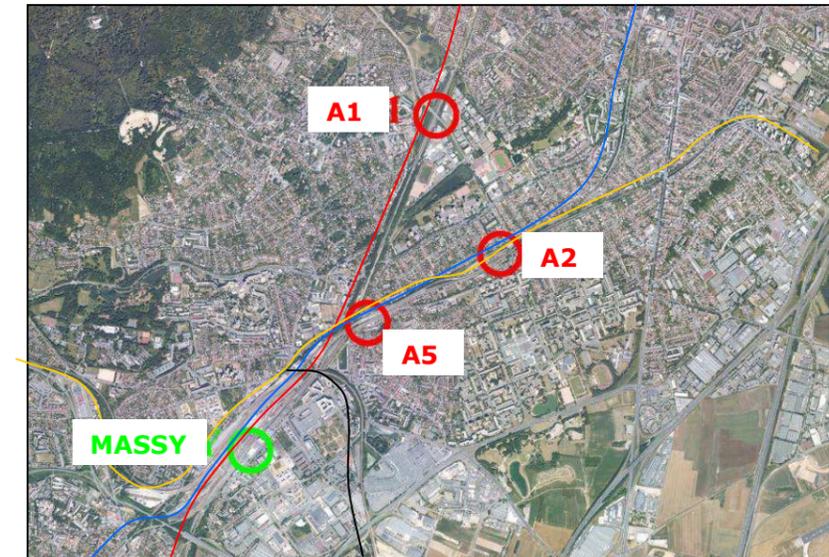
1.2.3.1 Raccordements sur la LGV Atlantique

Les raccordements possibles sur la LGV Atlantique ont été numérotés A1 à A6 (le raccordement numéroté A4 correspond aux raccordements entre la Grande Ceinture et la ligne nouvelle d'Interconnexion Sud permettant la circulation des TGV en provenance/à direction de la Normandie).

1.2.3.2 Raccordements au nord de Massy TGV

Trois sites possibles de raccordement sur la LGV Atlantique ont été examinés au nord de Massy :

- sur la LGV proprement dite, dans la tranchée de Verrières-le-Buisson (site A1),
- sur les voies du raccordement à la Grande Ceinture tel qu'il est prévu de l'aménager dans le cadre du projet Massy-Valenton :
 - soit vers les Baconnets (site A2),
 - soit à Massy-Verrières (site A5).

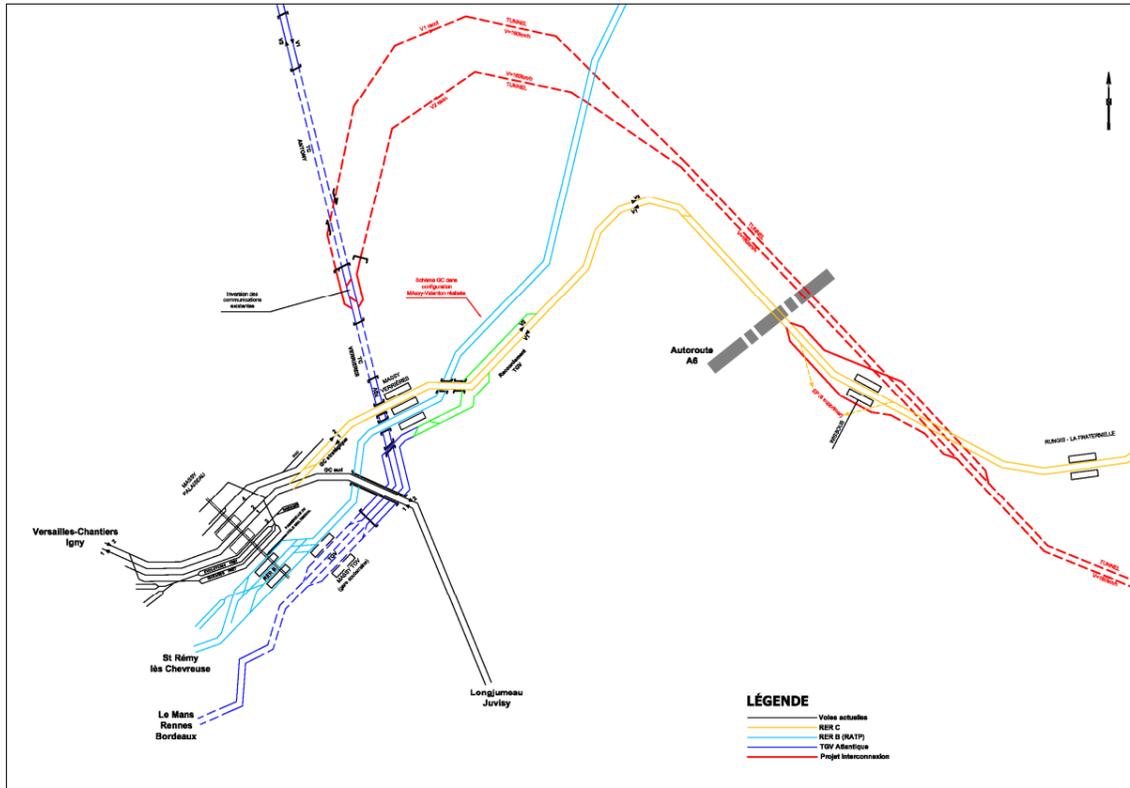


1.2.3.2.1 Raccordement A1 à Verrières-le-Buisson

La tranchée de Verrières-le-Buisson, située entre les deux tranchées couvertes (TC) existantes de Verrières et d'Antony, constitue le seul point de débranchement du projet d'Interconnexion possible sur la LGV Atlantique (LGV Atlantique) proprement dite au nord de Massy. En effet, cette tranchée est le seul secteur à ciel ouvert de la LGV Atlantique au nord de Massy présentant un alignement suffisamment long de 700m environ, en pente constante, permettant d'implanter les appareils de voie. Cet emplacement avait déjà été proposé par la SNCF pour un éventuel raccordement TGV d'interconnexion lors des études antérieures.

La tranchée de Verrières-le-Buisson présente l'avantage de ne pas comporter d'habitations à proximité immédiate des voies. Les bâtiments les plus proches sont des locaux commerciaux et/ou industriels situés à au moins une trentaine de mètres à l'Est de la LGV Atlantique, ce qui permet d'envisager des voies de débranchement courant d'abord parallèlement à la LGV Atlantique avant de s'en séparer.

Le schéma fonctionnel de ce débranchement est le suivant :



Le principe de débranchement de cet éventuel raccordement au niveau de la tranchée de Verrières-le-Buisson est le suivant :

Le débranchement proposé est prévu pour une vitesse de 170 km/h en voie déviée, par implantation d'appareils de voie Tg 1/46. Ce débranchement se situe au pk 12+180 de la LGV Atlantique, au nord du portail d'accès à la TC de Massy.

L'implantation de ces appareils obligera à inverser le système de communications actuellement en place dans la tranchée de Verrières-le-Buisson.

Les deux voies du raccordement longent d'abord la LGV sur environ 500 à 600m à l'abri de murs (assurant ainsi la protection phonique des bâtiments proches qui sera à vérifier lors des études acoustiques ultérieures) avant d'entrer en tunnel au droit du portail sud de la TC d'Antony.

La voie 1 du raccordement, en tunnel, passe ensuite sous la LGV Atlantique, elle-même en tranchée couverte, et les deux voies du raccordement, toujours en tunnel, se poursuivent suivant une grande courbe en direction d'Orly.



La réalisation de ce raccordement A1 nécessite des acquisitions d'emprises et des travaux délicats (amorçe des deux tunnels à voie unique et franchissement souterrain de la LGV) dans un secteur sensible (coulée verte et habitat résidentiel à Antony). Il implique également de grandes longueurs de tunnel avant d'arriver dans le secteur d'Orly.

Par ailleurs, il pénalise fortement la capacité de la LGV Atlantique.

Ce raccordement A1 n'est donc pas retenu pour la suite des pré-études fonctionnelles.

1.2.3.2.2 Raccordement A2 dans le secteur des Baconnets

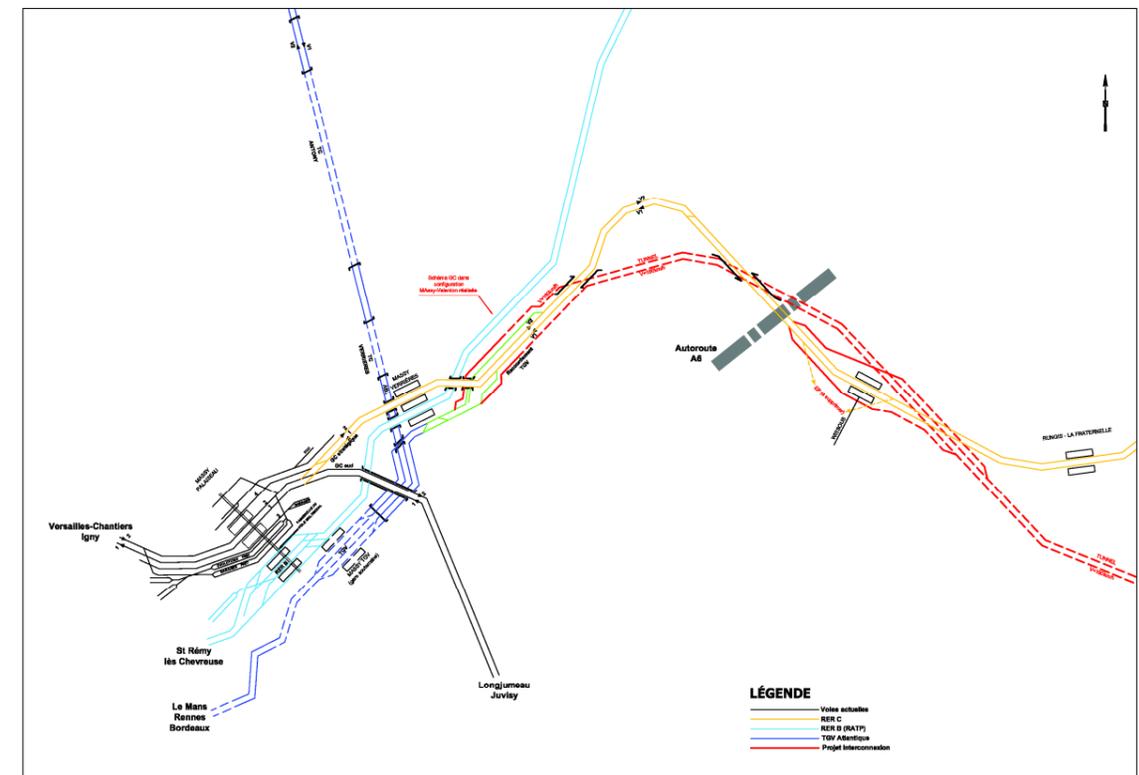
Pour éviter de réduire la capacité de la LGV Atlantique, il a été recherché d'autres solutions à partir du raccordement existant des TGV sur la ligne de Grande Ceinture (RER C), situé juste au nord de la gare de Massy.

La recherche a d'abord été effectuée en tenant compte du projet Massy Valenton, dont la réalisation a été considérée acquise et prise en situation de référence.

Le secteur des raccordements TGV actuels et de leur futur prolongement dans le cadre du projet Massy Valenton est un secteur extrêmement contraint, avec des installations ferroviaires denses et complexes, de nombreux ouvrages d'art et un habitat résidentiel enserrant complètement les emprises ferroviaires. L'existence de délaissés à l'intérieur des installations ferroviaires au niveau de l'ouvrage de franchissement du RER B par le RER C permet toutefois d'envisager des solutions potentielles. Il a été également tenu compte du projet de suppression du passage à niveau (PN9) à l'est de la gare des Baconnets.

Le raccordement initialement envisagé consiste à se débrancher des futures voies du projet Massy Valenton entre la gare de Massy-Verrières et les deux ouvrages qui, dans le futur, permettront aux voies du RER C de franchir le RER B dévié (futur ouvrage à construire dans le cadre du projet Massy Valenton) et la voie 2 Massy Valenton (qui passera dans l'ouvrage actuel à la place du RER B).

Le schéma fonctionnel du débranchement est le suivant :



Les vitesses d'exploitation du RER C et les tracés et profils ferroviaires sinueux dans ce secteur amènent à prévoir des appareils de voie Tg 1/21 limités à 100 km/h en voie déviée.

Le débranchement de la voie 2 Interconnexion impliquerait de riper la voie 1 du raccordement Massy Valenton en empiétant ainsi sur la rue de Massy, qui devrait être reprise.

Le débranchement de la voie 1 Interconnexion, situé entièrement dans les emprises ferroviaires ne nécessiterait aucune acquisition.

Les deux voies Interconnexion plongeraient en tranchée couverte, puis en tunnel au-delà de la gare des Baconnets. Le tracé des ouvrages souterrains colle au plus près de l'emprise des voies de la Grande Ceinture pour éviter de passer à faible profondeur sous le bâti existant. Leur profil en long est conçu de façon à passer sous le niveau du futur rétablissement routier du PN9 (rue Mirabeau, pk 22+584) prévu par PRA vers le pk 22+750 de la Grande Ceinture.

Les deux tunnels restent accolés à la Grande Ceinture jusque vers le pk 22+230, où le tunnel de la voie 1 Interconnexion passerait sous la Grande ceinture pour rejoindre la voie 2 Interconnexion et se diriger vers Orly.

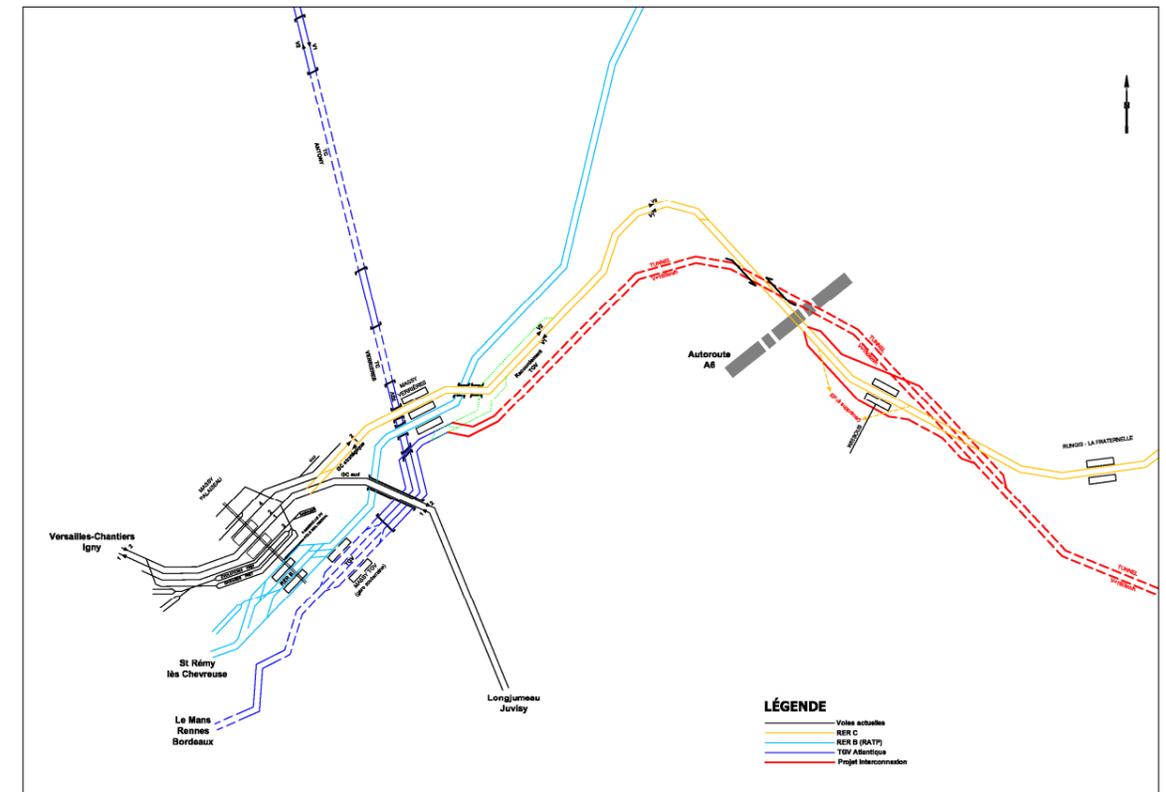
Ce raccordement A2 dans le secteur entre Massy-Verrières et les Baconnets répond aux besoins fonctionnels, il est compatible avec le projet Massy Valenton tel qu'il a été étudié, et limite les longueurs de tunnels, les acquisitions et les impacts sur le bâti environnant.

De plus, son insertion pose des difficultés dans un milieu fortement urbanisé. Ce raccordement A2 n'est donc pas retenu pour la suite des pré-études fonctionnelles.

1.2.3.2.3 Raccordement A5 à Massy-Verrières

La proposition consiste à reprendre le tracé du raccordement TGV existant au niveau de l'ouvrage sur l'avenue de la Gare (Massy-Verrières) et à le modifier de façon à partir directement en direction d'Orly en plongeant au droit du parking de la gare de Massy-Verrières, pour suivre en tunnel le boulevard des Pyrénées.

Le schéma fonctionnel de ce débranchement à Massy-Verrières est le suivant :



Sur le plan technique, cette solution présente l'avantage d'une réalisation moins contrainte et moins onéreuse que les solutions précédentes, car elle peut se réaliser pratiquement sans impacter les lignes RER B, RER C et LGV Atlantique. Seules les circulations des actuels TGV d'Interconnexion seraient concernées.

De plus, il apparaît possible de faire plonger les TGV au droit de Massy Verrière sans impacter les habitations.

Il apparaît donc nécessaire d'approfondir cette solution afin de bien en mesurer les différentes conséquences, notamment sur son insertion.

La suite des pré-études fonctionnelles retient donc le raccordement A3 comme hypothèse privilégiée.

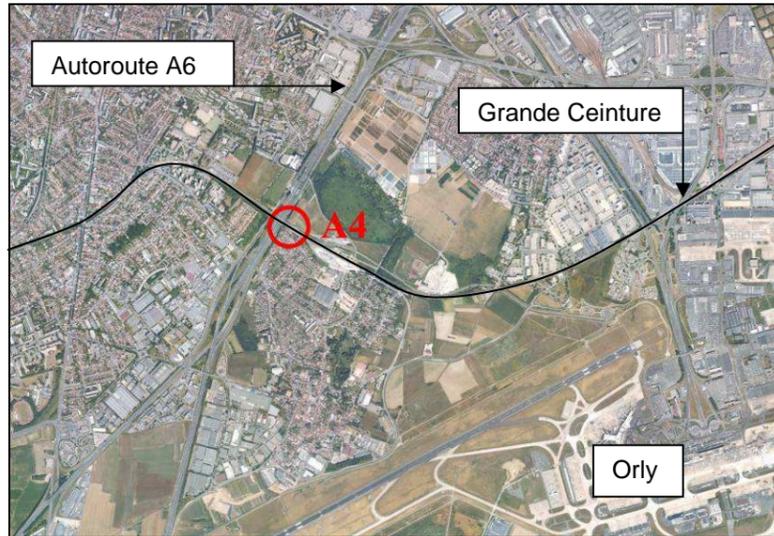
Principe de
raccordement
dans le secteur
de Massy-
Verrières



1.2.4 Raccordement sur la ligne de Grande Ceinture

Un raccordement, numéroté A4, est proposé sur la ligne de Grande Ceinture (GC), pour permettre de relier le réseau ferré normand aux LGV Sud-Est, Est et Nord. Ce raccordement est nommé "raccordements normands" dans la suite du dossier.

Le débranchement envisagé sur la GC se trouve au nord-ouest des divers sites envisagés pour la gare d'Orly, de façon à permettre la desserte de cette gare par les TGV de/vers la Normandie.

