



HAL
open science

Insertion d'un BHNS dans un site contraint

Sébastien Galoyer

► **To cite this version:**

Sébastien Galoyer. Insertion d'un BHNS dans un site contraint. Infrastructures de transport. 2014.
dumas-01679108

HAL Id: dumas-01679108

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01679108>

Submitted on 9 Jan 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS

PARIS

MEMOIRE

Présenté en vue d'obtenir

Le DIPLOME D'INGENIEUR CNAM

SPECIALITE : CONSTRUCTION, AMENAGEMENT

PARCOURS : AMENAGEMENT

Par

SEBASTIEN GALOYER

Insertion d'un BHNS dans un site contraint

Soutenu le 7 avril 2014

PRESIDENT DU JURY :

FRANCIS GUILLEMARD, Professeur du CNAM, Directeur du département ICENER

MEMBRES DU JURY :

**M. GABRIEL BAJEUX, Professeur associé
M. MICHEL CAZENAVE, Professeur associé
M. XAVIER CESPEDES, Professeur associé
M. ISSA JAFFAL, Maître de conférences
M. WALID LARBI, Maître de conférences
M. JOSEPH PAIS, Professeur associé
M. STEPHANE ROHRBACH, Professeur associé
M. JEAN SEBASTIEN VILLEFORT, Professeur agrégé**

MEMBRES INVITES

**M. JULIEN PONTON, Ingénieur
M. MATTHIEU VINCENZ, Architecte**

AVANT-PROPOS

Le présent mémoire fait suite à une première étude effectuée entre avril et septembre 2007 impulsée par l'entreprise SVTU dont j'ai eu la charge lors de mon stage de deuxième année de master dans cette entreprise.

Ce mémoire reprend en partie cette étude et y incorpore des éléments de dimensionnement et d'analyse technique sur la faisabilité du projet.

Actuellement, le projet de TCSP Versailles-le Chesnay, inscrit au PLU des deux communes, n'a pas connu de suite favorable et reste suspendu jusqu'à nouvel ordre.

Une concertation préalable avait été tenue entre février et mars 2007.

Cependant, la proposition d'insertion exposée dans ce mémoire garde toute sa pertinence et pourrait être déclinée en un sens plus large dans d'autres projets comme solution d'insertion dans un centre-ville.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier, dans un premier temps, toute l'équipe pédagogique du CNAM, les professeurs titulaires et les intervenants professionnels responsables du cursus « Ingénieur Construction, Aménagement » pour avoir tenu les cours théoriques. Ils m'auront permis d'effectuer ce diplôme dans de bonnes conditions en me faisant acquérir les connaissances nécessaires à mon exercice professionnel.

Je remercie ainsi M. Guillemard, directeur du département Génie Civil du CNAM, pour m'avoir permis d'exercer ce sujet de mémoire et de m'avoir fait confiance dans mon projet professionnel.

Une pensée reconnaissante pour la mairie du Chesnay et tout particulièrement pour M. Nicolas Baguenard qui a bien voulu me recevoir et m'aider dans la collecte d'informations techniques sur le périmètre d'étude du projet.

Enfin, je remercie vivement M. Jean-Sébastien Villefort, le directeur de mon mémoire, pour sa disponibilité et ses conseils lesquels m'ont permis d'ajuster divers éléments sur l'ensemble de mon mémoire.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	5
<i>Partie I - Environnement du projet et présentation du système de transport</i>	6
1- Analyse urbaine	7
2- Le système transport.....	12
<i>Partie II - Configuration et définition du tracé de la voirie</i>	22
1- Choix de la configuration	23
2- Prescription Générale.....	28
3- Notre proposition d'esquisse	33
<i>Partie III - Conception et dimensionnement de la plateforme</i>	44
1- Paramètres de dimensionnement	47
2- Choix des couches de surface.....	56
3- Dimensionnement de la structure, étape n°1 : choix des matériaux	61
4. Dimensionnement de la structure, étape n°2 : Vérification au gel / dégel.....	68
5- Données génériques pour la phase travaux.....	73
CONCLUSIONS GENERALES.....	78
ANNEXES	80
LISTE DES ABREVIATIONS	100
BIBLIOGRAPHIE.....	101
LISTE DES TABLEAUX.....	104
LISTE DES FIGURES	105
TABLE DES MATIERES.....	107

INTRODUCTION

Dans le cadre d'un projet de TCSP (Transports en commun en site propre), la municipalité du Chesnay prévoit de réaliser la réfection la rue de Versailles au sein de son centre-ville. Ce projet de TCSP a vocation à relier les trois gares SNCF Versaillaises et desservir les principaux centres urbains des deux communes. Ainsi, ce sont 65 000 habitants qui seront desservis par ce nouvel axe dans un bassin de transport de plus de 200 000 habitants.

Le quartier du vieux Chesnay, centre ville du Chesnay, est desservi par cette future ligne le long de la rue de Versailles. Notre mémoire porte précisément sur l'insertion de la ligne dans cette rue entre deux points clés éloignés de 460 mètres : la place de la Loi (située à Versailles à la limite du Chesnay) et la place Simart (située dans ce centre urbain du Chesnay).

Cette section particulière du projet de TCSP présente les caractéristiques suivantes :

- un site contraint de 16 à 19 mètres avec insertion urbaine difficile,
- zone densément peuplée faisant parti du centre ville du Chesnay,
- rue en chicane qui nécessite une refonte totale de la voirie,
- ouverture sur la ville de Versailles pour les flux de transits,

En outre, le projet sur ce secteur est celui qui a vu se développer le plus de controverses sur le projet.

Ces multiples contraintes pèsent sur l'aménagement de cette section et devront être prises en compte. Les riverains et les commerçants sont aussi directement touchés par ce projet : il est fondamental que celui-ci intègre une bonne compréhension du milieu qu'il traverse.

Enfin, la mise en place du site propre devra s'insérer dans cet espace sans perdre ses dispositifs techniques nécessaires à son bon fonctionnement.

L'objectif de ce mémoire d'aménagement est de pouvoir trouver un compromis entre le système transport à proprement parlé, le flux de transit et l'urbanisation locale très dense tout en gardant un cadre de vie agréable pour les habitants.

Nous décrirons dès lors, la nouvelle configuration de cette voie en insistant sur la mise en œuvre du site propre, de son dimensionnement et du choix des matériaux.

Ainsi, notre étude étudiera les différentes contraintes techniques liées à la confection du site propre dans notre projet. La conception de celui-ci devra répondre à la configuration du lieu et du système transport en lui-même afin de parvenir à un tracé satisfaisant pour tous. Elle répondra à la question suivante : comment intégrer notre système transport dans ce site ?

Notre analyse se composera en premier lieu à la description de l'état existant ainsi que les préconisations du système transport afin de pouvoir établir un cahier des charges cohérent pour le site (première partie). Puis après avoir établi la configuration schématique du tracé et de la voirie (seconde partie), nous nous étendrons sur le dimensionnement et la mise en œuvre du site propre bus (troisième partie).

Première partie :

Environnement du projet et présentation du système de transport

1- Analyse urbaine

1-1 Configuration urbaine



Figure 1 : Vue aérienne de la rue de Versailles¹

La zone d'étude se situe sur la commune du Chesnay.

Le Chesnay est une commune de 28 500 habitants, située au Nord de Versailles. Sa densité est extrêmement élevée (6718 habitants/m²) ; son bâti est en continuité directe avec la commune de Versailles.

Le secteur Sud du quartier du vieux Chesnay, objet de l'étude, est constitué de logements collectifs très denses : l'Ouest de la rue est bordé par une ancienne ZAC construite dans les années 1980 tandis que l'Est est bordé par des habitats collectifs anciens du début du XX^{ème} siècle. Cinquante-quatre commerces bordent la rue des deux côtés. Le nombre total d'habitants dans la zone d'étude est d'environ 3 000 personnes. L'environnement est donc constitué d'un milieu très dense avec une forte activité commerciale. Cependant, malgré ses nombreux commerces, la rue concernée présente un visage assez calme. Le trafic automobile y est élevé et apparaît relativement perturbant pour les riverains.

Les réelles difficultés de la rue résident principalement dans sa configuration en chicane. Le lieu paraît inadapté à la traversée des piétons bien que les véhicules roulent aux vitesses réglementaires.

¹ Image Google earth

1-2 Flux routier

Le trafic routier au Chesnay est caractérisé par un flux de transit très important souvent saturé. Les flux Nord-Sud sont les plus importants dans la commune en raison de l'absence de voies rapides à cet endroit.

De par sa position, Le Chesnay fait office de plaque tournante entre la liaison de l'A 12 de Saint Quentin en Yvelines, celle de l'A 13 allant de Paris vers Poissy et Mantes-la-Jolie, et celle de Saint-Germain-en-Laye / Versailles par la RN 186 qui dessert en même temps le centre commercial Parly 2.

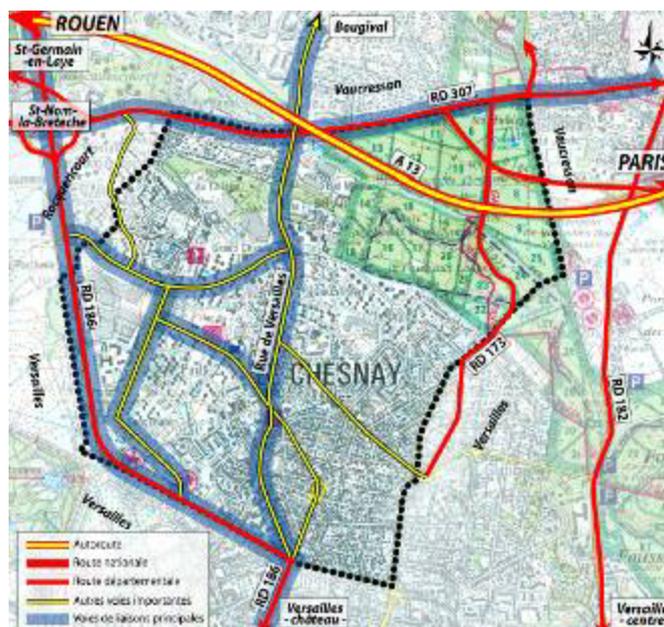


Figure 2 : Principaux flux routiers¹

Cette carte permet d'identifier les grands mouvements de circulation.

Le trafic du Chesnay est caractérisé par un fort trafic de transit Nord / Sud : les flux les plus importants se déploient sur les frontières de la commune tandis que les flux internes sont plutôt minoritaires.

L'enjeu de la politique du Chesnay en matière de circulation est de pouvoir dévier les flux de transit à l'extérieur de la commune sur les routes nationale et départementale afin de réduire la circulation à l'intérieur de la commune.² Par conséquent, la RN 186 draine jusqu'à 34 000 véhicules par jour aujourd'hui et la RD 307 parallèle à l'A13 38 000 : ce sont les axes les plus chargés qui traversent le territoire du Chesnay derrière l'A 13 (140 000/jour).

La rue de Versailles permet de relier l'ancienne capitale royale de La-Celle-Saint-Cloud et Bougival par la place de la Loi. Elle se situe au niveau des routes principales de second rang avec un flux de 10 000 à 15 000 véhicules par jour, soit une voiture toutes les huit secondes.

Aux alentours de la rue de Versailles, on rencontre majoritairement des îlots pavillonnaires traversés par des rues plutôt calmes au trafic local. Le trafic de la rue Lavoisier par exemple, parallèle à la rue de Versailles, est d'environ de 400 et 500 véhicules par jour³.

¹ Carte extraite du Rapport de présentation PLU Le Chesnay, 2003

² Entretien avec Mr Potreau (mairie du Chesnay, service voirie) le 5 juillet 2007.

³ Selon les comptages effectués à la demande du STIF en mars 2006

Comme l'habitat individuel y est majoritaire, c'est seulement autour de la rue de Versailles que la densité se trouve la plus élevée.

1-3 Les modes doux

Concernant les modes doux, la commune souhaite compléter le réseau existant en réalisant à terme une radiale Nord-Sud et une radiale Est-Ouest. Cependant, d'après le schéma de principe, **la rue de Versailles n'a pas vocation à devenir un axe fort de circulations douces** :

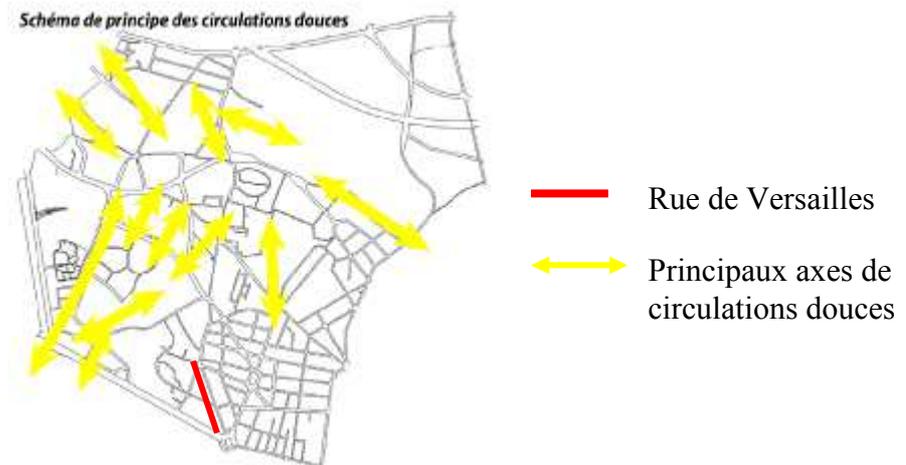


Figure 3 : Schéma de principe des circulations douces¹

1-4 Configuration de la rue de Versailles

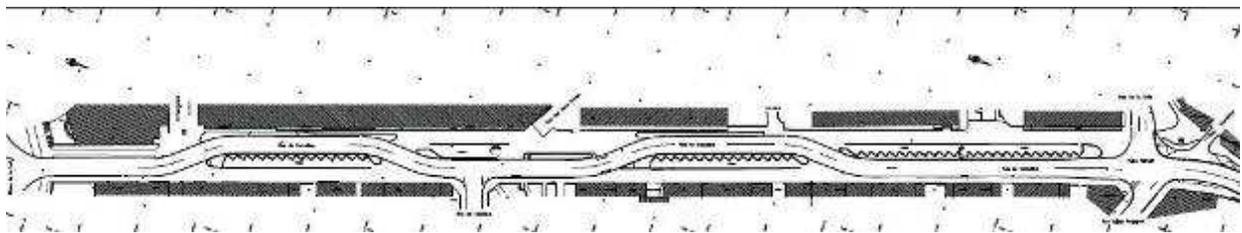


Figure 4 : plan de la rue de Versailles²

La rue de Versailles entre la place de la Loi et la place Simart est configurée en chicane depuis son réaménagement en 1989. Avec la construction de la ZAC, le côté Ouest de la rue de Versailles a été reculé de quelques mètres, augmentant aussi la largeur de la rue et permettant la configuration actuelle. Depuis, elle bénéficie d'une largeur supplémentaire de 19,8 mètres.

La largeur de la rue est séparée en deux parties :

- une route consacrée uniquement aux flux de transits ;
- une chaussée consacrée aux stationnements et aux trottoirs.

Ces deux parties s'alternent quatre fois sur la quasi totalité de la longueur sous la forme d'un « S ». Son tracé sinueux a été conçu principalement pour réduire la vitesse des automobilistes.

¹ Source : rapport de présentation PLU Le Chesnay

² Extrait cadastre commune du Chesnay

Les deux chaussées sont séparées : soit par des séparateurs physiques infranchissables ; c'est le cas de la partie débouchant sur la rue des Deux Frères où les chaussées sont séparées par une bordure surmontée de barrières, soit par une bordure surmontée d'éléments végétatifs et d'une rangée d'arbres de type peuplier.

On notera que la route dédiée aux flux de transit est totalement séparée des autres flux: il n'y a aucun trottoir ; la chaussée est réservée aux seuls véhicules routiers. Des passages piétons sont disposés à divers endroits afin de permettre la traversée de la route.

Les places de stationnement sont accessibles depuis la route par des contre-allées disposées au niveau des trottoirs ; le revêtement des chaussées des contre-allées et des trottoirs est identique. Ceux-ci sont séparés soit par des poteaux, soit par des plots. Les contre-allées sont donc utilisées uniquement pour accéder aux places de stationnements et de livraisons ; les véhicules y circulent « au pas » (moins de 20 km/h). Le stationnement, quant à lui, se fait en épi du côté gauche.

On a donc voulu séparer ici de manière radicale les flux de transit des flux locaux, les piétons de la circulation et l'accès au stationnement de la route principale.

1-5 Etat initial de la structure de la chaussée

Concernant la structure de la chaussée, celle-ci est faite d'une importante couche de Grave Ciment et de Grave naturelle (62 cm) comme illustrée ci-dessous.

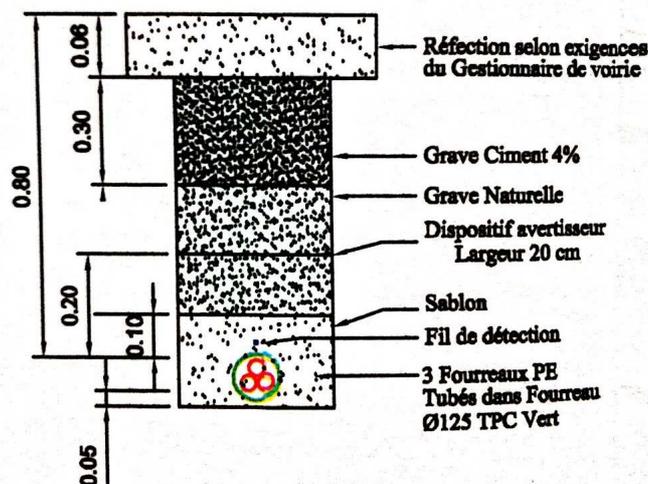


Figure 5 : Structure actuelle de la chaussée

La couche de grave ciment est épaisse de 30 cm et celle de grave naturelle de 32 cm. La couche de roulement de type BBSG est épaisse de 8 cm.

L'objectif sera de savoir si cette surface peut supporter le futur trafic du TCSP et si des matériaux pourraient être réemployés dans notre projet.

Par ailleurs, d'importants réseaux se situent sous le site : réseau télécom, eau potable, électricité, gaz etc. dont les détails sont exposés en annexe 6.

Ceux –ci sont situés à une profondeur relativement importante : 80 cm sous la surface. Il est difficilement envisageable de concevoir les travaux sans s'interroger sur leur éventuelle déviation. D'autant que ceux-ci sont systématiquement déviés pour les plateformes tramway afin d'éviter des ruptures d'exploitation de la ligne et il est de plus en plus usuel de les dévier

aussi sous les plateformes de BHNS et de TCSP en général (TEOR Rouen, METTIS Metz, Busway Nantes etc.).

