

Étude de faisabilité NFL long terme  
études d'exploitation, de faisabilité technique  
et d'insertion territoriale

Réseau Ferré de France  
DR Rhône Alpes Auvergne

# Rapport final

## Volet technique : Scénario B

### Identification

---

	Projet	Numéro	Version	Pages
Identification	3670	RG140370	C	134

	Établi par	Vérifié par	Approuvé par
Nom	Ghyslain Le Bihan	Nicolas Clerc	Nicolas Clerc
Fonction	Responsable infra	Chef de Projet	Chef de Projet
Date	08/10/2014	08/10/2014	08/10/2014



**Objet du document**

La présente note analyse la faisabilité technique du scénario B

Indice	Établi par	Date	Objet de la modification
A	Ghislain LEBIHAN	10/01/2014	Création du document
B	Nicolas CLERC	10/06/2014	Prise en compte des remarques de RFF et ses AMO
C	Nicolas CLERC	08/10/2014	Prise en compte des remarques partenaires



## Sommaire

---

<b>1</b>	<b>Objectifs et besoins fonctionnels</b>	<b>7</b>
1.1	Volume et type de trafic	7
1.2	Affectation des voies et raccordement	8
1.3	Vitesse	15
1.4	IPCS et banalisation	16
1.5	Sécurité	16
1.6	Gabarit	21
<b>2</b>	<b>Contexte</b>	<b>24</b>
2.1	Description générale du contexte géologique et géotechnique	24
2.1.1	Géologie	24
2.1.1	Géotechnique	27
2.1.2	Principaux risques géotechniques	28
2.2	Contexte hydraulique et hydrogéologique	29
2.2.1	Description générale du contexte hydrogéologique	29
2.2.2	Principaux risques	30
2.2.3	Premières conclusions relatives aux conditions de réalisation des ouvrages	32
2.3	Gare et secteur Part-Dieu	33
2.3.1	Gare Part-Dieu	33
2.3.2	Environnement de la gare : le projet Part-Dieu	35
<b>3</b>	<b>Présentation générale du tracé et des variantes</b>	<b>38</b>
<b>4</b>	<b>Configuration des tunnels</b>	<b>42</b>
4.1	Tunnel monotube (scénario B0)	43
4.1.1	Section d'un tunnel monotube	44
4.1.2	Puits de sécurité	45
4.2	Tunnel bitube (scénario B4)	50
4.2.1	Section d'un tunnel bitube	51
4.2.2	Rameaux inter-tubes	52
4.3	Principe de réalisation des tunnels et méthode d'exécution	54
4.1	Synthèse comparative des options de tunnel	61
<b>5</b>	<b>Gare souterraine de Part-Dieu</b>	<b>62</b>
5.1	Caractéristiques géométriques des ouvrages	62
5.1.1	Caractéristiques géométriques des ouvrages principaux et des entonnements	62
5.1.2	Caractéristiques des ouvrages d'accès voyageurs	67
5.1.3	Installation de chantier, puits de chantier, galerie de chantier	71
5.2	Implantation de la gare	74
5.2.1	Implantation altimétrique	74
5.2.2	Implantation en plan et azimut de la gare	75
5.3	Méthode de réalisation des puits de chantier et des puits d'accès pour les voyageurs	79





5.4	Creusement de la gare et des entonnements .....	79
5.4.1	Rappel des méthodes envisageables (rapport d'étape).....	79
5.4.2	Creusement de la gare et des entonnements en méthode conventionnelle .....	81
5.5	Synthèse comparative des options de gare.....	86
<b>6</b>	<b>Raccordements.....</b>	<b>87</b>
6.1	Ouvrages de génie civil.....	87
6.2	Raccordement Nord .....	90
6.3	Raccordements Sud : scénario B0 .....	91
6.4	Raccordements Sud : scénario B4 (bitube).....	95
6.5	Raccordement sur les voies Racc (scénario B4).....	100
6.6	Synthèse comparative des solutions de raccordement.....	101
<b>7</b>	<b>Equipements du tunnel et de la gare.....</b>	<b>102</b>
7.1	Equipements du tunnel .....	102
7.1.1	Equipements de sécurité .....	102
7.1.2	Equipements de ventilation .....	105
7.2	Equipements ferroviaires.....	109
7.2.1	Voie ferrée.....	109
7.2.2	Signalisation .....	109
7.2.3	IFTE / EALE .....	109
<b>8</b>	<b>Impact hydrogéologique des ouvrages.....</b>	<b>111</b>
8.1	Généralités.....	111
8.2	Synthèse des résultats de l'étude hydrogéologique.....	112
<b>9</b>	<b>Gestion des déblais et des eaux d'exhaure .....</b>	<b>114</b>
9.1	Déblais.....	114
9.2	Gestion des eaux d'exhaure.....	114
<b>10</b>	<b>Réseaux .....</b>	<b>116</b>
10.1	Energie.....	116
10.1.1	Electricité .....	116
10.1.1	Gazoducs et oléoducs .....	116
10.2	Assainissement .....	116
10.3	AEP .....	116
<b>11</b>	<b>Chiffrage .....</b>	<b>117</b>
11.1	Périmètre .....	117
11.1	Analyse des risques identifiés et des sommes à valoir.....	117
11.1.1	Somme à valoir.....	118
11.1.2	Provision pour risques .....	118
11.2	Méthode.....	120
11.3	Coût global du scénario B.....	122
11.4	Analyse de sensibilité sur la longueur des quais.....	123





<b>12 Organisation des travaux et planning de réalisation.....</b>	<b>124</b>
12.1 Organisation générale de la réalisation des travaux.....	124
12.2 Planning.....	124
12.2.1 Planning des travaux de génie civil.....	124
12.2.2 Planning de réalisation .....	126
<b>13 Phasage.....</b>	<b>127</b>
<b>14 Conclusion.....</b>	<b>128</b>
14.1 Synthèse comparative sur les scénarios souterrains .....	128
14.2 Points à approfondir dans les études ultérieures.....	132
<b>15 Annexes.....</b>	<b>134</b>

## Lexique des abréviations

Abréviations	Signification
<b>BS</b>	Branchement simple : Appareil de voie permettant le dédoublement d'une voie
<b>BPNL</b>	Boulevard Nord du Périphérique
<b>CCR</b>	Commande centralisée du réseau qui consiste à regrouper les postes d'aiguillage en un seul poste de commande
<b>EALE</b>	Equipements d'Alimentation des Lignes Electrifiées
<b>IC</b>	Train régional intercity
<b>IPCS</b>	Installations permanentes de contresens
<b>ITC</b>	Interruption temporaire de circulation
<b>LC</b>	Ligne classique
<b>LGV</b>	Ligne à Grande Vitesse
<b>LN4</b>	Ligne nouvelle n°4 = LGV Montanay-Valence
<b>LTV</b>	Limitation temporaire de vitesse
<b>MR</b>	Train régional de maillage régional
<b>PAI</b>	Poste d'aiguillage informatique
<b>PK</b>	Point kilométrique
<b>PRA</b>	Pont rail : ouvrage ferroviaire permettant à la voie ferrée de franchir un obstacle
<b>PRS</b>	Poste tout relais à transit souple
<b>PMV</b>	Poste à manette de voie
<b>PN</b>	Passage à niveau
<b>PRG</b>	Poste tout relais géographique
<b>PRO</b>	Pont route : ouvrage routier enjambant la voie ferrée
<b>SIF</b>	Schéma des infrastructures ferroviaires
<b>SRGV</b>	Service régional à grande vitesse
<b>TAGV</b>	Train apte à la grande vitesse
<b>TJD</b> 	Traversée Jonction Double : Appareil de voie permettant de croiser une voie par une autre ou de passer d'une voie à l'autre selon toutes les possibilités
<b>TJS</b> 	Traversée Jonction Simple : Appareil de voie permettant de croiser une voie par une autre ou de passer d'une voie à l'autre d'un seul côté
<b>TN</b>	Terrain naturel
<b>TO</b>	Traversée oblique : appareil de voie permettant de faire croiser une voie par une autre sans qu'il ne soit possible d'agir sur l'orientation du train

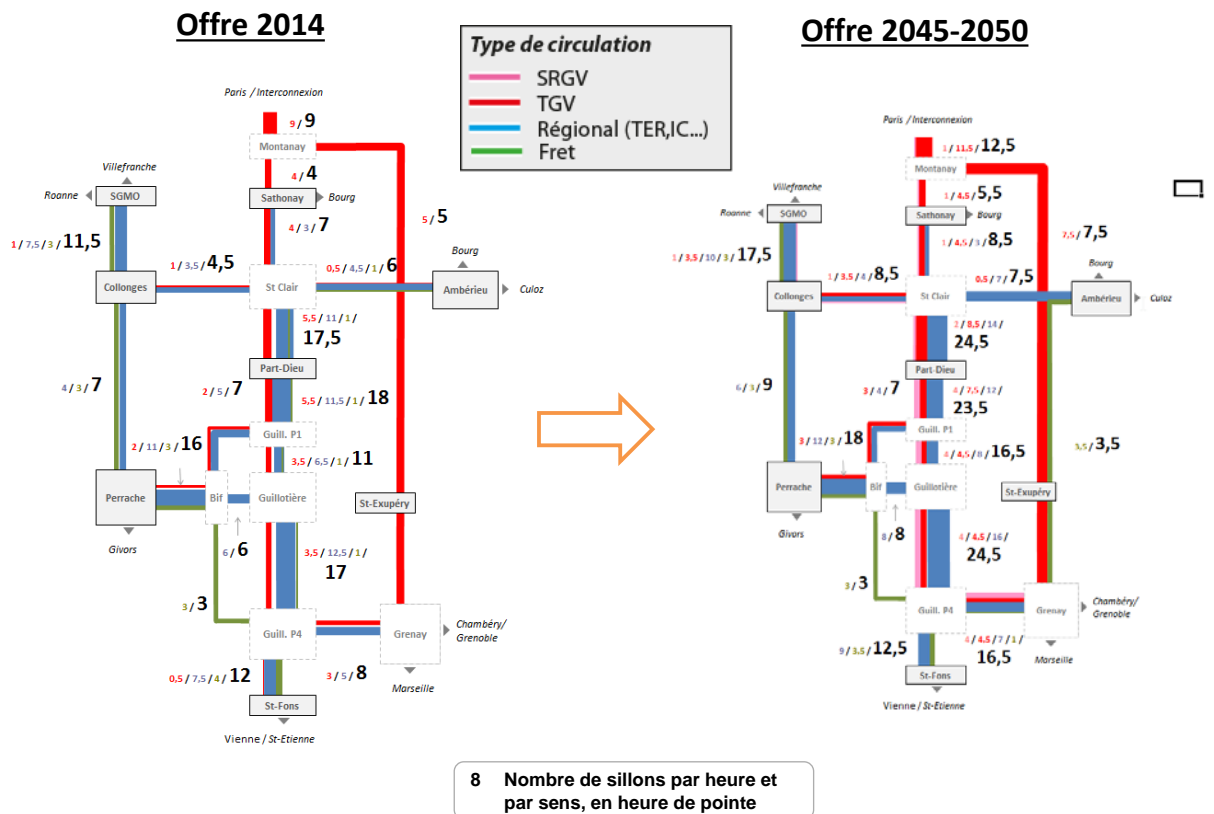
# 1 Objectifs et besoins fonctionnels

Les objectifs d'amélioration de la section Saint-Clair – Guillotière ont été développés dans le rapport d'étape. Ils sont rappelés ici pour mémoire.

## 1.1 Volume et type de trafic

A l'horizon long terme, l'hypothèse de développement de l'offre ferroviaire conduit à un total en heure de pointe de 24,5 sillons par heure et par sens entre Saint-Clair et Part-Dieu et de 24,5 sillons (dont 1 sillon technique) par heure et par sens entre Part-Dieu et Guillotière (poste 15).

Figure 1 : Schéma de synthèse de l'évolution du nombre de sillons en heure de pointe



La nouvelle section de ligne souterraine permet de faire circuler les trains en provenance de la ligne d'Ambérieu, soit 7 sillons par heure et par sens. Un sillon TAGV toutes les deux heures (0,5 sillon par heure) venant de Genève emprunte ou n'emprunte pas la nouvelle section selon s'il est en coupe/accroche avec un sillon intersecteur venant de LN1. Il reste alors en surface 17,5 sillons par heure et par sens entre Saint-Clair et Guillotière, soit plus ou moins le nombre de circulations actuelles (16,5 sillons par heure et par sens dans l'horaire 2013).

A long terme, le trafic empruntant la section souterraine est donc composé au nord de Part-Dieu de :

- 4 PU Lyon – Ambérieu ;
- 3 IC Lyon – Besançon / Lyon – Genève / Lyon – Annemasse / Thonon ;

En gare de Part-Dieu, ces circulations sont diamétralisées avec des circulations desservant les branches de Grenoble, Vienne et St Etienne :

- 4 MR Lyon – St Etienne / Lyon – Vienne ou bien 4 PU Lyon – Bourgoin ;
- 2 IC Lyon – Grenoble et 1 IC Lyon – Le Puy en Velay

Il reste alors sur les voies existantes 16,5 sillons par heure et par sens soit plus ou moins le nombre de circulations actuelles (15,5 sillons par heure et par sens dans l’horaire 2013).

## 1.2 Affectation des voies et raccordement

### Mixité

La première phase d’étude a permis de retenir une solution de tunnel voyageur uniquement. Pour mémoire, les éléments conduisant à ce choix sont :

- les contraintes de sécurité vis-à-vis des voyageurs en gare souterraine qui ne permettraient pas la circulation de fret pendant la période où la gare est ouverte aux voyageurs (§ 4.4.6 de la STI en projet « Operational rules may manage the safe operation of freight and passenger traffic, by separating these types of traffic for example. » et § 4.3.1 de l’ITI 98-300 « S’agissant de tunnel sur lignes urbaines ou sur lignes à voyageurs, la circulation dans les mêmes plages horaires de trains de voyageurs et de trains de fret est interdite. ») ;
- les contraintes techniques de rampes au niveau des émergences de tunnel qui ne permettent pas de se raccorder au réseau existant sans impacts majeurs sur l’environnement urbain ;
- accessoirement, la faible demande pour le fret de transit, qui empruntera le CFAL à long terme et qui peut également emprunter la ligne de surface.

**Tableau 1 – pentes et rampes maximales autorisées suivant les types de trafic**

	Pente maximale	Rampe maximale (normal – exceptionnel)
Automotrice, TAGV	<20‰ pour une zone de longueur quelconque	35‰
Rame tractée 10 voitures	<25‰ pour une zone de longueur ≤ 2 000 m	18-24‰
Fret 1 400 t	<30‰ pour une zone de longueur ≤ 1 000 m	13‰-17‰
Fret 1 800 t	<35‰ pour une zone de longueur ≤ 400 m	10‰-14‰

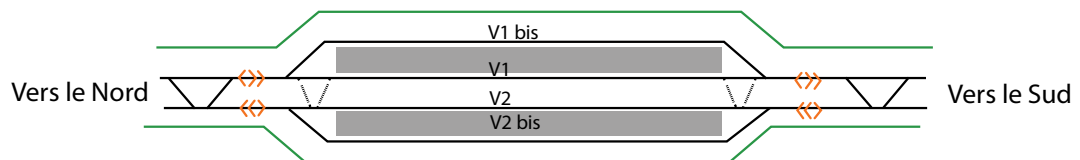
## Gare souterraine

Les études d'exploitation montrent que la gare doit comporter 4 voies à quai. La longueur utile des quais envisagée à ce stade des études est de 330 m de long. Cette longueur permet de recevoir des TER de 110 m (Régio 2N version longue) en UM3. Cette longueur ne permet pas de recevoir des rames TGV en UM2. L'unique circulation TGV qui pourrait emprunter le tunnel (sillon TGV Lyon – Genève qui ne serait pas en coupe/accroche à Part-Dieu) serait alors dirigée vers la gare de surface si elle était en UM2. A un stade plus avancé des études, en fonction des résultats de reconnaissances géotechniques et des méthodes de construction envisagées, il conviendra de réexaminer ce choix de longueur afin de prendre en compte l'évolution du trafic à long terme (confirmation du besoin ou de l'absence de besoin) sachant qu'**un agrandissement ultérieur de l'ouvrage réalisé est pratiquement inenvisageable.**

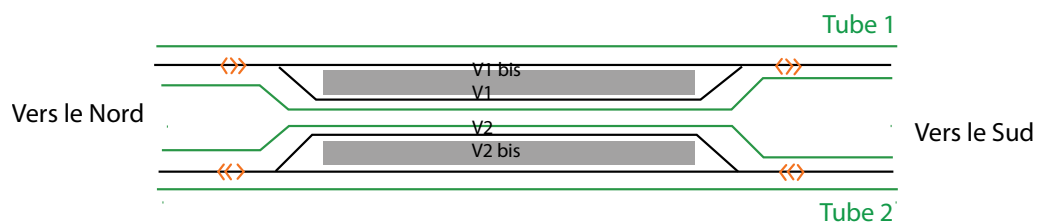
La vitesse des itinéraires d'entrée / sortie des voies déviées se fera à 60 km/h ce qui constitue le bon compromis permettant de ne pas trop ralentir la marche d'un train (à 60 km/h, un train met 270 m à s'arrêter) sans allonger la gare de manière trop importante.

Selon le type de tunnel se raccordant à la gare (monotube ou bitube), plusieurs configurations du plan de voies sont possibles :

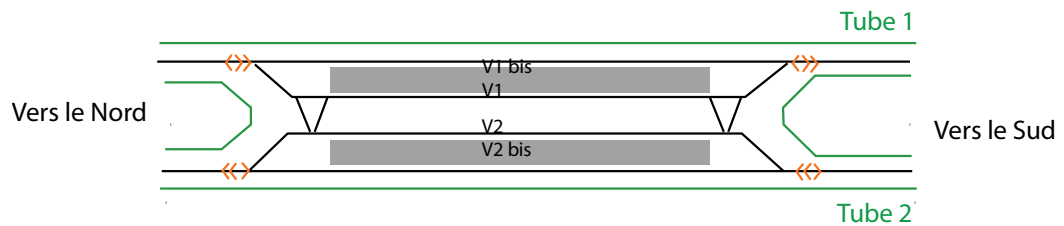
- La configuration associée à un ouvrage monotube permet, relativement facilement, l'implantation de communications dans le tunnel pour passer d'une voie à l'autre en entrée de gare. Il est ainsi possible d'accéder aux 4 voies à quai. Des communications supplémentaires en extrémité de quai (en pointillé sur le schéma) peuvent ajouter des fonctionnalités supplémentaires au prix d'un allongement de l'ouvrage ;



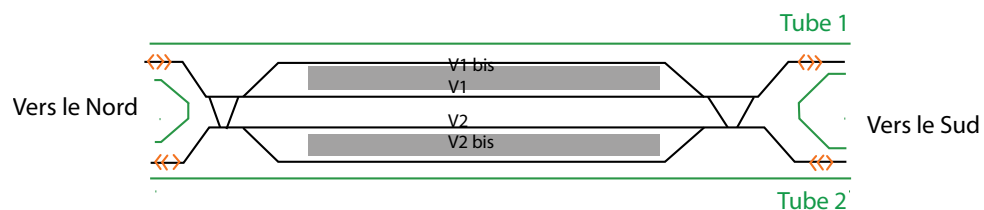
- La configuration de base associée à un ouvrage bitube qui impose la séparation totale des flux sans possibilité de basculer d'une voie à l'autre dans le tunnel. Chaque voie de ligne donne accès à 2 voies à quai ;



- Une configuration plus riche, associée à un ouvrage bitube avec un tube unique pour les deux voies centrales, qui permet l'accès aux deux voies centrales par les deux sens de circulation au prix d'un allongement important de l'ouvrage pour permettre l'implantation des communications ;



- Une configuration associée à un ouvrage bitube avec une section en monotube en tête de gare qui permet donc d'offrir les mêmes fonctionnalités que pour un monotube. L'ouvrage est alors exceptionnellement long pour permettre l'implantation de toutes les communications.

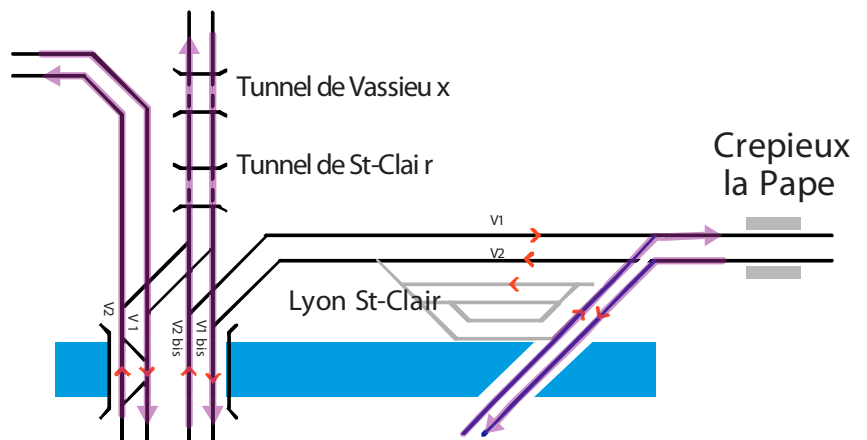


Une comparaison des avantages et inconvénients fonctionnels des deux premières configurations a été réalisée dans une note spécifique « NG140078B – Fonctionnalité du tunnel et de la gare souterraine la Part-Dieu » présentée en annexe. **Il ressort que la configuration monotube offre des avantages en termes de souplesse d'exploitation mais que ces avantages sont limités dans le cas du présent projet. En effet, dans le cas de situations dégradées (avarie dans un tunnel), le nombre de circulations envisagés est suffisamment faible pour pouvoir être géré convenablement avec configuration bitube. En conséquence, les deux dernières configurations, associées à un ouvrage bitube mais beaucoup plus complexes sur le plan technique (cf. 5.1.1), n'ont pas été étudiées à ce stade car elles apporteraient peu d'avantages au prix d'une complexité technique jugée excessive.**

### Raccordement de Saint-Clair

La nouvelle infrastructure se raccorde à la ligne Lyon – Ambérieu à Saint-Clair. Les études d'exploitation ont montré que la dénivellation de ce raccordement n'était pas nécessaire à long terme. L'intérêt de cette dénivellation serait à examiner à un horizon intermédiaire dans lequel le CFAL n'est pas réalisé mais l'aménagement du NFL est réalisé et dans lequel le fret emprunterait les infrastructures existantes générant des cisaillement potentiel au point de raccordement de Saint-Clair.

Figure 2 – Principe d'organisation des circulations à Saint-Clair



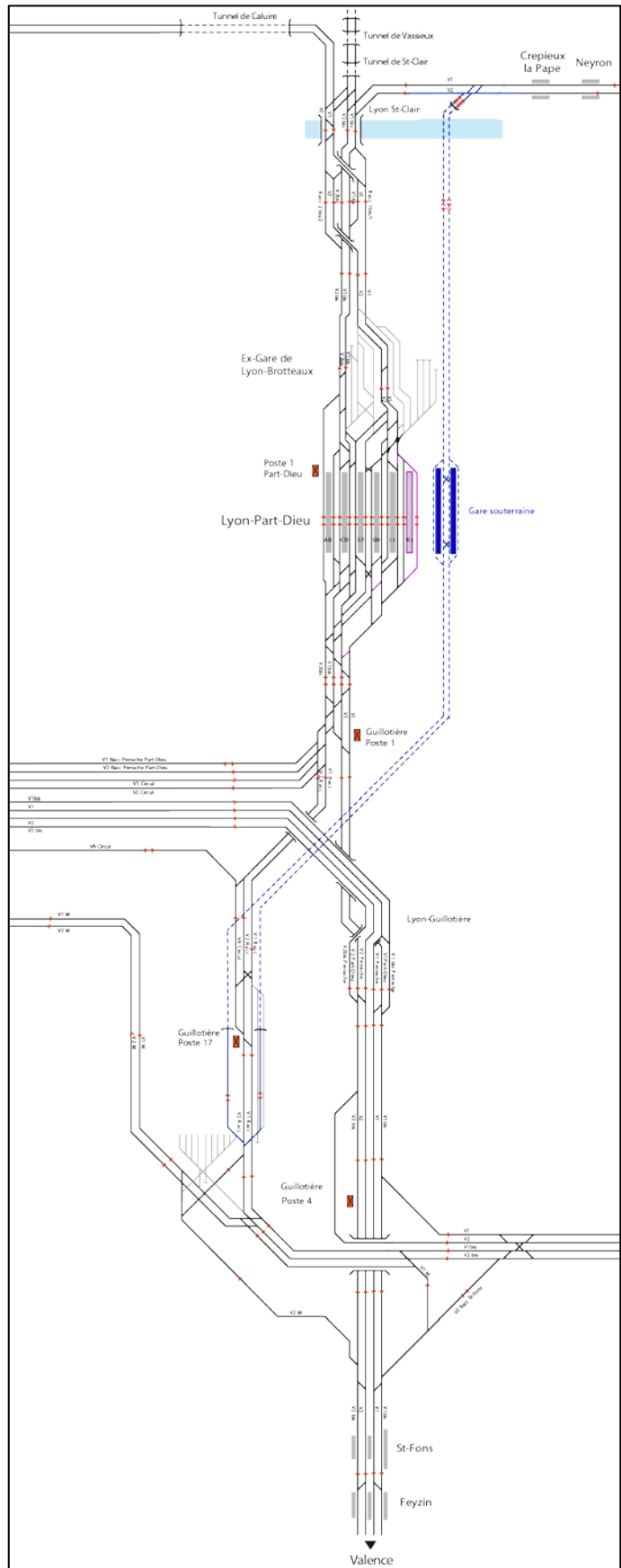
### Raccordement de Guillotière

Dans le scénario B, l'émergence du tunnel se fait au niveau de Guillotière. Plusieurs variantes fonctionnelles et techniques ont été identifiées qui font l'objet d'une analyse spécifique (note « NG140078B – Fonctionnalité du tunnel et de la gare souterraine la Part-Dieu » présentée en annexe) :

- Raccordement sur les voies « Racc » (scénario B0) ;
- Raccordement sur les voies PLM (scénario B1), raccordement dont la réalisation pose de lourdes contraintes sur l'exploitation ferroviaire et dont l'étude n'est pas approfondie à ce stade ;
- Raccordement sur les voies bis de la PLM et les voies 1 et 2 vers Grenoble (scénario B4).



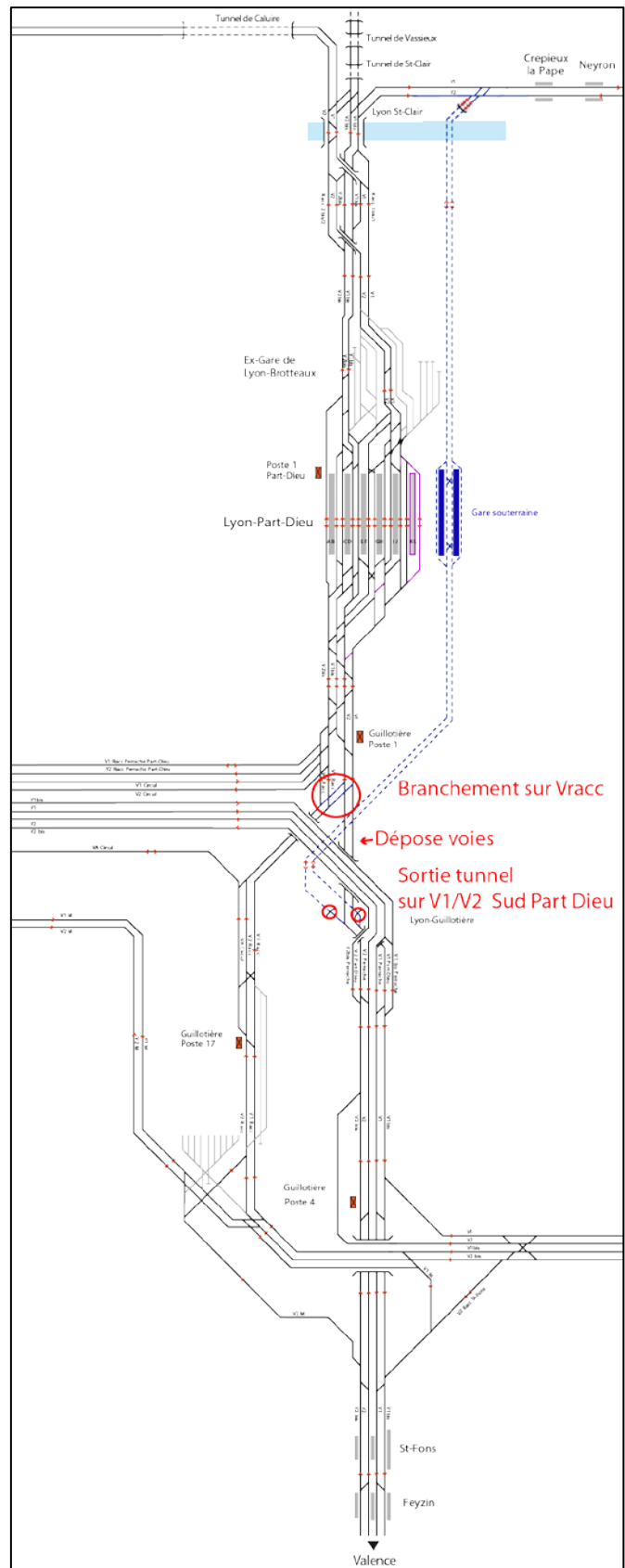
Ci-contre, le scénario B0, dont le raccordement Sud se fait dans la zone du poste 17 de Guillotière avec un branchement sur les voies V1 / V2 Racc.





Ci-contre, le scénario B1 dont la sortie du tunnel s'effectue directement sur les voies principales de la PLM.

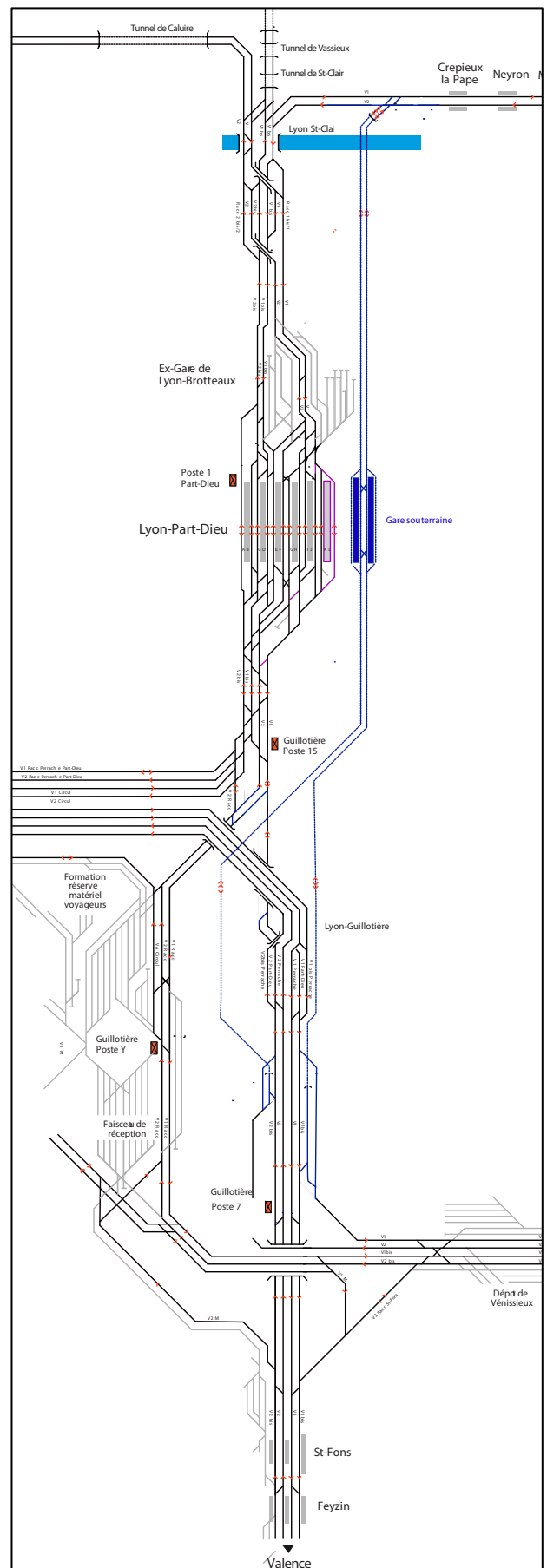
En complément, les voies principales de la PLM sont reliées aux voies Racc dans la zone du poste 1 de Guillotière et ne se prolongent plus sur le plateau actuel.





Ci-contre, le scénario B4 pour lequel le raccordement s'effectue directement sur les voies bis de la PLM et les voies vers Grenoble.

En complément, les voies principales de la PLM sont reliées aux voies Racc dans la zone du poste 1 de Guillotière et ne se prolongent plus sur le plateau actuel.



### 1.3 Vitesse

Ce sujet fait l'objet d'une note spécifique « NG140078C – Fonctionnalité du tunnel et de la gare souterraine la Part-Dieu » présentée en annexe. Les principaux résultats sont énoncés ici.

L'objectif de temps de parcours est le maintien des temps de parcours actuel. Une vitesse de fond de ligne de 120 km/h est proposée pour le tunnel. Des limitations locales sont nécessaires :

- Au niveau de l'émergence Nord, la vitesse de conception sera de 90 km/h pour permettre un franchissement du Rhône à l'Est des ouvrages existant (évite ainsi les risques de tassement sous les 2 ponts de franchissement du Rhône et sous la tranchée couverte du BPNL) ;
- En gare, les voies déviées sont circulées à 60 km/h pour permettre l'utilisation d'appareils de voie de tangente élevée et limiter les longueurs d'ouvrages souterrains.

Le tableau suivant résume les premières estimations de temps de parcours réalisées sur la base de ces hypothèses. Avec les vitesses considérées, les objectifs fonctionnels sont atteints.

**Tableau 2 – Comparaison de temps de parcours (hors marges)**

Section \ Matériel	Z 27500	TGV POS
Crépieux – PD actuel	4'15"	4'20"
Crépieux – PD sc B rectiligne	4'10" si V120	4'20"
Crépieux – PD sc B en « S »	4'25"	4'35"
PD – St Priest actuel via PLM	7'25"	7'35"
PD – St Priest actuel via Racc ; bis	8'50"	9'05"
PD – St Priest sc B rectiligne	6'40"	6'55"
PD – St Priest sc B en « S »	7'00	7'15"

## 1.4 IPCS et banalisation

Ce sujet fait l'objet d'une note spécifique « NG140078B – Fonctionnalité du tunnel et de la gare souterraine la Part-Dieu » présentée en annexe. Les principaux résultats sont énoncés ici.

La banalisation des voies n'est *a priori* pas indispensable dans la mesure où l'exploitation des voies se fait dans le sens normal en régime nominal. Il est en revanche nécessaire de munir les 2 voies du tunnel d'IPCS afin de permettre une utilisation à contre sens, en situation dégradée. Pour assurer un bon niveau de performance en régime dégradé, les IPCS doivent être à cantons courts pour permettre un espacement identique dans le sens normal et à contresens. Au final, la différence de technique entre une banalisation des voies et la mise en place d'IPCS à canton court est faible (problématique de positionnement des signaux à droite ou à gauche), c'est la solution banalisation des voies qui est retenue à ce stade des études. Ce choix pourra être questionné à nouveau dans les études ultérieures.

En cas de signalisation de type ERTMS-2, les voies seront de fait banalisées.

Pour être fonctionnelle, la banalisation des voies s'accompagne de la réalisation de communications permettant d'emprunter les voies à contresens. Ces communications seront implantées à chaque tête de tunnel et au niveau de la gare dans le cas du tunnel monotube.

## 1.5 Sécurité

### Référentiels réglementaires applicables

Les ouvrages souterrains de transport ferroviaire français sont soumis à 2 textes en matière de sécurité. Ces textes traitent à la fois du cas des tranchées couvertes et des tunnels (ouvrages appelés « tunnels » dans les textes). Les champs d'application des textes réglementaires sont les suivants :

- **Instruction Technique Interministérielle (ITI) relative à la sécurité dans les tunnels ferroviaires n°98-300 du 8 juillet 1998.** L'ITI est applicable pour les tunnels neufs du Réseau Ferré National, de 400 m à 10 km (5 km en cas de convois d'AF). Au-delà de ces longueurs, une commission *ad hoc* doit être mise en place. Les seuils considérés dans le texte sont : 400 m, 800 m, 5 km et 10 km ;
- **Spécification Technique d'interopérabilité n°2008/163/CE.** La STI actuelle est applicable pour les tunnels de 1 à 20 km du réseau transeuropéen sauf autre indication (*i. e.* l'application de certaines dispositions pour des tunnels plus courts, en considérant les seuils de 100 m et de 500 m). Une **nouvelle STI tunnel est en cours de préparation et un projet de texte existe**. Cette STI n'est pas encore applicable mais le sera à partir de 2015 en principe. Elle étend le seuil d'application aux tunnels à partir de 100 m. Elle modifie les gabarits de cheminement et introduit la notion de « *fire fighting point* » (point de lutte contre l'incendie). Les éléments du texte actuel ont été pris en compte.

Bien que non réglementaire, les recommandations de la **fiche UIC779.9 de septembre 2003**, concernant la sécurité dans les tunnels ferroviaires, sont prises en considérations.

La circulaire du 26 mars 2010 relative à l'articulation entre la spécification technique d'interopérabilité et l'instruction interministérielle relative à la sécurité dans les tunnels ferroviaires fixe les règlements applicables à la conception d'un nouveau tunnel et les liens entre eux. Avec une longueur de 8 km, la variable déterminant le règlement pour le projet NFL est l'appartenance du tunnel au RTE, ce qui est le cas : **la STI s'applique donc et non l'ITI**. Toutefois la circulaire précise « [...] dans la mesure où les dispositions de la STI ont vocation à fixer les principaux objectifs de sécurité à atteindre et non la méthode et les moyens à mettre en oeuvre, les autorités nationales demeurent compétentes pour préciser ces derniers. Ainsi, les dispositions relatives à l'évacuation des voyageurs et à l'engagement opérationnel des services de secours publics peuvent nécessiter l'indication par les autorités nationales des mesures ou des équipements particuliers à mettre en oeuvre, non détaillés dans la STI. L'ITI 98-300 constitue, en ce cas, un référentiel pertinent dès lors que les mesures qu'elle contient permettent de couvrir le niveau de risque présenté par le nouveau système et de satisfaire à l'objectif de sécurité fixé par la STI. Toutefois, des solutions différentes des préconisations recommandées par l'ITI peuvent être proposées par le promoteur du projet dès lors que ce dernier démontre qu'elles permettent d'atteindre de façon équivalente les objectifs de sécurité fixés par la STI.



**Au stade de la faisabilité, l'approche proposée pour la conception des ouvrages du NFL est donc de prendre en compte le maximum de recommandation de l'ITI en complément de la STI si les règles sont plus contraignantes.**

#### Catégorie de la ligne et conséquences sur les éléments de sécurité

L'ITI fait une distinction entre « lignes urbaines », « lignes mixtes », « lignes à voyageurs ». Les « lignes urbaines » sont (§1.4.1) « *implantées en milieu urbain ou périurbain et dédiées au transport des voyageurs (et éventuellement au transport de marchandises en dehors des plages horaires réservées aux voyageurs), il s'agit des lignes communément appelées lignes de banlieue, métro, réseau express régional... et 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.* » Pour ces lignes, deux exigences supplémentaires sont imposées :

- Dispositifs d'accès des secours tous les 800 m (§4.1.2). Il n'est toutefois pas précisé si ces dispositifs doivent relier la surface ou si, dans le cas d'un tunnel bitube une galerie de communication entre tube peut être considérée comme un tel dispositif.
- Ventilation et désenfumage avec une vitesse de balayage de 1,5 m/s (§4.2) ;

Dans le cas d'un tunnel bitube non situé sur une ligne urbaine, des galeries de communication entre tubes sont nécessaires tous les 800 m pour les lignes voyageurs (§4.1.3).



**A ce stade des études, le classement de la ligne reste à déterminer**, car si le tunnel servira au trafic régional, les flux de voyageurs resteront modérés par rapport à une ligne de métro ou de RER. Au stade de la faisabilité, il faut prévoir le classement de la ligne en « ligne urbaine » et se conformer aux prescriptions correspondantes. **En accord avec le CETU, il a néanmoins été considéré à ce stade, qu'une solution bitube munie de rameaux tous les 500 m était conforme à la STI et donc suffisante et ne nécessitait pas en plus de dispositifs d'accès des secours reliant la surface (puits).**

### Catégorie de matériel roulant



**Les règlements de sécurité imposent des règles différentes selon la résistance au feu des matériels empruntant le tunnel.** La spécification technique d'interopérabilité tunnel (STI Tunnel) distingue le matériel de catégorie A et de catégorie B. L'ITI distingue le matériel « moderne », « modernisé » et « standard ». A ce stade des études, le type de matériel qui empruntera le tunnel n'est pas déterminé mais il faut envisager que n'importe quel type de matériel voyageur circulant sur le RFN pourra l'emprunter. Les hypothèses retenues à ce stade sont donc celles de matériels de catégorie A au sens de la STI et standard au sens de l'ITI.

Au stade de la faisabilité, l'approche proposée pour la conception des ouvrages du NFL est de considérée la « ligne urbaine » circulée par du matériel « standard » au sens de l'ITI ou de « catégorie A » au sens de la STI ;

### Principales prescriptions pour le projet NFL

Les principales prescriptions sont résumées dans le tableau suivant.

**Tableau 3 – Résumé des principales contraintes réglementaires de sécurité**

	APPLICATION DE LA STI	ITI 98-300	Nouvelle STI Et fiche UIC
<b>Cheminement d'évacuation</b>	§4.2.2.7 – Tout le long du tunnel devra être prévu un cheminement d'une largeur libre de tout obstacle de 0.75 m et une hauteur de 2.25 m et le niveau du cheminement doit se situer au moins à hauteur du rail (aucune valeur n'est indiquée).	§3.1.2 – un cheminement d'évacuation est obligatoire. 2 options sont possibles : trottoir avec main courante ou radier avec limitation de la hauteur de marche à 40 cm (pas de traverses en saillie).	§4.2.1.6 – La dimension est portée à 0.8x2.3 m.  La fiche UIC recommande 1.2 m.
<b>Dispositif d'accès des secours</b>	§4.2.2.6.2 – Intégrés avec les issues de secours.	§4.1.2 – Obligatoire pour les lignes urbaines : distance inférieure ou égale à <b>800 m</b> .	
<b>Evacuation des voyageurs (=issues de secours)</b>	§4.2.2.6.3 – une sortie tous les 1000 m pour le monotube ; §4.2.2.6.4 – une communication tous les 500 m pour le bitube.	§4.1.3 – le matériel roulant doit pouvoir atteindre la sortie du tunnel. En cas d'arrêt, priorité est donnée à l'évacuation des passagers par un autre train. Dans le cas des tunnels bitubes sur ligne à voyageurs, il faut des galeries de communication entre tubes tous les 800 m.	§4.2.1.5.2 – tous les 1000 m pour un tunnel à plusieurs voies, tous les 500 m pour un tunnel à une voie.

	APPLICATION DE LA STI	ITI 98-300	Nouvelle STI Et fiche UIC
<b>Aires de secours</b>	§4.2.2.12 – <b>Des aires de secours d'une superficie d'au moins 500 m<sup>2</sup> sont prévues, à proximité du tunnel</b> , sur les voies d'accès. Les routes existantes peuvent être considérées comme des aires de secours. Si la route d'accès n'est pas suffisamment praticable, des solutions de substitution sont mises en place en consultation avec les services de secours.	§3.1.1 – Des parkings de dimensions suffisantes pour permettre le stationnement et le retournement des véhicules de secours sont aménagés à proximité de chaque tête de tunnel.	§4.2.1.7. – Point de lutte contre l'incendie aux têtes de tunnel.
<b>Point de lutte contre l'incendie</b>			§4.2.1.7. – Un point de lutte contre l'incendie doit être présent tous les 5 km pour du matériel de catégorie A.
<b>Ventilation, désenfumage</b>	Les refuges doivent tenir compte de la nécessité de lutter contre les fumées. Pour un ouvrage bitube, le tube servant à l'évacuation doit tenir compte de cette contrainte. Les points de lutte contre l'incendie doivent également tenir compte de cette contrainte. Une analyse et une étude de ventilation devront être menées pour définir le système de ventilation répondant aux exigences de la STI.	Obligatoire pour les lignes urbaines.	Analyse spécifique.

L'analyse des textes montre que l'ITI prévoit des accès de secours et non pas des issues de secours (secours prévus par un autre train) alors que la STI repose sur un principe d'auto-sauvetage des voyageurs. On retient le principe de la STI mais on cherchera, dans le cas d'un monotube, à avoir un espacement des puits de 800 m maximum. **Les principales contraintes que l'on retient pour la conception sont ainsi :**

- Réalisation d'un cheminement d'évacuation par voie ;
- Réalisation d'issues de secours : puits tous les 800 m dans le cas d'un monotube, rameaux intertubes tous les 500 m dans le cas d'un bitube. Ces éléments sont détaillés dans les paragraphes 4.1.2 Puits de sécurité et 4.2.2 Rameaux inter-tubes ;
- Réalisation d'aires de secours aux têtes de tunnel avec un accès routier et un parking (cf. 7.1.1 Equipements de sécurité) ;
- La gare souterraine pourra faire office de « point de lutte contre l'incendie » comme demandé dans la nouvelle STI (vf 7.1.1 Equipements de sécurité) ;
- Prévoir un gabarit suffisant pour loger des accélérateurs nécessaires au désenfumage.

### Contraintes réglementaires de sécurité pour la gare souterraine (Sc. B)

Réglementairement, les exigences en matière de sécurité sont précisées par :

- Arrêté du 25 juin 1980 modifié portant approbation des dispositions générales du règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public ;
- Arrêté du 24 décembre 2007 portant approbation des règles de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les gares (ERP-GA) ;
- La STI tunnel n°2008/163/CE qui traite le cas des gares souterraines ;
- La Spécification Technique d'Interopérabilité PMR n°2008/164/CE. Cette STI renvoie aux exigences nationales pour l'éclairage des issues de secours et précise les largeurs des portes : largeur libre minimale de 800 mm et une hauteur libre minimale de 2 100 mm.

La STI tunnel précise dans son article 1.1.4 que les gares doivent satisfaire les exigences pertinentes de la STI tunnel ainsi que les règles nationales de sécurité incendie pour les parties de gare accessibles au public. La gare peut, dans ce cas, être considérée comme un refuge au sens de la STI. La gare sera également un point de lutte contre l'incendie au sens de la nouvelle STI (cf. 7.1.1 Equipements de sécurité) ; ceci suppose que les cheminements d'évacuation soient dimensionnés en conséquence (§4.2.1.7.e.1 de la future STI).

Conformément à l'arrêté du 24 décembre 2007 portant approbation des règles de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les gares (ERP-GA), les quais sont considérés comme un emplacement à caractère d'exploitation ferroviaire où le public stationne et transite (Article GA 5.1). A ce titre, ils doivent disposer d'au moins deux dégagements (Article GA 23.2.2). Deux solutions sont alors possibles :

- soit les deux dégagements du quai se rejoignent vers un même puits d'accès dans lequel deux parcours bien séparés l'un de l'autre permettent de rejoindre la surface ;
- soit les dégagements sont répartis en deux puits d'accès.

**Par souci de sécurité et pour des raisons fonctionnelles et constructives, la solution à deux puits d'accès est ici privilégiée.**

D'autre part, l'article GA 23.2 stipule, à propos des emplacements où le public stationne, qu'« en atténuation de l'article CO 35 §4 du règlement de sécurité, les culs de sac doivent être inférieurs à 20 mètres ». Cependant, la réglementation ne mentionne pas la notion de cul de sac pour les emplacements où le public stationne et transite, comme les quais. Les interprétations du texte peuvent être sujettes à divergence sur cette question de cul de sac sur les quais :

- soit l'on dissocie sur le quai un emplacement où le public stationne d'un emplacement où il transite, et alors on applique la règle du cul de sac inférieur à 20 mètres ;
- soit on applique strictement le texte et l'on ne peut justifier de s'affranchir de cette contrainte.

Quelle que soit l'interprétation du texte, il ne faut pas oublier qu'en cas de sinistre, tout doit être mis en œuvre pour sauver les vies. Il n'est donc pas raisonnable de concevoir une gare souterraine avec des culs de sac importants au niveau des quais, et un compromis est à trouver entre la suppression des culs de sac et la bonne



répartition des flux voyageurs sur tout le linéaire du quai. Les études menées dans le volet « Gare » ont conduit à positionner des issues de secours en extrémité de quais.

Accès direct à un escalier

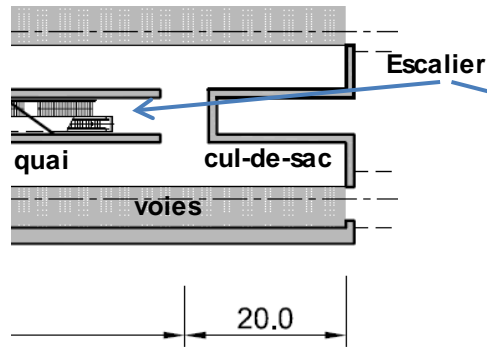
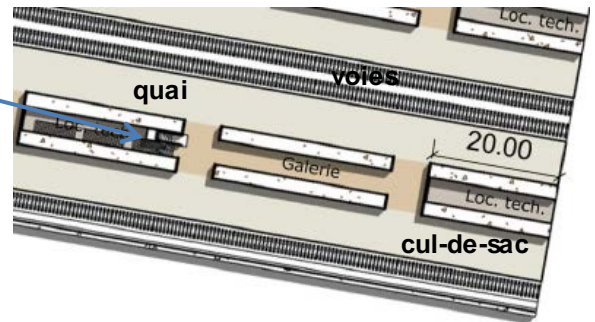


Figure 3 – Cul de sac en extrémité de quai  
Accès à une galerie avant l'escalier

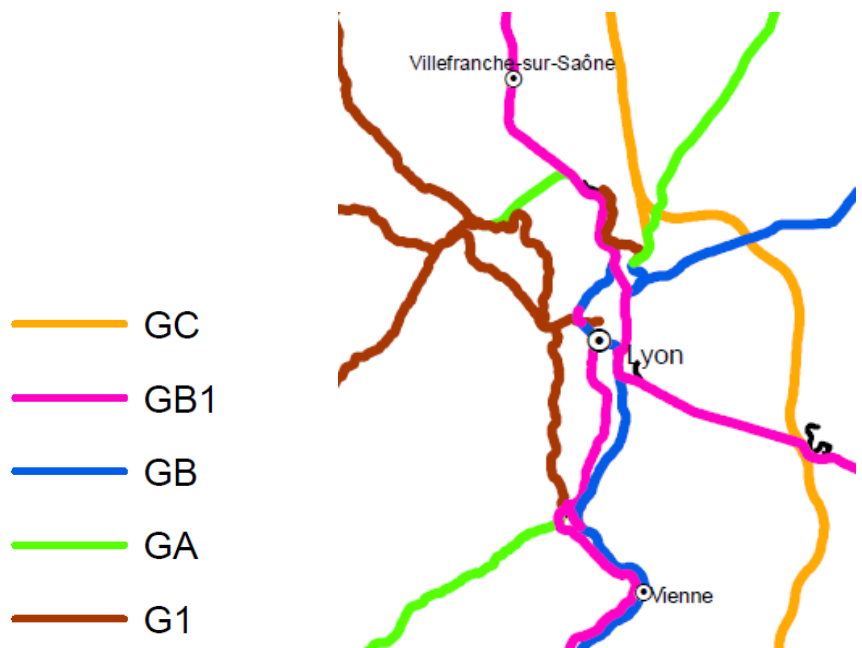


## 1.6 Gabarit

### Gabarit ferroviaire

Le gabarit limite envisagé est le gabarit FR3.3. (anciennement appelé 3.3) qui permet la circulation de matériel roulant à double étage. Ce gabarit est enveloppe du gabarit G1 (anciennement appelé 3.1) tel que défini par la fiche UIC 505-1 et dans lequel s'inscrit par exemple le régió 2N.

Figure 4 – Gabarits sur le NFL



### Sécurité du personnel

L'ITI indique que dans le cas où certaines opérations de maintenance sont envisagées pendant le passage des trains, des dispositions nécessaires à la mise en sécurité des agents de maintenance (niches de sécurité, main courante...) sont prises. L'IN 0162 prévoit, soit le dégagement du contour P1 (piste de 70 cm de largeur en dehors de la zone dangereuse de 1,50 m à partir du bord extérieur du rail) de manière continue, soit la réalisation de niches tous les 25 à 30 m de 0,5 m de profondeur (2,06 m du bord intérieur du rail). La STI n'aborde pas la mise en sécurité des agents de maintenance.

Dans la mesure où il n'est pas possible de réaliser des niches pour un tunnel creusé au tunnelier, deux options sont envisageables :

- Réaliser un tunnel de diamètre suffisant pour accepter le contour P. Le surcoût pourra être très conséquent, si cela nécessite une augmentation importante du diamètre du tube ;
- Considérer que la maintenance se fera en dehors des heures de circulation des trains (cas de EOLE).

Au niveau de la faisabilité, l'hypothèse de dégager le contour P est retenue.

La piste de maintenance est généralement située 25 cm en dessous du plan de roulement. Il est convenu que cette disposition ne s'applique pas pour une section en tunnel. Le niveau de la piste de maintenance sera tout de même abaissé le plus possible.

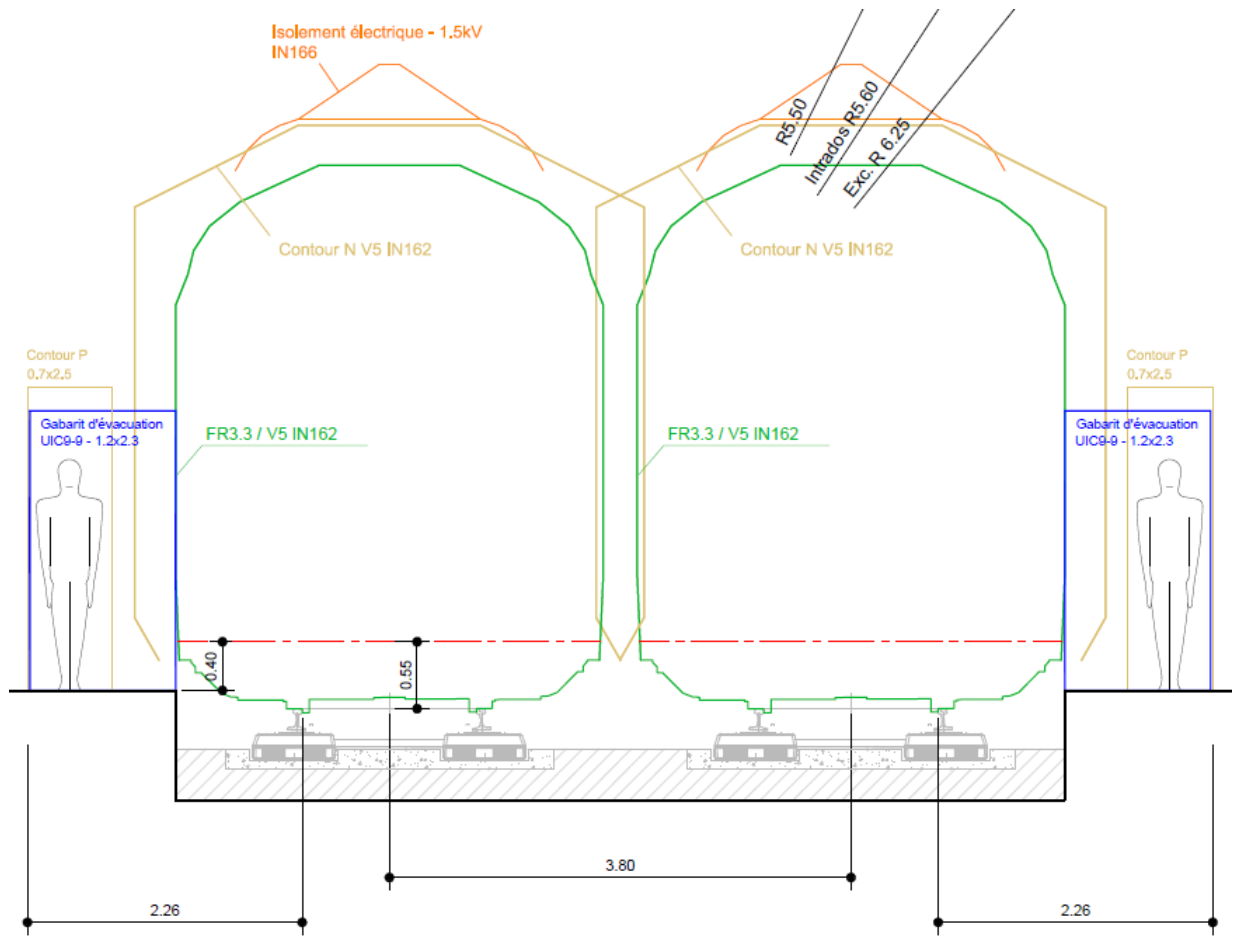
### Secours, évacuation

Un cheminement d'évacuation est prévu pour l'évacuation et l'accès des secours. La STI indique que les dimensions minimales de ce cheminement sont de 2,3 m de haut par 0,8 m de large. L'ITI précise que le niveau du cheminement ne doit pas se situer à moins de 40 cm du plancher du matériel roulant (situé à 55 cm du plan de roulement pour un matériel standard). L'UIC recommande de considérer une largeur de cheminement de 1,2 m.

Au niveau de la faisabilité, **l'hypothèse est prise de considérer un cheminement d'1,2 m de large** et de le positionnement à 15 cm au-dessus du plan de roulement (40 cm sous le plancher). Ceci permet de répondre à l'objectif d'avoir une piste la plus basse possible.

A la différence du contour « P », ce cheminement est dégagé au-delà du gabarit limite FR3.3 et non au-delà de la zone dangereuse car l'évacuation se fait sous arrêt de la circulation des trains.

Figure 5 – Synthèse des gabarits considérés



## 2 Contexte

---

### 2.1 Description générale du contexte géologique et géotechnique

#### 2.1.1 Géologie

Le contexte géologique de la région lyonnaise est bien connu en raison des nombreux ouvrages souterrains réalisés. Ce paragraphe décrit le contexte géologique à l'échelle du secteur d'étude, à savoir la ville de Lyon et celle de Villeurbanne, ainsi que celles de Saint-Fons et Vénissieux, partiellement, en limite Sud.

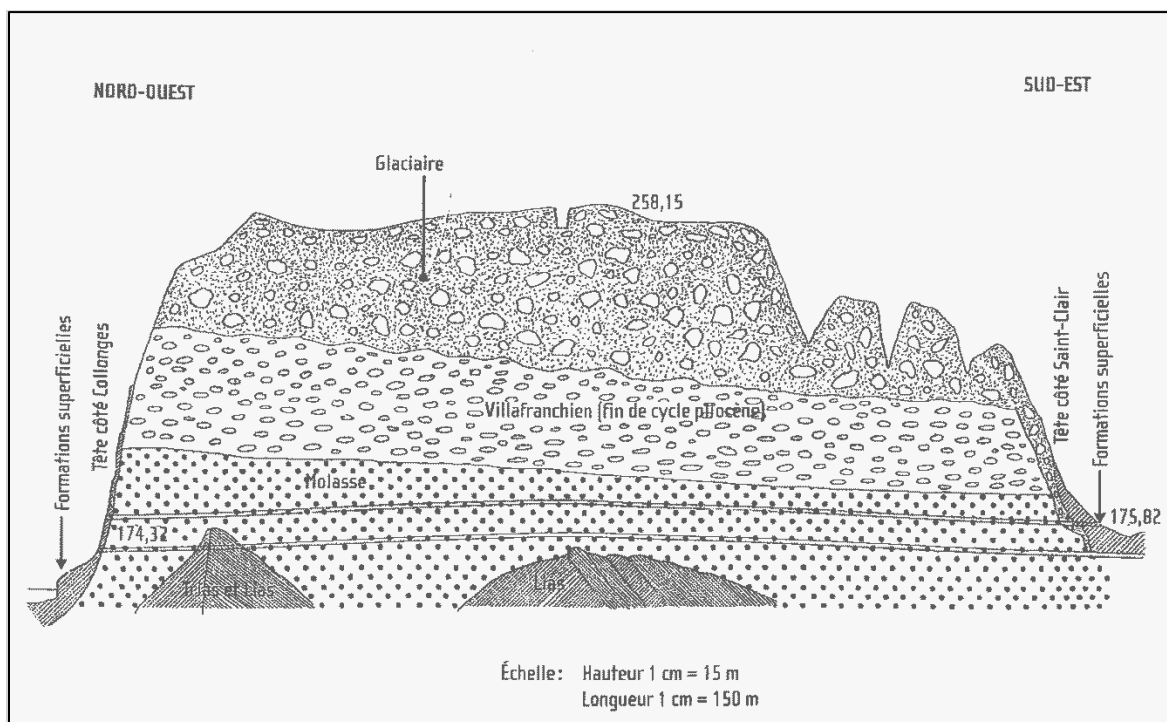
Sur le plan géologique, on peut retenir chronologiquement :

- Les terrains antérieurs à la réalisation du fossé rhodanien, qui s'étalent de l'Antécambrien jusqu'au Crétacé, constituent le socle du futur fossé effondré. On parle de terrains cristallins, qui affleurent en rive droite de la Saône (colline de Fourvière) et du Rhône (après la confluence) ainsi que sur le Nord de la Presqu'île (pentes de la colline de la Croix Rousse) ;
- Les séries de comblement du fossé, du Crétacé terminal jusqu'au Quaternaire, regroupent l'Eocène, l'Oligocène, le Miocène et le Pliocène ; si l'Eocène, l'Oligocène et le Pliocène sont peu présents au droit du secteur d'étude, le Miocène lyonnais se caractérise par des sédiments à dominante sableuse jaune ou grise, à grain fin. Ces sables, essentiellement calcaires et micacés, sont d'origine alpine et souvent consolidés en **molasse**. Cette molasse se retrouve essentiellement sur la rive gauche du Rhône et s'étend sous la plaine de l'Est lyonnais ;
- Au Quaternaire, les glaciers alpins ont envahi la totalité de la zone d'étude. Les dépôts sont majoritairement glaciaires. Le fossé est recouvert de dépôts essentiellement morainiques qui se déposent sur les reliefs existants. A l'aval du front glaciaire (Lyon), et suites aux différentes phases de retraits successifs, se sont mis en place des dépôts fluvio-glaciaires résultant principalement des eaux de fonte des glaciers ;
  - Les formations morainiques présentes sur la zone résultent de la dernière glaciation du Würm. Sur la région de Lyon, elles sont de 2 types : soit les moraines argileuses « argiles à blocs », soit les moraines caillouteuses. Elles se retrouvent essentiellement sur les paléo-reliefs du Tertiaire (Miocène) dont les buttes témoins de Bron et de Décines en sont le parfait exemple. Plus à l'Ouest, les moraines recouvrent encore de manière conséquente les collines de la Croix Rousse et de Fourvière ;
  - Les formations fluvio-glaciaires se sont déposées lors des différents stades de retrait du glacier würmien. Elles résultent d'un alluvionnement lié aux eaux de fusion des glaciers. Ces alluvions ont alors rempli les anciennes vallées ou dépressions de la région. Ces formations rencontrées sur la zone ont toujours la même composition : une base constituée de dépôts glaciaires, surmontés par des dépôts glacio-lacustres, fluvio-glaciaires ou issus de moraines remaniées ; enfin, au sommet, le caractère fluvio-glaciaire s'accroît, les dépôts sont de plus en plus lessivés par les eaux de fusion ;

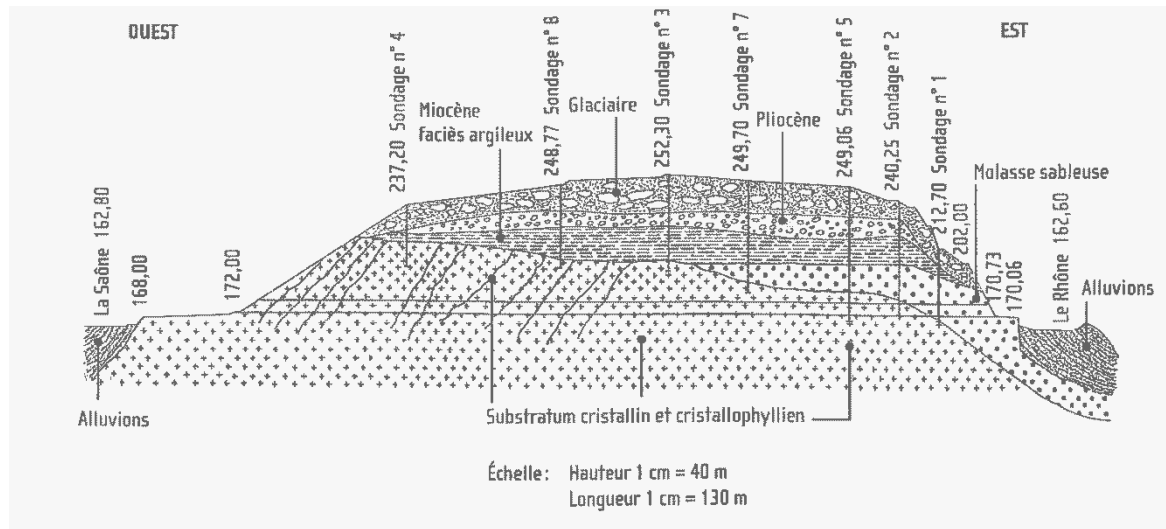
- Les alluvions fluviales würmiennes : ces formations fluviales disposées en terrasses accompagnent les stades de retrait des glaciers et constituent un prolongement des nappes fluvio-glaciaires. Sur la zone d'étude, elles sont représentées par les terrasses de Villeurbanne et de la Guillotière ;
- Les alluvions fluviales modernes se retrouvent principalement dans les plaines alluviales du Rhône et de la Saône. Elles se caractérisent principalement par un faciès sablo-graveleux, et par quelques niveaux tourbeux et argileux souvent superficiels.