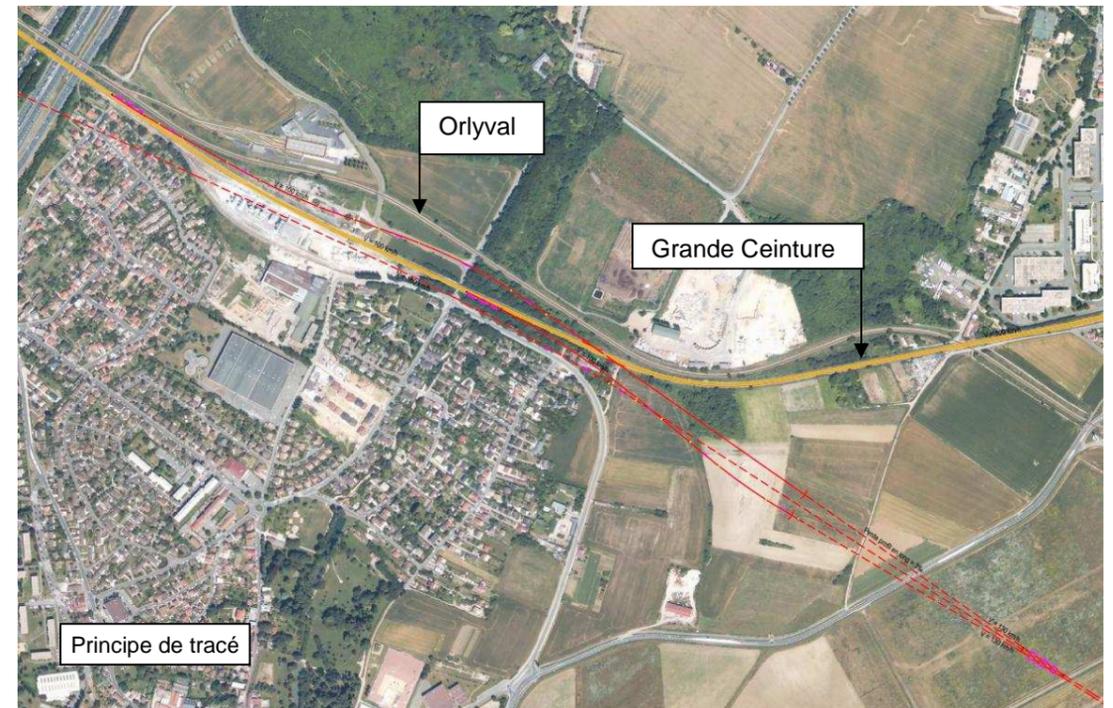


Le côté nord de la ligne n'est pas urbanisé à cet endroit. Seuls s'y trouvent la ligne du Val (OrlyVal), qui court plus ou moins parallèlement à la GC, ainsi que les ateliers d'entretien du Val. Le côté sud de la ligne est urbanisé (commune de Wissous), mais les habitations ne sont proches de la GC que sur 200 mètres environ, entre le pont sur l'autoroute A6 et la centrale à béton de Wissous.

Cette zone se caractérise par la présence d'une "lentille" d'environ 800 m de long et large de 150 m au maximum, entre les ateliers du Val et la ville de Wissous. Cette "lentille" est coupée dans le sens de la longueur par la GC. Sa partie nord est actuellement inexploitée, et sa partie sud est occupée par une installation industrielle (centrale à béton).

Le point de débranchement retenu se situe sur la GC, juste au nord-ouest de l'aéroport d'Orly, vers le km 20+270 de la ligne, entre la gare de Wissous (km 19+714) et l'ouvrage ferroviaire franchissant l'autoroute A6a/A6b (km 20+360). À cet endroit, la GC est en alignement et en pente constante, ce qui permet d'y implanter des appareils de voie. La vitesse d'exploitation étant limitée à 110 km/h sur cette partie de la Grande Ceinture, il est envisagé d'utiliser des appareils Tg 1/26 pouvant être pris jusqu'à 130 km/h en voie déviée.

Le principe des raccordements normands est d'utiliser cette "lentille" de terrain existante, pour y positionner les deux voies de raccordement pour rejoindre la ligne d'Interconnexion Sud avant la gare d'Orly au moyen de trémies de descente puis de tunnels. La réalisation du raccordement V2 (côté sud de la GC) devrait rendre nécessaire la dépose, au moins partielle, des installations de la centrale à béton (étude plus précise à faire lors d'études ultérieures).



Exemple du raccordement « normand » dans le cas de la variante avec gare « Cœur d'Orly » du scénario A.

Les raccordements s'enfonçant très rapidement après le débranchement de la GC, avec des pentes jusqu'à 30 -35‰ (pour certaines variantes), les impacts sur le bâti seront limités.

Les raccordements normands eux-mêmes sont conçus pour une vitesse de 130 km/h sur la plus grande partie de leur parcours. Leur localisation varie plus ou moins en fonction de la position choisie pour la future gare d'Orly, avec une longueur moyenne d'environ 1,6 km. Suivant les scénarios envisagés, le branchement en souterrain sur la ligne d'Interconnexion Sud se fait avec des appareils Tg 1/26 ou 1/21 pouvant être pris en voie déviée à 130 ou 100 km/h.

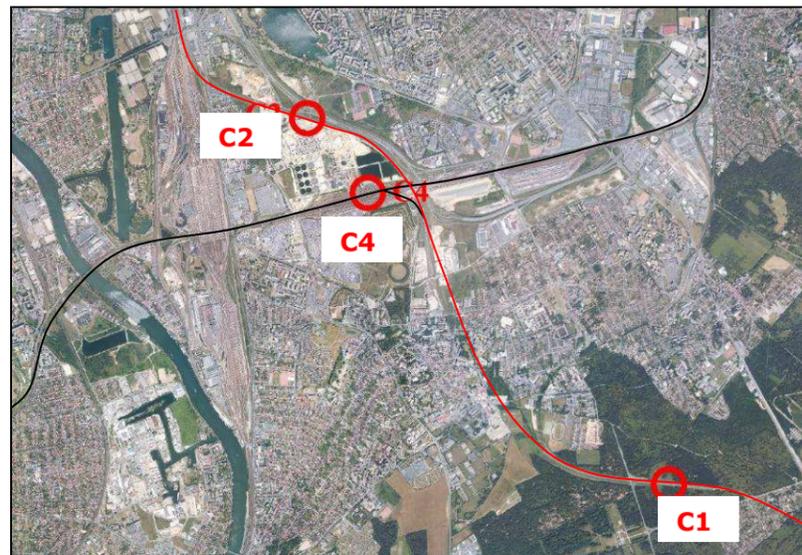
1.2.5 Raccordements sur la LGV Sud-Est

Les raccordements possibles sur la LGV Sud Est (LGV Sud-Est) ont été numérotés C1 à C4.

1.2.5.1 Raccordements possibles sur le tronçon Valenton-Coubert

Trois sites possibles de raccordement pour l'Interconnexion et ses raccordements optionnels ont été examinés sur le tronçon Valenton-Coubert de la LGV Sud-Est :

- à Limeil-Brévannes - Yerres, juste avant la tranchée couverte de Villecresnes (site C1),
- à Valenton, au sud du carrefour Pompadour (site C2),
- à Valenton, au niveau du raccordement TGV existant depuis le triage de Valenton (site C4).



1.2.5.1.1 Raccordement C1 à Limeil-Brévannes - Yerres (ligne d'Interconnexion Sud)

La tranchée de Yerres, située entre le tunnel de Limeil-Brévannes et la tranchée couverte de Villecresnes, constitue un point de raccordement possible sur la portion de la LGV Sud-Est comprise entre Valenton et Coubert.

Cette tranchée est un des rares secteurs à ciel ouvert de cette partie de la LGV présentant un alignement suffisamment long et en pente constante à -2,5 ‰ (> 700m) pour y implanter des appareils de voie. Cet emplacement avait déjà été proposé par la SNCF pour un éventuel raccordement LGV d'interconnexion lors d'études antérieures.

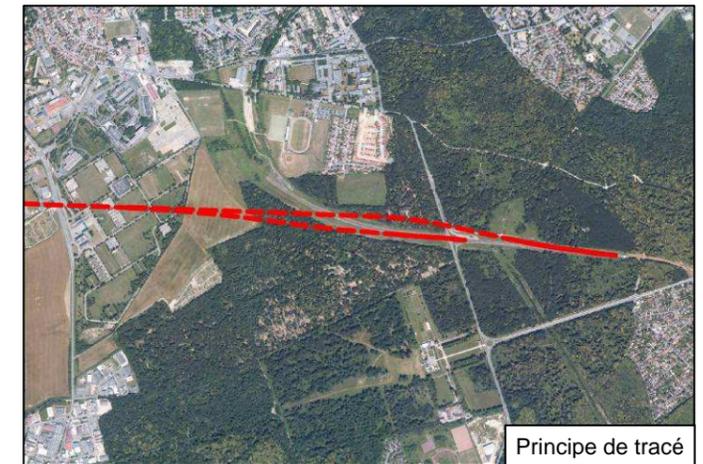
La tranchée de Villecresnes, située dans une zone boisée, présente l'avantage de ne pas comporter d'habitations à proximité des voies. La configuration naturelle du terrain, sur le rebord du plateau dominant la vallée de la Seine permet d'envisager une arrivée du projet Interconnexion Sud en souterrain de façon à limiter l'impact du raccordement sur le milieu naturel.

Le principe de cet éventuel raccordement au niveau de la tranchée de Yerres est le suivant :

La ligne d'Interconnexion remonte tout droit en tunnel depuis la vallée la Seine et se dédouble en deux tunnels en arrivant sur la commune de Limeil-Brévannes.

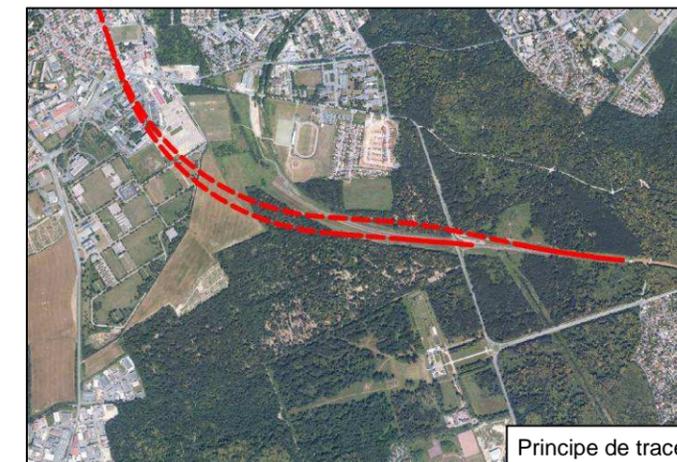
Le raccordement V1 passe d'abord sous la LGV Sud-Est au pk 6+260 de celle-ci, puis sous la RD 94, avant de sortir à l'air libre pour aller se raccorder sur la LGV Sud-Est au pk 7+600 de celle-ci, juste avant l'entrée de la tranchée couverte de Villecresnes.

Le raccordement V2, plus court, reste en tunnel sous la pointe du bois de Grandville, puis émerge pour se raccorder à la LGV Sud-Est vers la RD 94 (≈ pk 6+890).



Principe de tracé

Les branchements sur la LGV Sud-Est se font par des appareils de voie Tg 1/46 permettant une vitesse de 170 km/h en voie déviée.



Principe de tracé

Le raccordement dans la tranchée de Yerres reste quasiment identique dans l'hypothèse où la ligne d'Interconnexion Sud arrive non plus directement de la Vallée de la Seine, mais par le nord, depuis le secteur Valenton/Pompadour (scénario A avec gare supplémentaire RER D Option Nord).

Dans ce cas, l'aspect du raccordement est légèrement modifié comme schématisé ci-contre.

En revanche, les caractéristiques techniques du raccordement restent inchangées.

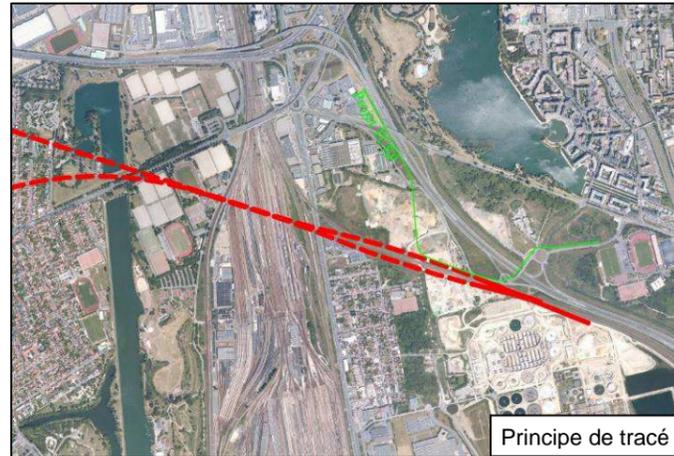
1.2.5.1.2 Raccordement C2 à Valenton (Val Pompadour) (Option TGV Sud-Est ↔ Paris Austerlitz)

Il est également possible de se raccorder sur la LGV Sud-Est à Valenton, peu après le débranchement depuis la ligne classique Paris-Lyon-Marseille (PLM).

À cet endroit, dans le Val Pompadour, la LGV Sud-Est se rapproche de la RD 60 à 2x2 voies, en alignement et en pente constante de -1 ‰, ce qui permet d'y implanter des appareils de voie.

Cette zone est déjà très contrainte et le sera plus encore avec le projet de transport en commun en site propre (TCSP) Trans-Val-de-Marne qui devrait venir longer la LGV Sud-Est précisément à cet endroit. Dans l'hypothèse où ce raccordement C2 se réaliserait, le tracé du TVM serait à modifier.

Dans l'hypothèse du raccordement C2, la ligne d'Interconnexion Sud arrive en tunnel du secteur de Choisy-le-Roi. Elle passe sous le triage de Villeneuve en tunnel et se dédouble en deux tunnels au niveau de la ligne classique PLM et de la RN6.



Le raccordement V1 en tunnel passe d'abord sous la LGV Sud-Est vers le pk 0+850 de celle-ci, puis remonte, débouche à l'air libre et se raccorde sur la LGV Sud-Est vers le pk 1+770.

Le raccordement V2 a un tracé symétrique par rapport à la LGV Sud-Est et un profil identique au profil du raccordement V1.

La vitesse pratiquée sur la LGV Sud-Est étant encore limitée dans le Val pompadour, et le site étant contraint, les branchements se font par des appareils de voie Tg 1/29 permettant une vitesse de 160 km/h en voie déviée.

1.2.5.1.3 Raccordement C4 à Valenton (triage de Valenton) (ligne d'Interconnexion Sud)

Dans les scénarios où le projet est jumelé à la ligne de Grande Ceinture entre Orly et le triage de Valenton, la ligne d'Interconnexion Sud ne se branche pas directement sur la LGV Sud-Est mais rejoint le raccordement LGV de Valenton reliant le triage de Valenton (voies GC) à la LGV.

Après avoir franchi en estacade le triage de Villeneuve-St Georges et la RN6, la ligne d'Interconnexion Sud reste accolée en remblai à la Grande Ceinture sur environ 500 m. Elle coupe l'avenue des Roseaux puis continue sur une estacade en S sur près de 600 m pour franchir les voies du triage et rejoindre le raccordement existant au niveau du pk 0+400.

Le profil en long du raccordement actuel sera à reprendre dans la zone de raccordement. Il ne devrait donc plus être réutilisable depuis la ligne de la Grande ceinture. Les conditions de réalisation de ces travaux complexes restent à analyser.

Le profil en long de l'avenue des Roseaux devra lui aussi être modifié pour passer soit par dessus, soit par dessous les voies du triage et du projet d'Interconnexion Sud.

Ce raccordement ne comprend pas d'appareils de voie puisque la ligne d'Interconnexion vient prendre la place des voies du raccordement actuel.

Le tracé du raccordement C4 reste quasiment identique, à quelques détails près, dans l'hypothèse où une gare serait implantée sur la ligne d'Interconnexion Sud à son croisement avec le RER D.



1.2.5.2 Raccordement possible sur la LGV Sud-Est historique

Un autre site de raccordement est possible sur la LGV Sud-Est historique :

- à Melun-Sénart, au sud-est de la gare RER D de Lieusaint (site C3).



Après son débranchement de la ligne classique PLM à Lieusaint, la LGV Sud-Est historique se rapproche de l'autoroute A5a et comporte un très long alignement en pente constante (- 4‰) favorable à l'implantation d'appareils de voie, dans une zone encore relativement libre de constructions.

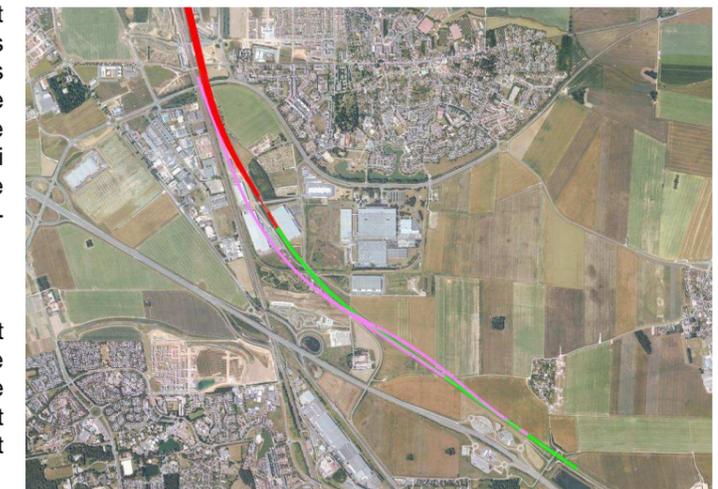
Le raccordement envisagé à cet endroit diffère de ceux précédemment examinés en ce sens qu'il consiste à dévier les deux voies de la LGV Sud-Est historique pour laisser la place à la ligne d'Interconnexion Sud et permettre ainsi des circulations en voie directe de l'Interconnexion Sud vers la LGV Sud-Est (et vice-versa).

La ligne d'Interconnexion Sud arrivant par le nord est conçue pour une vitesse potentielle de 230 km/h (vitesse maximum actuelle dans ce secteur) et rejoint le tracé de la LGV Sud-Est historique au pk 3+750 environ.

Les voies de la LGV Sud-Est historique, également tracées pour 230 km/h, sont déviées à partir du pk 1+300 environ. La voie V1 déviée franchit l'Interconnexion Sud par un saut-de-mouton vers le pk 3+550 actuel et s'y raccorde vers le pk 5+080 actuel, au droit de l'aire du Plessis Ricard-Ourdy. La voie V2, plus courte se raccorde vers le pk 4+400 actuel.

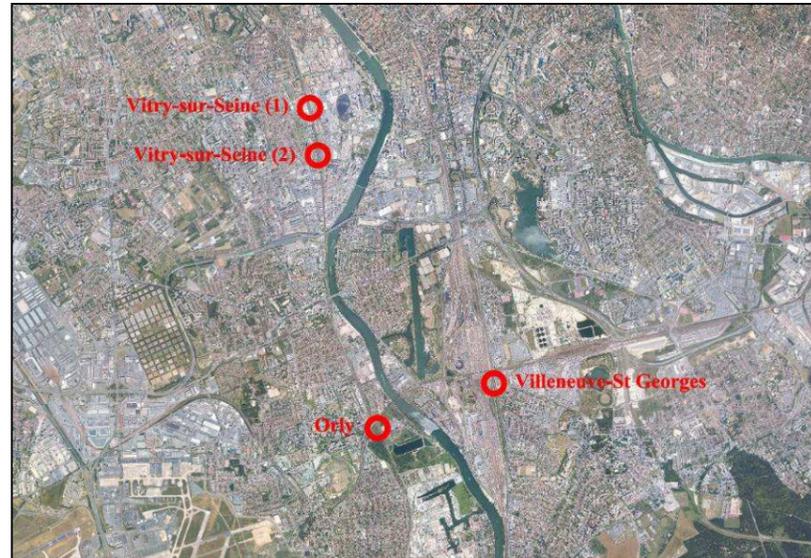
Les appareils de voie envisagés sont des Tg 1/65 permettant une vitesse de 220 km/h en voie déviée.

L'impact sur la zone industrielle restera limité. Les conséquences d'une vitesse plus réduite sur les voies déviées pourront être examinées lors d'études ultérieures.