Il importe de noter que le projet de TCSP entre Versailles et Le Chesnay a été lancé par Phébus, pour les deux raisons suivantes qui sont complémentaires :

- la circulation automobile dans Versailles devient extrêmement dense et congestionnée affectant ainsi la vitesse commerciale du réseau Phébus ;
- les lignes du réseau Phébus souffrent d'irrégularités aux heures de pointe ; il en résulte une détérioration de la qualité de service public du réseau de transport.

En effet, alors que la circulation automobile dans Versailles augmente en moyenne de 2 % par an¹, la vitesse commerciale du réseau de transports en commun à l'intérieur de Versailles ne cesse de baisser : 10,3 Km/h actuellement.

C'est donc à partir de données d'exploitation, et afin d'améliorer la qualité de service du transport collectif, qu'a émergé l'idée de réaliser une ligne à haut niveau de service en site propre. On est ici en présence d'une vision différente de celle de certains projets de tramways. En effet, outre l'amélioration du transport public, les nouveaux projets de tramway français s'accompagnent souvent d'une volonté de « renouvellement urbain » qui engendre une redistribution équilibrée des modes de transport sur la voirie et d'un embellissement des façades qui bordent les voies.

Pour bien comprendre le concept de TCSP de surfaces exploitées par matériel roulant pneumatique, nous analyserons ici le concept du BHNS imaginé par le C.E.R.T.U. et de nombreux exploitants qui correspondent à notre projet.

2-2 Présentation du système

Après l'émergence et le succès des tramways modernes à partir des années 1980 en France dont Nantes et Grenoble sont les précurseurs, bon nombre de villes françaises se sont lancées dans des projets de tramways. Toutefois, pour les agglomérations de taille moyenne (inférieure à 200 000 habitants), et avec les contraintes qui pèsent aujourd'hui sur les ressources publiques, les systèmes de transports sont obligés d'adapter au plus près l'offre à la demande. C'est ainsi que des systèmes hybrides entre bus et tramways, moins coûteux et plus adaptés sont nouvellement conçus ; c'est le cas pour les villes comme Nîmes, Douais, Metz ou encore Rouen. Nous exposerons par ailleurs quelques exemples d'aménagement concernant ce dernier.

C'est dans ce contexte que naît le concept du « BHNS » (bus à haut niveau de service) correspondant à un TCSP de surfaces exploitées par un matériel roulant pneumatique comme les autobus, des trolleybus ou un système mixte utilisant un matériel roulant hybride (Irisbus Crealis etc.). Le BHNS reprend les ingrédients qui font aujourd'hui le succès des tramways modernes en les transposant sur les véhicules routiers. Le BHNS signe en quelque sorte le renouveau du bus dont l'image tendait à se dégrader dans les villes françaises. Cependant, loin d'être « un bus amélioré », le BHNS est avant tout un concept agissant sur toutes les composantes d'un système de transports : « *Le BHNS est un concept de transport collectif routier, pour des services structurants du réseau qui satisfont à un ensemble de critères d'efficacité et de performance, intégrant de manière cohérente et pérenne les stations, les véhicules, les voies de circulation, l'identification de la ligne, le plan d'exploitation.* »²

¹ D'après le compte rendu du conseil de quartier de Clagny-Galtigny, séance du vendredi 12 juin 2006

² « *Bus à haut niveau de service, concept et recommandations* » p. 15, CERTU, octobre 2005.

Le BHNS ne doit en aucun cas être opposé au mode de tramway, car ces deux modes sont complémentaires : seules les solutions techniques se différencient. Ces deux modes visent à atteindre les mêmes objectifs : un haut niveau et une haute qualité de service.

- Le haut niveau de service correspond à la quantité d'offre que le système de transports peut réaliser, c'est-à-dire une fréquence élevée, une amplitude élevée avec une capacité élevée.

- La qualité de service correspond à la qualité de l'offre que le système pourra réaliser : régularité, ponctualité, rapidité, accessibilité, information dynamique du voyageur par le biais du SAEIV.

Pour réaliser cette offre, le système du BHNS réclame :

- une priorité des bus aux feux tricolores pour limiter les temps de ralentissements ;
- une priorité des bus en section courante pour éviter tout blocage et ralentissement sur leur parcours ;
- de véritables stations (type tramway) avec quais hauts et avancés sur la chaussée pour permettre une meilleure accessibilité et optimiser le temps de stationnement ;
- un site propre lorsque la voirie le permet afin d'éviter la congestion.

2-3 Configuration du site propre

Le site propre est une des composantes essentielles du BHNS lui permettant le haut niveau de service.

Pour le CERTU : « **Le BHNS doit être considéré comme un TCSP de surface à part entière** »¹

Le site propre, lorsque celui-ci est respecté, représente un des principaux facteurs d'amélioration de la vitesse commerciale supprimant les aléas de la circulation. La régulation s'en trouve facilitée grâce à la fluidité du trafic. Cependant, son efficacité n'est effective que s'il s'accompagne d'un traitement prioritaire lors des traversées de carrefours et du passage des feux tricolores. Le site propre doit être justifié par un taux d'occupation suffisant puisqu'il est souvent perçu comme consommateur d'espace et attire la convoitise d'autres modes de transport, comme les vélos ou les taxis.

Toutefois, celui-ci doit être préconisé seulement s'il assure un haut niveau de service.

Aussi le site propre ne doit-il pas être considéré comme une finalité mais comme un moyen : en tout état de cause, l'objectif doit rester la réalisation du haut niveau de service et le site propre une solution pour y arriver.

Selon le CERTU, « *Lorsque l'implantation d'un site propre en continu ne s'avère pas possible pour les deux sens de circulation, le recours au site banal est possible, même particulièrement conseillé, sous réserve d'assurer une progression satisfaisante des bus :*

- *sans disposition particulière si les conditions de circulation aux heures de pointe le permettent ;*
- *en réalisant des couloirs d'approche des carrefours ;*
- *avec utilisation de sas munis de signalisation lumineuse, permettant aux bus de passer prioritairement par rapport aux autres véhicules ;*

¹ « Bus à haut niveau de service, concept et recommandations », CERTU, octobre 2005.

- moyennant des aménagements permettant aux bus de « rester en tête » par exemple arrêts en ligne sans possibilité de dépassement, arrêt en aval des giratoires, etc.¹».

C'est ainsi que diverses dispositions peuvent être imaginées : couloirs partiels au niveau des feux tricolores, site propre en voie unique avec affectation flexible du site dans le sens de la pointe, etc.

La position du site propre

Le site propre peut être placé à différents endroits sur la chaussée :

- **Site propre axial :**

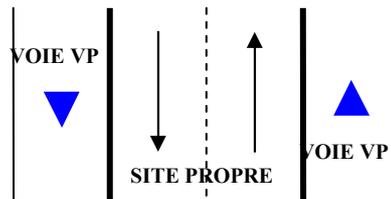


Figure 7 : Schéma site propre axial

La configuration en axiale a l'avantage de ne gêner peu les livraisons, camions de déménagement, etc. et de libérer les files de stationnement.

Nous ferons remarquer en échange que ce système nécessite un aménagement spécifique pour les stations qui devront être situées au centre de la chaussée.

- **Site propre latéral :**

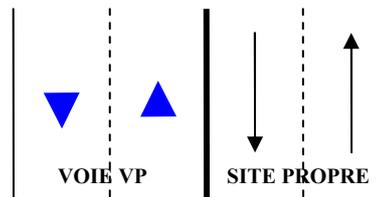


Figure 8 : Schéma site propre latéral

Cette configuration a l'avantage de ne pas dissocier les sens de circulation, en revanche il pénalise un côté en supprimant l'accès aux stationnements et aux livraisons.

- **Site propre bilatéral :**

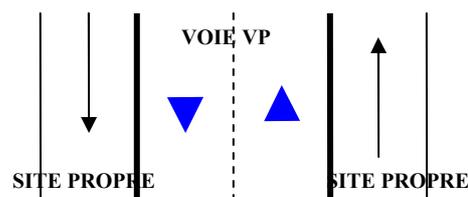


Figure 9 : Schéma site propre bilatéral

¹ « Bus à haut niveau de service, concept et recommandations » p. 44, CERTU, octobre 2005.

Le site propre bilatéral a l'avantage de ne pas nécessiter de travaux trop importants ; du reste cela est facilement réalisable. Toutefois, cette configuration est la moins efficace pour la bonne réalisation du système ; non seulement elle supprime les files de stationnement, mais elle augmente les risques d'occupations illicites du site.¹

Selon le CERTU, il n'est d'ailleurs pas recommandé de dissocier les sens de circulation du site propre : « *L'implantation bilatérale de tels couloirs peut même, dans certaines configurations, s'avérer rédhibitoire* »².

2-4 Le franchissement des carrefours

D'après l'étude de fluidité commandée par Phébus lors des études de faisabilité du TCSP Versailles-le Chesnay, 79 % des ralentissements sur ligne sont dus aux feux tricolores. Il convient donc de s'intéresser en priorité au traitement des feux dans les deux communes.

Pour les carrefours sans feux tricolores, il importe de donner la priorité à l'autobus pour que celui-ci passe en premier et ne soit pas ralenti par les flux automobiles.

Pour les carrefours ou giratoires traversés par les bus à feux tricolores, il est possible de mettre en œuvre une prise en compte prioritaire des véhicules pour que le bus tout en ralentissant, ne soit pas obligé de s'arrêter aux carrefours.

A ce sujet, le bus peut être détecté par un système de boucles magnétiques disposées sur le site propre ou par un SAE (Système d'aide à l'exploitation) centralisé contrôlant les phases des feux tricolores.

2-5 Configuration des stations

Pour un BHNS, les arrêts doivent être conçus comme de véritables stations à la manière des tramways modernes. La distance inter-station doit être plus longue qu'une ligne de bus classique pour se rapprocher des lignes de tramway urbain (entre 300 et 500 m).

Cependant « *Il ne faut pas pour autant exclure, comme pour le tramway, des inter-stations plus courtes pour des zones d'hyper centre où la fréquentation très importante, eu égard à l'espace disponible pour l'implantation des stations* ».³

La longueur des stations sera conçue en fonction de la longueur des véhicules, la fréquence maximale aux heures de pointe et/ou l'existence de troncs communs avec d'autres lignes. En ce qui concerne la largeur, la règle est de pouvoir accueillir deux personnes/m² utile, deux mètres cinquante fait figure de minimum ; trois mètres constitue une largeur acceptable.

La conception des stations doit répondre aux obligations d'accessibilité pour tous, obligations prévues par la loi sur l'égalité des droits et des chances du 11 février 2005 : « *La chaîne du déplacement, qui comprend le cadre bâti, la voirie, les aménagements des espaces publics, les systèmes de transport et leur intermodalité, est organisée pour permettre son accessibilité dans sa totalité aux personnes handicapées ou à mobilité réduite. Dans un délai de dix ans à compter de la date de publication de la présente loi, les services de transport collectif devront être accessibles aux personnes handicapées et à mobilité réduite.*⁴ » ; ainsi « *offrir l'accessibilité aux personnes handicapées profite à tous les voyageurs et permet d'optimiser la productivité*⁵ ».

¹ Etude de fluidité phase 1, Ribl et associés, ITEC Ingénieur SA, Dynalogic, 6 juillet 2001

² « *Bus à haut niveau de service, concept et recommandations* » p. 46, CERTU, octobre 2005.

³ « *Bus à haut niveau de service, concept et recommandations* » p. 41, CERTU, octobre 2005.

⁴ Loi sur l'égalité des droits et des chances, extrait de article 45, 11 février 2005

⁵ « *Bus à haut niveau de service, concept et recommandations* », CERTU, octobre 2005.

L'emplacement des stations doit faciliter la tâche du conducteur « *c'est au point d'arrêt de se rapprocher de la trajectoire du bus* »¹ « *L'approche doit être rectiligne et doit tenir compte de la longueur du véhicule* »².

Les surfaces en « bateau » doivent être exclues pour ces types d'arrêts ; le quai doit s'avancer vers la chaussée pour permettre un accostage rectiligne du bus. Il faut que celui-ci puisse s'effectuer au plus près du quai ; ce faisant, la marge d'erreur entre le bus et le quai doit être le plus faible possible.

En ce qui concerne la billetterie, des distributeurs de titres de transports peuvent être introduits directement sur les quais en station, comme cela advient fréquemment sur les lignes de tramways. Ceci permet d'optimiser le temps de stationnement des véhicules en station, et donc le temps de parcours ; de cette manière, le conducteur n'est plus obligé de vendre des titres à bord, ce qui risque de retarder considérablement le véhicule sur le parcours.

2-6 Exemple de BHNS en France

Un des exemples des plus probants dans le cadre de cette étude est l'exemple du réseau TEOR à Rouen. En effet, les lignes TEOR remplissent tous les critères d'un TCSP en mode bus (BHNS) :

2.6.1. Présentation



Figure 10 : Un bus TEOR arrive en station rue du Général Leclerc

Après une première ligne de tramway Nord-Sud mise en service en 1994, la communauté d'agglomération de Rouen s'est tournée vers un système d'autobus en site propre à haut niveau de service pour desservir l'axe Est-Ouest : le réseau TEOR. En effet, pour la communauté d'agglomération de Rouen une deuxième ligne de tramway aurait été trop coûteuse, et techniquement, difficile à mettre en place en raison des fortes pentes des terrains avoisinants.

¹ Idem

² Idem

Le principe de TEOR repose sur les principes propres au BHNS que nous venons d'exposer :

- site propre sur une grande partie du parcours ;
- stations aménagées avec accessibilité de plein pied et distributeurs de titres de transports en station ;



La billetterie automatique est implantée directement sur le quai en station

Figure 11 : Billetterie en station

- lisibilité sur le terrain ;
- Information dynamique en temps réel (SAEIV) ;



Figure 12 : SAEIV

- Prise en compte des autobus dans les carrefours à feux.

Le système TEOR est également équipé d'un guidage optique aux abords des stations afin de réduire la lacune entre les bus et le quai des stations lors des accostages : un marquage au sol spécifique est dessiné au sol qui est lue par une caméra embarquée.

Outre le fait de réduire les lacunes en station, le guidage optique a permis au système TEOR de passer du statut de transports routiers à celui de transports semi guidés, ce qui a eu comme conséquences :

- l'interdiction de toutes les catégories de véhicules (y compris vélos) sur la plateforme TEOR ;



Figure 13 : Accès réglementé de la plateforme

- une priorité absolue des autobus sur la circulation ;
- la possibilité de bénéficier des feux de signalisation R17, (les mêmes que ceux des tramways).

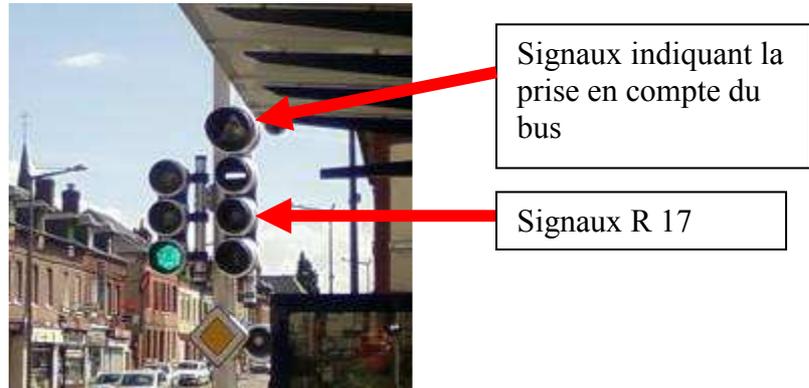


Figure 14 : Signaux routiers et spécifique tram

TEOR est composé de trois lignes (T1, T2 et T3) parcourant l'agglomération d'Ouest en Est. La vitesse commerciale moyenne est de 18-19 Km/h en fonction de la ligne ; les sites propres sur la partie Est sont encore en cours de réalisation ; par contre, la partie Ouest et le centre ville sont achevés. L'objectif de départ est donc d'obtenir la même capacité et la même qualité de service qu'une ligne tramway. On a ici affaire à une réelle transposition du concept moderne des tramways aux autobus. Les sites propres des lignes TEOR sont différents en fonction du lieu qu'ils traversent; leur configuration fait apparaître l'alternance suivante : site propre protégé, site propre réservé, alterné et site banalisé, surtout à l'Est. Parmi les différentes configurations exploitées par le réseau TEOR, nous allons relever une susceptible de nous intéresser plus particulièrement dans le cadre de notre projet : celui de la route de Dieppe à Deville à côté de Rouen.

2.6.2. Etude de cas : la route de Dieppe à Déville les Rouen

L'emprise de la route de Dieppe s'est trouvée insuffisante pour concevoir un site propre bidirectionnel à double voie. Un site propre à voie unique avec alternance de sens a donc été conçu dans cette section de telle sorte que l'autobus puisse bénéficier de la priorité aux feux à l'approche des carrefours.

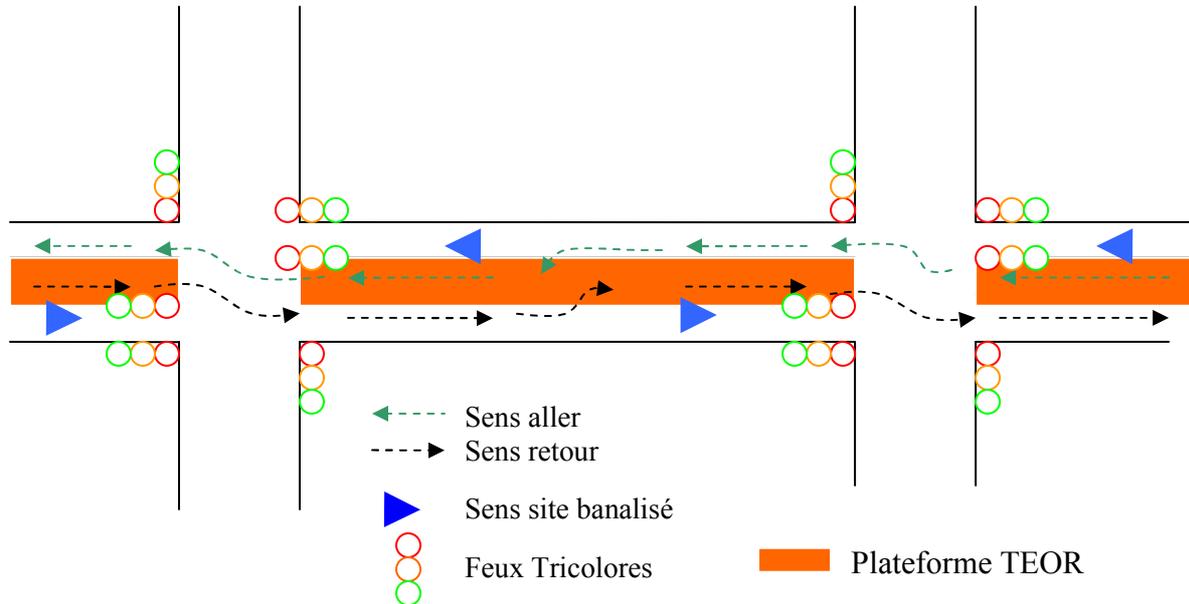


Figure 15 : Schéma de la route de Dieppe



Figure 16 : la route de Dieppe en photos

Le site propre à une seule voie est situé le long des stations ainsi qu'aux approches des carrefours afin de bénéficier de la priorité.