Les figures présentées ci-dessous donnent une approche de la disposition des différentes formations géologiques présentes sur l'agglomération lyonnaise. Cette disposition résulte principalement de la dernière glaciation (Würm).

**Figure 6 – Coupe géologique du tunnel de Saint-Clair** extrait de livre « Géologie du Grand Lyon », N. Mongereau (2005)



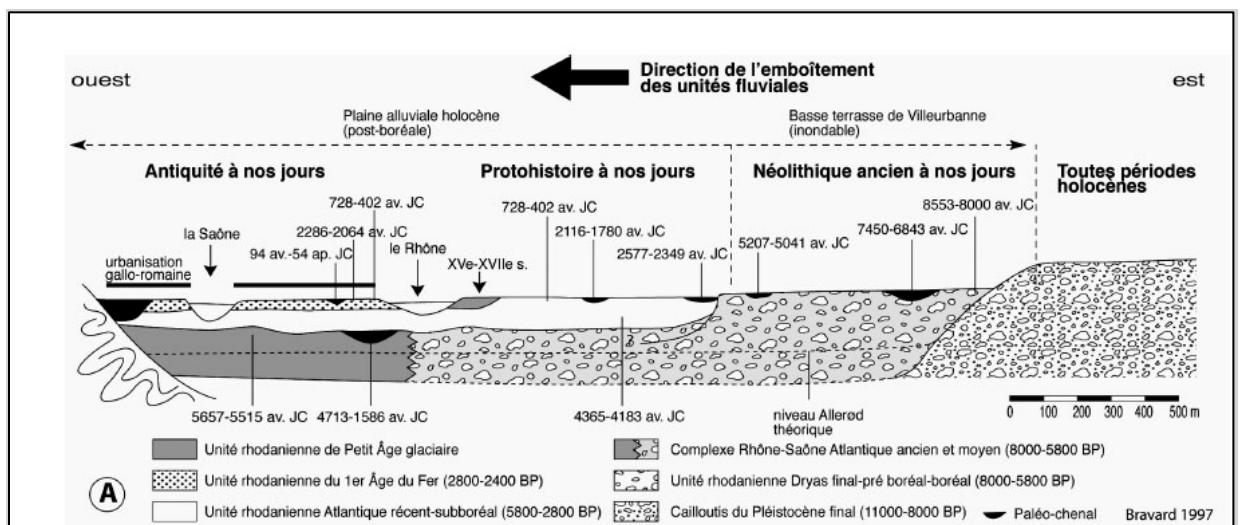
**Figure 7 – Coupe géologique du tunnel de Croix-Rousse** extrait de livre « Géologie du Grand Lyon », N. Mongereau (2005)



Le secteur d'étude, se situant uniquement dans la large plaine alluviale du Rhône, permet de ce fait quelques simplifications. Ainsi, le substratum est représenté par la molasse (tertiaire), tandis que la zone aquifère est constituée quasiment en intégralité par les alluvions modernes (du Rhône). En effet, les alluvions fluvio-glaciaires présentes dans l'Est lyonnais s'amincissent et disparaissent progressivement vers l'Ouest sous les alluvions modernes. On retrouve donc les alluvions modernes sur la molasse tertiaire, avec localement quelques mètres d'alluvions fluvio-glaciaires et/ou de moraines argileuses (ces moraines sont peu présentes sur Lyon et Villeurbanne, mais peuvent être rencontrées au Sud du domaine d'étude (Saint-Fons ou Vénissieux).

Le futur projet s'inscrit perpendiculairement à la coupe présentée ci-dessus.

**Figure 8 – Coupe géologique simplifiée de la plaine alluviale du Rhône (Bravard, 1997).**



### 2.1.1 Géotechnique

Pour ce qui concerne les éléments géotechniques, les formations rencontrées par le projet se caractérisent par :

#### Les terrains tertiaires

- Argiles rouge-vert, sableuses à passées conglomératiques, c'est la « formation du Jardin des Plantes » d'origine littorale. De bonne compacité, cette formation présente des caractéristiques mécaniques élevées mais peut aussi contenir de l'eau au sein de lentilles très perméables qu'il convient alors de drainer ;
- Les sables molassiques : formation à disposition lenticulaire de sables fins compacts à passées grossières. Des horizons grésifiés d'épaisseur décimétrique et d'extension décimétrique à décamétrique confèrent à cette formation une bonne stabilité d'ensemble. A l'affleurement, des falaises verticales peuvent être préservées (par exemple : les balmes de Saint-Fons). Cependant, ces reliefs à nu connaissent un recul par écaillage lié à l'apparition de fissures de traction parallèle au plan de la falaise. L'action atmosphérique altère peu à peu leurs caractéristiques d'origine. Elles sont très dangereuses à l'arrière des murs de parement. Des épisodes argileux ou argilo-silteux se rencontrent, notamment au sommet de la formation. Très compacts, ils sont sujets à des variations de consistance en fonction de la teneur en eau ;
- Les argiles graveleuses : couronnant le Tertiaire, ces argiles à sable grossier, sont épaisses et compactes. La mise en place lenticulaire entraîne des variations granulométriques qui rendent les circulations d'eau possibles dans les lentilles plus sableuses qu'argileuses. Mécaniquement très compactes, elles doivent être diagnostiquées avec soin en raison de leur fonction aquifère (nombreuses galeries).

#### Les terrains pliocènes à plio-quadernaires

- Les argiles silteuses jaunâtres et des argiles plastiques grises assurent la transition pliocène. Les premières comportent des lits grésifiés qui leur donnent une bonne cohésion. Les deuxièmes, plus rares – secteur du Bon Pasteur à la Croix Rousse par exemple – s'altèrent à l'affleurement ;
- Les cailloutis dits plio-villafranchiens : cette formation de galets de quartzite emballés dans une matrice argileuse plus ou moins sableuse rougeâtre est très compacte et peu perméable. Ils sont présents sur le plateau de l'Ouest (Point du Jour, Duchère, etc.).

#### Les formations morainiques

- La moraine caillouteuse : de type fluvio-glaciaire, cette formation de nature lenticulaire, est sablo-caillouteuse. D'épaisses lentilles de galets sont ponctuées par des lentilles de sable gris. Très perméable, naturellement drainée, cette formation présente des horizons de poudingues à forte cimentation calcaire. Ils modifient les propriétés aquifères et favorisent le lessivage des lentilles de sable meuble. Les poudingues, à l'affleurement sur les versants ou dans le front de taille des anciennes carrières, forment des surplombs qui basculent parfois en raison du sous-cavage de niveaux meubles. Bon terrain d'assise, il nécessite des reconnaissances en raison des vides possibles. D'importants talus à 80° ont été traditionnellement pratiqués, non sans danger, par les anciens carriers ;

- La moraine argileuse : classique « argile à blocs », cette formation très hétérométrique comporte des galets quelquefois striés (calcaires) ou cassés et quelques blocs erratiques de diamètre métrique au sein d'une matrice argilo-sableuse. Celle-ci peut être franchement argileuse ou plutôt sableuse. Des ensembles sableux peuvent être intercalés dans la formation. Il en ressort une formation qui, en place est bien compacte, mais qui demande une identification approfondie, surtout sur les versants où elle a pu donner des colluvions.

#### Les formations alluviales

- Les alluvions modernes se composent d'un faciès principalement sablo-graveleux et sont caractérisées par une très grande variété : elles peuvent être graveleuses, sableuses, voire argileuses avec des variations métriques. La perméabilité moyenne considérée est de l'ordre de  $10^{-3}$  m/s, la plage de variation se situe entre  $10^{-2}$  m/s dans les niveaux les plus grossiers, et  $10^{-7}$  m/s dans les niveaux argileux.

#### **2.1.2 Principaux risques géotechniques**

Les risques énumérés ici sont repris dans l'analyse de risque présentée en fin de rapport (cf. 11.1.2 Provision pour risques).

Les principaux risques géotechniques sont :

- Les risques de tassement associés à la réalisation des infrastructures souterraines, des tranchées ou des remblais importants ;
- Pour les tunnels, les risques d'instabilité du front de taille par défaut de maintien de la pression de confinement et par avarie sur la tête de coupe. Ce risque est accru en cas de front mixte ;
- Les niveaux de perméabilité variable dans les molasses qui rendent plus complexe le traitement des sols ;
- Le risque associé à l'irrégularité du toit de la molasse, liée à des ravinements superficiels antérieurs au dépôt des alluvions. Des surcreusements de plusieurs mètres pourraient compromettre la stabilité des terrains en voûte. Il convient par conséquent d'assurer une couverture minimale de l'ordre de 5 à 10 m et de vérifier au préalable cette épaisseur par des reconnaissances appropriées et en nombre suffisant ;
- Le risque plus limité, lié à la présence d'aquifère dans les passées plus perméable au sein même de la molasse, pouvant amener des débits plus importants dans les fouilles. Ce risque apparaît limité en l'état de notre connaissance du sous-sol et pourrait être résolu par des traitements localisés renforcés. Ce risque devra être levé par des reconnaissances spécifiques.



## 2.2 Contexte hydraulique et hydrogéologique

### 2.2.1 Description générale du contexte hydrogéologique

Sur le plan hydrogéologique, l'organisation du système aquifère reste d'une relative simplicité, mais son mode de fonctionnement est plus complexe :

- Les alluvions modernes constituent l'aquifère principal et renferment une nappe à surface libre ;
- Cet aquifère repose sur un substratum molassique peu perméable, parfois considéré comme étanche ;
- La nappe alluviale est alimentée par les précipitations (sur des zones perméables peu étendues dans un contexte urbain dense et largement imperméabilisé) mais surtout par les aquifères amont (nappes des couloirs fluvio-glaciaires de l'Est lyonnais) ;
- La nappe s'écoule vers l'Ouest en direction du Rhône puis vers le Sud en relation avec le fleuve (Rhône) ;
- Le Rhône draine la nappe alluviale en situation normale. Son niveau étant régulé à la traversée de Lyon (barrage de Pierre-Bénite à l'aval), le fleuve présente peu de variations de niveau, hormis lors des épisodes de crues dont la durée n'excède cependant pas quelques jours et restent sans effet durable et de longue portée sur l'orientation des écoulements souterrains.

Il est admis que les alluvions fluvio-glaciaires de l'Est lyonnais sont présentes au Sud du canal de Jonage, à l'Est d'une ligne reliant Cusset à Montplaisir (puis Saint-Fons). Par conséquent, ces dépôts ne concernent pas le périmètre d'étude, qui se limite à l'aquifère des alluvions modernes.

Les alluvions modernes du Quaternaire sont caractérisées par des sables, graves et graviers lâches, peu « colmatés » avec des dépôts successifs du Rhône. Il en résulte que cet horizon présente des perméabilités très fortes, allant de  $10^{-2}$  à  $10^{-3}$  m/s et des propriétés mécaniques médiocres pour le creusement.

La nappe est active avec un écoulement orienté Est / Ouest, en direction du Rhône, avec une inflexion vers le Sud à l'approche du fleuve. La nappe est rencontrée à une profondeur voisine de 5 m sous le niveau des voiries. Elle présente un niveau statique qui varie de 164 m NGF au niveau du Parc de la Feyssine, en amont du secteur d'étude, à 160 m NGF à proximité de la confluence du Rhône et de la Saône. Entre ces deux extrémités, la nappe se situe à la cote de 163.5 m NGF environ dans le secteur de la Part Dieu.

Les alluvions se développent dans ce secteur de Lyon sur une épaisseur moyenne d'environ 20 m. Le toit du substratum molassique présente un relief accidenté et ondulé résultant de différents remaniements dus à la divagation des cours d'eau majeurs et de leurs affluents. Ainsi, la cartographie de l'interface alluvions / molasse doit être considérée avec prudence, et le calage altimétrique des ouvrages enterrés doit reposer sur la prise d'hypothèses sécuritaires.

Du point de vue hydrogéologique, la molasse (tertiaire), constituée essentiellement de sables fins, comporte également une nappe qui lui est propre et qui soutient (localement) la nappe des alluvions fluvio-glaciaires. Elle présente une perméabilité comprise en moyenne entre  $10^{-4}$  et  $10^{-5}$  m/s ; mais, localement, des variations importantes peuvent être attendues, avec des perméabilités pouvant atteindre  $10^{-7}$  m/s dans les horizons les plus argileux. A titre d'exemple, le BRGM a pris pour hypothèse, dans son étude intitulée « connaissance

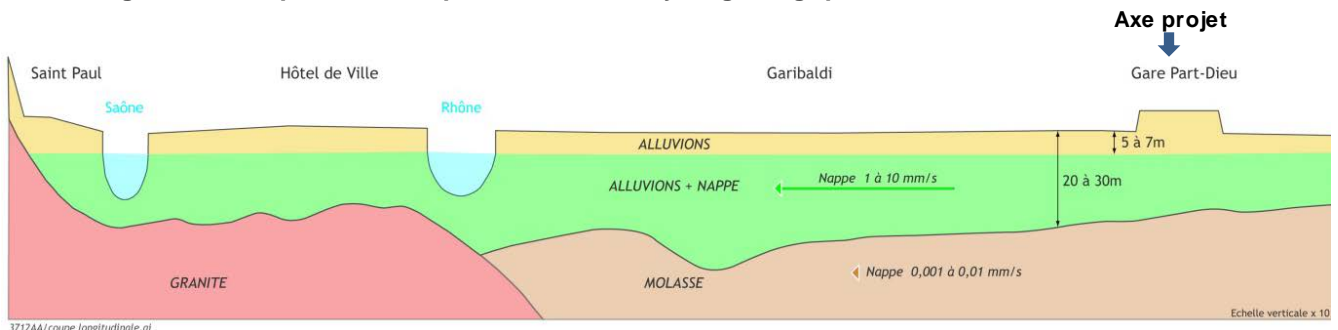
hydrogéologique du sous-sol de l'agglomération lyonnaise », réalisée entre 2004 et 2008, une perméabilité moyenne de la molasse de  $5.10^{-5}$  m/s.

Si ces perméabilités peuvent caractériser des niveaux peu perméables à perméables, la molasse est parfois considérée comme un substratum imperméable au regard du contraste de perméabilité avec les alluvions sus-jacentes, 100 à 1 000 fois plus perméables. En effet, ce contraste implique un débit (ou une vitesse) de circulation dans la molasse 100 à 1 000 fois inférieur à celui transitant dans les alluvions, ce qui se traduit par des impacts négligeables dans la molasse, relativement à ceux observés dans les alluvions.

Au-delà de la molasse, les connaissances du contexte géologique sont fortement réduites en raison de la profondeur importante, non atteinte par la plupart des projets souterrains et des sondages réalisés dans l'agglomération lyonnaise. Toutefois, ces lacunes n'ont pas d'impact sur le plan hydrogéologique puisque l'analyse se limite aux 2 compartiments supérieurs (alluvions et molasse), compte tenu de la profondeur du projet.

Le graphique ci-dessous présente une coupe schématique du sous-sol lyonnais orientée Ouest-Est. On retrouve les 2 entités (alluvions sur molasse) malgré une distinction entre les alluvions saturées (en vert) et désaturées (au-dessus de la nappe, en jaune). On peut aussi noter la présence du granite sous le Rhône voire en rive gauche à plus grande profondeur, qui implique la possibilité de rencontrer du granite dans le secteur du projet.

**Figure 9 – Coupe schématique du contexte hydrogéologique**



### 2.2.2 Principaux risques

Les principales constructions, constituant des exemples à la fois des structures linéaires et des structures ponctuelles, sont le métro et les parkings souterrains. Dans le périmètre concerné par le présent projet, les techniques de construction utilisées sont essentiellement :

- Les tranchées ouvertes pour les émergences ;
- Les tranchées couvertes pour les zones linéaires à faible profondeur ;
- Les tranchées couvertes pour les parkings et stations de métro en terrains meubles ;
- Le tunnelier pour les sections linéaires à grande profondeur et le passage en sous-œuvre d'obstacles (fleuve) ou d'ouvrages préexistants (sous-sols d'immeubles, collecteurs, etc.) ;
- Les tunnels traditionnels pour les ouvrages en terrain résistant (station St Jean – Vieux Lyon).

Ces différentes méthodes constructives peuvent engendrer différents risques, liés à la présence d'une nappe, comme les problématiques de stabilité des ouvrages ou l'effet barrage des ouvrages sur les écoulements souterrains, qui sont détaillés et analysés dans le cadre du projet ci-après. Ils sont repris dans l'analyse de risque en fin de rapport (cf. 11.1.2 Provision pour risques).

### Stabilité des ouvrages

La présence de nappes conditionne fortement le choix des techniques de réalisation en fonction de la profondeur et des conditions de stabilité des ouvrages en exploitation.

Les ouvrages linéaires sont en général autostables sous la poussée d'Archimède étant donné leur section relativement restreinte, ainsi que la charge de terrain au-dessus d'eux et les frottements structure/terrain qui s'opposent à leur soulèvement. On note, cependant, que des tirants d'ancrage de radier ont dû être exécutés dans des trémies ouvertes d'ouvrages routiers. Ces tirants d'ancrage ne sont pas une panacée car ils sont considérés comme des ouvrages susceptibles de perdre leur capacité au fil du temps et nécessitant des contrôles périodiques de leur tension.

Les ouvrages ponctuels sont plus contraints de ce point de vue. On note que deux partis différents ont été pris pour les parkings souterrains et pour les stations de métro. Toutes les stations de métro ont été calculées pour résister au soulèvement pour le plus haut niveau de nappe prévisible ; il a été privilégié des structures massives (radiers et dalles de couverture épais, poteaux,...) et des compléments de blocage au sol adjacent par le biais des soutènements. A l'exception des parkings de bord de Saône inondables en période de crue, tous les parkings publics souterrains à plusieurs niveaux sont protégés de la poussée d'Archimède par un système de radier drainant. Le fond de l'ouvrage est constitué d'un radier coulé sur une couche drainante, à l'intérieur de laquelle un réseau de drains amène l'eau captée vers un ou plusieurs puits, où elle est pompée jusqu'en surface et réinjectée, à partir d'un puits extérieur à l'ouvrage, dans la nappe des alluvions fluvioglaciaires. Le drainage et le pompage de l'eau drainée assurent la maîtrise de la pression de l'eau sous le radier et, par conséquent, de la poussée d'Archimède.

Dans le cadre du projet, les ouvrages concernés par cette problématique sont la gare souterraine et le tunnel de raccordement. Le tunnel n'offre pas *a priori* une surface de résistance suffisamment importante (forme cylindrique et faible diamètre) pour que la poussée d'Archimède s'applique de manière significative et génère un risque important. La gare souterraine est, quant à elle, envisagée dans la molasse qui renferme des écoulements moins importants (débits plus faibles) que dans les alluvions sus-jacentes, du fait d'une perméabilité réduite. Le risque n'est donc pas fort, mais il existe, et il devra être pris en compte dans les études ultérieures (géotechniques) afin de préconiser les dispositions constructives adéquates (tirants ou radier drainant).

### Effet barrage

Voir 8. Impact hydrogéologique des ouvrages.

### 2.2.3 Premières conclusions relatives aux conditions de réalisation des ouvrages

L'analyse du contexte géologique, géotechnique et hydrogéologique conduit aux conclusions suivantes.

#### Pour le tunnel

Du fait de la longueur et du milieu, le creusement du tunnel sera réalisé au tunnelier à pression de confinement (pression de terre ou pression de boue). L'impact du tunnel lui-même est faible sur l'écoulement des nappes. Le tunnelier peut creuser aussi bien la molasse que les alluvions ; toutefois, le creusement dans les alluvions pose les problèmes suivant :

- le milieu est hétérogène avec présence de blocs hiératiques ce qui n'est pas favorable ;
- les risques de tassement sont plus élevés ;
- des infrastructures sont présentes localement (lignes de métro, parking...).

**Au final, la réalisation du tunnel dans la molasse semble une solution beaucoup plus favorable. Cette solution est retenue pour la suite des études. Ce choix implique des pentes et rampes importantes et de grande longueur au niveau des émergences du tunnel.**

#### Pour la gare souterraine

La gare souterraine, dans le contexte géologique et urbanistique du secteur de la Part-Dieu, est à placer au rang des ouvrages complexes et majeurs. Cet ouvrage n'a pas son équivalent dans l'agglomération lyonnaise et constitue une composante forte de la faisabilité du scénario B. De nombreuses contraintes pèsent sur cet ouvrage.

La gare souterraine est de grande taille. Elle doit s'insérer au niveau de Part-Dieu dans un secteur où les obstacles sont nombreux : parkings souterrains, fondations profondes d'immeubles de grande hauteur notamment.

Naturellement, le contexte géologique, les dimensions de la gare et la volonté de limiter les temps de cheminement piéton seraient favorables à une implantation de la gare à l'abri d'une enceinte en paroi moulée, à proximité de la surface et de l'actuelle gare Part-Dieu. Cependant, cette piste est écartée, considération faite de l'occupation du sol et du sous-sol par des parkings, le métro, des IGH et leurs fondations profondes. La présence de grands axes de communication : tramway et trémie routière limitent également les possibilités de réalisation depuis la surface. Avec une longueur pouvant avoisiner les 800 m (quai de 400 m + 2 x 200 m d'entonnement), l'impact urbain est trop fort. L'impact sur l'écoulement de la nappe serait également très fort mais pourrait être atténué par des mesures spécifiques. Les pré-études fonctionnelles, ainsi que le projet du PEM PD, ont écarté ces familles de solution. Elles ne seront pas davantage explorées au cours des études de faisabilité.

**Le principe d'une gare réalisée au moyen de méthode de construction souterraine est à retenir.** Dans ce contexte, seules des méthodes dites traditionnelles ou conventionnelles sont envisageables. Néanmoins, la possibilité d'un creusement mécanisé ne peut toutefois pas être écartée, du moins pour la réalisation d'une partie des ouvrages de la gare. La gare devant être franchie par le tunnel foré, les opportunités apportées doivent être examinées : réalisation partielle de la gare depuis les ouvrages creusés au tunnelier, par exemple.

**Le contexte géologique et géotechnique suggère un positionnement complet de la gare dans le substratum**



**molassique avec une couverture de molasse suffisante au plus haut de la gare.** Fonctionnellement, ces familles d'implantation induisent des distances de parcours importantes pour les voyageurs.

### Prise en compte de la présence d'eau

Les ouvrages sont réalisés dans les molasses à partir du fond de fouille des puits de chantier. L'ensemble des ouvrages est réalisé sous la nappe. Bien que la perméabilité soit faible et que la compacité soit assez forte dans les molasses, le creusement ne pourra être réalisé sans se protéger des venues d'eau. Les différentes techniques envisageables sont :

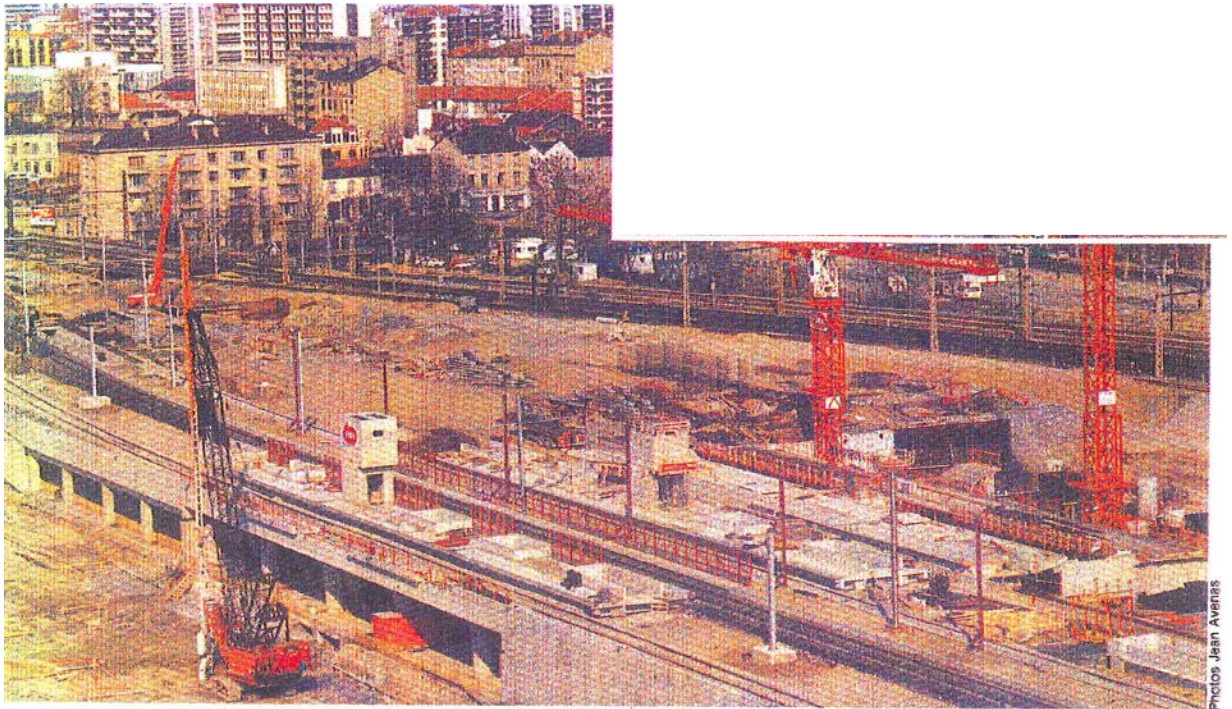
- Le creusement après rabattement de la nappe. Cette méthode consiste à pomper localement l'eau de la nappe pour abaisser son niveau et creuser les ouvrages hors présence d'eau. **Compte tenu des débits rencontrés dans les alluvions, cette méthode est exclue dans le contexte lyonnais, car elle imposerait des débits de pompage beaucoup trop importants.** De plus, ce pompage serait inefficace pour rabattre le niveau de la nappe dans les alluvions, compte tenu des niveaux de perméabilité rencontrés ;
- Le creusement à l'abri d'une paroi étanche. Cette méthode consiste à réaliser une paroi étanche de manière à limiter les venues puis à creuser à l'abri de cette paroi en pompant le débit résiduel venant du fond de fouille. Cette méthode sera utilisée pour les puits (puits de chantier, accès voyageurs, puits de secours) mais ne peut être mise en œuvre pour le creusement de la gare car elle nécessite de réaliser une fouille en surface de la dimension à creuser ;
- Le creusement après traitement des terrains permettant de leur conférer une certaine imperméabilité. Suivant le type de terrains, plusieurs méthodes peuvent être envisagées : traitement par injection de coulis, jet grouting, congélation. Pour la gare, le traitement par injection semble le mieux adapté. La congélation semble difficilement envisageable compte tenu des volumes à traiter pour la gare mais pourra être envisagée pour les rameaux intertubes des tunnels bitube.

## 2.3 Gare et secteur Part-Dieu

### 2.3.1 Gare Part-Dieu

La gare actuelle de la Part-Dieu a été réalisée en 1982 sur le site d'une ancienne zone marchandise. Avec 40 trains par heure en pointe, la gare accueille aujourd'hui environ 80 000 voyageurs par jour, plus 45 000 utilisateurs qui transitent par la gare entre l'Est et l'Ouest des voies ferrées. A l'horizon 2030, 200 000 voyageurs par jour sont attendus en gare. **Compte tenu de ces niveaux de trafic, le projet doit limiter au maximum l'impact sur l'exploitation de la gare.**

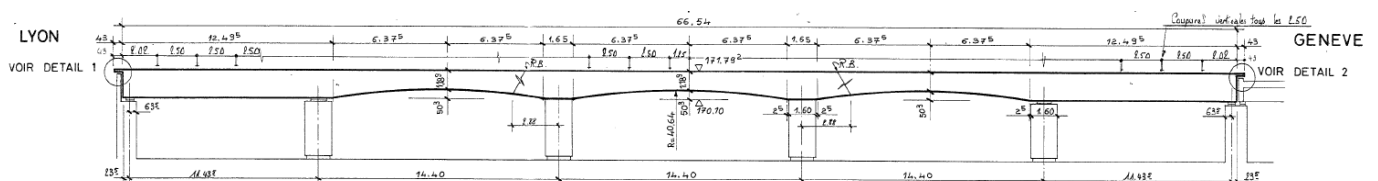
Figure 10 : Construction de la gare Part-Dieu



L'ouvrage actuel est long de 750 m environ entre le cours Lafayette au Nord et la rue Paul Bert au Sud. Au niveau central, la largeur actuelle est d'environ 100 m au milieu des quais. Conçue comme pouvant comporter 16 voies (A à P) et 8 quais, la gare comporte actuellement 11 voies et 6 quais ; la voie K et le quai la desservant ont été mis en service en 2011. L'ouvrage actuel comporte trois parties :

- Au Nord, un remblai soutenu par un mur de soutènement sur 325 m de long. Le mur atteint 6 m de hauteur. Un pont rail de 16 m d'ouverture permet le franchissement de la rue de Bonnel.
- Au centre, un ouvrage de 65,6 m de portée, constitué de 11 tabliers sous voies à 5 travées continues qui reposent sur des culées et des appuis intermédiaires en béton armé et de 6 tabliers sous quais voyageurs qui prennent appui sur ces tabliers sous voies. Les tabliers sous voies, de type dalle béton armé, sont encastrés sur les deux appuis intermédiaires centraux et reposent sur des appareils d'appuis en élastomère frettés sur les autres appuis. Ils sont liaisonnés deux par deux transversalement, à l'exception du tablier qui supporte la voie A, et le hourdis de liaison supporte les quais de service. Les piles intermédiaires sont constituées de fûts de forme cylindrique de 1,60 m de diamètre (1,50 m de section résistante en base) reposant sur des semelles. Les semelles de l'ensemble des appuis sont fondées superficiellement (files A à E) et sur pieux (files F à L).

Figure 11 : Ouvrage de la gare





- Au Sud, un remblai soutenu par un mur de soutènement et des talus sur 360 m de long. Le mur atteint 6 m de hauteur. Deux ponts rail de 23 m et 18 m permettent de franchir respectivement l'avenue Pompidou et la rue Paul Bert.



**Les ouvrages de la gare sont donc des ouvrages sensibles aux tassements.**

### 2.3.2 Environnement de la gare : le projet Part-Dieu

Le projet Part-Dieu est un vaste projet de réaménagement du quartier de la Part-Dieu et du pôle d'échange multimodal (PEM) associé à la gare Part-Dieu.

Le projet urbain prévoit quatre secteurs d'aménagement présenté sur la figure ci-dessous :

**Figure 12 : Les secteurs du projet urbain : source Grand Lyon**



Le projet urbain prévoit de nombreux développements urbains et immobiliers, notamment :

- Pour le secteur gare ouverte :
  - La démolition de l'immeuble situé au centre de la place Béraudier,
  - La réalisation d'un projet immobilier « Two Lyon » au Sud de la place Béraudier,
  - L'aménagement de la place de Milan avec de nombreux immeubles de grande hauteur (IGH),
  - L'aménagement de la place de Francfort ;
- Pour le secteur Sud : réalisation de projets immobiliers à l'Est des voies ferrées ;
- Pour le secteur mixte : réalisation de projets immobiliers.



Les immeubles de grande hauteur et les parkings constituent des contraintes fortes pour la réalisation du projet car leurs fondations seront profondes et descendront jusque dans le substratum molassique. **A ce stade des études, le projet cherchera donc à éviter de passer à l'aplomb de ces ouvrages.**

**Figure 13 : Vision prospective du quartier Part-Dieu en 2030**







### 3 Présentation générale du tracé et des variantes

Les paragraphes ci-dessous présentent une description générale du tracé. Le dossier de plan annexé au présent rapport contient le tracé proposé. Le tracé et les principes de réalisation des émergences sont détaillés dans les sections 6.2 Raccordement Nord, 6.3 Raccordements Sud : scénario B0 et 6.4 Raccordements Sud : scénario B4 (bitube).



**A ce stade des études, les tracés proposés sont des tracés de principe qui permettent d'assoir la faisabilité du projet et d'en mesurer plus précisément les contraintes et impacts. Ils ne doivent en aucun cas être considérés comme des tracés définitifs. Le cas échéant, ces tracés seront optimisés et affinés lors des études préliminaires puis de l'avant-projet en vue de l'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique.**

#### Secteur Saint-Clair et Rhône

Le débranchement de la ligne Lyon – Ambérieu se fait au niveau du PK 9+600. Quel que soit le type de tunnel, bitube ou monotube, l'infrastructure nouvelle emprunte d'abord une tranchée ouverte, puis une tranchée couverte et enfin, le tunnel creusé.

Figure 15 : Sortie Nord du tunnel



En ce qui concerne le profil en long, ce secteur doit permettre une plongée en terre rapide pour :

- initier un creusement avec une couverture de 1,5 diamètre ;
- franchir le Rhône avec une couverture de 1,5 diamètre.

En plan, le tunnel sous Caluire du Boulevard Périphérique Nord de Lyon (BPNL), ainsi que les 2 viaducs routier et ferroviaire de franchissement du Rhône, conduisent, à ce stade des études, à maintenir un tracé à l’Est du viaduc routier avec une courbe relativement serrée en sortie de puits de démarrage. L’objectif est de limiter le risque d’interaction avec les systèmes de fondation des viaducs ou le risque d’impacter la tête du tunnel sous Caluire, dans un contexte de profil en long relativement haut.

### Secteur Rhône – Gare souterraine – Guillotière




Ce secteur est bien moins contraint sur le plan géométrique. Le profil en long est stabilisé jusqu’à l’arrivée sur la gare souterraine ; seules quelques variations (<0,5%) pourraient exister pour assurer l’assainissement des ouvrages. Le trajet en plan vise, quant à lui, à atteindre la gare le plus directement possible, dans le respect des performances fonctionnelles ferroviaires (rayon notamment).

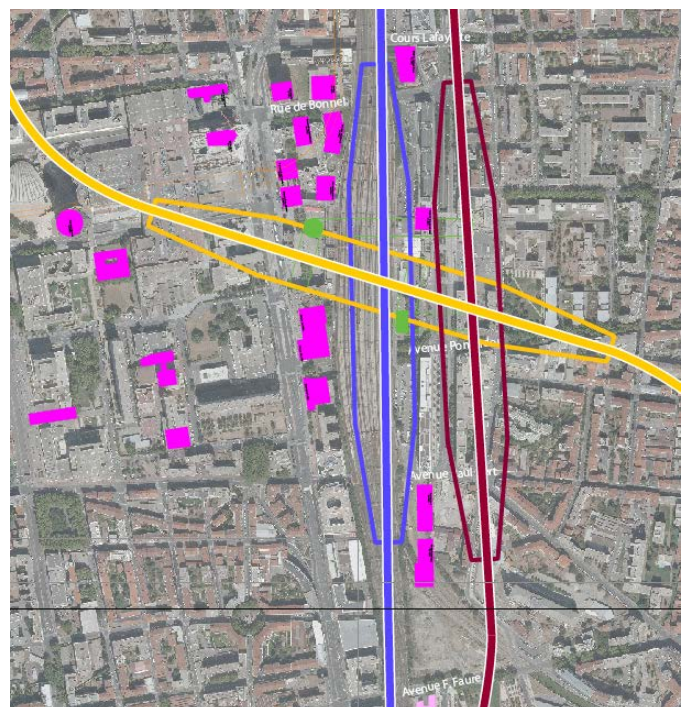
Suite à la première étape des études, trois options de localisation de gare ont été retenues qui conduisent à trois options de tracé :

- Gare côté Vilette qui permet un tracé direct ;
- Gare sous les voies ferrées qui permet un tracé direct peu différent du précédent ;
- Gare diagonale, qui conduit à un tracé « en S » plus long de 2 km environ.

**Figure 16 : Les 3 positions de gares retenues suite à l’étape 1**

#### Légende

-  Position de gare
-  Contraintes Immeuble de Grande Hauteur
-  Réserve pour les accès à la gare souterraine





L'analyse de la gare Part-Dieu est présentée dans la section 4 Gare souterraine de Part-Dieu.

### Secteur Guillotière

Au niveau de la Guillotière, la principale contrainte est la recherche d'une emprise permettant de réaliser l'émergence du tunnel. La première phase des études a permis d'identifier les variantes techniques et fonctionnelles suivantes :

- B0 : raccordement sur les voies Racc au niveau du faisceau relais ;
- B1 : raccordement sur les voies 1,2 PD au niveau de Guillotière poste 15 ;
- B4 : raccordement sur les voies PLM au Sud de la rue Challemel Lacour.

Pour mémoire, sur le plan fonctionnel, la variante B0, qui se raccorde sur les voies « Racc », est différente des variantes B1 et B4 qui se raccordent sur les voies de la PLM. Les schémas d'exploitation de ces variantes sont donc différents (voir 1.2 et rapport Exploitation).

Les contraintes de tracé sont les suivantes :

- consommation de l'espace urbain et ferroviaire ;
- contraintes de profil en long pour se raccorder au Sud tout en passant sous la rue Challemel Lacour qui est située 7 m sous les voies ferrées.

L'analyse de l'émergence Sud (cf. note NG140097A\_Note d'analyse émergence scénario B) réalisée lors de la première étape des études a permis de montrer :

- Que pour le scénario B0 – l'émergence Sud – l'impact sur les installations ferroviaires environnantes (tiroirs du technicentre TGV notamment) est moindre avec un tunnel monotube qu'avec un tunnel bitube. A ce stade des études, il a donc été décidé de poursuivre l'étude de ce scénario en monotube, tout en sachant que l'option bitube reste faisable ;
- Que pour le scénario B1, l'impact sur les circulations ferroviaires en phase travaux est très important. Il a donc été décidé de ne pas poursuivre l'étude de ce scénario dans la deuxième étape.

Figure 17 : Options de sortie au sud



#### Conclusion sur les variantes de tracé

Au final, les 6 variantes suivantes sont donc étudiées dans cette deuxième étape des études :

- Scénario B0 avec 3 options de gare et un ouvrage de type monotube ;
- Scénario B4 avec 3 options de gare et un ouvrage de type bitube.

## 4 Configuration des tunnels

La première étape des études a permis de conclure quant à l'intérêt de deux configurations types de tunnel : monotube et bitube.

Figure 18 – Solution monotube

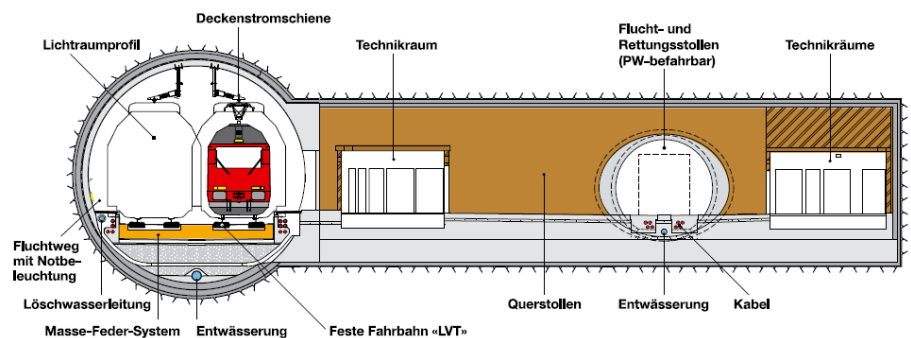


Figure 19 – Solution bitube



La solution qui consisterait à réaliser un ouvrage monotube avec un tunnel latéral d'évacuation reste une possibilité mais n'est pas étudiée en détail à ce stade. Ce type de configuration peut être envisagé dans un milieu particulièrement contraint : difficulté de réaliser des entrées de tunnel en bitube et difficulté de réaliser des puits d'évacuation. Le petit tube est utilisé pour l'évacuation et peut avoir des émergences dissociées de celles du tube principal. Cette configuration a été retenue, par exemple, pour le tunnel ferroviaire de 4,5 km de Zürich (Durchmesserlinie, voir figure ci-dessous) du fait des contraintes de sortie côté Oerlikon.

**Figure 20 : configuration du tunnel ferroviaire de Zurich : Durchmesserlinie**



Cette solution est plus onéreuse du fait qu'elle cumule deux tubes avec des diamètres différents et la nécessité de réalisation de rameaux de connexion. Le coût d'une telle solution est largement supérieur aux deux autres solutions envisagées et elle ne devra être considérée qu'en cas d'impossibilité des deux autres solutions de base.

#### 4.1 Tunnel monotube (scénario B0)

Au stade des études de faisabilité, la solution en monotube est développée pour les avantages qu'elle apporte en termes de fonctionnalités ferroviaires et de réalisation :

- possibilité de réalisation des communications entre les deux voies ;
- linéaire de tunnel réduit ;
- une géométrie en plan des puits de démarrage du tunnelier plus réduite.

Elle induit néanmoins :

- La nécessité de réaliser des puits de sécurité tous les 800 m (cf. 1.5 Sécurité) ;
- Une profondeur plus importante pour démarrer le creusement au tunnelier au niveau des émergences : une couverture de 1,5 diamètre est recommandée avec possibilité de la réduire à 1 diamètre moyennant la mise en œuvre de mesures spécifiques.

Trois familles de tracé en plan sont définies, considération faite des secteurs traversés et selon l’orientation et l’implantation de la gare souterraine. Le tracé en S est plus long de 2,4 km environ.

**Tableau 4 – Longueur de tunnel monotube**

Orientation de la gare	Longueur réglementaire tunnel	Longueur tunnel foré au tunnelier	Longueur tranchée couverte	Longueur tranchée ouverte
<b>Gare côté Vilette</b>	8,4 km	7,6 km	0,8 km	0,520 km
<b>Gare sous voies ferrées</b>	8,3 km	7,5 km	0,8 km	0,520 km
<b>Gare diagonale</b>	10,8 km	10 km	0,8 km	0,520 km

#### 4.1.1 Section d’un tunnel monotube

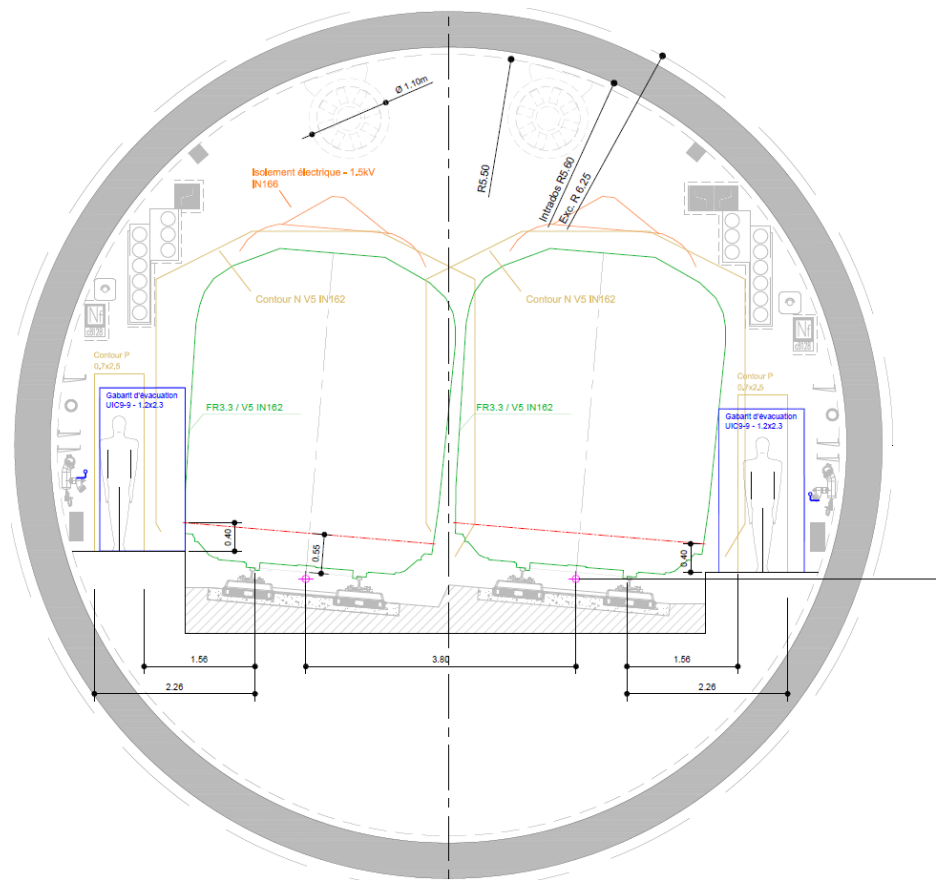
Dans le cas d’un monotube, la section utile et la section d’excavation sont obtenues par :

- Le respect des gabarits ferroviaires (cf. 1.6 Gabarit) ;
- Le respect des exigences de sécurité définies par la STI « tunnel » et la fiche UIC779.9 complétées par l’ITI 98-300 ;
- La prise en compte des équipements du tunnel : équipements ferroviaires dont signalisation, équipements de sécurité (mains courantes, réseaux d’eau,...), équipements de ventilation ;
- l’intégration du revêtement et de marges et tolérances d’exécution liées au procédé d’exécution, avec :
  - 10 cm de tolérance d’exécution et de guidage sur l’intrados,
  - 15 cm de surcoupe d’excavation par rapport à l’extrados,
  - 52 cm d’épaisseur de revêtement (voussoir) en se basant sur les recommandations de l’AFTES (GT18 - Dimensionnement voussoirs).

Dans ces conditions, le diamètre d’excavation pour un monotube atteint 12,5 m. Vis-à-vis du confort tympanique, les vitesses comprises entre 90 km/h et 120 km/h restent modérées. Les sections d’air dégagées par le diamètre retenu sont suffisantes.



Figure 21 – coupe tunnel monotube



#### 4.1.2 Puits de sécurité

##### Fonction et dimensions

Les exigences de la STI sont prises en compte, complétées par celles de l'ITI98-300. Pour la solution en monotube, la STI demande que des accès verticaux ou latéraux vers la surface soient réalisés tous les 1 000 m. L'ITI demande, dans le cas d'une ligne urbaine, un dispositif d'accès des secours tous les 800 m, maximum. **La solution retenue ici est alors de réaliser des accès verticaux tous les 800 m pour répondre aux exigences des deux réglementations.**

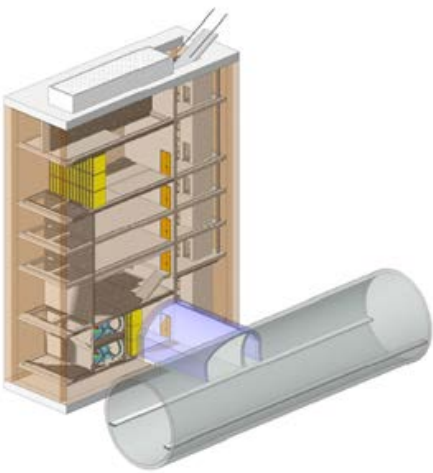
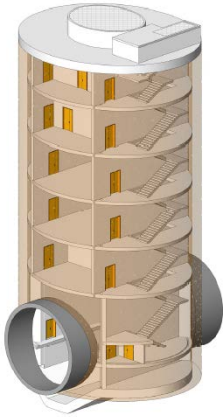
Au sens de la STI, la gare peut être considérée comme un dispositif d'accès des secours et d'évacuation. La géométrie des puits de démarrage permettra également de ménager un dispositif d'accès des secours.

Les puits verticaux assurent ou peuvent assurer les fonctionnalités suivantes :

- Fonctionnalité minimale et obligatoire :
  - accès des secours et évacuation des usagers. Au-delà d'une profondeur de 28 m, un ascenseur doit être créé en plus des escaliers,
  - sas et espace tampon de 25 m<sup>2</sup> permettant l'attente de certains voyageurs et évitant aux fumées de pénétrer dans le puits,

- Fonctionnalités secondaires et optionnelles sur les ouvrages :
  - Ventilation,
  - Pompage / Exhaure. Lorsque le tunnel présente un point bas à proximité d'un puits, il devient intéressant d'assurer l'exhaure par ce puits,
  - Equipements électriques ou ferroviaires. La connexion avec la surface offerte et le volume dégagé par les puits peut être utile à l'implantation d'équipement électrique (LT),
  - Logistiques chantier. Les puits, suivant leur implantation, peuvent être utilisés pour les flux et la logistique de chantier.

Deux types de puits sont envisageables :

<p><b>Puits déporté :</b></p> 	<p><b>Puits axial :</b></p> 
<p><b>Description :</b> Le puits est implanté à proximité du tunnel. Un rameau connecte le tunnel au puits. La section en plan peut être circulaire ou parallélépipédique.</p> <p><b>Avantages :</b> Souplesse et limitation des impacts vis-à-vis de contraintes de surfaces (foncier, espace protégé, opération connexe en surface...) et des déviations de réseaux. Leur section est la plus compacte car elle comporte le strict nécessaire. N'impacte pas directement le tracé du tunnel, ni le phasage.</p> <p><b>Inconvénients :</b> Ces puits doivent être raccordés au tunnel principal par des rameaux creusés en traditionnel et dans des conditions géologiques difficiles, voire réhabilitaires (congélation, traitement lourd, etc.). Pour améliorer la sécurité il peut être demandé qu'un rameau par voie soit réalisé afin d'éviter au voyageurs de traverser les voies. Pour la voie opposée au puits, le rameau passe alors au-dessus ou au-dessous du tunnel. La réalisation des raccordements peut perturber l'avancement du tunnelier.</p>	<p><b>Description :</b> Le puits est implanté sur l'axe du tunnel. Le tunnelier franchit le puits après sa réalisation. Généralement, la section en plan de ces puits est elliptique pour des raisons de reprise des efforts.</p> <p><b>Avantages :</b> Aucun rameau n'est à réaliser en méthode conventionnelle. Les volumes dégagés offrent des fonctionnalités complémentaires en phase travaux : maintenance du tunnelier, logistique chantier.</p> <p><b>Inconvénients :</b> Leur section, leur profondeur, leur volume et donc leur coût sont plus importants, notamment pour pouvoir faire passer le tunnelier à l'intérieur du puits et loger le sas et le volume de 25 m<sup>2</sup> demandé par l'ITI. Ils doivent être réalisés avant le passage du tunnelier. Ils peuvent potentiellement imposer des contraintes sur le tracé du tunnel car leur localisation dépend des emprises disponibles en surface. Leur impact sur les aménagements de surface est plus fort.</p>

Les gammes de section intérieure en plan à retenir sont les suivantes :

	Avec ventilation dans le puits			Sans ventilation		
	Circulaire (diamètre)	Rectangulaire (largeur x longueur)	Fond de fouille par rapport au Z rail	Circulaire (diamètre)	Rectangulaire (largeur x longueur)	Fond de fouille par rapport au Z rail
<b>Puits déporté</b>	15 m 180 m <sup>2</sup>	13 x 13 m ; 10 x 18 m 180 m <sup>2</sup>	- 4,5 m	10 m 80 m <sup>2</sup>	9 x 9 m 6 x 13 m 80 m <sup>2</sup>	- 4,5 m
<b>Puits axial</b>	25 m 490 m <sup>2</sup>	inadapté	- 6 m (passage du tunnel dans le puits)	25 m 490 m <sup>2</sup>	inadapté	- 6 m

Au final, le type de puits sera adapté au contexte local et aux fonctionnalités souhaitées en phase chantier et définitive. Il n'est donc pas possible de définir les caractéristiques de chaque puits à ce stade des études. Dans le contexte urbain de Lyon, des puits déportés seront plus faciles à mettre en œuvre. Une localisation de principe est présentée sur les plans du tracé des différentes variantes.

Dans le cas des puits déportés, les rameaux de connexion présenteront une section d'excavation de 35 à 45 m<sup>2</sup> environ. Ils comportent les surfaces nécessaires aux cheminements des piétons, au sas, à la ventilation ainsi qu'aux réseaux de toutes natures. Leur longueur moyenne varie généralement entre 20 et 50 m. Ces rameaux totalisent une longueur importante avec des géométries complexes et sont réalisés dans un contexte géologique difficile. Dans le contexte lyonnais, on cherchera à positionner les puits équipés dans les secteurs où les rameaux peuvent être réalisés dans les molasses : à ce stade, ceci semble possible car les pentes des tunnels sont fortes et permettent d'atteindre rapidement l'horizon molassique.

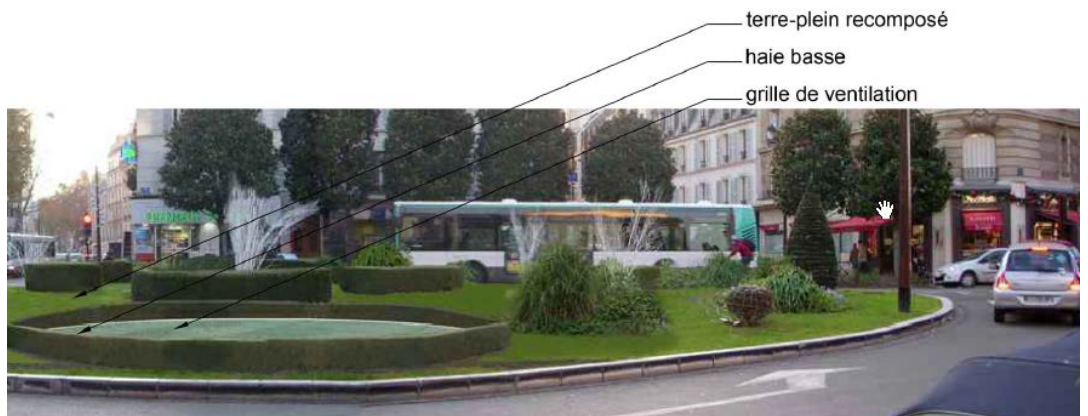
**Figure 22 – Chantier d'un puits de 18 m de diamètre (métro B à Oullins – puits Orsel qui a servi à sortir le tunnelier © Egis Rail**



**Figure 23 – Photomontage d'un puits de secours, ventilation et désenfumage, puits Gouraud, EOLE © Egis Rail**



- potelets
- trappe d'accès pompier
- grille de ventilation
- bordure de jardinière redessinée
- trappe colonne sèche



- terre-plein recomposé
- haie basse
- grille de ventilation

### Méthodes de réalisation

Les puits, quel que soit leur type, seront réalisés dans une enceinte en paroi moulée. A ce stade des études, l'épaisseur des parois moulées est estimée à 1,20 m. La fiche des parois moulées est ancrée à une profondeur d'environ 10 m par rapport au fond de fouille.

La profondeur du fond de fouille des puits de sécurité est positionnée à environ -5 m sous le Z rail. Dans cette épaisseur, seront logées l'éventuelle fosse de relevage, l'épaisseur du radier, la dalle au niveau du cheminement piéton.

Les méthodes classiques sont employées, dont le phasage de réalisation est présenté ci-après :

- Etape 1 : libération des emprises et déviation des réseaux ;
- Etape 2 : réalisation des parois moulées, excavation, butonnage ou mise en œuvre de tirant, réalisation du radier avec ou sans réalisation d'un bouchon injecté ;
- Etape 3 : réalisation des structures ;
- Etape 4 : réalisation du second œuvre : métallerie, ascenseurs, exhaure, ventilation ;
- Etape 5 : restitution des emprises / aménagement de surface.

Pour chacun de puits, les installations de chantier sont fortement conditionnées par la centrale de confection de boue pour la réalisation des parois moulées. Une surface de **1 000 à 1 500 m<sup>2</sup>** est à prévoir (cf. figure 20).

### Nombre et localisation

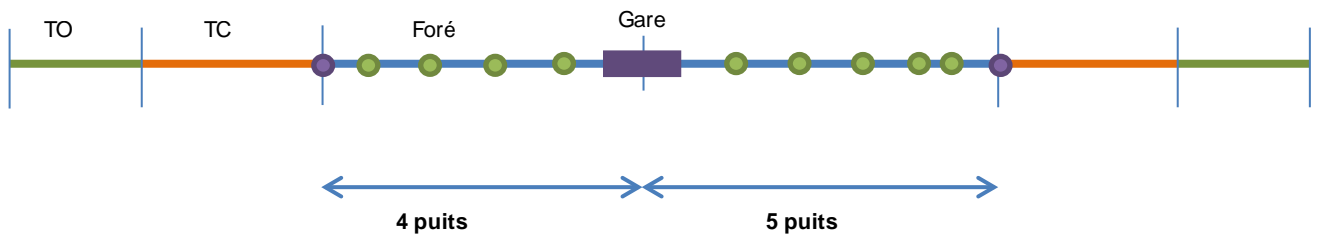
En fonction du tracé, la difficulté se situe dans la recherche du foncier en surface pour leur implantation. Le choix du type de puits se fait bien évidemment suivant les contraintes locales. Pour les fonctions de désenfumage, les émergences devront intégrer une distance de 8 m par rapport au bâti.

Un premier positionnement des puits a été réalisé, à ce stade des études, pour illustrer le type de contraintes que leur implantation peut générer. L'implantation fournie au niveau faisabilité n'est qu'indicative car le positionnement du tracé et donc des puits va évoluer lors des phases d'études ultérieures (études préliminaires puis avant-projet).

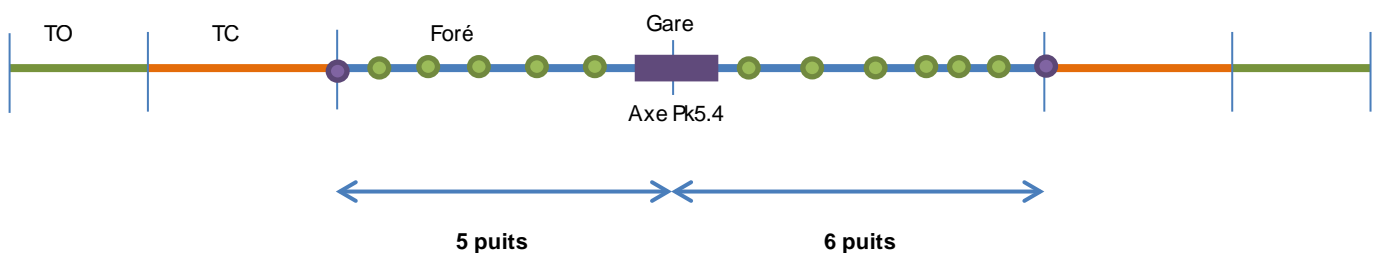
A ce stade, le positionnement proposé considère que des puits seront réalisés au niveau des puits de démarrage des tunneliers (réutilisation du puits créé pour le tunnelier en puits de secours) et que la gare souterraine offre également un accès secours. Côté Sud, l'impossibilité de réaliser un puits au sein du nouveau cimetière de la Guillotière contraint à réaliser 2 puits de part et d'autre du cimetière, soit un puits supplémentaire par rapport à ce qui serait strictement nécessaire.

Pour les deux familles de tracé en plan, le nombre de puits complémentaires aux puits de démarrage et à la gare s'établit comme suit ; la localisation des puits est présentée sur le tracé en plan, joint en annexe :

- Tracé Nord / Sud – gare villette et gare sous les voies :



- Tracé Nord-Ouest / Sud-Est – gare diagonale :



## 4.2 Tunnel bitube (scénario B4)

Au stade des études de faisabilité, la solution en bitube est développée pour les optimisations possibles qu'elle apporte sur la gare souterraine :

- possibilité de réaliser une gare souterraine double boîte ;
- puits de sécurité remplacés par des rameaux inter-tubes ;
- diamètre de creusement moins important que celui d'un monotube, ce qui réduit les risques de tassements et réduit les risques techniques liés au creusement ;
- profondeurs moins importantes pour démarrer le creusement au tunnelier au niveau des émergences : une couverture de 1,5 diamètre (de tunnelier) est recommandée avec possibilité de la réduire à 1 diamètre moyennant la mise en œuvre de mesures spécifiques. Ceci permet de réduire les longueurs de tranchée et facilite l'insertion du projet.

Elle induit néanmoins :

- une longueur de tunnel foré 2 fois plus importante que celle du monotube ;
- la réalisation de rameaux en méthode conventionnelle dans un contexte géologique difficile, tous les 500 m conformément à la STI ;
- une géométrie en plan des puits de démarrage du tunnelier plus importante.

Les trois familles de tracé sont valables pour la solution bitube. Les longueurs des ouvrages sont présentées ci-dessous. Le tracé en S est plus long de 1 500 m environ, cette longueur est moindre que dans le cas du monotube car, en l'absence de communication en amont et en aval de la gare, le rayon de courbe peut être placé plus près des quais.

**Tableau 5 – Longueur de tunnel bitube**

Orientation de la gare	Longueur réglementaire tunnel	Longueur tunnel foré au tunnelier	tranchée couverte	Longueur tranchée ouverte
<b>Gare côté Villette</b>	V1 : 8.11 km V2 : 8.32 km	V1 : 7 km V2 : 7.3 km	Saint-Clair : 0.55 km Guillotière : V1 : 0.56 km V2 : 0.47 km	Saint-Clair : 0.15 km Guillotière : V1 : 0.25 km V2 : 0.25 km
<b>Gare sous voies ferré</b>	V1 : 8.11 km V2 : 8.32 km	V1 : 7 km V2 : 7.3 km	Saint-Clair : 0.55 km Guillotière : V1 : 0.56 km V2 : 0.47 km	Saint-Clair : 0.15 km Guillotière : V1 : 0.25 km V2 : 0.25 km
<b>Gare diagonale</b>	V1 : 9.61 km V2 : 9.82 km	V1 : 8.5 km V2 : 8.8 km	Saint-Clair : 0.55 km Guillotière : V1 : 0.56 km V2 : 0.47 km	Saint-Clair : 0.15 km Guillotière : V1 : 0.25 km V2 : 0.25 km

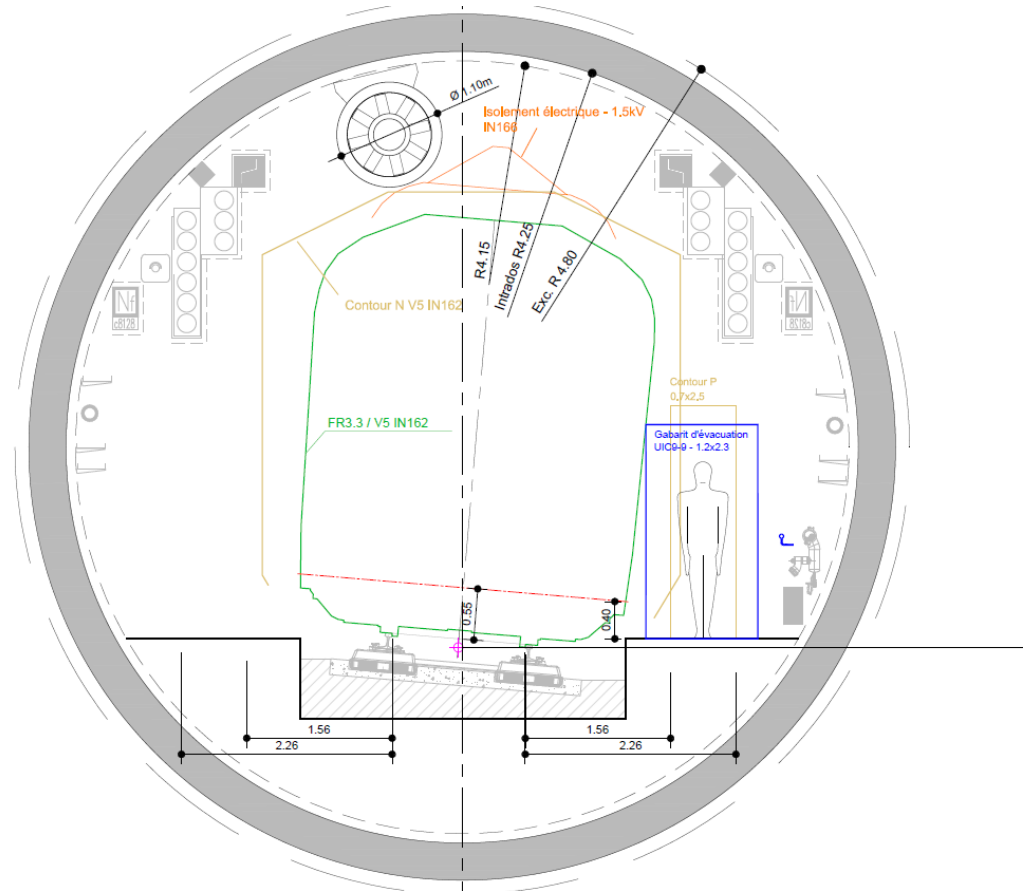
#### 4.2.1 Section d'un tunnel bitube

Tout comme pour le monotube, la section utile et la section d'excavation d'un tunnel bitube sont obtenues par l'intégration des gabarits ferroviaires, de sécurité et les équipements. L'épaisseur du revêtement (voussoir) est égale à 40 cm.