1.3 OPTION

Comme déjà évoqué dans le § 1.2 "caractéristiques géométriques", le projet d'Interconnexion Sud comprend 1 raccordement optionnel se débranchant à Vitry-sur-Seine et permettant de relier Paris-Austerlitz à la ligne d'Interconnexion Sud (raccordements Paris-Austerlitz – Orly),



1.3.1 Raccordements de Paris Austerlitz vers LN1 et LN2

1.3.1.1 Raccordement vers la gare TGV d'Orly et la LGV Atlantique

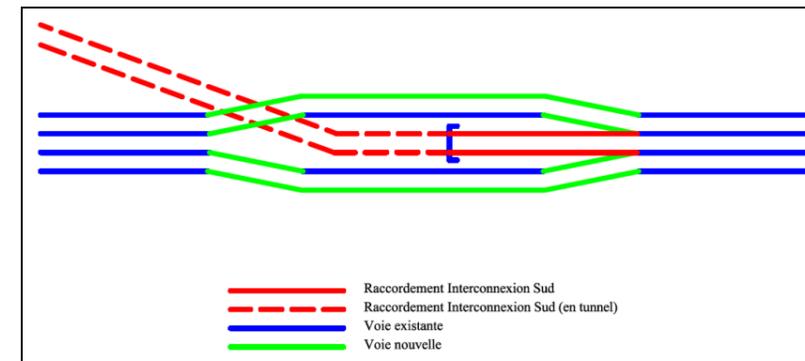
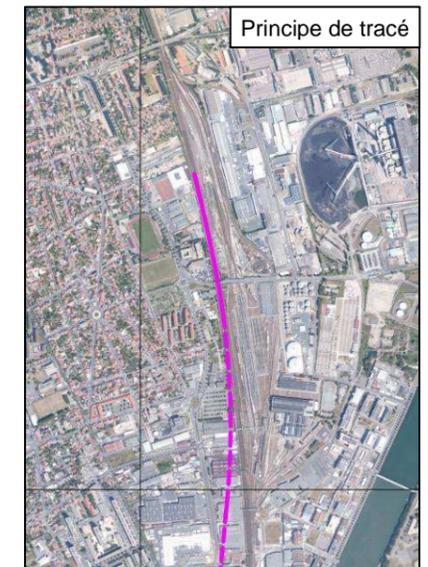
Le raccordement optionnel permettant de relier la gare de Paris-Austerlitz à la gare TGV d'Orly et à la LGV Atlantique se débranche de la ligne Paris-Orléans à Vitry-sur-Seine, à l'endroit repéré "Vitry-sur-Seine (1)" sur la carte ci-dessus.

La mise à 6 voies de cette ligne est a priori nécessaire pour écouler jusqu'en gare de Paris-Austerlitz les trafics susceptibles d'emprunter ces raccordements. Cependant, cet aménagement ne relève pas du projet d'Interconnexion Sud et n'entre donc pas dans le cadre de la présente étude. Ses modalités de réalisation n'étant pas suffisamment définies, l'étude des raccordements a été menée en considérant conventionnellement la ligne Paris-Orléans dans son état actuel. Un approfondissement sera donc nécessaire le moment venu pour prendre en compte cette mise à 6 voies.

L'origine du raccordement est commune à tous les scénarios en ligne nouvelle. Elle se situe vers le km 6+500 de la ligne Paris-Orléans, entre les deux ponts de l'avenue Salvator Allende et de la rue des Fusillés.

Dans cette zone, la ligne Paris Orléans est à 4 voies, avec 2 voies rapides centrales et 2 voies lentes extérieures. Son tracé est pour partie en alignement et pour partie en courbe de très grand rayon. En outre, cette zone ne comporte pas d'appareils de voie ou de communications. Il est donc possible d'y implanter des appareils de type Tg 1/29 admettant 160 km/h en voie déviée.

La ligne Paris-Orléans est bordée à l'est par des faisceaux et à l'ouest par du bâti commercial et industriel, sans toutefois que ces éléments ne jouxtent les voies lentes, laissant ainsi un peu de marge par rapport aux deux voies lentes extérieures. Cette situation contrainte amène à prévoir un principe de raccordement (déjà évoqué au § 1.2 "caractéristiques tracé") consistant à plonger en voie directe à l'emplacement des voies centrales rapides actuelles, avec déviation des voies existantes, comme schématisé ci-après.



Les deux voies du raccordement Paris-Austerlitz ↔ gare d'Orly descendent rapidement en trémie ouverte entre les voies rapides déviées, avec une pente de l'ordre de 30%. Elles passent sous le pont de la rue des Fusillés, qui sera probablement à reprendre en sous-œuvre. Au-delà, la trémie se prolonge par une tranchée couverte double voie, puis par un tunnel double voie, ce qui permet au raccordement de s'incurver vers l'ouest pour se diriger vers la gare d'Orly.

Plus au sud, le raccordement Paris-Austerlitz \Leftrightarrow gare d'Orly, reste en souterrain double voie avant de se séparer en deux tunnels à voie unique à l'approche de la gare souterraine d'Orly pour se raccorder en tunnel à l'est de celle-ci. Le positionnement de ces tunnels diffère suivant l'emplacement retenu pour la gare d'Orly. La longueur totale du raccordement, mesurée le long de la V1, varie donc d'environ 6 km (gare à Orly-Pont de Rungis) à près de 9 km (gare Orly - Proche des aéroports).

Dans tous les cas de figure, le raccordement est conçu pour une vitesse potentielle maximale de 160 km/h. Suivant le contexte technique (distance plus ou moins grande entre les appareils de raccordement et la gare), le branchement peut se faire avec des appareils Tg 1/29 ou 1/26, respectivement circulables en voie déviée à 160 km/h ou 130 km/h.

1.4 ETUDE DE L'IMPLANTATION DE NOUVELLES GARES TGV

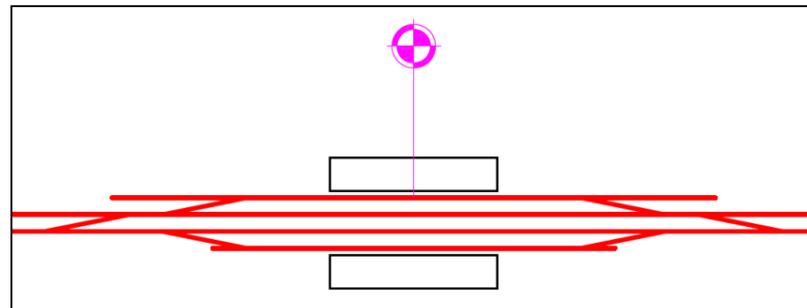
Les études des nouvelles gares TGV du projet d'Interconnexion Sud ont abordé trois aspects principaux :

- les fonctionnalités des gares,
- leur implantation technique dans les sites pressentis,
- l'estimation de leurs enjeux financiers.

1.4.1 Schémas fonctionnels

1.4.1.1 Gare à 4 voies

Les gares TGV de pleine ligne, implantées sur les LGV en service, sont en général des gares à 4 voies, en alignement, comportant deux voies rapides centrales encadrées par deux voies d'arrêt avec des quais extérieurs de 400 m de long et d'environ 10 m de large. Des impasses de sécurité, des tiroirs d'exploitation et de maintenance, et des communications aux extrémités complètent le dispositif.



Les voies centrales permettent le passage des trains à la vitesse de la ligne (par exemple, 320 km/h pour la LGV Est) et les voies d'arrêt sont circulables à 170 km/h. Les communications aux extrémités sont également conçues pour une vitesse de 170 km/h. L'ensemble a une longueur de plus de 2 km.

Ce type de gare n'est pas adapté au contexte du projet d'Interconnexion Sud, d'autant que sa longueur s'avère beaucoup trop grande pour en permettre l'insertion dans les environnements très contraints qui prévalent en Ile-de-France. Par ailleurs, les études d'exploitation réalisées ont montré, que compte tenu des trafics attendus, il serait intéressant de réserver, à ce stade des études, des longueurs utiles de quais de 480 m (pouvant accueillir des rames de type TGV Atlantique en unité multiple)¹ et d'avoir 4 voies à quai reliées par des systèmes de communications.

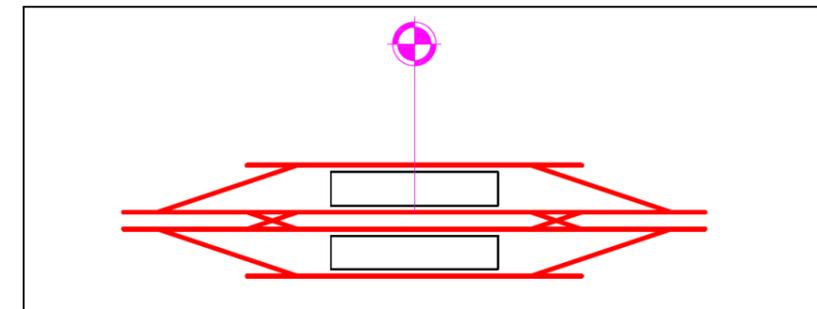
¹ Compte tenu du coût élevé des gares souterraines, il conviendra de réexaminer l'intérêt de prendre en compte une telle longueur plutôt que la longueur standard de 400 m

Plusieurs configurations de gare ont donc été examinées :

	Voies directes	Voies déviées	Quais Longueur utile X largeur	Entraxe (m)	communications	longueur totale (m)
1	centrales 160 km/h	extérieures 100 km/h	480 x 9,5 m entre les voies	3,67 m	simples, aux extrémités 100 km/h	≈ 1760 m
2	extérieures 160 km/h	centrales 100 km/h	480 x 9,5 m entre les voies	3,67 m	non	≈ 1260 m
3	centrales 160 km/h	extérieures 100 km/h	480 x 9,5 m entre les voies	3,67 m	doubles, aux extrémités 100 km/h	≈ 2260 m
4	extérieures 160 km/h	centrales 100 km/h	480 x 9,5 m entre les voies	3,67 m	doubles, en gare 100 km/h	≈ 2255 m
5	centrales 100 km/h	extérieures 100 km/h	480 x 9,5 m entre les voies	3,62 m	Croisées, en gare 60 km/h	≈ 1260 m

La cinquième configuration a finalement été retenue pour les gares souterraines ou aériennes du projet d'Interconnexion Sud, à la fois pour des raisons d'exploitation et de dimensions, à l'exception des gares les plus éloignées de Paris (Lieuxaint, Villaroche), qui conservent le schéma d'une gare TGV type.

Le schéma fonctionnel de la gare Interconnexion Sud type est donc le suivant :



Les communications retenues sont des communications croisées Tg 0.13. Leur avantage est de permettre la même fonctionnalité de liaisons entre les voies centrales sur une distance beaucoup plus courte que dans le cas des communications Tg 1/21 successives envisagées à l'origine pour faciliter l'exploitation. Ces dernières, pouvant être prises à 100 km/h en voie déviée, nécessitent en effet une longueur totale de 400 m, contre 86 m seulement pour les communications croisées Tg 0.13.

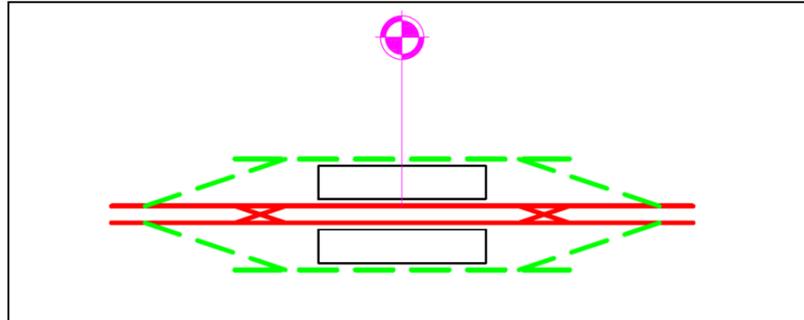
L'adoption de communications croisées Tg 0.13 a plusieurs conséquences :

- la réduction de l'entraxe des voies à 3,62 m,
- la réduction de la vitesse sur les communications à 60 km/h,
- la réduction de la vitesse de passage en gare sur les voies centrales à 100 km/h.

1.4.1.2 Gare à 2 voies

En fonction des conditions d'exploitation, il serait tout à fait envisageable d'avoir une gare à deux voies, comprenant deux voies centrales encadrées par deux quais. Une telle configuration peut être définitive ou constituer une première phase de mise en service. Dans ce dernier cas, il conviendra d'effectuer les travaux des mesures conservatoires indispensables, notamment pour les gares souterraines (entonnements, etc.).

Le schéma fonctionnel d'une telle gare est le suivant :

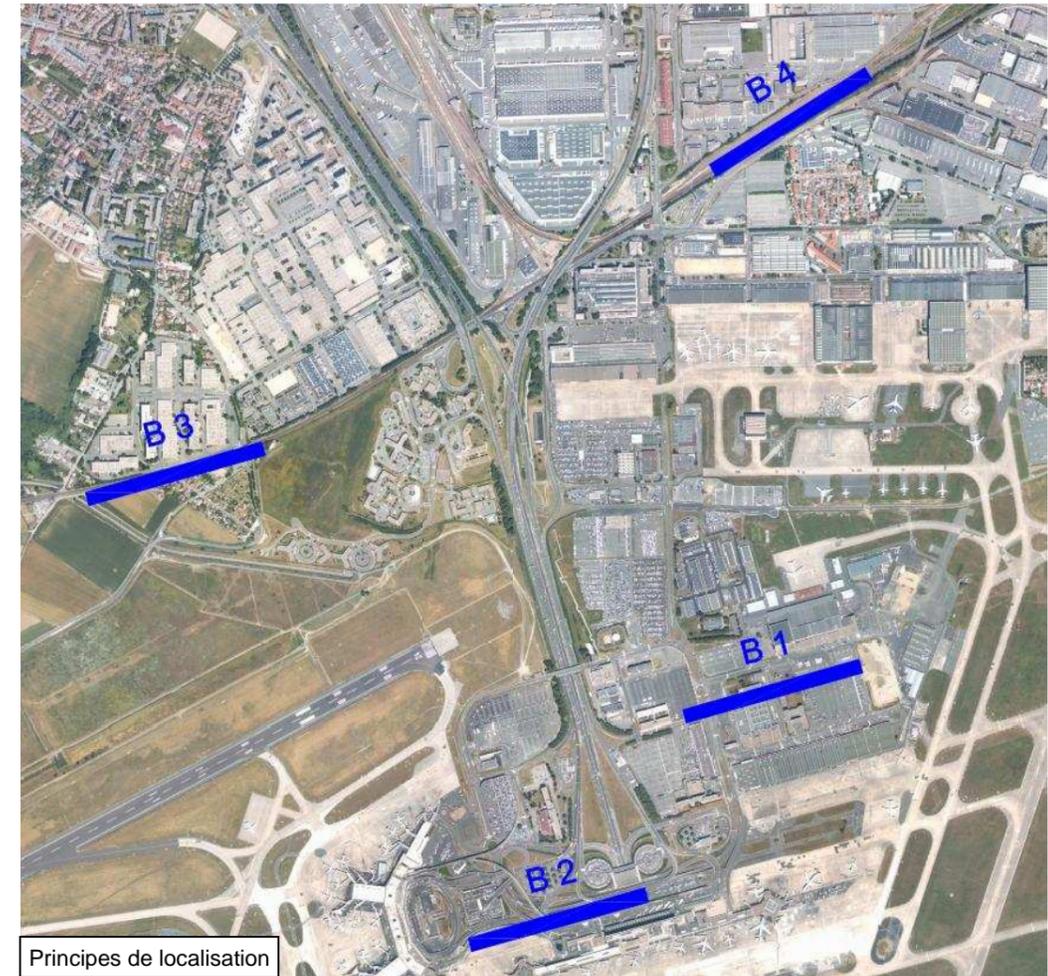


Dans l'état actuel du projet, il n'est pas prévu de gare à deux voies en configuration définitive.

1.4.2 Gare dans le secteur d'Orly

Quatre sites potentiels de gares, numérotés B1 à B4, ont été identifiés dans le secteur d'Orly :

- B1 = A l'intérieur du périmètre de l'aéroport d'Orly, dans la zone dite "Cœur d'Orly",
- B2 = A l'intérieur du périmètre de l'aéroport d'Orly, dans la zone proche des aérogares d'Orly,
- B3 = Dans la zone de la gare de Rungis – La Fraternelle sur le RER C,
- B4 = Dans la zone de la gare de Pont-de-Rungis sur le RER C.

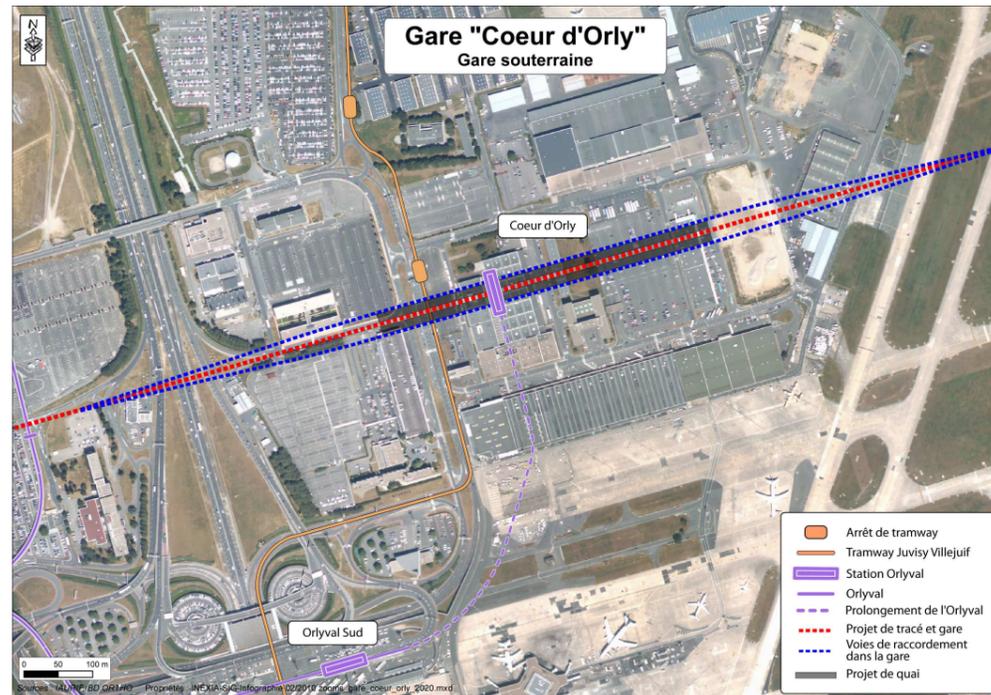


1.4.2.1 Solutions techniques

Le positionnement exact des gares dépend de l'environnement du site choisi, mais également des méthodes de réalisation de la ligne d'Interconnexion Sud et des raccordements la desservant.

1.4.2.1.1 Gare B1 "Cœur d'Orly"

L'emplacement exact de la gare B1 est imposé, en ce sens qu'il a déjà été réservé par Aéroport de Paris (ADP) dans son projet d'aménagement immobilier appelé « Cœur d'Orly ».



La gare se situe donc dans le secteur dit "Cœur d'Orly" de ce projet, à 500 m environ au nord de l'aérogare sud, avec une orientation parallèle à celle-ci, dans une bande de 36 m de large réservée par ADP entre les futurs immeubles des blocs A2/B1/C2 d'une part et A3/B2/C3 d'autre part, à proximité immédiate d'un Centre commercial.