Le site propre est franchissable, en effet 2 à 5 cm de léger dénivelé séparent la chaussée du trafic automobile à la plateforme TEOR :



Ici, 2 à 5 cm de léger dénivelé entre les deux

Figure 17 : Dénivelé entre le site propre et la chaussée routière

Les quais des stations ont une hauteur de 25 à 30 cm pour permettre une accessibilité de plein pied sur les Agoras et Citelis qui équipent les lignes TEOR :



Figure 18 : Hauteur du quai des lignes TEOR

Nous trouvons ici un exemple éloquent d'insertion d'une ligne BHNS dans un site contraint avec un système de site propre à voie unique avec alternance de sens qui fait preuve d'originalité.

Ce système présente l'avantage de n'entraver ni la circulation ni le stationnement.

D'après la communauté d'agglomération, ce système est très efficace, et aucun problème de régularité n'est à noter dans cette partie.

Cette configuration pourra nous être utile dans l'élaboration du tracé de la voirie notamment grâce aux similitudes que comporte le cas exposé : emprise de 16 à 19 mètres, trafic de transit à double sens, places de stationnements etc.

Seconde partie :

Configuration et définition du tracé de la voirie

Dans cette partie, nous exposerons les différentes possibilités d'aménagement de cette rue de manière schématique puis nous proposerons une solution d'aménagement satisfaisant les contraintes locales que nous avons évoqué dans la première partie.

1- Choix de la configuration

Plusieurs solutions d'insertion du site propre ont vu le jour pour la rue de Versailles.

Configuration n°1

Une première solution avait été proposée par la SVTU lors des études de faisabilité : un concept innovant d'un site propre bidirectionnel sur une seule voie avec croisement aux stations et régulations par des feux :

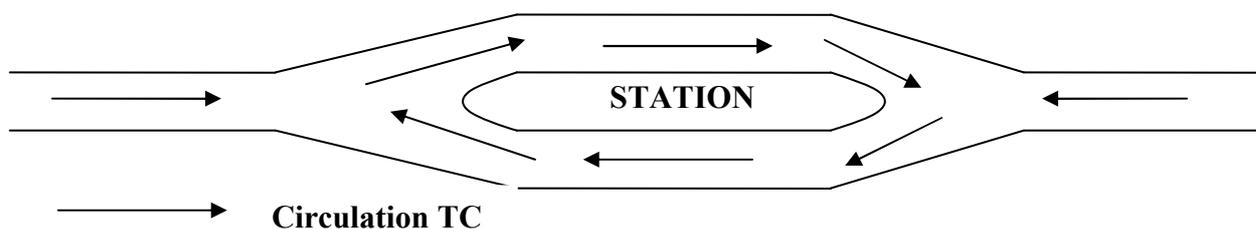


Figure 19 : Schéma de principe d'un site propre avec croisement en station

Ce scénario s'inspire du modèle ferroviaire lorsque la voie est unique et à double sens. Mais si ce système permet de ne pas remettre en cause les deux sens de circulation automobile et les places de stationnements, il a l'inconvénient de rendre difficile l'atteinte de ses propres objectifs : la régularité et la vitesse commerciale de la ligne.

En effet, les temps de ralentissement aux stations induits par ce système seraient trop pénalisants en cas de non-coordination des véhicules.

Le principal inconvénient de ce système peut être résumé par ce schéma :

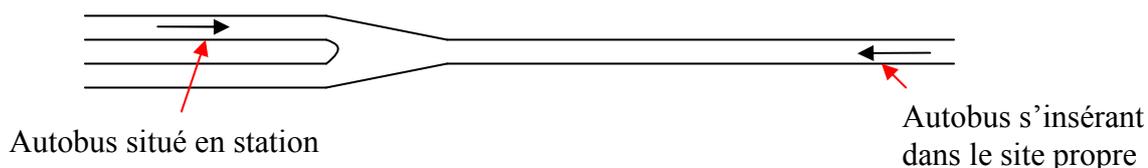


Figure 20 : Inconvénient d'un site propre bidirectionnel à voie unique

Le temps d'attente aux stations pourrait être trois fois supérieur à un temps de stationnement classique si le véhicule attend que l'autobus finisse son parcours en sens inverse.

Ce système innovant n'est rencontré nul par ailleurs mais on peut toutefois comparer celui-ci avec la circulation des autobus dans le centre ville de Dijon Rue de la Liberté où une partie de la voirie ne permet pas le croisement des autobus : les concepteurs ont dû recourir à un système de voie unique alternée par des feux situés de part et d'autre de ce « sas » par un système de boucle magnétique.

Cependant, on observe que le tronçon est beaucoup plus court (170 m) et que les stations sont situées de part et d'autre de la voie unique. De plus, dans cette partie, la vitesse commerciale y est fortement pénalisée : 8,4 km/h en moyenne.

Comme la rue de Versailles n'est pas congestionnée à cet endroit, un site propre où la vitesse commerciale des véhicules serait réduite, serait donc tout à fait inutile. Néanmoins, l'idée d'un site propre alterné en site contraint nous sera fortement utile dans l'élaboration de notre proposition.

Une autre possibilité consisterait à développer un site propre à deux voies et de rendre la rue à sens unique :

Configuration n°2

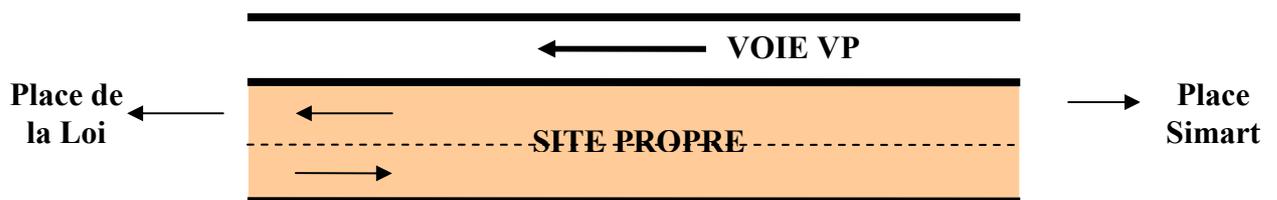


Figure 21 : Schéma site propre bidirectionnel à double voie avec voie VP à sens unique

Ce projet est le plus radical de tous, puisqu'il propose un site propre protégé à double sens.

Cette prise de position est tournée davantage vers la bonne réalisation du système de transport.

Cependant, nous pensons que cette proposition serait difficilement acceptable pour les riverains et les commerçants, compte-tenu de la place réservée au site propre alors que celui-ci est conçu uniquement pour un débit de 24 bus à l'heure aux heures de pointes sur une partie non congestionnée. **Le taux d'occupation n'est donc pas suffisant pour réaliser ce style de configuration.**

Ce scénario a également l'inconvénient de pénaliser un côté commerçant par rapport à l'autre en supprimant une file de stationnement et les places livraisons sur le même côté.

Avantages :

- le système du BHNS est ici tout à fait opérant si le véhicule dispose d'une priorité au feu.
- Avec cette configuration, une vitesse commerciale élevée peut être assurée.

Inconvénients :

- suppression d'une file de stationnement ;
- suppression d'un sens de circulation ;
- aucune place de livraison n'est prévue sur le côté Est de la rue ;
- un trop grand espace est consacré au site propre comparé au taux d'occupation prévu (24 bus à l'heure aux heures de pointes)

Configuration n°3

Une seconde possibilité est de garder deux sens de circulations pour la voie VP mais de supprimer un sens du site propre pour le TCSP :

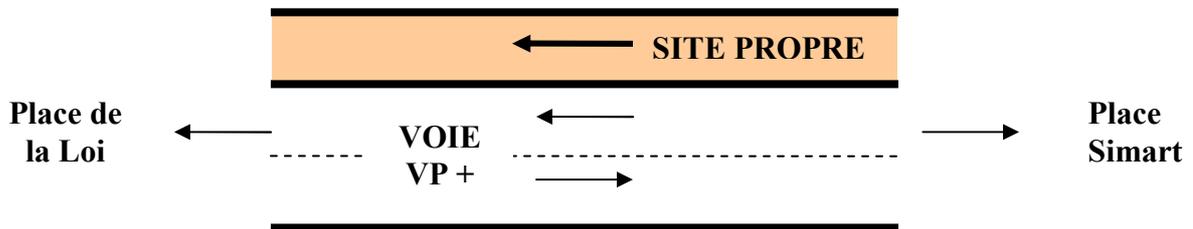


Figure 22 : Schéma site propre unidirectionnel avec voie VP à double sens

Ce projet est une sorte de compromis entre la circulation, le stationnement et le site propre. Toutefois, si le sens du site propre Nord > Sud est avantageux, ce n'est pas le cas pour l'autre sens, ce qui pourra amener des difficultés d'exploitation. D'autre part, le fait de placer le site propre de façon latérale oblige à supprimer des files de stationnement et des places de livraison sur le même côté ; les risques d'occupations illicites du site s'en trouvent augmentés.

Avantage :

- le système peut disposer d'une bonne fiabilité dans le sens Nord > Sud si le véhicule dispose d'une priorité au feu.

Inconvénients :

- le sens Sud > Nord est pénalisé ; les difficultés d'exploitation dans ce sens se poseront sans doute et pourraient également se répercuter dans l'autre sens.
- suppression des stationnements sur le côté Ouest ;
- aucune place de livraison n'est prévue côté Ouest.

Configuration n°4

Lors d'une concertation préalable en 2006, le projet suivants avaient été exposés : les sens de circulation sont dissociés entre le site propre et la voie de circulation. Les deux voies sont rendues à sens unique.

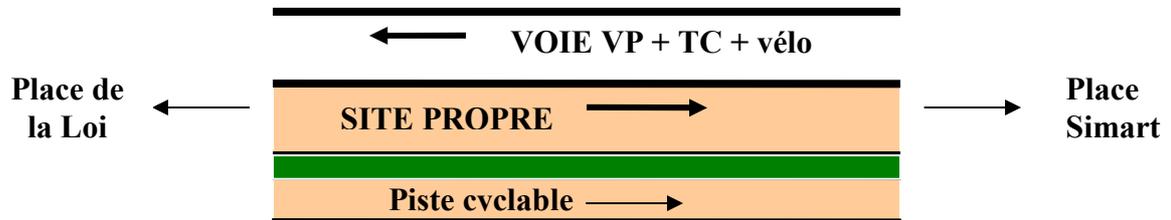


Figure 23 : Schéma site propre unidirectionnel avec voies VP à sens unique

Cette configuration est l'inverse du projet « numéro 2 » : le site propre est placé de l'autre côté pénalisant aussi le sens Nord > Sud.



Figure 24 : Perspective de la rue de Versailles vers la place Simart¹



Figure 25 : Le site propre place de la Loi entre l'avenue du Général Leclerc et la rue de Versailles²

¹ Image de synthèse réalisée par le groupement des bureaux d'études Dubus_Richez, Transitec et Arcadis

² Idem

Voici en détail ce que nous pouvons noter des avantages et des inconvénients de ce type de configuration pour chacun des acteurs empruntant la rue :

Tableau I : Avantages et inconvénient d'un site propre unidirectionnel et une voix VP à sens unique

Acteurs	Avantages	Inconvénients
Piétons et riverains	<ul style="list-style-type: none"> - La largeur des trottoirs est revue à la hausse ; le piéton dispose de plus de place qu'actuellement. - La marche est facilitée, la mobilité sur la rue est encouragée pour les riverains. 	<ul style="list-style-type: none"> - La promiscuité entre le site propre et le trottoir du côté droit paraît dangereuse.
Usagers Voitures particulières	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution générale du trafic du fait de la suppression d'un sens de circulation. 	<ul style="list-style-type: none"> - Suppression d'un sens de circulation, obligation de contourner le quartier dans le sens Sud > Nord. - Augmentation du trafic dans le sens Nord > Sud ; possible congestion. - Impossibilité de faire stationner son véhicule côté Est : ceci pourrait poser des problèmes pour les commerçants en cas de livraison (augmentation des risques d'occupations illicites)
Commerçants		<ul style="list-style-type: none"> - Aucune place de livraison sur le côté Est. - Aucune place de stationnement sur le côté Est pour les clients. - La suppression d'un sens de circulation peut entraîner une baisse de clientèle.
Usagers Vélos	<ul style="list-style-type: none"> - Le vélo dispose d'un site propre dans le sens Sud > Nord lui facilitant aussi sa circulation. 	<ul style="list-style-type: none"> - Le sens Nord-Sud est, quant à lui, inséré entre les places de stationnement et la voie de circulation, ce qui peut paraître dangereux si un véhicule sort de sa place de stationnement.
Transports en commun	<ul style="list-style-type: none"> - Bonne fluidité du sens Sud > Nord si les bus disposent d'une priorité au feu. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sens Nord > Sud en difficulté car situé en site banalisé par rapport à l'autre sens. - Le site propre peut être occupé de façon illicite si rien n'est prévu pour les livraisons côté Est. - la régularité de la ligne toute entière peut être affectée à cause de la dissociation des sens.

Dans les paragraphes suivants, nous réfléchissons sur la possibilité de supprimer un sens de circulation afin de savoir s'il convient à la physionomie du quartier. L'objectif sera de trouver une solution pour maintenir un trafic de transit sans le dissocier du trafic local afin de garder le dynamisme des activités commerciales.

2- Prescription Générale

2-1 Etude de cas : suppression d'un sens de circulation

En supprimant un sens de circulation dans la rue de Versailles, un nouveau plan de circulation a été élaboré comme affiché ci-dessous :

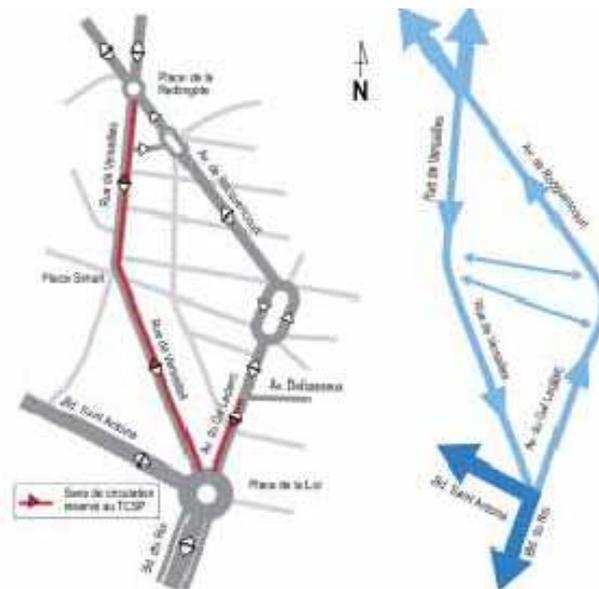


Figure 26 : Plan de circulation du quartier¹

Les sens de circulation sont dissociés entre la rue de Versailles dans le sens Nord > Sud et avenue de Rocquencourt et rue du Général Leclerc dans le sens Sud > Nord.

D'après le bureau d'étude, avec cette configuration, les flux automobiles devraient s'équilibrer : 8 100 véhicules/jour rue de Versailles et 6 100 rue du Général Leclerc au lieu de 10 000 rue de Versailles et 4 800 rue du Général Leclerc actuellement.

Cependant, la mise en sens unique de la rue de Versailles n'était pas inévitable. En effet, entre « place Simart » et « place de la Loi », la largeur de la rue qui est de 19,8 mètres est en théorie suffisante pour contenir un double sens de circulation et un site propre bidirectionnel.

Nous pensons que plusieurs raisons ont pu expliquer la suppression de ce sens de circulation par les bureaux d'études :

La première et principale raison consiste dans la largeur contraignante de la rue (12,60 mètres en moyenne) sur le tronçon suivant entre la place Simart et la place de la Redingote. La dimension de la voirie ne permet plus l'insertion de site propre et oblige, pour garder un site propre continu, la suppression d'un sens de circulation. Entre la place de la Loi et la place Simart, la dimension de la voirie le permet mais il serait incohérent de retrouver les deux sens uniquement sur cette partie.

¹ Source : Dubus_Richez / Transitec / Arcadis

De plus, la place retrouvée par la suppression d'un sens de circulation permet ensuite :

- la création d'un site propre vélo ;
- l'élargissement des trottoirs pour les piétons ;
- l'implantation d'une rangée d'arbres.

Cependant, d'après le CERTU : « *remettre des rues à sens unique revient à une politique dépassée des années 70* », qui plus est, « *la mise en sens unique augmente le trafic local de moitié pour chaque sens¹* ».

Cette considération est vérifiée par le présent bureau d'étude, puisque le trafic est estimé à 8 100 véhicules par jour. Il n'est donc pas réduit de moitié (5 000 véhicules par jour) comme on pourrait le penser.

La rue de Versailles se retrouverait donc avec un trafic globalement diminué mais paradoxalement un trafic deux fois plus élevé dans le sens Nord-Sud.

Si nous prenions en compte cette hypothèse, le trafic de la nouvelle ligne à haut niveau de service se retrouverait fortement perturbé dans le sens Nord-Sud, comme il n'existe pas de site propre à cet endroit.

Cette hypothèse se vérifie si l'on prend comme exemple la mise en sens unique d'une partie de l'avenue de Rocquencourt, ce qui a fait déporter le trafic vers la rue Versailles, créant ainsi des ralentissements.

En ce qui concerne l'exploitation, le fait de porter atteinte au sens Nord-Sud serait une erreur stratégique pour la bonne opération du système. En effet, le site propre proposé dans cette configuration offre peu d'avantages par rapport à une configuration en site banalisé.

Ainsi, le risque de mettre l'exploitation en difficulté est trop important pour permettre la bonne réussite de nos objectifs (haut niveau de service, régularité, rapidité, confort etc.) : si le sens Nord-Sud reste en site banalisé, la promiscuité avec le stationnement et la circulation dense augmenterait les chances de ralentissement sur cette section, le sens Nord-Sud serait pénalisé.

Ceci n'est pas une solution viable pour la bonne opération du système transport que nous avons déterminé : l'approche globale du système doit se maintenir sur l'intégralité de la ligne.