Dans ces conditions, le diamètre d'excavation pour un monotube atteint 9,6 m. Vis-à-vis du confort tympanique, les vitesses comprises entre 90 km/h et 120 km/h restent modérées. Les sections d'air dégagées par le diamètre retenu sont suffisantes.



Figure 24 – coupe tunnel bitube



## 4.2.2 Rameaux inter-tubes

### Fonctions et dimensions

Pour assurer l'évacuation des usagers, un rameau inter-tube doit être créé tous les 500 m selon la STI. La section excavée retenue est proche de 36 m<sup>2</sup> (6x6 m). Leur longueur dépend essentiellement de l'entraxe entre les tubes, elle sera plus importante de part et d'autre de la gare et à l'extrémité Sud où les 2 tubes s'éloignent pour émerger en surface.

### Méthode de réalisation

Les rameaux inter-tubes seront réalisés dans un contexte hydrogéologique et géologique défavorable, en raison des faibles caractéristiques du sol et de la charge d'eau importante (40 m). Leur longueur varie de 11 m à 60 m environ et leur profondeur varie entre 30 et 45 m. Tous les rameaux pourront être réalisés dans le substratum molassique.

Traditionnellement, ces ouvrages de raccordement sont réalisés en méthode conventionnelle dont le phasage est brièvement rappelé ci-dessous :

- Confortement du revêtement de voussoir dans les 2 tubes ;
- Prétraitement du terrain, si besoin par boulonnage, injection voire congélation ;



- Dépose du revêtement de voussoir ;
- Creusement de la galerie avec la mise en œuvre d'un soutènement lourd avec traitement de terrain, voire la congélation du terrain ;
- Réalisation de l'étanchéité et du revêtement.

Lors des études avales, une solution de creusement des galeries inter-tubes par des méthodes mécanisées pourra être étudiée. Elle pourrait faciliter leur réalisation et limiter leurs coûts.

### Nombre et localisation

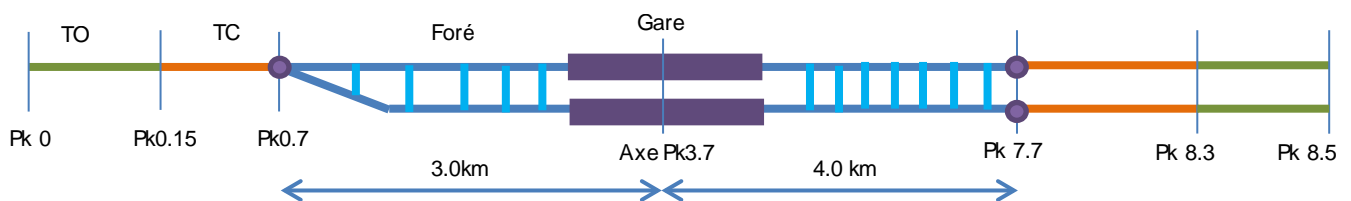
Comme pour le monotube, les puits de démarrage de tunneliers pourront être transformés en puits d'accès des secours / évacuation. La gare constitue l'autre point d'accès des secours et d'évacuation des usagers.

Côté Saint-Clair, la tranchée couverte est en monotube avec une longueur supérieure à 500 m mais inférieure à 800 m. Les mêmes exigences que la configuration monotube sont retenues. Avec une inter-distance de 800 m, aucun puits n'est requis en plus de celui prévu dans le puits de démarrage.

Côté Guillotière, pour les mêmes raisons, aucun accès n'est requis en dehors des accès réalisés à la place des puits de chantier des tunnels. Pour la voie 2 (côté Ouest), ce puits donne accès à la surface mais dans une zone confinée au sein des emprises ferroviaires. Le passage sous voies réalisé pour le chantier (cf. 6.3 et 6.4) pourra également être utilisé pour assurer l'accès des secours et l'évacuation des voyageurs en dehors des emprises ferroviaires. Par ailleurs, pour le tube Est, un puits latéral de sécurité est implanté en bordure de cette voie. Il émergera directement en surface.

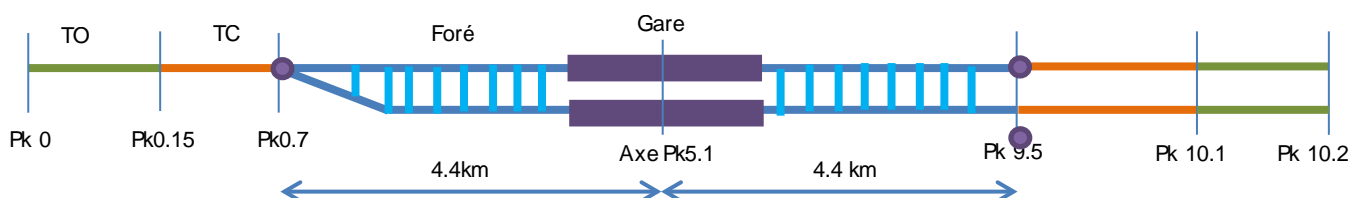
Le nombre de rameau est déterminé pour chacun des tracés :

- Tracé Nord / Sud – gare côté Vilette et gare sous les voies ferrées :



Côté Nord 5 rameaux devront être créés. Côté sud, 7 rameaux devront être créés.

- Tracé Nord-Ouest / Sud-Est – gare diagonale :



Côté Nord comme côté Sud, 8 rameaux devront être créés soit 16 rameaux au total.

### 4.3 Principe de réalisation des tunnels et méthode d'exécution

#### Méthode de creusement

L'analyse géotechnique montre qu'il faut privilégier le plus la réalisation du tunnel dans le substratum molassique (2.2.3). La section principale sera donc réalisée dans les molasses mais les milieux alluvionnaires seront traversés au niveau des émergences.

Pour le monotube comme pour le bitube, seule une méthode de creusement mécanisée par tunnelier à pression de confinement peut être envisagée, en raison :

- du linéaire important de tunnel à réaliser ;
- de la présence de sol inadapté à un creusement par des méthodes conventionnelles au niveau des émergences (creusement dans les alluvions) ;
- du souhait de limiter les longueurs de tranchées et donc de démarrer le tunnel sous des épaisseurs de terrains faible (couverture limitée) ;
- de la charge d'eau importante et de la forte perméabilité des alluvions fluvio-glaciaires ;
- du franchissement du Rhône ;
- du contexte urbain des secteurs traversés qui nécessite une bonne maîtrise des tassements et la limitation du risque de fontis.

Le confinement assure, à lui seul, la stabilité du front de taille, l'équilibre de la pression hydrostatique et la maîtrise des tassements en surface. Il conditionne également le mode de marinage (extraction des matériaux) ainsi que les installations de chantier. Usuellement, le choix du type de confinement est du ressort de l'Entrepreneur.

Un confinement par pression de boue est privilégié à ce stade. Il permet un creusement dans l'ensemble des terrains rencontrés. La pression de confinement est appliquée à un fluide de forage injecté et mélangé dans la chambre d'abattage. Le marinage est assuré par le fluide lui-même. La technologie et la logistique pour les tunneliers à pression de boue est plus complexe, donc plus onéreuse que celles des pressions de terre. En particulier, les pressions de boue nécessitent des usines de confection et traitement des boues de forage. La présence de matériaux fins tels que ceux présents dans les molasses induisent des installations spécifiques : des usines de traitement des boues seront localisées au niveau des émergences Nord et Sud du tunnel.

Figure 25 – Usine de traitement des boues (prolongement du métro B à Oullins) © Egis Rail



Le confinement de terre repose sur la mise en pression des matériaux excavés et contenus dans la chambre d'abatage. Ces tunneliers peuvent également disposer d'un complément de confinement par air comprimé. Le marinage et le maintien de la pression sont assurés par une vis d'extraction (vis d'Archimède).

Il existe des tunneliers dits « mixtes », c'est-à-dire dont il est possible de passer d'un mode « boue » à un mode « terre » mais ces solutions restent anecdotiques. Elles sont écartées pour cette étude puisque ces solutions sont plus chères, plus complexes et qu'elles n'apportent pas de réels avantages par rapport à une pression de boue qui, globalement, sait traiter tous les terrains rencontrés.

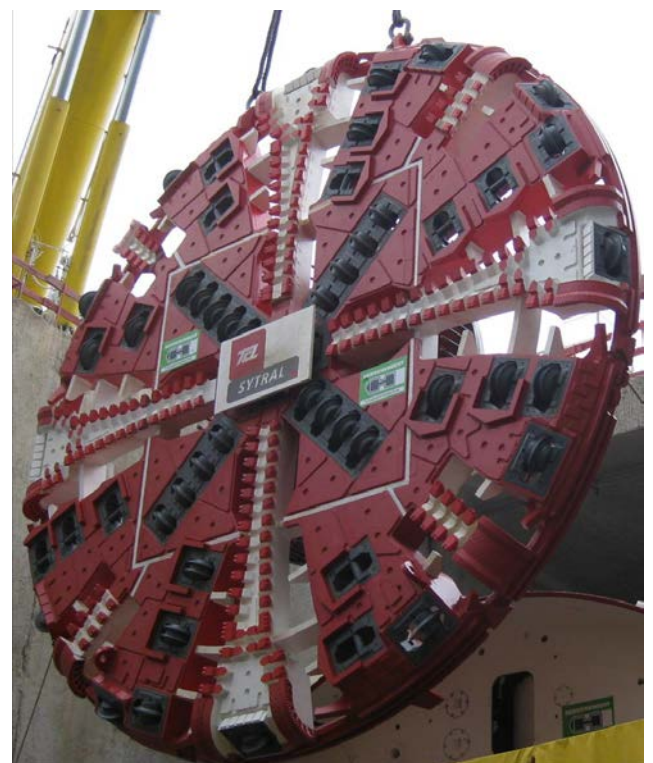
Les études aval pourront s'attacher à étudier l'opportunité de prévoir différents modes de confinement.

Le dernier chantier Lyonnais se rapprochant le plus de l'ouvrage est l'extension de la ligne B. Le chantier a été réalisé avec un tunnelier à pression de boue avec un diamètre d'excavation de 9,45 m environ. Environ 1 300 mètres ont été forés en franchissant d'Est en Ouest des alluvions fluvioglaciales, des molasses du miocène sur le Rhône, du granite. Les alluvions ont été rencontrées sur environ 50 % du linéaire.



- Un **front molassique** : dominant, ce front totalise entre 60 et 70 % du linéaire. Les horizons rencontrés sont fins, compacts, localement indurés ou à l'inverse plus « ouverts », avec des perméabilités relativement faibles ( $10^{-5}$  /  $10^{-6}$  m/s). A l'inverse des alluvions, ce type d'horizon appelle généralement des tunneliers à **pression de terre**, les matériaux fins de ces formations favorisent la constitution d'un remplissage compact et homogène permettant une application de la pression de confinement ;
- Un **front mixte alluvion / molasse** : ce front est rencontré dans les phases de montée et de descente du tunnel. Il totalise environ 10 à 20 % du linéaire. La présence des alluvions et les problématiques liées au différentiel des propriétés mécaniques favorisent les tunneliers à **pression de boue**.

**Figure 27 – Roue de coupe du tunnelier (prolongement du métro B à Oullins) © Egis Rail**



### Nombre de tunneliers et stratégie de creusement

Pour ce qui concerne le choix du nombre de tunneliers, celui-ci dépend :

- De la stratégie globale de l'ordonnancement, du phasage et du délai général de réalisation de l'ensemble des ouvrages composant la nouvelle infrastructure : tranchée ouverte, couverte, puits, gare, puits de démarrage... ;
- des espaces disponibles pour l'installation du chantier et du ou des puits de démarrage du tunnelier ;
- du coût global de l'opération ;
- du contexte géologique.



Pour le présent projet, il est envisagé 2 tunneliers, que ce soit pour la solution monotube ou bitube. Les tunneliers partiront du Nord et du Sud du tunnel et creuseront les tunnels jusqu'à la gare dont les entonnements auront été réalisés au préalable. Les tunneliers seront démontés dans ces chambres puis, dans le cas du bitube, ils seront remontés aux deux extrémités Nord et Sud pour creuser le deuxième tube. (cf. 12.1 Organisation générale de la réalisation des travaux).

### Puits de démarrage et creusement

Le démarrage du creusement se fait par l'intermédiaire d'un puits vertical dont les dimensions en plan doivent permettre l'installation du tunnelier (bouclier, jupe...), du bâti de poussée et la mise en place du train suiveur. Des surfaces libres, destinées aux installations de ventilation du tunnel, au stockage provisoire des matériaux (voussoirs, mortier de bourrage...) sont également disposées dans le puits.

**Figure 28 – Puits de démarrage du tunnelier (prolongement du métro B à Oullins) © Egis Rail**



Le coût au mètre linéaire d'une tranchée couverte comparée celui du tunnel au tunnelier étant beaucoup plus fort, on cherche à réaliser un linéaire au tunnelier le plus long possible et donc à démarrer le travail au tunnelier le plus tôt possible. Ceci permet en outre de ne pas impacter les installations existantes en surface. Le creusement au tunnelier ne peut être initié qu'avec une couverture de terrain minimale permettant de mettre en œuvre le confinement. Pour les études de faisabilité, l'épaisseur de couverture souhaitable est égale à 1,5 fois le diamètre de creusement :

- Pour le monotube : 18,8 m environ ( $\varnothing$  tunnelier 12,5 m, se reporter au chapitre 4.1) ;
- Pour le bitube : 14,4 m environ ( $\varnothing$  tunnelier 9,6 m, se reporter au chapitre 4.2).

Les contraintes de tracé pour l'émergence Sud ne permettent pas d'obtenir ces couvertures. Les couvertures seront réduites à environ 1 diamètre. Ceci nécessitera des mesures spécifiques comme le traitement du terrain dans la zone de démarrage du tunnelier.

Pour le bitube, une distance horizontale minimale entre les tubes doit être dégagée pour éviter les interactions d'un tube sur l'autre. Cette distance est de 1 diamètre au minimum. Au Nord, les 2 tubes débutent dans un seul puits. Au Sud, les têtes de tunnel étant distante l'une de l'autre, deux puits sont nécessaires.

Les puits de démarrage, pour le bitube et le monotube, présentent les dimensions suivantes. La profondeur du puits dépend du profil en long du projet et de la taille du tunnelier (le tunnelier est posé sur un berceau réalisé sur le radier du fond de fouille). Le choix a été fait de prévoir des fiches hydrauliques jusqu'aux molasses pour la réalisation de ces puits comme évoqué dans les chapitres 6.1 et 6.3.

Dimensions intérieures	Monotube	Bitube	
		Puits unique	Un puits par tube
<b>Largeur</b>	18,5 m	33,8 m	15,6 m
<b>Longueur</b>	50 m	70 m. Cette longueur est due à l'augmentation de l'entraxe des voies qui se fait dans le puits.	50 m
<b>Fond de fouille</b>	-38 m / TN	-29 m / TN	-29 m / TN
<b>Profondeur des parois moulées</b>	-48 m / TN	-39 m / TN	-39 m / TN

### Installations de chantier

En bitube ou en monotube, les installations de chantier sont similaires. Quelques variations pourront être nécessaires en fonction du nombre de tunneliers. Les installations de chantier spécifiques au tunnelier nécessiteront une emprise variant de 8 000 à 12 000 m<sup>2</sup>, avec :

- Stockage voussoirs / déblais / matériaux = entre 4 000 m<sup>2</sup> et 5 000 m<sup>2</sup> en fonction du type de tunnel ;
- Bureaux / ateliers = entre 1 000 m<sup>2</sup> ;
- Usine de traitement des boues : < 5 000 m<sup>2</sup>.

Ces surfaces devront être ménagées au droit de chaque puits de démarrage pendant toute la durée de travaux car, dans le cadre du projet, les zones de démarrage servent également aux flux du chantier.

Côté Saint-Clair, les emprises disponibles sont suffisantes. Aucune problématique particulière au niveau de la faisabilité n'est identifiée. Le secteur est en fait relativement peu habité et bénéficie de nombreuses possibilités d'accès par la route. En fonction des emprises nécessaires, le maintien ou le déplacement de l'hélisurface présente sur le secteur sera à envisager.

**Figure 29 : Emprises chantier à Saint-Clair**

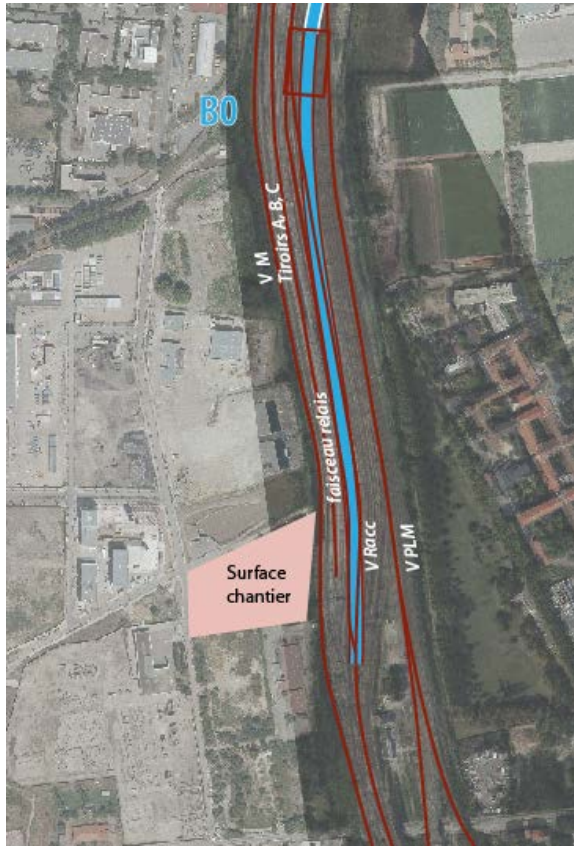


Côté Guillotière, le chantier est largement localisé dans les emprises ferroviaires. Comme évoqué dans les chapitres 6.3 sur le raccordement au Sud, les installations de chantier seront déportées à l'Ouest et connectées au tunnel par un passage sous voies perpendiculaire aux voies.

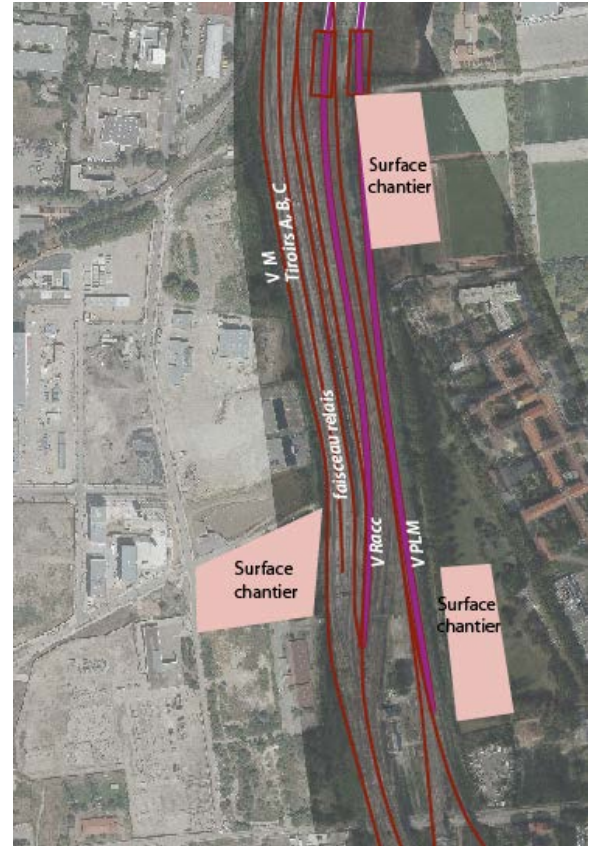
Au Nord comme au Sud, les études ultérieures doivent prévoir la recherche de l'utilisation des installations ferroviaires pour les flux de chantier : acheminement des matériaux et évacuation des déblais.



**Figure 30 : Emprises chantier à Guillotière : solution B0 (une seule tête)**



**Figure 31 : Emprises chantier à Guillotière : solution B4 (deux têtes)**



#### 4.1 Synthèse comparative des options de tunnel

Le tableau de synthèse ci-dessous montre que la solution de tunnel la plus intéressante est celle d'un bitube avec un tracé correspondant à une gare côté Vilette ou sous les voies ferrées. Les tracés induits par les gares diagonales sont significativement plus longs, surtout dans le cas du monotube, puisque les communications allongent la longueur en alignement de part et d'autre de la gare. Ensuite, la principale différence est liée à la réalisation de puits dans le cas du tunnel monotube. Ces puits ont un impact urbain non négligeable en phase travaux.

		Longueur tunnel	Impact urbain des puits
		Coûts	
<b>Monotube</b>	Gare Vilette	+	-
	Gare sous les voies	+	-
	Gare diagonale	--	--
<b>Bitube</b>	Gare Vilette	+	+
	Gare sous les voies	+	+
	Gare diagonale	--	+

## 5 Gare souterraine de Part-Dieu

---

La gare est, sans conteste, l'ouvrage du projet le plus complexe à réaliser de par sa dimension et l'environnement dans lequel elle doit être réalisée. Selon les configurations, 600 000 m<sup>3</sup> à 800 000 m<sup>3</sup> de sol doivent être excavés et probablement 450 000 m<sup>3</sup> à 650 000 m<sup>3</sup> de sol devront être traités au sein de formations géologiques naturellement inadaptées au creusement en souterrain, et ce en plein cœur du quartier de la Part-Dieu ; secteur de Lyon marqué par une forte densité urbaine et par la présence de nombreux ouvrages sensibles : voies ferrées, parkings souterrains, IGH...

Les modes constructifs, les procédés d'exécution, la forme même des ouvrages, ainsi que leur implantation ne peuvent être définis précisément à ce stade car, compte tenu de leur complexité, ils nécessitent un long processus d'étude et de collecte de données. Un important programme de reconnaissance de sols et de diagnostic des ouvrages existants doit être imaginé. Un collège d'experts pertinents devra intervenir pour définir les meilleures solutions.

Comme cela a déjà été exposé dans le rapport d'étape, la réalisation de la gare est envisagée par une méthode de creusement dite « conventionnelle » après traitement du terrain. Cette méthode nécessite la réalisation de puits de chantier qui permettent l'accès à la zone à excaver et servent à l'acheminement des hommes et du matériel nécessaire au traitement du sol et au creusement.

**Compte tenu du caractère exceptionnel et sans précédent de cet ouvrage, des données d'entrée limitées (géotechniques, ouvrages existant) et du niveau de détail des études, une démarche prudente doit dès à présent être adoptée et aucune garantie quant à la faisabilité technique de l'ouvrage ne pourra être donnée.**

### 5.1 Caractéristiques géométriques des ouvrages

L'objet gare étudié ici est composé des sous-ensembles suivants :

- les ouvrages principaux qui recevront les quais et qui se composeront des culées creuses, des galeries à quai unique et des galeries à double quai (cf. tableau 6) ;
- les ouvrages d'entonnement, constitués des tunnels de transition (section variable) et des tunnels de liaison aux quais (cf. figure 32 et figure 33) ;
- les puits définitifs d'accès et les galeries de liaison, principales et inclinées (cf. figure 34) ;
- les puits et les galeries de chantier.

#### 5.1.1 Caractéristiques géométriques des ouvrages principaux et des entonnements

La gare souterraine est composée du volume entourant les quais (ouvrages principaux) et des volumes de raccordement des tunnels appelés les entonnements. Le volume et la géométrie des entonnements en font des

ouvrages similaires à la gare elle-même. La forme de la gare, notamment sa largeur, influence directement la géométrie des entonnements, notamment l'entraxe entre les voies.

### Ouvrages principaux

Le choix du type de tunnel, bitube ou monotube, et la configuration des ouvrages de la gare sont liés. Deux géométries de gare sont envisagées selon le type de tunnel :

- Gare « unique » avec un tunnel central et deux tunnels latéraux : cette configuration correspond à un tunnel monotube mais elle peut être adaptée à un tunnel bitube ;
- Gare « double » composée de deux demi-gares : cette configuration correspond à un tunnel bitube.

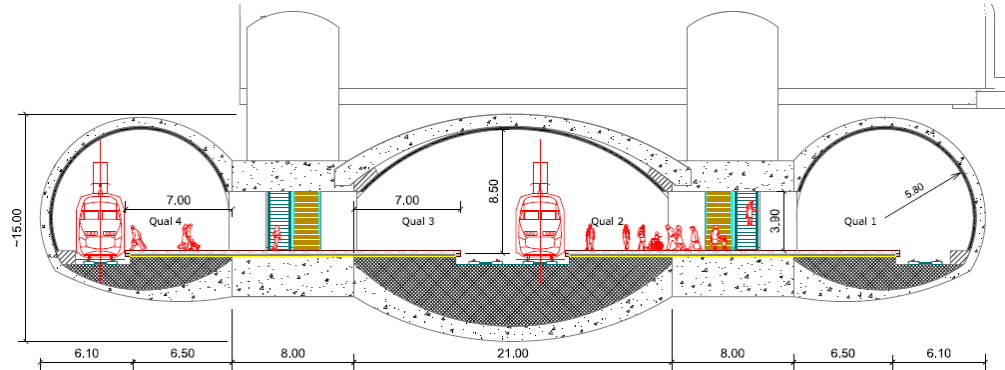
**Ces deux solutions visent à comprimer le volume des ouvrages principaux mais également celui des entonnements, ce afin de limiter les coûts et les risques.** Ainsi, l'objectif recherché par la solution gare « double » (gare bitube) est de s'affranchir de la voûte surbaissée d'une largeur utile de 21,0 m dont la réalisation s'avère délicate et potentiellement très impactante sur les avoisinants. En raison des entonnements, elle n'est valable que pour les tunnels bitubes. Bien que la zone d'influence géotechnique de la gare « double » soit plus vaste que celle de la gare « unique » (car la largeur totale des ouvrages est supérieure : 76 m contre 62 m), cette solution est plus favorable en termes de tassements avec une cuvette de moindre amplitude et des tassements différentiels moindres (cf. calculs de tassement présentés en annexe).

Pour mémoire, comme expliqué dans la section 1.2., ces deux configurations ne sont pas équivalentes en termes de fonctionnalités ferroviaires, puisque la configuration « gare unique » associée à un ouvrage monotube permet des communications entre les voies de sens opposées au niveau de la gare, alors que la configuration « gare double » ne le permet pas.

Les caractéristiques géométriques des deux solutions proposées sont synthétisées dans le tableau suivant. A ce stade des études, des largeurs de quai de 7 m ont été considérées en conformité avec les études de flux voyageurs réalisée dans le volet d'étude « Gare » (AREP).

Tableau 6 – Configurations de gare

### Gare unique avec tunnel central



#### Caractéristiques :

Largeur totale de la structure 62 m environ.

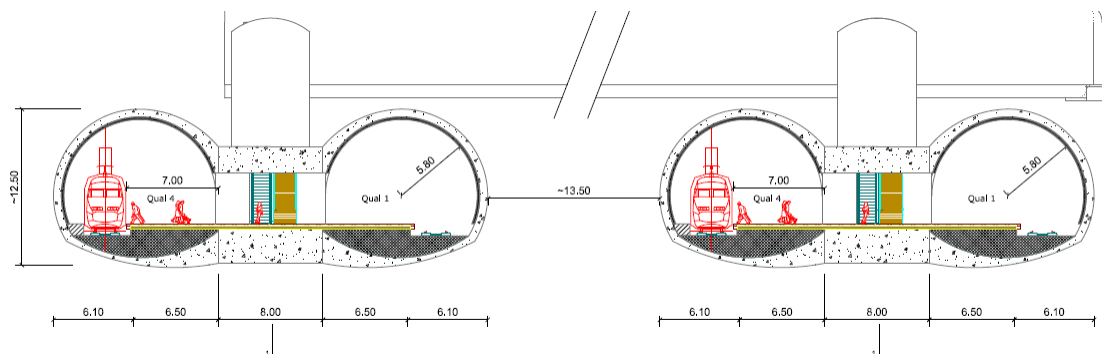
2 tunnels latéraux avec 1 seul quai, chaque tunnel présente une section excavée de 140 m<sup>2</sup> et un diamètre moyen de 13 m environ.

2 culées creuses dont la section excavée est proche de 90 m<sup>2</sup> (diamètre équivalent 10 m).

1 tunnel principal avec 2 quais dont la section atteint les 320 m<sup>2</sup> avec une portée d'environ 21,0 m.

**Type de tunnel :** Monotube mais adaptable au bitube

### Gare double ou double boîte



#### Caractéristiques :

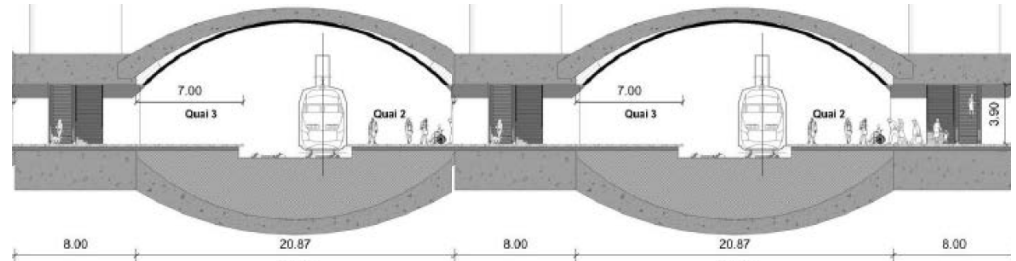
Largeur totale de chaque structure 33 m environ, largeur totale des deux ouvrages 80 m.

2 culées et 4 tunnels latéraux avec 1 quai ; les sections sont équivalentes à celles de la gare unique.

**Type de tunnel :** Bitube exclusivement

A ce stade des études, un 3<sup>ème</sup> type de gare, composé de 3 culées et de 2 tunnels principaux à deux quais, bien qu'intéressant pour les ouvrages d'entonnement, a été écarté, car la réalisation de 2 tunnels d'une ouverture de 21,0 m apparaît trop contraignante vis-à-vis des du creusement et des risques de tassement (cf. ci-après).

**Figure 32 : Coupe fonctionnelle de principe pour une gare avec deux grandes voutes**



Des calculs estimatifs de tassement ont été réalisés afin de comparer l'impact potentiel des différentes structures de gare. Les ordres de grandeurs de tassements ainsi calculés ne sont pas représentatifs des tassements réels qui seront limités grâce aux méthodes de réalisation proposées. En revanche, ils permettent de comparer entre eux les configurations des ouvrages principaux de la gare. Les résultats de ces calculs sont fournis en annexe. **En première approche, ils permettent de montrer que l'amplitude maximale de tassement pour la gare double est de 40% inférieure à celle de la gare unique et que le tassement différentiel de la gare double est 20% inférieur au tassement différentiel de la gare unique. La zone d'influence des tassements est en revanche plus large dans le cas de la gare double que pour la gare simple (+20%).**

### Ouvrages d'entonnement

Les ouvrages d'entonnement n'ont pas d'autre vocation que de permettre le raccordement des voies aux quais, pourtant, ils représentent entre 30 et 40% du volume total à excaver. Leur dimensionnement géométrique et fonctionnel dépend :

- du type de tunnel en section courante, bitube ou monotube ;
- de la distribution des quais et de la forme de la gare, quais centraux, quais latéraux, double gare (2 tubes de 2 voies) ou gare unique (1 tube de 4 voies) ;
- de la vitesse d'exploitation des voies déviées (tangente des appareils de voie).

Les entonnements sont composés d'un tunnel de transition de largeur variable (ou tunnel d'évasement) et de plusieurs tunnels de liaison permettant le raccordement sur les tunnels latéraux de la gare.

L'ouvrage de transition permet le débranchement d'une voie depuis le tube foré du tunnelier. Les éléments de tracé dépendent des performances ferroviaires attendues, dans le cas présent : vitesse de 60 km/h, appareil de voie tg 0,085, rayon minimal de 475 m.

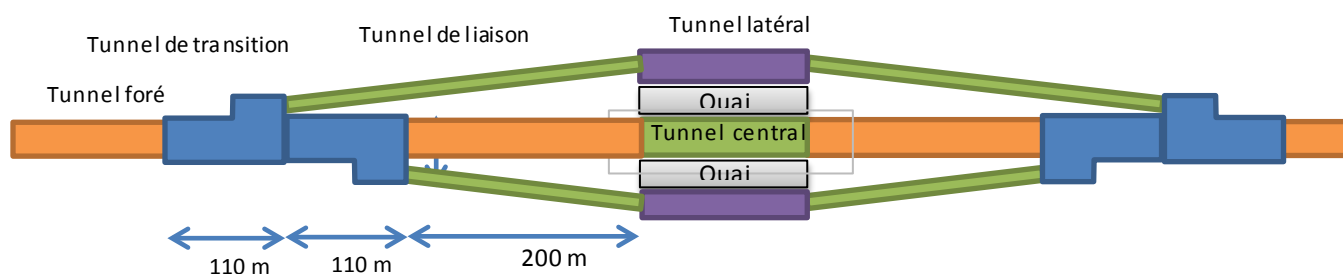
La largeur maximale et la longueur du tunnel de transition sont dimensionnées pour permettre de dégager la section des 2 tunnels de liaison et l'implantation d'une culée centrale. Elles doivent également libérer suffisamment d'emprise pour les équipements de sécurité et la maintenance des installations ferroviaires. L'évolution de la largeur se fait nécessairement par palier du fait des méthodes constructives.

**Figure 33 : Ouvrage de transition, gare monotube (EOLE)**



Dans le cas de la gare unique avec un tunnel monotube : 2 ouvrages d'entonnement sont à réaliser mais chaque ouvrage est constitué de 2 tunnels de transition qui se succèdent sur le tunnel foré au tunnelier. La portée du tunnel de transition atteint environ 22 m sans appui intermédiaire. C'est un maximum en termes de faisabilité technique dans les terrains attendus au niveau de Part-Dieu. C'est pour cette raison qu'il n'est pas possible de réaliser un ouvrage de transition unique pour les deux voies s'écartant des voies principales : un ouvrage unique aurait conduit à une portée supérieure à 32 m. Les deux entonnements alignés seront bout à bout. Le tunnelier est ripé et reprend le creusement jusqu'à la gare. Les appareils de voie devront être décalés en plan de 120 m.

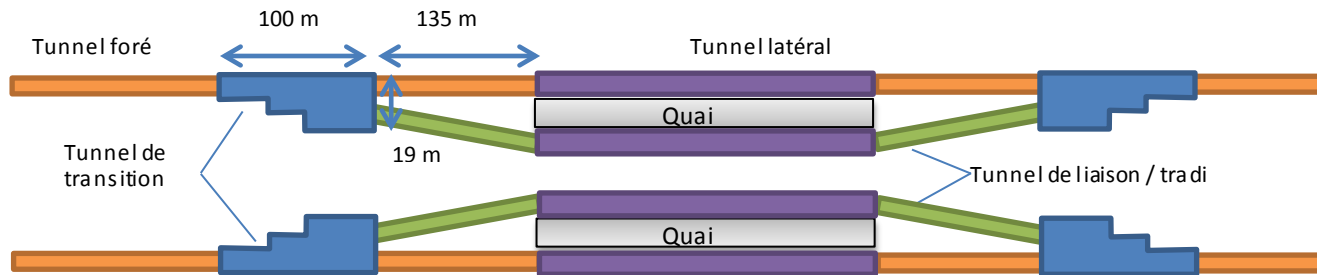
**Figure 34 : Entonnement pour une gare unique**





Dans le cas de la double gare avec un tunnel bitube : 4 entonnements sont à réaliser pour la gare. Le tunnel de liaison en alignement avec le tunnel latéral sera réalisé par le tunnelier, en alignement droit. Le tracé proposé éloigne au maximum les ouvrages de transition l'un de l'autre pour réduire l'impact géotechnique de leur réalisation (tassement). Un décalage longitudinal n'est pas envisagé car il induit des longueurs de tunnel de liaison plus importantes.

**Figure 35 : Entonnement pour une gare double**

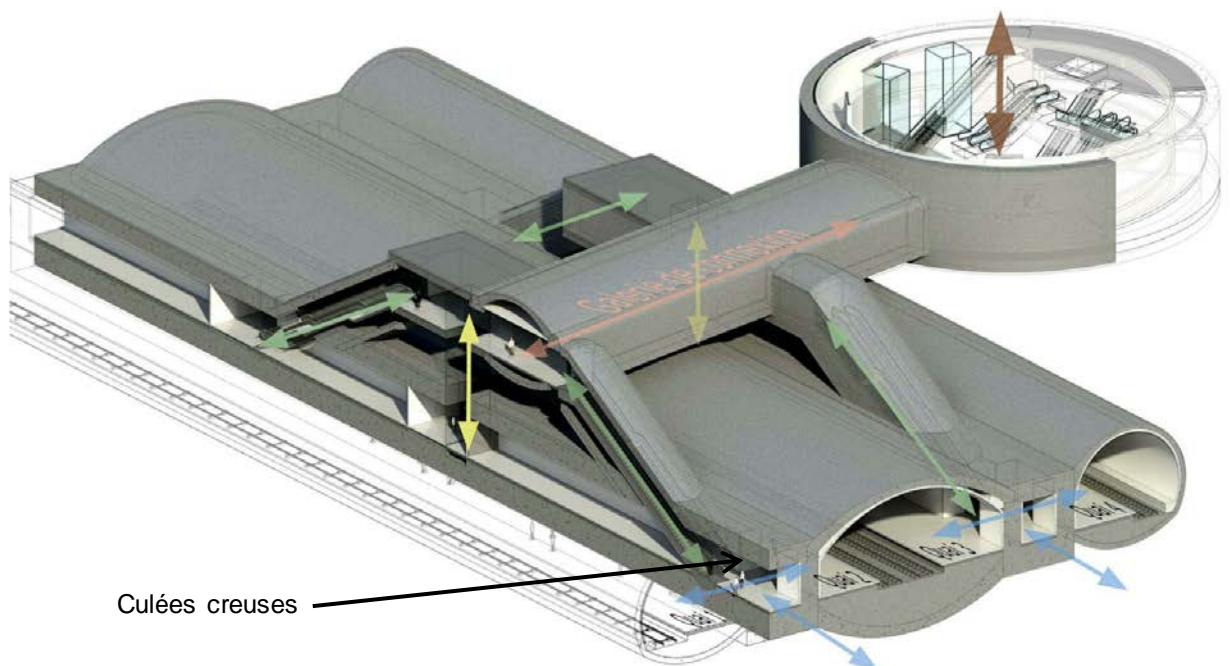


### 5.1.2 Caractéristiques des ouvrages d'accès voyageurs

L'accessibilité voyageurs et la localisation des accès constituent un entrant pour le choix des implantations de la gare. L'implantation de la gare est analysée dans le paragraphe 5.2.

Les accès voyageurs se font par des puits verticaux puis le cheminement jusqu'aux quais de la gare est assuré par des galeries principales de liaison alimentant des galeries inclinées de distribution au droit de chaque quai. Les galeries inclinées des escaliers et les gaines d'ascenseurs atteindront la gare au niveau des culées creuses.

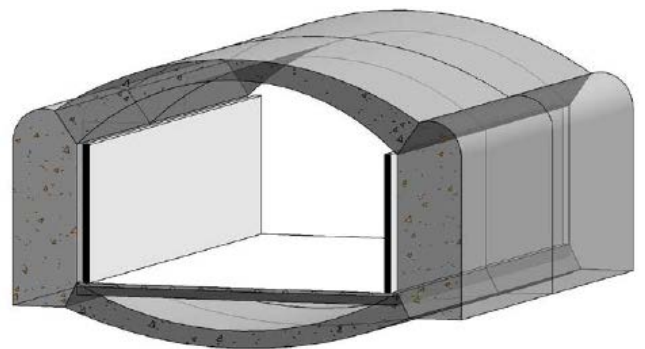
**Figure 36 : Principe de connexion entre les quais et les puits d'accès verticaux**



Les galeries principales sont, de préférence, en alignement droit et avec un profil en long penté de 1 à 1,5% selon les exigences d'accessibilité PMR.

Les hypothèses prises en compte à ce stade des études pour le dimensionnement des galeries sont les suivantes : une section utile de 10 m de large par 4 m de haut. Le dimensionnement de la section utile dépend de l'étude de flux piétons et des prescriptions en matière de sécurité. La section transversale (cf. figure 35) comporte une voûte surbaissée. La section excavée est proche de 110 m<sup>2</sup>.

**Figure 37 : Galerie de liaison horizontale**



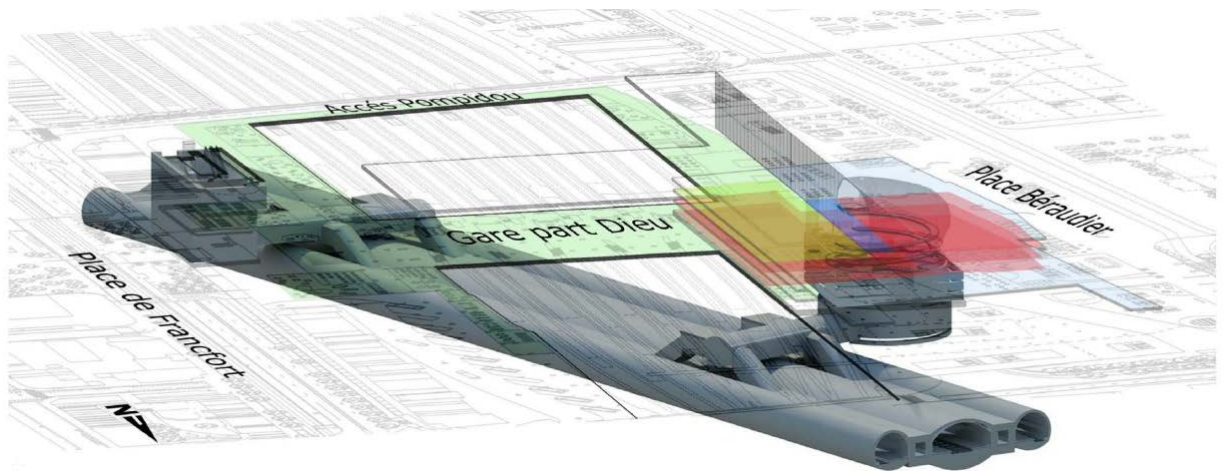
Le projet Part-Dieu a pris en compte la réalisation d'une gare souterraine en réservant deux emplacements pour les accès voyageurs à la gare souterraine :

- Une première réservation est prévue sur la place Béraudier dans le prolongement vertical d'un accès du futur parking Béraudier et du métro. Communication principale, cet accès serait conçu pour assurer les échanges avec la gare et les autres aménagements du PEM. Il communique en effet avec les différents espaces : métro, parking, gare en surface, etc. ;
- Une seconde réservation est prévue côté Vilette. En plus de l'accès voyageur, elle permet les fonctions de ventilation et de désenfumage de la gare souterraine.

**L'étude de la gare Part-Dieu a été réalisée dans un premier temps en considérant 2 puits de sortie reliant chacun les quais de la gare par une galerie horizontale. La galerie horizontale, dessert les quais avec deux trémies permettant de relier les quais à la galerie.**



**Figure 38 : Configuration de la gare prise en compte dans le premier dimensionnement**



Les études de flux menées par AREP dans le cadre du volet « Gare » des présentes études conduisent à envisager des accès plus importants pour plusieurs raisons :

- Afin d'améliorer le confort des usagers, il est souhaité de que chaque accès depuis le quai puisse mener à une sortie d'un côté ou de l'autre de la gare Part-Dieu actuelle.
- De plus, les hypothèses de fréquentations ont été revues à la hausse et le nombre d'escalators nécessaires est plus important qu'initialement estimé.
- Enfin, des sorties de secours ont été jugées nécessaires pour éviter les espaces en cul de sac en bout de quai.

Deux schémas ont alors été envisagés. Une première solution avec 2 couloirs horizontaux (salle d'échange double) reliant deux puits de sorties. Une seconde solution avec un couloir central (salle d'échange unique).

Figure 39 : Configuration de la gare n°1 : « salle d'échange double » (source : AREP)

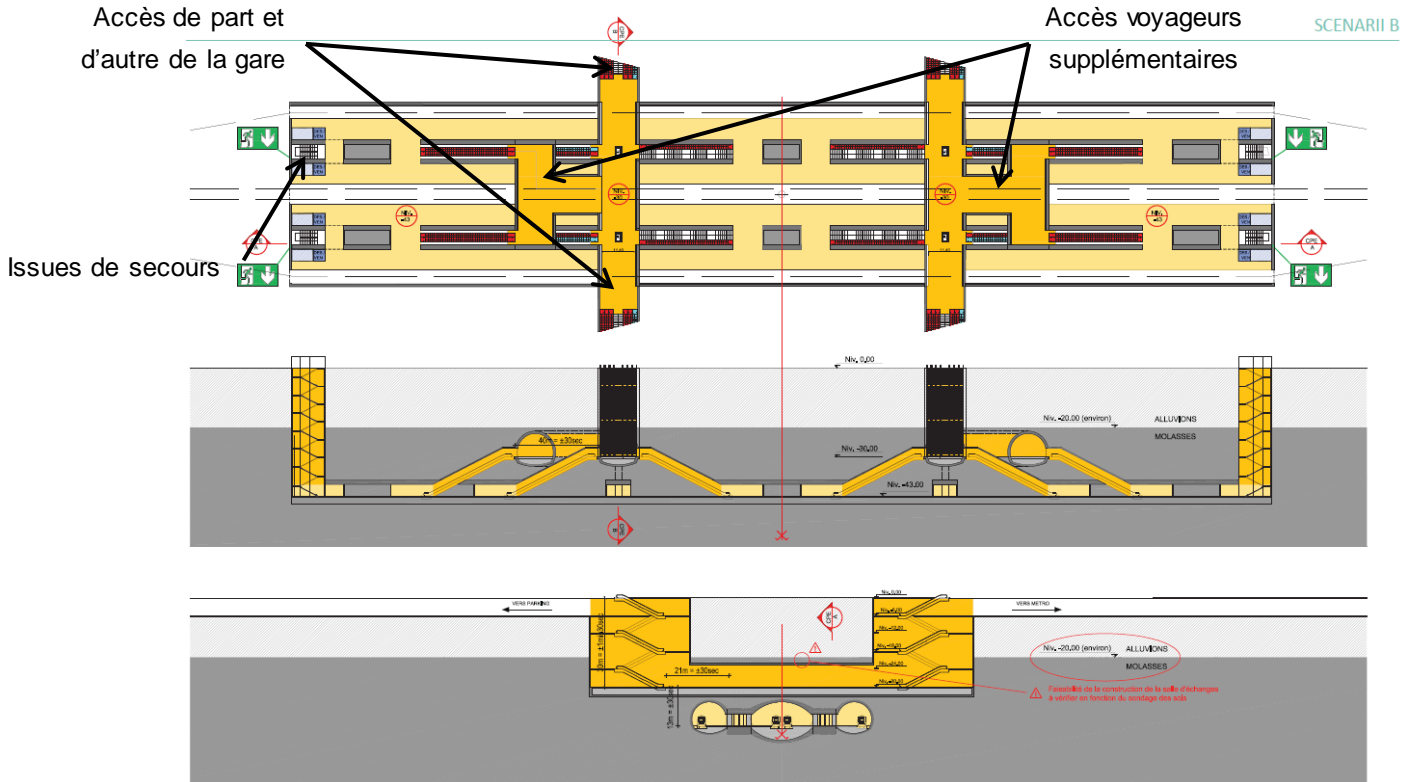
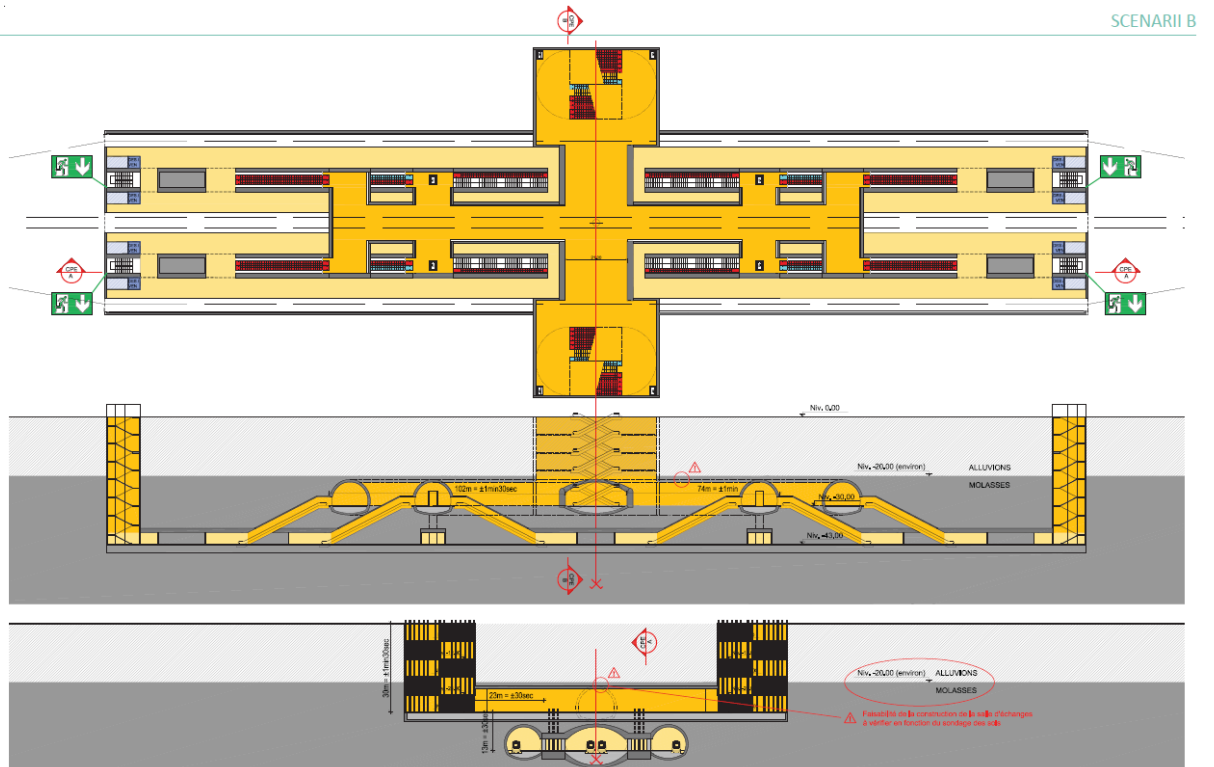


Figure 40 : Configuration de la gare n°2 : « salle d'échange unique » (source : AREP)



L'analyse technique de ces évolutions de conception des espaces voyageurs est la suivante :

- L'augmentation du nombre de galeries renchérit la complexité de la gare déjà très complexe, augmente les risques et les tassements.
- La solution n°2 avec salle d'échange unique induit des volumes de creusement trop important au-dessus du volume des quais. Cette solution semble infaisable sans approfondir encore le niveau des quais de manière à espacer les galeries entre elles et à augmenter la couverture de molasse pour le creusement de la galerie horizontale. Globalement il faudrait envisager de positionner la gare 10 à 20 mètre plus bas.
- La multiplication des accès de surfaces (4 puits et 2 sorties de secours) augmente les impacts sur les installations de surface.



**Au final, l'équilibre entre les souhaits fonctionnels pour les voyageurs et les possibilités technique est difficile à établir. Les études ultérieures devront avoir pour objectif d'affiner les hypothèses et les calculs de flux pour dimensionner les espaces de la manière la plus rationnelle possible vis-à-vis des contraintes techniques.**

### 5.1.3 Installation de chantier, puits de chantier, galerie de chantier

Des puits verticaux de chantier à l'aplomb de la gare ou déportés sont nécessaires afin de permettre le creusement des 4 entonnements et de la gare. Ils assureront l'acheminement des matériaux et l'évacuation des déblais. Ces puits sont logés au sein d'aires de chantier qui serviront à l'implantation de base vie (bureau, atelier...), au stockage provisoire des matériaux et déblais et aux circulations des engins de chantier. A l'issue des travaux, les puits de chantier peuvent servir d'accès voyageurs pour l'ouvrage définitif, d'issues de secours, de puits de ventilation ou bien être rebouchés.

Idéalement et *a minima*, les puits de chantier et leurs installations de chantier sont à positionner à l'aplomb de la gare afin de réduire la longueur de gare réalisée en souterrain et d'attaquer simultanément la gare et les entonnements. Ils doivent également être positionnés à proximité de routes pour assurer les flux du chantier :

- Si l'espace disponible est suffisant, il est très intéressant que les puits situés à l'aplomb de la gare englobent la largeur totale de la gare ou d'un des tunnels, soit une largeur pouvant atteindre 20 à 60 m intérieure. Une petite longueur de gare est alors réalisée directement depuis la surface. Aucune galerie n'est réalisée ;
- Les puits déportés présentent un diamètre intérieur de 10 à 20 m. L'accès au tunnel se fait par une galerie horizontale provisoire avec des sections d'excavation variant de 60 à 70 m<sup>2</sup> en section courante puis de l'ordre de 140 m<sup>2</sup> au droit de la gare. En effet, pour initier le creusement de la gare, la section de galerie de chantier doit être augmentée afin de positionner les engins. Cette extension de galerie se fait sur une largeur moyenne d'environ 60 m.

**Pour la logistique de surface, une aire principale d'installation de chantier, de 8 000 à 10 000 m<sup>2</sup> devra être installée. Au droit de chaque puits, les emprises nécessaires se situeront entre 1 000 et 2 000 m<sup>2</sup>.**

Les deux cartes ci-dessous sont reprises en grand format en annexe dans le dossier de plan.



Figure 41 : Accès voyageurs et installations de chantier, gare monotube

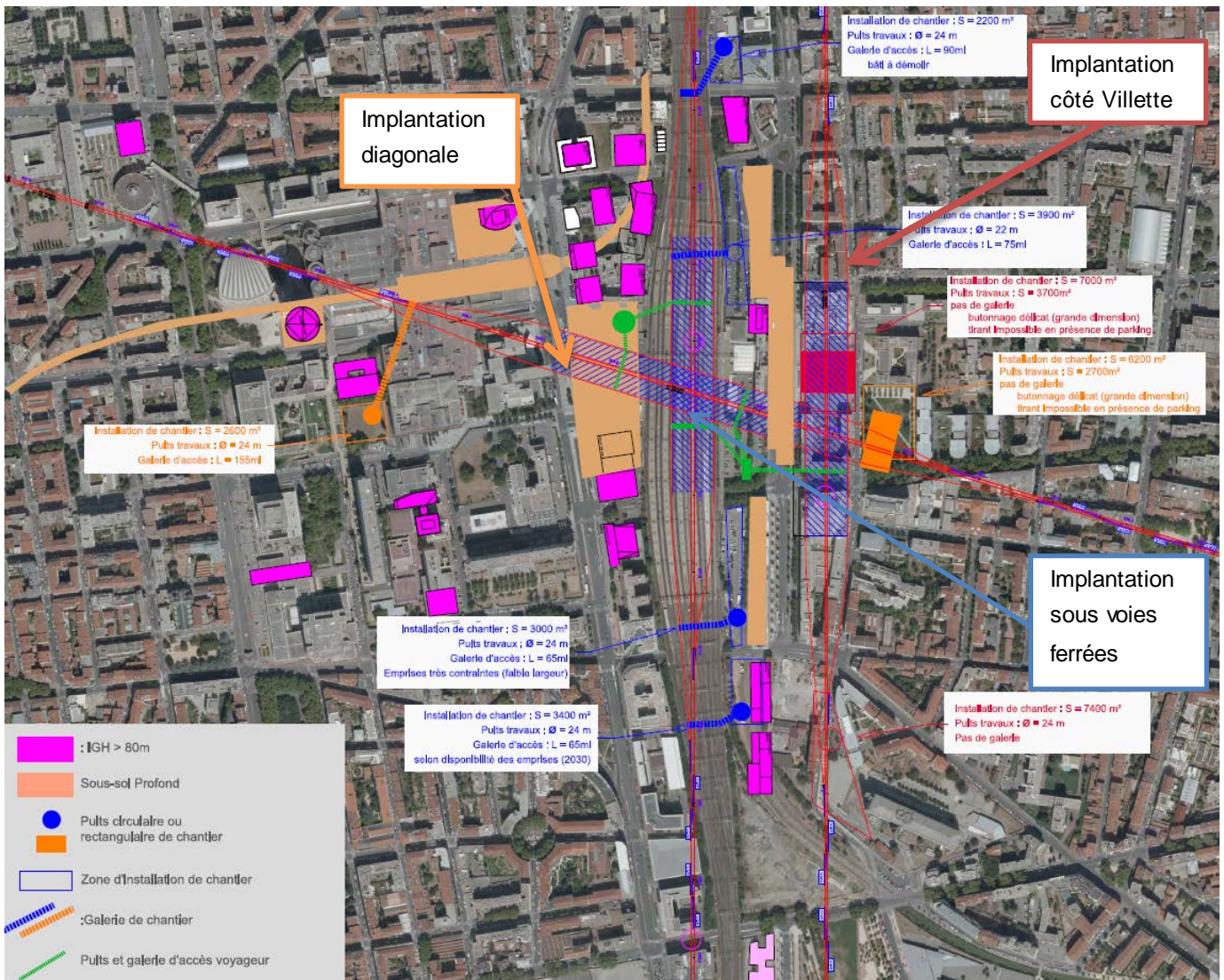
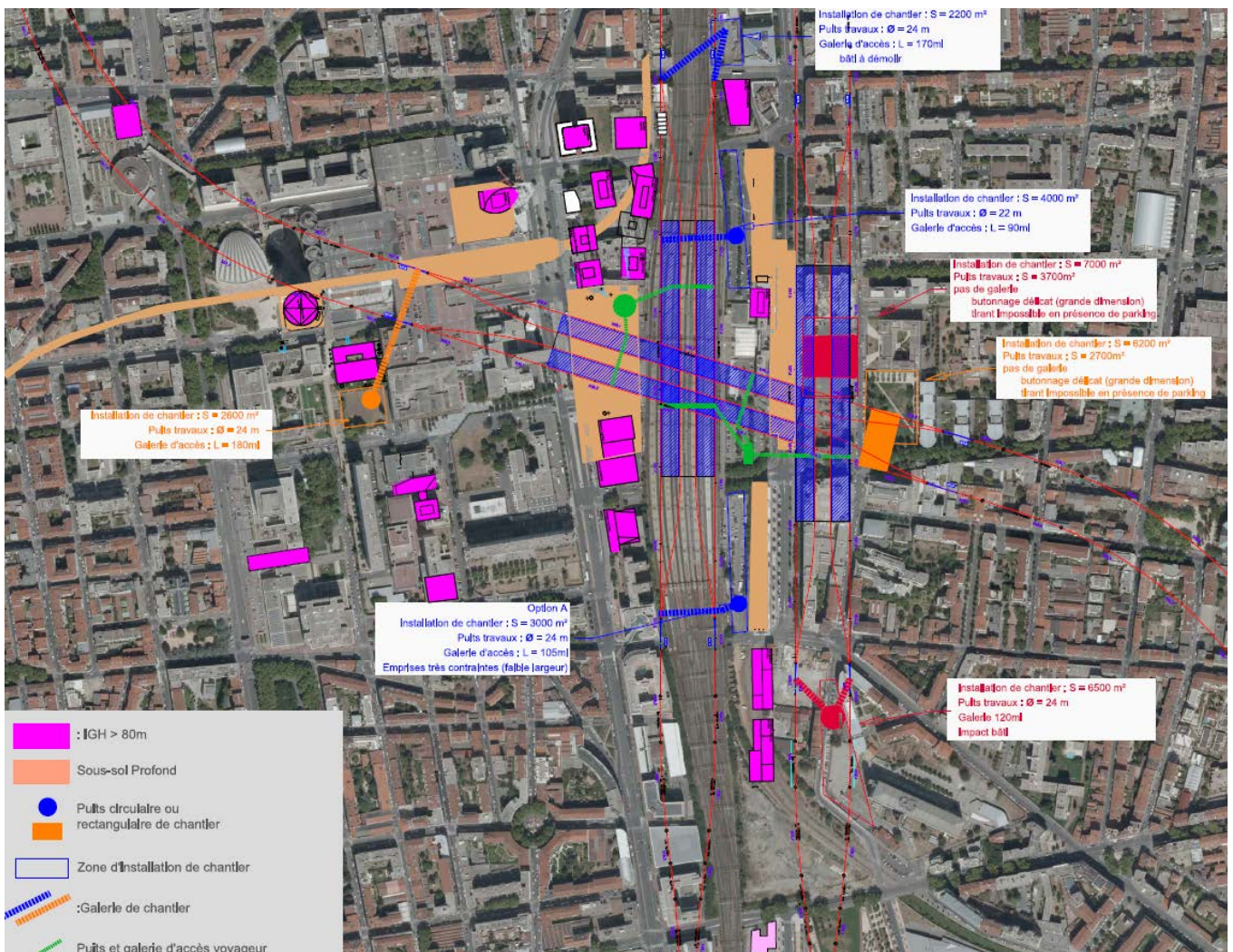




Figure 42 : Accès voyageurs et installations de chantier, gare bitube



Les puits et les aires de chantier associées seront utilisés pendant la durée de creusement de la gare soit 6 à 8 ans. En fonction de l'horizon de réalisation du projet, on pourra chercher à s'inscrire dans la démarche de rationalisation de la logistique des chantiers mise en œuvre par le Grand Lyon pour l'ensemble des travaux du projet Part-Dieu.

Du strict point de vue de la gare et des entonnements, plus il y a de puits, meilleures seront les conditions de réalisation de la gare. Cependant, un linéaire trop important de galerie provisoire et un volume de puits important peut devenir contre-productif, tout comme les nuisances liées au creusement de plusieurs puits au même moment dans le quartier de la Part-Dieu.

La prise en compte des nuisances sur les riverains et la saturation du réseau routier peuvent conduire à une réalisation phasée des puits et des galeries. Un compromis devra être trouvé qui ne peut être défini à ce stade des études.

Quelle que soit l'implantation de la gare, seuls les espaces disponibles à l'horizon 2030, c'est-à-dire sans démolition lourde, sont retenus. Cela concerne principalement les places publiques. Les phases ultérieures des études pourront prévoir la recherche de foncier plus adapté en autorisant des démolitions.

Les réservations envisagées pour les accès voyageurs dans le projet Part-Dieu (Béraudier et Villette), ne sont pas très adaptée à la réalisation des travaux :

- La réservation côté Béraudier offre une accessibilité routière limitée et contrainte par l'environnement de la gare. De plus, l'utilisation de la partie supérieure de cette réservation par les usagers du métro et du parking ne permet pas son utilisation comme puits de chantier pendant la durée des travaux (6 à 8 ans) ;
- La réservation côté Villette, bien que contrainte par l'environnement de la gare peut toutefois être utilisée pour le chantier, en fonction des implantations de la gare.

**Les possibilités d'installation de chantier au même titre que l'occupation du sol et du sous-sol constituent un entrant pour le choix des implantations de la gare. L'implantation de la gare est analysée dans le paragraphe 5.2.**

## 5.2 Implantation de la gare

Le positionnement de la gare est issu d'une analyse et du compromis entre les éléments suivants :

- les contraintes du sol et du sous-sol : le secteur de la Part-Dieu est caractérisé par de nombreux obstacles existants ou à venir (ouvrages en projet) qui imposent des limites directes ou indirectes (zone d'influence des tassements) au positionnement de la gare (cf. 2.3).
- les besoins d'accès voyageurs : l'ouvrage doit être positionné de manière à optimiser l'accessibilité pour les voyageurs qui la fréquentent en fonction de leur provenance ou de leur destination (correspondances ferroviaires, intermodalité avec les transports en commun, intermodalité avec la voiture particulière, accessibilité modes doux). Ce volet est traité plus précisément par l'étude « Gare » (AREP).
- les contraintes de réalisation de la gare : la méthode de réalisation envisagée nécessite de disposer de puits de chantier permettant d'accéder le plus directement à l'ouvrage définitif. Des zones logistiques adjacentes à ces puits permettent le stockage et la gestion des matériaux et du personnel de travaux.

### 5.2.1 Implantation altimétrique

L'implantation altimétrique de la gare, quelle que soit sa configuration, est obtenue par compromis. D'une part, la gare se doit d'être la moins profonde possible afin de minimiser les temps de parcours des voyageurs et, d'autre part, elle doit être réalisable et à moindre impact ; c'est-à-dire dans un contexte géologique « satisfaisant » et loin des ouvrages existants ou projetés (parking souterrain et IGH par exemple).