Deux stations de transport en commun francilien pourraient desservir la future gare :

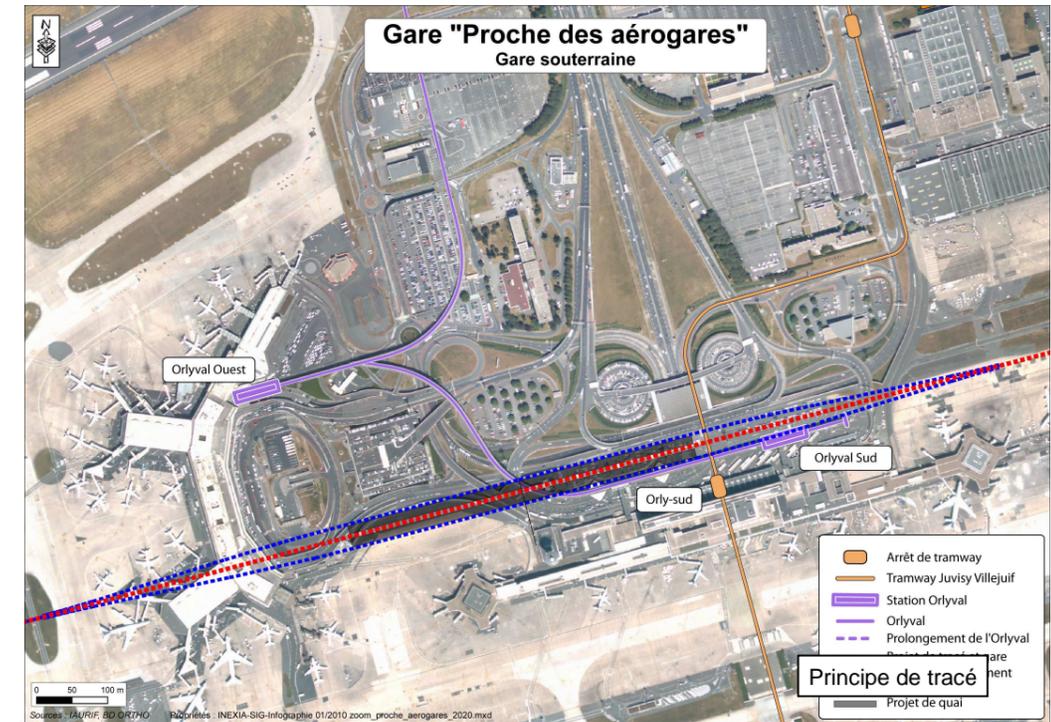
- une station du futur tramway Villejuif-Athis Mons, dont les premiers travaux sont engagés.
- une station de la ligne OrlyVal éventuellement prolongée depuis l'aérogare Sud,

La gare est située dans un secteur fortement contraint (immeubles, parkings, réseaux, projets divers). La ligne d'Interconnexion Sud desservant la gare doit traverser la zone aéroportuaire, où les règles de sécurité vis-à-vis des contraintes aéronautiques obligent à passer sous les pistes. Il en résulte que la gare et la ligne d'Interconnexion Sud doivent être prévues en souterrain dans toute cette zone.

La profondeur de la gare et de la ligne d'Interconnexion Sud sera à priori de l'ordre de - 30 m par rapport au niveau du sol. Cette profondeur s'explique notamment par la nécessité de préserver les divers réseaux existants ou prévus par ADP (réseaux électriques, adduction d'eau, etc.) et des contraintes géologiques. Ce site pourrait être relié aux aérogares par un prolongement de l'Orlyval. Les techniques constructives envisagées sont décrites dans le chapitre sur les ouvrages souterrains.

1.4.2.1.2 Gare B2 "Proche des aérogares"

Le positionnement exact de la gare « Proche des aérogares » près des aérogares d'Orly Ouest et Orly Sud (entre le Parking P3 et l'OrlyVal), résulte à la fois des fonctionnalités, des contraintes du site, des impératifs techniques du tracé de la gare et de la ligne d'Interconnexion Sud



La gare a été positionnée de façon à être la plus fonctionnelle possible et desservir au même temps les aérogares Sud et Ouest.

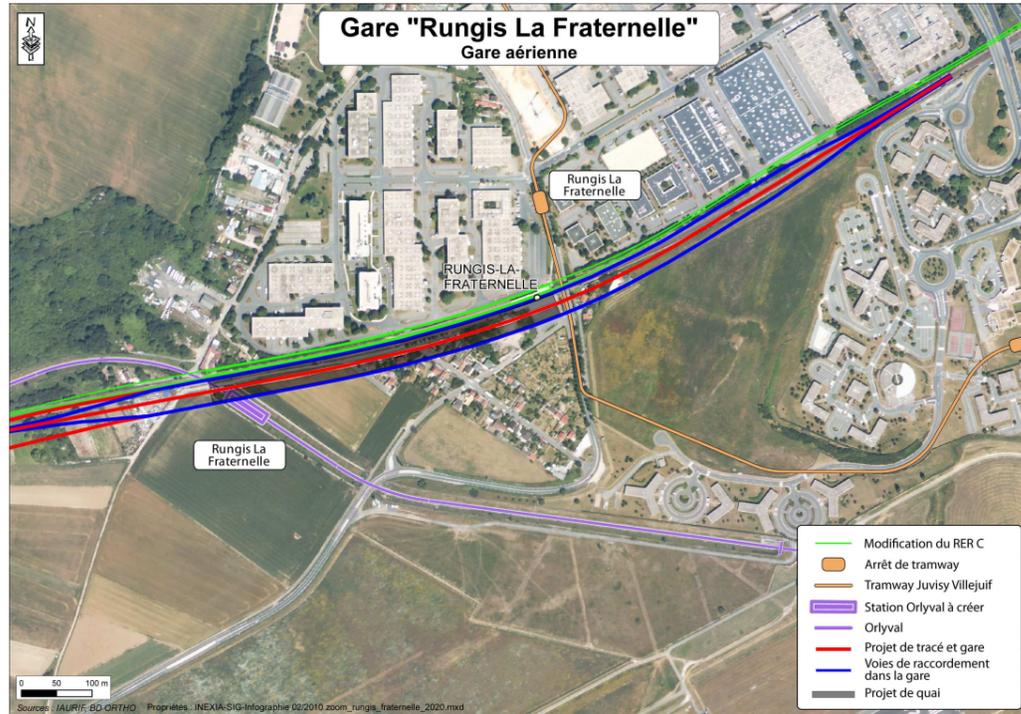
Les contraintes du site, amènent donc à prévoir une gare et des accès souterrains à une profondeur d'environ 30 m par rapport au niveau de la Nationale 7 passant sous l'aérogare Orly Sud en première approche. La gare sera réalisée totalement en souterrain à partir de puits d'accès depuis la surface.

1.4.2.1.3 Gare B3 "Rungis la Fraternelle"

La gare B3 tangente la ligne de Grande Ceinture, au droit de la gare de Rungis – La Fraternelle du RER C.

La gare est positionnée de façon à ce que les quais se trouvent exactement entre la ligne Orly-Val à l'ouest et la gare du RER C à l'est, de façon à permettre des correspondances avec ces deux moyens de transport.

Par ailleurs, une station du futur tramway Villejuif – Athis Mons est prévue rue de la gare, à proximité immédiate de la gare RER C, offrant ainsi une troisième possibilité de correspondance.



Deux implantations de la gare ont été étudiées :

- aérienne dans le cas du scénario B (implantation de l'image);
- souterraine dans le cas des scénarii A et C.

Le site de la Fraternelle est encore relativement peu urbanisé et peut sembler a priori favorable à l'implantation d'une gare TGV d'Interconnexion Sud située en jumelage à la ligne de la Grande Ceinture, et au même niveau que celle-ci (scénario B).

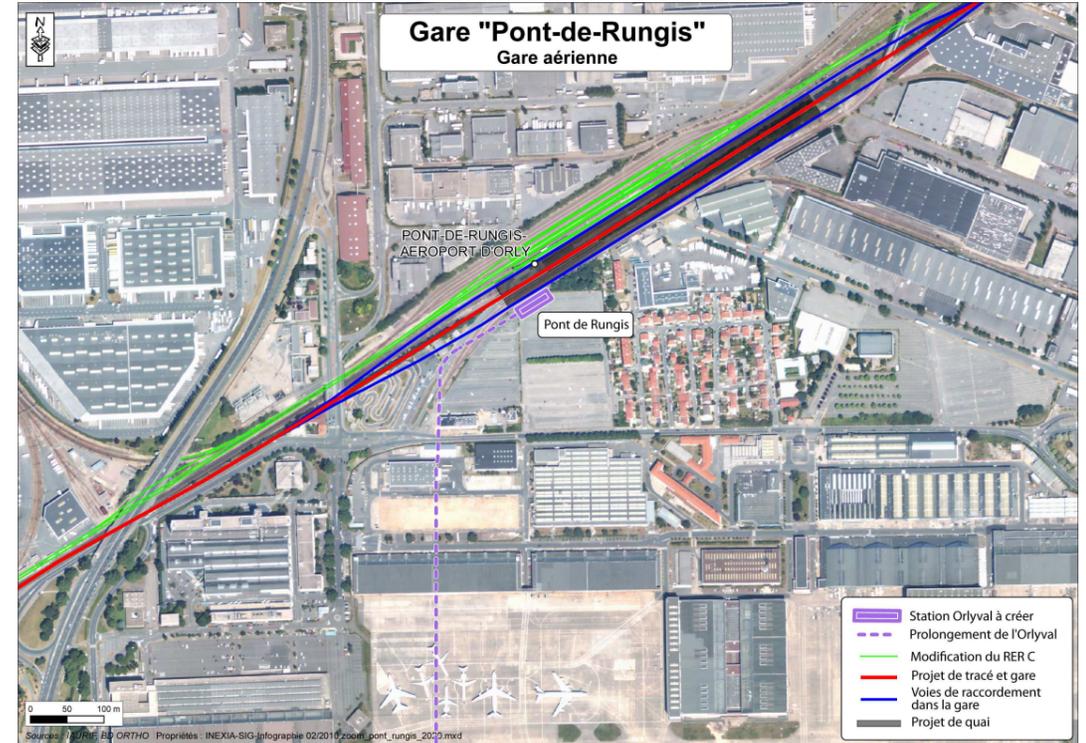
Cela n'est pas possible dans le cas d'une ligne d'interconnexion Sud conçue pour des vitesses de 160 à 200 km/h, sauf à accepter de mordre dans le tissu urbain à Wissous et à Orly.

En revanche, cette option devient possible dans le cas du scénario B des études préliminaires de l'Interconnexion Sud, où la vitesse dans le secteur est réduite à 100 km/h. Le tracé de l'Interconnexion Sud peut alors être modifié pour déboucher en surface par une trémie à construire à Wissous entre la ligne de Grande Ceinture et le Boulevard de l'Europe, de façon à pouvoir remonter à l'altitude du RER C et s'y jumeler.

Dans le cas d'une gare souterraine, le niveau de la gare est calé de façon à passer sous la tranchée d'OrlyVal, soit environ – 24 m par rapport au terrain naturel.

1.4.2.1.4 Gare B4 "Pont-de-Rungis"

La gare B4 "Pont de Rungis" a été positionnée le long de la ligne de Grande Ceinture, à côté de la gare RER C de Pont-de-Rungis – Aéroport d'Orly, pour faciliter les correspondances avec le RER C.



Elle a été placée en limite d'une zone industrielle qui pourrait être appelée à être rénovée à terme dans le cadre de l'Opération d'Intérêt National (OIN) Orly-Rungis-Seine-Amont (ORSA).

Deux implantations de la gare ont été étudiées :

- aérienne dans le cas du scénario B (implantation de l'image) ;
- souterraine dans le cas des scénarii A et C.

Le scénario B comporte une option de gare TGV à Pont-de-Rungis au même niveau que la ligne de Grande Ceinture, positionnée sur les embranchements particuliers actuels et les premières voies de la gare RER actuelle, avec reconstruction partielle de cette dernière.

Les scénarii A et de C comportent une option de gare en souterrain, à environ 20 mètres de profondeur par rapport au TN (niveau accès gare), pour permettre le passage sous les échangeurs routiers.

Le calage du profil en long et de l'ouvrage souterrain (tunnel ou tranchée couverte) sera à affiner en fonction des aménagements qui pourraient intervenir dans cette zone.

Ce site pourrait être relié aux aéroports par un prolongement de l'Orlyval.

1.4.2.2 Enjeux financiers

À ce stade des études, les enjeux financiers des gares ont été approchés à partir de l'expérience de travaux de gares et tunnels récemment réalisés, en particulier les deux gares EOLE à Paris.

Le coût de construction d'une gare type Interconnexion souterraine complète à 4 voies, avec le génie civil et les équipements ferroviaires, dans un environnement densément bâti et contraint comme le secteur

d'Orly, et réalisée par des méthodes de creusement de type tunnel a été estimé en première approche à 650 M€ aux conditions économiques de janvier 2008, avec une fourchette de précision de 0/-30%, y compris les frais de SAV (15%), PR (7 à 10%), MOE (15%), CE (1%) et MOA (3%).

Cet enjeu de base a ensuite été pondéré pour tenir compte des conditions particulières de chaque site de gare (possibilité d'accès, de réalisation partielle à ciel ouvert, etc.), comme suit :

Gare	Nom	Pondération	Enjeu estimé
B1	Cœur d'Orly	- 10%	580 M€
B2	Orly proche aérogares	sans	650 M€
B3	Rungis-La fraternelle	- 25 %	490 M€
B4	Pont-de-Rungis	-15 %	550 M€

Les explications sur les pondérations choisies sont incluses dans le chapitre sur les ouvrages souterrains.

1.4.3 Gare RER D dans le Val de Marne

Une gare d'Interconnexion Sud potentielle, numérotée B5 et dénommée "RER D" dans la présente étude, pourrait être positionnée sur le tronç commun du RER D dans le Val de Marne, afin de faciliter l'accès au TGV pour l'ensemble des Franciliens desservis par la partie sud du RER D.

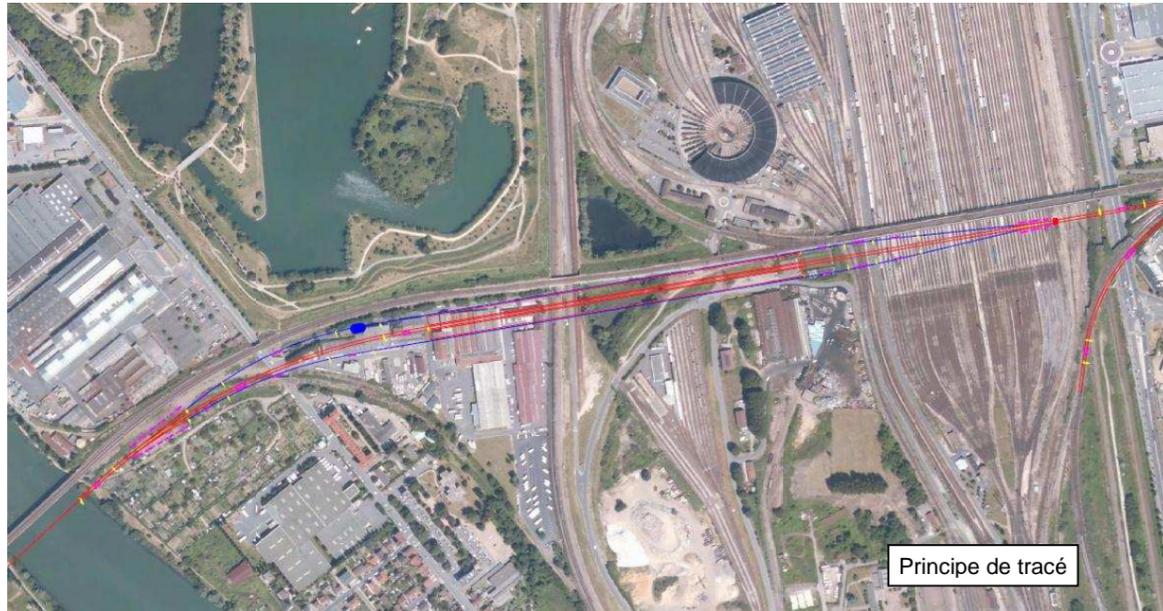
Trois sites potentiels pouvant accueillir cette gare ont été identifiés :

- B5a = Option GC (trilage de Villeneuve-Saint-Georges),
- B5b = Option Nord (Pompadour),
- B5c = Option Sud (Villeneuve-Saint-Georges).



1.4.3.1.1 Gare B5a « Option GC »

La gare B5a "trilage de Villeneuve" a été positionnée le long de la ligne de Grande Ceinture, à l'endroit où celle-ci franchit le triage de Villeneuve-Saint-Georges.



La gare, en alignement et en estacade au-dessus des voies du triage, est jumelée à la Grande Ceinture, côté sud. Le jumelage côté nord n'est pas envisageable du fait de l'existence d'un projet de liaison routière entre la RD 38 (Avenue de Choisy) à l'ouest du triage et la RN 6 (Avenue de l'Appel du 18 Juin) à l'est du triage, dont la réalisation sera effective à l'horizon 2020.

La position de la gare le long de la Grande Ceinture doit permettre une correspondance avec le RER D, moyennant déplacement vers le nord de la gare Villeneuve Triage.

De ce fait, la gare aura un impact sur les entrepôts situés dans le triangle formé par la GC et les anciens raccordements avec la ligne du RER D.

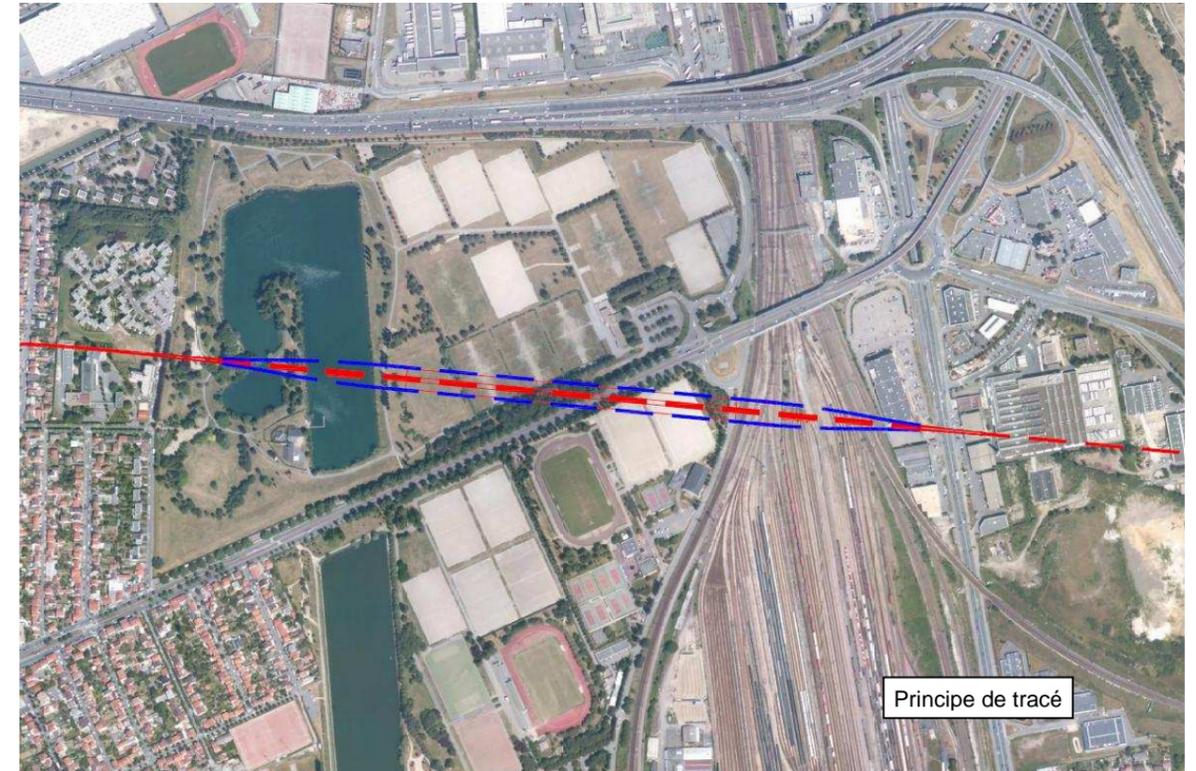
Solution technique :

La gare B5a "trilage de Villeneuve" sera en partie en remblai accolé à la ligne de la Grande Ceinture et en partie en estacade au-dessus du triage de Villeneuve-Saint-Georges, des lignes existantes (PLM ou RER D) et des voiries routières du secteur (RD 38, RN 6, etc.). La proportion entre remblai et estacade dépendra in fine de l'emplacement précis qui sera retenu pour la gare.

Le type d'estacade (ou de viaduc) à retenir n'est pas défini à ce stade des études.

1.4.3.1.2 Gare B5b « Option Nord »

L'emplacement envisagé pour la gare B5b "Pompadour" se trouve vers l'extrémité nord du triage de Villeneuve-Saint-Georges, non loin du carrefour Pompadour, à la limite de Créteil et de Choisy-le-Roi.



La gare, orientée nord-ouest – sud-est a été axée pour permettre des correspondances avec la future gare RER D de Pompadour ainsi qu'avec le projet de TCSP Trans-Val-de-Marne, qui suivra la RNIL 186 (Avenue de la Pompadour).