2-2 Caractéristiques d'une zone 30

Selon l'article R.110-2 du code de la route, la zone 30 désigne « *une section ou un ensemble de sections de routes constituant une commune, une zone de circulation homogène, où la vitesse est limitée à 30 km/h et dont les entrées et sorties sont annoncées par une signalisation et font l'objet d'aménagements spécifiques* ».

Pour limiter la vitesse, les aménageurs ont recours à plusieurs méthodes :

- utiliser des ralentisseurs ;
- effectuer des rétrécissements de la chaussée ;
- mettre un revêtement d'une couleur différente.

Le tracé en chicane de la rue de Versailles séparé de toute vie n'empêche pas un certain confort de conduite et permet une vitesse élevée. Le terre-plein central composé de végétations et de peupliers obstruant la visibilité des automobilistes et des piétons rend dangereuse la traversée de la rue.

¹ Entretien avec le CERTU du 10 juillet 2007.

D'après la sécurité routière, « les chances de survie après un impact frontal à 50 Km/h sont évaluées 20 % tandis qu'à 30 Km/h, les chances de survie sont évaluées à 90% »¹.

Mais plus qu'une simple limitation de vitesse, la zone 30 est un concept : promouvoir la vie locale, sécuriser les déplacements, adapter la vitesse : la zone 30 doit obliger l'automobiliste à s'adapter au milieu qu'ils traversent. Ainsi, le piéton est prioritaire et l'espace en zone 30 ne nécessite, en principe, ni passages pour piétons, ni marquage au sol. L'une des particularités de notre proposition consiste à mettre en valeur les fonctions urbaines par rapport à la circulation motorisée ; les notions de vivre, habiter, commercer sont au cœur du système. Dans notre optique, l'automobiliste doit sentir qu'il pénètre dans le centre ville, là où l'espace de vie est dense.

En ce qui concerne le fort trafic de transit, certaines régions de France ont démontré qu'il était possible de convertir des rues à fort gabarit avec un trafic élevé de plus 15 000 voyageurs par jour à des zones 30, comme à Montélimar dans les Alpes provençales².

De même, la faisabilité d'un système BHNS en zone 30 a montré dans le centre ville de Rouen qu'il avait toutes ses chances de se réaliser. De plus, ce centre ville correspond à un centre urbain d'un échelon bien supérieur à notre zone d'étude. Ce système de transport a prouvé qu'il pouvait cohabiter harmonieusement avec ce genre de configuration. La disposition du site propre n'est donc pas contraire à l'efficacité de la zone 30 dès lors que les autobus respectent ce dispositif.

Pour inciter les automobilistes à diminuer leur vitesse, certaines dispositions peuvent être entreprises comme le revêtement en coloris différenciés entre les trottoirs, les stationnements, le site propre et la faible largeur des voies.

L'impact psychologique et l'aspect dissuasif de ces configurations sont des moyens probants pour réduire la vitesse des automobiles et permettent d'harmoniser piétons et véhicules.

2-3 Le cas du stationnement

Dans la première partie, nous avons vu que la rue de Versailles était emprunter majoritairement par un trafic de transit.

L'objectif est donc de réduire la part d'utilisation de la voiture particulière au profit des transports en commun. Pour cela, le PDUIF préconise la réduction de places de stationnement : « un moyen essentiel pour diminuer l'usage de l'automobile tient dans la politique de stationnement, la possibilité offerte aux salariés de certaines entreprises de garer leur véhicule sur leur lieu de travail les encourage à prendre leur voiture. Or, ces emplacements sont de plus en plus nombreux. A l'inverse, disposer de la faculté de se garer pendant la journée sur son lieu de résidence dissuade d'utiliser la voiture »³.

Les riverains possèdent un grand parking en-dessous de l'ancienne « ZAC des Deux Frères » avec un nombre suffisant de places de stationnement pour couvrir leur demande : les places de stationnement rue de Versailles ne sont donc pas nécessaires.

¹ Selon le site « www.securiteroutiere.equipement.gouv.fr »

² « Les zones 30 en France, bilan des pratiques en 2000 », CERTU, rapport d'étude, 2003

³ Selon le PDUIF, 2000

Cependant, la pression de nombreux commerçants rue de Versailles nous pousse à garder, au moins le même nombre de places de stationnement qu'aujourd'hui dans la rue, c'est-à-dire 66 places.

Afin d'éviter que ces places soient vite occupées, un « turn-over » efficace devrait être assuré.

Un nombre plus élevé de places de livraison semblerait également plus adapté dans la rue, pour limiter les stationnements en « double file » des camionnettes de livraison pendant la journée.

2-4 Le cas du vélo

La place du vélo apparaît ici comme l'unique avantage de cette configuration. Pourtant, dans la première partie, nous avons observé que le schéma de principe des circulations douces ne mentionnait pas la réalisation d'un site propre vélo rue de Versailles. Si le vélo a aujourd'hui une place de plus en plus privilégiée dans les politiques actuelles d'urbanisme, il n'en demeure pas moins regrettable de pénaliser les autres modes de transport à son seul profit. Si nous pensons que la place du vélo sur la voirie doit être prise en compte et, le plus souvent, l'intégrée au projet de transports de surface, le vélo ne doit, en aucun cas, remettre en cause le bon fonctionnement du système du BHNS si ces deux modes de transports ne peuvent coexister sur la voirie. **Comme, dans le cas du site propre en matière de transports collectifs, le site propre en matière du vélo ne constitue pas une finalité et une priorité en soi.**

Il est important que la configuration n'entrave pas le système de transport ni les différents acteurs des quartiers qui sont la priorité du projet.

La présence de commerçants dans la rue nous amène donc à prévoir des places de stationnement sur les deux côtés de la rue. Par ailleurs, pour diminuer l'effet de coupure, il serait intéressant de concevoir ces places sur un revêtement identique aux trottoirs. Ainsi, c'est la voiture qui se place sur l'espace du piéton et non l'inverse. Le piéton aura l'impression d'être sur un vaste espace piétonnier ; quant aux automobilistes, ils auront l'impression de s'immiscer dans cet espace, limitant leur vitesse respective.

2-5 Choix des critères

Ainsi, ces analyses nous permettent de constituer les critères suivants dont il faudra prendre en compte dans l'élaboration de notre solution d'aménagement :

- **La rue de Versailles doit être remise en ligne droite :**
 - pour permettre aux bus de se croiser ;
 - pour redonner une certaine visibilité aux riverains ;
 - pour sécuriser la traversée de la rue.

- **Les deux sens de circulation doivent être maintenus**
 - pour ne pas entraver la dynamique du quartier et ses commerces ;
 - pour éviter d'augmenter le trafic dans un sens de circulation et pénaliser ainsi la régulation de la ligne.

- **Le système de transport doit être conçu selon les principes du « BHNS », c'est-à-dire :**
 - avec une prise en compte prioritaire aux carrefours à feu ;
 - des stations aménagées ;

- une identification spécifique sur le terrain ;
- un site propre si celui-ci est nécessaire pour la bonne fluidité du trafic.

- **Le stationnement sur les deux côtés de la rue doit être maintenu :**
 - pour améliorer la desserte des commerçants sur le quartier ;
 - pour éviter la suppression de places de livraisons et éviter de pénaliser les commerces.

- **Les espaces piétonniers doivent être agrandis et revalorisés**
 - pour une meilleure fluidité des axes piétonniers dans la rue ;
 - pour améliorer et dynamiser l'espace de vie du quartier autour de la rue ;
 - pour dynamiser l'espace commerçant du quartier.

Il est très probable que la remise en ligne droite et le maintien des deux sens de circulation de la rue favorisent une vitesse élevée ; c'est pourquoi les futurs aménagements devront prendre en compte ces effets, et il serait approprié de concevoir de nouveaux dispositifs pour diminuer la vitesse des automobiles.

Les enjeux de la rue sont ainsi de concilier commerçants, riverains, voitures et transports en commun dans un même espace de vie sans que l'un d'eux devienne contraignant.

Comment trouver le bon équilibre ?

De quelle manière faire cohabiter de façon harmonieuse voitures, transports en commun et piétons ?

Dans cet « écosystème » où la vie locale est prépondérante, la priorité doit revenir au piéton ; c'est celui-ci qui doit être au centre de notre préoccupation.

Pour cela, nous proposons de passer la rue en zone 30.

3- Notre proposition d'esquisse

3-1 Dimensionnement de la voirie

L'emprise de 19,8 mètres de la rue de Versailles doit donc permettre la réalisation de deux sens de circulation, deux files de stationnement, un élargissement des trottoirs tout en permettant une régularité optimale du parcours du BHNS.

Ce qui induit :

- Deux voies de circulation -> $2 \times 3 \text{ m} = 6 \text{ m}$
- Deux larges trottoirs -> $3 \times 2 \text{ m} = 6 \text{ m}$
- Deux files de stationnement -> $2 \times 2 \text{ m} = 4 \text{ m}$

Au total, 16 mètres sont consacrés aux voitures particulières ; trois mètres de trottoir aux piétons, ce qui nous laisse 3,8 mètres.

Pour bénéficier de la priorité aux feux, le BHNS doit pouvoir bénéficier d'un couloir spécifique : un « sas » pour lui permettre de doubler la file d'attente et de passer devant les véhicules arrêtés aux feux tricolores. Un site réservé serait nécessaire en amont des carrefours. Les 3,8 mètres dont nous disposons vont permettre de concevoir un site propre sur une voie pour les trois quarts du parcours, avec alternance de sens, pour permettre aux véhicules roulant de bénéficier de la priorité aux carrefours aux deux extrémités de la rue. Cette configuration s'inspire de la route de Dieppe à Rouen sur le tracé du TEOR.

Voici un schéma récapitulant notre idée :

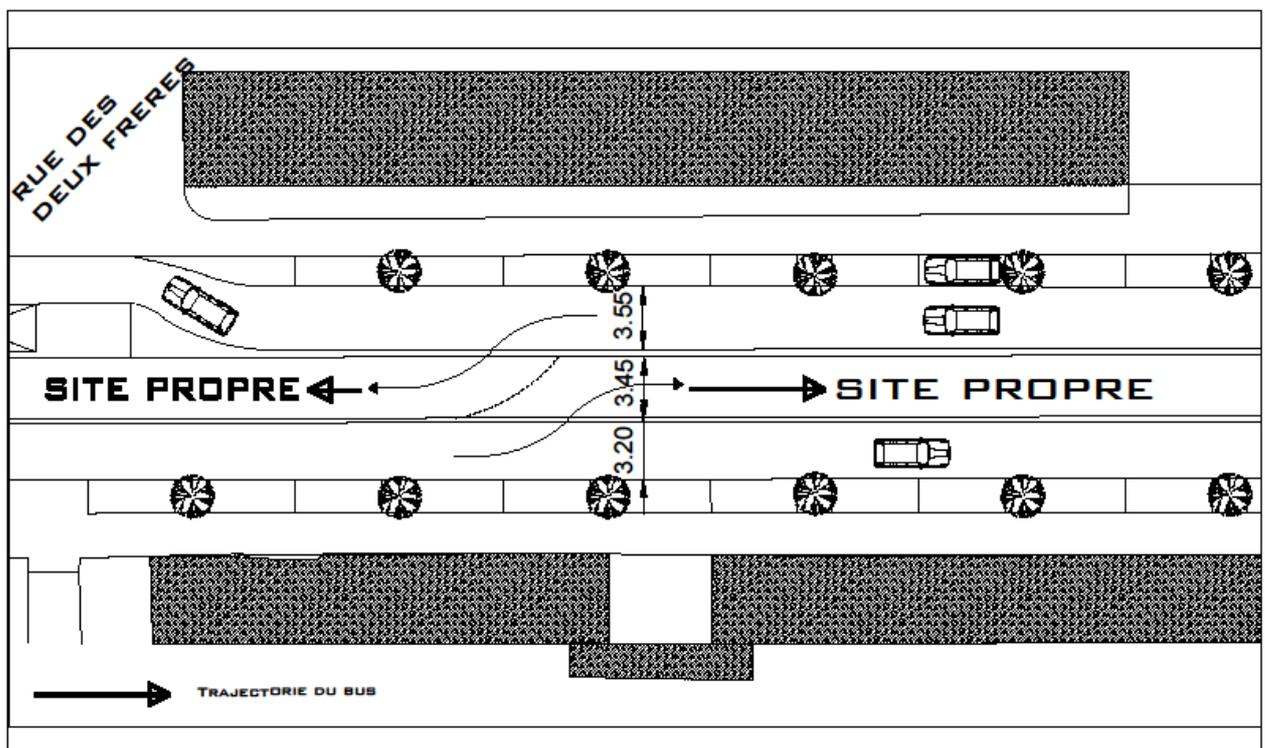


Figure 27 : Schéma de principe du fonctionnement du site propre

La position axiale du site propre permet de garantir une desserte optimale des riverains et d'éviter de pénaliser l'accès au stationnement et aux places de livraisons.

Afin de diminuer la vitesse, nous estimons que la largeur de la chaussée peut être diminuée pour mesurer 2,8 mètres pour la voie VP ; le site banal et le site propre ne peuvent par contre descendre en-dessous de 3,2 mètres pour le passage du matériel roulant.

En privilégiant la largeur du trottoir et en maintenant les deux files de stationnements, voici les dimensions de voirie que nous proposons :

- Emprise moyen de la rue : 19,8 m
- largeur Chaussée VP : entre 2,8 et 3 m
- largeur Chaussée VP + TC : entre 3,2 et 3,5 m
- largeur site propre : 4 m (3,2 m pour la chaussée et 2 x 0,4 m pour les séparateurs)
- largeur trottoirs : entre 2,5 et 3 m

Dans notre exemple, le passage à une zone 30 induit un rétrécissement de la chaussée à 2,80 mètres ne pouvant concevoir des ralentisseurs avec le passage des bus en site banal.

Mais le dimensionnement de la voirie est configurable en fonction des priorités : des trottoirs de 2 m 50, voir 2 mètres peuvent également être imaginés ; les chaussées VP y seraient considérablement élargies mais cela serait contraire aux aménagements d'une zone 30.

Cependant, une chaussée en-dessous de 2,50 mètres aurait des incidences négatives sur la circulation des camionnettes de livraisons bien que ceci soit possible si le franchissement du site propre est réalisable.

Ainsi, il est préférable que le site propre soit franchissable afin de garantir une traversée plus confortable pour les piétons, et de permettre une déviation de trajectoire en cas d'obstruction de la rue.

Pourtant, une faible hauteur de vue bordée par des séparateurs est souhaitable pour éviter tous abus ; **le franchissement du site propre doit avant tout être dissuasif. La plateforme du site propre doit être identifiable dans le paysage du quartier.** Celui-ci serait avantagé s'il était surélevé de deux à cinq centimètres par rapport à la chaussée.

Egalement, la plateforme du site propre gagnerait à être identifiée par une couleur très distincte.

3-2 Configuration de la section courante

Selon la logique de notre proposition, en disposant du site propre, les autobus peuvent devenir réguliers en évitant d'être ralentis par la circulation et en ayant la priorité aux carrefours.

Pour assurer leur régularité en site banal, il nous paraît important que les autobus évitent tous ralentissements à cause du trafic automobile : pour cela, ils devraient pouvoir s'insérer en priorité dans la rue et arriver en premier. D'après le C.E.R.T.U. : « *Tout le système du BHNS en site banal réside dans cette idée : « le bus doit toujours être le premier et les voitures derrière celui-ci »*¹. Ceci implique une prise en compte prioritaire des autobus aux feux tricolores en amont de la place Simart : les autobus arrivant rue de Versailles sont ainsi seuls sur la voirie et dégagés de toute circulation.

3-2-1 Carrefour place Simart

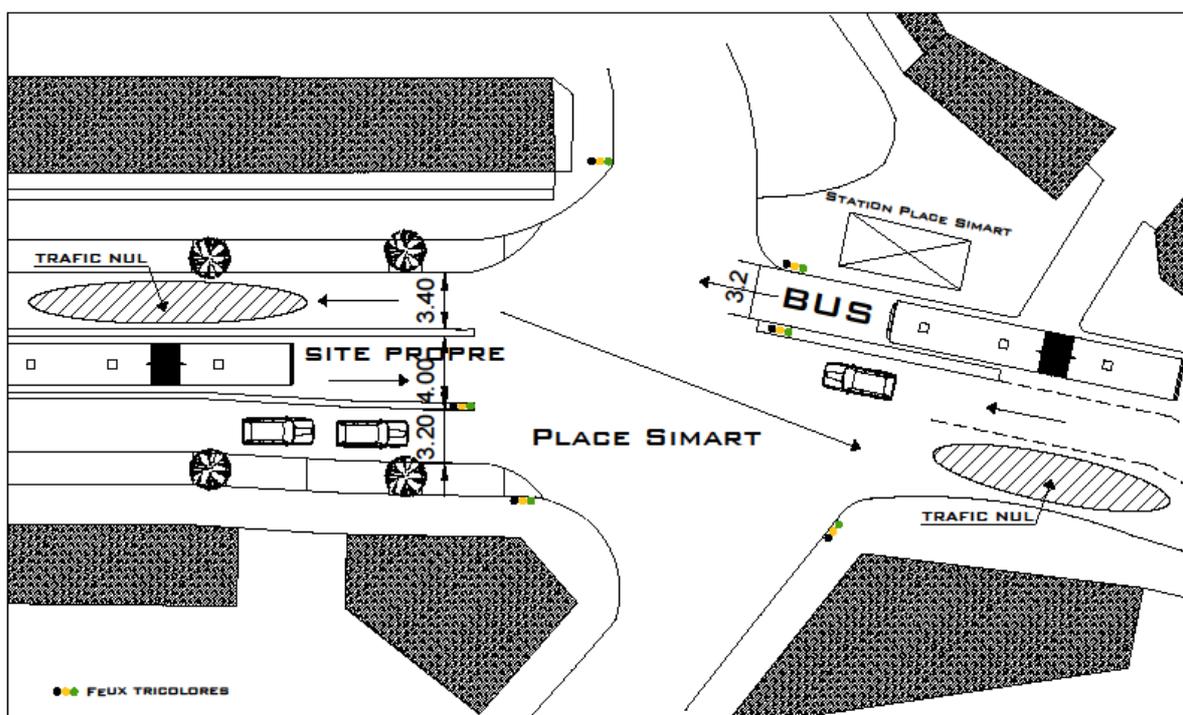


Figure 28 : Schéma carrefour place Simart

La station Place Simart est placée avant le feu tricolore : elle dispose d'une large emprise à cet endroit. Un site réservé de 20 mètres de long peut être disposé sur le côté Ouest de la rue. La station dans l'autre sens se situe à l'emplacement actuel 30 mètres plus loin.