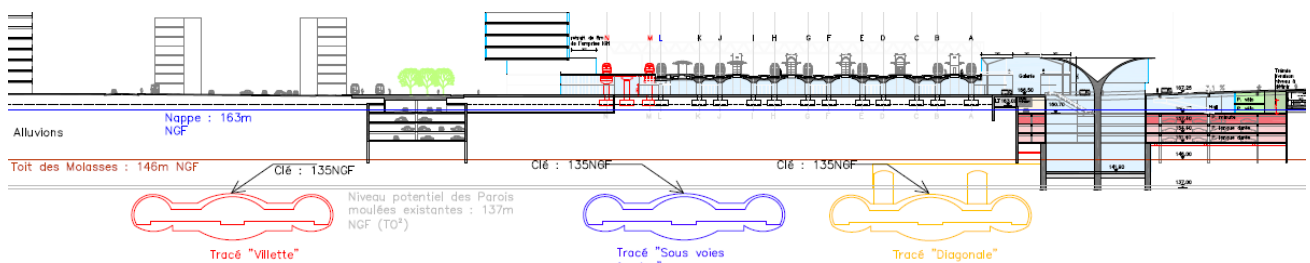
La coupe sommaire du sous-sol au droit de la gare de la Part-Dieu est la suivante (cf. 2.1 Description générale du contexte géologique et géotechnique) :

- Des alluvions sablo-graveleuses caractérisées par une très grande variété, de compacité faible à moyenne avec une haute perméabilité ;
- La molasse dont le toit est positionnée à 20 m de profondeur environ par rapport au TN.

Ce contexte met en évidence des alluvions de compacité faible à moyenne et de perméabilité plutôt forte, reposant sur un substratum molassique de compacité plutôt élevée et de perméabilité plutôt faible. Le niveau de la nappe phréatique des alluvions au droit de la gare se situe à 5 m de profondeur environ avec des variations possibles.

Le creusement dans les molasses, en ménageant une réserve suffisante par rapport au niveau de son toit, connu pour ses irrégularités, est la seule option possible sur le plan de la faisabilité technique. Une épaisseur de molasse en clé de 10 m est retenue pour assurer un bon comportement géomécanique du terrain lors du creusement (voûte de décharge dans un matériau homogène). Comme illustrée sur la vue ci-dessous, pour l'ensemble des implantations possibles, la clé de voûte est positionnée à la cote 135 m NGF. Cette même cote est retenue pour les gares « double boîte ». Il en résulte un calage du Z rail aux environs de la cote **125 m NGF**, soit une profondeur d'environ **43 m sous le TN**. Dans ces conditions, les galeries d'accès sont normalement creusées dans la molasse, même s'il existe un risque non négligeable de rencontrer des alluvions en clé de voûte. A ce stade des études, on considère que ce risque est acceptable compte tenu de la taille plus réduite de ces ouvrages.

**Figure 43 : Positionnement altimétrique de la gare**



### 5.2.2 Implantation en plan et azimut de la gare

Pour ce qui concerne l'implantation de la gare et son azimut, l'implantation doit permettre aux voyageurs d'atteindre rapidement les émergences tout en composant avec les contraintes physiques, l'optimisation des longueurs des tunnels forcés et l'implantation possible des accès chantier.

Le positionnement des deux réservations du PEM Part-Dieu répond au besoin fonctionnel de pouvoir accéder aux deux côtés de la gare actuelle depuis la gare souterraine. Dans le projet du PEM PD, l'implantation en plan de la gare n'est pas figée. Seules les émergences verticales sont considérées comme une hypothèse.



Les réflexions sur le positionnement des accès sont menées conjointement avec « l'étude gare ». La première phase d'étude a permis de montrer, qu'en plus des deux réservations du PEM Part-Dieu, des alternatives dans les positionnements des accès méritaient d'être envisagées, ne serait-ce que pour apporter des éléments de comparaison. A ce titre, **l'opportunité d'utiliser la place de Francfort comme puits d'accès et puits de chantier est ici envisagée.**

Le plan de roulement et les quais de la gare seront à ce stade implantés avec une pente longitudinale nulle et en alignement droit. Lors des études plus poussées, des dérogations à ce principe pourront être envisagées.

Les contraintes physiques comprennent :

- les contraintes directes, c'est-à-dire la présence d'un autre ouvrage au même endroit. A cette profondeur, ces contraintes sont limitées mais elles existent néanmoins :
  - fondations et fiches hydrauliques des parkings souterrains (Parking Villette et futur parking Béraudier),
  - dernier niveau de parking (cas du parking Béraudier suivant le nombre de niveaux retenus),
  - fondations et fiches hydrauliques des immeubles de grande hauteur : tour Oxygène et futurs immeubles ;
- les contraintes indirectes, c'est-à-dire les contraintes liées aux tassements que le creusement de la gare va provoquer sur les ouvrages situés à proximité. A ce stade des études, on cherche à éviter ces contraintes en éloignant les ouvrages creusés des ouvrages sensibles. Toutefois, vu la densité du bâti au niveau de la Part-Dieu, compte tenu de la taille de la gare et malgré sa profondeur, il faut anticiper que les ouvrages de surface seront impactés. Les études ultérieures devront définir plus précisément l'étendue de ces tassements, leur acceptabilité par les ouvrages environnants et les mesures palliatives envisageables : soit en confortant les ouvrages, soit en traitant le terrain. **Se place ici une part importante des coûts, des risques et des délais. De ce point de vue, la présence de voie ferrée existante en exploitation est très pénalisante puisque les déplacements et les distorsions normalement admis sont très faibles pour ces ouvrages.**

Il est important de noter que la longueur des quais influence considérablement le choix d'implantation des puits. Une gare « longue » offre naturellement davantage de possibilité d'implantation de puits ou, du moins, réduira les longueurs de galerie de chantier. A l'inverse, les gare courtes, bien que moins onéreuses, nécessiteront des galeries de chantier plus longues, voire l'impossibilité d'utiliser une zone potentielle de puits de chantier. Un compromis est à trouver.

Les trois implantations considérées comme envisageables lors de la première étape des études sont confirmées, que ce soit pour le tunnel bitube et le monotube (cf. Figure 39 : Accès voyageurs et installations de chantier, gare monotube et Figure 40 : Accès voyageurs et installations de chantier, gare bitube).

### Analyse comparative des implantations de gare sur le plan technique

Le tableau ci-dessous présente une comparaison technique des solutions de gare. Les critères suivants sont examinés :

- Emprises et puits de chantier ;
- Contraintes physiques.

La problématique de l'accessibilité voyageurs n'est pas traitée ici car elle fait l'objet d'une étude spécifique sous maîtrise d'ouvrage Gare et Connexion.

#### Installations de chantier

Les implantations peuvent être caractérisées comme suit :

- L'implantation Vilette est la plus intéressante pour le chantier, elle permet en particulier de creuser une partie de la gare depuis la surface au niveau de la place de Francfort ;
- L'implantation « Diagonale » permet de creuser une partie de la gare depuis la surface au niveau du parc Jeanne Jugan ; toutefois, il est difficile de trouver un accès pour le creusement de la partie Nord-Ouest ;
- L'implantation sous voies ferrées ne permet pas de creuser une section de gare depuis la surface. En revanche, il est possible de réaliser plusieurs puits de chantier le long des voies. Cette implantation est équivalente à l'implantation « Diagonale ».

**Tableau 7 – Comparatif des accès chantier**

Implantation	Type de tunnel	Installation de chantier mobilisable	Puits chantier principal		Puits chantier secondaire		
			Surface	Longueur galerie	nb	Surface	Longueur galerie
Gare Vilette	Monotube	7 400 m <sup>2</sup> au Sud 7 000 m <sup>2</sup> au centre	3 700 m <sup>2</sup>	Puits à l'aplomb de la gare	1	< 500 m <sup>2</sup> (Ø = 24 m)	Puits à l'aplomb de la gare
	Bitube	6 500 m <sup>2</sup> au Sud 7 000 m <sup>2</sup> au centre	3 700 m <sup>2</sup>	Puits à l'aplomb de la gare	1	< 500 m <sup>2</sup> (Ø = 24 m)	120 ml
Gare sous voies ferrées	Monotube	2 200 m <sup>2</sup> au Nord (Avec démolition bâti) 4 000 m <sup>2</sup> au Nord 3 000 m <sup>2</sup> au Sud 3 400 m <sup>2</sup> au Sud	380 m <sup>2</sup>	80	1 1 1	C450 m <sup>2</sup> C450 m <sup>2</sup> C450 m <sup>2</sup>	90 65 65
	Bitube	2 200 m <sup>2</sup> au Nord (Avec démolition bâti) 4 000 m <sup>2</sup> au Nord 3 000 m <sup>2</sup> au Sud	380 m <sup>2</sup>	80		C450 m <sup>2</sup> R600 m <sup>2</sup> (*) C450 m <sup>2</sup>	120 90 105
Gare diagonale	Monotube	7 500 m <sup>2</sup> à l'Est 2 600 m <sup>2</sup> à l'Ouest	2 700 m <sup>2</sup>	Puits à l'aplomb de la gare	1	C450 m <sup>2</sup>	174
	Bitube	6 200 m <sup>2</sup> à l'Est 2 600 m <sup>2</sup> à l'Ouest	2 700 m <sup>2</sup>	Puits à l'aplomb de la gare	1	C450 m <sup>2</sup>	180

(\*) Puits rectangulaire correspondant au puits d'accès des voyageurs côté Vilette.

Contraintes physiques

Les implantations peuvent être caractérisées comme suit :

- L'implantation Vilette est la plus intéressante car elle se situe sous des bâtiments de sensibilité moyenne. Les ouvrages sensibles les plus proches sont les voies ferrées (150 m de l'axe de la gare) et les immeubles situés le long du boulevard Vilette, dont certains pourraient être des IGH ;
- L'implantation « Diagonale » génère des contraintes de tassements sur les ouvrages ferroviaires. Les tassements se concentrent sur la partie en ouvrage de la gare, ce qui pourrait peut-être permettre des mesures palliatives de type vérinage. Les IGH de la place de Milan et du projet « Two Lyon » sont potentiellement sensibles. Cette implantation risque de nécessiter une reprise en sous-œuvre des parkings Vilette et Béraudier, dont la profondeur des fondations est inconnue à ce stade des études ;
- L'implantation sous voies ferrées va générer un tassement maximum sous les voies ; toutefois, les tassements différentiels pourraient être plus limités que dans la solution précédente. Les immeubles bordant les voies ferrées à l'Est et à l'Ouest sont potentiellement sensibles et proches de la gare.

**Tableau 8 – Comparatif impacts physiques**

Implantation	Type de tunnel	Impacts directs	Impacts indirect	
			Id	Distance en plan / axe gare
Gare Vilette (rouge)	Monotube		Parking Vilette Tour Paul Bert Tour mouton duvernet	40 m 75 m 75 m
	Bitube	Parking Vilette	Tour Paul Bert Tour mouton duvernet	65 m 65 m
Gare sous voies ferrées (bleu)	Monotube	Gare Part-Dieu	Complexe Lafayette-Vilette Métro B Tour EVA Complexe Milan Bonnel Complexe Milan Gare Parking Béraudier Two Lyon Gemellyon Paul Bert Mouton duvernet	35 m 55 m 62 m 45 m 62 m 75 m 70 m 70 m 75 m 75 m
	Bitube	Complexe Milan Bonnel Gare Part-Dieu Complexe Milan Bonnel	Complexe Lafayette-Vilette Métro B Tour EVA Complexe Milan Gare Parking Béraudier Two Lyon Gemellyon Paul Bert Mouton duvernet	45 m 50 m 55 m 55 m 60 m 63 m 62 m 82 m 80 m
Gare diagonale (jaune)	Monotube	Parking Vilette Parking Béraudier Métro B	Complexe Milan Béraudier Two Lyon	65 m 75 m
	Bitube	Parking Vilette Parking Béraudier Métro B	Complexe Milan Béraudier Two Lyon	30 m 75 m

### 5.3 Méthode de réalisation des puits de chantier et des puits d'accès pour les voyageurs

Ces ouvrages seront réalisés au moyen de parois moulées qui seront fichées hydrauliquement dans les molasses afin de réduire les volumes de pompage pendant les travaux. Elles présentent une épaisseur de l'ordre de 1,2 m.

Un radier poids ou non, avec bouchon étanche ou radier drainant, est réalisé en fond de fouille selon le choix de la mise en place d'un pompage permanent. Un radier drainant est envisageable pour réduire la sous-pression et les problématiques de flottabilité mais cela induit un système de pompage conséquent (plusieurs milliers de m<sup>3</sup>/h).

Le puits Béraudier présente la particularité d'être situé à l'aplomb d'un parking souterrain qui devrait être construit avant 2020 devant la gare. Les travaux demandent donc au préalable la modification et le confortement du parking.

Le principe de réalisation est le suivant :

- Etape 1 : réalisation des parois moulées, excavation, butonnage, réalisation du radier. L'utilisation de tirant sera limitée aux seuls puits de très grandes dimensions et devra être compatible avec la forte occupation du sous-sol du quartier ;
- Etape 2 : réalisation des galeries horizontales ;
- Etape 3 : utilisation des puits pour les travaux de la gare uniquement pour les puits de chantier ;
- Etape 4 : réalisation des structures pour les accès voyageurs ;
- Etape 5 : second œuvre et équipement pour les accès voyageurs ;

### 5.4 Creusement de la gare et des entonnements

#### 5.4.1 Rappel des méthodes envisageables (rapport d'étape)

Du fait des contraintes foncières dans le secteur Part-Dieu, la possibilité de réaliser la gare depuis la surface, à l'abri d'une enceinte en parois moulées, est écartée. **Le principe d'une gare réalisée au moyen de méthode de construction souterraine dans les molasses est à retenir.**

#### Analyse de la possibilité de réaliser une gare par une méthode mécanisée

Dans certains cas, une gare souterraine peut être réalisée à l'aide d'un tunnelier de diamètre suffisant pour y loger les quais. Le creusement en méthode conventionnelle depuis la surface est alors réduit aux seuls ouvrages d'accès et de secours. Les économies d'injection et de confortement peuvent compenser le surcoût du plus grand diamètre du tunnel. Toutefois, cette méthode ne convient pas à la configuration de la gare à 4 voies envisagées à la Part-Dieu, elle convient pour une gare où chaque voie serait desservie par un quai.

Enfin, dans le même esprit, des tunneliers exceptionnels à bouclier triple pourraient être envisagés. Dans ce cas, il faut néanmoins réaliser des puits importants permettant l'entrée/sortie d'une telle machine en zone urbaine dense. Les difficultés liées au coût et à l'amortissement d'une telle machine sont aussi à regarder. Le seul cas connu est celui du métro de Tokyo (tunnelier Mitsubishi) où le tunnelier a pu réaliser plusieurs stations. La possibilité d'utiliser une telle machine pour creuser une gare ferroviaire de grande longueur avec de grands volumes est trop aléatoire à ce stade des études pour constituer une solution de faisabilité.

**Bien que ce type de méthode ne puisse être totalement écartée, il est nécessaire de baser l'étude de faisabilité sur une méthode plus couramment utilisée et sur laquelle on dispose d'un retour d'expérience suffisant.**

**Figure 44 : Tunnelier du métro de Tokyo – source** <https://www.mhi-ms.co.jp/en/products/urban/contents/tunnel.html>



### Analyse de la possibilité de réaliser une gare par une méthode conventionnelle « entièrement » depuis le sous-sol

Il pourrait être envisagé de creuser la gare à partir du ou des tunnels qui seraient réalisés dans un premier temps. Ceci se heurte toutefois à de nombreuses problématiques :

- Ce type de technique est envisageable dans un sol dur et en l'absence d'eau. La nécessité de réaliser des traitements de terrains depuis les tubes est trop contraignante :
  - Le volume de terrain à injecter puis excaver est très important. Dans le cas d'un tunnel bitube, l'espace est très limité pour faire circuler les engins nécessaires au traitement du sol,
  - Dans le cas d'un monotube, la position d'arrivée centrale du tube ne permet pas de traiter le terrain convenablement pour former une voute ;
- Ceci suppose d'amener l'ensemble des équipements et d'évacuer les déblais depuis l'extrémité du tunnel (à 5 km) ou depuis un accès intermédiaire, mais ceux-ci sont également situés en zone urbaine. Ceci semble trop contraignant compte tenu du volume à excaver ;
- Le démontage des voussoirs du tunnel semble difficile à envisager à de telles profondeurs même après le traitement du sol environnant ;
- Enfin, ceci pose de lourdes contraintes sur le planning puisqu'il faut réaliser les tunnels avant de pouvoir commencer à réaliser la gare.

A ce stade des études, il est raisonnable d'écarter cette méthode dont les conditions de mise en œuvre sont trop aléatoires.

### Analyse de la possibilité de réaliser une gare par une méthode conventionnelle avec puits d'accès depuis la surface

**La méthode de réalisation la plus réaliste consiste alors à réaliser des puits de chantier verticaux, puis partir de ces puits pour creuser des galeries horizontales provisoires qui permettront d'atteindre puis de creuser la cavité centrale.** Cette famille couvre une grande variété de méthode de construction : voûte active (Jacobson), arc cellulaire, traitement de sol, pré-soutènement, soutènement du front.

**Cette méthode est retenue à ce stade des études et décrite plus en détail dans le paragraphe qui suit.**

#### 5.4.2 Creusement de la gare et des entonnements en méthode conventionnelle

Les méthodes de creusement envisageables doivent intégrer :

- le contexte géologique : sol meuble sous nappe ;
- la maîtrise des impacts sur les existants : tassements, risque de fontis ;
- les cadences et les coûts de réalisation.

Au niveau de la faisabilité, compte tenu du contexte lyonnais, il est envisagé que l'ensemble des ouvrages souterrains de la gare et de ses entonnements soit réalisé au moyen de méthodes de creusement conventionnelles associées à un traitement de terrain, connues également sous le nom de creusement en traditionnel. Il ne semble pas possible à ce stade d'envisager des méthodes de creusement mécanisées avec confinement du front, en raison de la géométrie des ouvrages et de leurs connexions. Les méthodes mécanisées, dans le contexte de la géologie lyonnaise, induisent la pose du revêtement pendant le creusement ; leur dépose pour le raccordement des différents volumes peut se révéler périlleuse, longue et coûteuse. Les études ultérieures pourront inclure la recherche de méthodes « innovantes » de ce type, mais à ce stade, elles ne peuvent être envisagées pour asseoir la faisabilité.

Les ouvrages réalisés en traditionnel dans le cadre des travaux de la gare représentent un volume d'excavation d'environ **600 000 m<sup>3</sup> pour la gare bitube et 800 000 m<sup>3</sup> pour la gare monotube** :

- Le tunnel central, dans le cas de la gare unique (monotube). A voûte surbaissée, sa portée est d'environ 22 m. Sa section d'excavation est de 320 m<sup>2</sup> environ ;
- Les culées creuses, destinées à servir d'appui aux tunnels qui les jouxtent ainsi qu'au raccordement avec les galeries voyageurs. Leur section d'excavation est d'environ 90 m<sup>2</sup> ;
- Les tunnels latéraux recevant un quai. De forme quasi-circulaire, leur section d'excavation avoisine les 140 m<sup>2</sup> ;
- Les tunnels de transition au niveau des entonnements. A voûte surbaissée, leur portée maximale, en fonction du monotube ou du bitube, varie de 19 à 22 m et leurs sections d'excavation maximale varient de 430 à 500 m<sup>2</sup>. Leur longueur est pour le bitube de 100 m et de 110 m pour le monotube.


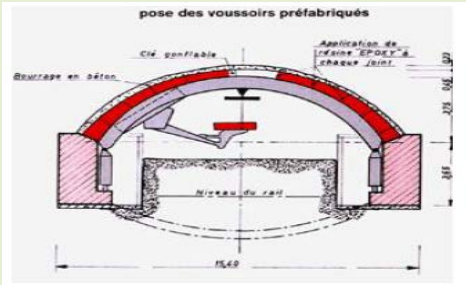


- Les tunnels de liaison assurant le raccordement des entonnements à la gare. Leur section excavée est d'environ 100 m<sup>2</sup> ;
- Les galeries voyageurs. A voûte surbaissée, leur portée dépasse les 10 m pour une section excavée d'environ 110 m<sup>2</sup> ;
- Les galeries de chantier qui assurent l'accès au chantier depuis les puits verticaux de chantier. Leur section excavée varie de 70 m<sup>2</sup> à 140 m<sup>2</sup> au droit de la gare.

Le tableau ci-après expose les principales familles de procédés d'exécution ainsi que les tunnels concernés. Toutes ces méthodes sont complexes, lourdes et coûteuses. Pour la méthode à arc cellulaire s'ajoute les faibles retours d'expérience, notamment compte tenu de la longueur à réaliser. **A ce stade des études, l'objectif n'est pas de retenir l'une de ces méthodes ni de les comparer pour savoir laquelle est la meilleure. Les données techniques sur les ouvrages et le sol sont, à ce stade, insuffisantes. L'objectif est ici de montrer qu'un panel de solutions existe, dont l'une au moins pourra répondre aux exigences et aux caractéristiques du projet. Plusieurs solutions différentes pourront être envisagées pour les différents ouvrages.**



**Tableau 9 – Méthodes de réalisation de la gare**

Méthode de réalisation envisagée	Phasage	Tunnel concerné
<p><b>Voûte active / voûte Jacobson</b></p>  <p>Ferrailage et bétonnage du radier contre-voûte</p>  <p>pose des voussoirs préfabriqués</p> <p>Méthode semi-mécanisée. Elle est adaptée aux voûtes surbaissées de portée importante qui permettent l'utilisation d'un outillage aux dimensions importantes (érecteur). Il s'agit de constituer une voûte, composée de voussoirs préfabriqués, au plus près du front afin de limiter le déconfinement du terrain et donc les tassements (limitation du décousu). Les voussoirs sont posés au moyen d'un érecteur mobile. La voûte formée prend appui sur des culées préalablement réalisées. Avant chaque volet d'avancement, le terrain doit être traité. Les culées creuses peuvent également servir au traitement. Des drains de décharge subhorizontaux pourront également être nécessaires. Cette méthode a été utilisée sur de nombreux ouvrages du RER ou métro parisien (EOLE et station Pyramide, par exemple).</p>	<p><b>A – réalisation de la demi-section supérieure</b></p> <p>A0 – Réalisation des culées</p> <p>A1 – Traitement terrain</p> <p>A2 – Creusement avec pose de revêtement définitif constitué de voussoirs au plus près du front</p> <p>A3 – Mise en charge au vérin plat de la voûte</p> <p><b>B – réalisation de la demi-section inférieure</b></p> <p>B1 – Traitement terrain</p> <p>B2 – Creusement avec réalisation au plus près du revêtement définitif général en béton coulé en place</p>	<p>- Tunnel de transition</p> <p>- Tunnel central</p> <p>- Galerie d'accès voyageurs</p>

### Arc cellulaire

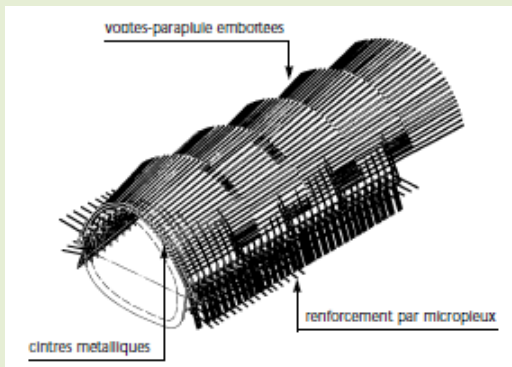


Autre variante possible pour les voûtes surbaissées avec une faible couverture. Elle consiste à créer dans le sol et en préalable au creusement du tunnel, une structure porteuse. Cette structure porteuse est généralement composée de colonnes horizontales jointives. Elle forme les cellules. Lors du creusement, les cellules sont liaisonnées et soutenues par des arcs généralement en béton armé. En préalable au creusement, le terrain est traité et des drains subhorizontaux sont disposés. Une station sur le métro de Séoul et sur le métro de Milan ont été réalisées selon ce procédé.

- 1 – réalisation des colonnes sur toute la longueur
- 2 – creusement avec traitement du terrain et réalisation des cintres en béton armé (arcs)
- 3 – fin du creusement et réalisation d'un radier si nécessaire.

- Tunnel de transition
- Tunnel central
- Galerie d'accès voyageurs

### Creusement à pleine section ou section divisée avec pré-soutènement et soutènement du front



Ces techniques de creusement sont classiques et dites « manuelles ». La maîtrise de la stabilité du front et des tassements est assurée par le pré-soutènement et le soutènement du front. Après l'amélioration du comportement du sol par traitement de terrain, le pré-soutènement et le soutènement du front sont réalisés. Des drains de décharge subhorizontaux pourront également être nécessaires. Un soutènement transversal lourd, composé de cintre et de béton projeté est également mis en œuvre. Le revêtement définitif doit être réalisé le plus tôt possible pour bloquer le déconfinement du terrain et ainsi les tassements. Il est composé d'un béton coulé en place. La méthode ADECORS sera bien adaptée : elle s'applique à tous ces procédés (stratégie fondée sur maîtrise de l'extrusion du front de taille et du déconfinement en calotte + industrialisation des procédés d'excavation/soutènement)

- 1 – réalisation du traitement de terrain
- 2 - creusement avec pose des pré-soutènements, du soutènement du front et des soutènements transversaux
- 3 - mise en œuvre de l'étanchéité
- 4 - réalisation du revêtement définitif

- Culée creuse
- Tunnel de liaison
- Tunnels latéraux
- Galerie d'accès voyageurs
- Galerie de chantier

### Traitements de terrain

Les traitements de terrain permettront une amélioration des caractéristiques mécaniques des terrains et une réduction de leur perméabilité. Ces traitements sont réalisés depuis le fond de fouille et concernent donc essentiellement les molasses. Compte tenu des caractéristiques supposées des molasses (à ce stade des études), cette amélioration permettra d'assurer la stabilité du sol pendant le creusement des ouvrages ; elle concourt au soutènement provisoire des ouvrages et limite les débits d'eau. D'autre part, l'amélioration du comportement du sol contribue à la réduction des tassements en surface et à la maîtrise des risques par la création d'une couche de répartition.

Le traitement de terrain est effectué en couronne à l'avancement du creusement de chacun des ouvrages grâce à des injections en couronne sur plusieurs mètres d'épaisseur (de l'ordre de 5 m en première approximation, valeur à confirmer). Les phases de creusement alternent avec les phases de traitement, ce qui réduit fortement les cadences de réalisation des ouvrages et augmente les coûts.

Pour les matériaux fins que sont les molasses, les techniques et les solutions d'injection sont peu nombreuses puisqu'il convient d'injecter un liant très fluide sous pression dans un milieu initialement peu poreux. Une alternative consisterait à réaliser des colonnes de jet-grouting. Ce procédé, plus intrusif et reposant sur le mélange du terrain en place, voire à sa substitution, à un liant (coulis de ciment), se heurte également à la compacité des molasses. Il serait par ailleurs bien plus onéreux.

Dans tous les cas, ces travaux d'injection intéressent des volumes conséquents et se heurtent, par ailleurs, aux problématiques de protection de l'environnement et d'impact sur la nappe.

Une campagne de reconnaissance et d'essai est à concevoir afin de caractériser l'injectabilité des molasses ainsi que les performances pouvant être obtenues. L'opportunité d'une ou plusieurs galeries de reconnaissance et de pré-traitement devra être analysée lors des études ultérieures.

### Maîtrise des tassements

Sans amélioration des caractéristiques mécaniques des terrains et avec des méthodes classiques de creusement, les tassements attendus en première approximation peuvent atteindre 12 à 13 cm avec des tassements différentiels importants. La zone d'impact géotechnique (ZIG) est approximée au stade des études de faisabilité à la largeur de la cuvette des tassements. Elle engage une bande d'environ 180 m centrée sur l'axe de la gare. Ces amplitudes sont, sans mesures spécifiques, inacceptables au sein du quartier de la Part-Dieu : voie ferrée, métro, IGH, parking souterrain...

L'amélioration des caractéristiques de terrains et les méthodes de réalisation proposées permettront de limiter ces tassements. Des actions sur le phasage de réalisation, en limitant le nombre de fronts de taille ouverts, pourront être envisagées, au prix d'un impact sur les délais et les coûts.

Lors des phases ultérieures d'études, une analyse de l'acceptabilité de ces déplacements sur les ouvrages existants permettra la définition de mesures complémentaires : confortement des ouvrages, injection de compensation, vérinage...

## 5.5 Synthèse comparative des options de gare

Le tableau de synthèse ci-dessous montre clairement que la solution technique la plus intéressante est celle d'une gare bitube avec un positionnement côté Vilette.



On retiendra à ce stade, la difficulté de devoir concevoir un ouvrage souterrain pour des flux des voyageurs si important. Les études ultérieures devront avoir pour objectif d'affiner les hypothèses et les calculs de flux pour dimensionner les espaces de la manière la plus rationnelle possible vis-à-vis des contraintes techniques.

Tableau 10 – Comparaison des options de gare

		Niveau de tassements générés	Disponibilité foncière pour Installations de chantier	Risques associés à la proximité d'ouvrages avoisinants
<b>Monotube</b>	Gare Vilette	--	+	+
	Gare sous les voies	--	-	--
	Gare diagonale	--	-	--
<b>Bitube : gare double</b>	Gare Vilette	-	+	+
	Gare sous les voies	-	-	--
	Gare diagonale	-	-	--

## 6 Raccordements

### 6.1 Ouvrages de génie civil

Les raccordements nécessitent la réalisation de tranchées couvertes puis ouvertes depuis la tête de tunnel jusqu'au point de raccordement. La longueur des ouvrages dépend des pentes autorisées pour le profil en long et la profondeur à atteindre pour le démarrage du tunnel foré au tunnelier. Pour un profil plat du terrain naturel et une épaisseur de couverture au démarrage du tunnelier de 1,5 diamètre, il faut environ : 700 m en bitube et 900 m en monotube.

Figure 45 : Longueur des tranchées : bitube

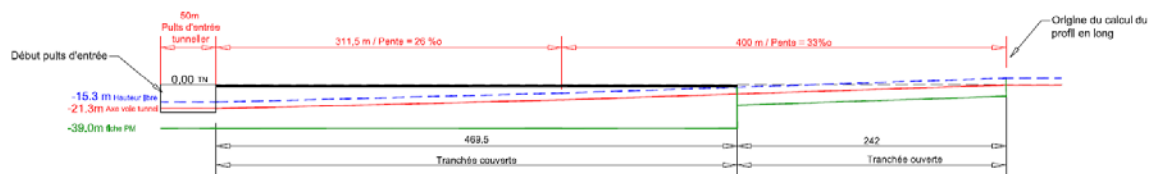
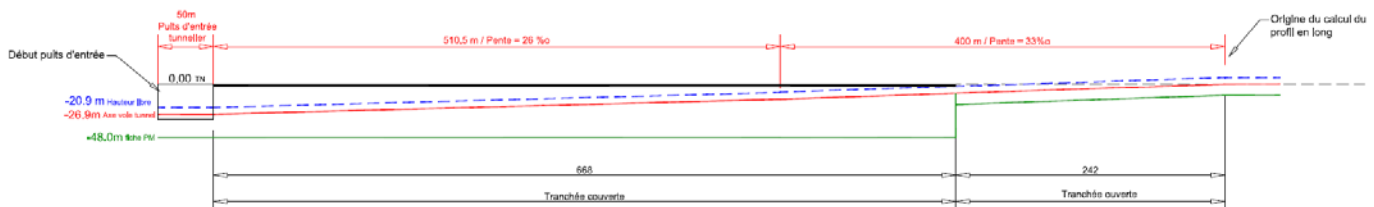


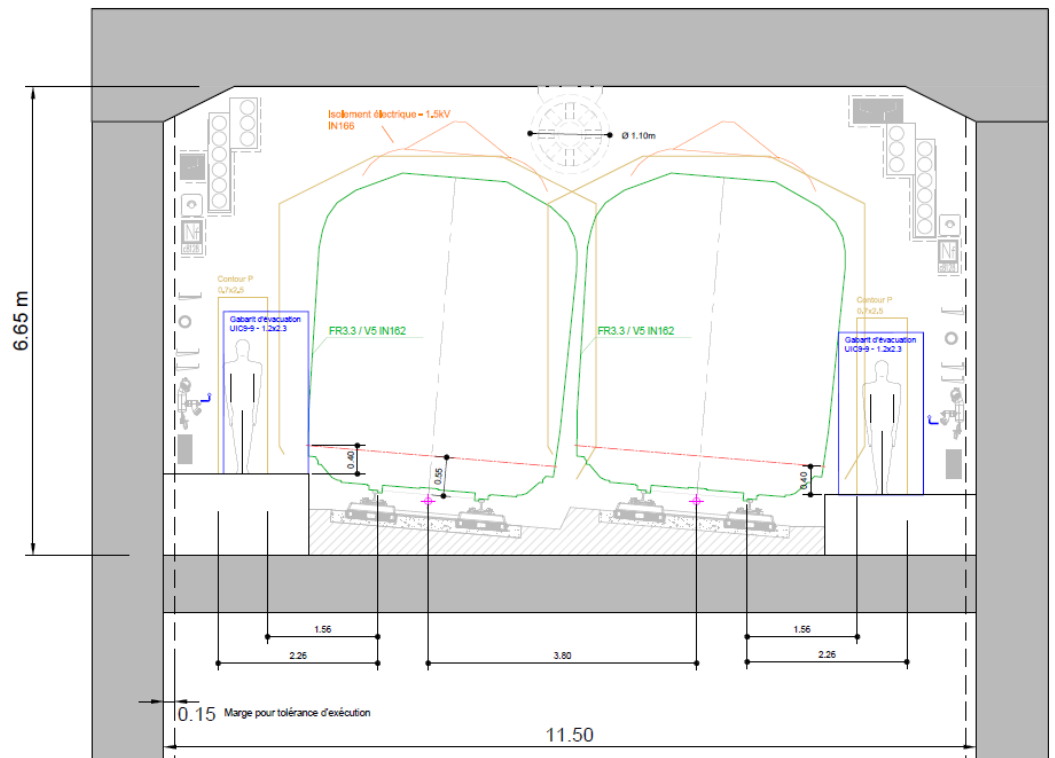
Figure 46 : Longueur des tranchées monotube



A partir d'une certaine profondeur du Z rail, les tranchées sont couvertes par une dalle et un remblai. Ceci est possible à partir d'une profondeur du **plan de roulement de 8 m par rapport au terrain naturel**, hauteur nécessaire pour dégager le gabarit ferroviaire, loger la dalle de couverture et permettre le cas échéant une épaisseur minimale de remblai pour reconstituer les aménagements de surface.

La section en travers respecte les spécifications utilisées pour la conception de la section en monotube : entraxe, gabarit, cheminement latéraux... elle présente une largeur intérieure de 11,5 m pour deux voies et 5,4 m pour une voie et une hauteur libre de 6,65 m entre le plan de roulement et la dalle supérieure. La largeur des parois moulées est variable de 1,0 à 1,2 m en fonction de la profondeur, que ce soit pour les tranchées couvertes ou les tranchées ouvertes.

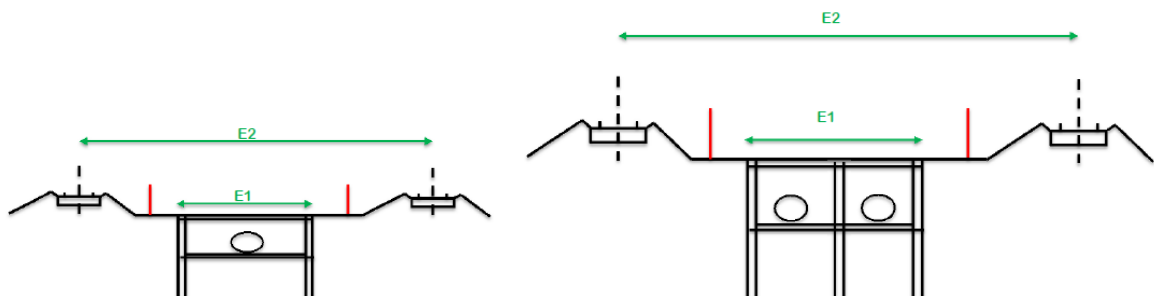
Figure 47 : Coupe des tranchées monotube



Les emprises nécessaires à la réalisation des tranchées sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 11 – Dimension des tranchées

	Entraxe	Gabarit intérieur	Epaisseur d'une paroi moulée	E1 : Emprise hors tout d'ouvrages (fini)	distance mini de l'axe de voie le plus proche	E2 : Emprise mini hors tout entre axe de voies exploitées pour réalisation de travaux
<b>Double voie</b>	3,8	11,5	1,2	13,9	6	<b>25,9</b>
<b>Voie unique</b>	-	6,5	1,2	8,9	6	<b>20,9</b>



**Pour les tranchées couvertes**, les fiches (parois moulées) sont ancrées de plus en plus profond au fur et à mesure que le fond de fouille s'enfonce. Elles sont ancrées dans les molasses avec une profondeur d'ancrage de 5 m tant que le fond de fouille est situé dans les alluvions, elles jouent alors le rôle de fiches hydrauliques pour limiter les venues d'eau. Lorsque le fond de fouille atteint les molasses, les parois moulées descendent à 10 m de profondeur sous le fond de fouille. Elles ont alors un rôle mécanique pour la stabilité de l'ouvrage.

L'importante productivité de la nappe induit, pendant la phase travaux, de très forts débits de pompage, plusieurs milliers de m<sup>3</sup> par heure. A ce stade des études, l'option d'ancrer les parois moulées dans les molasses est préférée à une injection du fond de fouille pour les garanties qu'elle apporte en termes de maîtrise des débits de pompage de la nappe. Les volumes à traiter sont, par ailleurs, très importants et leur estimation reste délicate sans données complémentaires. Une attention particulière doit être portée sur l'impact des écrans sur l'environnement, notamment vis-à-vis de l'effet barrage : ces effets sont analysés dans l'étude hydrogéologique.

**Pour les tranchées ouvertes**, une fiche minimale de 5 à 10 m est prévue en fonction du fond de fouille.

**Figure 48 – Tranchées couvertes en cours de travaux (prolongement du métro B à Oullins) © Egis Rail**







## 6.2 Raccordement Nord

L'émergence au Nord se compose, depuis le débranchement, d'une tranchée ouverte, d'une tranchée couverte et du puits démarrage du ou des tunneliers. Elle est similaire quels que soient le scénario de tracé envisagé et le type de tunnel (monotube / bitube), à l'exception de la géométrie du puits d'entrée du tunnelier. L'émergence Nord du tunnel, se fait au niveau de l'ancienne gare fret de Saint-Clair dont l'espace pourra servir pour la logistique chantier.

La phase travaux va condamner le chemin qui borde la voie. Un accès provisoire peut être rétabli par le chemin qui borde le Rhône. L'accès pourra être rétabli après réalisation de la dalle de la tranchée couverte.

Figure 49 – Le raccordement Nord



### Equipements ferroviaires

A Saint-Clair, les nouvelles voies se débranchent des voies existantes de la ligne 890 000 dans la zone d'alignement au niveau du PK 9+600. La vitesse de ligne est de 140 km/h à ce niveau.

Le projet prévoit l'implantation de deux communications en plus des deux débranchements. Ces appareils sont franchissables à 100 km/h (tg 0,05). Ces travaux « classiques » pourront être réalisés de nuit sous ITC pour la ligne d'Ambérieu.

Les travaux nécessitent la modification du poste 13 PRSI de Saint-Clair télécommandé depuis la CCR. Ce poste gère 14 itinéraires et 2 autorisations correspondant à 20 signaux et aiguilles. Ce poste a été mis en service en 1980 et modernisé en 2010 ; il sera donc en fin de vie à l'horizon 2030. Ce poste devrait être modifié en lui ajoutant la gestion de 6 aiguilles et en modifiant (déplaçant) 2 signaux : carré 101 (PK 11+331) et carré 102 (PK 8+823). Le gestionnaire d'infrastructure estime que sa modification sera difficile. Il est donc envisagé un poste neuf gérant 26 signaux et aiguilles et une modification de la télécommande.

Les travaux nécessitent l'intégration des nouvelles installations électriques dans le central sous-station de Lyon. Les possibilités de modifier les installations existantes sont inconnues à ce stade des études.

### Déroulement des travaux

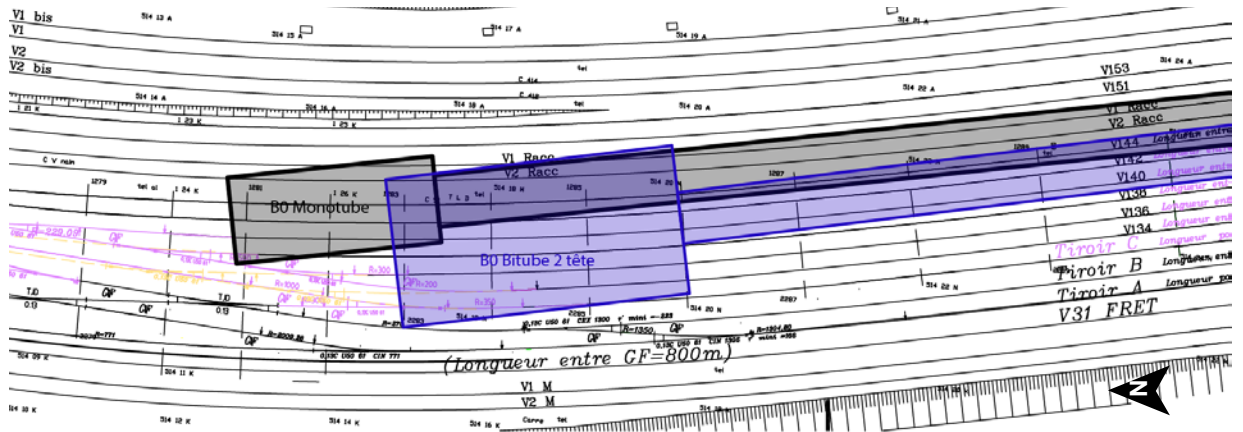
Les travaux sont réalisés en utilisant l'accès depuis l'avenue de Poumeyrol et un accès direct est possible depuis l'ancienne barrière de péage (cf. Figure 27 : Emprises chantier à Saint-Clair). Les phases travaux sont les suivantes :


- Etape 1 : libération des emprises et déviation des réseaux ;
- Etape 2 : réalisation des parois moulées, excavation, butonnage ou mise en œuvre de tirants provisoires, réalisation du radier avec ou sans réalisation d'un bouchon injecté ;
- Etape 3 : réalisation des structures ;
- Etape 4 : mise en place des équipements ferroviaire et de sécurité ;
- Etape 5 : restitution des emprises / aménagement de surface.


### 6.3 Raccordements Sud : scénario B0

Dans le cas du scénario B0, le raccordement au Sud se fait sur les voies Racc au niveau de Guillotière. Les variantes possibles de raccordement sont analysées dans la note NG140097A joint en annexe. La solution préférentielle est celle d'une sortie en tunnel monotube dont la tête est située au Sud de la rue Challemel Lacour. Une sortie en bitube est également envisageable techniquement mais elle a un impact plus important sur le plateau de voie (voir figure ci-dessous), c'est pour cela qu'elle n'est pas la solution préférentielle.

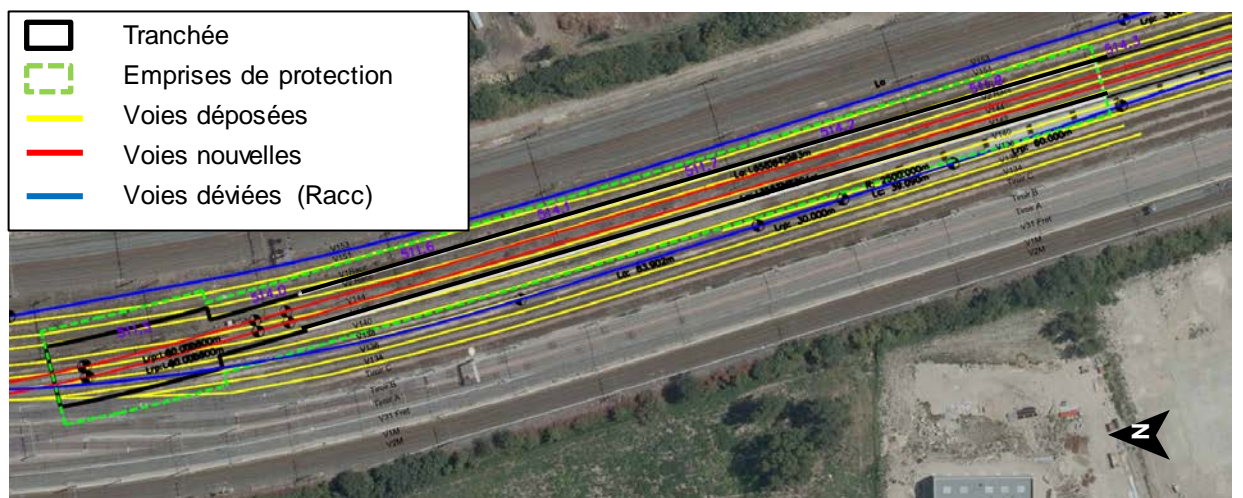
**Figure 50 – Croquis de l’emprise et de l’impact du puits de démarrage du tunnelier et des tranchées pour le scénario B0 selon la configuration monotube / bitube**



 La sortie en monotube ne permet pas la hauteur de couverture initialement souhaitée (1,5 diamètre) au point de démarrage du tunnelier et au franchissement de la rue Challemeil Lacour. La couverture sera d'1 diamètre environ au point de démarrage et sous la rue. Ceci reste faisable mais requerra des mesures de confortement spécifiques notamment vis-à-vis du pont rail de la rue Challemeil Lacour.

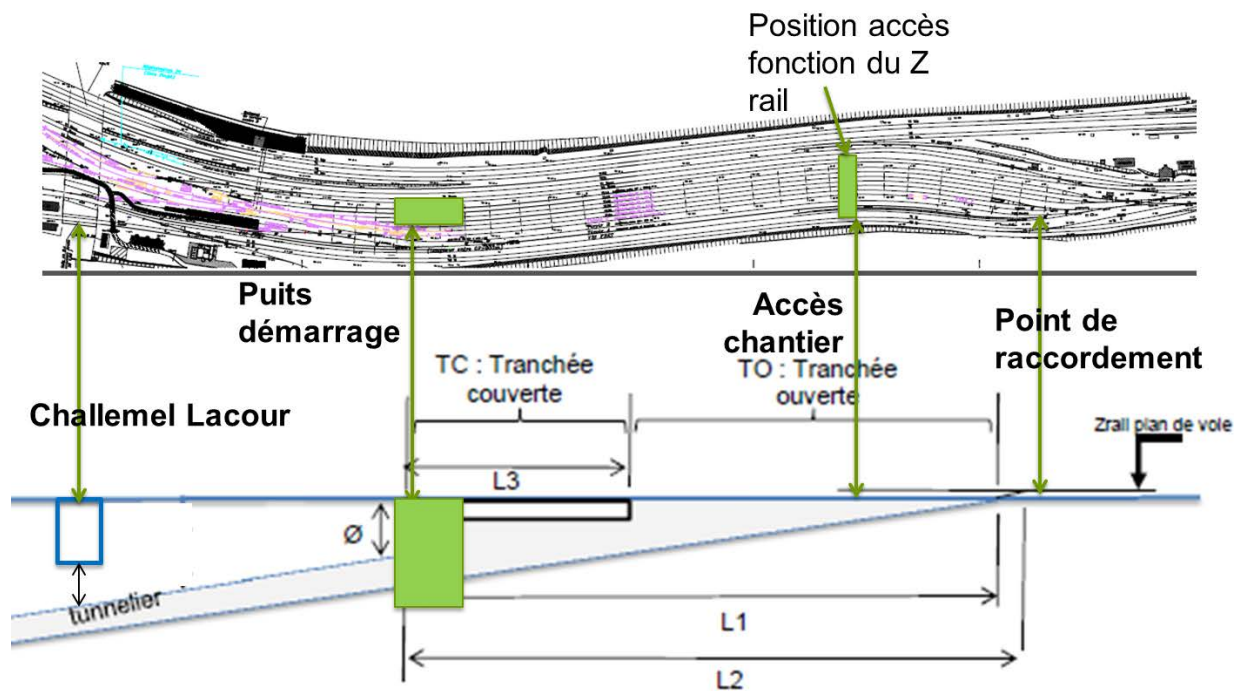
 La largeur du puits de sortie va empêcher totalement l'utilisation du faisceau relais de Guillotière pendant la phase chantier. A l'issue des travaux, les voies 134 et peut-être la voie 136 peuvent être reconstituées (à confirmer dans les études ultérieures avec la précision des tracés). Le besoin de reconstitution de ce faisceau est un point qui devra être examiné par les études ultérieures, en lien notamment avec l'aménagement du raccordement de St Fons. La reconstitution peut être envisagée à l'Ouest des voies M existantes.

**Figure 51 – Raccordement Sud – B0**



Au-delà du puits, la tranchée de sortie est réalisée à l'emplacement des voies Racc et 144 actuelles (cf. **figure 48**). Pour sa réalisation, il sera nécessaire de réaliser un accès travaux depuis l'Ouest : un accès sera créé sous les voies M, 31 fret et les tiroirs A, B et C.

**Figure 52 – Croquis des contraintes de tracé pour la sortie Sud**



Le phasage des travaux est complexe et les impacts sont très importants sur le plan de voie.

Les travaux peuvent être décomposés en trois grandes phases :

1. Travaux préparatoires permettant le démarrage du chantier tunnel. Il s'agit de mettre à disposition les emprises nécessaires à la réalisation de la tranchée au cœur du faisceau ;
2. Travaux de génie civil : réalisation de la tranchée puis du tunnel. Cette phase est très longue. Afin de maintenir la fonctionnalité des voies Racc pendant cette phase, celles-ci sont reconstituées à l'emplacement des voies 151 et 153 actuelles. Cette reconstitution est provisoire pour la voie V2 Rac qui sera rétablie en phase définitive côté Ouest ;
3. Travaux de raccordement définitif une fois les travaux du tunnel réalisés.

Ces trois phases sont détaillées ci-dessous.



### **Phase 1 : travaux préparatoires :**

- Etape 1 : fermeture du faisceau relais et déposes des voies 134 à 144. Les voies 151 et 153 sont maintenues pour servir de voies « Racc » provisoires. Ces travaux sont réalisés par le mode ferroviaire car il n’y a pas d’accès routier. Les travaux de dépose de la voie 144 à proximité des voies Racc seront réalisés de nuit sous ITC. La circulation sur les voies Racc existantes peut être maintenue pendant cette phase travaux ;
- Etape 2 : création d’un ouvrage souterrain d’accès sous les voies M, V31 fret et les tiroirs A, B et C. Cet ouvrage va permettre d’acheminer la logistique chantier et servira d’accès secours en phase définitive. Afin de permettre la circulation des camions, l’ouvrage fera environ 8 m d’ouverture et 35 m de largeur. Compte tenu des contraintes pour accéder à la zone « centrale » pendant cette phase, l’ouvrage devra être réalisé depuis le côté Ouest du plateau de voies ferrées. 2 méthodes sont envisageables :
  - Réalisation à l’avancement par une méthode de type « tabliers auxiliaires ». Ces travaux peuvent être réalisés en partie de nuit (travaux préparatoires) mais nécessiteront une ITC de 48h pour la pose du tablier. La pose d’un tablier auxiliaire requière la mise en place de LTV. Cette méthode est longue et très onéreuse,
  - Réalisation d’un ouvrage préfabriqué et ripage de l’ouvrage. Compte tenu de la largeur nécessaire (35 m), la faisabilité d’une telle solution reste à confirmer. Ces travaux demandent une ITC de longue durée pendant la phase de ripage. Cette méthode de réalisation permet de s’affranchir très largement des contraintes d’exploitation pendant la réalisation de l’ouvrage ;
- Etape 3 : déviation des voies Racc existantes vers les voies 151 et 153 :
  - Régénération des voies 151 et 153,
  - Dépose de deux appareils BS 0,13 au Nord (743aV et 744),
  - Dépose de TJD 0,13 (756ac/759bd) ; TJS 0,11 (758a/756b) et BS 0,11 (758b) au Sud,
  - Reprises caténaïres,
  - Cantonnement des voies 151 et 153, modification du poste 17 de Guillotière et de sa télécommande. La configuration du poste de signalisation sera très proche en phase provisoire et en définitive : modifications à la marge du paramétrage.

### **Phase 2 : travaux de génie civil**

Les travaux sont réalisés en utilisant l’accès créé précédemment. Cet accès débouche dans la tranchée.

- Etape 1 : réalisation des parois moulées, excavation, butonage, réalisation du radier ;
- Etape 2 : réalisation de la plateforme de lancement du tunnelier, montage du tunnelier et des installations associées ;
- Etape 3 : creusement du tunnel et évacuation des déblais par l’accès créé.



### **Phase 3 : travaux de raccordement**

Cette phase permet de réaliser les installations définitives.

- Etape 1 : réalisation des dalles de couvertures, remblaiement ;
- Etape 2 : pose de la voie 2 Racc définitive, travaux caténaïres ;
- Etape 3 : sous ITC pour les voies Racc : travaux de raccordement, essais et mise en service.

## **6.4 Raccordements Sud : scénario B4 (bitube)**

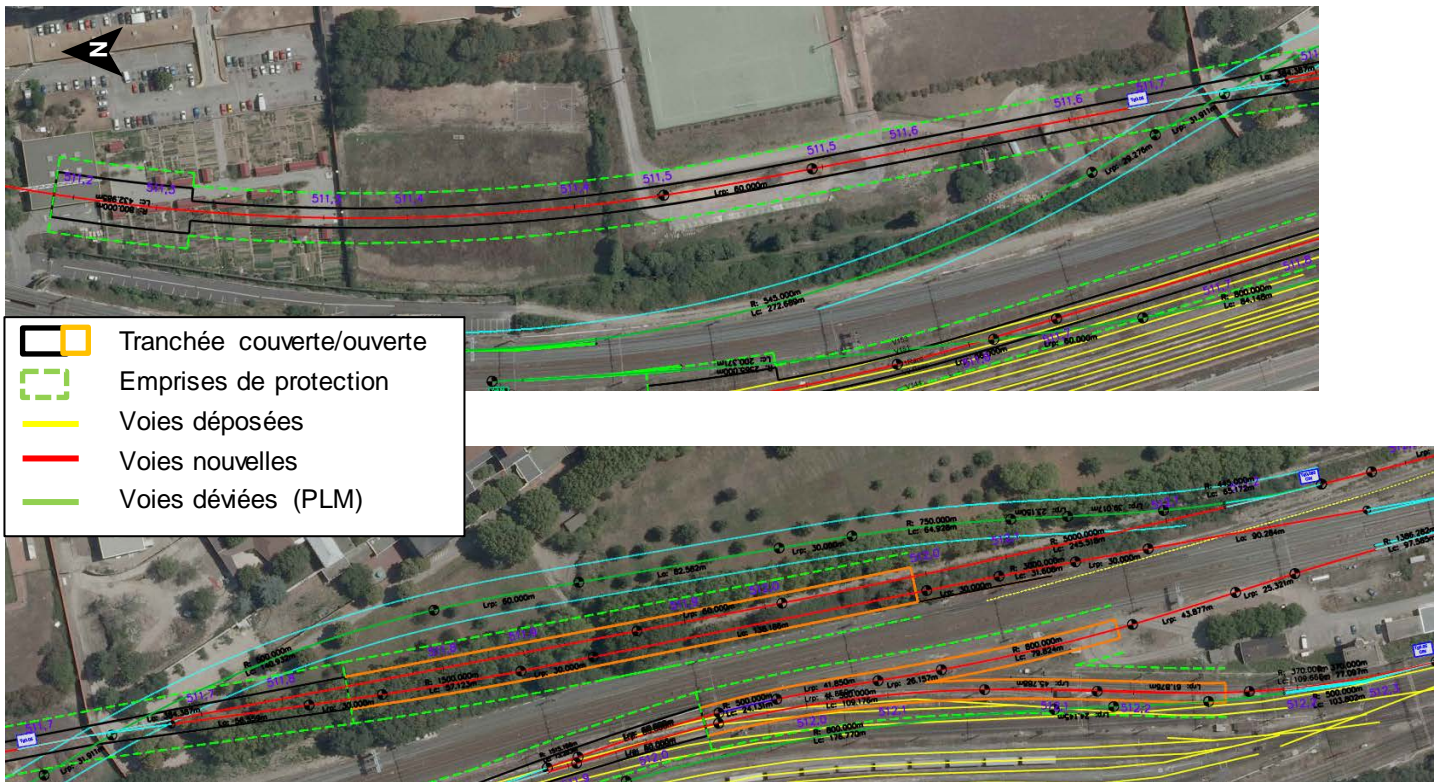
Dans le cas du scénario B4, les émergences du tunnel sont dissociées ; ce qui est possible car le tunnel est un bitube. Deux zones de travaux sont alors nécessaires pour chacune des têtes.

### **Raccordement de la voie 1**

L'émergence de la voie 1 se fait à l'Est du faisceau ferroviaire au Sud de la rue Challemeil Lacour et à l'Ouest de l'hôpital Saint Jean de Dieu. Ce positionnement nécessite des acquisitions foncières dans un secteur sur lequel des projets ont été réalisés récemment (résidence Albert Laurent) et où d'autres sont prévus selon le Grand Lyon (sans précision à ce stade).

La voie 1 se raccorde sur la PLM (voie 1 bis) au niveau du PK 515+200 et sur V1 Grenoble au niveau du PK 4+200. Les travaux nécessitent la déviation de la voie 1 Grenoble.

Figure 53 – Emergence de la voie 1 et raccordement



Les travaux s’organisent de la manière suivante :

**Phase 1 : Génie civil et V1 G**

- Etape 1 : libération des emprises : démolition, terrassement ;
- Etape 2 : réalisation des parois moulées, excavation, butonage, réalisation du radier ;
- Etape 3 : réalisation de la plateforme de lancement du tunnelier, montage du tunnelier et des installations associées ;
- Etape 4 : creusement du tunnel et évacuation des déblais par l’accès créé.

**Phase 2 : Raccordement**

Cette phase permet de réaliser les installations définitives.

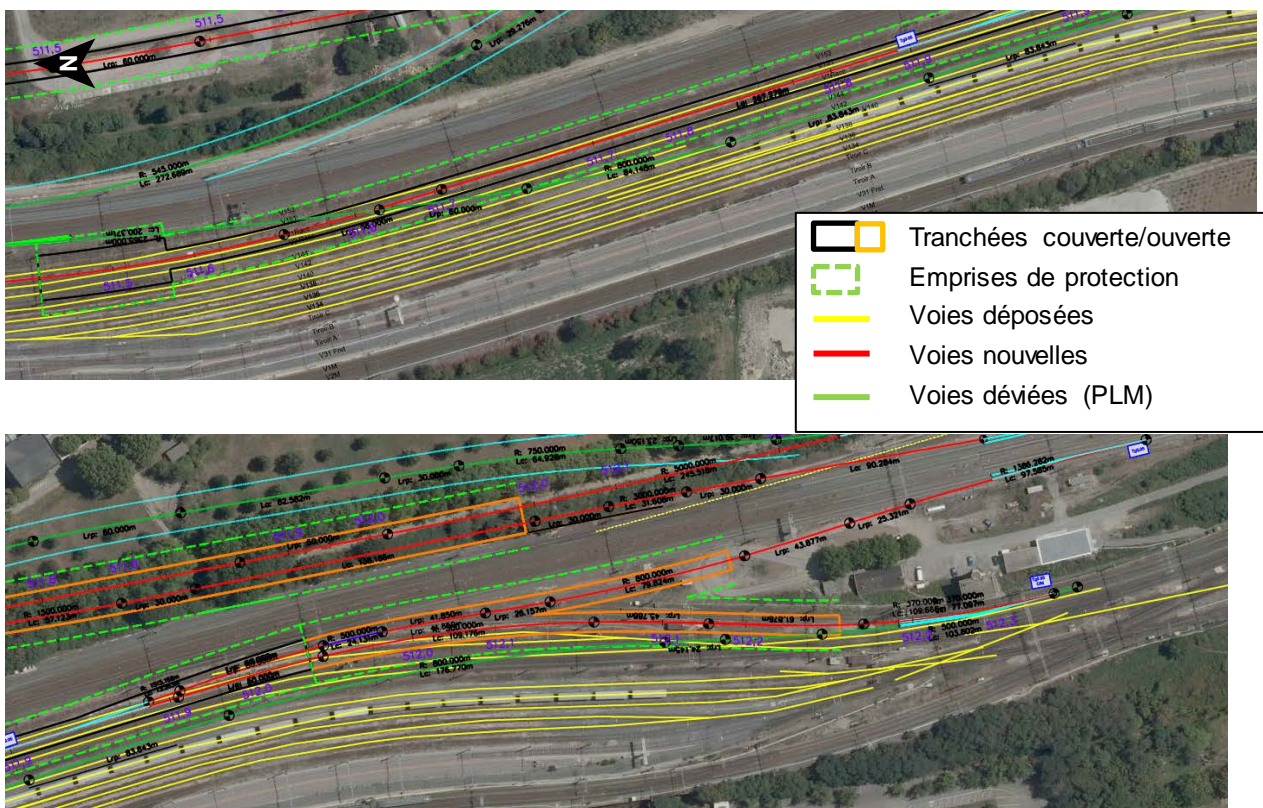
- Etape 1 : réalisation des dalles de couvertures, remblaiement, réalisation de la plateforme pour la voie 1 G définitive ;
- Etape 2 : pose de la voie 1G définitive, travaux caténaires ;
- Etape 3 : sous ITC sur les voies impaires de la PLM et V 1G : travaux de raccordement, essais et mise en service.



## Raccordement de la voie 2

La voie 2 se raccorde sur la PLM (voie 2bis) et sur V2 Grenoble au niveau du PK 4+100. Les travaux sont similaires à ceux envisagés pour le scénario B0 : ils consistent à créer la tranchée de sortie du tunnel à l'emplacement des voies Racc actuelles. Cette tranchée sera accessible depuis un accès réalisé sous les voies M, 31 fret et les tiroirs A, B et C. Le faisceau relais de Guillotière est totalement supprimé : la nécessité de sa reconstitution est un point qui devra être examiné par les études ultérieures. La reconstitution peut être envisagée à l'Ouest des voies M existantes.

Figure 54 – Emergence de la voie 2 et raccordement



Le phasage des travaux est complexe et les impacts sont très importants sur le plan de voie.

Les travaux peuvent être décomposés en trois grandes phases :

1. Travaux préparatoires permettant le démarrage du chantier tunnel. Il s'agit de mettre à disposition les emprises nécessaires à la réalisation de la tranchée au cœur du faisceau ;
2. Travaux de génie civil : réalisation de la tranchée puis du tunnel. Cette phase est très longue. Afin de maintenir la fonctionnalité des voies Racc pendant cette phase, celles-ci sont reconstituées à l'emplacement des voies 138 et 140 actuelles ;
3. Travaux de raccordement définitif une fois les travaux du tunnel réalisés.

Ces trois phases sont détaillées ci-dessous.

### **Phase 1 : travaux préparatoires :**

- Etape 1 : fermeture du faisceau relais et déposes des voies 134 à 144, 151 et 153 et des installations caténaires (environ 6 000 m de voies, 13 BS, 4 TJD, 1 TO). Ces travaux sont réalisés par le mode ferroviaire. Les travaux de dépose de la voie 144 à proximité des voies Racc seront réalisés de nuit sous ITC. La circulation sur les voies Racc existantes peut être maintenue pendant cette phase travaux ;
- Etape 2 : création d'un ouvrage souterrain d'accès sous les voies M, V31 fret et les tiroirs A, B et C. Cet ouvrage va permettre d'acheminer la logistique chantier et servira d'accès secours en phase définitive. Afin de permettre la circulation des camions, l'ouvrage fera environ 8 m d'ouverture et 35 m de largeur. Compte tenu des contraintes pour accéder à la zone « centrale » pendant cette phase, l'ouvrage devra être réalisé depuis le côté Ouest du plateau de voies ferrées. Deux méthodes sont envisageables :
  - Réalisation à l'avancement par une méthode de type « tabliers auxiliaires ». Ces travaux peuvent être réalisés en partie de nuit (travaux préparatoires) mais nécessiteront une ITC de 48h pour la pose du tablier. La pose d'un tablier auxiliaire requière la mise en place de LTV. Cette méthode est longue et très onéreuse,
  - Réalisation d'un ouvrage préfabriqué et ripage de l'ouvrage. Compte tenu de la largeur nécessaire (35 m), la faisabilité d'une telle solution reste à confirmer. Cette méthode de réalisation permet de s'affranchir très largement des contraintes d'exploitation pendant la réalisation de l'ouvrage ;
- Etape 3 : déviation des voies Rac existantes :
  - Réalisation d'un ouvrage dans le prolongement de l'ouvrage précédent,
  - Réalisation de la plateforme des nouvelles voies Racc, matage, pose de la voie,
  - Dépose des voies Racc, de la communication 748 a/b au Nord, TJS 0,11 (758a/756b), BS 0,11 (758b) et BS 0,085 (763) au Sud,
  - Raccordement des nouvelles voies, reprises caténaires,
  - Cantonnement des nouvelles voies « Racc », modification du poste 17 de Guillotière et de sa télécommande,
  - Essais et mise en service.

### **Phase 2 : travaux de génie civil**

Les travaux sont réalisés en utilisant l'accès créé précédemment. Cet accès débouche dans la tranchée.

- Etape 1 : dépose des anciennes voies « Racc », réalisation des parois moulées, excavation, butonage, réalisation du radier ;
- Etape 2 : réalisation de la plateforme de lancement du tunnelier, montage du tunnelier et des installations associées ;
- Etape 3 : creusement du tunnel et évacuation des déblais par l'accès créé.