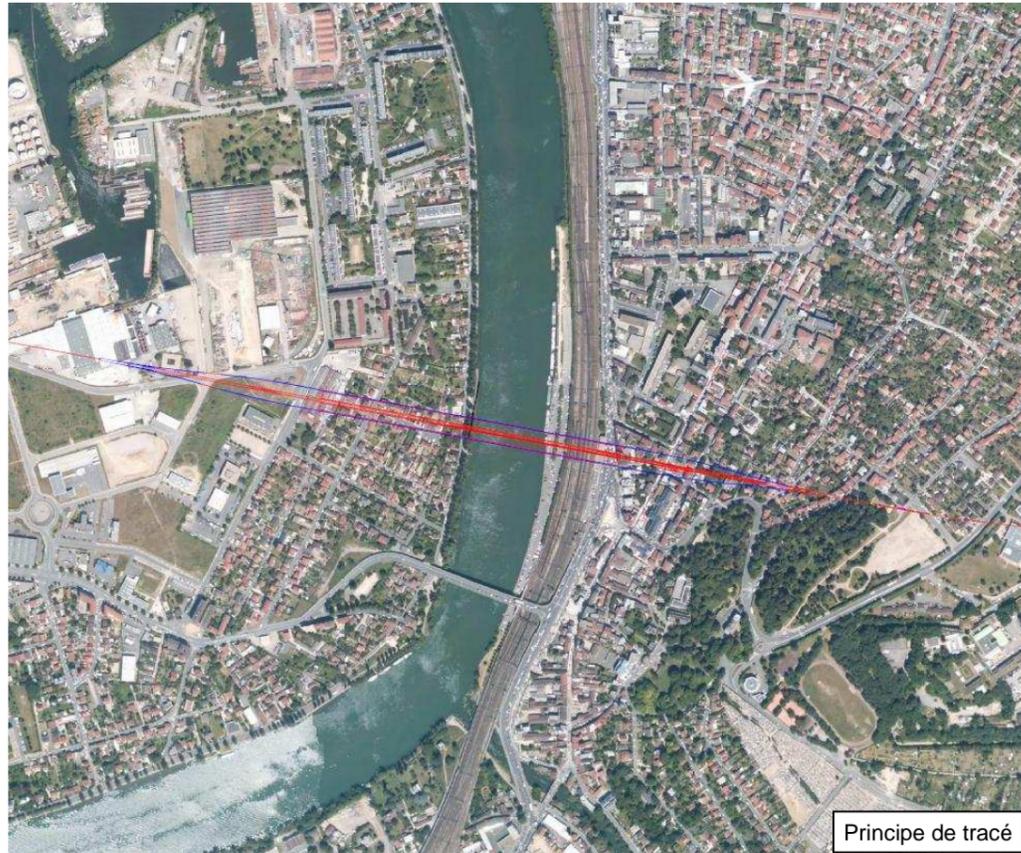
Elle est prévue en souterrain, à près de -30 m par rapport au TN. Cette profondeur, qui peut sembler surprenante compte tenu de la quasi-absence de bâti au-dessus de la gare, située sous le Parc Interdépartemental Des Sports et le triage de Villeneuve, est en fait dictée par le franchissement en tunnel de la Seine à l'ouest de la future gare et des conditions géologiques.

Solution technique :

La gare B5b "Pompadour" sera une gare souterraine similaire à la gare B2 d'Orly « Proche des aéroports ».

1.4.3.1.3 Gare B5c « Option Sud »

La ligne d'Interconnexion Sud, positionnée en alignement et orientée ouest-est, passe successivement sous la Seine, la ligne PLM et la RN6 à la hauteur de la ville de Villeneuve St Georges. L'emplacement envisagé pour la gare B5c "Villeneuve St Georges" se trouve juste à l'aplomb de la gare actuelle, pour permettre des correspondances aisées avec le RER D.



La gare B5c sera construite en tunnel, à environ 35 m sous le niveau des voies actuelles. Son niveau exact sera déterminé lors d'études ultérieures en fonction de la profondeur de la Seine à cet endroit car le passage sous ce fleuve impose de caler le profil de la ligne d'Interconnexion à au moins 10 m sous le fond du lit.

Solution technique :

La gare B5c « Villeneuve-Saint-Georges » sera une gare souterraine similaire à la gare B2 d'Orly « Proche aérogares ».

1.4.3.2 Enjeux financiers

À ce stade des études, les enjeux financiers des trois gares B5a, B5b et B5c ont été définis avec la même méthodologie et sur les mêmes bases que pour les gares du secteur d'Orly, exposée au § 1.4.2.2. Les enjeux financiers estimés pour les trois gares sont les suivants :

Gare	nom	Pondération	Enjeu estimé
B5a	Option GC	-	135 M€
B5b	Option Nord	sans	650 M€
B5c	Option Sud	sans	650 M€

L'enjeu financier de la gare B5a « Option GC » reste assez incertain. Il peut fluctuer en fonction du type d'ouvrage, estacade ou viaduc, finalement retenu, surtout si s'y ajoutent par la suite des impératifs architecturaux et environnementaux.

L'enjeu financier retenu pour la gare B5b « Option Nord » ainsi que pour la gare B5c « Option Sud » est de 650 M€, comme pour la gare B2 d'Orly « Proche des aérogares », bien que les sites soient moins contraints au niveau du bâti. Il s'agit d'un choix de précaution à ce stade des études, dicté par la profondeur de la gare et surtout par la proximité de la Seine et des deux lacs du Parc Interdépartemental des Sports ("Pompadour"), qui pourraient complexifier les travaux (présence de nappes, infiltrations d'eau, ...).

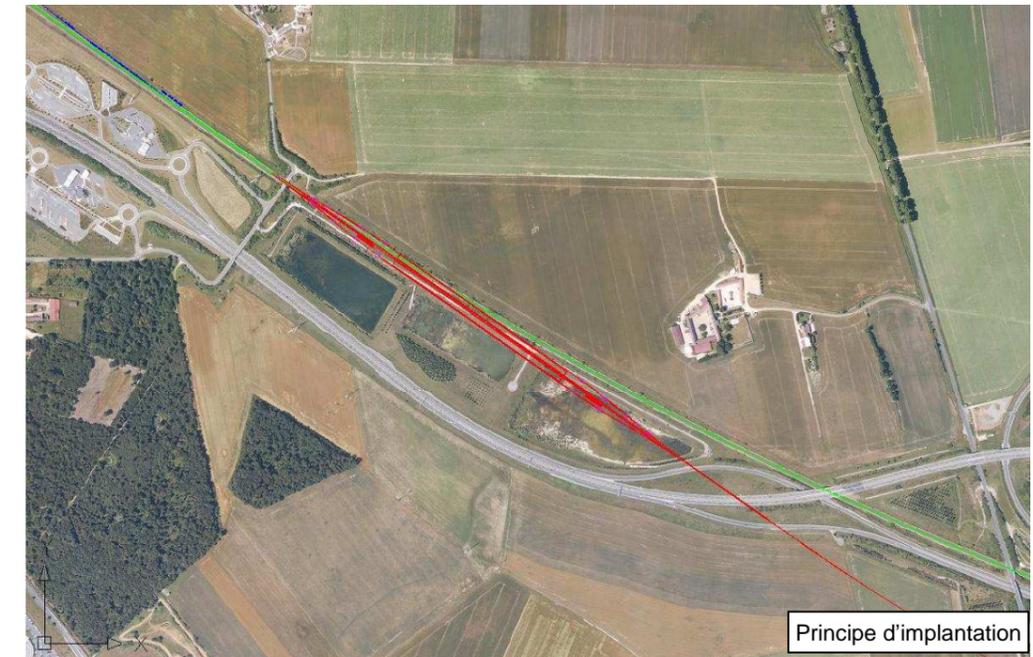
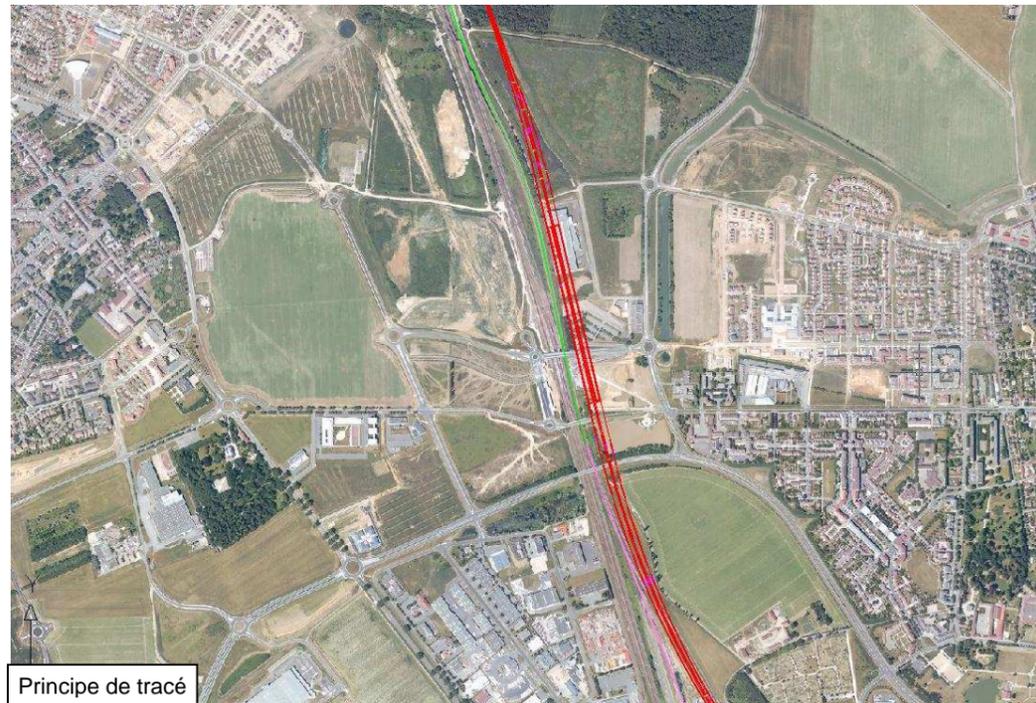
1.4.4 Gare dans le secteur Sénart

Deux sites potentiels de gares ont été identifiés dans le secteur de Sénart :

- B6 = « RER D », à Lieusaint, à proximité de la gare RER D du même nom
- B7 = « Villaroche », à Villaroche, sur la LGV Sud-Est historique.

1.4.4.1.1 Gare B6 " Sénart RER D"

La gare Interconnexion B6 "RER D" est jumelée à la LGV Sud-Est, côté est, parallèle à la gare actuelle de Lieusaint sur le RER D.



La proximité des deux gares et la nouvelle passerelle au dessus de la LGV Sud-Est historique et de la ligne PLM faciliteront les correspondances.

La gare de Lieusaint n'est pas une gare Interconnexion Sud type, mais une gare TGV comprenant deux voies centrales à grande vitesse (230 km/h), encadrées par deux voies d'arrêt circulables à 170 km/h avec des quais extérieurs.

Solution technique :

La gare sera construite en léger remblai, au niveau des voies actuelles du RER D. Suivant le tracé finalement adopté, le récent bâtiment d'accès Est de la gare RER D pourra être à repris et/ou déplacé. La nouvelle passerelle pourra également être reprise, tout comme les rétablissements de la rue René Cassin et des deux avenues Pierre Point et Paul Delouvrier [RD 402]).

1.4.4.1.2 Gare B7 "Sénart Villaroche"

La dernière gare potentielle envisagée pour l'Interconnexion Sud, numérotée B7 "Villaroche", se trouve sur la LGV Sud-Est historique, au-delà du raccordement du projet d'Interconnexion Sud sur cette LGV.

L'emplacement choisi pour la gare se situe à environ 6 km au nord de Melun, dans les environs de la zone des échangeurs entre les autoroutes A5 et A105, en un endroit où la LGV actuelle est en courbe de 9000 m.

Son positionnement exact dans cette zone sera à préciser ultérieurement en fonction des possibilités d'accès routiers.

La gare est une gare TGV type comprenant deux voies centrales à 230 km/h, encadrées par deux voies d'arrêt circulables à 170 km/h et deux quais extérieurs. La gare, construite sur la LGV Sud-Est, en épousera la courbe existante

Solution technique :

La gare B7 de Villaroche sera construite au même niveau que les voies actuelles de la LGV Sud-Est, à peu près au niveau du terrain naturel.

Deux options sont possibles pour la construction de la gare :

- respecter intégralement les référentiels techniques des LGV et modifier le tracé de la LGV Sud-Est pour obtenir des alignements dans les zones d'appareils aux deux extrémités de la gare,
- obtenir des dérogations pour l'implantation d'appareils de voie enroulés dans le rayon de 9000 m existant (dévers 78 mm).

1.4.4.2 Enjeux financiers

Les enjeux financiers des gares B6 et B7 sont estimés semblables à celui de la gare TGV "Meuse" récemment construite sur la LGV Est, soit à peu près 48 M€ aux CE de janvier 2008.

2 OUVRAGES SOUTERRAINS

2.1	Introduction	23
2.2	Influence de la STI sur des projets de tunnels dimensionnés selon l'ITI 98-300	23
2.2.1	Préambule	23
2.2.2	Hypothèses de trafic	23
2.2.3	Classes des tunnels	24
2.2.4	Définitions de l'ITI 98-300 et de la STI	24
2.2.4.1	Ligne urbaine (ITI 98-300 §1.4.1.)	24
2.2.4.2	Ligne voyageurs (ITI 98-300 §1.4.2.)	24
2.2.4.3	Ligne mixte (ITI 98-300 §1.4.3.)	24
2.2.4.4	Matériel roulant (extrait de l'ITI 98-300 §1.4.4. et de la STI §1.1.3.2.)	24
2.2.5	Règles de l'ITI et de la STI influant sur les coûts du génie civil des tunnels	24
2.2.5.1	Règle 1.1.2 - Longueur des tunnels	24
2.2.5.2	Règle 1.1.2 - Longueur considérée pour 2 tunnels consécutifs	24
2.2.5.3	Règle 1.1.4 - Gares souterraines	25
2.2.5.4	Règle 2.2.1	25
2.2.5.5	Règle 4.2.2.3 – Exigences en matière de protection contre l'incendie des ouvrages d'art	25
2.2.5.6	Règle 4.2.2.6.1 - Définition fonctionnelle de la zone sûre (refuge/safe area)	25
2.2.5.7	Règle 4.2.2.6.3 - Cas du monotube avec issues de secours latérales et/ou verticales vers la surface	25
2.2.5.8	Règle 4.2.2.6.4 - Cas du bitube avec galeries de communication vers l'autre tube du tunnel	25
2.2.5.9	Règle 4.2.2.6.5 : Solutions techniques de substitution	25
2.2.5.10	Règle 4.2.2.7 – Cheminement d'évacuation	25
2.2.5.11	Règle 4.2.2.11- Accès pour les services de secours	26
2.2.5.12	Règle 4.2.2.12 - Aires de secours à l'extérieur des tunnels	26
2.2.6	Règles STI ayant une influence sur le coût des équipements non ferroviaires	26
2.2.6.1	Règles 4.2.2.5 - Détection incendie	26
2.2.6.2	Règle 4.2.2.8 - Eclairage de secours sur les voies d'évacuation	26
2.2.6.3	Règle 4.2.2.10 - Communication en situation d'urgence	26
2.3	Principes de conception du génie civil des tunnels de la ligne nouvelle d'Interconnexion Sud en Ile-de-France	26
2.3.1	Dispositions communes à tous les tunnels	26
2.3.1.1	Génie civil	26
2.3.1.2	Equipements généraux de sécurité	26
2.4	Section géométrique minimale (hors critères aérodynamiques) et gabarits ferroviaires	27
2.4.1	Objet du chapitre	27
2.4.2	Section type géométrique	27
2.4.2.1	Gabarits ferroviaires	27
2.4.2.2	Entraxe des voies	27
2.4.2.3	Gabarits des trottoirs	27
2.4.2.4	Exploitation des schémas de gabarits types	28
2.5	Dimensionnement des tunnels de la nouvelle ligne d'Interconnexion Sud en Ile-de-France en fonction des critères tympaniques	28
2.5.1	Description des phénomènes	28
2.5.2	Critères tympaniques	29
2.5.3	Méthodologie de l'étude	29
2.5.4	Hypothèses retenues	29
2.5.4.1	Gabarits ferroviaires	29
2.5.4.2	Caractéristiques des trains	29
2.5.5	Résultats et ordres de grandeur	29
2.6	Modalités d'estimation du coût des tunnels de la nouvelle ligne d'Interconnexion Sud en Ile-de-France	31

2.6.1	Généralités	31
1.2.2	Géologie	31
2.6.1.1	Sources	31
2.6.1.2	Géologie	31
2.6.1.3	Hydrogéologie	31
2.6.1.4	Contraintes vis-à-vis d'un creusement de tunnel	32
2.6.2	Estimation des montants bruts de travaux d'un monotube	32
2.6.2.1	Génie civil de section courante de tunnel	32
2.6.2.2	Ouvrages de tête du tunnel	32
2.6.2.3	Equipements de sécurité du tunnel	32
2.6.2.4	Puits	33
2.6.2.5	Estimation du coût net GC + équipements	33
2.6.3	Estimation des montants bruts de travaux d'un bi-tube	33
2.6.3.1	Génie civil de section courante du tunnel	33
2.6.3.2	Ouvrages de tête du tunnel	33
2.6.3.3	Equipements de sécurité du tunnel	33
2.6.3.4	Estimation du coût net GC + équipements	33
2.7	Gares	34
2.7.1	Présentation	34
2.7.2	Agencement des volumes	34
2.7.3	Construction	34
2.7.3.1	La géotechnique	34
2.7.3.2	Les méthodes	34
2.7.4	Les entonnements	34
2.7.4.1	Conception	34
2.7.4.2	Construction	34
2.7.5	Aspect sécurité	34
2.7.6	Coût et justification	35
2.8	Textes de référence	36
2.8.1	Références réglementaires	36
2.8.2	Références techniques de l'étude	36
2.8.3	Fiches de référence	36

2.1 INTRODUCTION

La présente étude explore les principaux enjeux du projet d'une nouvelle ligne à grande vitesse connectant la ligne Atlantique à la LGV Sud-Est. Cette nouvelle ligne comporte dans ses différentes hypothèses de scénarios de nombreux ouvrages souterrains en raison de la densité d'urbanisation de la région. En conséquence, l'impact financier dû à ces tunnels représente une part non négligeable du coût total du projet.

Il faut noter que pour satisfaire à l'économie du projet d'infrastructure, tout en privilégiant la grande vitesse et la capacité de la ligne, la comparaison des tunnels monotubes et bitubes sera étudiée.

Le coût lié aux aménagements à prévoir définis par la STI « Sécurité dans les tunnels ferroviaires » est apprécié à dire d'expert.

Les objectifs du présent chapitre sont les suivants :

- présentation de l'évolution réglementaire entre l'ITI 98-300 et la STI et de l'influence de la STI sur des projets de tunnels dimensionnés selon l'ITI 98-300,
- justification des principes de conception du génie civil des tunnels de la Nouvelle Ligne Interconnexion Sud en Ile-de-France lorsqu'on applique l'ITI 98-300 et la STI. Cette étude porte notamment sur la conception et le dimensionnement des différentes solutions envisageables pour les ouvrages d'évacuation et d'accès des secours dans les cas des tunnels monotube et bitube,
- application des principes de conception de génie civil aux tunnels envisagés pour l'ensemble des scénarii,
- estimation, pour les tunnels déjà cités, du coût de construction de ces tunnels en distinguant les ouvrages de génie civil et les équipements de sécurité.

A ce titre, ce rapport distingue dans la construction de ses chapitres les principales contraintes de dimensionnement des sections de tunnels, à savoir :

- Les équipements réglementaires de sécurité (ITI 98-300 et STI)
- Les contraintes aérodynamiques issues du critère de confort tympanique, liées entre autres au niveau d'étanchéité du matériel roulant

A ce jour, les phénomènes aérodynamiques sont les critères les plus dimensionnant pour la section des ouvrages souterrains et donc les plus pénalisant pour l'économie du projet d'autant plus qu'il comporte une grande longueur de tunnels.