¹ Entretien CERTU, 10 juillet 2007

3-2-2 La fin du site propre en arrivant vers la place de la Loi

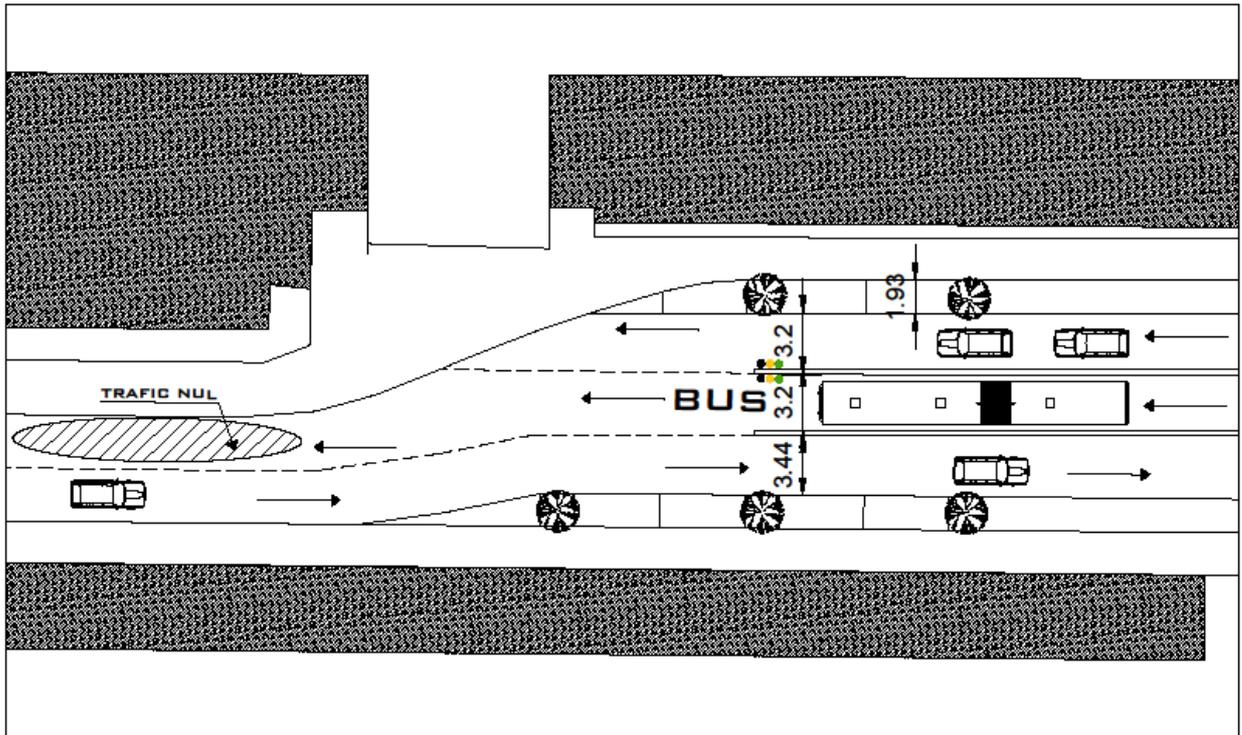


Figure 29 : Schéma rue de Versailles vers place de la Loi

Les automobiles laissent passer l'autobus qui a la priorité. Des feux tricolores peuvent y être implantés en relation avec ceux situés place de la Loi afin que l'autobus bénéficie toujours d'une fluidité de trafic assurant sa régularité. Nous reviendrons sur ce principe lors de la configuration du système de passage place de la Loi.

3-3 Configuration des stations

3-3-1 La station « Les 2 Frères »

La station « Les 2 Frères » doit s'implanter au centre de la rue dans notre périmètre d'étude à proximité de la rue des Deux Frères.

Dans le second chapitre, nous avons noté que la charge sur la ligne B est deux fois plus importante en direction de Versailles qu'en direction de Rocquencourt.

Ainsi, nous proposons d'insérer la station dans l'axe du site propre en direction de Versailles. La circulation automobile devra contourner la station par l'Ouest, ce qui permettra par la même occasion de ralentir le flux automobile.

Dans l'autre sens, la station est placée en site banal en face pratiquement en face de celle située sur le site propre. Les automobiles devront attendre derrière le bus le temps de son stationnement étant estimé entre cinq et dix secondes.

Celui-ci sera logiquement deux fois moins long qu'à la station d'en face qui bénéficie du site propre pour son stationnement.

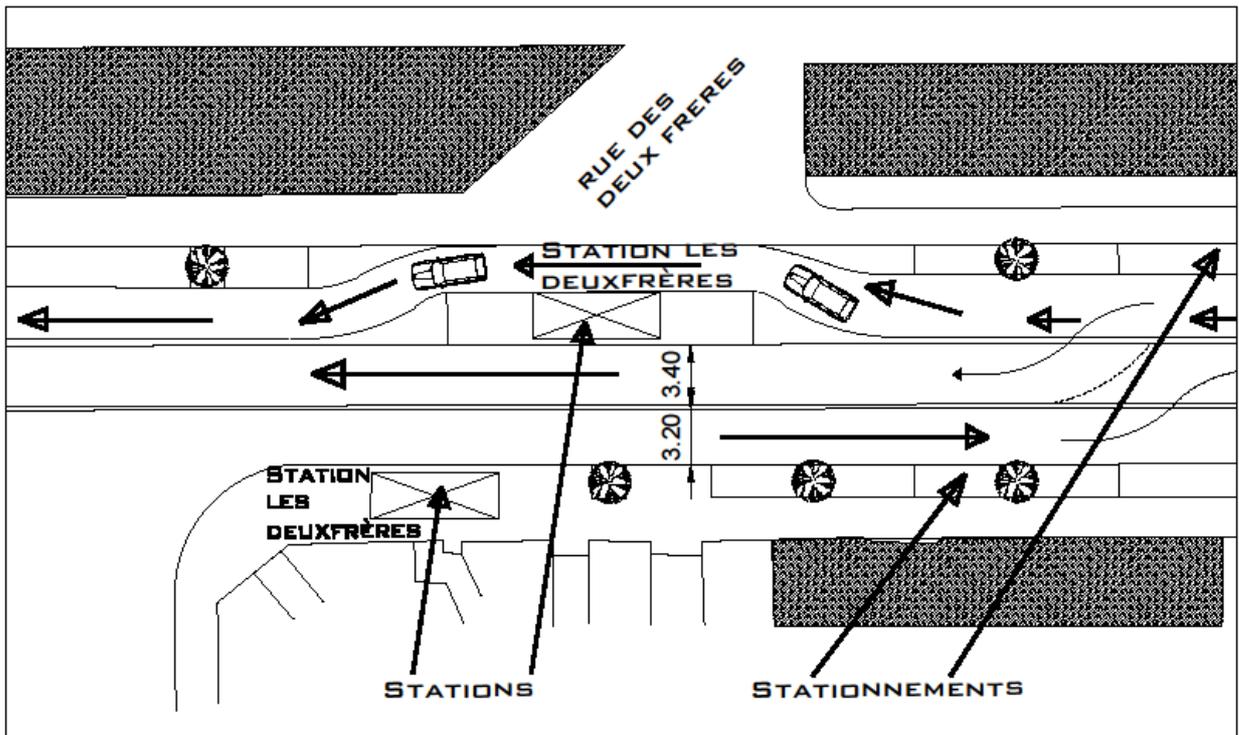


Figure 30 : Schéma station « rue des deux frères »

Estimation de la fréquentation au niveau des stations :

- Montées journalières

Tableau II : Fréquentation des trois stations concernées par le projet¹

Prévision Fréquentation / jour lundi à vendredi	Charge Nord > Sud	Charge Sud > Nord
Place Simart	372	99
Les 2 Frères	115	40
Place de la Loi	441	136
Total	928	275

- Zoom sur la station Les 2 Frères

Tableau III : Fréquentation de la station « rue des deux frères »²

Sens	Montées journalières	Descentes journalières
Direction Versailles Pont Colbert	115	40
Direction Le Chesnay Hôpital A.Mignot	40	115

Direction hôpital A. Mignot : on peut estimer que les descentes sont majoritaires : elles résultent principalement du transfert de l'arrêt « La Celle » à 100 mètres de la station « Les 2 Frères ».

Dans l'autre sens, l'arrêt est totalement nouveau : la fréquentation correspond à la zone d'influence de la station, soit un rayon de 300 mètres autour de celle-ci. La fréquentation actuelle des arrêts « place Simart » et « place de la Loi » est alors répartie avec celle de la future station « Les 2 Frères ».

Les montées aux « Deux Frères » seront logiquement majoritaires comme celles des stations « Place Simart » et « Place de la Loi ».



Figure 31 : Zone d'attractivité de la future station « Les 2 Frères »

¹ Chiffre Phébus

² Chiffre Phébus

Il faudra de même que la longueur des quais des stations égale la longueur du véhicule roulant, soit 18 mètres pour un bus articulé. Il serait pertinent que la hauteur des quais soit comprise entre 25 et 30 cm pour que les usagers accèdent de plein pied à l'intérieur du véhicule roulant.

La largeur du quai central devra être au moins de 2 m 50 pour deux personnes au mètre carré utile. Nous avons pris trois mètres dans notre exemple.

L'accès à la station peut s'effectuer à l'arrière moyennant une mise à niveau de la chaussée avec le quai de la station, ce qui peut indirectement ralentir la vitesse des véhicules et sécuriser la traversée.

Le premier schéma ci-dessous nous explique cette configuration :

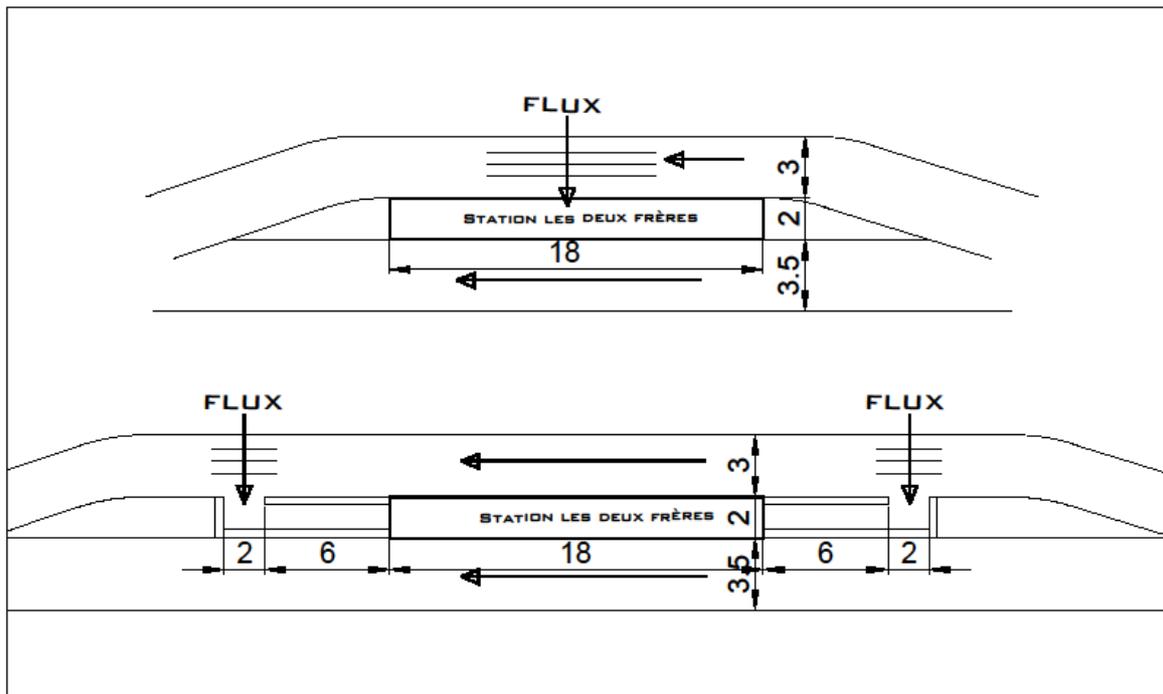


Figure 32 : Configurations possibles de la station « Les deux frères »

La traversée de la chaussée peut également s'effectuer sur les côtés par une ou deux rampes d'accès (second schéma ci-dessus) mais cela nécessitera une longueur supplémentaire :

La longueur supplémentaire est alors de huit mètres avec deux rampes d'accès et quatre mètres avec une seule rampe sur une pente inférieure à 5 %, soit une longueur totale minimum de 30 mètres.

La première solution est plus adaptée pour notre proposition car la longueur de la station épouse la largeur de la rue des Deux Frères. Une rampe d'accès sur une des deux extrémités du quai est aussi envisageable.

3-3-2 La station « place Simart »

Direction Versailles : la station est avancée d'une dizaine de mètres par rapport à l'arrêt actuel se plaçant au niveau de l'actuel kiosque à journaux qui peut être décalé de quelques mètres.

Direction Hôpital A.Mignot : la station se situe sur l'arrêt actuel, le « bateau » existant aujourd'hui est converti en quai.

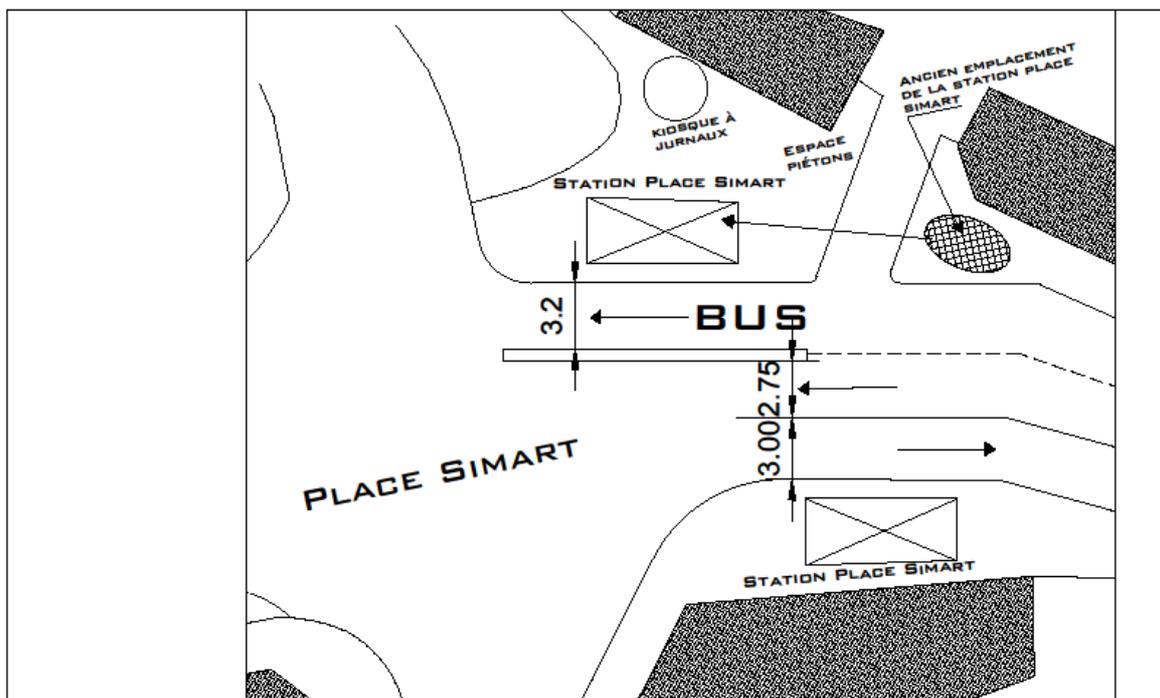


Figure 33 : Configuration de la station « Place Simart »

3-3-3 Le système de passage à la station « place de la Loi »

Le passage sur la place de la Loi est sans nul doute le point le plus sensible de l'itinéraire du TCSP. Il convient de traiter ce point avec la plus grande précaution. En effet, en cas de mauvaise coordination, le passage sur la place de la Loi pourrait vite devenir le point « critique » de la future ligne.

Les contraintes à cet endroit sont nombreuses : la largeur de l'emprise ne permet pas d'implanter de site propre en double sens afin de contourner la place de la Loi. Une seule voie est possible qui peut être utilisée pour les deux sens. L'angle aigu entre l'avenue du Général Leclerc et la rue de Versailles empêche toute visibilité. La régulation ne peut se faire uniquement à vue et oblige l'implantation de feux tricolores.

Pour garantir un cheminement optimal du matériel roulant, un feu tricolore peut être implanté lorsqu'on sort de l'avenue du Général Leclerc en correspondance avec un feu situé à l'entrée de la rue de Versailles pour laisser passer l'autobus.

Dans l'autre sens, un feu à la sortie du site propre de la rue de Versailles, en liaison avec un feu à l'entrée de la rue de Versailles et à l'avenue du Maréchal Leclerc, peut aussi être installé.

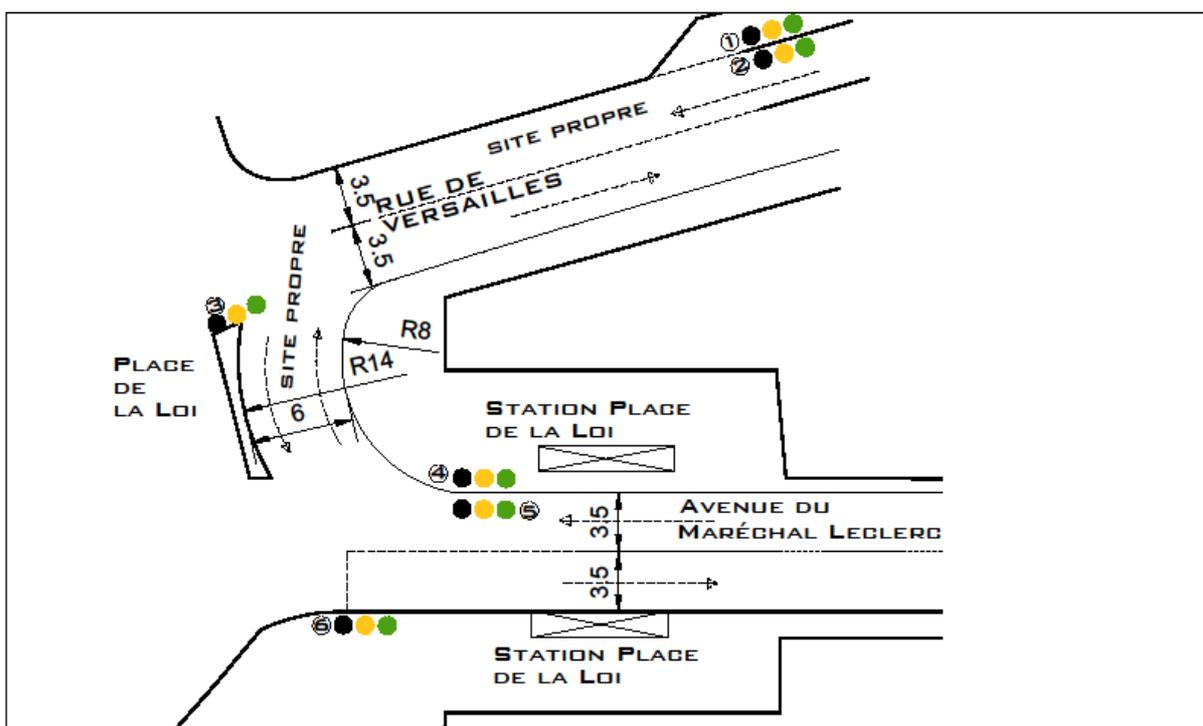


Figure 34 : Configuration de la station « Place de la Loi »

Les feux 2 et 4 sont spécifiques à la ligne ; ils régulent le passage du bus sur le site propre en détectant ceux-ci par des boucles magnétiques disposées sur la plateforme.