### **Phase 3 : travaux de raccordement**

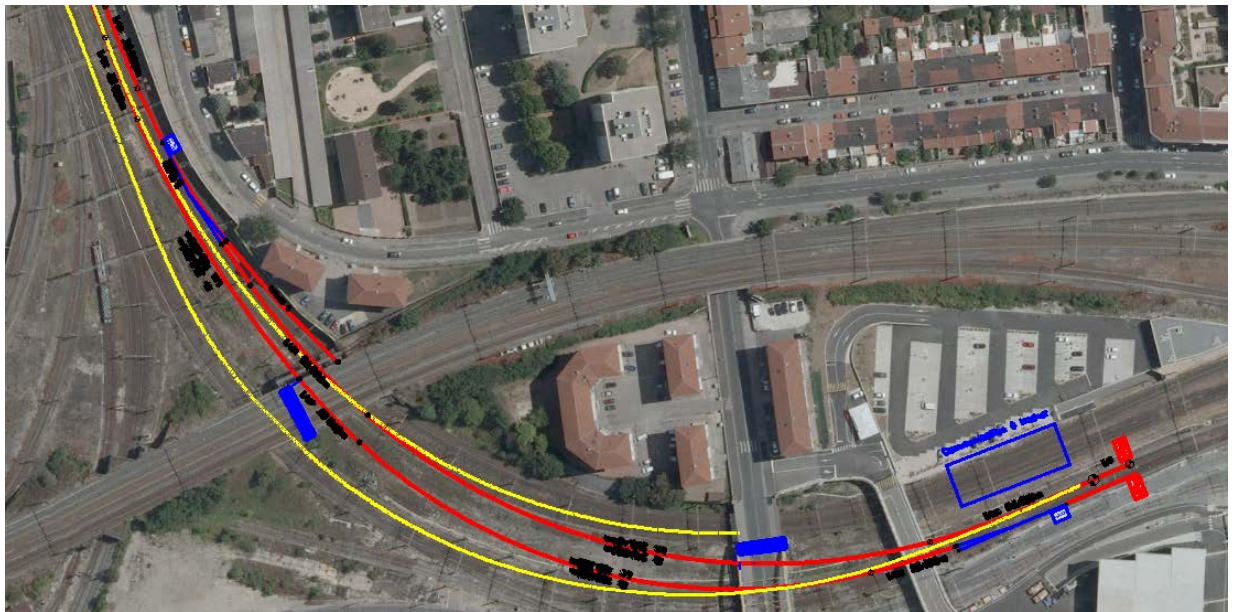
Cette phase permet de réaliser les installations définitives

- Etape 1 : réalisation des dalles de couvertures, remblaiement ;
- Etape 2 : pose de la voie 2 G définitive, travaux caténaïres ;
- Etape 3 : sous ITC pour les voies paires de la PLM et V2 G : travaux de raccordement, essais et mise en service.

## 6.5 Raccordement sur les voies Racc (scénario B4)

Dans le scénario B4, il est nécessaire de raccorder les voies 1 et 2 au Sud de Part-Dieu vers les voies Racc. Le tracé de ce raccordement est très contraint mais il peut être réalisé sans impact sur les ponts route franchissant les voies.

Figure 55 – Raccordement sur voies Racc



Ce raccordement nécessite la modification du poste de Guillotière P15 et de sa télécommande.

Compte tenu de l'exiguïté du site, les travaux nécessitent des interruptions importantes de circulation. Les étapes de travaux sont les suivantes :

- Travaux préparatoires : plateforme, caténaire, ces travaux pourront se faire de nuit,
- Dépose et pose de voies sous ITC, essais et mise en service : une ITCC de 96 sera nécessaire.

## 6.6 Synthèse comparative des solutions de raccordement

Le raccordement Nord ne pose pas de réelle difficulté pour un tunnel monotube ou bitube. Il n'est donc pas repris dans la comparaison.

La comparaison des solutions de raccordement Sud montre que le raccordement B0 semble plus favorable que le raccordement B4. Il engendre moins de sorties d'emprises et est plus favorable en termes d'impact sur l'exploitation ferroviaire, notamment car il évite l'impact sur les voies de la PLM. En revanche, il est plus consommateur d'emprise sur les installations ferroviaires et impact plus le faisceau relais en phase définitive. (voir le dossier de plan pour les illustrations).

Techniquement, les deux scénarios sont très complexes. Du fait du diamètre considéré, la sortie du monotube se fait avec une faible épaisseur de couverture qui nécessitera des dispositifs de confortement spécifiques pour l'ouvrage ferroviaire de la rue Challemel Lacour (reprises en sous œuvre). Les ouvrages de la variante B4 sont, quant à eux, très complexes avec les franchissements des tranchées couvertes par la PLM.

Des interruptions de circulations seront nécessaires dans les deux cas, mais les voies principales de la PLM seront plus impactées. Plusieurs interruptions de 96h sont à prévoir.

		Impact sur installations ferroviaires existantes	Impact en phase travaux	Contraintes techniques	Emprises urbaines
<b>Monotube</b>	B0	Suppression de l'ensemble du faisceau relais (voies 134, 136, 138, 140, 144 et 151,153), maintien possible des voies 134-136 à confirmer	Impact sur voies racc, voies M et tiroirs technicentre (ITC, LTV)	Epaisseur de couverture limite pour le démarrage du tunnelier	Pas de sortie d'emprise sauf si besoin reconstitution
<b>Bitube</b>	B4	Suppression du faisceau de réception mais maintien possible des voies 134,136,138,140 à confirmer	Impact sur voies PLM + racc, voies M et tiroirs technicentre (ITC, LTV)	Ouvrages voie 1 très complexes et contraintes	Sorties d'emprises très importantes

## 7 Equipements du tunnel et de la gare

---

### 7.1 Equipements du tunnel

#### 7.1.1 Equipements de sécurité

Les équipements de sécurité sont définis par la STI et l'ITI 98-300.

##### **Cheminement d'évacuation**

Un cheminement d'évacuation est prévu tout le long du tunnel. Les dimensions de ce cheminement sont celles recommandées par la fiche UIC 779.9 : 1,20 m de large.

##### **Puits de secours et rameaux**

Les puits sont nécessaires pour le tunnel monotube. La STI étant moins contraignante (espacement de 1 000 m), on applique la réglementation de l'ITI pour les lignes « urbaines » (classement de la ligne à confirmer cf. 1.5 Sécurité) qui impose une distance minimale de 800 m. Ils sont présentés dans la section 4.1.2. Ils servent à l'accès des secours et à l'évacuation des voyageurs. Compte tenu de leur profondeur, ils sont équipés d'ascenseurs.

Pour le tunnel bitube, des rameaux intertubes tous les 500 m permettent les accès secours. Ces rameaux sont décrits dans la section 4.2.2.

##### **Aire de secours**

Des aires de secours d'au moins 500 m<sup>2</sup> sont prévues au niveau des têtes de tunnel. Elles sont équipées de dispositifs de lutte contre l'incendie (fire fighting point) : alimentation en eau permettant au minimum 800 l/min pendant 2 heures. Les conditions d'accès à ces aires et la nécessité de les fermer sera à définir ultérieurement par les études de sécurité.

Pour l'émergence Nord, l'aire de secours se situe dans l'espace compris entre la voie ferrée et l'autoroute, qui est aujourd'hui une espace naturel. L'accès peut être envisagé directement depuis l'ancienne barrière de péage. L'hélisurface actuelle pourra être déplacée ou maintenue en place et éventuellement servir pour les secours du tunnel également.

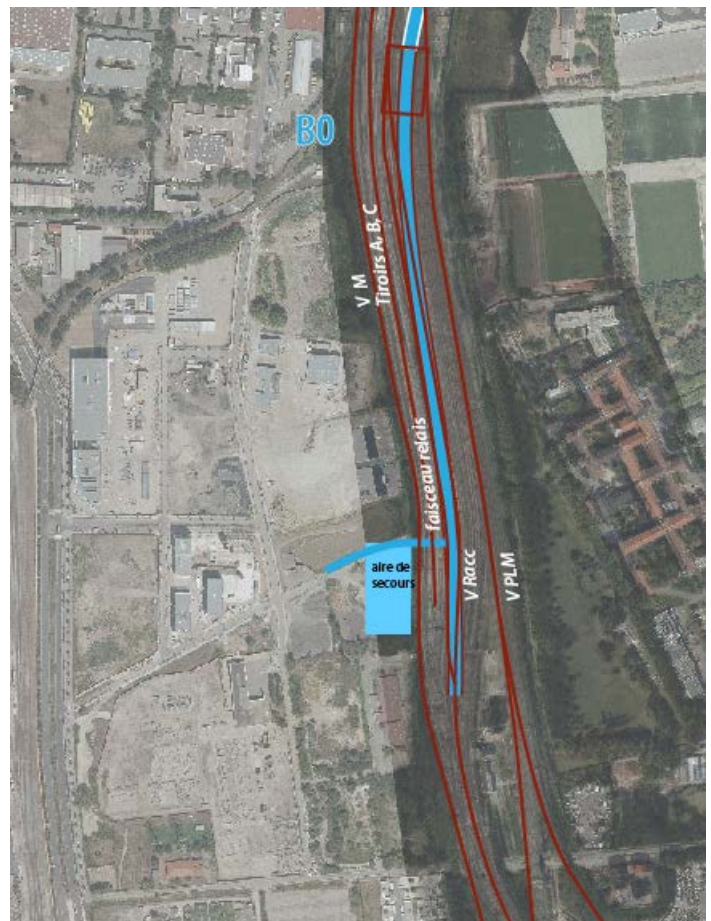


Figure 56 : Aire de secours émergence Nord



Pour l'émergence Sud – scénario B0, l'aire de secours se situe à l'Ouest des emprises ferroviaire dans un espace qui est aujourd'hui friche industrielle. L'accès au tunnel se fait via l'ouvrage sous voie, réalisé pour les travaux.

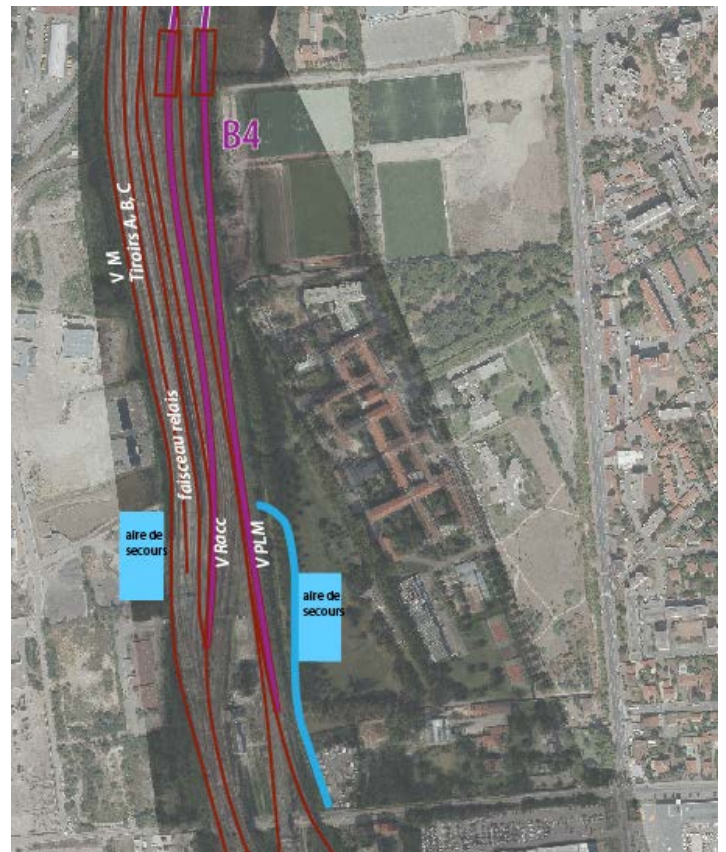
Figure 57 : Aire de secours émergence Sud B0





Pour l'émergence Sud – scénario B4, les émergences étant dissociées, deux aires de secours sont envisagées de part et d'autre des emprises ferroviaires. L'une des deux aires se situe dans l'espace naturel du parc de l'hôpital St Jean de Dieu. L'accès au tunnel Ouest se fait via l'ouvrage sous voie réalisé pour les travaux.

Figure 58 : Aire de secours émergence Sud B0



### Point de lutte contre l'incendie (fire fighting point)

Un point de lutte contre l'incendie est un emplacement à l'intérieur ou à l'extérieur du tunnel, où des équipements de lutte contre l'incendie peuvent être utilisés par les services de secours et où les usagers peuvent évacuer. La nouvelle STI demande un point de lutte incendie à chaque émergence de tunnel et à l'intérieur du tunnel tous les 5 km si du matériel de catégorie A circule dans le tunnel (cas du NFL). L'alimentation en eau doit permettre un débit minimum de 800 l/min pendant 2 heures.

Pour le tunnel NFL des points de lutte contre l'incendie seront situés :

- Au niveau des aires de secours à chaque tête de tunnel ;
- En gare souterraine. A ce titre, elle est équipée d'une alimentation en eau, d'une vérification du temps d'évacuation et d'un dispositif de contrôle des fumées (ventilation) ;
- Dans le cas du scénario en S, deux autres points devront être aménagés au niveau des accès secours réalisés au droit des puits de démarrage des tunnels ou des autres puits dans le cas du monotube.

### 7.1.2 Equipements de ventilation

L'implantation d'une gare ferroviaire en souterrain nécessite des équipements assurant la qualité aérothermique de l'ouvrage. Ceci comprend :

- une ventilation dite hygiénique permettant d'assurer à tout moment un environnement sain aux usagers comme au personnel ;
- un ensemble assurant le confort aérothermique qui comprend les vitesses d'air dans l'ouvrage mais aussi les températures de celle-ci ;
- un système d'extraction des fumées en cas d'incendie.

Chacun de ces dispositifs implique des échanges avec le milieu extérieur. Les études ultérieures s'attacheront à préciser les besoins de manière à préciser les réservations à prévoir pour les connections de ces dispositifs avec la surface : gaines de ventilation.

#### Textes réglementaires

En ce qui concerne le désenfumage, les textes réglementaires à respecter à ce jour sont :

- Instruction Technique Interministérielle relative à la sécurité dans les tunnels ferroviaires N° 98-300 du 08 Juillet 1998 ;
- Arrêté du 24 Décembre 2007 portant approbation des règles de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les gares ;
- Etant donné que l'ouvrage n'est pas restreint à une exploitation uniquement locale, les règles sur l'interopérabilité des réseaux ferrés s'applique (STI) ;
- En ce qui concerne la ventilation d'hygiène, le texte de référence est l'arrêté du 25 juin 1980 sur les établissements recevant du public ainsi que l'arrêté du 22 novembre 2004. Pour mémoire, le droit du travail doit aussi être respecté.

#### Ventilation d'hygiène et de confort

La ventilation d'hygiène et de confort nécessite des échanges avec l'extérieur pour :

- le renouvellement d'air ;
- la dilution de la chaleur ;
- le refroidissement des installations de conditionnement d'air.

En termes de débit, le renouvellement d'air est dimensionné en fonction de la capacité en nombre d'usagers de la gare. Toutefois, un renouvellement forfaitaire de 3 volumes/h est usuellement appliqué.

## Incendie en tunnel

La future STI précise que les refuges souterrains doivent tenir compte de la nécessité de lutter contre les fumées, notamment pour protéger les personnes qui utilisent les installations d'auto-évacuation. **A ce titre, des moyens de désenfumage doivent être prévus pour les solutions bitube** (puisque pour les solutions monotube, les issues de secours débouchent directement à l'extérieur, donc sans refuge nécessitant des dispositifs de ventilation).

Pour la solution monotube, la STI ne pose pas d'exigence, en revanche, l'ITI 98-300, impose la ventilation dans le cas où :

- le tunnel fait plus de 400 m sur une « ligne urbaine » ;
- ou bien dans le cas où le tunnel fait plus de 5 km (entre tête de tunnel et tympan de la gare) et est emprunté par du matériel « standard ».

Suivant les tracés, le tunnel ne fait pas plus de 5 km entre la tête du tunnel et le tympan de la gare. A ce stade des études, le classement de la ligne reste à déterminer, car si le tunnel servira à du trafic régional, les flux de voyageurs resteront modérés par rapport à une ligne de métro ou de RER. Le type de matériel qui circulera dans le tunnel est également indéterminé. **Toutefois, compte tenu du contexte urbain et de l'arrivée en gare souterraine de l'ouvrage, il faut envisager, à ce stade des études, que les tunnels d'accès à la gare seront ventilés mécaniquement.**

Lors d'un incendie en tunnel, l'IT 98-300 impose, en cas de désenfumage mécanique, une vitesse minimum de balayage du courant d'air supérieure à 1,5 m/s (la STI ne précise pas de valeur). Il s'agit de la vitesse à partir de laquelle l'ensemble des fumées se propage en aval de l'incendie. Le phénomène de nappe de retour ne peut alors pas s'établir. Cette vitesse dépend de la section de l'ouvrage et de sa pente mais aussi de la puissance de l'incendie. Ceci nécessite que l'ensemble des fumées soient poussées d'un seul et même côté. Elles ressortent donc soit à un tympan de l'ouvrage soit via une usine d'extraction. **Côté gare, il apparaît donc nécessaire de disposer d'un puits d'extraction massive permettant la reprise de l'ensemble des fumées. Côté tympan vers l'extérieur, il est probable que les fumées soient simplement dispersées à la tête de l'ouvrage.** Pour pouvoir assurer une vitesse suffisante, il sera certainement nécessaire de prévoir la mise en place d'accélérateurs en tunnel.

Il est important de souligner que, si le désenfumage est réalisé systématiquement de la gare vers l'extérieur, l'extraction au niveau de la gare pourrait ne pas être nécessaire. A ce stade des études, il semble toutefois nécessaire de pouvoir conserver cette fonctionnalité.

### Incendie en gare souterraine

La gare souterraine sert de point de lutte contre l'incendie au sens de la STI tunnel. A ce titre, l'agencement du point de lutte contre l'incendie et de ses équipements doit tenir compte de la nécessité de lutter contre les fumées, notamment pour protéger les personnes qui utilisent les installations d'auto-évacuation.

L'arrêté du 24 décembre 2007 impose une ventilation mécanique de désenfumage dans une gare souterraine. Le désenfumage est réalisé par zone avec un débit d'extraction minimal de 15 volumes/h.

Deux méthodes de désenfumage sont acceptées par l'arrêté :

- la méthode par maintien d'une différence de pression entre les différentes zones de l'ouvrage ;
- la méthode par balayage et évacuation des fumées.

Ces deux approches peuvent aussi être combinées. Quelle que soit la méthode mise en œuvre, un zonage de la gare s'impose. Celui-ci permettra de déterminer le volume de chaque zone et donc les capacités de désenfumage à mettre en œuvre pour respecter la contrainte de 15 volume/h.

Il est important de noter que, dans tous les cas, lors de l'extraction des fumées dans une zone, les chemins d'évacuation doivent être mis en surpression afin de les protéger des fumées. Par conséquent, toutes les zones qui ne sont pas désenfumées sont mises en surpression par insufflation d'air frais.

**Le système de ventilation doit pouvoir simultanément extraire des fumées et insuffler de l'air frais. A minima deux puits de ventilation sont donc nécessaires.**

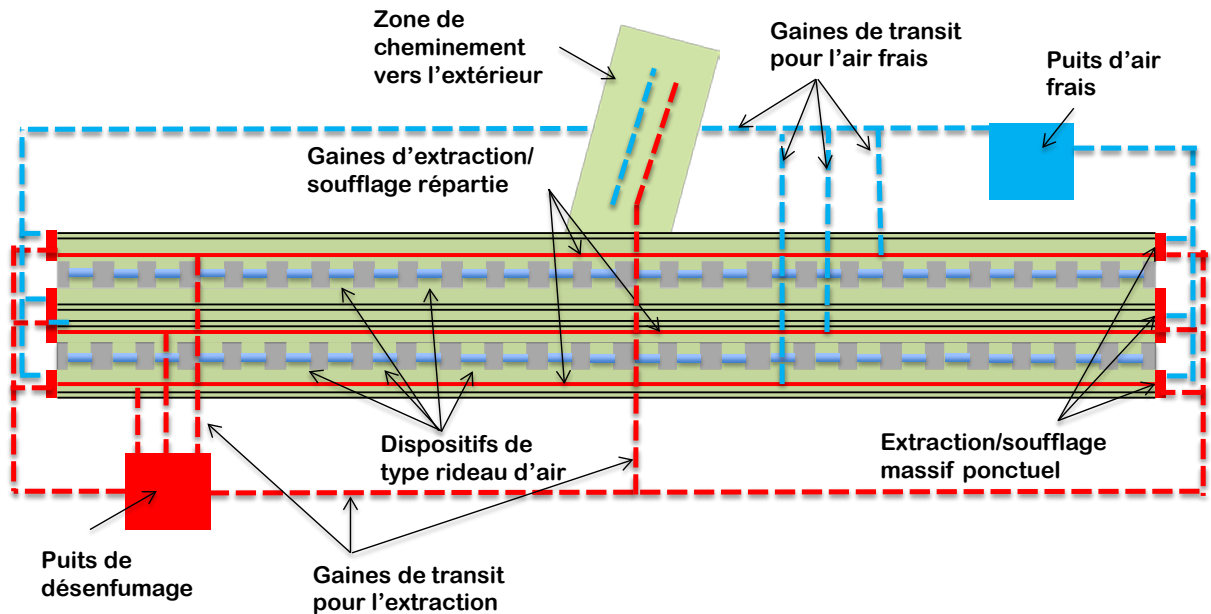
Afin de pouvoir piloter les écarts de pression entre zones, il est nécessaire de pouvoir extraire mais aussi insuffler de l'air frais dans toutes les zones. Si le schéma de ventilation retenu est basé sur la disponibilité de seulement 2 puits de ventilation (air frais et air vicié/désenfumage), il est alors nécessaire de disposer d'un réseau de gaines. Ce réseau se distingue en 2 types de gaines (cf. figure suivante) :

- Les gaines de diffusion. Elles sont équipées de bouche ou trappes et donnent directement dans les volumes à ventiler ;
- Les gaines de transit servent à connecter les gaines de diffusion aux usines de ventilation et aux puits.

La section des gaines de transit est fonction du débit d'air qu'il est nécessaire de faire passer. A ce stade du projet, il n'est pas nécessaire de spécifier ce point. Toutefois, il est important de garder en mémoire que les sections de gaines à mettre en œuvre en souterrain sont certainement très importantes. Lors des prochaines phases d'études, elles devront nécessairement être prises en compte.

A titre d'exemple, la figure suivante identifie le principe d'un réseau de ventilation.

Figure 59 : Principe de cheminement pour une architecture type avec 2 puits de ventilation



### Contraintes sur les puits de ventilation (puits du tunnel ou de la gare)

Les puits de ventilation doivent répondre à certaines contraintes pour leur implantation :

- Les puits d'air frais doivent être distants des puits d'air vicié/désenfumage (30 m minimum et compte tenu de la dimension des ouvrages une distance d'environ 100 m est plus sécuritaire) ;
- Le puits d'air vicié doit être à au moins 8 m des tiers ;
- Si les grilles des émergences sont sur zone piétonne, la vitesse de passage d'air ne doit pas être supérieure à environ 5 m/s dans les voies d'air ;
- L'émergence du puits de désenfumage est dans la mesure du possible non accessible et en hauteur ;
- Les accès et sorties de secours ne doivent pas être localisés à proximité de l'émergence du puits de désenfumage. Les services de secours, comme les usagers, ne doivent pas passer dans une zone potentiellement enfumée.

### Bilan sur les dispositifs à mettre en œuvre au niveau de la gare

Il apparaît donc nécessaire de réserver la possibilité de réaliser 2 puits de ventilations d'environ 100 m<sup>2</sup> de section. Ces puits peuvent être rassemblés. Toutefois, les émergences doivent être distantes d'environ 100 m.

## 7.2 Equipements ferroviaires

### 7.2.1 Voie ferrée

Le tunnel pourra être équipé de voie béton du type STEDEF à traverses béton bi-bloc à coques rigides. Les avantages de la voie béton par rapport à la voie ballast dans le tunnel sont les suivants :

- Maintenance limitée ;
- Structure antivibratile ;
- Sécurité améliorée car le cheminement éventuel des usagers sur la voie est plus facile sur une voie béton que sur une voie ballast ;
- Possibilité de ne pas appliquer certaines recommandations de tracé qui sont liées à des contraintes de bourrage ;
- Marge de tolérance non nécessaire pour l'entretien de la voie, ce qui permet de réduire le gabarit ;
- Coût équivalent du fait de l'existence du radier béton du tunnel.

### 7.2.2 Signalisation

Compte tenu de l'horizon du projet (après 2030), plusieurs types de signalisation peuvent être envisagés pour le tunnel : ERTMS-1, ERTMS-2 ou BAL-KVB. Compte tenu de l'obsolescence du KVB, la solution la plus vraisemblablement à cet horizon sera l'ERTMS dont le niveau reste à définir. Les voies seront banalisées.

La gare souterraine sera gérée par un poste informatique télécommandé depuis la CCR. Le poste de la gare gère :

- 12 aiguilles et 12 signaux dans le cas de la gare monotube ;
- 4 aiguilles et 12 signaux dans le cas de la gare bitube.

### 7.2.3 IFTE / EALE

#### IFTE

Le tunnel est équipé en caténaire souple 1 500 V. Une optimisation pour l'équiper en caténaire rigide pourra être envisagée dans la suite des études. Compte tenu des hypothèses retenues à ce stade, le gabarit électrique n'est pas dimensionnant pour le diamètre du tunnel.

#### EALÉ

La ligne sera alimentée en 1 500 V. La nouvelle section créée et le développement des circulations nécessiteront potentiellement un renforcement de l'alimentation électrique du NFL.



Aujourd’hui, le NFL est alimenté par 4 sous-stations situées sur les différentes branches du nœud :

- Grands Violets sur la PLM ;
- Chanoz sur la ligne de Sathonay ;
- Montluel sur la ligne d’Ambérieu ;
- Guillotière au niveau de la bifurcation de Grenoble.

Un projet de renforcement des installations électriques existe dans le cadre de la circulation des Régio 2N en UM 3. Ce projet envisage la création d’une sous-station électrique à Miribel.

Dans la suite du projet NFL, une étude énergie devra être menée sur la base de simulations tractions pour définir les besoins en énergie à l’horizon long terme et les solutions envisageables. A ce stade on peut envisager :

- L’utilisation de la sous-station projetée à Miribel comme renfort électrique. Est-ce suffisant ?
- Le renforcement des sous-stations les plus proches du cœur du NFL : Guillotière et Chanoz. Grands Violets alimentant déjà la PLM.

Les nouvelles installations nécessiteront la modification du central sous-station de Lyon pour intégrer l’ensemble des nouveaux équipements. En fonction des possibilités de modification de ce CSS ceci pourrait nécessiter sa régénération partielle ou totale. Cette incertitude est prise en compte dans le chiffrage sous forme de somme à valoir.



## 8 Impact hydrogéologique des ouvrages

---

### 8.1 Généralités

L'impact des structures sur l'écoulement des nappes, communément appelé « effet barrage », est influencé par :

- L'orientation relative des lignes d'écoulement de la nappe et de l'axe de l'ouvrage ;
- la profondeur de l'ouvrage par rapport à la nappe, ou la proportion de l'épaisseur de la nappe interceptée par l'ouvrage ;
- la forme de l'ouvrage ;
- la perméabilité du sol.

Ainsi, si les lignes d'écoulement et l'axe de l'ouvrage sont parallèles ou pseudo-parallèles sur une certaine longueur, il y aura peu d'effet sur le niveau de la surface de la nappe. Si, au-delà de ce tronçon, l'ouvrage s'infléchit, son effet barrage augmentera avec l'angle formé entre son axe et les lignes de courant. L'effet barrage est maximal pour un ouvrage perpendiculaire aux lignes d'écoulement.

Si l'ouvrage est profond par rapport à la surface de la nappe et qu'il laisse un gabarit d'écoulement important au-dessus de lui et entre lui et un substratum étanche, l'effet barrage sera peu important. C'est ce que l'on tente de rétablir pour un ouvrage de type tranchée couverte, en ménageant des fenêtres dans les parois de soutènement sous le niveau du radier et au-dessus de la dalle supérieure.

Un ouvrage cylindrique est plus favorable à l'écoulement qu'un ouvrage qui présente une face plane et verticale à l'écoulement d'une nappe.

Plus la perméabilité est forte, plus l'amplitude (verticale) de l'impact sera réduite mais plus l'extension (horizontale) de la zone d'impact sera importante.

Ces règles générales peuvent être appliquées au projet. Ainsi, l'impact attendu du tunnel sur les écoulements est négligeable (ouvrage cylindrique, qui n'intercepte pas toute la hauteur de l'aquifère). En revanche, on peut attendre un effet barrage significatif au niveau des émergences, qui seront réalisées en tranchées ouvertes puis couvertes, aussi bien à Saint-Clair qu'à la Guillotière. Dans ces deux zones, l'effet barrage dépend de l'orientation des lignes d'écoulement de la nappe des alluvions (*a priori* perpendiculaires ou presque aux tranchées couvertes), mais également de la hauteur de l'aquifère intercepté par les parois moulées (selon la position et la profondeur des fiches hydrauliques).

L'effet barrage attendu de la gare souterraine, située dans la molasse, est très faible compte tenu de la perméabilité réduite de la molasse au regard de celle des alluvions sus-jacentes. L'effet barrage de la gare est donc quasiment exclusivement généré par les puits d'accès et les galeries de desserte des quais, tous situés dans les alluvions, dans un secteur déjà très perturbé hydrogéologiquement (nombreuses infrastructures enterrées, nombreux puits de réinjection, nappe très contrainte).

## 8.2 Synthèse des résultats de l'étude hydrogéologique

Un rapport d'analyse détaillé fait l'objet d'un livrable spécifique (rapport G0855P01\_Volet hydrogéologique). La conclusion est reprise ici pour mémoire.

L'étude hydrogéologique s'est appuyée sur le développement d'un modèle numérique basé sur le modèle réalisé en 2012 pour le Grand Lyon dans le cadre du projet Part-Dieu 2020, moyennant son extension au Nord, dans le secteur Saint-Clair à Caluire, et au Sud jusqu'au port Edouard Herriot. La mise au point de ce modèle a nécessité l'intégration de nombreux éléments et données notamment pour la prise en compte des aménagements portuaires et du drain CNR situé en rive droite du Rhône. Elle a permis dans ce sens d'établir un bilan des connaissances sur de nombreuses thématiques : occupation du sous-sol, comportement de la nappe, niveau du Rhône, état des prélèvements et des rejets à la nappe...

Le modèle a été calé en régime permanent sur une situation de référence moyenne fournie par l'analyse des mesures 2006-2013 issues du réseau piézométrique du Grand Lyon complété de quelques piézomètres CNR. Malgré les incertitudes sur certaines catégories de données (nature des aménagements portuaires, géométrie et fonctionnement du drain CNR...) la qualité du calage est globalement très satisfaisante.

Le modèle ainsi calé a été exploité pour simuler l'impact du projet sur une sélection de trois variantes du scénario B : variantes « Vilette monotube » (rouge), variante « Diagonale bitube » (jaune) et variante « Sous les voies monotube » (bleue). Pour chacune d'elles, une distinction a été faite entre les différents types d'ouvrages projetés : tranchées ouvertes et couvertes située au niveau des émergences du tunnel, puits (d'aération, d'accès, de chantier) et tunnel.

Pour l'essentiel, les résultats obtenus indiquent que :

- Seules les tranchées couvertes dont les parois sont ancrées dans la molasse ont un effet sensible sur la nappe alluviale. L'impact se manifeste par un basculement piézométrie avec une hausse des niveaux en amont et une baisse en aval de l'ouvrage (effet barrage).
- Pour les variantes en monotube, l'impact atteint une amplitude maximale de  $\pm 0.6$  m au voisinage immédiat des tranchées pour une portée d'environ 400 m en considérant l'isovaleur  $\pm 0.2$  m. En raison de conditions locales, il est plus marqué sur le secteur de la Guillotière que sur celui de Saint-Clair.
- Pour la variante en bitube, l'effet est sensiblement plus important au niveau de tranchées couvertes associés à l'émergence des deux tunnels dans le secteur de la Guillotière. En amont de la tranchée est, la hausse maximale de la nappe atteint près de 1,2 au voisinage immédiat pour une portée d'environ 900 m en



considérant l'isovaleur  $\pm 0.2$  m. L'impact aval reste par contre du même ordre de grandeur que pour les variantes monotube.

Au regard du contexte hydrogéologique (nappe relativement profonde située à plus de 5 m sous le TN), géotechnique (faible compressibilité des alluvions modernes) et urbain (absence d'ouvrage souterrains sensibles), ces impacts ne sont pas de nature à pouvoir générer des nuisances (inondation d'ouvrages souterrains par exemple) ou des désordres sur la bâti existant.

En définitive, il ressort de cette étude que la forte perméabilité des alluvions rend la nappe globalement très peu sensible aux effets barrage. Ce constat confirme d'ailleurs les résultats obtenus dans le cadre du projet urbain Part Dieu.

En l'état aucune disposition constructive de semble donc a priori nécessaire pour assurer une meilleure transparence hydraulique des ouvrages. Cette analyse restera bien entendu à vérifier et préciser en phase AVP si le scénario souterrain du projet NFL venait à être retenu.

## 9 Gestion des déblais et des eaux d'exhaure

### 9.1 Déblais

Le creusement du tunnel et de la gare représente un volume total de déblais de l'ordre de 3 à 3,5 millions de m<sup>3</sup> (volume foisonné, c'est-à-dire après extraction). Ces matériaux seront à mettre en dépôt. Le site de dépôt devra se situer à proximité de Lyon pour limiter les coûts de transport. Le transport pourra se faire en partie par le mode ferré, surtout pour les matériaux issus des tunnels, qui sont stockés temporairement aux émergences à proximité des voies ferrées.

Pour la gare souterraine, une partie des matériaux devra être transporté par la route depuis la Part-Dieu, ce qui engendra des nuisances importantes pour les riverains. La stratégie d'ordonnement visera donc à limiter les volumes extraits au niveau de la gare et à utiliser les tunnels une fois ceux-ci réalisés pour acheminer les déblais de la gare vers les émergences des tunnels (cf. 12.1 Organisation générale de la réalisation des travaux). La possibilité d'évacuer les déblais de la gare souterraine depuis Part-Dieu par le mode ferroviaire ne semble pas envisageable compte tenu des contraintes que cela générerait : stockage tampon à proximité des voies, voies ferroviaires dédiées, consommation de capacité ferroviaire...

Les possibilités de réemploi de ces matériaux seront fonction de leurs caractéristiques mécaniques.

**Tableau 12 – Volumes de matériaux**

variante	Gare	Tunnel (rameaux, puits, tranchée)	Gare*	Total	Total foisonné (coef 1,4)
Monotube	Villette	1 400 000	800 000	2 200 000	3 080 000
	Voies ferrées	1 400 000	800 000	2 100 000	2 940 000
	Diagonale	1 700 000	800 000	2 500 000	3 500 000
Bitube	Villette	1 500 000	700 000	2 200 000	3 080 000
	Voies ferrées	1 500 000	600 000	2 100 000	2 940 000
	Diagonale	1 700 000	700 000	2 400 000	3 360 000

(\*) il faut ajouter environ 100 000 m<sup>3</sup> dans le cas d'un dimensionnement plus important des accès voyageurs (cf 5.1.2)

### 9.2 Gestion des eaux d'exhaure

#### En phase travaux

L'ensemble des ouvrages est réalisé sous le niveau de la nappe. Compte tenu de la productivité de la nappe des alluvions, la réalisation d'ouvrage par abaissement généralement du niveau de la nappe n'est pas envisageable car il conduirait à des débits bien trop importants impossible à gérer.

La conception de la majorité des ouvrages (hormis les tranchées ouvertes qui sont réalisées sur radier) repose donc sur la limitation des venues d'eau par l'emploi de fiches hydrauliques ancrées dans les molasses. Le pompage du fond de fouille restera nécessaire mais les débits seront beaucoup plus faibles.

A ce stade des études, il n'est pas possible de définir les débits de pompage. Les eaux pompées en phase travaux sont rejetées en fonction du volume dans le système d'assainissement et/ou dans la nappe au niveau des alluvions. **La gestion des eaux sera traitée par l'étude d'impact lors des stades ultérieurs des études (avant-projet)** avec, par exemple, la définition des contrôles nécessaires de propreté et de pureté afin de ne pas contaminer le milieu de rejet, ni chimiquement, ni bactériologiquement. Les risques ou incertitudes potentiels sont les suivants :

- L'eau pompée dans la molasse ne se reconstitue que lentement, du fait de la très faible perméabilité de la molasse, une réalimentation de celle-ci par les eaux de la nappe du fluvioglaciaire dont elle constitue le plancher pourrait survenir. Outre le mixage des eaux de deux nappes différentes, cela contribue à l'abaissement observé du niveau général des nappes ;
- L'injection d'eau avec un débit important provoque, malgré la perméabilité élevée du milieu, un dôme de gonflement de la surface de la nappe qui peut produire différents effets sur les structures avoisinantes : surpressions hydrostatiques sur des parois de volumes enterrés ne pouvant les supporter, soit du point de vue de leur résistance, soit du point de vue de leur étanchéité ; inondations de sous-sols de parkings d'immeubles ; augmentation de la poussée d'Archimède pouvant conduire à des soulèvements d'ouvrage ; perturbation de systèmes prévus pour fonctionner dans une plage donnée de marnage de la nappe (systèmes de chauffage et de refroidissement, pompes pour l'industrie, drains de régulation...).

Une possibilité intéressante consiste à utiliser l'eau d'exhaure pour alimenter en surface des aménagements aquatiques à condition que ceux-ci trouvent à proximité un exutoire dont l'utilisation ne provoque pas d'impact sur la nappe (fleuve, rivière, ruisseau). Dans certains cas, ce flux peut être utilisé pour créer un effet de chasse dans certains équipements ou pour alimenter des systèmes de stockage et de distribution pour l'arrosage et l'irrigation.

### En phase définitive

En phase définitive, les volumes d'eau d'exhaure seront faibles car la plupart des ouvrages sont ancrés dans les molasses dont les perméabilités sont faibles et recevront une étanchéité. Les eaux d'exhaure correspondront, en phase définitive, à des eaux d'infiltrations dans l'ouvrage et des eaux pluviales au niveau des ouvrages à ciel ouvert. Le rejet des eaux pose toutefois les mêmes problématiques que celles citées précédemment pour la phase chantier.

## 10 Réseaux

Dans le cas du scénario B, des déviations de réseau peuvent être nécessaires au niveau des puits et dans les zones d'entrée en terre. En section courante, le tunnel est suffisamment profond pour ne pas intercepter de réseaux.

A ce stade des études, l'identification des réseaux à dévier se concentre sur les réseaux d'importance majeure. Leur identification se fait sur la base des données fournies par le Grand Lyon et sur les servitudes d'utilité publiques du PLU (sur le secteur du Grand Lyon). Pour les zones en dehors du périmètre du Grand Lyon, les informations sont issues des cartes IGN ainsi que de visites sur site.

### 10.1 Energie

#### 10.1.1 Electricité

- Au niveau du PK 505.0, la ligne « Cusset à Lignon » (63kV) se situe à l'aplomb du tunnel et pourrait être impactée par la réalisation d'un puits d'évacuation dans ce secteur.

#### 10.1.1 Gazoducs et oléoducs

- Aucune servitude d'utilité publique identifiée

### 10.2 Assainissement

PK	Type de conduite	Informations
503.6 (zone de tranchée)	59A	Radier à -13m.

### 10.3 AEP

- Aucune servitude d'utilité publique identifiée

## 11 Chiffrage

### 11.1 Périmètre

L'estimation est calculée pour les 3 variantes de positionnement de gare et les deux variantes de tunnel (monotube ou bitube) qui correspondent à deux options de sorties au sud.

Pour la gare, le coût dépend des volumes et du nombre de galeries voyageurs considérées. Le chiffrage est basé sur une conception avec des accès moins nombreux car cette solution était celle envisagée initialement. Suite aux analyses menées dans le cadre du volet « Gare » des études par AREP, une mise à jour du chiffrage a été réalisée. Cette mise à jour a été effectuée au prorata des volumes supplémentaires excavés. Une analyse de sensibilité sur le coût de la gare en fonction de la longueur des quais a également été réalisée au prorata des volumes.

### 11.1 Analyse des risques identifiés et des sommes à valoir

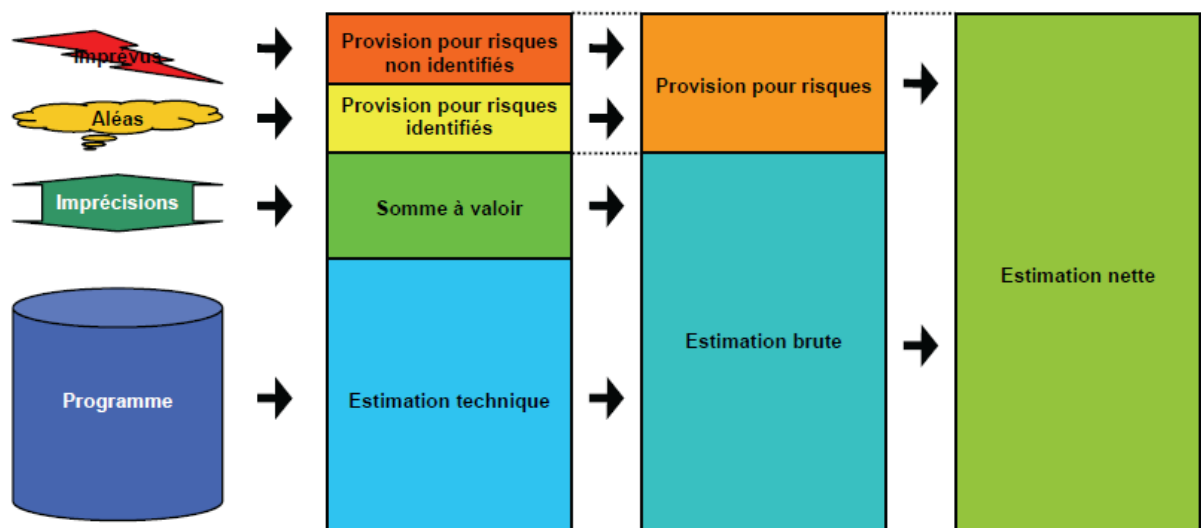
L'estimation est réalisée sur la base des composantes suivantes :

- Estimation technique ;
- Somme à valoir ;
- Provision pour risques identifiés ;
- Provision pour risques non identifiés.

Au final, l'estimation proposée est la somme de ces composantes calculé comme suit :

$$C_0 = (\sum Q_i \times Pu_i + SAV_i) \times (1 + \%PRI) \times (1 + \%PRNI)$$

Figure 60 – Composantes de l'estimation





### 11.1.1 Somme à valoir

Quelle que soit la méthodologie mise en œuvre pour l'estimation du coût technique, celle-ci demeurera affectée d'imprécisions pendant les phases d'études, qu'il convient de quantifier. Ainsi, le Manuel de maîtrise des risques de RFF définit la SAV par : « *La Somme à valoir est représentative de la précision des études. Elle est déterminée poste par poste, elle est donc incluse dans le budget de l'opération* ».

La SAV couvre donc l'imprécision sur les coûts et les quantités et toute imprécision sur les coûts pouvant être réduite par des études ultérieures. Le taux global de SAV dépend du niveau de précision des études.

**Pour les tunnels, on considère que les gabarits pris en considération sont des majorants et que les quantités sont donc majorées.** De ce fait, une SAV de 10% uniquement est prise en compte pour les tunnels.

**Pour la gare, compte tenu de sa complexité, l'estimation de volumes et des prix unitaires reste relativement imprécise à ce stade. Un taux de 15% de SAV est donc retenu.**

**Pour les travaux d'équipement, un taux de 30% est retenu.** Ce taux est élevé car l'estimation des équipements est réalisée de manière sommaire dans la mesure où le coût du génie civil est très prépondérant.

### 11.1.2 Provision pour risques

Au fil de son avancement, le projet aura à faire face à des aléas et des imprévus, favorables ou défavorables, générateurs de surcoûts ou facteurs d'économies. Pour être immune à des événements défavorables, le budget initial de l'opération doit donc intégrer des provisions financières destinées à couvrir ces risques.

La construction de la gare et de ses entonnements concentre le niveau de risque le plus important, avec des risques habituels inhérents aux méthodes de constructions et des risques exceptionnels générés par le creusement d'un ouvrage souterrain hors normes dans le contexte lyonnais et sous des ouvrages ferroviaires exploités.

Au niveau de la faisabilité, l'analyse de risque a pour objectif de faire un premier recensement des risques du projet pour servir de justification à la provision pour risque proposée.

Risque	Principaux impacts potentiels	Niveau de risque
<b>Risques géotechniques</b>		
Tassements imprévus associés à la réalisation des infrastructures souterraines, des tranchées ou des remblais importants.	Dompage sur ouvrages. Impact sur l'exploitation ferroviaire, routière ou TC. Arrêt des travaux	Faible pour le tunnel. Fort pour la gare souterraine, surtout pour la position sous les voies ferrées.
Pour les tunnels, les risques d'instabilité du front de taille par défaut de maintien de la pression de confinement et par avarie sur la tête de coupe. Ce risque est accru en cas de front mixte.	Ralentissement des travaux. Adaptation des méthodes travaux. Tassement excessif / fontis.	Faible car creusement majoritairement dans les molasses.
Pour la gare : les niveaux de perméabilité variable dans les molasses qui rendent plus complexes le traitement des sols.	Ralentissement des travaux. Adaptation des méthodes de construction.	Fort
Le risque associé à l'irrégularité du toit de la molasse.	Ralentissement des travaux. Adaptation des méthodes de construction.	Moyen car couverture prévue en conséquence.
Le risque plus limité, lié à la présence d'aquifère dans les passées plus perméables au sein même de la molasse pouvant amener des débits plus importants dans les fouilles.	Ralentissement des travaux. Adaptation des méthodes de construction.	Ce risque apparait limité en l'état de notre connaissance du sous-sol et pourrait être résolu par des traitements localisés renforcés. Ce risque devra être levé par des reconnaissances spécifiques.
<b>Risques hydrogéologique</b>		
Stabilité des ouvrages (tunnel et gare).	Difficulté de conception des ouvrages.	Faible
Effet barrage.	Dompage sur ouvrages environnants (inondations, tassements).	Faible
<b>Risques liés aux ouvrages environnants</b>		
Découverte de fondations profondes ou de tirants. Profondeur des fiches des parois moulées existantes plus importantes qu'escompté.	Ralentissement du chantier. Mesure spécifique (reprises en sous-œuvre).	Faible pour les tunnels. Moyen pour la gare côté Villette. Fort pour la gare sous les voies et diagonale.
<b>Autres risques</b>		
Acceptabilité des nuisances en phase chantier : bruits, mouvements de camions.	Ralentissement des cadences, logistiques perturbées.	Fort
Gare : Incertitudes sur la disponibilité du foncier pour les puits de chantier et définitif.	Longueur de galerie. Condition de réalisation des travaux.	Fort
Tunnel monotube : incertitudes sur la disponibilité du foncier pour les puits d'évacuation.	Expropriation nécessaire.	Faible car les puits déportés permettent de trouver des positionnements adéquats.

Cette première analyse montre que les risques et incertitudes identifiés sont nombreux, tout particulièrement pour la gare. Seules des études plus avancées permettront de garantir totalement la faisabilité de cet ouvrage dans les conditions de coûts et délais envisagées.

Compte tenu des montants du projet, les provisions pour risques représentent des montants très importants mais qui se justifient par les coûts que pourront engendrer l'arrêt du chantier pendant des périodes importantes (coûts d'immobilisation des hommes et du matériel).

Les provisions pour suivantes sont adoptées :

- 20% est retenue pour le tunnel et les équipements
- Gare tracé « Villette » : 20%. Ce niveau modéré reflète une réduction des risques par la réalisation d'une partie de la gare par un puits et l'absence d'interface forte avec de grands ouvrages en surface (gare Part-Dieu ou IGH).
- Gare tracé « sous les voies ferrées » : 30%. La gare étant entièrement située sous la gare de surface, le niveau de risque provisionné est maximum : risque de tassement non admissible sur la gare Part-Dieu ou les IGH ;
- Gare tracé « diagonal » : 25%. Ce niveau intermédiaire couvre les risques pour la partie de gare réalisée sous les voies de surface et à proximité des IGH.

## 11.2 Méthode

L'estimation est réalisée sur la base des grands principes suivants.

### Découpage du projet en éléments fonctionnels et secteur

Le projet est découpé en différents éléments qui font chacun l'objet d'un chiffrage. Ceci facilite le travail de l'estimateur et offre une meilleure visibilité au chiffrage. Le cas échéant ceci permet d'identifier les coûts de différentes variantes fonctionnelles.

### Utilisation de coûts unitaires

L'estimation est réalisée sur la base de coûts unitaires (macroprix) pour des conditions économiques données (date de valeur de l'estimation). Les macroprix utilisés correspondent au niveau de détail de l'étude. Ils sont issus de retour d'expérience sur différentes études et travaux : routiers, ferroviaires, tramways ou métros.

Il est important de souligner qu'il n'existe pas de « bon coût unitaire ». Les retours d'expérience s'attachent à reconstituer des macroprix à partir de coûts de travaux réalisés dans des conditions spécifiques et avec des ventilations propres à chaque entreprise travaux. La définition des coûts unitaires laisse donc toujours place à une certaine variabilité.

Les macroprix utilisés correspondent à des coûts de travaux hors contrainte spécifique. Le tableau ci-dessous présente quelques coûts de référence à titre informatif (CE 04/2013).

Nature	Coût
Traitement de terrain	600 €/m <sup>3</sup>
Creusement en conventionnel	400-800 €/m <sup>3</sup> suivant dimension et méthode
Creusement au tunnelier (monotube 12,5 m)	45 000 €/ml
Creusement au tunnelier (bitube 9,6 m)	28 000€/ml

### Prise en compte des coûts liés à la sécurité

Les travaux réalisés en interfaces avec l'exploitation ferroviaire (zone de raccordement) nécessitent des mesures spécifiques pour assurer la sécurité du chantier et des circulations : mise en place des mesures de protections, annonceurs, vérifications avant de rendre la voie... Ces coûts sont parfois appelés coûts « SNCF entrepreneur » car les opérations sont réalisées par la SNCF. Les coûts varient selon la nature des travaux mais représentent un montant important du coût final des travaux dans les zones d'interface. A ce stade des études ces opérations sont estimées sur la base de ratios. A titre d'exemple quelques ratios sont présentés ci-après.

Type de travaux	% coût sécurité
Ouvrages en terre	28%
Ouvrages d'art	28%
Voie	35%
Signalisation et installations de sécurité	49%
Installations de traction électrique	49%

### Prise en compte des coûts de maîtrise d'œuvre et de maîtrise d'ouvrage

Les taux de maîtrise d'œuvre et de maîtrise d'ouvrage font partie des estimations. Ces coûts sont fonction de la nature des travaux. A titre d'exemple quelques taux sont fournis ci-après.

Type de travaux	% maîtrise d'œuvre
Ouvrages en terre	8%
Ouvrages d'art	8%
Voie	12%
Signalisation et installations de sécurité	24%
Installations de traction électrique	14%

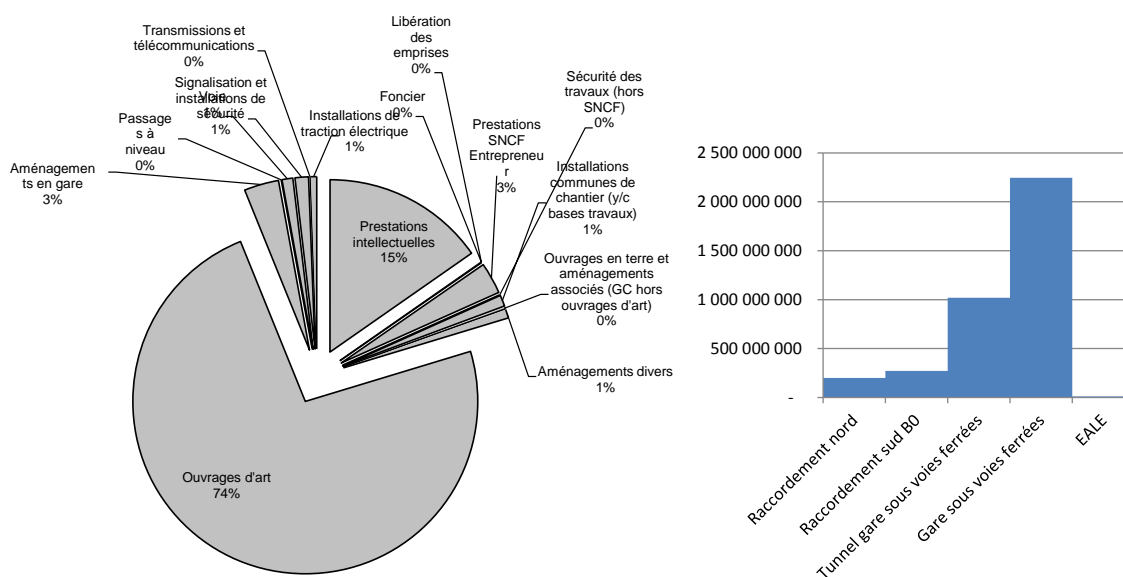
### 11.3 Coût global du scénario B

Les coûts du projet sont présentés dans le tableau ci-après. Les tableaux de coût au format « arc en ciel » sont fournis en annexe.

Tableau 13 – Coûts des scénarios, M€c.e. 2013

variante	Gare	Estimation brute	Provision pour risque	Estimation nette
Monotube	Villette	2 745	545	3 290
	Voies ferrées	3 010	740	3 750
	Diagonale	3 220	710	3 930
Bitube	Villette	2 810	560	3 370
	Voies ferrées	2 990	710	3 700
	Diagonale	3 080	670	3 750

Figure 61 – Répartition des coûts par nature de travaux et élément fonctionnel : monotube, gare sous voies ferrées



Le dimensionnement des volumes de circulation voyageurs a un impact non négligeable sur le coût final. Pour une gare en configuration monotube, le coût de la gare augmente de 200 à 350M€ suivant les configurations soit 6 à 10% du coût du projet.

Tableau 14 – Coûts des scénarios monotube avec accès voyageurs selon étude de flux, M€c.e. 2013

variante	Gare	Estimation brute	Provision pour risque	Estimation nette
Monotube	Villette	2 900	580	3 480
	Voies ferrées	3 290	820	4 110
	Diagonale	3 410	760	4 170



## 11.4 Analyse de sensibilité sur la longueur des quais

Si la gare représente plus de la moitié du coût total de l'aménagement, ce sont les entonnements qui représentent la part la plus importante du coût de la gare. De ce fait, l'impact relatif de la longueur des quais sur le coût total du projet est relativement limité :

- Pour un allongement de 50 m (quais de 400 m) : +100M€ (y.c. MOE, MOA, SAV et risques) soit environ +5% du coût de la gare et +3% du coût total de l'aménagement;
- Pour des quais plus courts (quais de 300 m) : -100M€ (y.c. MOE, MOA, SAV et risques) soit -5% du coût de la gare et -3% du coût total de l'aménagement;



## 12 Organisation des travaux et planning de réalisation

---

### 12.1 Organisation générale de la réalisation des travaux

Depuis les puits de démarrage installés côté Saint-Clair et Guillotière, les tunnels foreront en direction de la gare souterraine. Celle-ci servira de puits de sortie du tunnelier. Il est donc indispensable qu'à minima, le tunnel de transition des entonnements soit réalisé avant leur arrivée à ce niveau. Une fois le tunnel raccordé à son ouvrage d'entonnement et à la gare, le tunnel pourra servir d'accès pour le chantier de la gare souterraine et faciliter les flux de matériaux.

Dans le cas du bitube, à la fin du creusement du premier tube, le tunnelier est remonté à l'émergence pour réaliser le second tube.

Ceci étant, les travaux de la gare composent le chemin critique et devraient s'étaler sur plusieurs années. Les travaux de la gare se dérouleront selon un phasage classique :

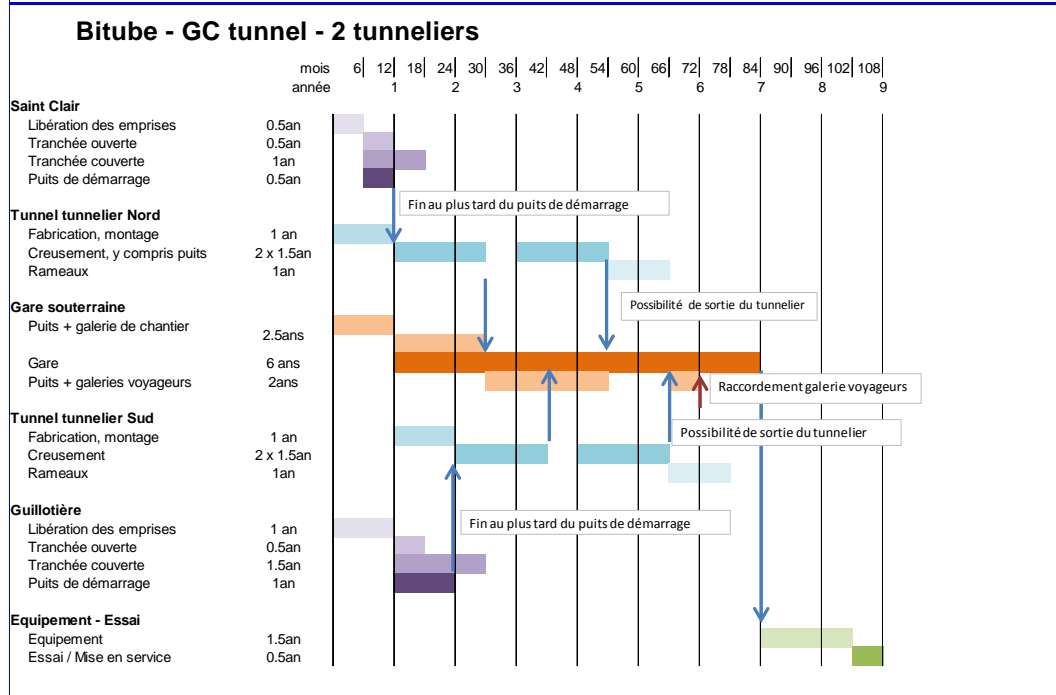
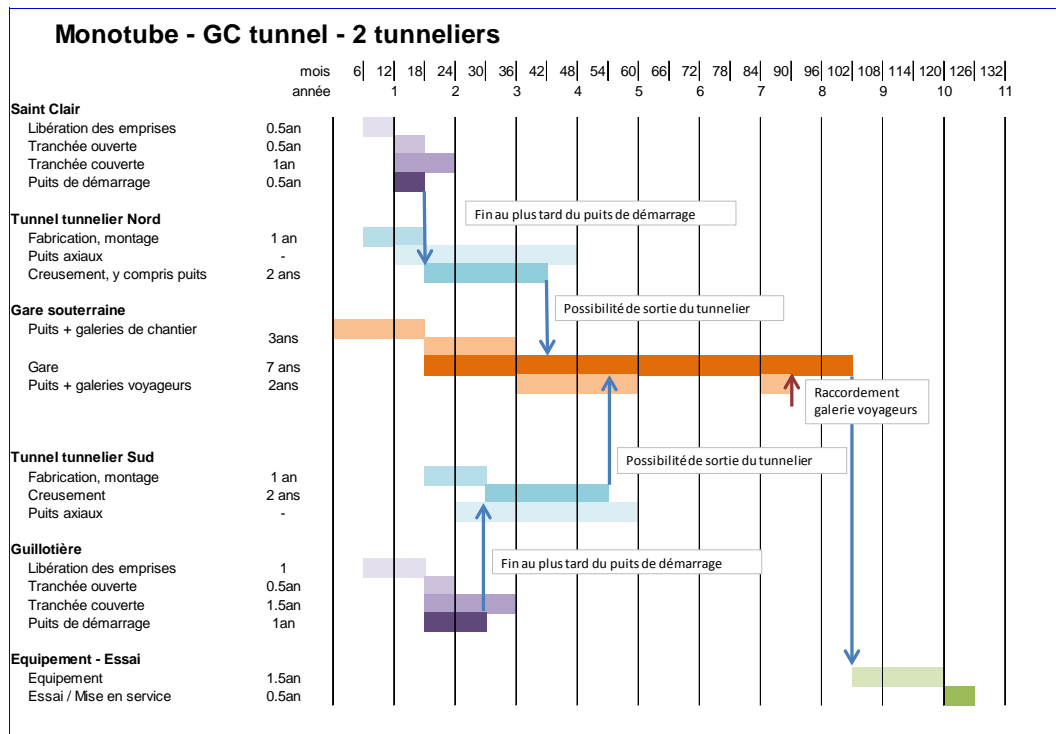
- Libération des emprises et installations de chantier ;
- Réalisation des puits de chantier ;
- Réalisation des galeries chantier ;
- A partir des galeries, réalisation des tunnels, des entonnements et de la gare elle-même avec un traitement du terrain à l'avancement. Les cadences de réalisation dépendront essentiellement du nombre d'attaque possible ;
- En parallèle, réalisation des puits définitifs et des galeries définitives.

### 12.2 Planning

#### 12.2.1 Planning des travaux de génie civil

La réalisation de la gare constitue le chemin critique pour le génie civil. Entre 9 et 10 ans de travaux seront nécessaires pour la réalisation de cet ouvrage. Les cadences suivantes sont prises en compte :

- Tunnelier : 200/250 ml par mois ;
- Gare : 5 à 10 ml de galerie par mois suivant la section ;

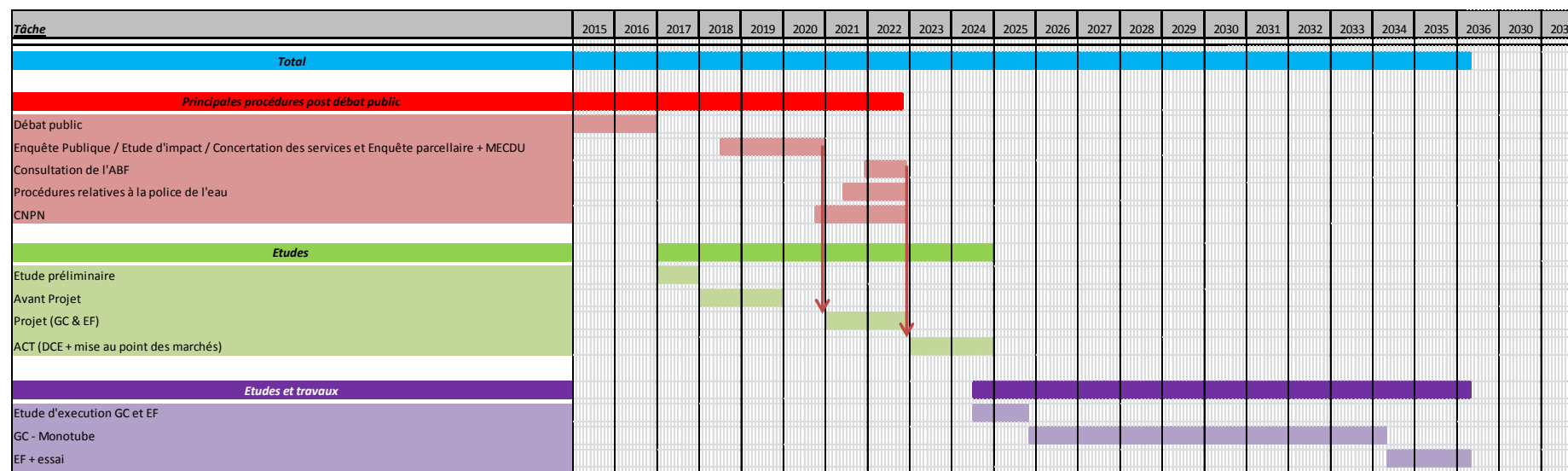




### 12.2.2 Planning de réalisation

Après le débat public (envisagé en 2015), il faut envisager :

- 8 ans d'études et procédures
- 12 ans de travaux



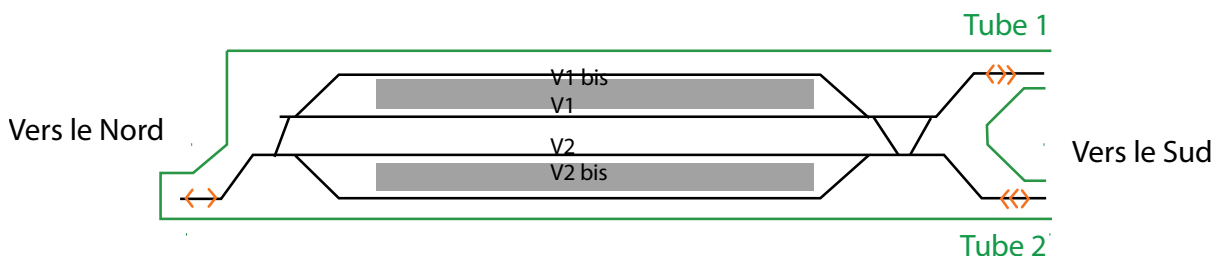
**Préambule :**  
Ce planning présente les principales procédures les plus importantes. Dans la suite des études, l'analyse des procédures devra être affinée (archéologie préventive, défrichement, bilans environnementaux post travaux, etc...).  
Ce planning est fait sur la base du cadre réglementaire actuel qui est susceptible d'évoluer.  
Ces procédures nécessitent des études spécifiques environnementales à anticiper par le MOA.