Ainsi, dans une première partie, il sera déterminé, au regard des textes réglementaires de référence qui sont « *l'Instruction Technique Interministérielle 98-300 du 8 Juillet 1998 (ITI 98-300) relative à la sécurité dans les tunnels ferroviaires* » et « *la Spécification Technique d'Interopérabilité « Sécurité dans les tunnels ferroviaires » du système ferroviaire transeuropéen conventionnel et à grande vitesse* », les équipements réglementaires devant être présents dans les tunnels en fonctions de 2 paramètres fondamentaux : la longueur de l'ouvrage et la fonctionnalité de la ligne.

Une analyse réglementaire est réalisée afin d'évaluer le coût des équipements ferroviaires et non ferroviaires d'un tunnel.

La section transversale minimale des tunnels projetés de la nouvelle ligne est déterminée sur la base du critère de confort tympanique, en fonction du type de train et de sa vitesse de franchissement.

Il est dégagé de cette étude les estimations financières des éléments nécessaires au chiffrage global des différents scénarios.

2.2 INFLUENCE DE LA STI SUR DES PROJETS DE TUNNELS DIMENSIONNÉS SELON L'ITI 98-300

2.2.1 Préambule

Pour mémoire :

- le texte régissant la conception des tunnels depuis le 8 juillet 1998 (date de la parution de l'instruction) était l'Instruction Technique Interministérielle n°98-300, dénommé ci-après « ITI » ;
- la Spécification Technique d'Interopérabilité « Sécurité dans les tunnels ferroviaires » du système ferroviaire transeuropéen conventionnel et à grande vitesse, dénommé ci-après « STI », est de plus applicable à partir du 1er juillet 2008 suite à la décision de la Commission du 20 décembre 2007.

Les textes d'application sont parus, la STI est appliquée à tous les tunnels neufs. L'ITI 98-300 n'est pas pour autant annulée et doit être appliquée lorsque ses dispositions sont plus sévères que celles de la STI.

Nous résumons ci-après les règles de la Spécification Technique d'Interopérabilité « Sécurité dans les tunnels ferroviaires » qui ont une influence significative sur le coût des tunnels accueillant les trains de voyageurs seulement, dans le domaine du génie civil et des équipements non ferroviaires. Les règles correspondantes de l'ITI (ou l'absence d'exigence) sont rappelées pour mémoire.

A noter que, dans le cas de cette étude, le projet est considéré comme une ligne voyageurs (et non urbains ou mixtes) et seuls les articles s'y rapportant sont appliqués.

Afin d'étayer les différentes modalités d'application de l'ITI 98-300 et de la STI, les tunnels de la Nouvelle Ligne Interconnexion Sud en Ile-de-France seront pris comme exemples.

2.2.2 Hypothèses de trafic

Nous allons considérer que la Nouvelle Ligne Interconnexion Sud de l'Ile-de-France est dédiée **au trafic des voyageurs**.

Les vitesses potentielles considérées pour l'étude sont 160, 200 et 230 km/h. En effet, le tronçon entre Massy et Orly est envisagé à 160 km/h, du fait de la proximité des deux gares sauf dans le cas de la LN se débranchant à Janvry.

Le tronçon entre Orly et la LGV Sud-Est est envisagé à 200 ou 230 km/h.

2.2.3 Classes des tunnels

Les équipements obligatoires des tunnels varient entre autres en fonction de la longueur de l'ouvrage, selon le classement de l'ITI 98-300 et de la STI.

Tableau 1 : Classement des tunnels selon l'ITI 98-300 et la STI

Longueur L	Champ d'application de l'ITI 98-300					Commission ad hoc	
	0<L<400 m	400 m <L< 800 m	800 m <L< 1 km	1 km <L< 5 km	5 km <L< 10 km	10 km <L< 20 km	20 km <L
Champ d'application de la STI						Commission ad hoc	

2.2.4 Définitions de l'ITI 98-300 et de la STI

2.2.4.1 Ligne urbaine (ITI 98-300 §1.4.1.)

Il s'agit de lignes implantées en milieu urbain et périurbain dédiées au trafic voyageurs (et éventuellement de marchandises en dehors des plages horaires réservées aux voyageurs) sur lesquelles le trafic et le nombre de voyageurs transportés sont notablement supérieurs aux lignes mixtes ou à voyageurs en raison des migrations journalières de population.

2.2.4.2 Ligne voyageurs (ITI 98-300 §1.4.2.)

Il s'agit de lignes, autres que les lignes urbaines, parcourues par des trains à voyageurs modernes ou modernisés à grande vitesse, ou encore par des trains de fret spécialement conçus (TGV postal par exemple).

2.2.4.3 Ligne mixte (ITI 98-300 §1.4.3.)

Il s'agit de lignes supportant un trafic mixte composé de trains de voyageurs et de trains de fret pouvant comprendre des matières dangereuses.

2.2.4.4 Matériel roulant (extrait de l'ITI 98-300 §1.4.4. et de la STI §1.1.3.2.)

Extrait de l'ITI 98-300 §1.4.4. :

« On entend par matériel "moderne", les trains de voyageurs :

- respectant les normes NF F 16-101, NF F 16-102 et NF F 16-103 notamment en matière de classement au feu et à la fumée des différents matériaux constitutifs des voitures et des appareils électriques, et d'équipement en extincteurs portatifs ;
- dotés d'une motricité multiple et, pour les matériels autres que ceux assurant des services sur ligne urbaine, d'un système permettant :

- le signalage en cabine de conduite, ou au poste de contrôle s'il s'agit d'un système automatique, de tout échauffement anormal dans un engin moteur ;

- le déclenchement de l'arrêt automatique de l'équipement en cause, les autres éléments moteurs restant en service afin de permettre au train de poursuivre son trajet jusqu'à l'air libre ou une gare ou station si la détection se déclenche en tunnel ;

- équipés d'un système d'alarme voyageurs ne provoquant pas automatiquement un freinage d'arrêt irréversible, mais au contraire permettant au conducteur, ou au personnel du centre de contrôle s'il s'agit d'un système automatique, de poursuivre ou de reprendre rapidement la marche, si rien ne s'y oppose par ailleurs, jusqu'à l'air libre ou une gare ou station si l'alarme est déclenchée en tunnel ;

- munis d'un système de sonorisation permettant au personnel d'exploitation de diffuser des messages aux passagers.

On entend par matériel "modernisé" du matériel initialement conçu sans satisfaire à toutes ces exigences, qui, à l'occasion d'une rénovation profonde, est mis à niveau sur tous ces points à l'exception, éventuellement, du respect de la norme NF F 16-101 pour les câbles et de la norme NF F 16-102 pour les équipements électriques.

Les matériels roulants voyageurs ne répondant à aucune des deux définitions précédentes sont désignés par le terme de « matériel standard ».

Extrait de l'ITI 98-300 §1.4.4. et de la STI §1.1.3.2. :

« Le matériel roulant qui est conçu et construit pour circuler dans tous les tunnels du réseau transeuropéen est défini comme relevant de la catégorie B. Des barrières coupe-feu sont prévues à bord du train pour faciliter la protection des voyageurs et du personnel du train contre les effets de la chaleur et des fumées durant une période de 15 minutes après la déclaration de l'incendie à bord du train. Les barrières coupe-feu et des mesures complémentaires doivent permettre que les trains de cette catégorie puissent sortir d'un tunnel d'une longueur de 20 km et rejoindre un refuge, sur la base de l'hypothèse que le train est apte à rouler à une vitesse de 80 km/h. »

A ce titre, les TGV sont considérés comme des trains « modernes » de catégorie B.

2.2.5 Règles de l'ITI et de la STI influant sur les coûts du génie civil des tunnels

Nota : Les numéros des règles citées ci-après, correspondent aux numéros définis dans la STI.

2.2.5.1 Règle 1.1.2 - Longueur des tunnels

L'ITI s'applique pour des tunnels dont la longueur est comprise entre 0.4 km et 10 km ; si la longueur du tunnel est supérieure à 10 km ; ce dernier nécessite une étude particulière. Pour ce type d'ouvrage, « le schéma général de sécurité et le niveau d'équipement de ces infrastructures sont traités par des commissions ad hoc², nationales ou internationales ».

La STI s'applique aux tunnels de longueur comprise entre 1 km et 20 km. Les tunnels de plus de 20 km nécessitent une étude particulière.

2.2.5.2 Règle 1.1.2 - Longueur considérée pour 2 tunnels consécutifs

L'ITI ne dit rien sur ce sujet.

Selon la STI, 2 tunnels consécutifs sont considérés comme 2 tunnels distincts si les deux conditions suivantes sont satisfaites :

- les 2 tunnels sont séparés par une section à l'air libre de plus de 0.5 km,
- un dispositif d'accès et de sortie vers un lieu sûr (safe area) dans la section à l'air libre est prévu.

Si l'une, au moins, de ces 2 conditions n'est pas satisfaite, les deux tunnels sont considérés comme un seul tunnel.

²En général, les commissions analysent la nécessité d'aller ou non au-delà des dispositions de l'ITI 98-300 qui servent de base initiale de référence.

2.2.5.3 Règle 1.1.4 - Gares souterraines

Si les gares souterraines satisfont « aux règles pertinentes » de la présente STI et si elles sont conformes aux règles de sécurité contre l'incendie du niveau national, elles peuvent être considérées comme zones sûres (refuges/safe areas) tel que spécifié au point 4.2.2.6.1 de la STI. (Définition d'un refuge).

2.2.5.4 Règle 2.2.1

En cas d'incendie, lorsque cela est possible, le train quitte le tunnel. Dans le cas où le train est arrêté en tunnel, les voyageurs sont évacués sous la direction du personnel de bord ou s'échappent du train et rejoignent une zone sûre (refuge/safe area).

Cette règle n'est pas requise par l'ITI.

2.2.5.5 Règle 4.2.2.3 – Exigences en matière de protection contre l'incendie des ouvrages d'art

En cas d'incendie déclaré, l'intégrité de la structure est préservée pendant une période suffisamment longue pour permettre l'autosauvetage et l'évacuation des voyageurs et du personnel de bord ainsi que l'intervention des services de sauvetage, sans qu'ils soient exposés au risque d'un effondrement de la structure.

Tandis que l'ITI recommande, dans le cas présent de trafic voyageurs et de tunnel foré à revêtement porteur, la courbe ISO 834 pendant 2 heures, pour les calculs de résistance de la structure « en béton uniquement », désormais, la « courbe température-temps » spécifiée par Eureka est utilisée.

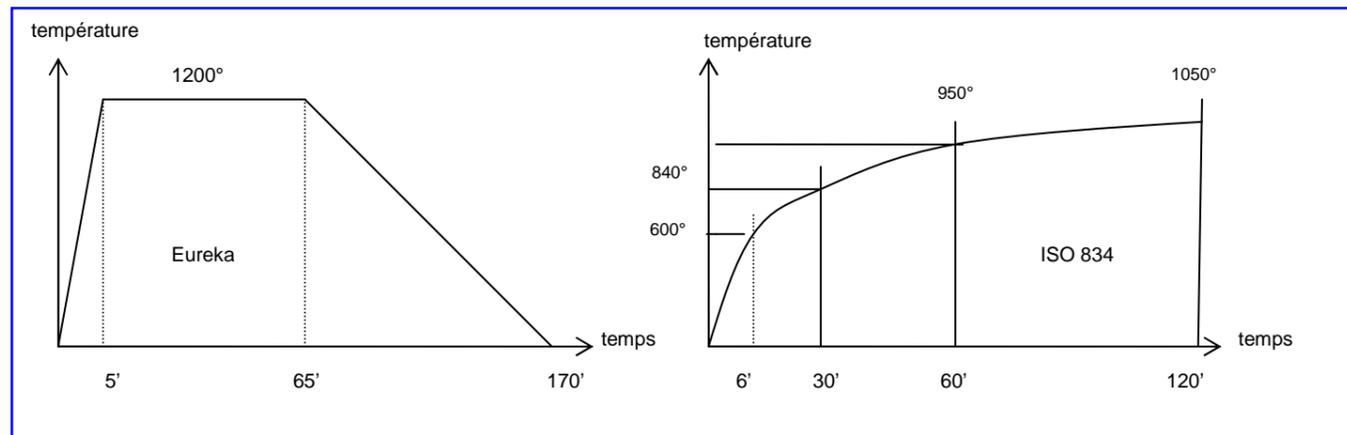


Figure 1 : Schéma des courbes de températures Eureka et ISO 834

En effet, l'ISO 834 est moins sévère qu'Eureka, notamment du fait de l'écaillage du béton qui diminue son épaisseur.

2.2.5.6 Règle 4.2.2.6.1 - Définition fonctionnelle de la zone sûre (refuge/safe area)

Une zone sûre est un espace placé à l'intérieur ou à l'extérieur du tunnel, répondant à tous les critères suivants :

- il permet la survie ;
- les personnes peuvent y accéder avec ou sans assistance ;
- les personnes peuvent s'échapper par elles-mêmes, si les circonstances le permettent, ou attendre l'intervention des services de sauvetage respectant les procédures décrites dans le plan d'urgence ;
- les communications sont possibles, soit par téléphone, soit par des connexions fixes, avec le centre de contrôle du gestionnaire de l'infrastructure.

2.2.5.7 Règle 4.2.2.6.3 - Cas du monotube avec issues de secours latérales et/ou verticales vers la surface

Tandis que l'ITI ne prescrit rien sur ce sujet ; la STI prévoit des issues de secours latérales et verticales vers la surface tous les 1000 mètres.

2.2.5.8 Règle 4.2.2.6.4 - Cas du bitube avec galeries de communication vers l'autre tube du tunnel

Tandis que l'ITI les prévoit espacées au maximum de 800 m, la STI prévoit un espacement au maximum de 500 m.

2.2.5.9 Règle 4.2.2.6.5 : Solutions techniques de substitution

« Des solutions techniques de substitution prévoyant un refuge avec un niveau de sécurité minimale équivalent sont admises. Une étude technique est entreprise afin de justifier la solution de substitution qui doit être soumise pour approbation par l'autorité nationale compétente. »

2.2.5.10 Règle 4.2.2.7 – Cheminement d'évacuation

Un cheminement est prévu pour l'évacuation des personnes en tout point du tunnel.

Différentes solutions peuvent être adoptées, notamment le trottoir et le radier.

Si le trottoir est retenu, l'ITI 98-300 prévoit que sa largeur est au moins de 0.70 m libre de tout obstacle sur une hauteur de 2 m. Si la solution du radier est retenue, la largeur du cheminement ne peut être inférieure à celle préconisée pour les trottoirs.

La STI prévoit, dans les deux cas que la largeur minimale du cheminement d'évacuation est de 0.75 m. La hauteur de dégagement libre au-dessus du cheminement d'évacuation est d'au moins 2.25 m.

Dans le cas d'un tube à une voie, les cheminements d'évacuation sont construits au moins le long d'un côté de la voie. Dans le cas d'un tube à double voie, les cheminements d'évacuation sont construits de chaque côté du tunnel. Une main courante est fixée en piedroit.

La STI rajoute que des rétrécissements ponctuels provoqués par des obstacles entravant la zone d'évacuation sont évités. Les obstacles présents ne doivent pas empiéter sur la largeur minimale qui doit rester d'au moins 0.7 m, la longueur de l'obstacle n'est pas supérieure à 2 m.

Des mains courantes doivent être installées à une hauteur d'environ 1 m au-dessus du cheminement permettant d'accéder à un refuge. Elles sont placées hors de l'espace de dégagement minimal requis pour le cheminement et leur disposition respecte un angle de 30° à 40° par rapport à l'axe longitudinal du tunnel à l'entrée et à la sortie d'un obstacle.

Enfin, bien que l'ITI stipule que les valeurs d'embranchement des voitures vers le trottoir ou, le cas échéant, du trottoir intermédiaire vers le radier, ne peuvent excéder 0.40 m dans le plan vertical ; la STI rajoute que le niveau du cheminement d'évacuation se situe au moins à hauteur du rail.

2.2.5.11 Règle 4.2.2.11- Accès pour les services de secours

La STI prévoit que les services de sauvetage puissent pénétrer dans le tunnel, en cas d'incident, en passant par les têtes de tunnel et/ou des issues de secours appropriées (rappelons que des issues de secours sont prévues tous les 1 000 m en cas de monotube)

L'ITI (article 4.1.2) prévoit des dispositifs d'accès des secours tous les 800m au maximum, dans le cas de tunnels sur lignes urbaines de longueur supérieure à 800m (non nécessaires sur ligne « voyageurs »).

2.2.5.12 Règle 4.2.2.12 - Aires de secours à l'extérieur des tunnels

Tandis que L'ITI demande des parkings de « dimensions suffisantes » ; la STI demande des aires de secours d'au moins 500 m². Les routes d'accès existantes peuvent être considérées comme des aires de secours.

2.2.6 Règles STI ayant une influence sur le coût des équipements non ferroviaires

2.2.6.1 Règles 4.2.2.5 - Détection incendie

Tandis que l'ITI n'a pas d'exigence sur ce point ; la STI exige que les locaux techniques soient équipés de détecteurs qui, en cas d'incendie, déclenchent une alerte chez le gestionnaire de l'infrastructure.

2.2.6.2 Règle 4.2.2.8 - Eclairage de secours sur les voies d'évacuation

L'autonomie de l'éclairage de secours doit être garantie pour les situations d'urgence, pendant 60 minutes selon l'ITI et 90 minutes selon la STI et ne peut être interrompu sur une longueur supérieure à 100m, même en cas d'incendie.

L'ITI stipule que les éclairages de secours ne doivent pas être espacés de plus de 50 m sur la même piste de circulation. La STI rajoute que, dans le cas d'un tube à une voie, l'éclairage doit se situer sur un côté – le même que celui du cheminement d'évacuation –, dans le cas d'un tube à double voie, les éclairages de secours doivent se situer de chaque côté.

En revanche, l'ITI se montre plus sévère que la STI en ce qui concerne l'intensité minimum de l'éclairage de secours, puisqu'elle impose un éclairage d'au moins 2 lux tandis que la STI se limite à 1 lux.

2.2.6.3 Règle 4.2.2.10 - Communication en situation d'urgence

La communication train-PC doit être maintenue en tunnel, selon la STI aussi bien que selon l'ITI. En revanche, la STI impose la technologie GSM-R.

2.3 PRINCIPES DE CONCEPTION DU GÉNIE CIVIL DES TUNNELS DE LA LIGNE NOUVELLE D'INTERCONNEXION SUD EN ÎLE-DE-FRANCE

Les principes de conception retenus dans l'étude respectent les règles définies par l'ITI 98-300 et la STI.

2.3.1 Dispositions communes à tous les tunnels

Seuls les équipements ayant une incidence significative sur l'évaluation du coût des ouvrages ou ayant un impact sur leur section sont traités dans la présente note.

Il est pris comme hypothèse que la ligne sera équipée de détecteurs de boîtes chaudes, répartis en nombre suffisant et de manière optimale sur la ligne.

2.3.1.1 Génie civil

▪ Accès routier et parking en tête de tunnel

Traité aux paragraphes 2.2.5.11 et 2.2.5.12.

▪ Cheminement

Traité au paragraphe 2.2.5.10.

▪ Mise en sécurité des agents de maintenance

Dans le cas où certaines opérations de maintenance ont lieu pendant le passage des trains des équipements tels des niches de sécurité, une main courante... sont intégrés au projet en fonction des gabarits dégages.

2.3.1.2 Equipements généraux de sécurité

▪ Alimentation électrique

Traité au paragraphe 2.2.6.1.

▪ Eclairage

Traité au paragraphe 2.2.6.2.

▪ Repérage des issues et de leur éloignement

- Non significatif dans l'évaluation des coûts.

▪ Alimentation en eau d'incendie (répondant aux normes en vigueur)

La capacité des approvisionnements en eau permet un débit minimal de 800 litres par minute pendant deux heures.

▪ Tunnels en rase campagne :

- Le tunnel doit être équipé d'une installation en charge protégée contre le gel et disposant en permanence d'une réserve d'eau de 120 m³ ;

- Des prises d'incendie de 2 X 40 mm et 1 X 65 mm sont installées tous les 250 m au maximum et aux têtes de tunnel; deux points d'eau peuvent être utilisés simultanément.

- Tunnel en milieu urbain ou périurbain :
 - Peut être assuré par colonne sèche ou par colonne en eau morte protégée contre le gel (se reporter à l'ITI pour détails).