Les feux 1, 3, 5 et 6 sont destinés à la circulation.

Lorsque l'autobus sort de la rue de Versailles, il est détecté au feu 2, celui-ci se met au vert et tous les autres feux tricolores se mettent au rouge pour lui laisser le passage.

Lorsque dans le sens inverse, un autobus sort de l'avenue du Général Leclerc, celui-ci est détecté au feu 5, il se met au vert et les feux 2 et 3 se mettent au rouge pour lui laisser le passage.

Il se peut que les voitures particulières utilisent illicitement le site propre. En effet, l'éventualité d'un « tourne-à-gauche » ne saurait être exclue. Cet inconvénient peut être évité si le site propre est fortement identifiable par une couleur très différenciée par rapport à la chaussée mais aussi par l'installation de bornes escamotables à l'entrée du site qui s'abaissent lors des passages des bus.

3-4- Vitesse commerciale

Afin de juger au mieux l'efficacité du système transport, le calcul de la future vitesse commerciale sur cette section de ligne peut être un indicateur intéressant.

En effet, la conception des infrastructures doit pouvoir être justifiée par le gain obtenu en terme de performance. L'actuelle ligne B qui traverse le quartier a une vitesse commerciale de 12 km/h aux heures de pointe et entre 15 et 18 km/h aux heures creuses.

En général, les valeurs de vitesse commerciale pour les tramways et BHNS se situent autour de 18-20 km/h. Ceux-ci dépendent en grande partie des intervalles entre les stations et du nombre d'intersections avec le trafic routier sur la ligne.

Le tableau ci-dessous estime le temps de parcours de notre futur mode de transport.

Les valeurs de décélération et d'accélération ont été prises pour des valeurs de confort situées à 0,8 m/s². La vitesse maximale est donc de 30 km/h dans notre future zone 30 et le temps en station est fixé à 10 secondes.

Tableau IV : Temps de parcours et vitesse commerciale

Lieu	Point Métrique (m)	Temps (s)	Km/h
Place Simart	0	0	0
Vmax	28	7	30
Début décélération	227	24	30
Fin décélération	230	2	10
Arrêt station Les deux Frères	250	6	10
Sortie station Les deux Frères	250	10	0
Vmax	278	7	30
Début décélération	388	13	30
Giratoire place de La Loi	400	4	10
Arrêt station place la Loi	460	10	0
Temps total		82	
Vitesse commerciale			20,2

Soit la courbe de vitesse suivante :

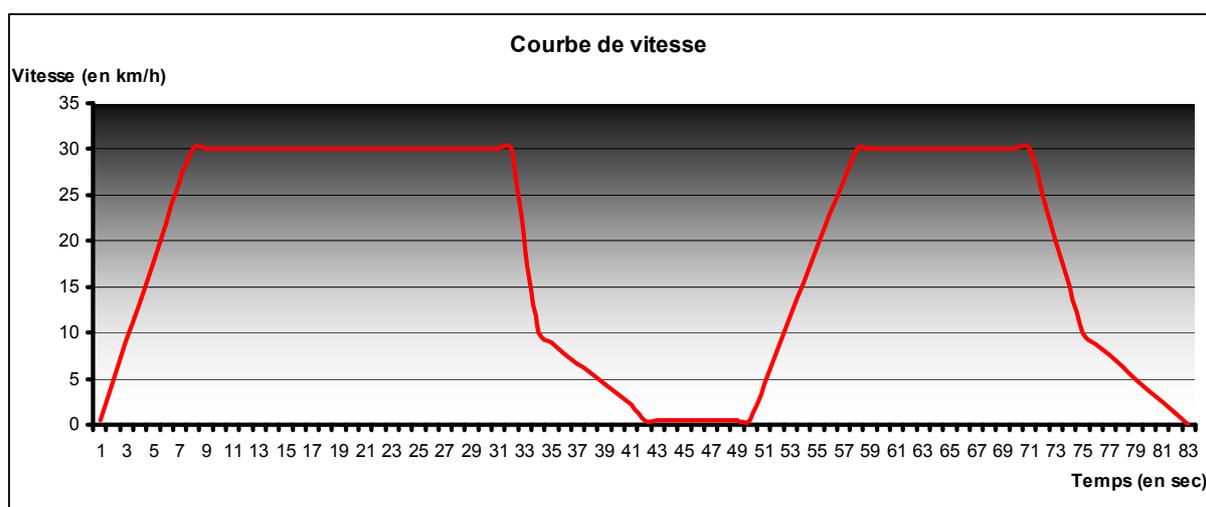


Figure 35 : Courbe de vitesse

Le temps de parcours est ainsi de 82 secondes entre la place Simart et la place de la Loi pour une vitesse commerciale de 20,2 km/h.

Nous observons ainsi que malgré la limitation de vitesse de 30 km/h, la vitesse commerciale reste très satisfaisante surtout pour un centre-ville dense.

Conclusions de la seconde partie

L'intérêt du piéton est ainsi mieux valorisé avec de larges trottoirs. La desserte de la rue est assurée sur les deux côtés de celle-ci avec des places de stationnements et des voies de circulation.

Le système du BHNS, quant à lui, est opérationnel avec un site propre sur la moitié du parcours pour chaque sens, une prise en compte prioritaire aux carrefours à feux, un temps d'arrêt optimisé aux stations et une identité propre sur le terrain reconnaissable par les riverains et automobilistes.

Ainsi, la composition de l'espace public s'articule autour du transport collectif : le site propre axial sépare les flux automobiles des deux côtés encourageant les automobilistes à réduire leur vitesse, en raison de la faible largeur de leur voie et de la promiscuité avec le stationnement et les trottoirs.

C'est la nécessité de la cohabitation de tous les modes sur la voirie qui se dégage de notre projet : chaque mode trouve sa place sur la voirie en harmonie avec les caractéristiques urbaines du quartier.

Troisième partie :

Conception et dimensionnement de la plateforme

Avant-propos

Cette dernière partie est consacrée au dimensionnement de la chaussée. Dans celle-ci nous examinerons le nouveau tracé que nous avons déterminé dans la partie précédente.

L'objet de cette partie du mémoire est de définir le type de matériaux répondant à notre cahier des charges soit les exigences que nous avons développées dans les parties précédentes. Nous nous attarderons sur la conception de la chaussée sous l'angle d'une phase d'étude ou d'esquisse. L'objectif principal est d'élaborer une structure type correspondant à la physionomie du lieu et répondant aux critères du système de transport que nous avons élaboré.

Ainsi, notre chaussée aura un double rôle, à la fois fonctionnel et structurant. Le dimensionnement des différentes couches devra tenir compte du trafic prévisionnel ; il est appelé à répondre à des contraintes urbaines liées au fonctionnement général du quartier. L'une des solutions apportées sera notamment la couleur des enrobés et une identification claire des différentes voies de circulation par les usagers.

La reconfiguration de la voirie telle que nous l'avons exposée nécessite de réaménager l'intégralité de la surface de la chaussée. Les travaux d'excavation seront déterminés en fonction du choix des matériaux et par leurs dimensionnements. Pour la bonne intégration du système, il nous faudra formuler un certain nombre de postulats de base afin de conceptualiser au mieux notre projet.

Le dimensionnement d'une chaussée est conditionné par les quatre familles de paramètres suivants : la nature et la qualité des matériaux, le sol support, le trafic et le climat.

Nous devons pour ce faire développer une méthodologie efficace afin déterminer avec soin les critères à prendre en compte pour l'ensemble de ces paramètres.

Pour le dimensionnement, nous établirons nos calculs selon le modèle de Burmister pris en compte dans l'ouvrage qui servira de référence pour cette étude : « Conception et dimensionnement des structures de chaussée, guide technique, LCPC-Setra, 1994 ».

En première partie, nous évaluerons la portance du sol support et les paramètres de dimensionnement tel que le trafic, la durée de service, les différents coefficients d'agressivité et de canalisation afin d'obtenir le nombre d'essieux équivalents (NE) nécessaire à notre calcul de dimensionnement. En second lieu, nous choisirons une structure globale pour les voies classique de circulation et le site propre. Le choix des matériaux pour les différentes couches sera déterminant pour dimensionner dans une troisième partie notre structure en tenant compte des valeurs admissibles déterminées dans la première partie. Le dimensionnement pourra servir notamment à établir des structures-types pour les autres sections du projet de BHNS.

Le logigramme suivant traduit les phases successives que nous entreprendrons :

Schéma de calcul de dimensionnement

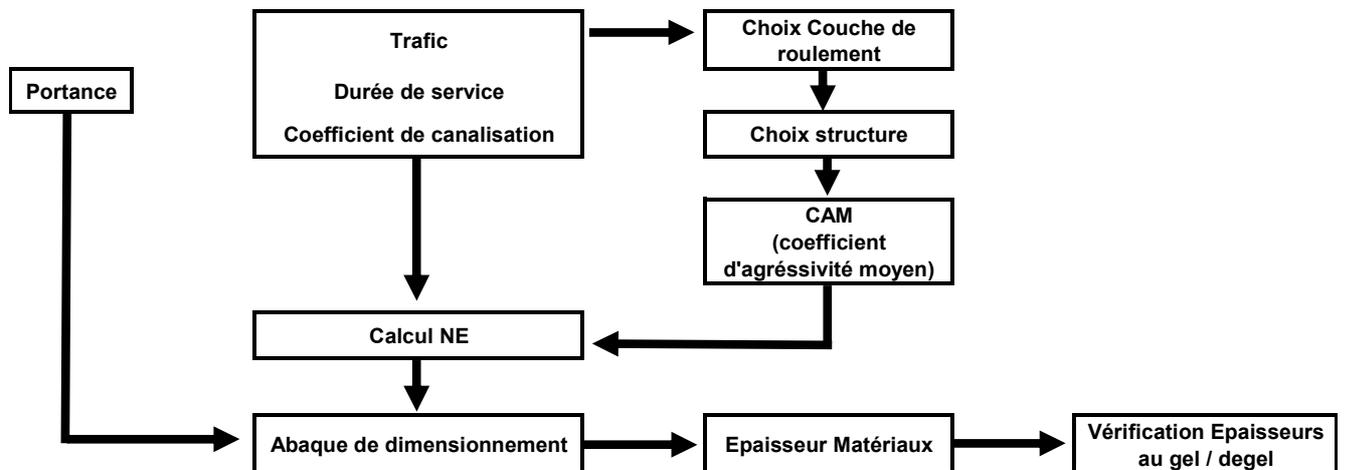


Figure 36 : schéma de calcul de dimensionnement

Notre zone d'étude se situe ainsi sur les Sables et Grès de Fontainebleau, qui constituent une formation transgressive et couvrent l'essentiel du territoire chesnaysien. En effet, ils couvrent le rebord du plateau puis tout le versant. Seule échappe à cette domination la partie sud-ouest de la commune qui a été érodée par le Gally. Le creusement du Gally a laissé une vallée sèche, car le cours d'eau s'est retiré et coule aujourd'hui plus en amont, dans les Jardins du Parc du Château de Versailles. L'ancien tracé de ce cours d'eau laisse apparaître les couches inférieures : du calcaire et des marnes, en fond de vallée sèche.

Dimensionnement de la couche de forme

En l'absence de données plus conséquentes et faute de pouvoir effectuer des études prospectives géotechniques sur place (sondages par carottage ou non-destructif), nous nous en tiendrons aux différentes documentations générales sur le sujet. A partir du type de sol, nous pouvons ainsi déterminer le type d'arase du terrassement soit la portance. Celle-ci, exprimée en MPa, correspond aux essais de portance suivants :

- essai à la plaque EV2 : NF P 94.117.1
- essai à la dynaplaque E : Méthode d'essai

Tableau V : Détermination des portances à court terme et à long terme les plus probables dans des conditions usuelles

DESCRIPTION DES SOLS	FAMILLES DE SOLS	SOLS FINS ET ARGILES		MARNO-CALCAIRES		SABLES ET GRAVES		
	Principales formations géologiques	Limos, éboulis argilo-sableux ou sablo-argileux, argiles (vertes, blanches), argiles à silex, argiles à meulière, sables infra-gypseux		Alluvions grossières, marnes, marno-calcaire (de Brie, de St-Ouen), marnes et caillasses, calcaire grossier, calcaire de Champagne		Sables et graves alluvionnaires, éboulis sableux, sables fins, sables de Fontainebleau, sables de Beauchamp		
	Catégories de sols rencontrés	- limons peu plastiques (V _{bs} ≤ 6) - argiles et marnes peu plastiques - argiles sableuses sans blocs	- Limons très plastiques (V _{bs} > 6) - Argiles et marnes plastiques - Argiles sableuses avec blocs - Argiles caillouteuses	Fraction fine élevée (> 20 %)	Fraction fine peu élevée (< 20 %)	- Sables alluvionnaires limoneux ou argileux - Sables fins argileux - Graves argileuses ou limoneuses	- Sables alluvionnaires propres - Sables fins propres (< 12 % fines)	Graves propres
	Classification géotechnique (G.T.R.) usuelle	A1 - A2	A3 - C1/A3 - A4	R1 - C1/Ai - C1/Bi	R1 - R2 - C2/Ai - C2/Bi	B2 - B3 - B6 B4 - B3	B1 - D1 *, **	D2 - D3 **
PORTANCE A COURT TERME DU SOL (estimations en MPa)	Conditions favorables - période estivale, temps sec	≥ 40	≥ 40	≥ 60	≥ 80	≥ 60	≥ 40	≥ 80
	Conditions moyennes - printemps et automne peu pluvieux, été médiocre	15 à 40	15 à 40	15 à 60	30 à 80	30 à 60	≥ 40	≥ 80
	Conditions mauvaises - période hivernale ou longue période pluvieuse	Non mesurable à 15	Non mesurable à 15	Non mesurable à 15	10 à 30	Non mesurable à 30	15 à 40	≥ 50
PORTANCE A LONG TERME	***	20 à < 50 MPa	20 à < 50 MPa	20 à < 50 MPa	20 à < 50 MPa	20 à < 50 MPa	50 à < 80 MPa	≥ 50 à < 120 MPa

Nous avons par conséquent un type de sol de niveau B2-B6 selon la classification du GTR 92. La portance à long terme varie entre 20 et 50 MPa, ce qui correspondrait à une classe d'arase de niveau AR 2 selon le GTR.

Tableau VI : Classe de l'arase de terrassement

Module de Calcul (Mpa)	20	50	120	200
Classe de l'arase de terrassement	AR 1	AR 2	AR 3	AR 4

Afin de ne pas sur-dimensionner les couches supérieures de notre structure (couche d'assise et de surface) et par conséquent alourdir le bilan économique du projet, il est préférable de débiter les calculs à partir d'une catégorie de plateforme de niveau 3 (PF 3) au minimum soit un module d'au moins 120 MPa. Cependant, dans la suite de notre étude et notamment le dimensionnement de la chaussée, nous considérerons les 2 cas : une plateforme de type PF 2 et une plateforme de type PF 3.

Pour obtenir une catégorie de plateforme de type PF3 à partir d'une catégorie de plateforme de type PF 2 une couche de forme devra être mis en place.

La classification du GTR nous permet de définir l'épaisseur de la couche de forme par rapport au type d'arase et du type de matériaux traité dans la couche de forme.

La classe mécanique du matériau de couche de forme se détermine à partir de l'abaque $R_t(\text{MPa}) / E$ (MPa) avec :

R_t : résistance en traction directe à 90 jours
 E : module d'Young

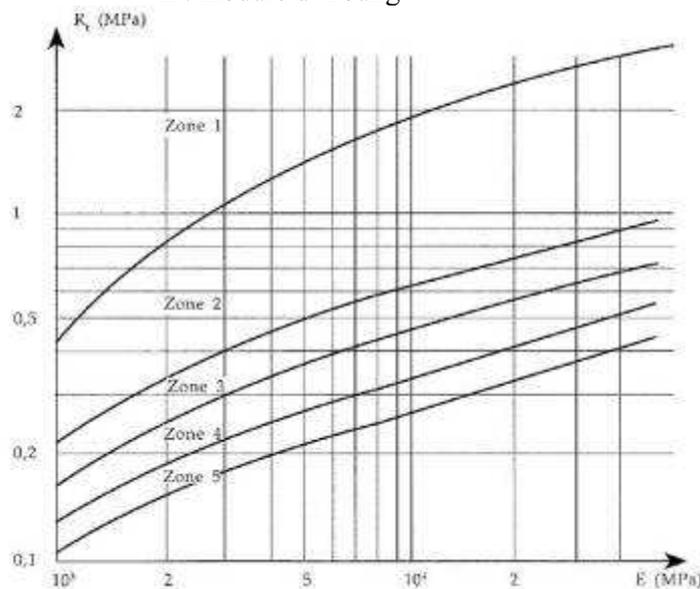


Figure 38 : Abaque classe mécanique matériau couche de forme

A partir de la classe mécanique obtenue, nous pouvons déterminer l'épaisseur de la couche de forme pour obtenir des caractéristiques mécanique d'une catégorie d'arase AR2 à une catégorie de plateforme PF 3.

Tableau VII : définition des épaisseurs de couche de forme par rapport à l'arase

Traitement en centrale	Traitement en place	Classe mécanique selon le mode de traitement
Zone 1		1
Zone 2	Zone 1	2
Zone 3	Zone 2	3
Zone 4	Zone 3	4
Zone 5	Zones 4, 5	5

Tableau VIII : Classe de plateforme en fonction de l'arase

Classe de l'arase		AR1		AR2		
		Epaisseur de matériau de couche de forme				
Classe mécanique du matériau de couche de forme	3	*	30cm	40cm	25cm	30cm
	4	30cm	35cm	45cm**	30cm	35cm
	5	35cm	50cm**	55cm**	35cm	45cm**
Classe de plate-forme obtenue		PF2	PF3	PF4	PF3	PF4

Selon le tableau ci-dessus, une épaisseur minimale de 30 cm permet un reclassement en PF3.
Si tel état le cas, le sol serait ainsi traité sur place au liant hydraulique voire à la chaux comme le mentionne le GTR 92 sur les conditions des matériaux en couche de forme.