## 13 Phasage

Un phasage du scénario B a été envisagé dans le cadre du scénario intermédiaire 2. Le phasage consiste à réaliser la partie sud du tunnel dans une configuration bitube (B4).

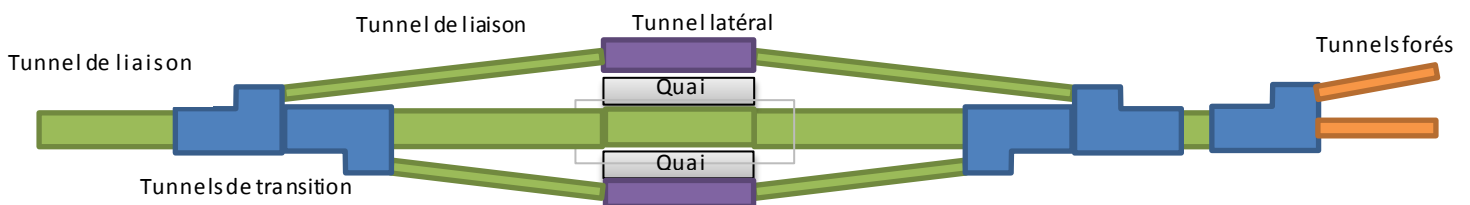
Les études d’exploitation ont montré que dans ce cas, il est nécessaire de disposer d’une gare souterraine où toutes les voies à quai sont accessibles depuis et vers les deux voies de ligne. De plus, ces études ont montré qu’un terminus d’arrière gare était nécessaire pour permettre le retournement des trains terminus. Le plan de voies souhaité est présenté ci-dessous.

**Figure 62 : Plan de voies d’une gare réalisée par phase : première phase**



Pour réaliser un tel plan de voies, il est nécessaire d’avoir des sections monotubes de part et d’autre de la gare pour assurer les connections entre les voies. Ceci complexifie très largement la gare en ajoutant 4 tunnels de transition et deux sections en monotube qui seraient creusées en méthode conventionnelle. En première approche, ces travaux supplémentaires engendreront des surcoûts compris entre 300 et 500 M€, à comparer aux 600 M€ économisés sur la réalisation des 3 km de tunnel bitube et de l’émergence au nord.

**Figure 63 : Ouvrages constitutifs de la gare de première phase**



**Au final, un tel phasage ne semble pas pertinent du point de vue technico-économique.**

## 14 Conclusion

---

### 14.1 Synthèse comparative sur les scénarios souterrains

Il est difficile de départager les solutions monotube/bitube sur plan technique. On peut noter que le bitube permet d'éviter le creusement de puits de secours, minimise les risques de tassement au niveau de la gare, et peut être raccordé à Guillotière selon les deux schémas B0 (avec un impact sur les installations ferroviaires plus important qu'en monotube) et B4 (avec un impact urbain plus important que dans le B0). Il est cependant moins souple d'exploitation en situation perturbée.

Pour la gare, il ne semble pas opportun de poursuivre l'étude de la variante diagonale, qui ne présente finalement pas plus d'intérêt technique, économique ni fonctionnel que la variante sous les voies. La solution Villette se dégage nettement sur le plan technique ; toutefois les éléments d'accessibilité doivent également être pris en compte.

La comparaison des variantes doit se baser sur une analyse multicritère plus générale, tenant compte des impacts environnementaux et fonctionnels. Cette comparaison est effectuée dans le rapport de synthèse.

#### Complexité technique, risques et incertitudes

L'étude du scénario B permet les conclusions suivantes :

- La réalisation d'une gare souterraine au niveau de la Part-Dieu est un défi technique sans précédent. La complexité de cet ouvrage conduit à des coûts et des durées de travaux très élevés.
- Le positionnement de la gare au niveau de la Part-Dieu est difficile compte tenu des contraintes urbaines existantes. Les possibilités de positionnement de la gare, des accès chantier et des accès définitifs sont limitées : trois positions sont envisageables :
  - Gare sous Villette : solution la plus intéressante techniquement,
  - Gare sous les voies ferrées : solution très complexe et risquée techniquement du fait des contraintes de tassement sur les voies existantes en exploitation et sur le bâti envisagé dans le secteur,
  - Gare diagonale : cette solution présente également des risques vis-à-vis de l'exploitation ferroviaire de surface et induit un tracé en S avec des surlongueurs de tunnel défavorables.
- La complexité et les risques associés à la réalisation de cet ouvrage seront d'autant plus élevés que le nombre et le volume des galeries pour les circulations voyageurs seront importants. Un optimum technico-fonctionnel doit être recherché.
- Le débouché sud du tunnel nécessite des ouvrages complexes : l'impact ferroviaire est important sur le faisceau relais de Guillotière. Des interceptions de circulation sont nécessaires en phase travaux. La solution B4 semble de ce point de vue la plus complexe avec, notamment, un impact urbain fort ;
- Les solutions bitubes présentent l'avantage de ne pas nécessiter de puits de secours alors qu'il faudra en réaliser une dizaine dans le cas d'un ouvrage monotube.

### Impact du projet sur l'exploitation ferroviaire, routière et sur les transports en commun en phase travaux

L'impact des travaux sur l'exploitation ferroviaire se concentre sur les zones de raccordement. De ce point de vue le scénario B4 est plus impactant car il nécessite des travaux en interface avec les circulations de la PLM.

En phase définitive tous les scénarios impactent le faisceau relais de la Guillotière. Les études ultérieures permettront de préciser les voies qui peuvent être conservées. De ce point de vue, le scénario B4 est légèrement plus favorable.

Les circulations routières et les lignes de transport en commun sont peu impactées par les travaux souterrains, exceptés pour les travaux de réalisation des puits dans le scénario monotube. Ces travaux restent toutefois localisés et des déviations ponctuelles de la circulation pourront être aménagées.

### Impact sur le bâti et les ouvrages

Les principaux impacts sur le bâti se rencontrent dans le secteur Part-Dieu. En particulier, la réalisation de 2 émergences côté Béraudier pourrait condamner définitivement le parking prévu en première phase du PEM. Une optimisation des cheminements voyageurs pourrait limiter cet impact. Côté Vilette, là encore, les travaux et les émergences de la gare impacteront certains ouvrages prévus dans le cadre du projet Part-Dieu : gare routière, « Cube » de service, vélostation... De ce point de vue, la gare située côté Vilette sous la place de Frankfort semble la plus favorable même si elle condamnera cette place pendant les travaux.

La sortie B4 au sud impacte des immeubles nouvellement construits au sud de la rue Challemel Lacour ainsi que le parc de l'hôpital St Jean de Dieu. La solution B4 est donc beaucoup plus défavorable que la solution B0.

### Coûts

Du fait de sa complexité et des incertitudes liées au niveau d'étude, l'estimation des coûts du scénario B conduit à un montant très élevé. Le coût de la gare est prépondérant puisqu'il représente plus de la moitié des coûts du projet. Ce sont donc les scénarios les plus favorables techniquement pour la réalisation de la gare qui s'avèrent les moins chers. D'autre part, les solutions bitubes ne s'avèrent au final pas plus onéreuses que les solutions monotubes : même si le coût de l'émergence sud B4 est largement plus chère que l'émergence B0, la réalisation d'une gare optimisée en double boîte permet de compenser ce surcoût.

### Planning

Il faut compter 20 ans d'études et de travaux entre le débat public et la mise en service, soit une mise en service en 2036 pour un débat public en 2016.



Tableau de synthèse des variantes

	Monotube B0 Bitube possible à étudier			Bitube B4		
	Villette	Sous les voies	Diagonale	Villette	Sous les voies	Diagonale
Fonctionnalités ferroviaires (exploitation)				Moins de souplesse pour les modes dégradés dans le cas d'une gare bitube		
Impact sur les installations ferroviaires (Insertion)	Impact sur faisceau relais			Impact sur faisceau relai plus limité		
Impact bâti et ouvrages (insertion)	Pas d'impact			Impact urbain sur secteur Layat et hôpital St Jean de Dieu		
Complexité technique, risques : <u>gare</u>	Impact tassement plus limité	Risque de tassements inacceptables pour l'exploitation de la gare de surface		Impact tassement plus limité	Risque de tassements inacceptables pour l'exploitation de la gare de surface	
Complexité technique, risques : <u>racco</u>	Epaisseur de couverture limite			Raccordement très complexe en zone exploitée		
Impact sur l'exploitation ferroviaire en phase travaux	Impact limité aux zones de branchement : ITC courtes			Impact sur PLM au sud		
Impact sur l'exploitation routière et TC en phase travaux	Impacts localisés pour la réalisation des puits d'accès / évacuation		Impacts des puits : Nombreux puits (tunnel long), certains difficiles à positionner.	Pas d'impact, pas de puits		
Coûts						
Planning	20 ans études et travaux					





Bien qu'une solution bitube avec émergence B0 n'ait pas été étudiée intégralement, l'étude des variantes précédentes permet de dresser le tableau suivant

	<b>Bitube B4</b>		
	<b>Villette</b>	<b>Sous les voies</b>	<b>Diagonale</b>
Fonctionnalités ferroviaires (exploitation)	<i>Moins de souplesse pour les modes dégradés dans le cas d'une gare bitube</i>		
Impact sur les installations ferroviaires (Insertion)	<i>Impact sur faisceau relai très important</i>		
Impact bâti et ouvrages (insertion)	<i>Pas d'impact</i>		
Complexité technique, risques : <u>gare</u>	<i>Impact tassement plus limité</i>	<i>Risque de tassements inacceptables pour l'exploitation de la gare de surface</i>	
Complexité technique, risques : <u>racco</u>	<i>Epaisseur de couverture acceptable</i>		
Impact sur l'exploitation ferroviaire en phase travaux	<i>Impact limité aux zones de branchement : ITC courtes</i>		
Impact sur l'exploitation routière et TC en phase travaux	<i>Pas d'impact, pas de puits</i>		
Coûts			
Planning	<i>20 ans études et travaux</i>		

## 14.2 Points à approfondir dans les études ultérieures

La présente étude de faisabilité devra se poursuivre après le débat public par une étude de niveau préliminaire. Cette étude aura pour principal objectif de préciser les solutions techniques en termes d'ouvrage d'art.

### Choix fonctionnels et orientation réglementaires à clarifier

L'étude de faisabilité permet de mettre en évidence certains points spécifiques à valider / clarifier, si possible avant d'entamer la suite des études. Ils devront être précisés avant l'avant-projet.

- Choix fonctionnels :
  - valider les paramètres de conception : pentes maximales et vitesses de conception,
  - valider la longueur des quais,
  - valider le plan de voies de la gare,
  - gabarit : confirmer la prise en compte des pistes (contour P) et du contour N. L'optimisation du gabarit limiterait les coûts et faciliterait les émergences des tunnels ;
- Impacts ferroviaires : il semble nécessaire d'entamer une phase de concertation avec l'exploitant ferroviaire pour clarifier les besoins au niveau du faisceau relais de la Guillotière.
- Sécurité : Définir le classement de la ligne au sens de l'IT1,

### Recueil de données nécessaires aux études préliminaires

Le recueil d'un certain nombre de données nécessaires aux études préliminaires apparaît nécessaire :

- Levé topographique terrestre (1/500<sup>ème</sup>) dans les zones de raccordement
- Investigations géotechniques (voir ci-dessous)

Le programme de reconnaissance géotechnique aura pour objectif de :

- 1 caractériser les sols de fondations et les terrains encaissant des ouvrages à construire ou à élargir ;
- 2 déterminer les conditions géologiques (structure et état de la molasse et des alluvions) et géotechniques (comportement, réemploi des déblais) qui seront rencontrées au niveau du tunnel ;
- 3 détecter les sur-profondeurs du toit du substratum molassique ;
- 4 déterminer la longueur de l'interface Alluvions / Molasse au niveau des têtes (Nord et Sud) du tunnel.

Le budget du programme de reconnaissance est estimé à 500 k€ environ.



Annexe 2 - SCENARIO B – Tracé souterrain (Est) Phase EP							
OUVRAGE	PK approximatif	Sondage carotté		Sondage destructif avec essai pressiométrique (1 essai/m)		Autre type de reconnaissance	Commentaires
		Nombre	Longueur	Nombre	Longueur		
		Tête Nord du tunnel		2,00	30,00		
Passage sous le Rhône		5,00	50,00	0,00	0,00	Profil de sismique-réfraction marine	3 SC sur barge, 1 SC par rive
Section courante Nord		5,00	55,00	0,00	0,00	-	-
Gare Part-Dieu		2,00	60,00	4,00	60,00	-	-
Section courante Sud		5,00	60,00	0,00	0,00	-	-
Tête Sud du tunnel		2,00	40,00	2,00	40,00	-	-
<b>TOTAL</b>		<b>21,00</b>	<b>1 085,00</b>	<b>8,00</b>	<b>380,00</b>	<b>1</b>	

### Etude préliminaire

Les objectifs des études préliminaires seront les suivants :

- Etude d'une variante B0 en bitube,
- Analyse comparative des variantes B0 ou B4,
- Si possible, retenir une option de tunnel : monotube ou bitube et l'option de gare associée,
- Conception fonctionnelle et architecturale de la gare : chercher à optimiser les études de flux et valider le dimensionnement des accès voyageurs,
- Si possible, retenir un positionnement de gare ou limiter le nombre de configuration envisageables,
- Sécurité : Mener une première étude de ventilation.

### Voie, signalisation, IFTE/EALE

L'étude système comprend :

- Une mise à jour du tracé.
- Une mise à jour et des précisions du SIF.
- Un programme sommaire de signalisation.

### Génie civil

L'étude préliminaire permettra de caractériser les solutions techniques pour les principaux ouvrages d'art :

- Mise à jour des coupes, gabarit des ouvrages,
- Mise à jour du profil en long du tunnel,
- Etude technique de la gare et des méthodes constructives : positionnement, techniques constructives,
- Etudes des ouvrages de raccordement au nord et au sud.



## 15 Annexes

---

Tableaux des coûts pour les scénarios

Schéma des installations ferroviaires (SIF)

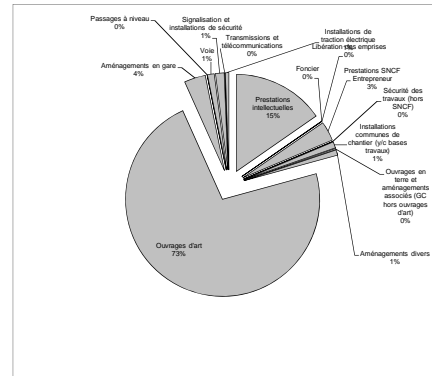
Estimation des tassements

NG140078B - Fonctionnalité du tunnel et de la gare souterraine la Part-Dieu

PG140426A Dossier de plan scénario B0

PG140427A Dossier de plan scénario B4

Niveaux	Intitulé	Phase	Unité d'œuvre		Indice	Taux de SAV	Total		Raccordement nord			Raccordement sud B0			Tunnel gare côté Villette			Gare côté Villette			DALE			
			DI	EP			Objet	Coût brut	Coût SAV	Quantif	Coût brut	Coût SAV	Quantif	Coût brut	Coût SAV	Quantif	Coût brut	Coût SAV	Quantif	Coût brut	Coût SAV	Quantif	Coût brut	Coût SAV
			1	2			3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6
1	<b>Préstations intellectuelles</b>	X	f	forfait	ING	25%	420 522 666	83 150 852	25,7%	38 692 798	6 885 472	27,7%	39 054 226	9 529 907	17,7%	127 768 560	21 805 818	17,8%	223 536 638	44 212 542	32,4%	1 870 444	734 143	
1	Maîtrise d'œuvre (yc BPS)	X	f	forfait	ING	27%	127 697 639	27 065 412	7,3%	7 542 344	1 802 598	7,3%	10 202 396	2 638 606	5,5%	30 663 171	7 263 701	5,5%	99 719 306	19 070 805	7,8%	486 092	192 522	
2	Maîtrise d'œuvre		f	forfait	ING	28%	226 807 756	50 047 537	12,8%	17 422 282	4 635 949	12,6%	23 693 788	6 431 989	9,3%	66 656 498	12 591 309	9,3%	117 758 793	25 963 083	15,0%	1 240 395	526 806	
3	Acquisition de données		f	forfait	ING	10%	44 278 180	4 025 289	2,6%	2 486 448	225 950	2,4%	3 372 028	306 548	2,0%	14 261 927	1 296 539	1,9%	24 402 806	2 185 710	2,0%	115 971	10 543	
4	Mission GID		f	forfait	ING	10%	22 138 000	2 012 645	1,3%	1 242 724	112 975	1,2%	1 686 014	153 274	1,0%	7 130 963	648 269	0,9%	12 021 403	1 092 855	1,0%	57 885	5 271	
2	<b>Foncier</b>	X	f	emprise foncière		6%	376 226	20 226	1	19 144	1 300	1	25 982	1 368	1	120 674	6 256	1	211 462	11 261	1	964	51	
2	Acquisitions foncières	X	f	emprise foncière		30%	1 746	403	1	1 746	403													
2	Aménagements foncières	X	f	emprise foncière	TP01																			
3	Occupations temporaires et dommages travaux	X	f	forfait		6%	376 490	19 832	1	17 398	897	1	25 982	1 368	1	120 674	6 256	1	211 462	11 261	1	964	51	
3	<b>Libération des emprises</b>	X	m	emprise travaux	TP01	30%	1 556 949	359 296	1	969 857	223 813					587 092	135 483							
3	Déviations ou mesures de protection d'installations existantes	X	m	emprise travaux	TP01	30%	1 522 011	351 233	1	934 919	216 750					667 092	135 483							
4	<b>Préstations SNCF Entrepreneur</b>	X	NS	voir quantités des niveaux inclus	NAT	32%	88 434 203	21 386 190	41%	39 656 046	9 101 104	33%	46 281 297	11 271 130										
5	Sécurité des travaux (hors SNCF)	X	f	forfait	ICHT-IME																			
6	<b>Installations communes de chantier (yc bases travaux)</b>	X	f	forfait	TP01	30%	28 640 862	6 536 899	1	1 238 499	276 042	1	1 810 183	411 908	1	9 251 754	2 078 080	1	16 266 306	3 783 763	1	74 121	17 105	
7	<b>Ouvrages en terre et aménagements associés (OC hors ouvrages d'art)</b>	X	f	emprise travaux	TP03	30%	5 229 188	1 246 738	1	1 636 883	377 529	1	3 087 910	712 695	1	505 343	116 618							
7	Installations de chantier pour les ouvrages en terre et les aménagements associés	X	f	forfait	TP01	30%	319 152	73 671	1	90 846	23 041	1	188 644	43 692	1	30 843	7 118							
7	Terrassements	X	f	emprise travaux	TP03	30%	3 053 700	704 700	1	1 017 500	234 500	1	2 035 800	469 800										
7	Assainissements (hors ouvrages hydrauliques)	X	m	linéaire de ligne	TP03	30%	1 856 334	428 385	1	518 188	119 582	1	863 646	199 303	1	474 500	109 500							
7	Ouvrages hydrauliques	X	m	linéaire de ligne	TP02																			
7	Ouvrages de soutènement	X	f	surface de pavement	TP02																			
8	<b>Aménagements divers</b>	X	f	forfait	TP01	30%	24 177 071	5 579 324	1	3 295 035	751 162	1	1 942 035	448 162	1	18 990 000	4 380 000							
9	<b>Ouvrages d'art</b>	X	NS	voir quantités des niveaux inclus	TP02	13%	1 989 654 234	233 901 975		74 027 800	9 655 800		104 610 438	14 366 697		666 402 000	80 582 000		1 144 613 998	149 297 478				
9	Ouvrages d'art couverts (hors terrassements et blocs techniques)	X	m	surface de tablier des OA couverts	TP02	30%	7 184 511	1 660 272					7 184 511	1 660 272										
9	Ouvrages d'art non couverts (hors terrassements et blocs techniques)	X	m	surface de tablier des OA non couverts	TP02																			
9	Ouvrages souterrains	X	m	linéaire d'ouvrages souterrains	TP05a	13%	1 982 459 723	232 241 703					97 415 925	12 706 425		666 402 000	80 582 000		1 144 613 998	149 297 478				
10	<b>Aménagements en gare</b>	X	NS	voir quantités des niveaux inclus	TP01	25%	97 328 438	19 465 688											97 328 438	19 465 688				
11	<b>Passages à niveau</b>	X	u	nb de passages à niveau	TP01																			
12	<b>Voie</b>	X	m	linéaire de voie	VP2	30%	30 392 448	7 013 642	2 400	4 650 886	1 073 277	4 390	10 383 349	2 398 465	16 950	12 483 344	2 891 233		2 862 868	660 646				
13	<b>Signalisation et installations de sécurité</b>	X	NS	voir quantités des niveaux inclus	BT47	30%	38 452 658	8 873 690		10 388 876	2 397 433		16 380 163	3 796 961		6 683 250	1 311 519		6 100 568	1 407 777				
14	<b>Transmissions et télécommunications</b>	X	NS	voir quantités des niveaux inclus	BT47	30%	1 298 446	299 641		99 455	39 105		98 143	22 648		1 030 946	237 888							
16	<b>Installations de traction électrique</b>	X	m	linéaire de voie équipée	TP12	37%	16 610 769	4 498 620	2 400	1 141 161	263 345	4 390	2 832 776	653 718	16 350	6 588 576	1 519 979		348 649	80 467		5 701 806	1 981 121	
<b>Total</b>	<b>Total</b>	X	X	<b>Estimation brute</b>	X	X	<b>2 749 076 154</b>	<b>392 301 826</b>		<b>165 645 471</b>	<b>37 028 378</b>		<b>226 396 500</b>	<b>43 673 667</b>		<b>849 401 442</b>	<b>85 058 674</b>		<b>1 491 268 747</b>	<b>218 889 633</b>			<b>3 756 364</b>	
		X	X	<b>Coût Somme à valoir</b>	X	X																		



	PRI tunnel	15%	397 930 847	20%	14 805 560	20%	20 922 087	20%	133 280 400	20%	228 922 800	20%	-
PRI autres		5%	150 684 384	20%	18 363 534	20%	24 357 213	20%	36 599 888	20%	69 330 950	20%	2 032 799
<b>Total</b>			<b>3 292 000 000</b>		<b>199 016 565</b>		<b>271 675 800</b>		<b>1 019 281 731</b>		<b>1 789 522 496</b>		<b>12 196 793</b>

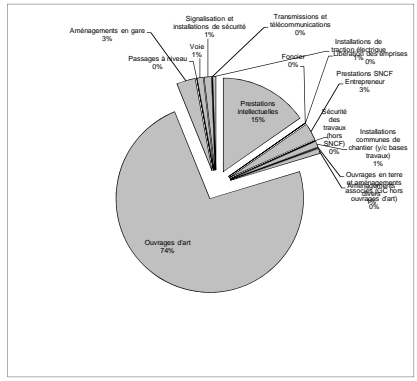
Projet : NFL - St Clair Guillaotière  
 Phase : Faisabilité  
 C.E. : 06/2013

Monotube gare sous les voies ferrées

Noméro Spire : <identifiant RFF>  
 Compte d'imputation : <FAIR...>  
 Date de l'estimation : 07/10/2014

Niveaux	Intitulé	Phase	Unité d'œuvre		Indice	Taux de SAV	Total		Raccordement nord			Raccordement sud B0			Tunnel gare sous voies ferrées			Gare sous voies ferrées			DALE		
			DI	EP			Objet	Coût brut	Dont SAV	Quantitax	Coût brut	Dont SAV	Quantitax	Coût brut	Dont SAV	Quantitax	Coût brut	Dont SAV	Quantitax	Coût brut	Dont SAV	Quantitax	Coût brut
1	Préstations intellectuelles	X	f	forfait	ING	25%	459 947 709	80 865 783	25,7%	28 692 798	8 865 472	27,7%	39 054 226	9 529 907	17,7%	127 768 560	21 805 818	17,8%	262 561 680	51 667 443	32,4%	1 870 444	734 143
1	Maîtrise d'œuvre (yc APB)	X	f	forfait	ING	27%	140 160 734	23 690 650	7,3%	7 542 344	1 803 598	7,3%	10 202 396	2 638 606	5,5%	30 663 171	7 263 701	5,5%	92 176 790	17 636 342	7,8%	486 092	192 522
1	Maîtrise d'œuvre	X	f	forfait	ING	28%	246 876 757	54 286 728	12,8%	17 422 282	4 635 949	12,6%	23 693 788	6 431 389	9,3%	66 652 498	12 591 309	9,2%	137 827 794	30 102 274	15,0%	1 240 395	526 806
1	Acquisition de données	X	f	forfait	ING	10%	48 606 771	4 418 797	2,6%	2 486 448	225 950	2,4%	3 372 028	306 548	2,0%	14 261 927	1 296 539	1,9%	28 371 397	2 579 218	2,0%	115 971	10 543
1	Mission GID	X	f	forfait	ING	10%	24 303 386	2 209 399	1,3%	1 242 724	112 975	1,2%	1 686 014	153 274	1,0%	7 130 963	648 269	0,9%	14 185 699	1 289 609	1,0%	57 885	5 271
2	Fondier	X	f	emprise foncière		6%	416 030	22 246	1	19 144	1 300	1	25 982	1 366	1	120 674	6 256	1	249 266	13 275	1	964	51
2	Acquisitions foncières	X	f	emprise foncière		30%	1 176	403	1	1 746	403												
2	Aménagements fonciers	X	f	emprise foncière	TP01	30%																	
2	Occupations temporaires et dommages travaux	X	f	forfait		6%	414 285	21 845	1	17 398	897	1	25 982	1 366	1	120 674	6 256	1	249 266	13 275	1	964	51
3	Libération des emprises	X	m	emprise travaux	TP01	30%	1 556 949	359 296		969 857	223 813					587 062	135 483						
3	Déviations ou mesures de protection d'installations existantes	X	m	emprise travaux	TP01	30%	1 632 011	393 233		934 919	216 750					667 092	135 483						
4	Préstations SNCF Entrepreneur	X	NS	voir quantités des niveaux inclus	NAT	32%	88 434 203	21 385 199	41%	39 656 046	9 101 104	33%	48 281 297	11 271 130							44%	2 516 860	1 022 964
4	Sécurité des travaux (hors SNCF)	X	f	forfait	ICHT-IME																		
6	Installations communes de chantier (yc bases travaux)	X	f	forfait	TP01	30%	31 548 804	7 207 983	1	1 238 499	276 042	1	1 810 183	411 908	1	9 251 754	2 078 080	1	19 174 339	4 424 847	1	74 121	17 105
7	Ouvrages en terre et aménagements associés (OC hors ouvrages d'art)	X	f	emprise travaux	TP03	30%	5 229 186	1 246 738	1	1 636 833	377 529	1	3 087 910	712 695	1	505 343	116 618						
7	Installations de chantier pour les ouvrages en terre et les aménagements associés	X	f	forfait	TP01	30%	319 152	73 671	1	90 846	23 041	1	188 644	43 692	1	30 843	7 118						
7	Terrassements	X	f	emprise travaux	TP03	30%	3 053 700	704 700	1	1 017 500	234 900	1	2 035 800	469 800									
7	Assainissements (hors ouvrages hydrauliques)	X	m	linéaire de ligne	TP03	30%	1 856 334	428 385	1	518 188	119 582	1	863 646	199 303	1	474 300	109 500						
7	Ouvrages hydrauliques	X	m	linéaire de ligne	TP02																		
7	Ouvrages de soutènement	X	f	surface de pavement	TP02																		
8	Aménagements divers	X	f	forfait	TP01	30%	24 177 071	5 579 324	1	3 295 035	751 162	1	1 942 035	448 162	1	18 990 000	4 380 000						
9	Ouvrages d'art	X	NS	voir quantités des niveaux inclus	TP02	13%	2 213 349 014	263 079 555		74 027 800	9 655 800		104 610 436	14 366 697		666 402 000	80 582 000		1 368 308 778	178 475 058			
9	Ouvrages d'art couverts (hors terrassements et blocs techniques)	X	m	surface de tablier des OA couverts	TP02	30%	7 184 511	1 660 272					7 184 511	1 660 272									
9	Ouvrages d'art non couverts (hors terrassements et blocs techniques)	X	m	surface de tablier des OA non couverts	TP02																		
9	Ouvrages souterrains	X	m	linéaire d'ouvrages souterrains	TP05a	13%	2 206 154 503	261 419 283					97 415 925	12 706 425		666 402 000	80 582 000		1 368 308 778	178 475 058			
10	Aménagements en gare	X	NS	voir quantités des niveaux inclus	TP01	25%	97 328 438	19 465 688								97 328 438	19 465 688						
11	Passages à niveau	X	u	nb de passages à niveau	TP01																		
12	Voie	X	m	linéaire de voie	VP2	30%	30 392 448	7 013 642	2 400	4 650 866	1 073 277	4 390	10 383 349	2 389 465	16 950	12 483 344	2 861 233		2 362 686	660 646			
13	Signalisation et installations de sécurité	X	NS	voir quantités des niveaux inclus	BT47	30%	38 452 658	8 873 690					16 380 163	3 796 961		5 683 250	1 311 519		6 100 568	1 407 777			
14	Transmissions et télécommunications	X	NS	voir quantités des niveaux inclus	BT47	30%	1 298 446	299 641					98 143	22 648		1 030 946	237 888						
14	Installations de traction électrique	X	m	linéaire de voie équipée	TP12	37%	16 610 769	4 498 620	2 400	1 141 161	263 345	4 390	2 832 776	653 718	16 350	6 588 576	1 519 979		348 649	80 467		5 701 806	1 981 121
Total	Total	X	X	Estimation brute	X	X	3 008 741 813	428 697 403		165 845 471	31 028 378		226 396 500	43 673 667		849 401 442	85 058 674		1 756 934 406	256 199 212		10 163 994	3 785 364
				Dont Somme à valoir																			

PR tunnel	19%	579 500 681	20%	14 805 560	20%	20 922 087	20%	133 280 400	30%	410 492 633	20%	-
PR autres	5%	159 078 560	20%	18 363 534	20%	24 357 213	20%	36 599 888	20%	77 725 126	20%	2 032 799
<b>Total</b>		<b>3 748 000 000</b>		<b>199 014 565</b>		<b>271 675 800</b>		<b>1 019 281 731</b>		<b>2 245 152 165</b>		<b>12 196 793</b>

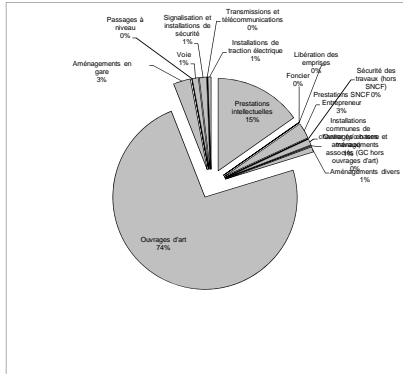


Projet : NFL - St Clair Guillaotière  
Phase : Faisabilité  
C.E. : 06/2013

Monotube gare diagonale

Numéro Spire : <identifiant RFF>  
Compte d'imputation : <FAIR ...>  
Date de l'estimation : 07/10/2014

Niveaux	Intitulé	Phase	Unité d'œuvre		Indice	Taux de SAV	Total		Raccordement nord			Raccordement sud B0			Tunnel gare diagonale			Gare diagonale			DALE				
			DI	EP			Objet	Coût brut	Dont SAV	Quantifx	Coût brut	Dont SAV	Quantifx	Coût brut	Dont SAV	Quantifx	Coût brut	Dont SAV	Quantifx	Coût brut	Dont SAV	Quantifx	Coût brut	Dont SAV	
			DI	EP			Objet																		
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7												
1	Prestations intellectuelles	X	f	forfait	ING	24%	491 298 541	86 080 723	25,7%	28 692 798	6 868 472	27,7%	39 054 226	9 529 907	17,7%	167 471 583	26 965 978	17,6%	264 209 489	51 982 222	32,4%	1 870 444	734 143		
1	Maitrise d'œuvre (yc 30%)	X	f	forfait	ING	27%	149 851 337	31 564 478	7,3%	7 542 344	1 803 598	7,3%	10 202 396	2 638 696	5,5%	48 847 450	8 972 460	5,5%	82 703 639	17 607 200	7,8%	486 092	192 522		
2	Maitrise d'œuvre		f	forfait	ING	28%	263 338 294	57 475 435	12,8%	17 422 282	4 635 949	12,6%	23 693 788	6 431 589	9,3%	82 306 623	15 601 019	9,2%	138 875 196	30 581 272	15,0%	1 240 395	526 896		
3	Acquisition de données		f	forfait	ING	10%	62 072 617	4 733 874	2,6%	2 486 448	225 950	2,4%	3 372 028	306 548	2,0%	17 545 000	1 595 000	1,9%	28 554 169	2 595 834	2,0%	115 971	10 543		
4	Mission GID		f	forfait	ING	10%	26 036 308	2 366 937	1,3%	1 242 724	112 975	1,2%	1 686 014	153 274	1,0%	8 772 500	797 500	0,9%	14 277 085	1 297 917	1,0%	57 885	5 271		
2	Fonderie	X	f	emprise foncière		6%	445 557	23 794	1	19 144	1 380	1	25 982	1 366	1	148 804	7 687	1	250 863	13 360	1	964	51		
2	Acquisitions foncières	X	f	emprise foncière		30%	1 176	403	1	1 746	403														
2	Aménagements foncières	X	f	emprise foncière	TP01	30%																			
2	Occupations temporaires et dommages travaux	X	f	forfait		6%	443 811	23 361	1	17 398	897	1	25 982	1 366	1	148 804	7 687	1	250 863	13 360	1	964	51		
3	Libération des emprises	X	mf	emprise travaux	TP01	30%	1 556 949	359 296	1	969 857	223 813					587 092	135 483								
3	Déviations ou mesures de protection d'installations existantes	X	u	emprise travaux	TP01	30%	1 632 011	393 233	1	934 919	216 750					567 092	135 483								
4	Prestations SNCF Entrepreneur	X	NS	voir quantités des niveaux inclus	NAT	32%	88 434 203	21 386 190	41%	39 656 046	9 101 104	33%	48 281 297	11 271 130							44%	2 516 860	1 022 964		
4	Sécurité des travaux (hors SNCF)	X	f	forfait	ICHT-IME																				
6	Installations communes de chantier (yc bases travaux)	X	f	forfait	TP01	30%	33 809 991	7 711 054	1	1 238 499	276 042	1	1 810 183	411 908	1	11 390 960	2 552 815	1	19 297 128	4 453 183	1	74 121	17 105		
6	Ouvrages en terre et aménagements associés (GC hors ouvrages d'art)	X	f	emprise travaux	TP03	30%	5 395 268	1 245 075	1	1 636 833	377 529	1	3 087 910	712 595	1	671 463	154 958								
7	Installations de chantier pour les ouvrages en terre et les aménagements associés	X	f	forfait	TP01	30%	329 292	75 991	1	90 846	23 041	1	188 644	43 692	1	40 983	9 458								
7	Terrassements	X	f	emprise travaux	TP03	30%	3 053 700	704 700	1	1 017 500	234 900	1	2 035 800	469 800											
7	Assainissements (hors ouvrages hydrauliques)	X	m	linéaire de ligne	TP03	30%	2 012 334	464 385	1	518 188	119 582	1	863 646	199 303	1	630 500	145 500								
7	Ouvrages hydrauliques	X	m	linéaire de ligne	TP02																				
7	Ouvrages de soutènement	X	f	surface de pavement	TP02																				
8	Aménagements divers	X	f	forfait	TP01	30%	30 417 071	7 019 324	1	3 295 035	751 162	1	1 942 035	448 162	1	25 220 000	5 800 000								
9	Ouvrages d'art	X	NS	voir quantités des niveaux inclus	TP02	13%	2 373 230 391	277 987 560		74 027 800	9 655 800		104 610 438	14 366 697		816 838 000	74 258 000		1 377 754 156	179 707 064					
9	Ouvrages d'art couverts (hors terrassements et blocs techniques)	X	mf	surface de tablier des OA couverts	TP02	30%	7 184 511	1 660 272					7 184 511	1 660 272											
9	Ouvrages d'art non couverts (hors terrassements et blocs techniques)	X	mf	surface de tablier des OA non couverts	TP02																				
9	Ouvrages souterrains	X	m	linéaire d'ouvrages souterrains	TP05a	13%	2 366 036 881	276 327 289					97 415 925	12 706 425		816 838 000	74 258 000		1 377 754 156	179 707 064					
10	Aménagements en gare	X	NS	voir quantités des niveaux inclus	TP01	25%	97 328 438	19 465 688											97 328 438	19 465 688					
10	Passage à niveau	X	u	nb de passages à niveau	TP01																				
12	Voie	X	m	linéaire de voie	VP2	30%	34 057 870	7 899 598	2 400	4 650 866	1 073 277	4 390	10 380 349	2 389 465	21 150	16 160 787	3 727 100		2 862 868	660 646					
13	Sécurité et installations de sécurité	X	NS	voir quantités des niveaux inclus	BT47	30%	40 157 633	9 267 146					16 380 163	3 796 961		7 388 226	1 704 975		6 100 568	1 407 777					
14	Transmissions et télécommunications	X	NS	voir quantités des niveaux inclus	BT47	30%	1 617 356	377 851					98 143	22 648		1 369 759	316 098								
14	Installations de traction électrique	X	m	linéaire de voie équipée	TP12	36%	18 544 443	4 944 852	2 400	1 141 161	263 345	4 390	2 832 776	653 718	21 150	8 520 250	1 966 212		348 649	80 467		5 701 806	1 981 121		
	Total			Estimation brute	X	X	3 216 313 766	453 737 941		165 845 471	37 028 378		226 396 500	43 673 667		1 045 756 823	177 629 306		1 768 151 979	257 770 417				3 756 364	



PRI tunnel	17%	543 533 786	20%	14 805 560	20%	20 922 087	20%	163 367 600	25%	344 438 539	20%	-
PRI autres	5%	168 616 675	20%	18 363 534	20%	24 357 213	20%	45 783 565	20%	78 079 565	20%	2 032 799
<b>Total</b>		<b>3 929 000 000</b>		<b>199 016 565</b>		<b>271 675 800</b>		<b>1 254 906 987</b>		<b>2 190 670 082</b>		<b>12 196 793</b>



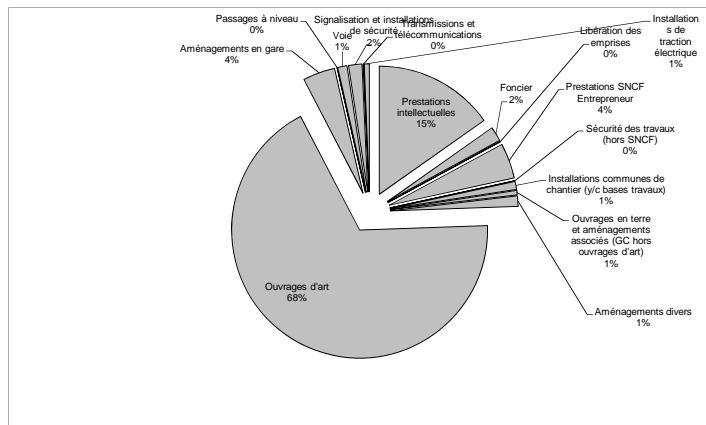
Projet : NFL - St Clair Guillotière  
Phase : Faisabilité  
C.E. : 06/2013

Numéro Spire : <identifiant RFF>  
Compte d'imputation : <F/X/R ...>  
Date de l'estimation : 07/10/2014

Niveaux	Intitulé	Unité d'œuvre		Indice	Taux de SAV	Total		Raccordement nord			Raccordement sud B4			Tunnel gare côté Vilette			Gare côté Vilette			EALE			Raccordement Vrac à Guillotière					
		EP	Objet			Coût brut	Dont SAV	Quant/taux	Coût brut	Dont SAV	Quant/taux	Coût brut	Dont SAV	Quant/taux	Coût brut	Dont SAV	Quant/taux	Coût brut	Dont SAV	Quant/taux	Coût brut	Dont SAV	Quant/taux	Coût brut	Dont SAV			
1	Prestations intellectuelles	f	forfait	ING	26%	427 289 655	86 989 437	27,5%	27 772 124	6 576 912	26,7%	68 300 951	16 137 418	17,8%	125 701 616	21 740 486	17,7%	197 480 590	39 955 996	33,5%	1 933 161	759 656	40,1%	6 101 213	1 818 969			
1	Maitrise d'ouvrage (y/c SPS)	f	forfait	ING	28%	127 968 719	27 803 495	5,5%	7 404 947	1 838 292	5,5%	18 660 419	4 655 517	5,5%	38 871 752	7 200 586	5,5%	61 344 716	13 521 468	5,5%	456 092	192 522	5,5%	1 230 793	395 111			
2	Maitrise d'œuvre	f	forfait	ING	30%	233 211 887	53 176 028	12,5%	16 693 184	4 404 621	11,9%	40 397 297	10 641 607	9,3%	65 926 894	12 639 630	9,4%	104 572 529	23 565 133	15,7%	1 303 113	551 319	28,4%	4 318 870	1 373 717			
3	Acquisition de données	f	forfait	ING	10%	44 072 699	4 006 609	2,4%	2 449 328	222 666	2,4%	6 162 157	560 196	2,0%	13 935 313	1 266 847	1,9%	21 042 229	1 912 930	2,0%	115 971	10 543	2,4%	367 700	33 427			
4	Mission GID	f	forfait	ING	10%	22 036 349	2 003 304	1,2%	1 224 664	111 333	1,2%	3 081 078	280 098	1,0%	6 967 657	633 423	0,9%	10 521 115	956 465	1,0%	57 985	5 271	1,2%	183 850	16 714			
2	Foncier	f	emprise foncière	-	30%	51 688 249	11 860 435	1	19 863	1 338	1	51 359 060	11 842 889	1	118 689	6 065	1	186 077	9 909	1	964	51	1	3 596	192			
2	Acquisitions foncières	f	emprise foncière	-	30%	13 095 440	3 022 025	1	1 746	403	1	13 093 694	3 021 622	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
2	Aménagements foncières	f	emprise foncière	TP01	30%	38 213 719	8 818 551	-	-	-	1	38 213 719	8 818 551	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
3	Occupations temporaires et dommages travaux	f	forfait	-	6%	379 091	19 860	1	18 118	936	1	51 647	2 717	1	118 689	6 065	1	186 077	9 909	1	964	51	1	3 596	192			
3	Libération des emprises	m²	emprise travaux	TP01	30%	1 296 268	299 139	-	-	-	1	969 857	223 813	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
3	Déviations ou mesures de protection d'installations existantes	u	emprise travaux	TP01	30%	1 130 311	260 841	1	934 919	215 750	-	195 392	45 091	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
4	Prestations SNCF Entrepreneur	NS	voir quantités des niveaux inclus	NAT	32%	125 206 247	30 271 005	33%	32 847 608	7 677 027	32%	82 688 340	19 419 980	-	-	-	-	-	-	44%	2 516 860	1 022 964	47%	7 153 439	2 151 034			
5	Sécurité des travaux (hors SNCF)	f	forfait	ICHT-IME	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
6	Installations communes de chantier (y/c bases travaux)	f	forfait	TP01	29%	28 235 557	6 406 449	1	1 293 814	288 807	1	3 288 700	747 855	1	9 069 959	2 004 460	1	14 313 584	3 303 135	1	74 121	17 105	1	195 380	45 088			
7	Ouvrages en terre et aménagements associés (GC hors ouvrages d'art)	f	emprise travaux	TP03	34%	15 676 153	4 014 647	1	1 635 933	377 523	1	11 725 868	3 103 042	1	982 995	226 845	-	-	-	-	-	-	-	1	1 331 357	307 236		
7	Installations de chantier pour les ouvrages en terre et les aménagements associés	f	forfait	TP01	30%	925 256	213 521	1	99 846	23 041	1	684 158	157 883	1	59 995	13 845	-	-	-	-	-	-	-	1	81 257	18 752		
7	Terrassements	f	emprise travaux	TP03	36%	11 368 722	3 020 624	1	1 017 900	234 900	1	9 400 782	2 566 484	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	950 040	219 240	
7	Assainissements (hors ouvrages hydrauliques)	m	linéaire de ligne	TP03	30%	3 323 936	767 062	1	518 188	119 582	1	1 640 928	378 676	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	241 821	55 805	
7	Ouvrages hydrauliques	m	linéaire de ligne	TP02	30%	58 240	13 440	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	58 240	13 440	
7	Ouvrages de soutènement	f	surface de parement	TP02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
8	Aménagements divers	f	forfait	TP01	30%	36 482 871	8 419 124	1	3 255 035	751 162	1	3 691 835	851 962	1	29 536 000	6 616 000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
9	Ouvrages d'art	NS	voir quantités des niveaux inclus	TP02	13%	1 906 042 080	223 993 433	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
9	Ouvrages d'art courants (hors terrassements et blocs techniques)	m²	surface de tablier des OA courants	TP02	30%	7 194 511	1 660 272	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
9	Ouvrages d'art non courants (hors terrassements et blocs techniques)	m²	surface de tablier des OA non courants	TP02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
9	Ouvrages souterrains	m	linéaire d'ouvrages souterrains	TP05a	13%	1 898 847 569	222 333 161	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
10	Aménagements en gare	NS	voir quantités des niveaux inclus	TP01	30%	114 221 575	26 358 825	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
11	Passages à niveau	u	nb de passages à niveau	TP01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
12	Voie	m	linéaire de voie	VF2	30%	31 908 881	7 363 588	2 400	4 650 866	1 073 277	5 710	11 130 446	2 568 565	15 700	11 988 985	2 766 689	-	-	-	-	-	-	-	800	3 184 287	734 836		
13	Signalisation et installations de sécurité	NS	voir quantités des niveaux inclus	BT47	30%	46 718 918	10 781 289	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8 708 407	2 009 632		
14	Transmissions et télécommunications	NS	voir quantités des niveaux inclus	BT47	30%	2 692 917	621 442	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	79 079	18 249		
15	Installations de traction électrique	m	linéaire de voie équipée	TP12	36%	18 222 523	4 870 563	2 400	1 141 161	263 345	5 710	3 212 712	741 395	15 700	6 324 725	1 459 552	-	-	-	-	-	-	-	5 701 606	1 981 121	800	1 726 099	398 331
<b>Total</b>	<b>Total</b>	<b>Estimation brute</b>				<b>2 805 681 893</b>	<b>422 249 376</b>		<b>162 427 392</b>	<b>29 880 543</b>		<b>458 940 351</b>	<b>87 162 611</b>		<b>832 579 434</b>	<b>95 082 347</b>		<b>1 313 025 148</b>	<b>198 859 412</b>		<b>10 226 712</b>	<b>3 780 897</b>		<b>28 482 857</b>	<b>7 483 566</b>			

PRI tunnel	14%	381 208 416	20%	15 656 560	20%	40 981 077	20%	128 233 600	20%	196 337 179	20%	-	20%	-	20%	-
PRI autres	6%	179 927 963	20%	16 828 918	20%	50 806 993	20%	38 282 287	20%	66 267 851	20%	2 045 342	20%	5 696 571		

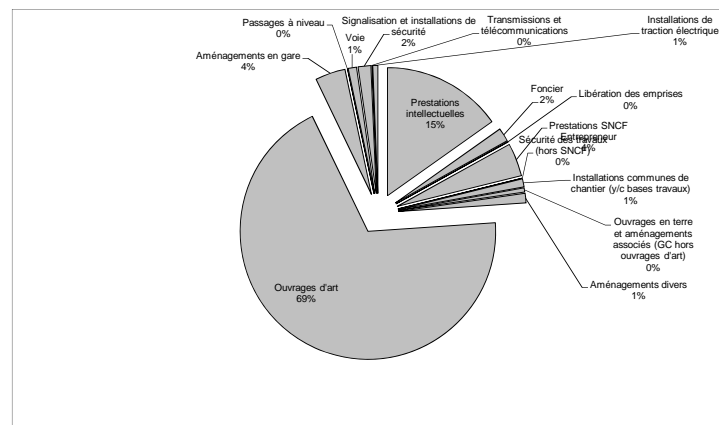
<b>Total</b>	<b>3 367 000 000</b>	<b>194 912 871</b>	<b>550 728 421</b>	<b>999 095 320</b>	<b>1 575 630 178</b>	<b>12 272 054</b>	<b>34 179 429</b>
--------------	----------------------	--------------------	--------------------	--------------------	----------------------	-------------------	-------------------



Projet : NFL - St Clair Guillotière  
Phase : Faisabilité  
C.E. : 06/2013

Numéro Spire : <identifiant RFF>  
Compte d'imputation : <F/R...>  
Date de l'estimation : 07/10/2014

Niveaux	Intitulé	Unité d'œuvre		Indice	Taux de SAV	Total		Raccordement nord			Raccordement sud B4			Tunnel gare sous voies ferrées			Gare sous voies ferrées			EALÉ			Raccordement Vrac à Guillotière			
		EP	Objet			Coût brut	Dont SAV	Quant/taux	Coût brut	Dont SAV	Quant/taux	Coût brut	Dont SAV	Quant/taux	Coût brut	Dont SAV	Quant/taux	Coût brut	Dont SAV	Quant/taux	Coût brut	Dont SAV	Quant/taux	Coût brut	Dont SAV	
1	Prestations intellectuelles	f	forfait	ING	25%	453 641 259	92 037 356	27,5%	27 772 124	6 576 912	26,7%	68 300 951	16 137 418	17,8%	125 134 289	21 646 119	17,6%	224 399 520	45 098 283	33,5%	1 933 161	759 656	40,1%	6 101 213	1 818 969	
1	Maitrise d'ouvrage (y/c SPS)	f	forfait	ING	28%	136 387 528	29 582 476	5,5%	7 404 947	1 838 292	5,5%	18 660 419	4 655 517	5,5%	38 693 651	7 168 569	5,5%	69 941 627	15 332 465	5,5%	456 082	192 522	5,5%	1 230 793	395 111	
2	Maitrise d'œuvre	f	forfait	ING	29%	246 762 395	56 046 577	12,5%	16 693 184	4 404 621	11,9%	40 397 297	10 641 607	9,3%	65 634 085	12 586 044	9,3%	118 415 846	26 489 268	15,7%	1 303 113	551 319	28,4%	4 318 870	1 373 717	
3	Acquisition de données	f	forfait	ING	10%	46 994 223	4 272 202	2,4%	2 449 328	222 666	2,4%	6 162 157	560 196	2,0%	13 871 036	1 261 003	1,9%	24 028 031	2 184 366	2,0%	115 971	10 543	2,4%	367 700	33 427	
4	Mission GID	f	forfait	ING	10%	23 497 112	2 136 101	1,2%	1 224 664	111 333	1,2%	3 081 078	280 098	1,0%	6 935 518	630 502	0,9%	12 014 016	1 092 183	1,0%	57 985	5 271	1,2%	183 850	16 714	
2	Foncier	f	emprise foncière	-	30%	51 713 786	11 861 795	1	19 863	1 338	1	51 359 060	11 842 889	1	118 149	6 026	1	212 154	11 298	1	964	51	1	3 596	192	
2	Acquisitions foncières	f	emprise foncière	-	30%	13 095 440	3 022 025	1	1 746	403	1	13 093 694	3 021 622	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	Amenagements foncières	f	emprise foncière	TP01	30%	38 213 719	8 818 551	-	-	-	1	38 213 719	8 818 551	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	Occupations temporaires et dommages travaux	f	forfait	-	6%	404 627	21 220	1	18 118	936	1	51 647	2 717	1	118 149	6 026	1	212 154	11 298	1	964	51	1	3 596	192	
3	Libération des emprises	m²	emprise travaux	TP01	30%	1 296 268	299 139	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	Déviations ou mesures de protection d'installations existantes	u	emprise travaux	TP01	30%	1 130 311	260 841	1	934 919	215 750	-	195 392	45 091	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	Prestations SNCF Entrepreneur	NS	voir quantités des niveaux inclus	NAT	32%	125 206 247	30 271 005	33%	32 847 608	7 677 027	32%	82 688 340	19 419 980	-	-	-	-	-	-	44%	2 516 860	1 022 964	47%	7 153 439	2 151 034	
5	Sécurité des travaux (hors SNCF)	f	forfait	ICHT-IME	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
6	Installations communes de chantier (y/c bases travaux)	f	forfait	TP01	29%	30 199 921	6 859 764	1	1 293 814	288 807	1	3 288 700	747 855	1	9 028 403	1 994 870	1	16 319 504	3 766 030	1	74 121	17 105	1	195 380	45 088	
7	Ouvrages en terre et aménagements associés (GC hors ouvrages d'art)	f	emprise travaux	TP03	34%	15 676 153	4 014 647	1	1 635 933	377 523	1	11 725 868	3 103 042	1	982 995	226 845	-	-	-	-	-	-	1	1 331 357	307 236	
7	Installations de chantier pour les ouvrages en terre et les aménagements associés	f	forfait	TP01	30%	925 256	213 621	1	99 846	23 041	1	684 158	157 883	1	59 995	13 845	-	-	-	-	-	-	1	81 257	18 752	
7	Terrassements	f	emprise travaux	TP03	36%	11 368 722	3 020 624	1	1 017 900	234 900	1	9 400 782	2 566 484	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	950 040	219 240	
7	Assainissements (hors ouvrages hydrauliques)	m	linéaire de ligne	TP03	30%	3 323 936	767 062	1	518 188	119 582	1	1 640 928	378 676	1	923 000	213 000	-	-	-	-	-	-	1	241 821	55 805	
7	Ouvrages hydrauliques	m	linéaire de ligne	TP02	30%	58 240	13 440	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	58 240	13 440	
7	Ouvrages de soutènement	f	surface de parement	TP02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
8	Amenagements divers	f	forfait	TP01	30%	36 482 871	8 419 124	1	3 255 035	751 162	1	3 691 835	851 962	1	29 536 000	6 616 000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	Ouvrages d'art	NS	voir quantités des niveaux inclus	TP02	13%	2 057 263 620	243 839 721	78 282 800	10 210 800	204 905 386	27 448 647	638 088 000	58 008 000	1 135 987 434	148 172 274	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	Ouvrages d'art courants (hors terrassements et blocs techniques)	m²	surface de tablier des OA courants	TP02	30%	7 194 511	1 660 272	-	-	-	7 194 511	1 660 272	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
9	Ouvrages d'art non courants (hors terrassements et blocs techniques)	m²	surface de tablier des OA non courants	TP02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
9	Ouvrages souterrains	m	linéaire d'ouvrages souterrains	TP05a	13%	2 050 069 109	242 179 449	78 282 800	10 210 800	197 710 875	25 788 375	638 088 000	58 008 000	1 135 987 434	148 172 274	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
10	Amenagements en gare	NS	voir quantités des niveaux inclus	TP01	30%	114 221 575	26 358 825	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
11	Passages à niveau	u	nb de passages à niveau	TP01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
12	Voie	m	linéaire de voie	VF2	30%	31 832 518	7 345 966	2 400	4 650 866	1 073 277	5 710	11 130 446	2 568 565	15 600	11 912 622	2 749 067	-	954 296	220 222	-	-	-	800	3 184 287	734 836	
13	Signalisation et installations de sécurité	NS	voir quantités des niveaux inclus	BT47	30%	46 718 918	10 781 289	-	-	-	10 388 876	2 397 433	-	17 871 473	4 124 186	-	5 683 250	1 311 519	-	4 066 912	938 518	-	-	-	8 708 407	2 009 632
14	Transmissions et télécommunications	NS	voir quantités des niveaux inclus	BT47	30%	2 692 917	621 442	-	-	-	39 105	101 347	-	439 170	101 347	-	2 005 214	462 742	-	-	-	-	-	-	79 079	18 249
15	Installations de traction électrique	m	linéaire de voie équipée	TP12	36%	18 182 238	4 861 267	2 400	1 141 161	263 345	5 710	3 212 712	741 395	15 600	6 284 440	1 450 255	-	116 220	26 820	-	5 701 606	1 981 121	800	1 726 099	398 331	
Total	Total	Estimation brute				2 985 128 289	447 571 339		162 427 392	29 880 543		458 940 351	87 162 611		828 773 363	94 671 442		1 496 277 615	224 592 280		10 226 712	3 780 897		28 482 857	7 483 568	



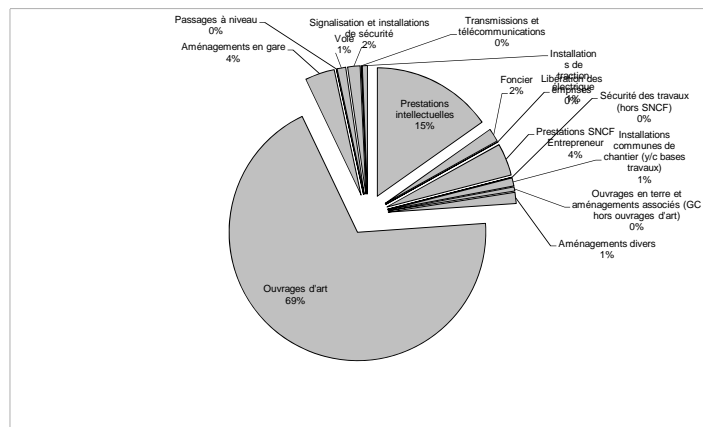
PRI tunnel	18%	525 051 467	20%	15 656 560	20%	40 981 077	20%	127 617 600	30%	340 796 230	20%	-	20%	-
PRI autres	6%	185 572 934	20%	16 828 918	20%	50 806 993	20%	38 137 073	20%	72 058 036	20%	2 045 342	20%	5 696 571

<b>Total</b>	<b>3 696 000 000</b>	<b>194 912 871</b>	<b>550 728 421</b>	<b>994 528 035</b>	<b>1 909 131 881</b>	<b>12 272 054</b>	<b>34 179 429</b>
--------------	----------------------	--------------------	--------------------	--------------------	----------------------	-------------------	-------------------

Projet : NFL - St Clair Guillotière  
Phase : Faisabilité  
C.E. : 06/2013

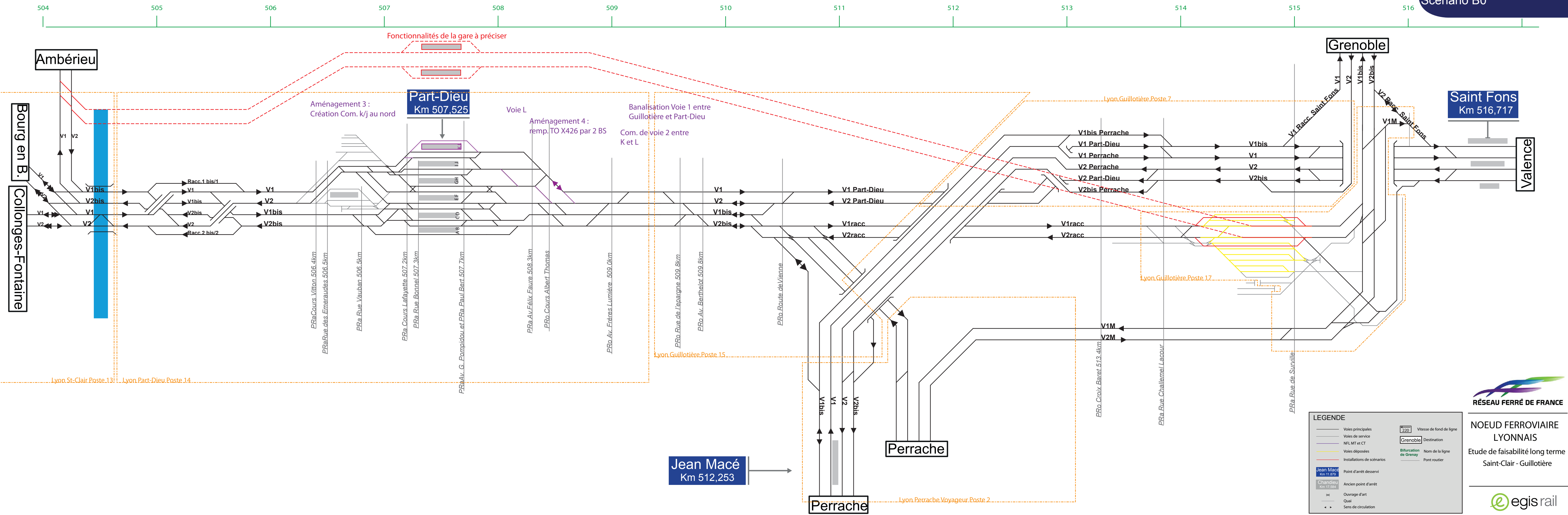
Numéro Spire : <identifiant RFF>  
Compte d'imputation : <F/R...>  
Date de l'estimation : 07/10/2014

Niveaux	Intitulé	Unité d'œuvre		Indice	Taux de SAV	Total		Raccordement nord			Raccordement sud B4			Tunnel gare diagonale			Gare diagonale			EALÉ			Raccordement Vrac à Guillotière		
		EP	Objet			Coût brut	Dont SAV	Quant/taux	Coût brut	Dont SAV	Quant/taux	Coût brut	Dont SAV	Quant/taux	Coût brut	Dont SAV	Quant/taux	Coût brut	Dont SAV	Quant/taux	Coût brut	Dont SAV	Quant/taux	Coût brut	Dont SAV
1	Prestations intellectuelles	f	forfait	ING	25%	468 357 198	94 569 372	27,5%	27 772 124	6 576 912	26,7%	68 300 951	16 137 418	17,8%	144 581 089	25 081 864	17,7%	219 668 660	44 194 553	33,5%	1 933 161	759 656	40,1%	6 101 213	1 818 969
1	Maitrise d'ouvrage (y/c SPS)	f	forfait	ING	28%	140 844 211	30 389 164	5,5%	7 404 947	1 838 292	5,5%	18 660 419	4 655 517	5,5%	44 661 195	8 293 531	5,5%	68 430 765	15 014 191	5,5%	456 092	192 522	5,5%	1 230 793	395 111
2	Maitrise d'œuvre	f	forfait	ING	29%	254 612 656	57 552 904	12,5%	16 693 184	4 404 621	11,9%	40 397 297	10 641 607	9,3%	75 917 235	14 606 273	9,3%	115 982 956	25 975 367	15,7%	1 303 113	551 319	28,4%	4 318 870	1 373 717
3	Acquisition de données	f	forfait	ING	10%	48 600 221	4 418 202	2,4%	2 449 328	222 666	2,4%	6 162 157	560 196	2,0%	16 001 772	1 454 707	1,9%	23 503 292	2 136 663	2,0%	115 971	10 543	2,4%	367 700	33 427
4	Mission GID	f	forfait	ING	10%	24 300 110	2 209 101	1,2%	1 224 664	111 333	1,2%	3 081 078	280 098	1,0%	8 000 886	727 353	0,9%	11 751 646	1 068 331	1,0%	57 985	5 271	1,2%	183 850	16 714
2	Foncier	f	emprise foncière	-	30%	51 727 469	11 862 467	1	19 863	1 338	1	51 359 060	11 842 889	1	136 415	6 943	1	207 571	11 054	1	964	51	1	3 596	192
2	Acquisitions foncières	f	emprise foncière	-	30%	13 095 440	3 022 025	1	1 746	403	1	13 093 694	3 021 622	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Aménagements foncières	f	emprise foncière	TP01	30%	38 213 719	8 818 551	-	-	-	1	38 213 719	8 818 551	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Occupations temporaires et dommages travaux	f	forfait	-	6%	418 310	21 892	1	18 118	936	1	51 647	2 717	1	136 415	6 943	1	207 571	11 054	1	964	51	1	3 596	192
3	Libération des emprises	m²	emprise travaux	TP01	30%	1 296 268	299 139	1	969 857	223 813	1	326 411	75 326	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Déviations ou mesures de protection d'installations existantes	u	emprise travaux	TP01	30%	1 130 311	260 841	1	934 919	215 750	-	195 392	45 091	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Prestations SNCF Entrepreneur	NS	voir quantités des niveaux inclus	NAT	32%	125 206 247	30 271 005	33%	32 847 608	7 677 027	32%	82 688 340	19 419 980	-	-	-	-	-	-	44%	2 516 860	1 022 964	47%	7 153 439	2 151 034
5	Sécurité des travaux (hors SNCF)	f	forfait	ICHT-IME	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	Installations communes de chantier (y/c bases travaux)	f	forfait	TP01	29%	31 239 800	7 081 016	1	1 293 814	288 807	1	3 288 700	747 855	1	10 420 812	2 297 475	1	15 966 974	3 684 686	1	74 121	17 105	1	195 380	45 088
7	Ouvrages en terre et aménagements associés (GC hors ouvrages d'art)	f	emprise travaux	TP03	34%	15 883 828	4 062 572	1	1 635 933	377 523	1	11 725 868	3 103 042	1	1 190 670	274 770	-	-	-	-	-	-	1	1 331 357	307 236
7	Installations de chantier pour les ouvrages en terre et les aménagements associés	f	forfait	TP01	30%	937 931	216 446	1	99 846	23 041	1	684 158	157 883	1	72 670	16 770	-	-	-	-	-	-	1	81 257	18 752
7	Terrassements	f	emprise travaux	TP03	36%	11 368 722	3 020 624	1	1 017 900	234 900	1	9 400 782	2 566 484	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	950 040	219 240
7	Assainissements (hors ouvrages hydrauliques)	m	linéaire de ligne	TP03	30%	3 518 936	812 062	1	518 188	119 582	1	1 640 928	378 676	1	1 118 000	258 000	-	-	-	-	-	-	1	241 821	55 805
7	Ouvrages hydrauliques	m	linéaire de ligne	TP02	30%	58 240	13 440	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	58 240	13 440
7	Ouvrages de soutènement	f	surface de parement	TP02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	Aménagements divers	f	forfait	TP01	30%	42 722 871	9 859 124	1	3 255 035	751 162	1	3 691 835	851 962	1	35 776 000	8 256 000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Ouvrages d'art	NS	voir quantités des niveaux inclus	TP02	13%	2 125 746 937	248 993 632	78 282 800	10 210 800	204 905 386	27 448 647	733 689 000	66 699 000	1 108 869 751	144 635 185	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Ouvrages d'art courants (hors terrassements et blocs techniques)	m²	surface de tablier des OA courants	TP02	30%	7 194 511	1 660 272	-	-	-	7 194 511	1 660 272	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	Ouvrages d'art non courants (hors terrassements et blocs techniques)	m²	surface de tablier des OA non courants	TP02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	Ouvrages souterrains	m	linéaire d'ouvrages souterrains	TP05a	13%	2 118 552 426	247 333 360	78 282 800	10 210 800	197 710 875	25 788 375	733 689 000	66 699 000	1 108 869 751	144 635 185	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10	Aménagements en gare	NS	voir quantités des niveaux inclus	TP01	30%	114 221 575	26 358 825	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11	Passages à niveau	u	nb de passages à niveau	TP01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12	Voie	m	linéaire de voie	VF2	30%	34 123 407	7 874 632	2 400	4 650 866	1 073 277	5 710	11 130 446	2 568 565	18 600	14 203 511	3 277 733	-	954 296	220 222	-	-	-	800	3 184 287	734 836
13	Signalisation et installations de sécurité	NS	voir quantités des niveaux inclus	BT47	30%	47 855 568	11 043 593	-	10 388 876	2 397 433	-	17 871 473	4 124 186	-	6 819 901	1 573 823	-	4 066 912	938 518	-	-	-	-	8 708 407	2 009 632
14	Transmissions et télécommunications	NS	voir quantités des niveaux inclus	BT47	30%	3 116 554	719 205	-	169 455	39 105	-	439 170	101 347	-	2 428 850	560 504	-	-	-	-	-	-	-	79 079	18 249
15	Installations de traction électrique	m	linéaire de voie équipée	TP12	36%	19 390 784	5 140 162	2 400	1 141 161	263 345	5 710	3 212 712	741 395	18 600	7 492 986	1 729 151	-	116 220	26 820	-	5 701 606	1 981 121	800	1 726 099	398 331
<b>Total</b>	<b>Estimation brute</b>					<b>3 080 888 505</b>	<b>458 134 743</b>		<b>162 427 392</b>	<b>29 880 543</b>		<b>458 940 351</b>	<b>87 162 611</b>		<b>956 739 234</b>	<b>109 757 262</b>		<b>1 464 071 959</b>	<b>220 069 664</b>		<b>10 226 712</b>	<b>3 780 897</b>		<b>28 482 857</b>	<b>7 483 568</b>