- Communications pour les services de secours (intérieur et extérieur du tunnel)
 - Non significatif dans l'évaluation des coûts.

- Anneaux de relevage du matériel roulant (tous les 30m)
 - Non significatif dans l'évaluation des coûts.

- Anneaux de rappel (pour la ligne de vie)
 - Non significatif dans l'évaluation des coûts.

2.4 SECTION GÉOMÉTRIQUE MINIMALE (HORS CRITÈRES AÉRODYNAMIQUES) ET GABARITS FERROVIAIRES

2.4.1 Objet du chapitre

Le présent chapitre a pour objet de montrer les liens entre la section géométrique minimale hors critères aérodynamiques et l'étude des gabarits géométriques.

2.4.2 Section type géométrique

L'optimisation de la section géométrique minimale des ouvrages nécessite la prise en compte de nombreux paramètres de diverses natures (gabarits, trottoirs, réseaux et équipements, mode et tolérances de construction, ...), ainsi que des aspects aérodynamiques (résistance à l'avancement et vitesse des trains, confort tympanique) qui ont un impact sur la section d'air à réserver dans le tunnel.

Le paramètre aérodynamique n'est pas encore pris en compte à ce stade de l'analyse.

2.4.2.1 Gabarits ferroviaires

Les matériels dont la circulation est envisagée, dans la présente étude, sont des TGV.

Pour le TGV, le gabarit limite d'obstacles (C1) en tunnel est défini dans la notice SNCF n°EF 1 C 3 n°7 « Lignes à grande vitesse – Gabarits ».

A ce gabarit, il faut ajouter l'emprise minimale en hauteur de la caténaire qui est de 1,12m pour les TGV d'après la notice SNCF n°EF 1 C 3 n°7.

Les principales caractéristiques de ce gabarit limite d'obstacle sont récapitulées dans le tableau ci-dessous et la figure 2.

Tableau 2 : Principales caractéristiques du gabarit limite d'obstacle

Type de matériel	Hauteur du plan de contact avec la caténaire au-dessus du plan de roulement	Largeur du gabarit
TGV (300 km/h) Gabarit C1	5.10 m	1.75 m à 0.40 m 1.95 m de 1.00 m à 3.55 m 1.85 m à 4.80 m

2.4.2.2 Entraxe des voies

Dans le cas d'ouvrage à deux voies, l'entraxe entre chaque voie est de 4.20m au minimum.

2.4.2.3 Gabarits des trottoirs

Les cheminements d'évacuation latéraux doivent respecter un emmarchement inférieur à 0.40m dans le plan vertical et leur niveau doit se situer au moins à hauteur du rail. De plus, ils doivent avoir une largeur minimale de 0.75 m et une hauteur de dégagement libre au-dessus d'au moins 2.25 m.

2.4.2.4 Exploitation des schémas de gabarits types

Le gabarit géométrique intervient dans le dimensionnement de la section minimale du tunnel. En effet, il détermine l'intervalle entre piédroits et la hauteur de voûte nécessaires au passage du train. Les autres paramètres dimensionnant viennent s'ajouter (équipements, trottoirs...).

Pour dimensionner un ouvrage, il faut prendre en compte le gabarit qui, géométriquement, est le plus contraignant au niveau du dimensionnement de la section.

Le gabarit de la figure 2 est donné à titre informatif, pour mettre en évidence ses différentes caractéristiques et pour qu'elles soient prises en compte avec d'autres critères lors du dimensionnement d'un tunnel.

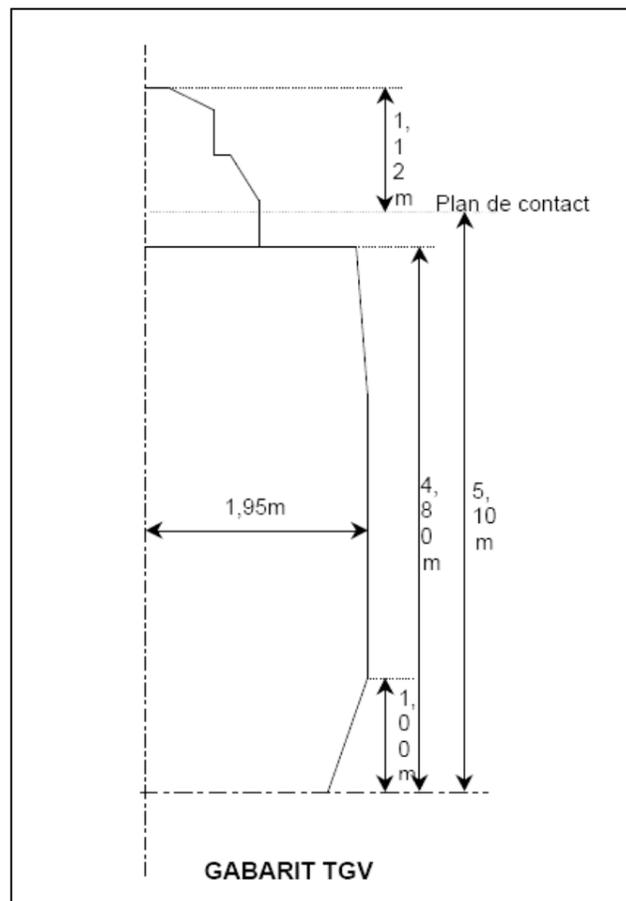


Figure 2 : : Schéma de gabarit type TGV

2.5 DIMENSIONNEMENT DES TUNNELS DE LA NOUVELLE LIGNE D'INTERCONNEXION SUD EN ÎLE-DE-FRANCE EN FONCTION DES CRITÈRES TYMPANIQUES

2.5.1 Description des phénomènes

Lors du passage d'un train dans un tunnel, les variations de pression engendrées par les phénomènes aérodynamiques sont ressenties par les passagers du train au niveau de leurs tympans. Cela est dû à une différence de pression entre l'oreille interne et l'espace voyageur du train. Lorsque la durée de la variation de pression est trop faible pour permettre un équilibrage des pressions, cela provoque une gêne analogue à celle ressentie lors d'un changement brusque d'altitude. Il s'agit d'un phénomène physiologique qui tient de l'impossibilité de chaque individu d'équilibrer naturellement les différences de pression de part et d'autre des tympans. Ce phénomène est ressenti principalement lors des phases de recompressions qui se reproduisent plusieurs fois durant la traversée.

Pour illustrer ce phénomène, il est cité un extrait de la référence [1], « Aérodynamique dans les tunnels du TGV Méditerranée », Daniel ANDRE, Revue Générale des Chemins de Fer – Février 2002 p.97-101 » :

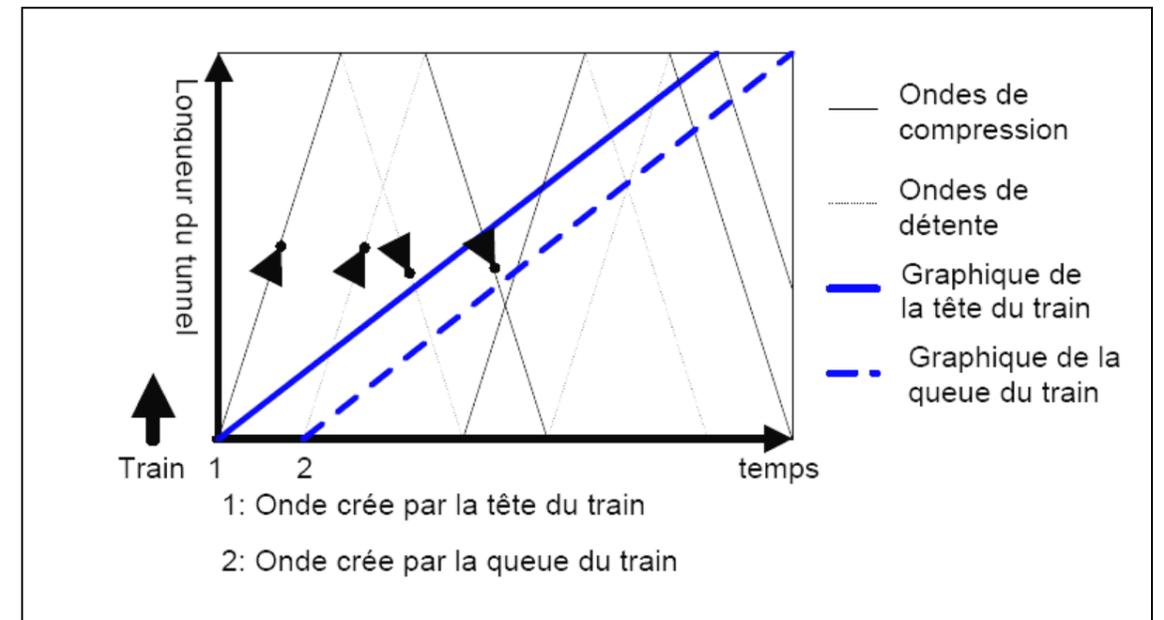


Figure 3: Système d'ondes créées par le passage d'un train en tunnel

« Le passage brutal du milieu extérieur au milieu intérieur confiné génère une onde de compression et une onde de détente qui parcourent le tunnel à la vitesse du son. Par un jeu de réflexion à chacune des têtes, ces ondes restent prisonnières du tunnel et oscillent d'une extrémité à l'autre de l'ouvrage en s'atténuant peu à peu. Elles interfèrent entre elles à plusieurs reprises en combinant leurs effets. Ces conjonctions d'ondes provoquent d'importantes variations de pressions qui peuvent se produire au droit de la rame. En cas de croisement de trains en tunnels, le système d'ondes est doublé. De multiples combinaisons deviennent possibles selon l'écart de temps existant entre les entrées des trains dans l'ouvrage. »

La conséquence de ce phénomène sur la conception des tunnels consiste à déterminer la section transversale minimale à donner au tube pour que les variations de pression restent dans des limites fixées par les critères de sécurité tympanique et les critères de confort tympanique propre à chaque exploitant.

2.5.2 Critères tympaniques

Les critères applicables, en France, sont définis dans le Référentiel Génie Civil de RFF [2], dans le §2.3.2 « Ouvrages enterrés » du tome IV « Ouvrages d'art ».

Le texte de l'alinéa 2.3.2.3 « Caractéristiques géométriques » est rappelé ci-dessous :

« La section des ouvrages souterrains est déterminée, dans le respect des gabarits cinématiques et des règles de sécurité du personnel, à partir d'une étude aéraulique.

Le critère de sécurité tympanique fixe la limite de variation de pression extérieure à 10 000 Pa, sans considération de temps.

Le critère de confort tympanique considère :

- Pour les rames étanches : une limite de variation de pression intérieure de 1 000 Pa pour une durée de 10 secondes et un gradient de pression limité à 500 Pa/s,
- Pour les rames non étanches : la variation de pression est limitée à 2 000 Pa pendant 4 secondes.

Si nécessaire, les dispositions sont prises en tête des ouvrages pour éviter la production d'ondes sonores. »

2.5.3 Méthodologie de l'étude

L'objectif étant de définir des règles générales de conception et de dimensionnement des tunnels, il ne sera pas effectué à ce stade de simulation numérique des phénomènes transitoires de pression créés par le passage d'un train en tunnel.

En revanche, la référence [3] propose des séries de courbes qui permettent, pour quelques cas, de déterminer le rapport des sections $S_{\text{train}}/S_{\text{air tunnel}}$ (rapport de blocage) maximal admissible en fonction :

- Du type de train,
- De la longueur du train,
- Du croisement ou non de deux trains identiques dans le tunnel,
- De la vitesse de circulation,
- De la longueur du tunnel,
- D'une limite de variation de pression (critère tympanique).

2.5.4 Hypothèses retenues

2.5.4.1 Gabarits ferroviaires

Afin de tirer des conclusions générales sur le passage de trains à grande vitesse dans des tunnels et pour simplifier l'exposé, on s'attachera à déterminer **le cas de référence d'un tunnel de 10 km**.

A ce stade de l'étude, les tunnels sont supposés ne comporter aucun aménagement complexe type jonction, puits d'aération, entonnement,

Le présent exposé étudie

- les tunnels monotubes à 2 voies ;
- les tunnels bitubes à 1 voie ;
- le cas de croisement des trains est systématiquement celui retenu.

2.5.4.2 Caractéristiques des trains

Etanchéité des voitures

Longueur du convoi

Les longueurs du train suivantes seront étudiées car elles représentent les longueurs communément rencontrées sur le réseau :

- 400 m pour un TGV rame UM (Unité Multiple) hors TGV A
- 200 m pour un TGV rame US (Unité Simple)

Section transversale des trains

- TGV duplex
- TGV

Vitesses

Les vitesses considérées pour l'étude sont 160, 200 et 230 km/h.

2.5.5 Résultats et ordres de grandeur

La référence [3] permet de mettre en évidence les aires minima de section transversale applicables aux tunnels ferroviaires, dans le souci du confort à la pression, c'est-à-dire, de limiter les variations de pression ressenties à bord des trains qui circulent.

Il n'existe actuellement aucun critère de confort à la pression universellement connu pour l'exploitation ferroviaire.

Pour quelques cas, la référence [3] permet d'estimer le rapport de blocage $B = S_{\text{train}}/S_{\text{air tunnel}}$ en fonction des variations de pression maximum sur un intervalle de temps, de la vitesse, des longueurs et des types de trains et de tunnels.

En raison de la non-linéarité et des irrégularités des courbes de variations de pression, il n'est pas possible de définir des règles mathématiques de dimensionnement systématiques des sections de tunnels sur des critères de pression tympanique. Cependant, on peut estimer sommairement que la section d'air nécessaire évolue proportionnellement au carré de la vitesse des trains.

Les sections d'air ont été obtenues par l'utilisation et l'extrapolation des courbes des figures en annexe 1 (« IS – Sous-dossier Etudes techniques – Annexe 1 – Coupe type tunnels.pdf »), en se limitant au rapport de blocage critique, et les sections de tunnels connus réalisées. La section d'air théorique obtenue est libre de tout obstacle. Ce qui permet d'en déduire des diamètres intérieurs des tunnels.

Tableau 3 : Diamètres de tunnel considérés, en relation avec la section d'air

Dans le cas d'un tunnel monotube à double voie :

Vitesse de la ligne (km/h)	Diamètre intérieur (m)
160	10,60
200	11,70
230	12,50

Dans le cas d'un tunnel bitube à une seule voie :

Vitesse de la ligne (km/h)	Diamètre intérieur (m)
160	7,60 *
200	8,60
230	9,40

* Les phénomènes aérodynamiques ne sont pas dimensionnant pour des vitesses inférieures à 200 km/h.

2.6 MODALITÉS D'ESTIMATION DU COÛT DES TUNNELS DE LA NOUVELLE LIGNE D'INTERCONNEXION SUD EN ÎLE-DE-FRANCE

2.6.1 Généralités

Le détail des calculs des ratios retenus figurent dans les paragraphes suivants.

Les principes ci-dessous ont été retenus :

- estimation aux conditions économiques de janvier 2008
- estimation du coût des travaux (génie civil et équipements de sécurité) résultant de l'application des ITI et STI
- les montants qui figurent aux § 2.6.3 et § 2.6.4 de cette note sont les montants bruts des travaux et équipements (y compris coefficient de frais généraux de 8%)
- application au montant brut des travaux et équipements d'une SAV (somme à valoir) de 15 %, et d'une provision pour risques de 10 % pour le génie civil de section courante dans le cas où la géologie reste globalement conforme à celle que laissent envisager les sources bibliographiques.
- application d'une pondération de 15% pour amener les coûts selon une fourchette d'estimation à 0/-30 %
- application d'un taux de frais de MOE / CE / MOA de 19 %.

En raison des différentes vitesses envisagées et des solutions monotube et bitubes, 2 sections de tunnel sont considérées ; à savoir :

- Cas du monotube à double voie :

- $D_{\text{int tunnel}} = 11,70$ m pour des circulations à V200

- Cas du bitube à une seule voie :

- $D_{\text{int tunnel}} = 8,60$ m pour des circulations à V200

On considère une longueur de tunnel de référence de 10 km.

1.2.2. Géologie

2.6.1.1 Sources

- Cartes géologiques de Corbeil (N°219) et de Brie Comte Robert au 1/50 000,
- BSS (BRGM),
- Documents d'archive TERRASOL (en particulier au niveau de l'aéroport d'Orly).

2.6.1.2 Géologie

Les formations concernées par le projet de tunnel reliant la ligne LGV Atlantique à la sortie du tunnel de Villejust, l'aéroport d'Orly et la gare de Lieusaint sont les suivantes (de haut en bas) :

- Formations quaternaires de couverture :

- Limon des plateaux (Lp) : il s'agit d'une formation meuble, tendre mais relativement compacte. Le limon est composé d'argile, de sable quartzueux et calcaire. Epaisseur : en moyenne 4 à 6 m au niveau d'Orly.
- Formation de versant, éboulis et colluvions (Ec) : rencontrée en couverture sur les flancs de la vallée de la Seine.
- Alluvions récentes (Fz) sable fin et limons peu compacts : 5 à 9 m d'épaisseur en fond de vallée de la Seine.
- Alluvions anciennes (Fy) : sable et gravier : 10 m d'épaisseur maximale.

- Formations tertiaires :

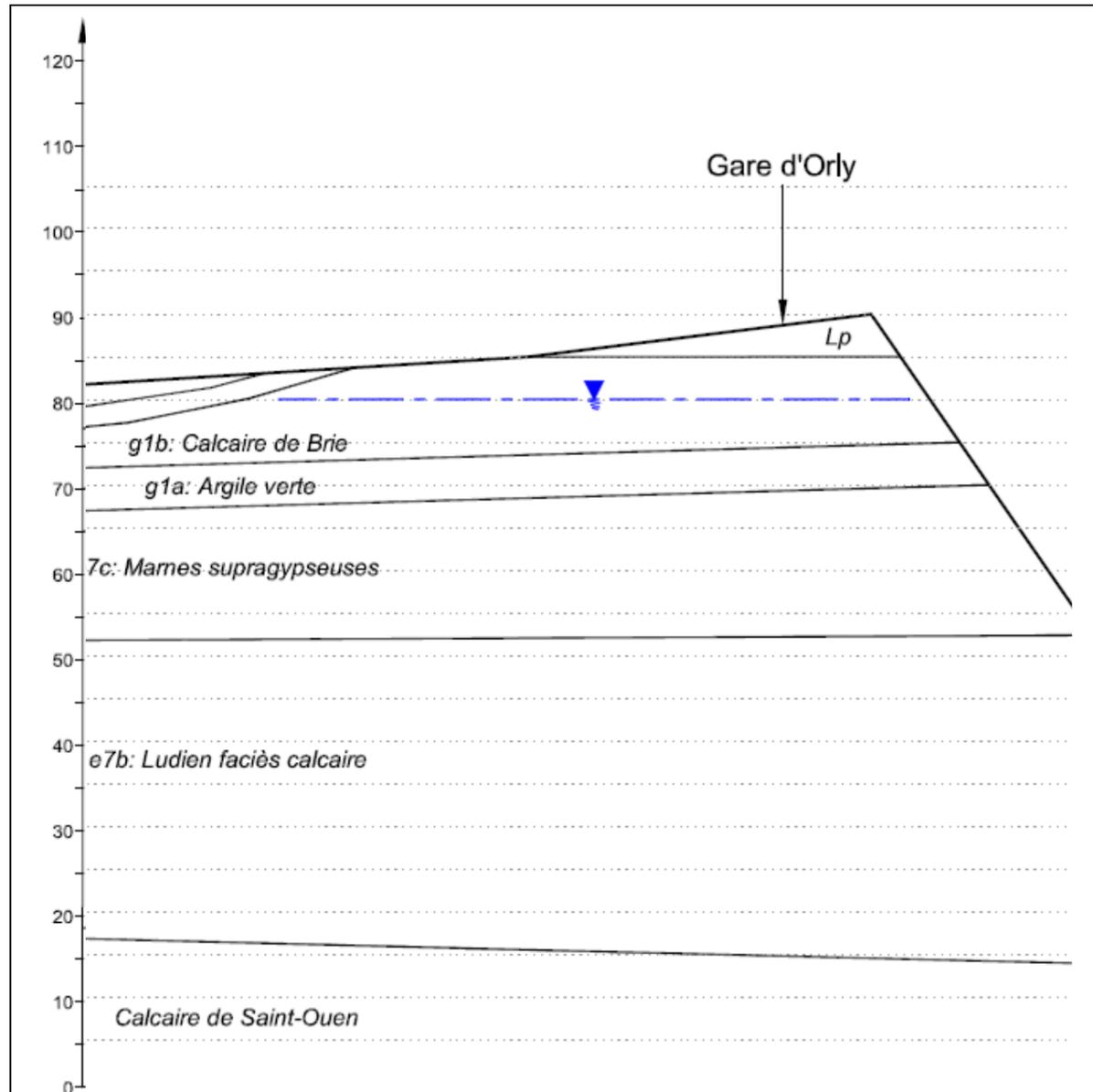
- Meulière de Montmorency et Argile à Meulière (g3a) : a priori non rencontrée sur le tracé ou localement à l'ouest en couverture de plateaux : cette formation, de 9 m en moyenne, comporte un niveau argileux recouvert par 2 m de meulière compacte et dure.
- Sables et grès de Fontainebleau (g2b) : il s'agit d'un sable siliceux fin pouvant atteindre 75 m d'épaisseur. Cette formation sera rencontrée a priori en début de tunnel à l'ouest. Elle génère de nombreuses instabilités lors de creusement de tunnel, en particulier en présence de nappe.
- Marnes à Huitres (g2a) : marne gris verdâtre de 3 à 5 m de puissance. Ce niveau imperméable retient l'importante nappe aquifère des sables de Fontainebleau.
- Calcaire de Brie (g1b) : à l'ouest et au centre du tracé, la formation de Brie est constituée de marnes et marno-calcaire plus compacts à niveaux gypseux. Epaisseur de l'ordre de 5 à 10 m.
- Argile verte (g1a) : argile calcaire compacte de couleur vert foncé. C'est une formation potentiellement gonflante et dont le terrassement présente souvent des difficultés. Epaisseur de l'ordre de 5 m.
- Marne supragypseuse (e7c, Ludien supérieur) : on distingue les marnes bleues dites d'Argenteuil (9 à 12 m d'épaisseur) : marnes compactes avec débris de lignite et les marnes blanches dites de Pantin (2 à 8 m d'épaisseur) : marnes plus riches en argile passant à un calcaire à la base.
- Masse et marnes de Gypse / Calcaire de Champigny (e7b) Ludien Moyen : le faciès marneux et masse de gypse intéresse surtout la zone ouest du projet (20 à 30 m d'épaisseur) alors que le faciès calcaire est plutôt présent à l'est / sud est (zone de Corbeil) sur une épaisseur pouvant atteindre 30 à 40 m. Il s'agit d'un calcaire compact.
- Calcaire de Saint Ouen (e6b). A priori non rencontré par le projet

2.6.1.3 Hydrogéologie

La nappe des calcaires de Brie (cote +80 sous Orly) reposant sur les argiles vertes est susceptible d'intéresser le projet.