Tableau IX : Conditions des matériaux en couche de forme

PORTANCE DE L'ARASE dans des conditions moyennes NATURE SOL	30 à 40 MPa (1)	40 à 60 MPa	60 à 80 MPa
	<u>Sols traités en place</u> - limon (sol A) traité à la chaux (0 à 3 %) et avec un liant hydraulique (5 à 8 %) - sols sablo-limoneux (type B) avec traitement adapté - sols graveleux traités avec un liant hydraulique adapté.	35 cm → PF2 50 cm → PF3 (2 couches) Cas non considéré *	35 cm → PF3 30 cm → PF3

1-2 Détermination du trafic et du coefficient NE

La première étape du dimensionnement consiste à choisir et évaluer les différents paramètres relatifs au trafic, aux charges attendues et à la durée de service.

1-2-2 Le trafic MJA

Le calcul du trafic pour le dimensionnement de la chaussée ne tient compte que du passage de poids lourds et des autobus.

Nous calculerons le trafic en fonction du nombre moyen d'autobus susceptibles de prendre chaque voie de circulation et du nombre de poids lourds estimés supplémentaire.

La voie de TCSP bus sera totalement affectée à la circulation des autobus. Un calcul moyen du nombre de passage journalier (MJA) de la future ligne à haut niveau de service sera nécessaire. Pour les voies de circulation, nous devons additionner ce calcul avec le nombre moyen journalier annuel de poids lourds susceptibles d'emprunter les voies.

Il est à noter que la commune du Chesnay interdit le transit et le stationnement des véhicules dont le poids total autorisé en charge (PTAC) dépasse 3,5 tonnes, sur l'ensemble du territoire de la ville. Les livraisons sont quant à elles interdites aux véhicules de plus de 3,5 tonnes entre 7 h et 9h30 et entre 16h30 et 19h30.

En fonction du nombre et du type de commerce, il sera possible d'évaluer le nombre de poids lourds susceptible d'emprunter la rue.

Calcul du nombre journalier d'autobus annuel (MJA) :

Tableau X : Trafic bus journalier (MJA)

Periode	Frequence (en min)	Nb bus / heure	Nb bus / jour	Nb bus / an
Lundi au vendredi HP	4	15	75	14 250
Lundi au vendredi HC	7	9	103	19 543
Extrêmes journées	10	6	12	4 380
Samedis et semaine de vacances	7	9	146	16 029
Dimanches et jours fériés	10	6	102	6 630
Total				60 831
MJA (moyenne sur l'année)				167

Concernant le nombre de poids lourds susceptibles d'utiliser la voie principale de circulation, la rue de Versailles entre la place Simart et la place de la Loi contient 49 commerces et activités. Ce sont des commerces de petite taille aux activités très diversifiées : boulangerie, pharmacie, banques, agences immobilières, retoucheurs de vêtements, pressing, bar, magasins d'ustensiles de cuisine, carreleur, restauration rapide, restaurants etc.

Nous comptabilisons seulement 8 commerces susceptibles de nécessiter l'intervention de poids lourds de plus 3,5 tonnes pour ses livraisons. Nous pouvons également ajouter un poids lourds par semaine pour le marché des deux frères le samedi.

A raison de 8 commerces et 2 livraisons par semaine, nous obtenons près de 1000 poids lourds par an soit un nombre MJA situé entre 2 et 3, ce qui est négligeable par rapport au nombre d'autobus. Nous pouvons donc prendre en considération un trafic MJA égal à 170.

1-2-2 Poids des véhicules

Les véhicules roulants qui équiperont la ligne à haut niveau de service seront de type standard urbain articulé d'une longueur de 18 mètres. Ces véhicules sont dotés de 3 essieux. Le poids total autorisé en charge (PTAC) pour ce type de véhicule est de 32 tonnes.

La répartition des charges entre les essieux sont réparties comme suit :

Essieu avant : 7,5 tonnes

Essieu milieu : 11,5 tonnes

Essieu arrière : 13 tonnes

La particularité d'une ligne de transports en commun est que les charges dans la journée ne sont pas réparties de manière linéaire. Ainsi, nous devons calculer la répartition de la charge des véhicules en fonction des périodes de la journée. Nous proposons de calculer pour 3 périodes : heures à fréquentation maximale, heures à fréquentation moyenne, heures à faible fréquentation. Il en découlera un coefficient d'agressivité différent pour chacune des périodes considérées.

Tableau XI : Distinction des périodes de fréquentation

Période	Lundi au Vendredi	Samedi et vacances scolaires	Dimanche et fêtes	Proportion
Heures à fréquentation maximale	950	-	-	14%
Heures à fréquentation moyenne	2280	1320	585	60%
Heures à faible fréquentation	380	770	650	26%

Le tableau ci-dessus fait apparaître que 14% des véhicules seront chargés à pleine capacité, 60% de moitié et 26% seront quasi-vide (moins de 10 passagers).

1-2-3 Coefficient d'agressivité

Le coefficient d'agressivité moyen (CAM) est le rapport entre le nombre de poids lourds et le nombre d'essieux équivalents de 13 tonnes. Ce coefficient dépend de la nature et de l'intensité du trafic, et aussi des matériaux composant la chaussée.

Le CAM se calcule à partir des hypothèses de répartition des charges entre les essieux avant et arrière pour chaque hypothèse de remplissage des bus.

La formule du CAM est la suivante :

$$CAM = \frac{\sum \left(\frac{p}{13} \right)^\alpha}{n}$$

avec :

p : le poids de l'essieu

n : le nombre de véhicule

α : coefficient en fonction de la structure.

α vaut 5 pour les structures bitumineuses et 12 pour les structures rigides.

Les poids des essieux pour chaque période sont les suivants :

Tableau XII : Poids des essieux

	Vide	Mi-charge	Chargé
Poids de l'essieu avant	6,5	7	7,5
Poids de l'essieu milieu	8,5	10	11,5
Poids de l'essieu arrière	9	11	13

Le calcul du CAM pour les matériaux bitumineux se décompose comme suit :

Tableau XIII : Coefficient d'agressivité moyen (CAM)

	Vide	Mi-charge	Chargé
CAM essieu avant	0,03	0,05	0,06
CAM essieu milieu	0,12	0,27	0,54
CAM essieu arrière	0,16	0,43	1,00
CAM total	0,31	0,75	1,61
CAM	0,75		

Le CAM à prendre en compte est donc 0,75. Il est de 0,28 pour les matériaux rigides type béton.

Dans le cas des carrefours giratoires, les contraintes supplémentaires dues au transfert de charge entre la droite et la gauche imposent de doubler le CAM à ces endroits.

La valeur sera donc de 1,5 pour le passage Place de la Loi.

1-2-4 La canalisation du trafic

Le calcul habituel des structures de chaussées prend pour hypothèse implicite le fait que la circulation est répartie transversalement sur une voie 3,50 m. Dans le cas d'un bus en site propre, les charges et les contraintes subies par la chaussée sont plus élevées que sur une voie de largeur standard.

Connaissant la répartition transversale du trafic sur une voie de 3,50 m, il est possible de calculer le rapport des endommagements entre la situation canalisée et la situation non canalisée. Ce calcul dépend de la structure choisie, de la nature des matériaux et de leur épaisseur. Il varie aussi selon l'intensité de la canalisation.

Nous proposerons ici un coefficient unique, quelle que soit la nature des matériaux de structure (bitumineux, traités aux liants hydrauliques ou béton) : entre 1,0 pour un trafic non canalisé et 1,6 pour un trafic canalisé.

Au niveau des points d'arrêts, les contraintes sont encore plus élevées ; cela est dû à la canalisation des charges, mais aussi aux efforts dynamiques de freinage. Le coefficient de canalisation peut être majoré de 20% par rapport au trafic canalisé pour tenir compte de ces contraintes.

Nous obtenons ainsi un coefficient de canalisation de 1,92 dans les zones situées au droit des points d'arrêts.

1-2-5 Durée de service et risque de calcul

La durée de service est la période pendant laquelle aucun entretien structurel n'est théoriquement à prévoir. Ce paramètre doit être couplé avec le risque de calcul.

Le risque de calcul sur une période de p années est la probabilité pour qu'apparaissent, au cours de ces p années, des désordres qui impliqueraient des travaux de renforcement assimilables à une reconstruction de chaussée, en l'absence de toute intervention d'entretien structurel dans l'intervalle. Compte tenu des conséquences graves de réparations ou réfections de voirie en milieu urbain, notamment en ce qui concerne les voies de transports en commun et plus particulièrement encore vis-à-vis des arrêts et des BHNS, nous jugeons opportun de choisir un risque de calcul faible de l'ordre de 5 %.

La durée de service doit être choisie en cohérence avec les objectifs de pérennité de l'aménagement urbain dans son ensemble. La rue de Versailles a été réaménagée en 1993 soit il y a 20 ans. Durant cette période, aucune modification majeure n'a été effectuée à la structure. Nous prendrons donc une durée de service de la même durée soit 20 ans.

En fonction de ces deux paramètres, nous pouvons déterminer le facteur de cumul C :

$$C = d \times \left[1 + \frac{t \times (d - 1)}{2} \right]$$

Nous obtenons par cette formule un facteur cumul de 39.

1-2-6 Taux de croissance du trafic

Les fréquences établies à ce jour sont optimales en termes d'exploitation et de fluidité du trafic sur la ligne pour les périodes de pointe. Augmenter la fréquence paraît difficile.

En revanche, la fréquence des véhicules aux heures creuses peuvent être réajustée et augmentée passant de 7 minutes à 6 minutes. Les fréquences en extrême journée pourraient également subir des adaptations passant de 10 à 8 minutes.

Nous évaluons ainsi à 10 % le taux de croissance du trafic sur 20 ans.

1-2-7 Calcul du nombre d'essieux équivalents NE

Suite à la détermination de tous les paramètres que nous avons exprimés ci-dessus, nous pouvons calculer le nombre d'essieux équivalents (NE) que la structure, pendant la durée de service, devra subir sans dommage.

La formule de calcul du NE est la suivante :

$$NE = MJA \times 365 \times C(d, t) \times CAM \times k(\text{cana})$$

avec :

d : la durée de service,

t : taux de croissance annuel,

CAM : coefficient d'agressivité moyen,

k : coefficient de canalisation.

Ainsi nous obtenons après calculs les NE suivants pour les structures souples, type matériaux bitumineux :

Tableau XIV : Nombre d'essieux équivalents (NE) pour les structures souples

NE section courante	2 854 340
NE points d'arrêts	3 425 208
NE giratoire	11 417 361

La section courante c'est-à-dire la section entre la place Simart et l'arrêt des 2 frères ainsi que la section entre ce même arrêt et la place de la Loi a une valeur de NE de 2 854 340, nous prendrons en compte 3 millions.

La section située devant l'arrêt des 2 frères a une valeur 3 425 208, nous prendrons en compte la valeur de 3,5 millions.

Le giratoire place de la Loi est utilisé par le matériel roulant dans 2 sens et les contraintes dynamiques entre la droite et la gauche impose de prendre en compte une valeur de NE de 11 417 361. Nous prendrons en compte une valeur de 11,5 millions pour les abaque que nous servirons à dimensionner la structure.

Pour les structures rigides de type béton, les coefficients NE sont les suivants :

Tableau XV : Nombre d'essieux équivalents (NE) pour les structures rigides

NE section courante	1 066 551
NE points d'arrêts	1 279 862
NE giratoire	4 266 205

Les coefficients NE d'une structure rigide sont deux à trois fois moins élevé que pour une structure souple.

Nous prendrons en compte 1 million pour la section courante, 1,5 million pour la section située devant l'arrêt des 2 frères et 4,5 millions pour le giratoire de la place de la Loi.

Concernant les voies pour les véhicules légers, compte tenu du passage de la rue en zone 30 et du changement fonctionnel en zone d'urbanité et non en zone de transit, nous estimons le nombre de passages de véhicules lourds à 100 par jour. Ce qui constituerait 2% du trafic routier et un passage à la catégorie de trafic T3+. Le NE calculé est ainsi de 1 000 000.

2- Choix des couches de surface

2-1 Données initiales à respecter

La couche de surface devra répondre à différents critères techniques. En premier lieu, celle-ci devra résister à la charge des véhicules et par conséquent aux efforts verticaux et horizontaux. Les principales caractéristiques à prendre en compte pour déterminer notre structure sont l'étanchéité, l'adhérence, la drainabilité, le confort acoustique et l'esthétique. Ce dernier critère est important dans notre projet car il est primordial que le repérage des voies et leurs identifications s'effectuent de manière aisée par les habitants et les riverains.

Egalement, une des principales caractéristiques à prendre en compte pour les voies de TCSP sont leurs résistances à l'orniérage.

Concernant la voie du TCSP, les contraintes s'appliquant sur la couche de roulement du véhicule roulant ainsi que les besoins d'identifications obligatoires de la voie de TCSP par les usagers et riverains nous amènent à orienter notre choix vers une couche de surface différente de celle prévue pour la circulation.

Afin de répondre aux exigences de notre projet, nous envisageons de distinguer 2 types de structures :

- une structure-type pour la voie de TCSP,
- une structure-type pour les voies de circulation des véhicules légers.

Un sectionnement encore plus précis de la voirie peut permettre de réduire davantage les coûts en distinguant les sections suivantes :

- une structure-type de la voie de TCSP (en rouge),
- une structure des voies de circulation avec TC (en jaune),
- une structure des voies de circulation sans TC (en vert).

A cela s'ajoute les éléments de surfaces consacrées aux trottoirs et voies piétonnes.

Le sectionnement peut être représenté schématiquement par le plan ci-dessous :

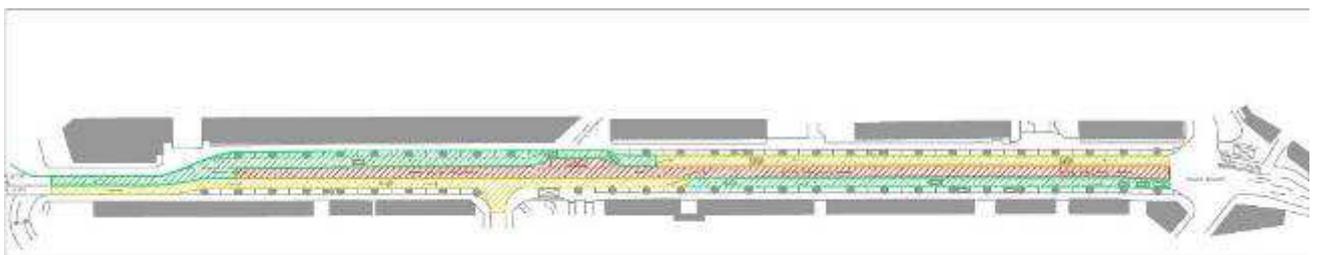


Figure 39 : Sectionnement de la voirie

2-2 Choix des matériaux de la couche de roulement

2-1-1 Section du site propre

« Sur le plan technique et sur le plan du service rendu, toutes les structures sont équivalentes : elles répondent toutes à une même stratégie de dimensionnement. En effet, elles sont dimensionnées pour une même durée de vie longue, avec un risque de calcul identique pour tous les types de structures. Par contre, l'entretien nécessaire pour prévenir un vieillissement accéléré des chaussées (en particulier les infiltrations des eaux de ruissellement) et pour garantir des caractéristiques de confort et de sécurité pour l'utilisateur, diffère selon le type de structure initiale. Les différentes solutions technico-économiques entre les différentes techniques proposées sont donc essentiellement dues aux différences de coût d'investissement et d'entretien »¹.

« Le choix des types de structures et les principes généraux de conception s'appuient sur des objectifs de durabilité et de niveau de service particulièrement élevés compte tenu de l'importance des voies et du niveau de trafic. Ces critères se traduisent en termes de durée de service, de sécurité (adhérence-uni), de confort (uni) et de limitation de la gêne à l'utilisateur due aux travaux d'entretien »². En pratique, cela conduit à envisager seulement deux familles de structures de chaussée :

- structures bitumineuses, à couche de base en grave-bitume et fondation, bitumineuse ou non traitée.

Nous considérons qu'il est judicieux d'écarter les structures à couche de base traitée aux liants hydrauliques sont écartées en raison des problèmes d'entretien liés à la fissuration et à des défauts d'interface.

Les structures mixtes (grave-bitume/grave traitée aux liants hydrauliques) sont toujours utilisées, même si la protection contre les fissures n'est pas totale dans les cas, de plus en plus rares, où la plateforme est de qualité médiocre et/ou gélive.

- structures en béton, soit en béton de ciment, soit en revêtement armé continu (BAC).

La voie de TCSP devra supporter le trafic que nous avons calculé dans la partie précédente. Son module doit être élevé et sa résistance en fatigue également avec une attention particulière à l'orniérage. C'est pourquoi nous choisirons soit une structure bitumineuse épaisse, soit une structure rigide de type béton.

De cette façon, notre choix de couche de roulement se porte sur ces deux types de structure :

- Un béton bitumineux sans risque d'orniérage de type BBSG ou BBME 0/10 (profondeur d'ornièr < 5 % pour 30 000 cycles). L'avantage de ces matériaux est qu'ils sont d'utilisation courante notamment en Ile de France. Il convient de porter une attention particulière à la coloration qui devra être différente des voies de circulation des véhicules légers. Pour ce faire, il est possible de faire correspondre une coloration est possible pour ce type de matériau dans la masse des enrobés.

¹ Extrait du manuel « cours de routes, dimensionnement des chaussées », laboratoire école des ponts et chaussées, 1991

² Extrait du manuel « cours de routes, dimensionnement des chaussées », laboratoire école des ponts et chaussées, 1991

- Une structure en béton de ciment ou en béton armé continu (BAC) qui a l'avantage de jouer à la fois de rôle de structure et de couche de surface. Ce matériau est insensible aux hydrocarbures et à l'orniérage et est d'une grande durabilité.

Concernant ces structures en béton, nous avons le choix entre les bétons de ciment voir des BCMC (béton de ciment mince collé) et un béton armé continu. L'inconvénient des bétons de ciment et BCMC est qu'ils sont sous forme de dalles nécessitant de mettre en place de nombreux joints de liaison entre celles-ci. Outre le fait que l'entretien des joints doit être régulier et difficile, ce type de structure peut être particulièrement bruyant en raison des passages des roues au niveau des jointures des dalles. « Par ailleurs, le dimensionnement de ce type de structure est particulier car il doit prendre en compte un accroissement de la contrainte de traction par flexion au bord de dalle qui est le double du centre de dalle. Ceci revient à majorer l'épaisseur de la dalle de moitié »¹.