PRI tunnel	16%	480 592 875	20%	15 656 560	20%	40 981 077	20%	146 737 800	25%	277 217 438	20%	-	20%	-
PRI autres	6%	191 028 314	20%	16 828 918	20%	50 806 993	20%	44 610 047	20%	71 040 442	20%	2 045 342	20%	5 696 571

<b>Total</b>	<b>3 753 000 000</b>	<b>194 912 871</b>	<b>550 728 421</b>	<b>1 148 087 081</b>	<b>1 812 329 838</b>	<b>12 272 054</b>	<b>34 179 429</b>
--------------	----------------------	--------------------	--------------------	----------------------	----------------------	-------------------	-------------------



Fonctionnalités de la gare à préciser

Aménagement 3 :  
Création Com. k/j au nord

Aménagement 4 :  
remp. TO X426 par 2 BS

Banalisation Voie 1 entre  
Guillotière et Part-Dieu  
Com. de voie 2 entre  
K et L

Lyon Guillotière Poste 7

Lyon Guillotière Poste 17

Lyon Guillotière Poste 15

Lyon St-Clair Poste 13  
Lyon Part-Dieu Poste 14

Lyon Perrache Voyageur Poste 2

**LEGENDE**

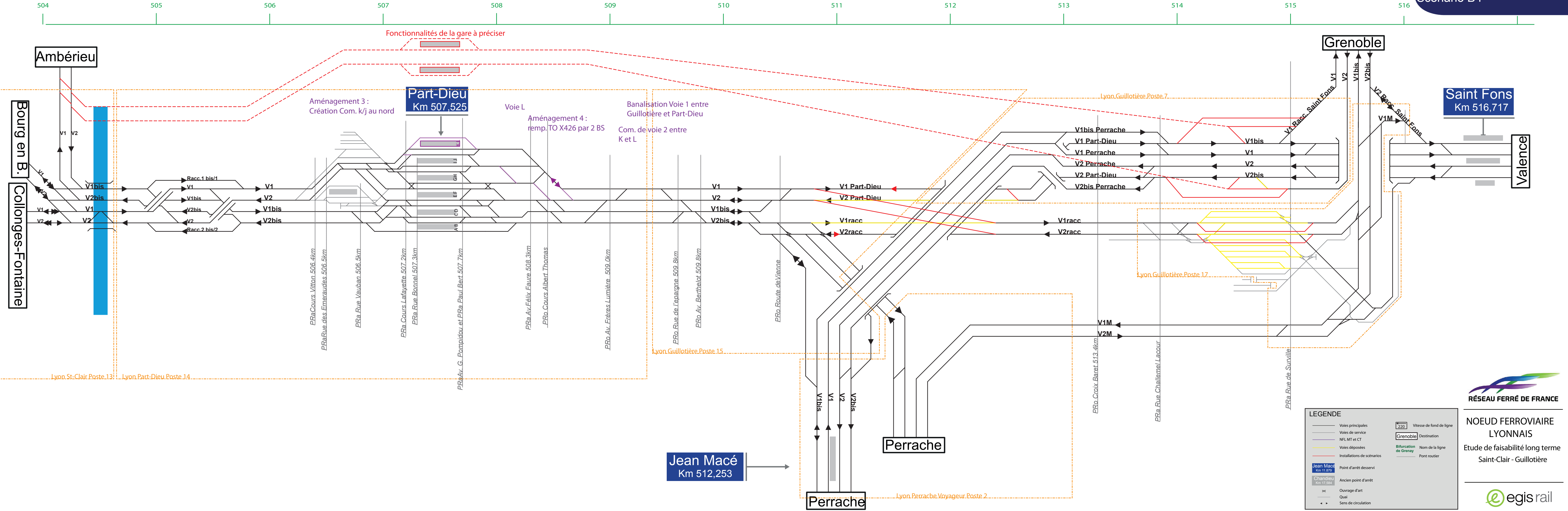
- Voies principales
- Voies de service
- NFL MT et CT
- Voies déposées
- Installations de scénarios
- Point d'arrêt desservi
- Ancien point d'arrêt
- Ouvrage d'art
- Quai
- Sens de circulation

Vitesse de fond de ligne  
 Destination  
 Bifurcation de Grenay  
 Pont routier  
 Nom de la ligne



NOEUD FERROVIAIRE  
LYONNAIS  
Etude de faisabilité long terme  
Saint-Clair - Guillotière





Ambérieu

Bourg en B.  
Collonges-Fontaine

Part-Dieu  
Km 507,525

Grenoble

Saint Fons  
Km 516,717

Valence

Perrache

Jean Macé  
Km 512,253

Perrache

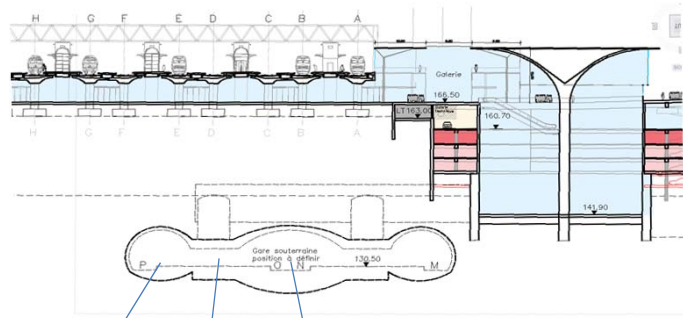
**LEGENDE**

	Voies principales		Vitesse de fond de ligne
	Voies de service		Grenoble Destination
	NFL MT et CT		Nom de la ligne
	Voies déposées		Pont routier
	Installations de scénarios		Point d'arrêt desservi
	Ancien point d'arrêt		Ouvrage d'art
	Ouvrage d'art		Quai
	Sens de circulation		



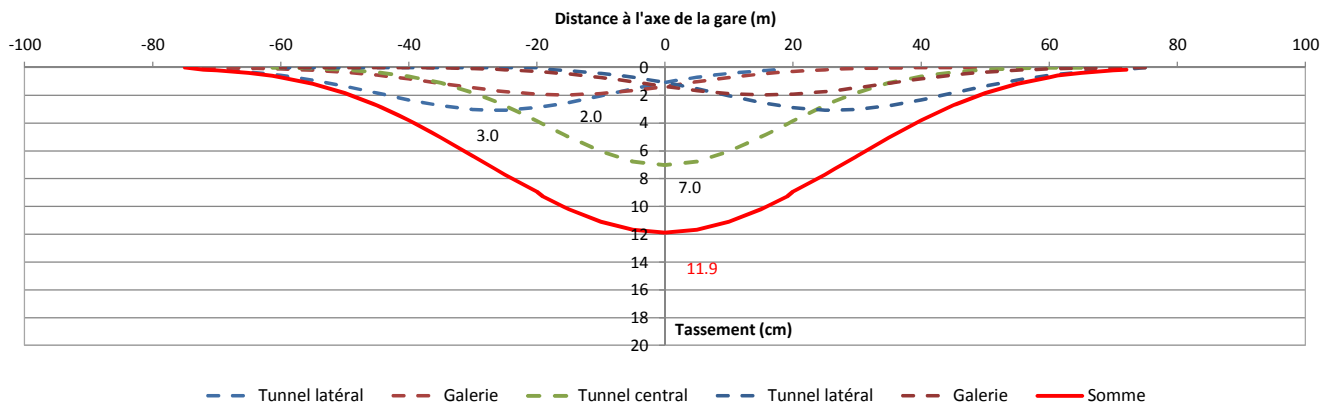
NOEUD FERROVIAIRE  
LYONNAIS  
Etude de faisabilité long terme  
Saint-Clair - Guillotière



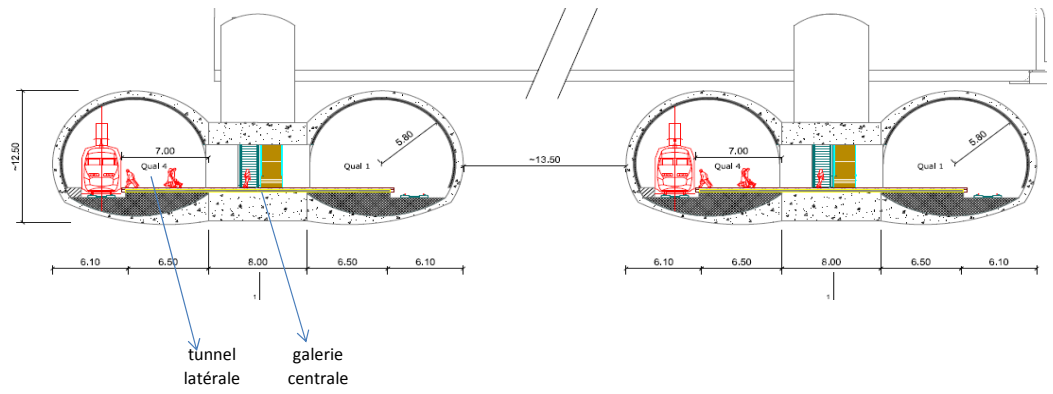


	tunnels latéraux	galerie	tunnel principal
Profondeur de l'axe du tunnel H (m) =	40.5	40.5	40.5
Diamètre d'excavation D (m) =	13.5	8	23.5
couverture de terrain C (m) =	33.5	36.5	33
C/D =	2.5	4.6	1.4
C/D	2.5	4.6	1.4
Section (m <sup>2</sup> )	140	90	320 Ve : tunnel
$\Delta V/V$	1.00%	1.00%	1.00% Vs : volume tassement
Vs	1.4	0.9	3.2
i (m)	18	18	18 (0.45 x H) : point d'inflexion courbe
Lc (m)	46	46	46 (2.5 x i) : demi largeur de la cuvette
$\delta v \text{ max}$ (cm)	3.07	2.0	7 (Vs / (2.5 x i)) : tassement max.

### Cuvette de tassement







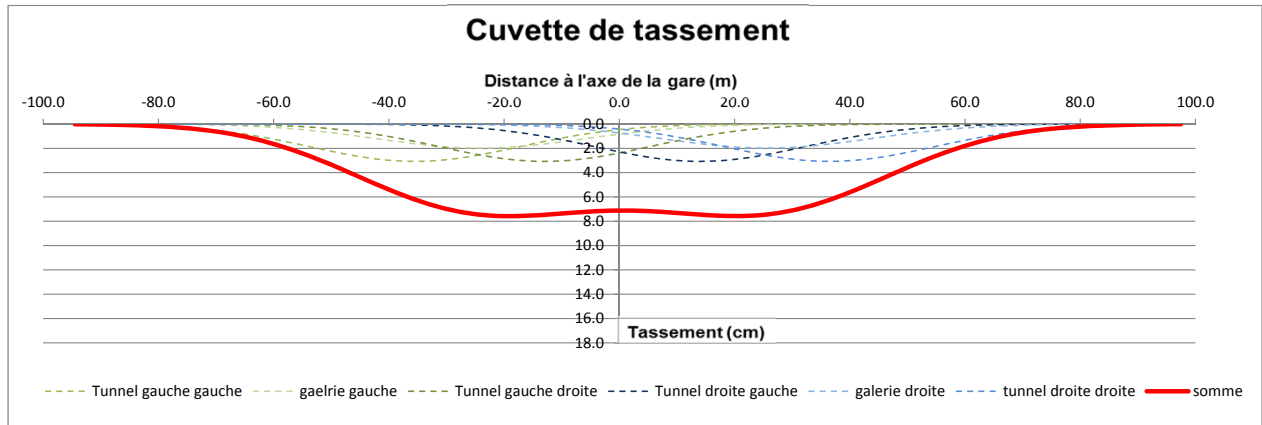
Profondeur de l'axe du tunnel H (m) =	40.5	40.5
Diamètre d'excavation D (m) =	13.5	8
couverture de terrain C (m) =	27.5	36.5
C/D =	2.0	4.6

Section (m <sup>2</sup> )	140	90
$\Delta V/V$	1.00%	1.00%
$V_s$	1.4	0.9
i (m)	18	18
45.5625 Lc (m)	46	45.50
$\delta v \text{ max}$ (m)	3	2

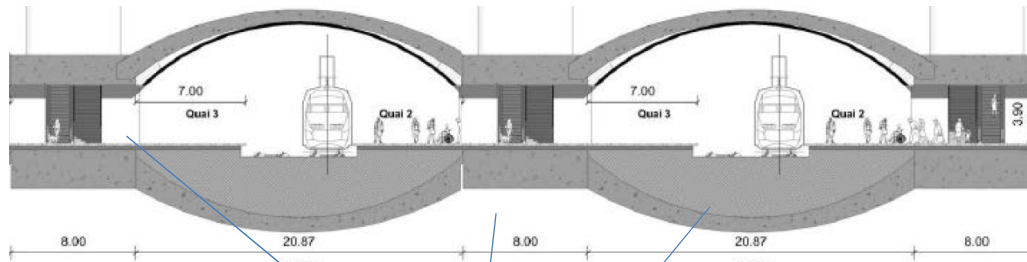
Ve : tunnel  
Vs : volume tassement

18.5  
4  
0.2162162

(0.45 x H) : point d'inflexion courbe  
(2.5 x i) : demi largeur de la cuvette  
(Vs / (2.5 x i)) : tassement max.

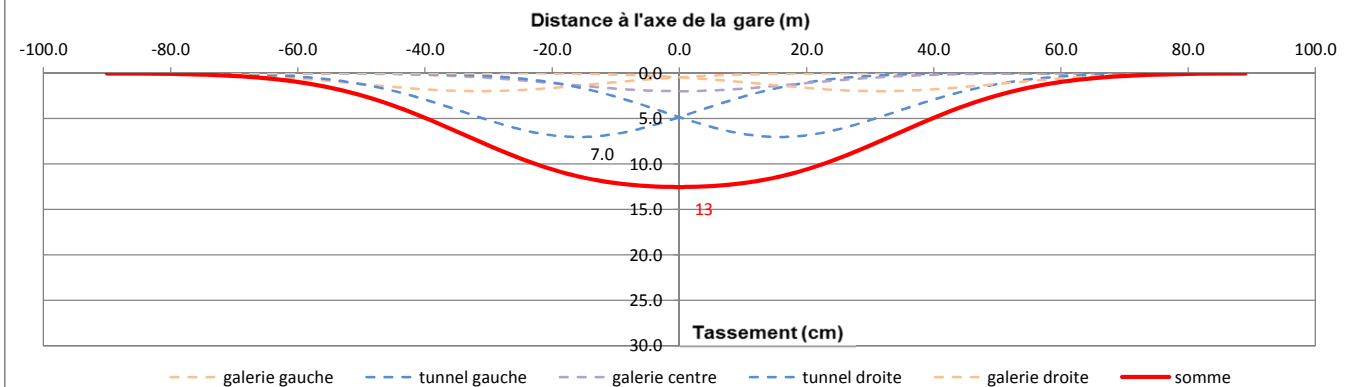






	galerie latérale	galerie centrale	tunnel principal
Profondeur de l'axe du tunnel H (m) =	40.5	40.5	40.5
Diamètre d'excavation D (m) =	8	8	23.5
couverture de terrain C (m) =	33.5	36.5	33
C/D =	4.2	4.6	1.4
C/D	4.2	4.6	1.4
Section (m <sup>2</sup> )	90	90	320 Ve : tunnel
$\Delta V/V$	1.00%	1.00%	1.00% Vs : volume tassement
Vs	0.9	0.9	3.2
i (m)	18	18	18 (0.45 x H) : point d'inflexion courbe
45.5625 Lc (m)	45.50	45.50	45.50 (2.5 x i) : demi largeur de la cuvette
$\delta v$ max (m)	2	2	7 (Vs / (2.5 x i)) : tassement max.

### Cuvette de tassement



Étude de faisabilité NFL long terme  
études d'exploitation, de faisabilité technique  
et d'insertion territoriale

**Réseau Ferré de France**  
DR Rhône Alpes Auvergne

## Note d'analyse

# Fonctionnalités du tunnel et de la gare souterraine de la Part Dieu

### Identification

---

	Projet	Numéro	Version	Pages
Identification	3670	NG140078	C	10

	Établi par	Vérfié par	Approuvé par
Nom	Nicolas CLERC	Isabel BRUFAU	Nicolas CLERC
Fonction	Chef de Projet	Responsable Exploitation	Chef de Projet
Date	03/10/2014	03/10/2014	03/10/2014



### Objet du document

Cette note présente une analyse des fonctionnalités du tunnel et de la gare souterraine de la Part Dieu envisagée dans le projet NFL long terme.

Indice	Établi par	Date	Objet de la modification
A	Guillaume BRASQUET	14/01/2014	Création du document
B	Guillaume BRASQUET	24/04/2014	Mise à jour + mode D
C	Nicolas CLERC	03/10/2014	Finalisation



## Sommaire

---

<b>1</b>	<b>Fonctionnalités du tunnel</b>	<b>4</b>
1.1	IPCS / Banalisation	4
1.2	Pas d'IPCS	4
1.2.1	Tête nord	4
1.2.1	Tête sud	6
1.3	Vitesses de circulation	9
1.3.1	Problématique fonctionnelle	9
1.3.2	Calculs de temps de parcours	10
1.3.3	Conclusion	12
<b>2</b>	<b>Fonctionnalités de la gare</b>	<b>13</b>
2.1	Configuration de la gare	13
2.2	Quais	13
<b>3</b>	<b>Analyse des modes dégradés</b>	<b>15</b>
3.1	Hypothèses	15
3.1.1	Scénarios de modes dégradés	15
3.1.2	Volume de trafic	16
3.1.3	Temps dimensionnant	16
3.2	Mode A : exploitation en terminus de la gare souterraine	16
3.2.1	Configuration monotube	16
3.2.2	Configuration bitube	18
3.3	Mode B : interruption totale entre Montluel et Ambérieu	20
3.4	Mode C : perte d'une voie en tunnel	24
3.4.1	Principes d'exploitation	24
3.5	Mode D : perte d'une voie à quai en gare souterraine	26
3.5.1	Configuration bitube	26
3.5.2	Configuration monotube	28
3.6	Conclusion	30
<b>4</b>	<b>Annexe : Courbes de vitesse pour le matériel Z27500</b>	<b>31</b>

# 1 Fonctionnalités du tunnel

## 1.1 IPCS / Banalisation

Il est proposé de munir les 2 voies du tunnel d'IPCS afin de permettre une utilisation à contre sens, en situation dégradée. Pour assurer un bon niveau de performance en régime dégradé, il est nécessaire d'avoir des IPCS à cantons courts pour permettre un espacement identique dans le sens normal qu'à contresens. Ceci n'est pas très courant.

La banalisation des voies n'est a priori pas nécessaire dans la mesure où l'exploitation des voies se fait dans le sens normal en régime nominal. La banalisation des voies est toutefois retenue dans le cadre des études car elle garantit un espacement court dans les deux sens de circulation permettant un usage plus fluide de l'infrastructure en exploitation. Il faut toutefois implanter les signaux à gauche. En première approche ceci ne devrait pas entraîner d'élargissement du gabarit.

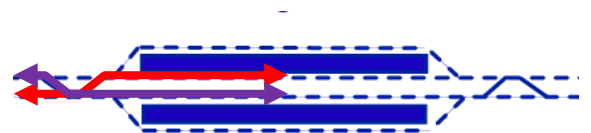
En cas de signalisation de type ERTMS-2 les voies seront de fait banalisés.

## 1.2 Positionnement des pas d'IPCS

La mise en place d'IPCS nécessite la réalisation de communications permettant d'emprunter les voies à contresens. Ces communications seront implantées à chaque tête de tunnel.

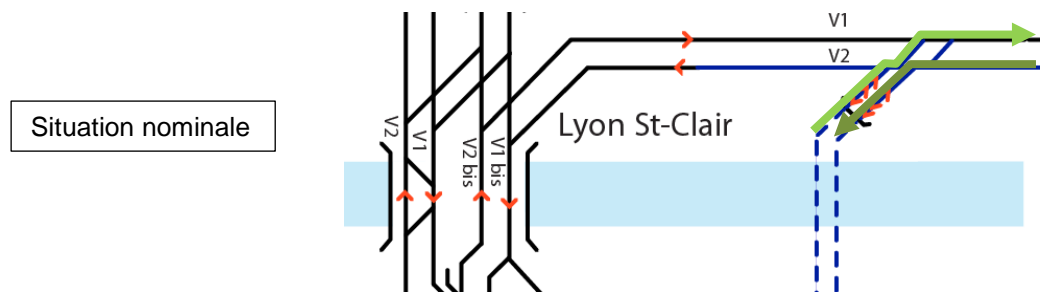
Deux configurations de gare sont envisageables (cf. 2.1) :

- La configuration bitube qui impose la séparation totale des flux sans possibilité de basculer d'une voie à l'autre dans le tunnel. Chaque voie de ligne donne accès à 2 voies à quai ;
- La configuration monotube qui permet l'implantation de communications pour passer d'une voie à l'autre en entrée de gare. Il est ainsi possible d'accéder aux 4 voies à quai. Il n'est pas prévu de communication intermédiaire afin de limiter les appareils en section de tunnel.

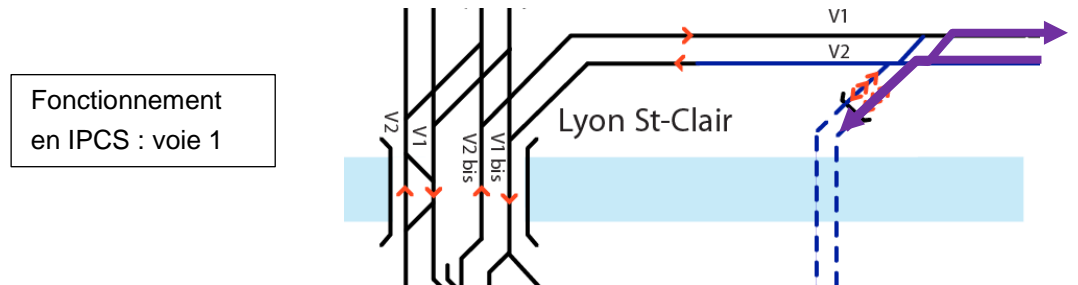
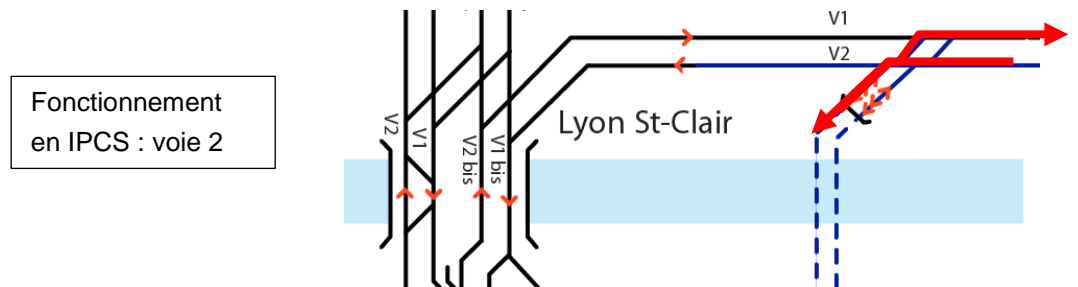


### 1.2.1 Tête nord

Dans la solution de base, le raccordement aux voies principales V1 / V2 se fait à niveau. En régime normal, la V2 est cisailée par les circulations en provenance du tunnel. La communication d'accès au tunnel est disposée entre les 2 points de raccordements du tunnel sur V2 de manière à permettre des mouvements simultanés. Cette communication ne permet donc pas d'emprunter le tunnel à contre sens. Dans le cas où le raccordement est dénivelé aucune communication n'est nécessaire pour l'accès au tunnel.



Une 2<sup>nd</sup> communication est donc nécessaire pour le pas d'IPCS, positionnée en amont du raccordement du tunnel sur la ligne d'Ambérieu. Dans le cas où le raccordement est dénivélé, une seconde communication serait nécessaire pour permettre les entrées / sorties à contresens de chaque voie du tunnel.

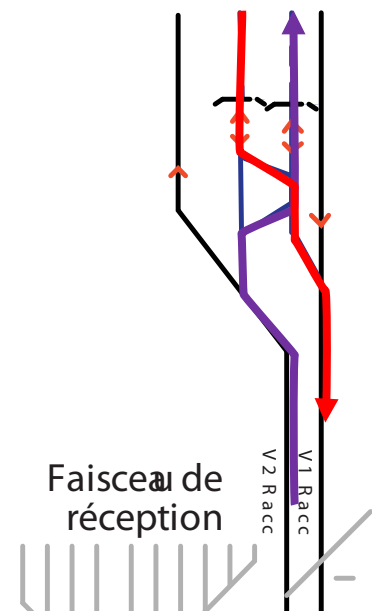


### 1.2.1 Tête sud

#### Cas du scénario B0 : sortie du tunnel sur les voies Racc

Au niveau de l'entrée Sud, le tunnel est raccordé directement sur chacune des voies Racc. Cela permet d'éviter de cisailer une des voies en régime normal.

Pour utiliser les voies du tunnel à contresens il est alors nécessaire d'envisager la pose de 2 communications. Idéalement, ces communications doivent être disposées en sortie de tunnel avant le point de raccordement, ceci permet d'éviter de circuler à contresens sur les voies Rac mais nécessite une entrée en terre commune pour les 2 voies.

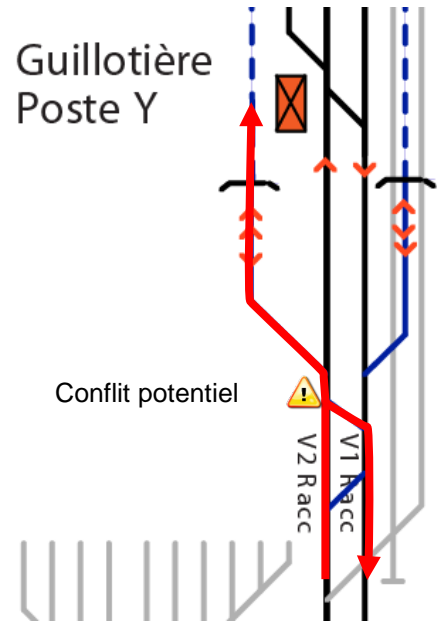


Alternativement, ces communications peuvent être positionnées en aval du point de raccordement. Il existe alors sur zone de circulation à contresens sur les voies Racc. Les conflits de nez à nez sont toutefois limités car il y a peu de circulation sur les voies Racc dans ce scénario (de l'ordre de 2 sillons / h / sens). Le cas échéant, les appareils de voie de la zone pourraient être complétés / modifiés pour répondre à ces besoins.

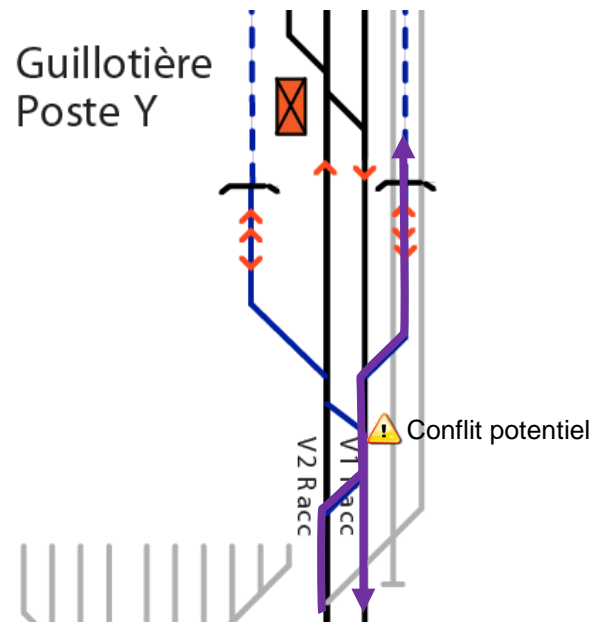




Fonctionnement  
en IPCS : voie 2




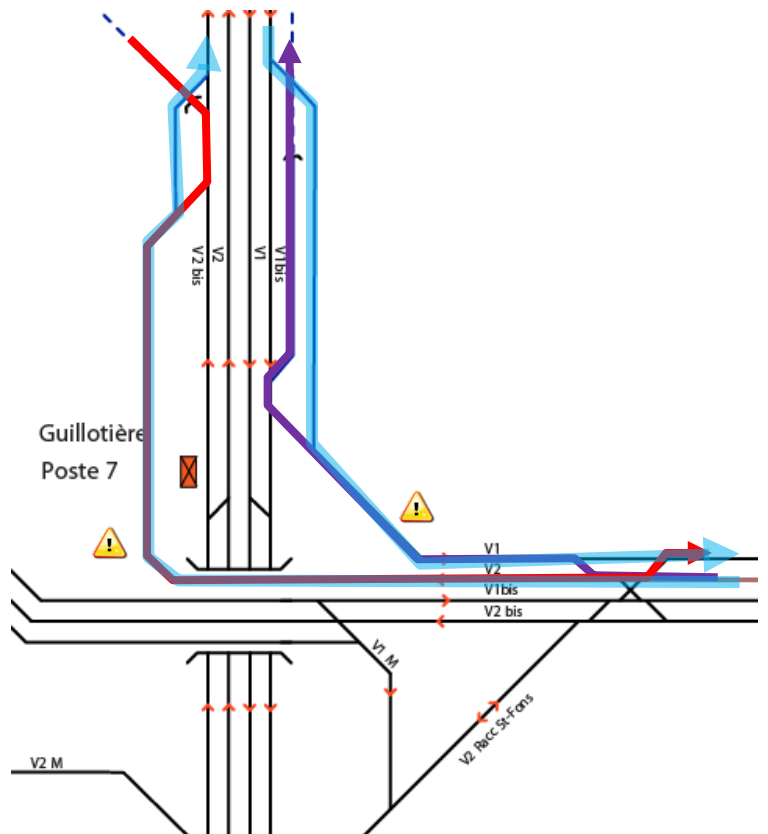
Fonctionnement  
en IPCS : voie 1



### Cas du scénario B4 : sortie du tunnel sur les voies PLM

Dans ce cas, l'accès à contresens au tunnel est beaucoup plus difficile car les têtes de tunnel sont situées de part et d'autre des voies de la PLM. La meilleure solution consisterait à mettre en IPCS les voies 1 et 2 depuis St Fons.

 Ceci est problématique puisque les flux à contresens sont en nez à nez avec les flux venant de Perrache et empruntant ces mêmes voies : 4 PU / h / sens.





## 1.3 Vitesses de circulation

### 1.3.1 Problématique fonctionnelle

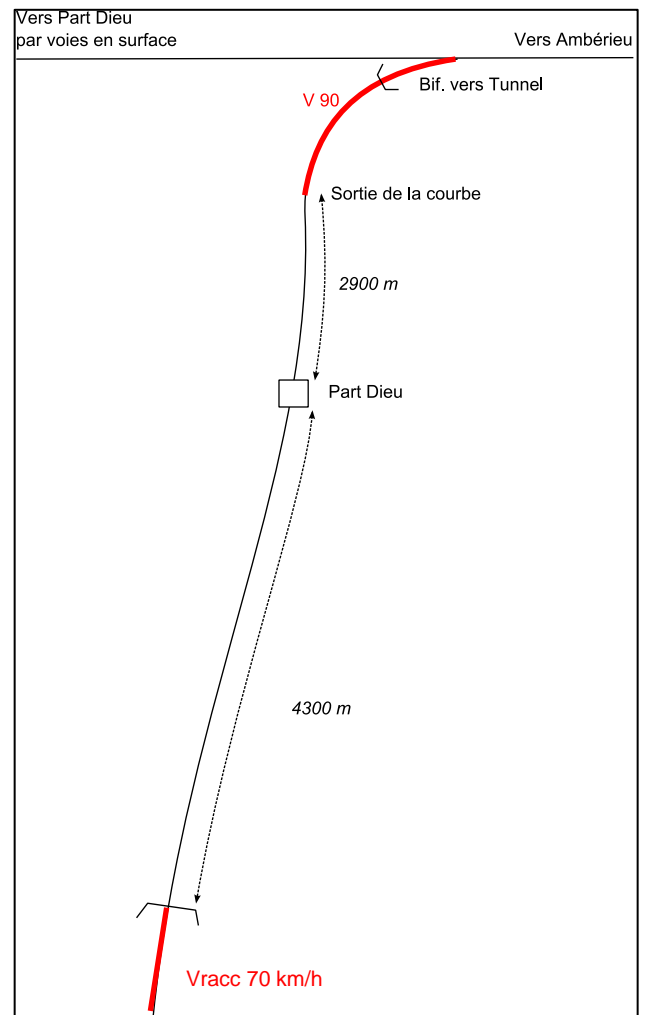
L'objectif fonctionnel est le maintien des temps de parcours actuels. Dans le cas du scénario B0, le passage sur les voies Racc et bis occasionne une perte de temps qu'il peut être intéressant de chercher à compenser par un gain de temps sur la section tunnel.

La vitesse maximale au sein du tunnel est contrainte par le tracé. Au niveau de l'entrée Nord du tunnel la courbe impose une limitation de la vitesse à 90 km / h.

Au niveau de la sortie sud, dans le cas du scénario B0, le tunnel se raccorde sur les voies Racc (V1 à 60 km/h, V2 à 80km/h) puis se prolongent sur les voies bis à 70 km/h. Dans un premier temps c'est ce scénario qui est pris en compte pour les calculs de temps de parcours.

Dans le cas du scénario B4 le tunnel se raccorde sur les voies bis de la PLM (V1 bis à 130 km/h et V2 bis à 100 km/h) et sur les voies Grenoble (V1G à 110km/h pour les automotrices, V2G à 80 km/h pour les automotrices). Ce scénario plus favorable n'a pas été considéré pour les calculs de temps de parcours.

Compte tenu de ces contraintes aux émergences, la question qui se pose est celle de l'avantage procurée par une vitesse de 120 km/h dans le reste du tunnel par rapport à un maintien à la vitesse de circulation de 90km/h, sachant les voies déviées en gare sont accessible à 60 km/h.



### 1.3.2 Calculs de temps de parcours

Les temps de parcours sont calculés à l'aide d'un outil de calcul de marche. Les temps présentés sont des temps bruts c'est à dire sans marge. Les temps sont calculés depuis le BV de Crépieux au nord à 140 km/h et jusqu'au BV de St Priest au sud à 160 km/h. Les tracés n'étant pas finalisés, ces temps de parcours sont basés sur de premières estimations du linéaire d'infrastructure.

Entre St Fons et St Priest les hypothèses d'infrastructure suivantes sont retenues :

- V1 bis :
  - prolongement à 160 km/h sur VB (qui devient V1 bis nouvelle) : vitesse de 160 km/h comme sur V1 jusque 11+595
- V2 bis :
  - passage de 90 km/h à 120 km/h à partir du PK 5+361 jusqu'à la nouvelle voie (6+600)
  - puis voie nouvelle à 160 km/h

Deux types de matériels sont utilisés pour les calculs : TER AGC Z27500 et TGV POS.



Pour l'infrastructure souterraine, c'est le scénario de sortie sud B0 qui est pris en compte suivant deux configurations de gare conditionnant un tracé en « S » ou un tracé rectiligne.

Section	Z 27500	TGV POS	THOR (hors marge) TGV DASYE
Crépieux – PD actuel	4'15''	4'20''	
Crépieux – PD sc A	4'15''	4'20''	
Crépieux – PD sc B rectiligne	4'10'' si V120 4'20'' si V90	4'20'' 4'30'' si V90	
Crépieux – PD sc B en « S »	4'25'' si V120 4'45'' si V90	4'35'' 4'55'' si V90	
PD – St Priest actuel via PLM	7'25''	7'35''	8' *
PD – St Priest Actuel via Racc ; bis	8'50''	9'05''	11' **
PD – St Priest sc A via Racc, bis	8'10''	8'25''	
PD – St priest sc B rectiligne	6'40'' si V120 7'10'' si V90	6'55'' 7'20'' si V90	
PD – St priest sc B en « S »	- 7'00 si V120 7'40'' si V90	7'15'' 7'50'' si V90	

\*Cet écart de 30 secondes entre le calcul théorique et la marche THOR est correct : les marches THOR sont arrondies à 30 secondes près

\*\* Cet écart de 2 minutes entre la marche THOR et le calcul théorique semble indiquer que les circulations de trains sont limitées en vitesse sur cet itinéraire.

Les temps de parcours dans le tunnel jusqu'au point de raccordement aux voies existantes sont présentés ci-dessous, avec une vitesse maximale de circulation de 120 km/h dans le tunnel.

Temps passés dans tunnel		Z 27500	TGV POS
Sc B en « s »	Section Nord	3 min 45 sec	3 min 45 sec
	Section Sud	3 min 15 sec	3 min 15sec
Sc B rectiligne	Section Nord	3 min 25 sec	3 min 25 sec
	Section Sud	2 min 55 sec	2 min 55 sec



**Le temps de parcours retenu pour les analyses de mode dégradé est alors de 4 min de circulation en contre-sens sur la section nord qui est dimensionnante.**

Dans le cas du scénario B4, le temps de parcours jusqu'à St Fons, où des communications V1/V2 sont possibles est allongé d'une minute environ. Soit 4 min dans le scénario rectiligne et 4 min 15 dans le scénario en « S ».

### 1.3.3 Conclusion

L'analyse des temps de parcours, montre qu'il est intéressant de pouvoir circuler à 120 km/h dans le tunnel en dehors des zones de rayons serrées. C'est donc la vitesse maximale proposée pour le tunnel.

- Au nord, ceci permet de garantir un temps de parcours équivalent au temps actuel dans le cas du scénario souterrain rectiligne et très légèrement supérieur dans le cas du scénario souterrain en « S ».
- Au sud, ceci permet d'améliorer légèrement le temps de parcours par rapport à l'actuel.

Ce point devra toutefois être affiné dans les études ultérieures, au regard notamment du surcoût lié à l'allongement du tracé à 120 km/h dans le cas du tracé en « S ».

L'analyse donne également les temps de parcours pour les circulations de surface qui empruntent l'itinéraire Part-Dieu - St Priest via les voies Racc et les nouvelles voies au-delà de St Fons :

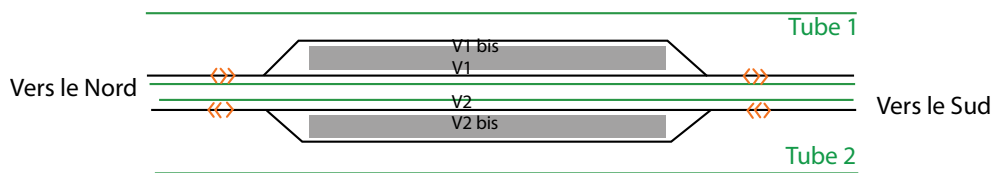
- Les relèvements de vitesse envisagés au niveau de St Fons permettent de gagner 40' par rapport au temps actuel via les voies Racc et bis. Toutefois, le temps reste supérieur d'une 50aine de seconde par rapport à l'itinéraire via PLM.
- Dans le cas du scénario A et des scénarios B1, B4 : cet impact sur le temps de parcours concerne de nombreuses circulations : 4 TGV IS, 0.5 GV Italie, 4 SRGV, 1 MR. **La circulation à 220 km/h envisagée entre St Priest et Grenay pourrait permettre de maintenir le temps de parcours actuel. Il conviendra de vérifier l'intérêt de ce gain de temps pour le voyageur et pour la capacité (fenêtres d'insertion sur LN4 qui est hors du périmètre d'étude) : une première analyse est réalisée dans le rapport technique St Fons Grenay.**
- Dans le cas du scénario B0, ceci ne concerne potentiellement que 2 circulations SRGV ou TGV car la majorité des circulations de surface passe par la PLM. L'intérêt du 220 km/h entre St Priest et Grenay est donc plus faible.

## 2 Fonctionnalités de la gare

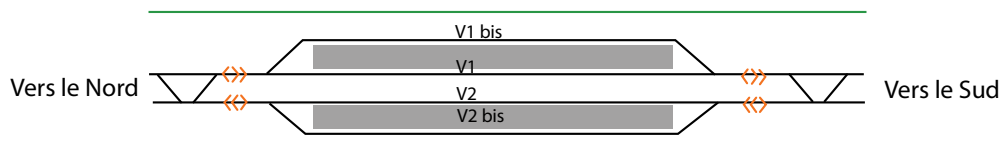
### 2.1 Configuration de la gare

Deux configurations de gare sont envisageables :

- La configuration bitube qui impose la séparation totale des flux sans possibilité de basculer d'une voie à l'autre dans le tunnel. Chaque voie de ligne donne accès à 2 voies à quai.



- La configuration monotube qui permet l'implantation de communications dans le tunnel pour passer d'une voie à l'autre en entrée de gare. Il est ainsi possible d'accéder aux 4 voies à quai.



Si la configuration monotube est plus riche sur le plan fonctionnel, elle est en revanche plus complexe à réaliser sur le plan du génie civil, surtout si le tunnel est un bitube. C'est pourquoi une analyse des avantages et inconvénients des deux configurations doit être réalisée. Sur le plan fonctionnel, ceci passe par une analyse de modes dégradés qui est présentée dans la section suivante.

### 2.2 Quais

Le tableau ci-dessous présente les configurations pouvant être accueillies en gare en fonction de la longueur des quais.

Longueur de quai	Matériel
400 m	Tous types de MR dont TGV UM2
330 m	Régio 2N (version longue 110m) en UM 3 (3000 pax) Régionalis (version longue 6 caisse 110m) en UM3 BB26000 + 10 voitures
255 m	Régio 2N (version courte 81-85m) en UM 3 (2100 pax) Régio 2N (version longue 110m) en UM 2 (2000 pax) AGC quadricaisse en UM 3 (1500 pax)





Régiolis (version longue 6 caisses 110m) en UM2  
Régiolis (version moyenne 4 caisses 72m) en UM 3  
BB26000 + 9 voitures

En première approche des quais de 350 m de longueur sont considérés. Pour chaque voie desservie, il est considéré en première approche une largeur de quai de 7 m.

## 3 Analyse des modes dégradés

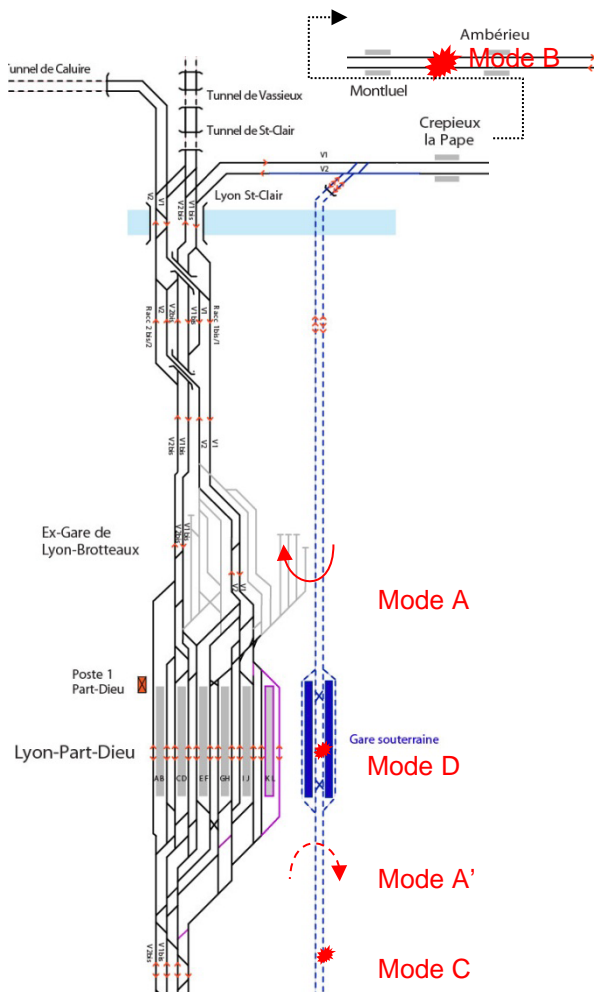
### 3.1 Hypothèses

#### 3.1.1 Scénarios de modes dégradés

L'analyse des modes dégradés consiste à étudier la capacité des installations à répondre l'offre de transport en situation perturbée, pour les 2 configurations possibles de la gare (monotube ou bitube).

Pour cette analyse, trois hypothèses de situation perturbées ont été définies par RFF qui conduisent à trois modes d'exploitation dégradés :

- **Mode A** : Exploitation en terminus de la gare souterraine (interruption totale au Nord ou au Sud) ;
- **Mode B** : Interruption totale entre Montluel et Ambérieu (diamétralisation des circulations Montluel – Sud Est) ;
- **Mode C** : Exploitation avec perte d'une voie en tunnel
- **Mode D** : Exploitation avec perte d'une voie à quai en gare souterraine





### 3.1.2 Volume de trafic

A l'horizon long terme (2045 – 2050), il est prévu 7 circulations par heure et par sens maximum dans le tunnel en heure de pointe. Au Nord, ces circulations viennent toutes d'Ambérieu ou au-delà avec une entrée en tunnel entre le nœud de St-Clair et la gare de Crépieux la Pape.

Au Sud, ces 7 circulations en heure de pointe vont en direction de Grenay ou de la PLM suivant le scénario étudié.

### 3.1.3 Temps dimensionnant

En situation dégradée : les temps dimensionnant suivant sont pris en compte :

- Temps de retournement à quai : 8 min
- Temps de réutilisation d'une voie à quai (même sens ou sens contraire) : 5 min
- Temps entre itinéraires incompatibles : 4 min
- Temps de block : 3 min

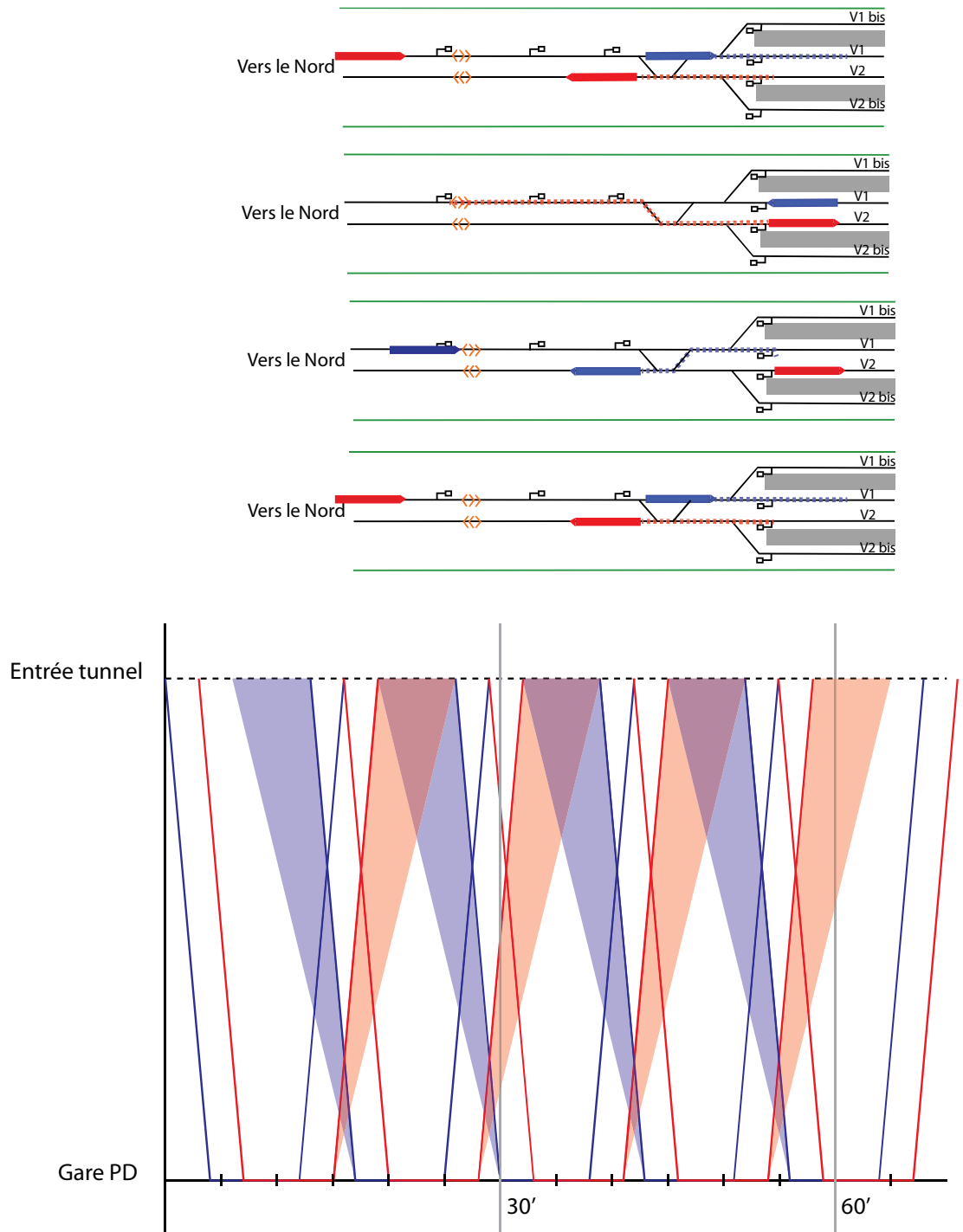
## 3.2 Mode A : exploitation en terminus de la gare souterraine

### 3.2.1 Configuration monotube

Dans ce mode, la gare est exploitée en terminus : les trains qui empruntent le tunnel se retournent en gare pour repartir. L'exploitation proposée est basée sur une exploitation en batterie de 2 trains (espacés de 3'). Les surfaces en transparence indiquent la « souplesse » offerte pour la régulation des trains dans le tunnel : entrée plus tôt dans le tunnel et sortie plus tardive.

L'analyse est faite pour une interruption au sud : c'est le cas le plus contraignant car le temps de parcours est plus long sur la partie nord (cf 1.3.2). Les résultats de l'analyse pour une interruption du trafic dans la section nord sont similaires. Dans le cas d'une interruption au nord, les conflits de nez à nez en sortie de tunnel jusqu'à St Fons impose des contraintes de capacité supplémentaires mais qui ne peuvent être prise en compte dans cette analyse théorique.

Figure 1 : Principe d'exploitation mode A (monotube)



Selon ce principe, on voit que le graphique théorique permet de retourner 10 trains dans l'heure. En configuration monotube, il est donc théoriquement possible d'assurer le retournement des circulations dans un cas où le tunnel est coupé au nord ou au sud. Ce raisonnement reste théorique et n'intègre pas les contraintes horaires des trains. On voit néanmoins qu'une certaine souplesse est offerte pour réguler les trains dans le tunnel (souplesse pour 2 trains par heure qui peuvent arriver « plus tôt » en entrée de tunnel et 2 trains

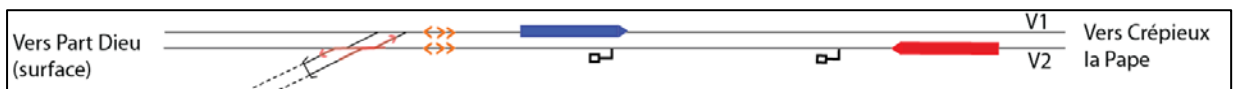
par heure qui peuvent sortir « plus tard » du tunnel). Dans ce cas, il est important de souligner que les trains ne circulent pas contresens dans le tunnel et bénéficie donc du temps de block de de sens normal.

### 3.2.2 Configuration bitube

Dans la configuration bitube, il n'est pas possible de basculer d'une voie à l'autre à l'intérieur du tunnel. Compte tenu de cette impossibilité, la séquence analysée correspond à une exploitation en voie unique sur chaque tube. Les trains circulent en voie unique entre la communication en entrée de tunnel (après la gare de Crépieux la Pape) et la gare souterraine.

Une exploitation des 2 tubes de manière alternée comme 2 voies uniques est envisagée avec des batteries de 2 trains. Des contraintes de cisaillement sont à gérer en tête de tunnel.

**Figure 2 : Illustration contraintes de cisaillement en entrée de tunnel**

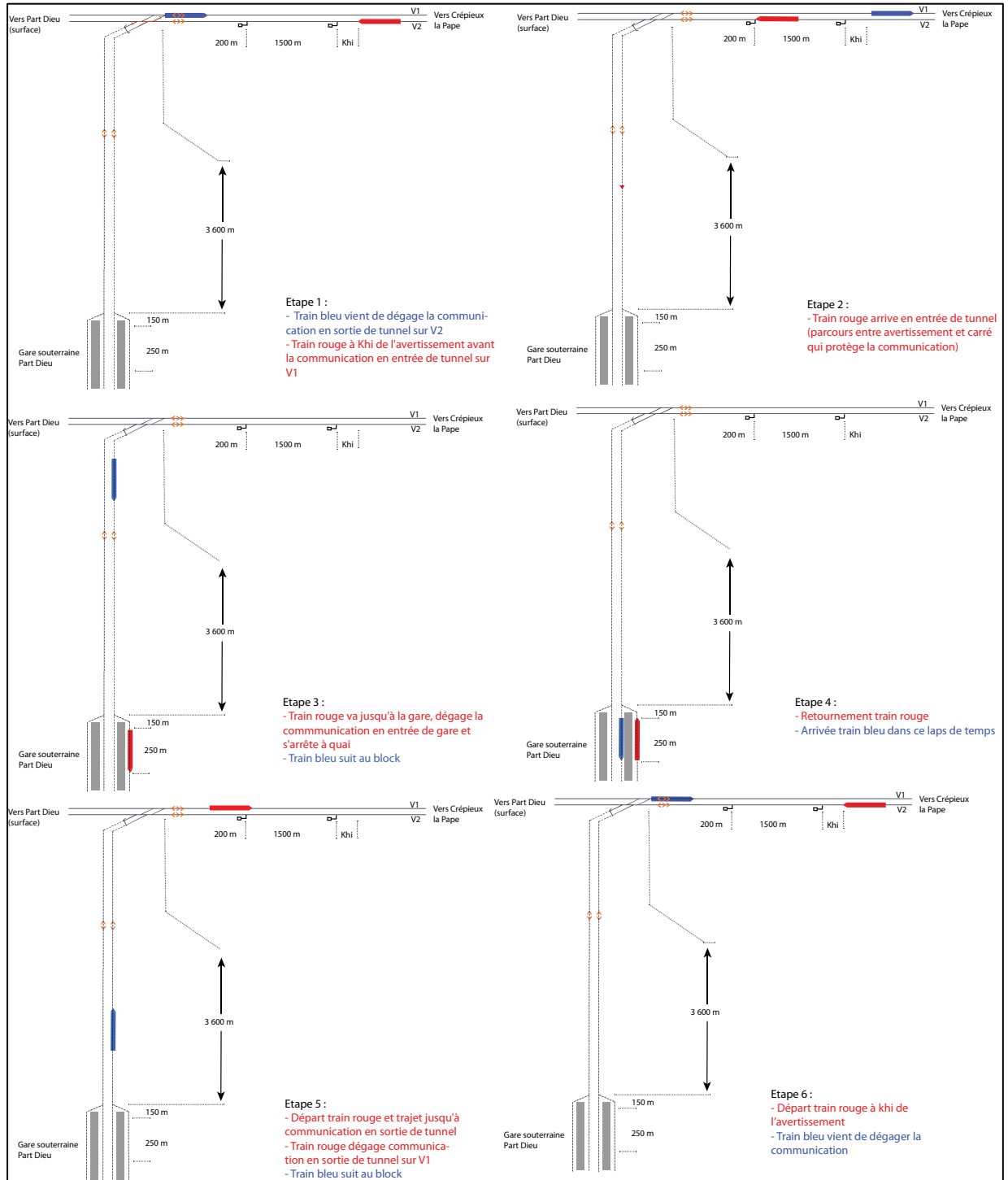


Dans cette configuration, l'exploitabilité du scénario bitube dépend essentiellement de la longueur de la section exploitée en voie unique et de la vitesse des trains dans le tunnel. Le calcul est fait pour la section nord du tunnel, section pour laquelle le temps de parcours est le plus long et donc le plus contraignant.

Dans le cas du scénario B4, l'accès à contresens au tunnel nécessite une circulation à contresens sur les voies V1Grenoble ou V2Grenoble, ceci rallonge la section de voie unique. De plus, des conflits de nez à nez potentiels existent entre les circulations à contresens et les circulations empruntant les voies G dans le sens normal (4 circulations par heure et par sens en provenance de Perrache).

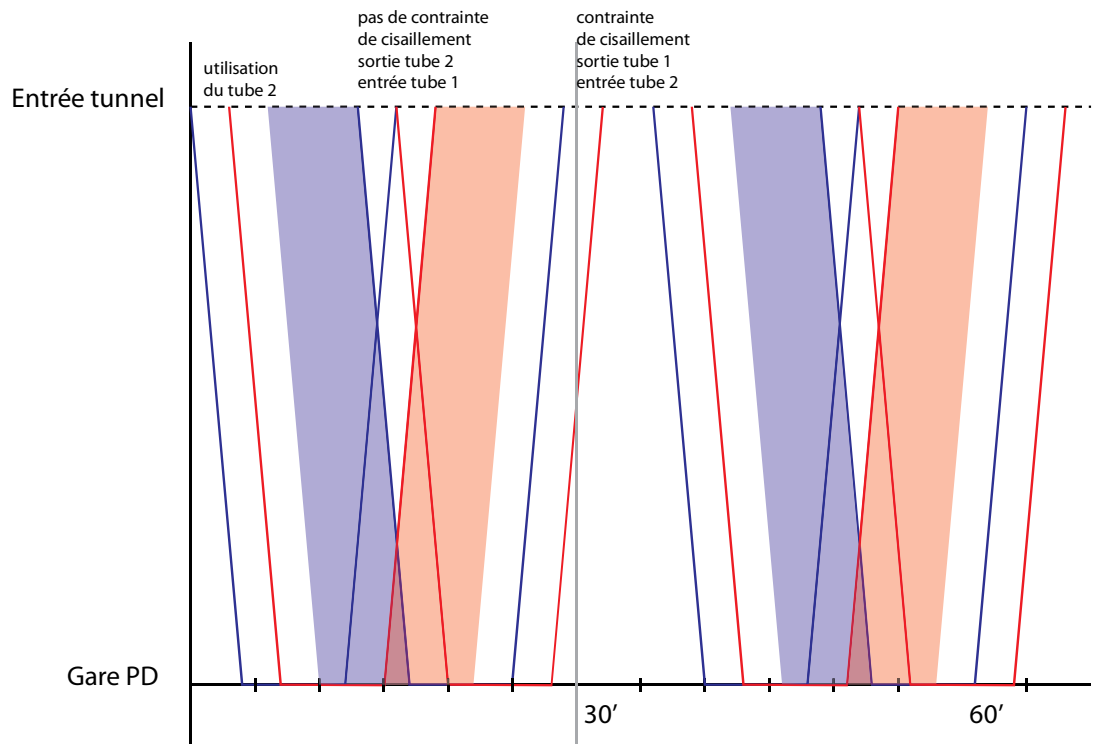
La séquence analysée est la suivante :

**Figure 3 : Illustration séquence Mode A - configuration bitube**



Le principe d'exploitation est présenté sur le graphique ci-dessous : batteries de 2 trains toutes les 30 min sur chaque tube, donc 2 batteries de 2 trains par heure. Les surfaces en transparence indiquent la « souplesse » offerte pour la régulation des trains dans le tunnel. Il est en théorie possible de recevoir une batterie de 4 trains, mais ceci ne semble pas un mode très pertinent.

**Figure 4 : Principe d'exploitation mode A (bitube)**



On voit qu'il est possible de retourner 8 trains dans l'heure moyennant une contrainte supplémentaire de cisaillement. **En configuration bitube, il est donc encore possible d'assurer le retournement des circulations dans un cas où le tunnel est coupé au nord ou au sud. Ce raisonnement reste théorique et n'intègre pas les contraintes horaires des trains. Cette configuration offre moins de souplesse pour la régulation dans le tunnel que la configuration monotube : la souplesse existe pour 1 train par heure qui peut entrer « plus tôt » et un train par heure qui peut se sortir « plus tard ». Dans ce cas, il est important de souligner que les trains qui circulent à contresens se suivent avec un block de 3 min : ceci nécessite des IPCS avec canton court ou une banalisation des voies (hypothèse retenue pour les études).**

### 3.3 Mode B : interruption totale entre Montluel et Ambérieu

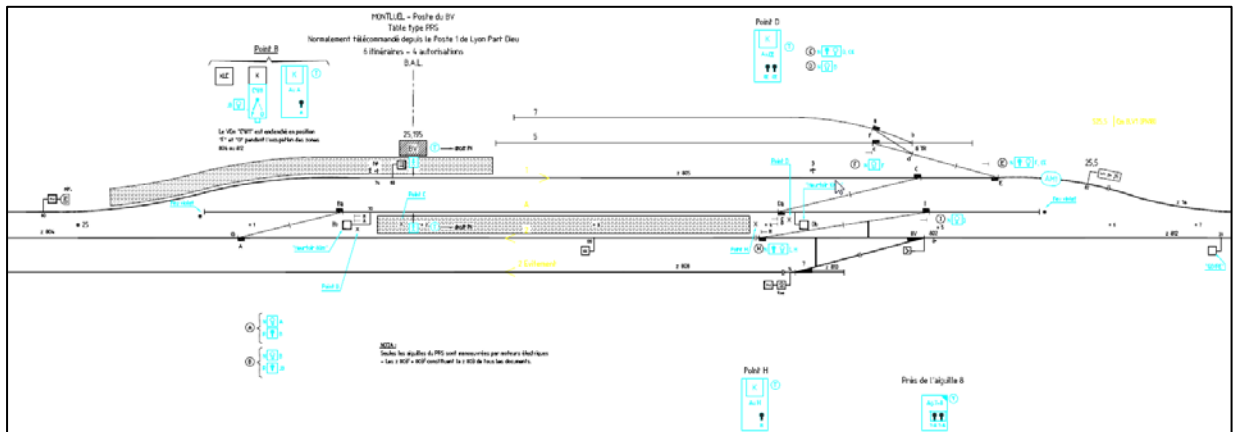
Une interruption du service entre Montluel et Ambérieu impose d'organiser les origines / terminus des 7 missions prévus à long terme en gare de Montluel.