A priori, les marnes supragypseuses ne sont pas concernées par la nappe perchée au dessus des argiles vertes. Si les travaux ne mettent pas en communication les calcaires de brie et les marnes supragypseuses, l'excavation pourrait être réalisée sans de fortes contraintes hydrauliques

Un drainage des marnes sera néanmoins nécessaire.



2.6.2 Estimation des montants bruts de travaux d'un monotube

On se concentre sur l'estimation en site urbain contraint, qui est le contexte majoritaire sur les variantes étudiées.

2.6.2.1 Génie civil de section courante de tunnel

Ces ratios couvrent les postes suivants :

- excavation + soutènement + étanchéité + revêtement ;
- génie civil pour équipements de sécurité (caniveau pour conduite incendie, multitubulaire) et pour locaux techniques intérieurs (5 m x 7 m, tous les 1 000 m)

On estime le coût brut du génie civil d'une section de 11.70 m de diamètre intérieur à 38.6 M€/km, pour une longueur de tunnel de référence de 10 km.

2.6.2.2 Ouvrages de tête du tunnel

Génie Civil

- faux-tunnel long de 50 m pour assurer un dégagement des trémies aérauliques et une couverture égale à un diamètre d'excavation au droit du tympan,
- terrassement (déblai puis remblai) et soutènement de la tranchée du faux-tunnel,
- soutènement du tympan,
- voûte parapluie mise en place à partir du tympan sur une longueur de 15 m,
- locaux techniques à la tête de tunnel,
- plate-forme de 1500 m² (soit 500 m² de parking pour les services de secours et 1000 m² de surface d'accueil pour les voyageurs),

Le montant des ouvrages décrits ci-avant s'élève à 1.6 M€, par tête.

Equipements de tête

On compte ici pour une tête de tunnel le réservoir incendie, la conduite extérieure entre réservoir et tunnel et l'alimentation du réservoir

Le montant est de 0.4 M€.

Le coût total d'une tête est donc de 2 M€.

2.6.2.3 Equipements de sécurité du tunnel

- conduite incendie du tunnel et hydrants tous les 250 m,
- éclairage du tunnel et prises de courant pour les services de secours,
- alimentation électrique du tunnel
- retransmission des radio-communications des services de secours à l'intérieur du tunnel,
- ventilation des locaux techniques intérieurs au tunnel,
- métallerie des locaux techniques intérieurs au tunnel,
- gestion technique centralisée des équipements de sécurité,

Le montant des équipements s'élève à 20 % du prix du génie civil du tunnel.

2.6.1.4 Contraintes vis-à-vis d'un creusement de tunnel

- Des formations excavées de natures très variées : argiles plastiques, marne, sable fin, gypse, alluvions, calcaire, qui nécessiteront dans le cas d'un creusement mécanisé un tunnelier conçu pour pouvoir fonctionner selon plusieurs modes (pression de terre / pression de boue), du type du tunnelier utilisé pour le tunnel SOCATOP de l'A86 Ouest.
- La présence de terrains délicats en cas d'excavation en méthode traditionnelle (pour des rameaux de sécurité par exemple) : sable de Fontainebleau par exemple.
- Le risque de terrain potentiellement gonflant (argile verte).
- Le risque de zone de dissolution de gypse (cavité, terrain décomprimé).
- Le risque de zones aquifères.

2.6.2.4 Puits

Puits de 15 m à 30 m de profondeur

- génie civil zone PMR :
 - 790 k€ ;
- génie civil puits :
 - 36,3 k€/ml ;
- ouvrages de tête :
 - génie civil : 290 k€ ;
 - 2 parkings revêtus : 172 k€ ;
 - équipements de sécurité (ventilation, métallerie) : 690 k€ ;

Soit un montant par puits de 2.85 M€ (pour un puits de 25 m de profondeur)

Puits de 30 m à 50 m de hauteur

- génie civil zone PMR : idem puits de 15 m à 30 de hauteur
- génie civil puits :
 - 63 k€/ml ;
- génie civil ouvrages de tête et local technique : 600 k€,
- parking, piste : idem galerie et puits de hauteur inférieure à 30 m,
- ascenseur : 400 k€,
- autres équipements : idem galerie et puits de hauteur inférieure à 30 m.

Soit un montant brut par puits de 5.17 M€ (pour un puits de 40 m de profondeur).

2.6.2.5 Estimation du coût net GC + équipements

On estime le coût au kilomètre en site urbain contraint, hors ouvrages de tête, du tunnel monotube de 11.70 m de diamètre intérieur de la manière suivante :

- coût GC au kilomètre : 38.6 M€
- équipements : on majore le prix GC de 20 % : 46.2 M€
- puits (un puits par kilomètre) : 2.85 M€
- coût total GC + équipements : 49.1 M€
- ajout de SAV + PR (+25%) : 61.4 M€
- pondération 0/-30% (+15%) : 70.6 M€
- ajout des frais de MOE, CE, MOA (+19%) : 84 M€

Le coût au kilomètre pour un tunnel monotube double voie en site urbain contraint, y compris équipements et ouvrages de sécurité, est donc pris à 84 M€/km.

D'autres ratios plus faibles ont été considérés pour des sites non contraints, cependant le coût de 84 M€/km a été considéré comme référence pour l'estimation du coût du projet.

2.6.3 Estimation des montants bruts de travaux d'un bi-tube

2.6.3.1 Génie civil de section courante du tunnel

On estime le coût brut du génie civil d'une section de 8.60 m de diamètre intérieur à 28.7 M€/km, pour une longueur de tunnel de référence de 10 km. Ce prix inclut les rameaux de communication avec l'autre tube.

Ceux-ci ont une section excavée de 12 m² et une longueur de 20 m (entraxe des tubes de 30 m) à laquelle on rajoute une longueur de 6 m pour les locaux techniques associés. Ils sont espacés de 500m, on en compte donc deux par kilomètre.

2.6.3.2 Ouvrages de tête du tunnel

- même description des travaux que pour le monotube,
- augmentation du montant brut des travaux lié à la présence de 2 faux-tunnels (certes de 45 m de long au lieu de 50 m) par tête et à l'élargissement de la tranchée d'accès et donc du tympan à soutenir : augmentation de 0.5 M€, soit 2.5 M€ partête.

2.6.3.3 Equipements de sécurité du tunnel

- même description des travaux que pour le monotube mais il faut ajouter la ventilation et la métallerie des rameaux de communication. On considère un ratio de 20% du prix du génie civil (rameaux inclus).

2.6.3.4 Estimation du coût net GC + équipements

On estime le coût au kilomètre, hors ouvrages de tête, du tunnel bitube en site urbain contraint constitué de deux tunnels de 8.60 m de diamètre intérieur de la manière suivante :

- coût GC au kilomètre : 28.7 M€ pour un tube
- équipements : on majore le prix GC de 20 % : 34.5 M€
- ajout de SAV + PR (+25%) : 43.1 M€
- pondération 0/-30% (+15%) : 49.6 M€
- ajout des frais de MOE, CE, MOA (+19%) : 59 M€

Le coût au kilomètre pour un tunnel à voie unique en site urbain contraint, y compris équipements et ouvrages de sécurité, est donc pris à 59 M€/km, soit 118 M€ pour un tunnel bitube.

D'autres ratios plus faibles ont été considérés pour des sites non contraints, cependant le coût de 59 M€/km pour un tunnel à voie unique a été considéré comme référence pour l'estimation du coût du projet.

2.7 GARES

2.7.1 Présentation

La gare d'Orly localisée dans la zone « Cœur d'Orly » est choisie comme exemple de gare souterraine. Une emprise de 36m de largeur a été réservée pour sa construction.

Le programme est le suivant

- Longueur des quais de la gare : 490 m (longueur utile 480 m)
- Nombre de voies à quais : 4 m
- Niveau du rail par rapport au terrain naturel (TN) : -24m
- Niveau de trafic : moyen
- Echanges : pas de correspondance avec d'autres lignes

2.7.2 Agencement des volumes

Cet agencement est conçu suivant les contraintes de construction, les contraintes d'exploitation et de sécurité.

Les quais et les voies sont agencés de manière à avoir une structure voûtée qui résiste bien au poids important des terres et qui se construit entièrement en souterrain. La largeur totale de 50 m fait qu'une partie de cet ouvrage se trouve sous les bâtiments prévus en surface par l'aménageur de la zone aéroportuaire.

Ces quais sont desservis par des couloirs et des descentes latéraux construits eux aussi en souterrain.

Les zones d'échanges, la billetterie, l'information, les zones de petit commerce et les locaux techniques sont construits en sous sol proche de la surface par des méthodes à ciel ouvert, ces locaux étant d'une largeur inférieure à la zone non effrandi prévue de 36m. Deux zones sont prévues du fait de la longueur des quais et de la nécessité d'évacuer toutes les personnes des quais ou descendant des rames par le plus court chemin vers la surface. Il est évident que cet agencement doit être revu avec l'agencement général de la zone aéroportuaire.

2.7.3 Construction

2.7.3.1 La géotechnique

Dans le cas où des venues d'eau surviendraient, il faudra faire des rabattements au puits.

La nécessité de faire un rabattement de nappe sera définie à l'issue d'une campagne complète de reconnaissance de sol qui sera à faire dans les phases ultérieures d'études.

2.7.3.2 Les méthodes

Le niveau quai

La conception multivoûtes prévue permet un phasage de construction par méthode traditionnelle. La grandeur de la voûte centrale et la qualité des terrains font qu'il faut commencer à construire les galeries d'accès et des galeries extérieures qui serviront de piédroits d'appui des voûtes centrales et latérales. Ces galeries seront excavées en disposant un soutènement à base de cintres et de béton projeté. Ces galeries recevront ensuite le revêtement définitif. Les voûtes sur quais seront excavées de la même manière. A ce stade des études, le revêtement sera coulé en place derrière le soutènement ou sera préfabriqué en voussoirs.

Les locaux en sous sol seront exécutés à ciel ouvert. Suivant l'avancement de la zone aéroportuaire, il y aura un talutage possible ou pas en tête suivi ensuite d'un soutènement en parois moulées ou en berlinoise suivant le niveau des nappes perchées.

2.7.4 Les entonnements

2.7.4.1 Conception

Les entonnements sont les ouvrages en amont et en aval de la gare qui permettent aux voies de se rejoindre dans le monotube courant.

Ces ouvrages comportent deux parties :

Une section en monotube qui pourra être faite au tunnelier suivant le diamètre choisi. S'il est limite, il ne permettra pas l'installation de communications croisées permettant le passage d'une voie principale à l'autre. Il faudra alors construire un monotube en méthode traditionnelle pour l'installation de cette communication.

Ensuite, les voies off lines se débranchent de chaque côté des voies principales. Ces débranchements ne peuvent se faire en face l'un de l'autre car cela conduirait à un ouvrage de plus de 30m d'ouverture. Il faut donc faire deux ouvrages consécutifs, l'un pour la voie 1, l'autre pour la voie 2. Ces ouvrages de débranchement conduisent à des voûtes de 15 à 20m d'ouverture, ce qui est plus envisageable.

2.7.4.2 Construction

La construction de ces ouvrages est possible en méthode traditionnelle à l'aide de cintres et de béton projeté pour le soutènement et coulage ensuite du revêtement.

Ces ouvrages seront exécutés à partir de puits réalisés depuis la surface. Ces puits suivant allotissement serviront de puits d'introduction ou de sortie des tunneliers. Suivant le planning de réalisation d'ensemble de la ligne, il faudra aussi prévoir le passage du tunnelier forant le tunnel courant dans ces ouvrages et peut être dans la gare elle-même. La conséquence en sera l'augmentation des sections des ouvrages.

2.7.5 Aspect sécurité

La conception de la nouvelle gare TGV à Orly en liaison avec les aéroports sera faite en application de la législation et de la réglementation en vigueur, plus particulièrement l'arrêté du 24 novembre 2007 (publié 16 avril 2008) portant application des règles de sécurité contre les risques incendie et de panique dans les gares. Les dispositions constructives demandées aux articles GA14 à GA48 concernant les établissements de type GA des quatre premières catégories seront mises en œuvre.

A ce stade de l'étude, rappelons les points suivants :

- Accès routiers des secours : pour les solutions B1 et B2, l'infrastructure de la nouvelle gare se trouve à proximité des aéroports, déjà bien desservies par le réseau routier et accessibles aux services de secours. Pour les solutions B3 et B4, les accès routiers pourront être trouvés aux extrémités de la gare projetée.
- Dégagements et évacuation : au moins deux dégagements sont implantés au niveau des quais pour accéder aux niveaux supérieurs et aux sorties.
- Compartimentage et comportement au feu : tous ces éléments seront vérifiés et confirmeront la résistance et la stabilité au feu, l'étanchéité aux fumées, notamment pour les locaux techniques ou espaces commerciaux éventuels, et lorsque la gare est isolée d'autres installations. A noter que les aéroports ne sont pas nécessairement isolés de la gare TGV (article GA17.3). Une

étude spécifique sécurité sera à faire afin de vérifier notamment l'interaction potentielle entre la gare TGV et les aérogares.

- Désenfumage : il sera fait en application des règles de l'article GA28 et de l'instruction technique n°246 (Désenfumage dans les établissements recevant du public - Arrêté du 22 mars 2004 modifié par arrêté du 22 novembre 2004)

Pour tous les autres équipements de sécurité, ils seront installés conformément aux règles en vigueur.

Rappelons aussi que l'accessibilité des personnes handicapées sera prise en compte conformément à l'arrêté du 1er août 2006 fixant les dispositions prises pour l'application des articles R. 111-19 à R. 111-19-3 et R. 111-19-6 du code de la construction et de l'habitation relatives à l'accessibilité aux personnes handicapées des établissements recevant du public et des installations ouvertes au public lors de leur construction ou de leur création.

2.7.6 Coût et justification

Gare à 4 voies

Le tableau ci-dessous récapitule la manière dont est estimé le prix d'une gare à 4 voies réalisée entièrement en souterrain, telle que la gare B2 proche des aérogares. Les volumes ont été calculés à partir des plans fournis en annexe 3 (« IS – Sous-dossier Etudes techniques – Annexe 3 – Gare Orly TGV.pdf »).

	Coût unitaire	Volume (m ³)	Coût (M€)
Génie civil gare	670	202110	135.4
Génie civil entonnements	670	200000	134.0
Locaux d'exploitation	450	90000	40.5
Second œuvre et équipements = 30% GC gare			40.6
Equipements ferroviaires = 10% GC (gare + entonnements)			26.9
Total hors majorations			377.5
SAV + PR 25%			471.8
pondération 15%			542.6
MOE CE MOA 19%			645.7
Total avec majorations			645.7

En appliquant les différentes majorations (1.25*1.15*1.19) on arrive à un prix de 645.7 M€.

Nous retiendrons le prix de **650 M€ aux conditions économiques de janvier 2008** comme prix de base pour une gare souterraine à 4 voies de longueur utile de quai de 480 m. Un abattement ou une majoration sera proposée en fonction des conditions de la gare à estimer.

Abattements proposés

Les gares B1, B3 et B4, de part leur localisation sur le site, pourront être réalisées partiellement en tranchée ouverte. Leur coût devrait donc s'en voir réduit ; les abattements ci-dessous sont proposés :

- gare B1 « Cœur d'Orly » : Un tiers de la longueur de l'ouvrage, y compris entonnements, peut être réalisé en tranchée ouverte. On propose un abattement de 10% : la partie réalisée en tranchée ouverte est certes moins chère, mais le volume excavé reste important, l'abattement n'est donc pas proportionnel au linéaire en tranchée ouverte.
- gare B3 « Rungis-La Fraternelle » : Elle peut être réalisée à 100% en tranchée ouverte. On propose donc un abattement de - 25%.
- gare B4 « Pont-de-Rungis » : Une bonne proportion peut être réalisée en tranchée ouverte a priori, cependant le site est contraint. On propose donc un abattement de 15%.

2.8 TEXTES DE RÉFÉRENCE

2.8.1 Références réglementaires

- Instruction Technique Interministérielle n°98 300 du 08 Juillet 1998 relative à la sécurité dans les tunnels ferroviaires
- Spécification Technique d'Interopérabilité « Sécurité dans les tunnels ferroviaires » du système ferroviaire transeuropéen conventionnel et à grande vitesse

2.8.2 Références techniques de l'étude

- LGV PACA - CRITERES DE CONCEPTION ET DE DIMENSIONNEMENT DES SECTIONS DE TUNNELS DE LIGNES A GRANDE VITESSE – Setec – 12/2004
- ST 0010 Mémoire ind.B 110708 : LGV PACA - Etudes complémentaires suite au Débat Public - Mission d'expertise sur la conception des tunnels dans le cadre de la STI « Sécurité dans les tunnels ferroviaires » - Mémoire de synthèse
- [1], « Aérodynamique dans les tunnels du TGV Méditerranée », Daniel ANDRE, Revue Générale des Chemins de Fer – Février 2002 p.97-101 »
- [2] : « Référentiel Génie Civil » de RFF
- [3] : « Code de l'Union Internationale des Chemins de Fer n°779-11 « Détermination de l'aire de la section transversale des tunnels ferroviaires à partir d'une approche aérodynamique ».

2.8.3 Fiches de référence

- Fiche de référence S12 – Gare Haussmann-Saint-Lazare
- Fiche de référence S14 – Gare Magenta