L'analyse de ce mode dégradé est similaire pour la configuration bitube et monotube. Il ne concerne pas directement la conception du tunnel.

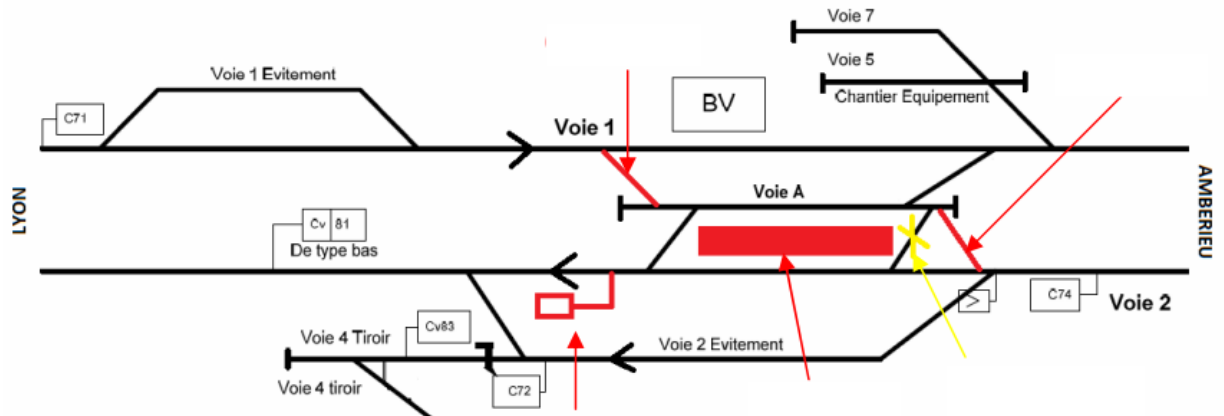
**L'exploitabilité en mode dégradé B dépend donc uniquement de la capacité de la gare de Montluel à jouer le rôle de gare origine terminus pour les circulations vers Part Dieu.**

**Figure 5 : Configuration actuelle de la gare de Montluel**



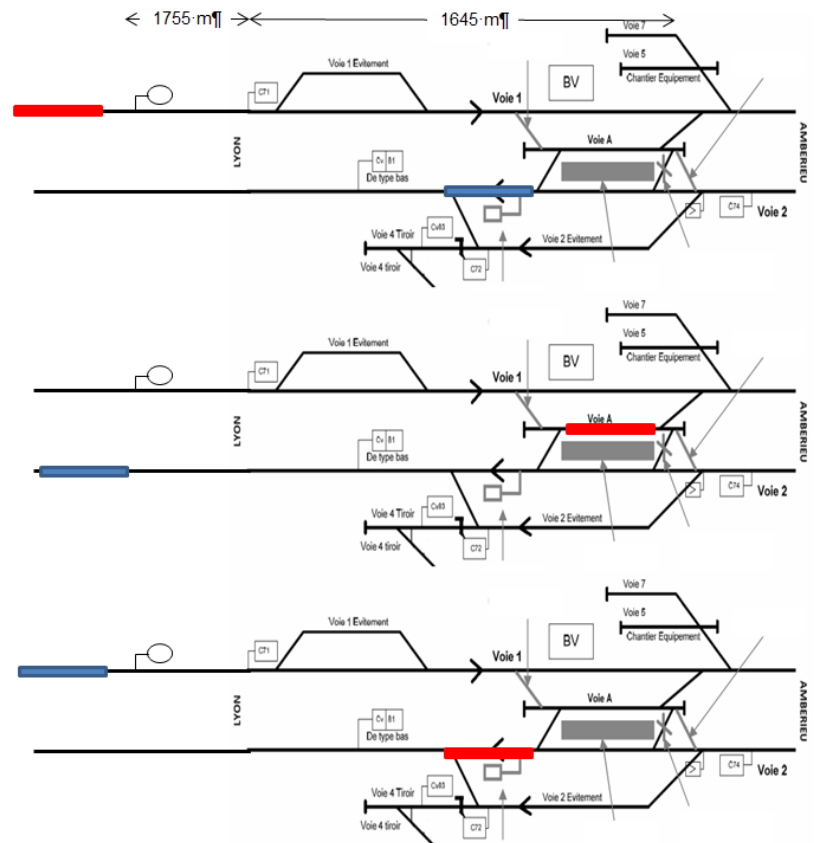


Les quais mesurent environ 230 m. Ils ne permettent donc pas d'accueillir des rames plus longues. La configuration de la gare en situation projet permet d'utiliser la voie centrale pour organiser le retournement et la desserte des trains terminus Montluel.



Dans cette configuration, l'exploitabilité du mode B dépend essentiellement du temps nécessaire au retournement d'un train entre le moment où il est juste avant l'avertissement sur V1 et le moment où le précédent dégage la communication qui permet d'accéder à la V2 (après desserte sur voie centrale).

Avec les hypothèses prises en compte, on calcule le temps minimum entre deux retournements.



Temps minimum de la séquence la plus contraignante : Desserte de Montluel par un train en provenance de Lyon puis retournement

T0 : Train bleu vient de dégager la communication qui donne accès la voie centrale à quai

Train rouge à Khi de l'avertissement sur V1

Train rouge arrive en entrée de gare (parcours entre avertissement et carré suivant)

Train rouge va jusqu'à la gare

Desserte de la gare + retournement

Train rouge part de la voie centrale

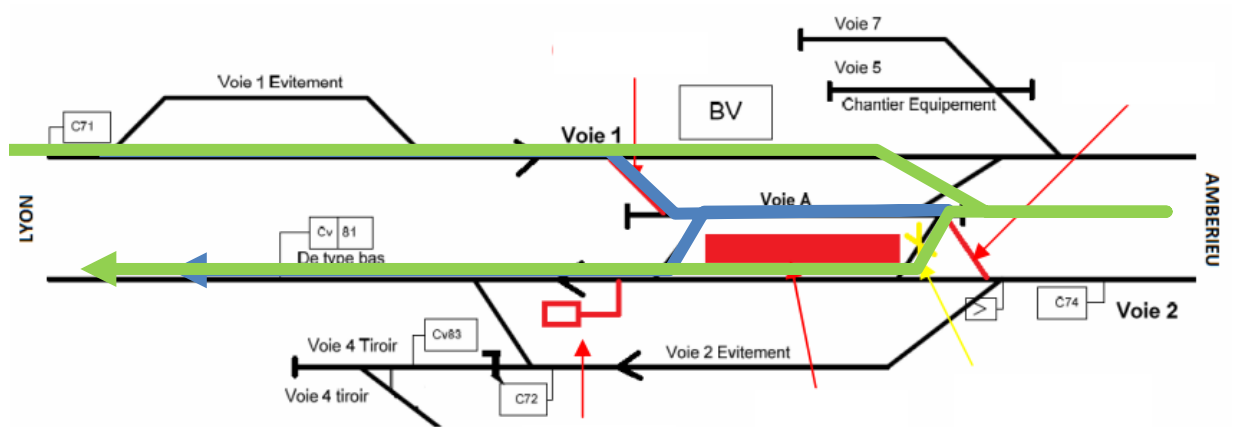
Train rouge dégage la communication qui donne accès la voie centrale à quai (train bleu à khi de l'avertissement sur V2

Destruction d'itinéraire / mouvement aiguille

longueur (m)	Vitesse (km/h)	TdP (brut)	TdP (ac. Marge)
		0	0
		30	35
		45	52
1755	140	81	93
1645	140	480	552
		21	24
130	30	30	35
250	30	15	17
		807 s = 13 min et 10 s	

La séquence permet un espacement entre 2 trains se retournant de 14 minutes environ (dont 8' de retournement), soit maximum 4 trains en une heure au lieu des 7 souhaités.

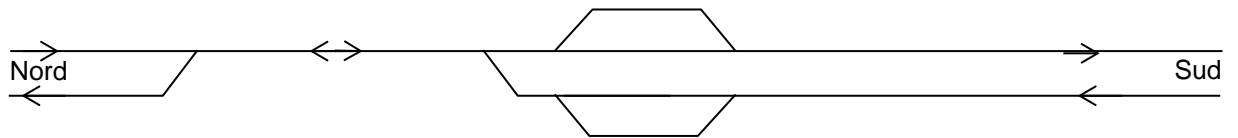
Sur la base des hypothèses prises en compte, l'analyse montre que la gare de Montluel dans sa configuration future ne permet pas d'assurer le retournement de 7 trains par heure. Si on souhaite pouvoir interrompre l'exploitation à Montluel il faut prévoir des fonctionnalités supplémentaires en gare en ajoutant par exemple une communication de V1 vers VA avec allongement du tiroir et cheminement conducteur permettant une seconde position de retournement.



### 3.4 Mode C : perte d'une voie en tunnel

#### 3.4.1 Principes d'exploitation

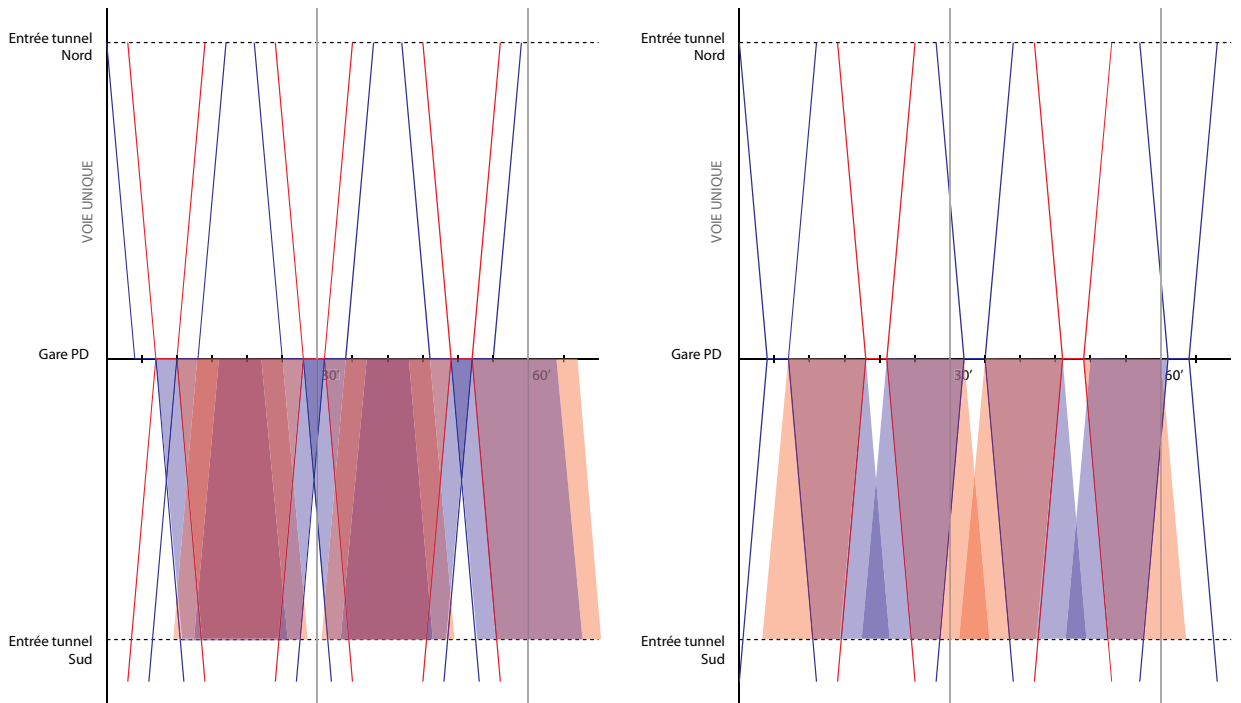
Pour la configuration monotube, l'exploitation se fait en voie unique entre la gare et l'émergence sud du tunnel. Le schéma ci-dessous illustre la situation d'une perte de la voie 1 au Nord de Part-Dieu.



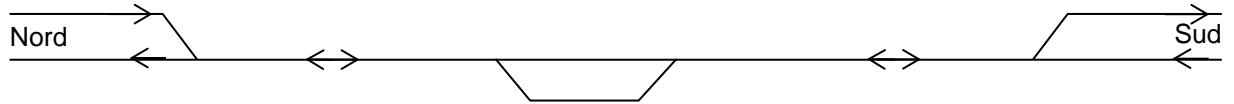
Il est possible d'exploiter en batterie de deux trains ou de manière alternée comme indiqué sur les graphiques ci-dessous. **Suivant le mode d'exploitation envisagé, on fait alors passer 4 (en alternat) à 6 (en batterie) trains par sens. Dans ce mode dégradé, il est donc nécessaire de supprimer des trains.** Les surfaces en transparence indiquent la « souplesse » offerte pour la régulation des trains dans le tunnel : dans le cas où le nord est à voie unique, il est possible de réguler les trains dans le tronçon sud du tunnel.

**Dans le cas de l'exploitation en batterie, les trains qui circulent à contresens sur la voie unique se suivent avec un block de 3 min : ceci nécessite des IPCS avec canton court ou une banalisation des voies.**

Figure 6 : Principe d'exploitation mode C (monotube)



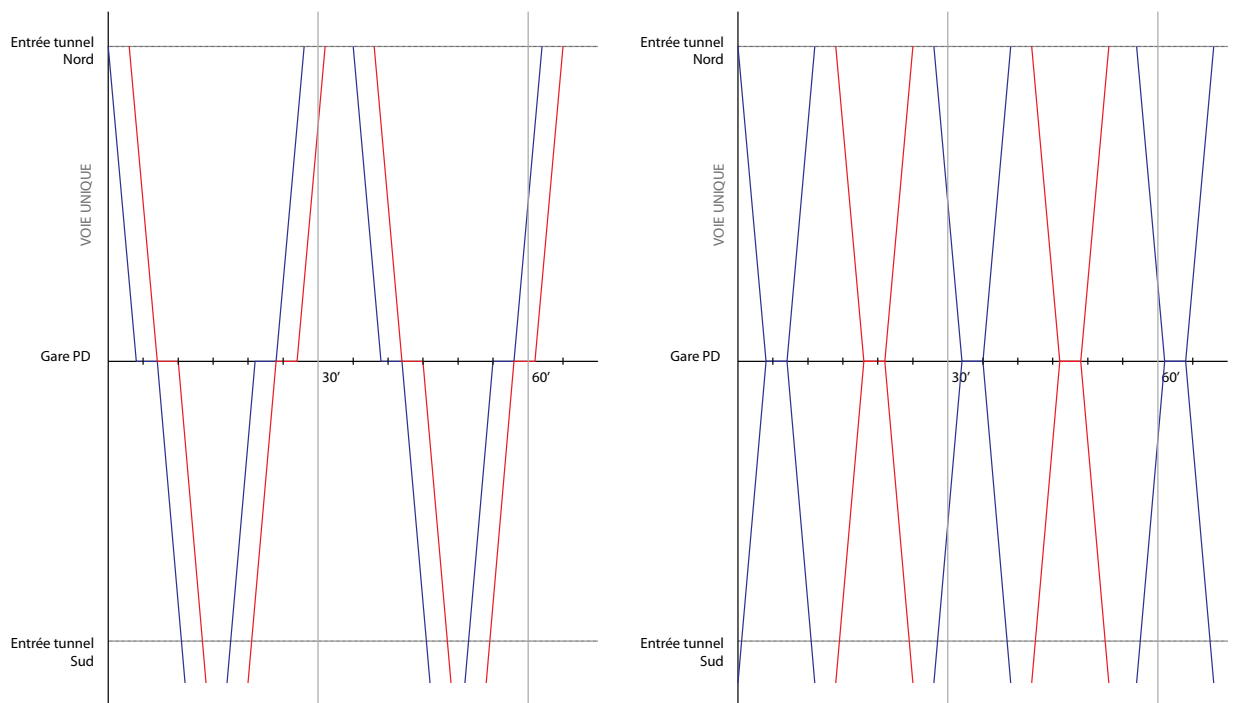
Pour la configuration bitube, l'exploitation se fait en voie unique sur toute la longueur du tunnel avec possibilité de croisement au niveau de la gare souterraine. L'utilisation de la gare souterraine est restreinte à 2 voies à quais.



Dans ce cas, l'exploitation en batterie est possible mais sur la longueur totale du tunnel. L'exploitation alternée est possible avec croisement en gare : ce mode d'exploitation est équivalent à l'exploitation alternée dans le cas monotube (débit d'une voie unique de longueur  $L \approx$  débit d'une voie unique de longueur  $2L$  avec évitement central). Dans la pratique, il y a quand même une perte de souplesse car la régulation des trains doit se faire avant d'arriver sur le tunnel. On fait donc passer environ 4 trains par heure et par sens dans le tunnel. **Dans ce cas, il est donc nécessaire de supprimer des trains.**

Dans le cas du scénario B4, l'accès à contresens au tunnel nécessite une circulation à contresens sur les voies V1Grenoble ou V2Grenoble, ceci rallonge la section de voie unique. De plus, des conflits de nez à nez potentiels existent entre les circulations à contresens et les circulations empruntant les voies G dans le sens normal (4 circulations par heure et par sens en provenance de Perrache).

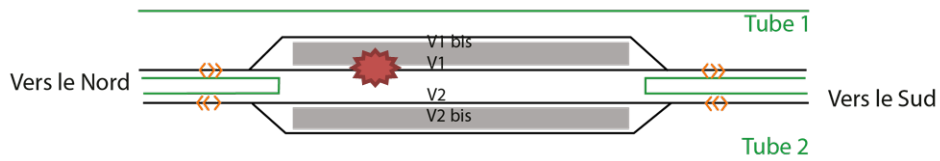
**Figure 7 : Principe d'exploitation mode C (bitube)**



### 3.5 Mode D : perte d'une voie à quai en gare souterraine

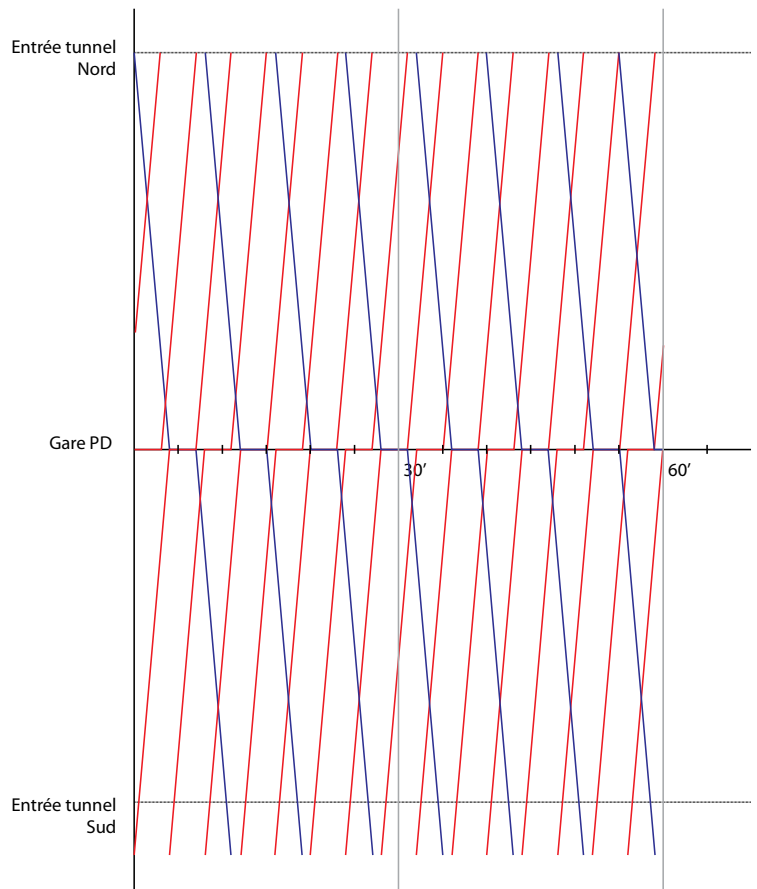
#### 3.5.1 Configuration bitube

Dans ce mode, la gare est exploitée avec 3 voies à quai fonctionnels au sein d'une exploitation bitube. L'exploitation proposée est basée sur l'orientation des circulations vers la voie 1bis à quai disponible pour l'accueil des circulations du tube 1, et sur le maintien de l'exploitation nominale pour le tube 2. Bien que l'analyse soit réalisée sur la voie 1, les résultats demeurent valables pour l'ensemble des voies de la gare souterraine.

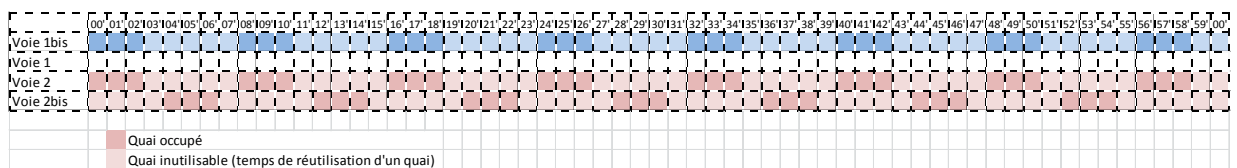


Selon ce principe, on voit que le graphique théorique en ligne et en gare permet d'accueillir le volume prévu de 7 trains par heure et par sens. L'exploitation du tube 2 n'est pas affectée par la perte de la voie à quai, qui conserve l'exploitation nominale. L'accueil des circulations sur la voie 1bis se réalise au rythme d'un train toutes les 8 minutes. Ce raisonnement reste théorique et n'intègre pas les contraintes horaires des trains : **ceux-ci sont nécessairement modifiés pour permettre ce fonctionnement en passage toutes les 8 minutes.**

**Figure 8 : Graphique d'exploitation mode D (bitube)**



**Figure 9 : GOV mode D (bitube)**



Quai occupé  
 Quai inutilisable (temps de réutilisation d'un quai)

La capacité maximale théorique permise par cette exploitation est de 7,5 trains/heure pour les circulations vers le Sud (contrainte de réutilisation de la voie 1bis de 5') et de 15 trains/heure pour les circulations vers le Nord (contraintes du block à 3' + réutilisation de la voie).

### 3.5.2 Configuration monotube

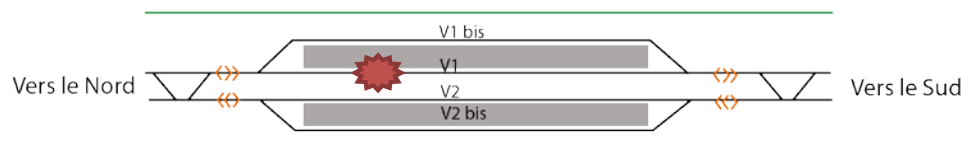
#### 3.5.2.1 Exploitation en respectant les sens de circulation initiaux

Dans ce mode, la gare est exploitée avec 3 voies à quai fonctionnels au sein d'une exploitation monotube. L'exploitation proposée est basée sur le maintien des circulations dans le sens nominal de circulation. La fonctionnalité permise par une infrastructure monotube n'est pas utilisée.

Dans ce cas, l'exploitation est strictement identique à la configuration bitube. Les performances permises sont donc équivalentes.

#### 3.5.2.1 Exploitation avec répartition des 2 sens de circulations sur les 3 voies

Dans ce mode, la gare est exploitée avec 3 voies à quai fonctionnels au sein d'une exploitation monotube. L'exploitation proposée est basée sur la répartition des circulations sur les voies à quais utilisables : 1 voie à quai dédiée à chaque sens et 1 voie centrale utilisée par les deux sens. Cette exploitation génère des circulations à contre-sens, dans le cas par exemple de circulations en direction du Sud accueilli sur la voie 2.



Selon ce principe, on voit que le graphique théorique en ligne et en gare permet d'accueillir le volume prévu de 7,5 trains par heure et par sens. **Cette exploitation n'offre pas de capacité supplémentaire par rapport au mode précédent : la capacité est même réduite dans le sens sud nord. Ceci s'explique par les fortes contraintes entre mouvements incompatibles.**

Il convient de noter que la grille horaire a été conçue pour atteindre la capacité maximale de cette exploitation, et n'intègre donc pas les contraintes horaires des trains.





Figure 10 : Graphique d'exploitation mode D (monotube)

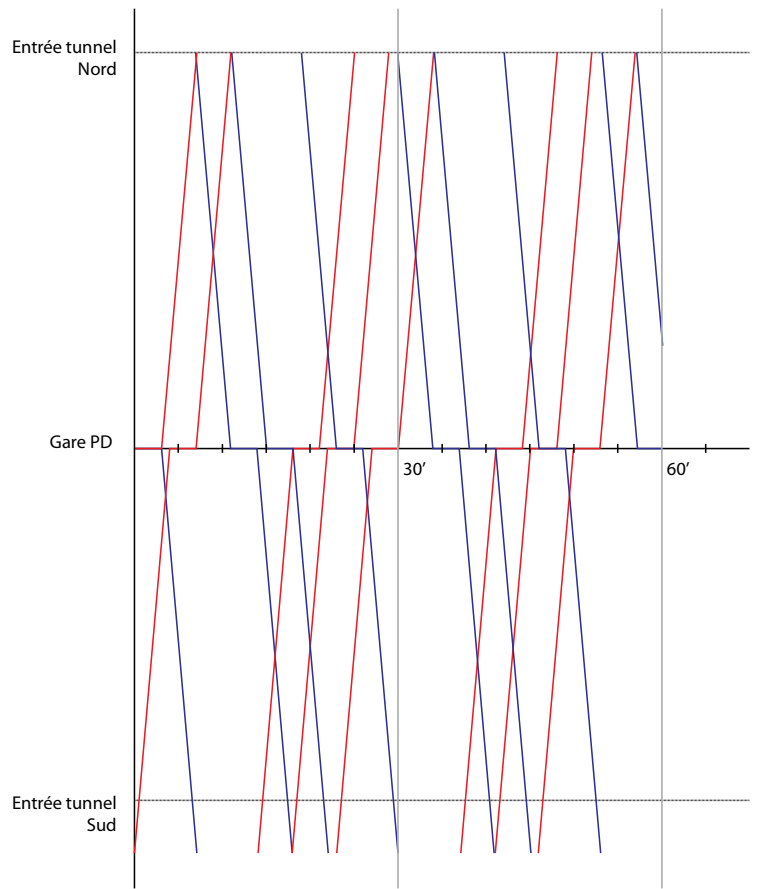
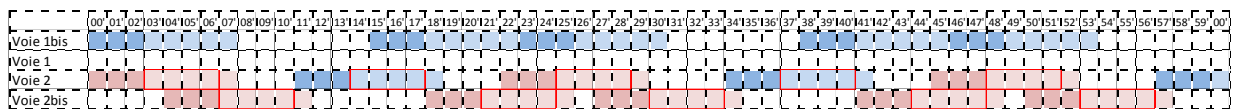


Figure 11 : GOV d'exploitation mode D (monotube)



- Quai occupé
- Quai inutilisable (temps de réutilisation d'un quai)
- Contrainte d'itinéraires incompatibles

### 3.6 Conclusion

L'analyse des modes dégradés ne fait pas ressortir de différences très importantes entre les configurations de gare monotube et bitube du point de vue de la capacité. **Le principal avantage de la solution monotube est qu'il permet une régulation des trains à l'intérieur du tunnel dans les modes A et C.** Dans le cas d'un bitube, la régulation doit se faire en amont ou en aval du tunnel.

**En mode dégradé A** (interruption totale au Nord ou au Sud de la gare souterraine)

- La configuration monotube permet le retournement d'environ 8 trains par heure. Il est donc théoriquement possible de ne pas supprimer de trains.
- La configuration bitube permet également de retourner environ 8 trains par heure en utilisant les 2 tubes comme des voies uniques. La souplesse est moindre que dans le cas monotube car il existe des conflits potentiels de cisaillement en sortie de tunnel car les trains doivent être régulés avant l'entrée dans le tunnel.
- Dans le cas du scénario B4 (bitube), les deux têtes de tunnel se raccordent de part et d'autres de la PLM. L'exploitation du tunnel à contresens génère des conflits de nez à nez potentiels sur les voies V1G et V2G. Ceci est une contrainte supplémentaire importante pour l'exploitation de ce mode dégradé en opérationnel.

**Le mode dégradé B** (interruption totale entre Montluel et Ambérieu) est indépendant de la configuration du tunnel. Il permet d'examiner un mode dégradé possible qui n'utiliserait pas de terminus partiel au niveau de la gare Part-Dieu. L'analyse montre que ceci nécessite des configurations spécifiques pour les gares où cette fonctionnalité terminus serait envisagée. La gare de Montluel dans sa configuration future ne permet pas un régime dégradé avec un débit aussi important que si le terminus partiel est organisé à Part-Dieu : il faudrait ajouter des fonctionnalités en gare.

**En mode dégradé C** (perte d'une voie en tunnel), le maintien du service semble difficile pour les deux configurations :

- La configuration monotube permet une exploitation en batterie un peu plus capacitaire qu'une exploitation en alternat : 6 trains par heure en batterie, 4 trains par heure en alternat. Cette configuration permet de « stocker » des trains dans le tunnel sur la section à 2 voies. Elle offre donc en ce sens une relative souplesse.
- La configuration bitube nécessite d'utiliser le tube restant comme une voie unique de 8 km avec évitement central. Le débit théorique est de 4 trains par heure. Il n'y a alors aucune souplesse pour la régulation des trains dans le tunnel.
- Dans le cas du scénario B4 (bitube), l'exploitation d'un seul tube pose les mêmes problèmes de conflits de nez à nez potentiels que pour le mode dégradé A.

**En mode dégradé D** (perte d'une voie à quai), l'analyse montre que l'exploitation d'une voie à contresens n'apporte pas de capacité supplémentaire : il est même préférable de ne pas exploiter la gare avec un alternat de sens sur une voie. Dans tous les cas, la capacité théorique est de 7,5 train par heure et par sens. L'exploitation sera nécessairement perturbée car il sera impossible de respecter les contraintes horaires.



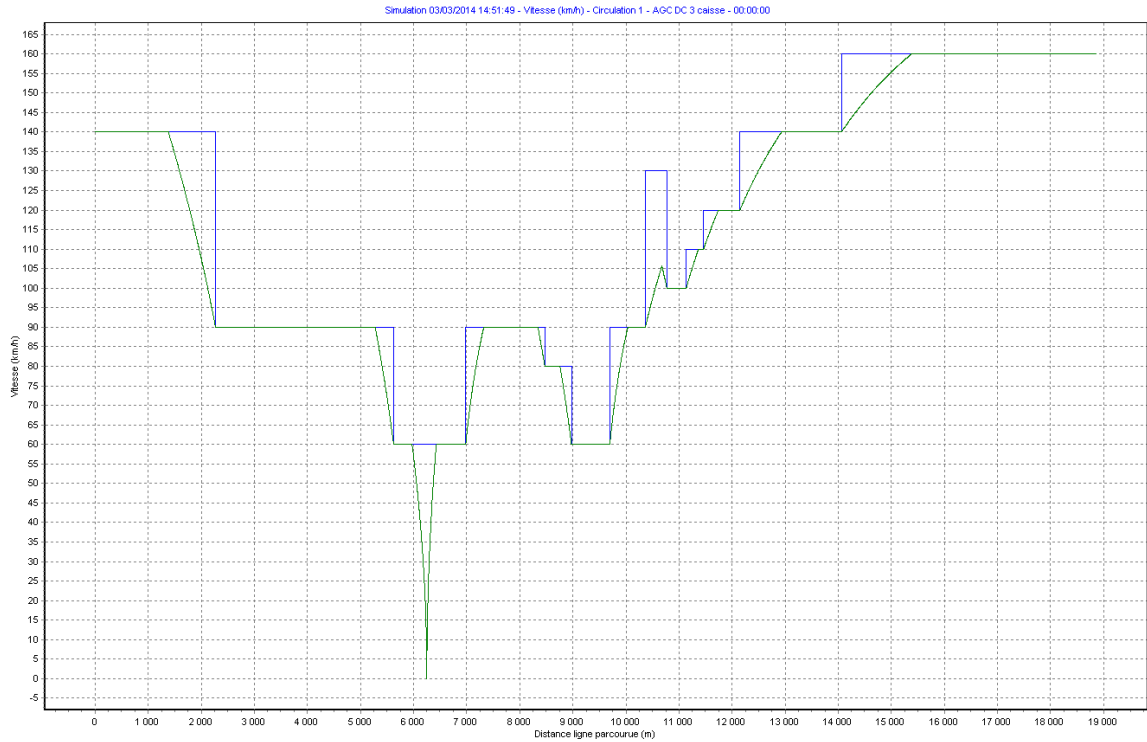
## **4 Annexe : Courbes de vitesse pour le matériel Z27500**

---

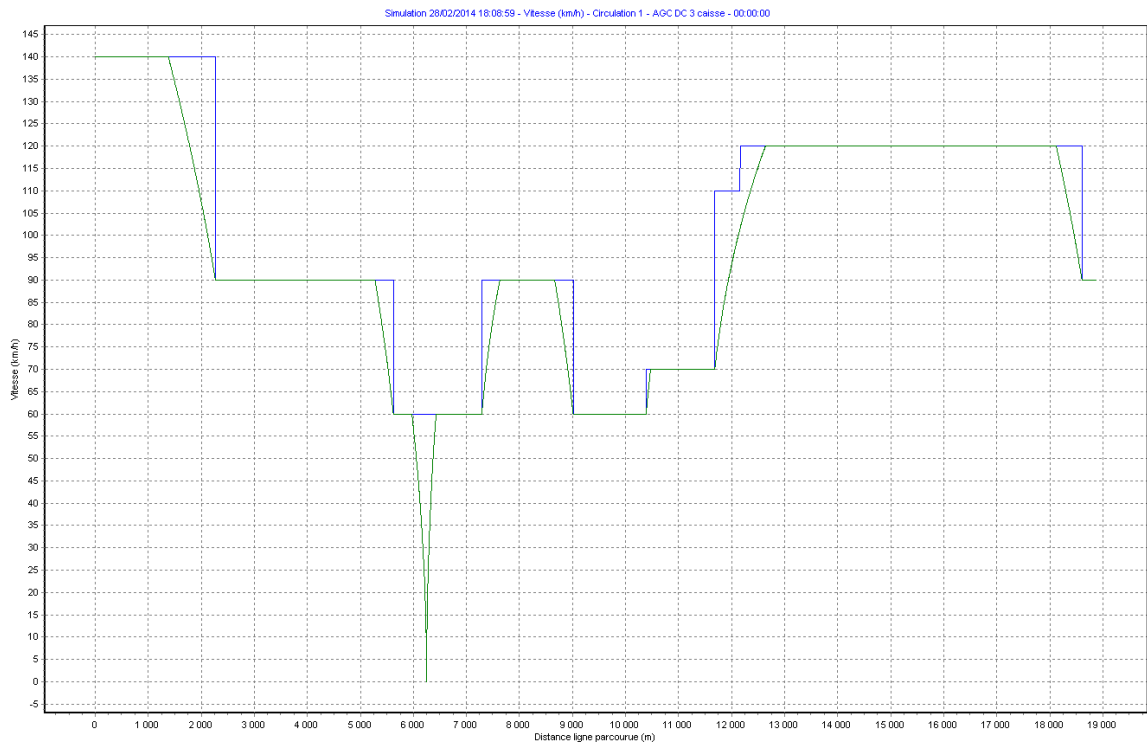


## Sens Crépieux vers Saint-Priest :

Actuel via PLM

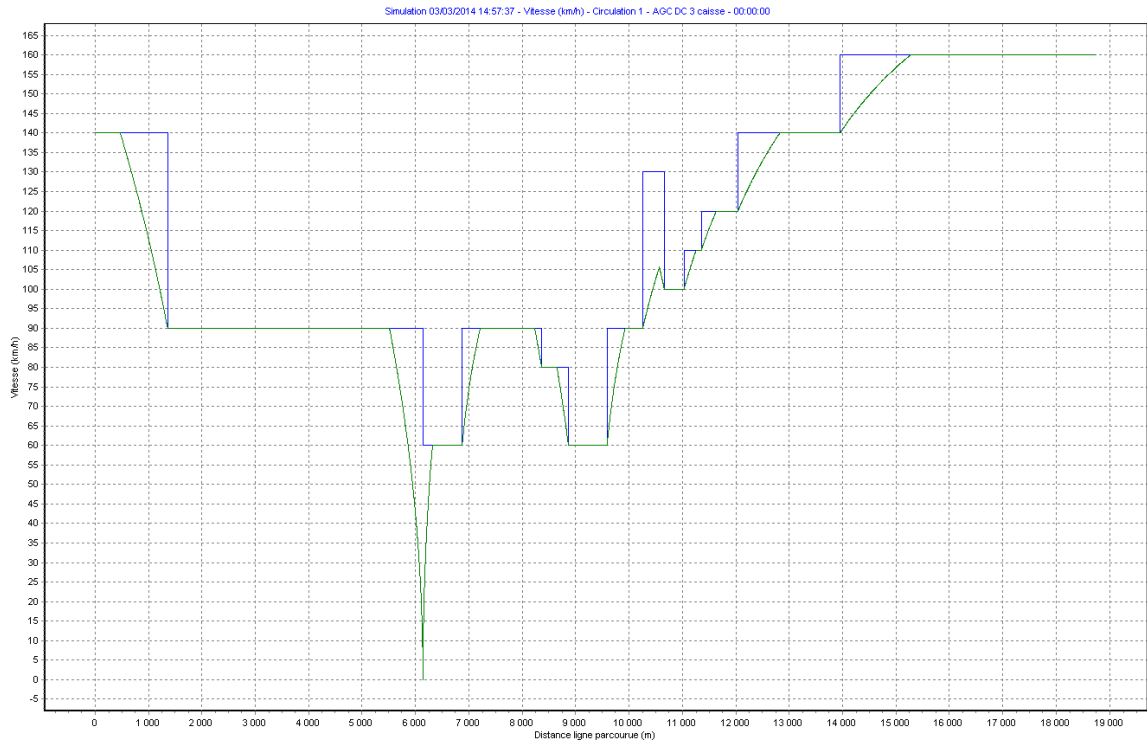


Actuel via Vracc

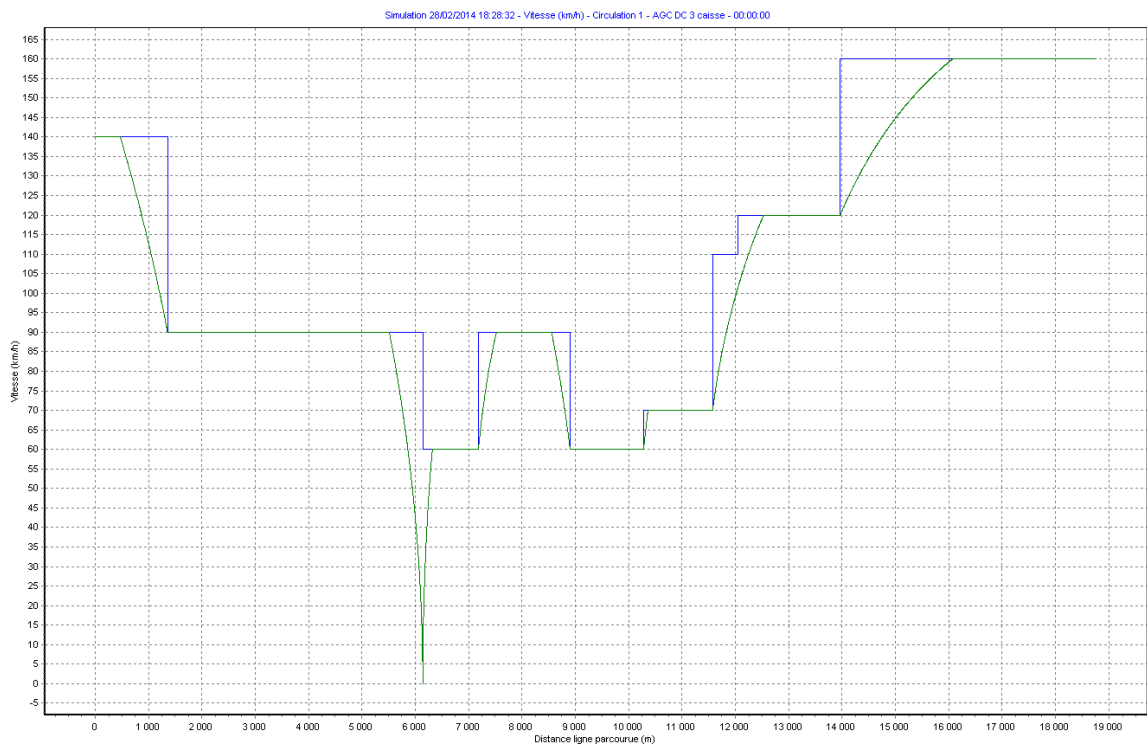




### Scénario A via PLM

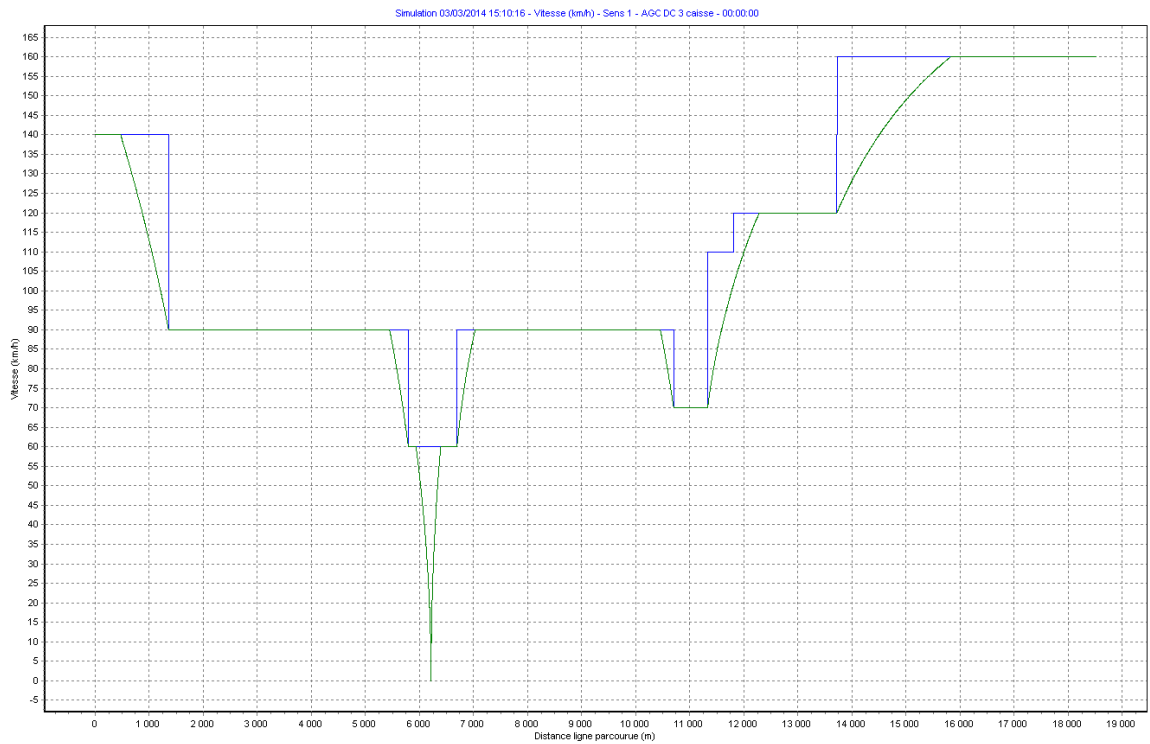


### Scénario A via Vracc

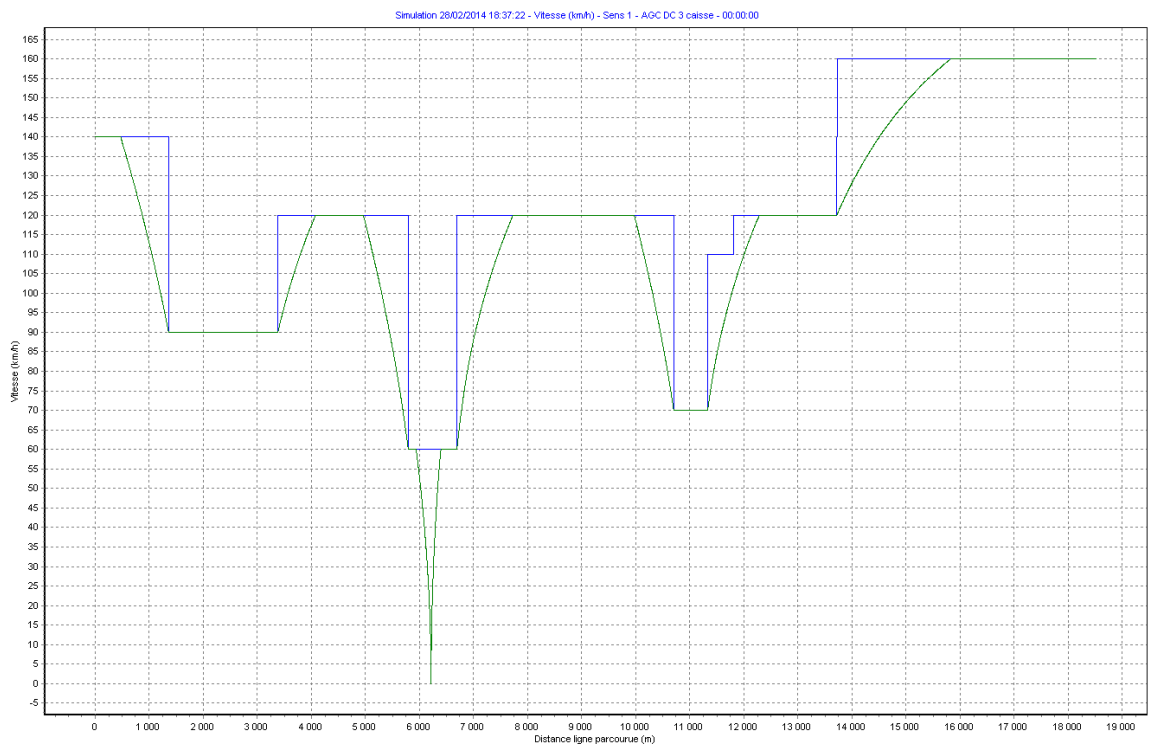




### Scénario "rectiligne" V90



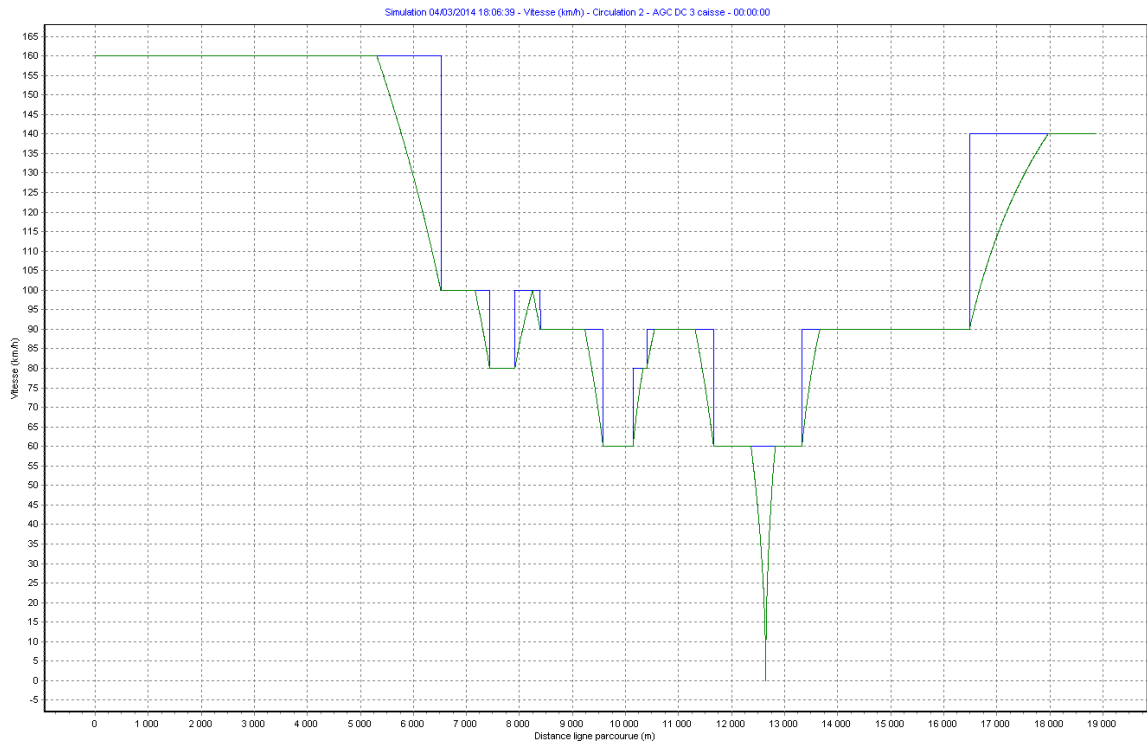
### Scénario "rectiligne" V120



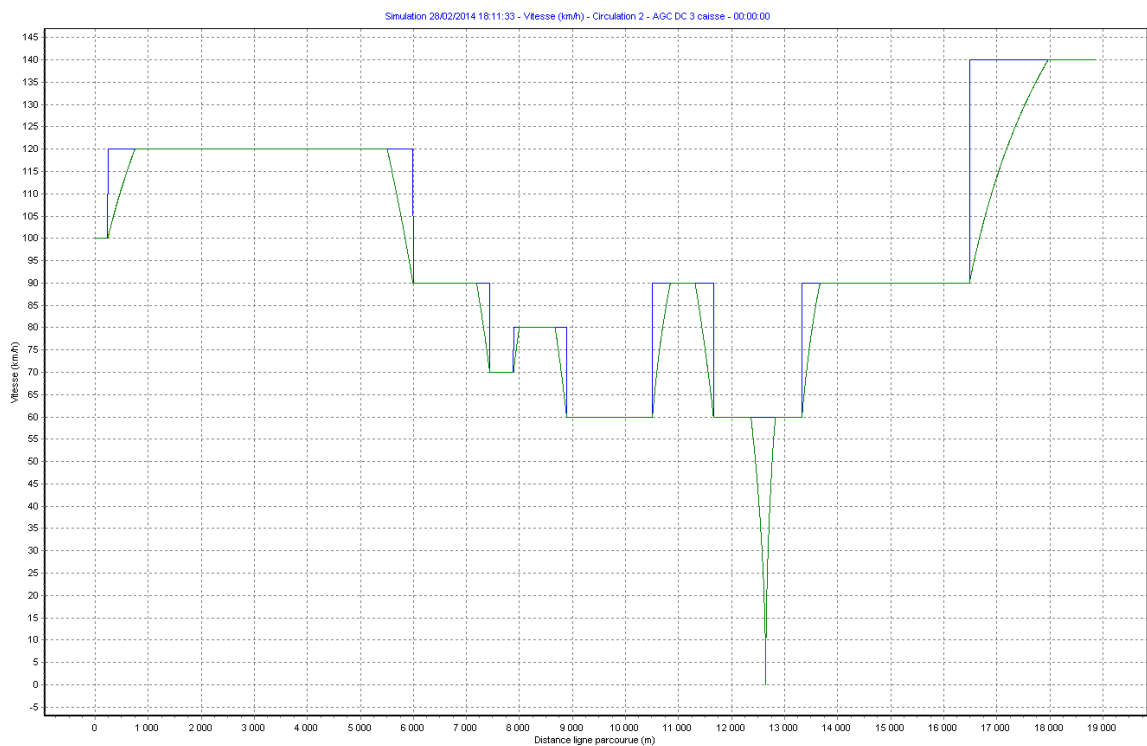


## Sens Saint-Priest vers Crépieux :

Actuel via PLM

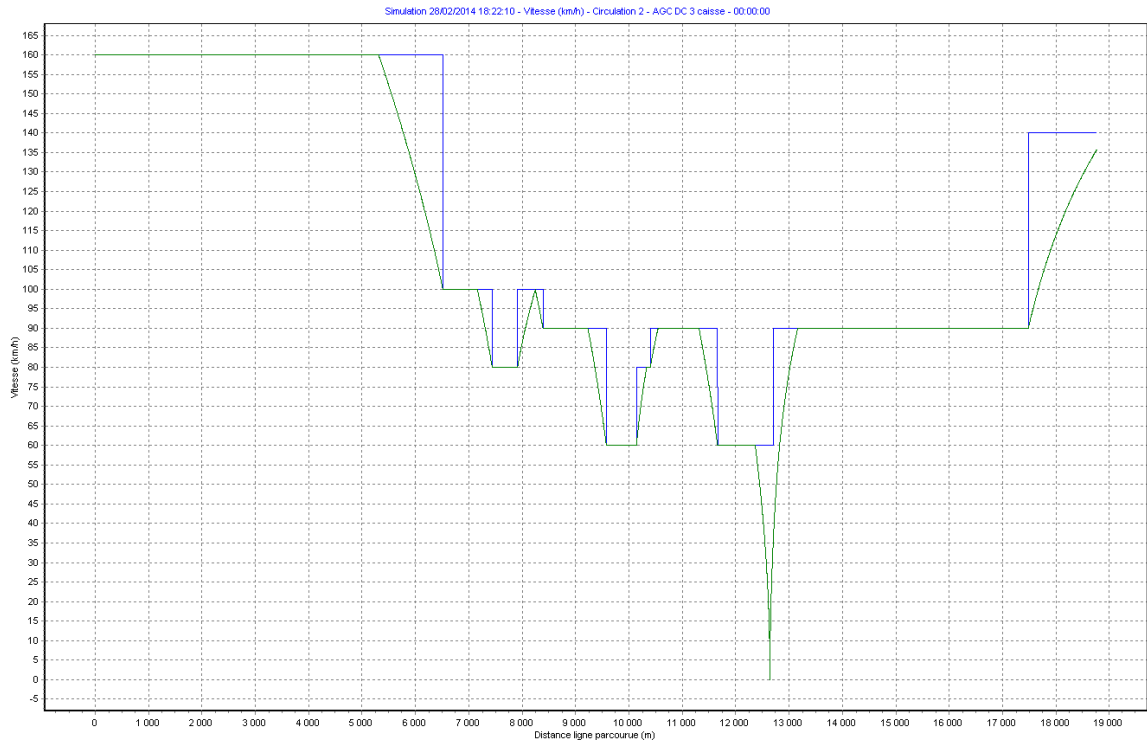


Actuel via Vracc

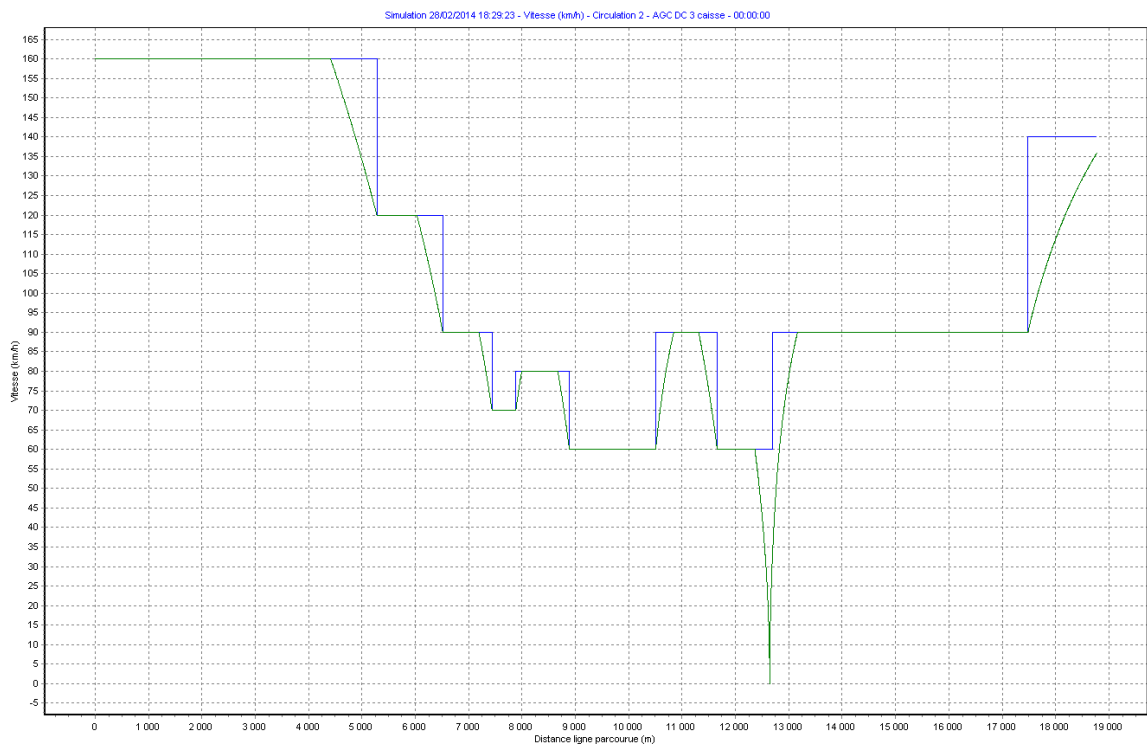




### Scénario A via PLM



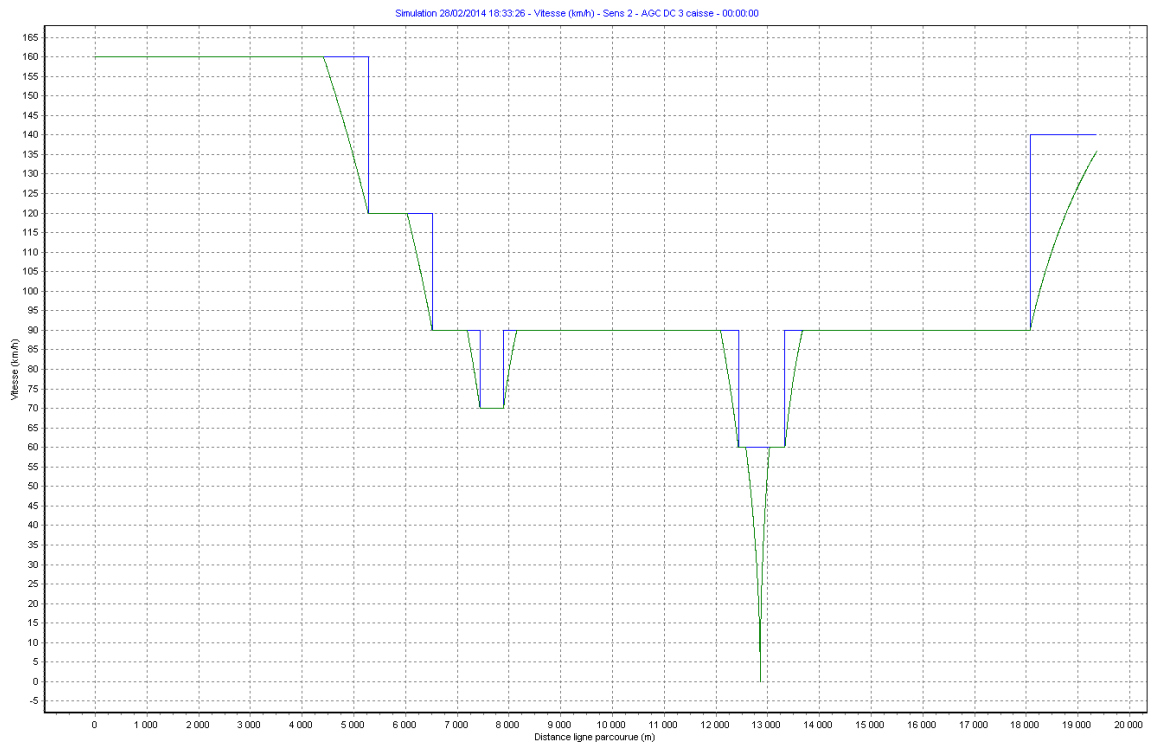
### Scénario A via Vracc



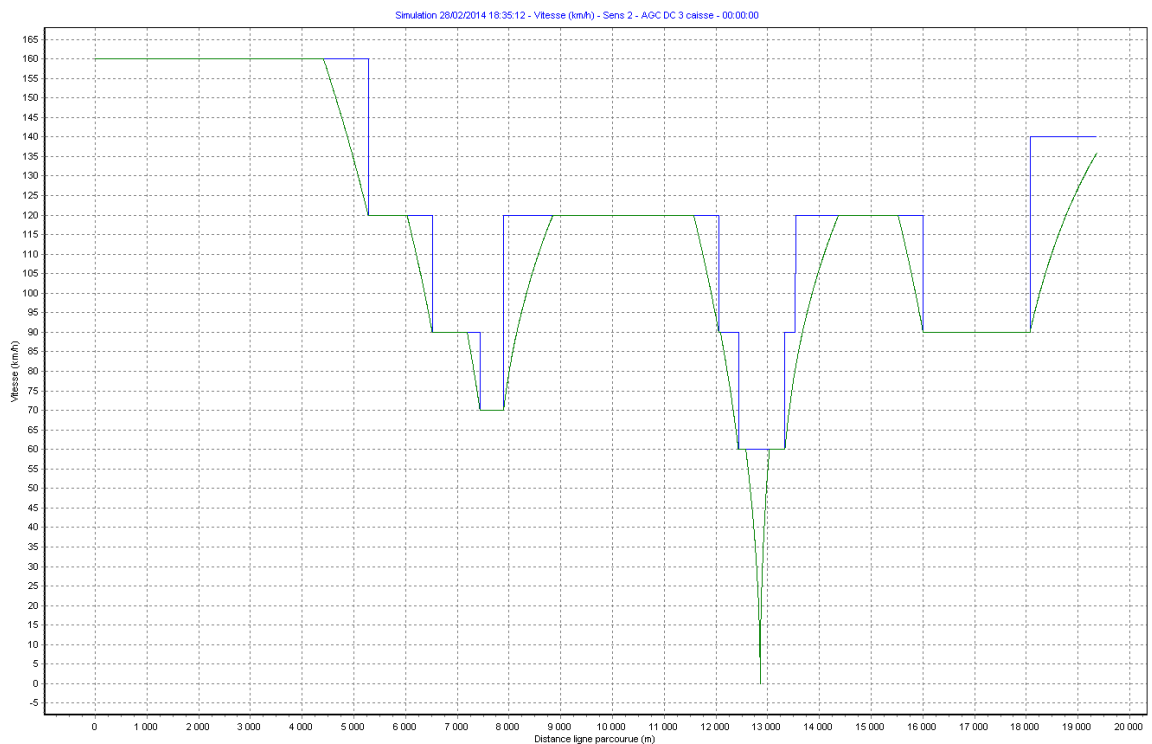




Scénario « en S » V90

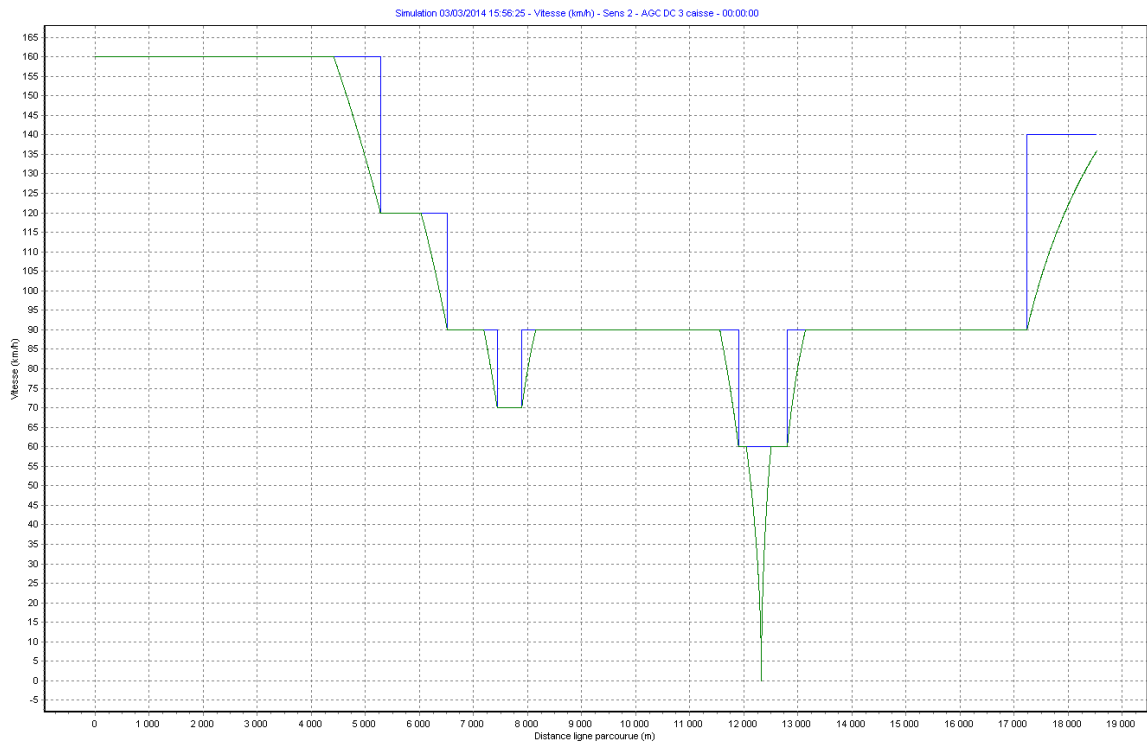


Scénario « en S » V120





Scénario « rectiligne » V90



Scénario « rectiligne » V120