« Les structures de béton armé continu permettent de s'affranchir de la présence des joints de réflexion-flexion des dalles en béton de ciment et ainsi limiter les problèmes structuraux connexes : accroissement de contraintes en bord de dalle, poinçonnement et érosion du support. Une nappe horizontale d'armatures longitudinales est mise en place au cours du bétonnage au milieu de la couche de béton. Placés au niveau de la fibre neutre, ces aciers ne reprennent pas les efforts induits par les charges de trafic. En revanche, par adhérence du béton sur l'acier, ils permettent de répartir les déformations dues au retrait du béton. Il en résulte, après la prise du béton et des phases de retrait thermique, des fissures dont le pas est d'environ 1 à 2 mètres. Ces fissures restent suffisamment fines pour prévenir l'infiltration des eaux de ruissellement dans le corps de chaussée et pour assurer le transfert de charge entre les abouts de dalle. Voilà pourquoi, dans le dimensionnement de telles structures, la majoration des contraintes calculées en milieu de dalle, eu égard à la présence de discontinuités, est plus faible »².

Ces deux types de matériaux permettront, en outre, d'éviter tout risque d'orniérage au droit de la station « Les 2 Frères », au niveau du giratoire de la place de la Loi et dans les zones d'accélération de décélération aux endroits où les zones de canalisation sont importantes.

Le choix entre structure bitumineuse épaisse et Béton BAC ne pourra s'effectuer que par une étude de dimensionnement de chaussée ainsi qu'une étude de coût. La réponse technique est ainsi interdépendante de l'enveloppe budgétaire allouée au projet. Nous nous emploierons dans cette étude à évaluer le dimensionnement des structures en fonction des matériaux et ainsi apporter une réponse technique.

Egalement, il est important que le type de matériaux de la voie TCSP soit le même sur tout le parcours du projet. C'est la raison pour laquelle nous recommanderons que les types de matériaux soient identiques pour les autres tronçons du projet.

¹ Extrait du manuel « cours de routes, dimensionnement des chaussées », laboratoire école des ponts et chaussées, 1991

² Extrait du manuel « cours de routes, dimensionnement des chaussées », laboratoire école des ponts et chaussées, 1991

2-2-1 Section banalisée

Les voies de circulation banalisée devront supporter la circulation des véhicules légers mais également ceux des poids lourds et des matériels roulants de notre système transport au niveau de la section entre la place Simart jusqu'à la station « Les 2 Frères ».

Nous proposons pour ces deux types de voies une structure traditionnelle de type bitumineuse. La voie de la section n°- devant accueillir également les bus auront une couche de roulement différente.

Ainsi, nous proposons un béton bitumineux de type BBSG de classe 3 0/10 (béton bitumineux semi-grenue) pour la section n°- et un également BBME de la classe 3 0/10 pour la section -. Ce dernier devra être d'une colorisation différente de la voie du TCSP si celle-ci est également choisie.

Pour les trottoirs et voies piétonnes, nous pouvons soit garder le type de pavage existant et compléter les surfaces piétonnières supplémentaire par de l'asphalte soit utiliser un nouveau type de pavage de type dalle de grès qui sera du même aspect que les séparateurs physique entre les voies.

Nous envisageons par conséquent les couches de roulement suivantes pour chaque voie de circulation :

Voie TCSP : structure béton ou béton bitumineuse de type BBME

Voie de circulation : structure béton de type BBME ou BBSG

Trottoir et quai : asphalte

Séparateur physique : dalle de grès

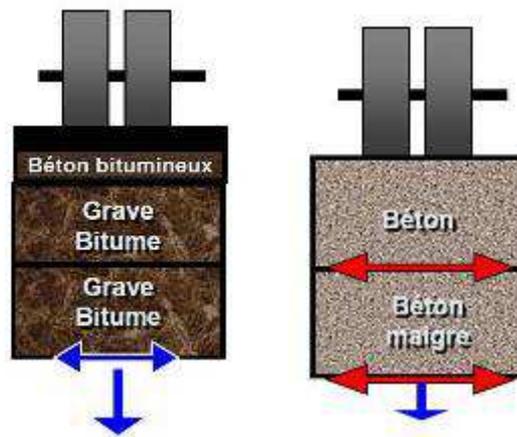


Figure 40 : Plans en coupe d'une structure bitumineuse et d'une structure béton

2-2-3 Choix de la couche d'assise

Les structures de béton ont l'avantage de servir de couche de roulement ainsi que de couche de base, la couche de fondation est généralement de type béton maigre type BC 2 en cas de choix de couche de surface en béton BAC ou de type BC 3 pour le choix d'un béton de ciment en couche de surface.

Pour les structures bitumineuses, le type de matériaux de la couche d'assise doit être choisi avec soin, les matériaux devront supporter les charges de la couche de roulement. Une bonne rigidité et un bon comportement mécanique sont ainsi requis.

Les matériaux de type Grave Bitume et un enrobé à module élevé (EME) sont particulièrement adaptés à notre sujet. Les graves bitumés de catégorie 3 sont utilisés couramment en Ile de France et offrent de bonne résistance mécanique.

Afin de limiter les coûts il est possible d'envisager une couche de fondation en grave non traitée (GNT) et une couche de base en GB3.

Les enrobés à module élevé, comme son nom l'indique a la particularité d'obtenir un module de compression très élevé. Par ailleurs, accroître la teneur en bitume de ce matériau permettra d'améliorer sa résistance en fatigue (ϵ_6 μ def).

Par conséquent, nous pouvons présélectionner 4 types de structures : 3 structures bitumineuses et 2 structures béton :

- GB3 / GB3 / BBSG ou BBME
- EME / EME / BBSG ou BBME
- GNT / GB3 / BBSG ou BBME
- BC 3 / BC 5
- BC 2 / BAC

Les résultats sur le dimensionnement de chaque structure nous orienteront sur le choix final.

3- Dimensionnement de la structure, étape n°1 : choix des matériaux

3-1 Principe du calcul

Nous avons déterminé les critères de dimensionnement en évaluant le trafic attendu dans les parties précédentes de ce chapitre et nous avons choisi notre structure en fonction des préconisations que nous avons émises dans notre analyse urbaine et de système transports.

Nous pouvons dès à présent dimensionner notre structure. Nous utiliserons pour ce faire des abaques issus du logiciel Alizé-LCPC.

La méthodologie du logiciel consiste à calculer les contraintes et déformations en traction et en compression des différents matériaux constituant la structure en fonction des épaisseurs que l'on attribue. Le logiciel calcule les contraintes et déformation à chaque interface. Dans un second temps, le logiciel calcule les contraintes admissibles que la structure peut supporter par rapport au trafic prévu évalué par le coefficient NE.

Les contraintes et déformations admissibles doivent être inférieures aux contraintes et déformations calculées de notre structure.

Le cas échéant, les épaisseurs des couches devront être réévaluées par itérations successives jusqu'à ce que l'équation soit conforme.

$$\sigma \text{ et } \varepsilon \text{ calculées} < \sigma \text{ et } \varepsilon \text{ admissibles}$$

Les abaques que nous utiliserons mettent en relation l'épaisseur des couches selon le type de plateforme en fonction du nombre NE.

Les équations des contraintes et déformations admissibles et sont les suivantes :

Pour les matériaux bitumineux :

$$\varepsilon_{t,ad} = \varepsilon_6 \times (NE/10^6)^b \times \sqrt{[E_{10}/E_0]} \times k_c \times k_r \times k_s$$

Pour les matériaux hydrauliques :

$$\sigma_{t,ad} = \sigma_6 \times (NE/10^6)^b \times k_c \times k_d \times k_r \times k_s$$

Avec les résistances en fatigue suivante :

- ε_6 (μdef) la déformation relative admissible
- σ_6 la contrainte relative admissible en MPa

Les postulats de base selon lesquels les calculs sont effectués se présentent comme ceci :

- la structure est considérée comme une structure multicouche élastique linéaire,
- les charges sont représentées comme des disques,
- la pression est considérée uniforme.

Le coefficient K_s est un coefficient lié à la portance du sol fonction de l'interface entre la couche de forme et la couche de base. Celui-ci est donc variable selon la catégorie de portance de la plateforme. Pour une plateforme PF2 il est de 1/1,1, pour une plateforme PF 3 le coefficient est de 1.

Le coefficient Kr est un coefficient lié au risque calculant les dispersions dans les couches des épaisseurs mis en œuvre. Il se détermine par l'équation ci-dessous :

$$k_r = 10^{-u b \delta}$$

avec

$$\delta = [SN^2 + (c^2/b^2) Sh^2]^{0,5}$$

Avec SN la dispersion en fatigue, u le fractile du risque et Sh la dispersion des épaisseurs.

Le coefficient Sh (en mètre) dépend de l'épaisseur totale d'assise mise en œuvre :

Sh = 0,01 m si h < 0,10 m

Sh = 0,01 + 0,3 x (h - 0,1) si 0,1 m ≤ h ≤ 0,15 m

Sh = 0,025 m si h > 0,15 m

Le coefficient Kc est un coefficient de calage pour tenir compte du comportement sur route.

Le coefficient Kd est un coefficient lié aux discontinuités des matériaux hydrauliques, celui-ci prend une valeur de 1 pour les matériaux bitumineux.

En outre, la valeur du coefficient de poison est de 0,35 pour les matériaux bitumineux et 0,25 pour les matériaux hydrauliques.

Les hypothèses de calculs ont été faites avec les valeurs ci-dessous pour les coefficients SN, Kc et Kd ainsi que pour le module et la résistance en fatigue :

Tableau XVI : Caractéristiques de chaque structure¹

	E (Mpa)	ε6 (µdef)	σ6 (Mpa)	SN	Kc	Kd
GB 3	9 300	90	-	0,30	1,3	-
GNT	3 x (PF)	-	-	-	-	-
EME 2	14 000	130	-	0,25	1	-
BBSG	5 400	100	-	0,25	1,1	-
BBME	12 000	100	-	0,25	1,1	-
BAC	35 000	-	2,15	1	1,5	1/1,47
BC 2	20 000	-	1,37	1	1,5	-
BC 3	24 000		1,63	1	1,5	-
BC 5	35 000		2,15	1	1,5	1/1,7

¹ Les valeurs exprimées sont tirées des tableaux suivant les normes NF A 35-015 et NF A 35-316.

3-2 Hypothèse 1 : structures souples en béton bitumineux

3-2-1 Structure GB3/GB3/BBSG ou BBME pour la section courante :

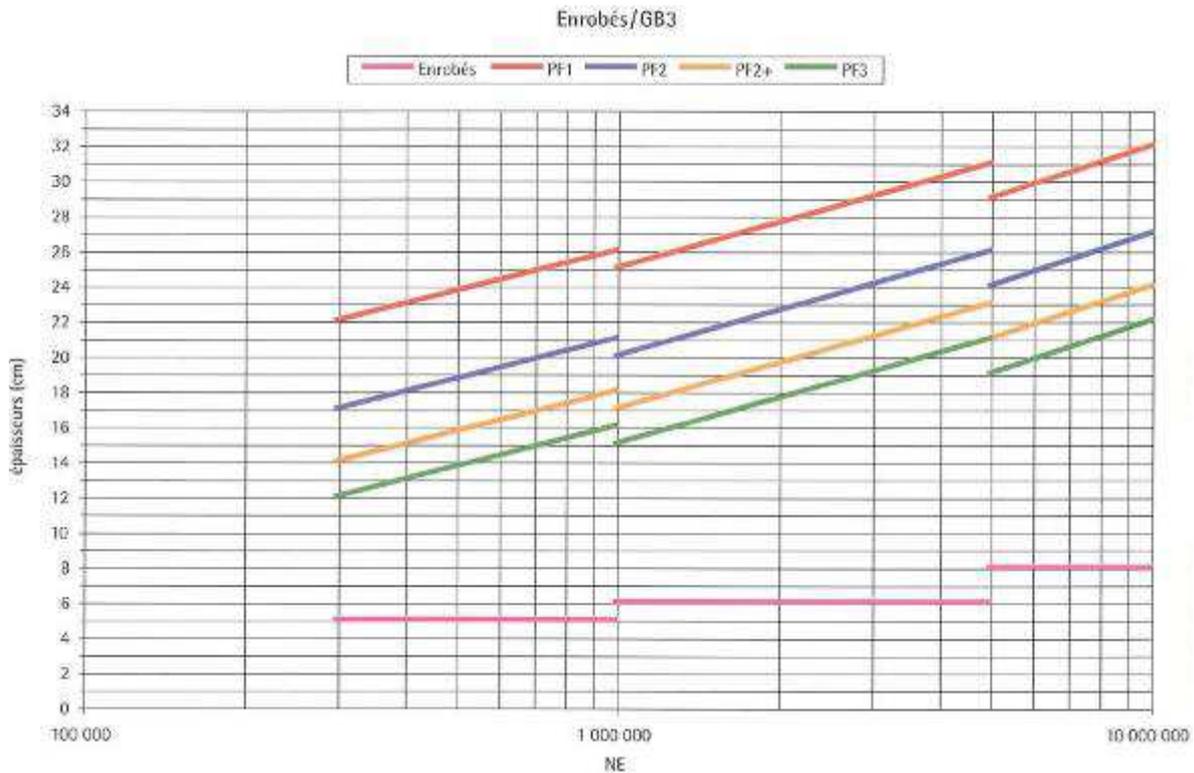


Figure 41 : Abaque structure GB3/GB3/BBSG¹

L'abaque donne l'épaisseur de GB3 et de l'enrobé BBSG. L'épaisseur minimum d'une couche de grave-bitume est de 8 à 10 cm selon la granularité ; l'épaisseur maximum est de 12 à 15 cm.

Pour un trafic de 1 million de NE, la structure GB3/GB3/BBME a une épaisseur de 21 à 26 cm selon la plateforme (PF 2 ou PF 3) : 6 cm de BBSG et 15 à 20 cm de GB3.

Pour un trafic de 3 millions de NE et 3,5 millions au droit de la station des Deux Frères; il importe que la structure épouse une épaisseur total de 26 à 30 cm pour la section courante et de 27 à 31 cm au niveau de la station soit 6 cm de BBSG, 20 à 24 cm de GB3 pour la section courante et de 21 à 25 cm de GB3 au droit de la station des Deux Frères.

Concernant le giratoire de la place de la Loi, le trafic est estimé à 11,5 millions de NE, ce qui correspond à une couche 8 cm de BBSG et de 23 à 28 cm de GB3.

¹ Extrait de l'ouvrage « Chaussées bus, choix des matériaux et dimensionnement structurel », CERTU, 2006

3-2-2 Structure EME/EME/BBSG ou BBME pour la section courante

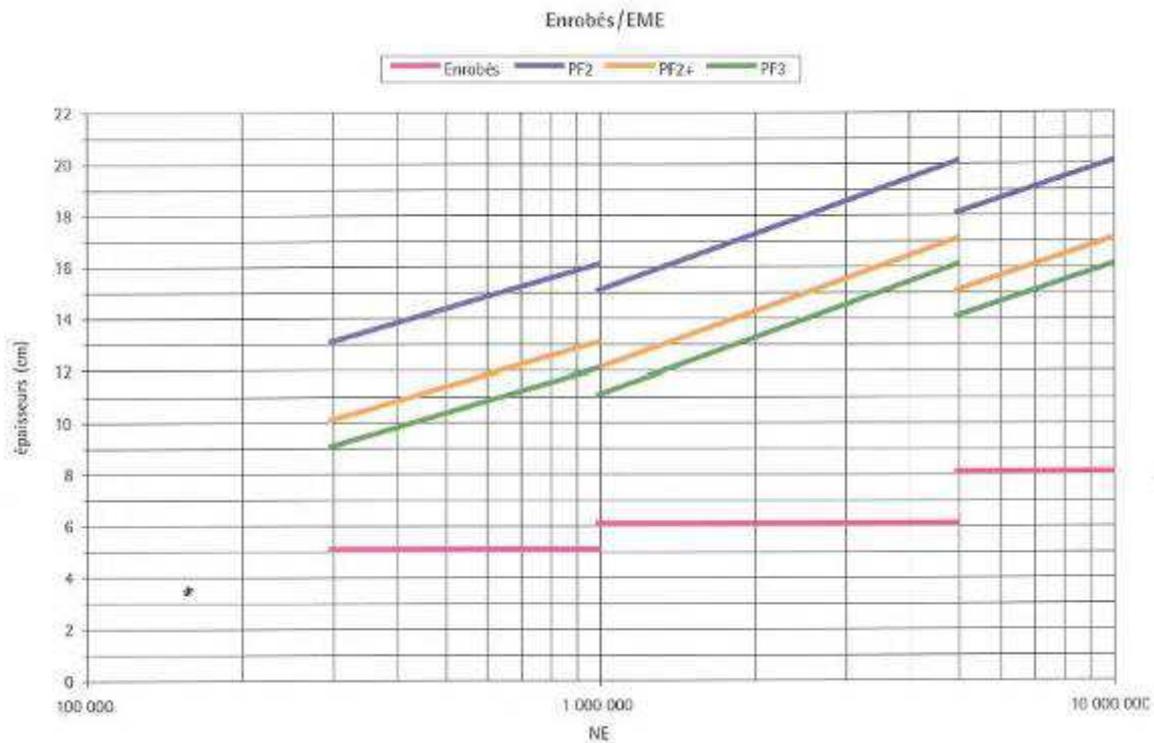


Figure 42 : Abaque EME/EME/BBSG¹

L'épaisseur minimum d'une couche de EME 2 est de 6 à 10 cm selon la granularité ; l'épaisseur maximum est de 10 à 13 cm.

Pour un trafic de 1 000 000 NE, la structure EME/EME/BBSG a une épaisseur de 17 à 21 cm selon la plateforme : 11 à 15 cm de EME et 6 cm de BBSG.

Pour un trafic de 3 millions de NE, la structure EME/EME/BBSG a donc une épaisseur de 21 à 25 cm selon la plateforme : 15 à 19 cm de EME et 6 cm de BBSG.

Pour un trafic de 3,5 millions de NE, la structure EME/EME/BBSG a donc une épaisseur de 22 à 26 cm selon la plateforme : 16 à 20 cm de EME et 6 cm de BBSG.

Pour un trafic de 11,5 millions de NE, la structure EME/EME/BBSG a une épaisseur totale de 25 à 29 cm selon la plateforme mais avec 17 à 21 cm de EME et 8 cm de BBSG.

¹ Extrait de l'ouvrage « Chaussées bus, choix des matériaux et dimensionnement structurel », CERTU, 2006

3-2-3 Structure GNT/GB3/BBSG ou BBME :

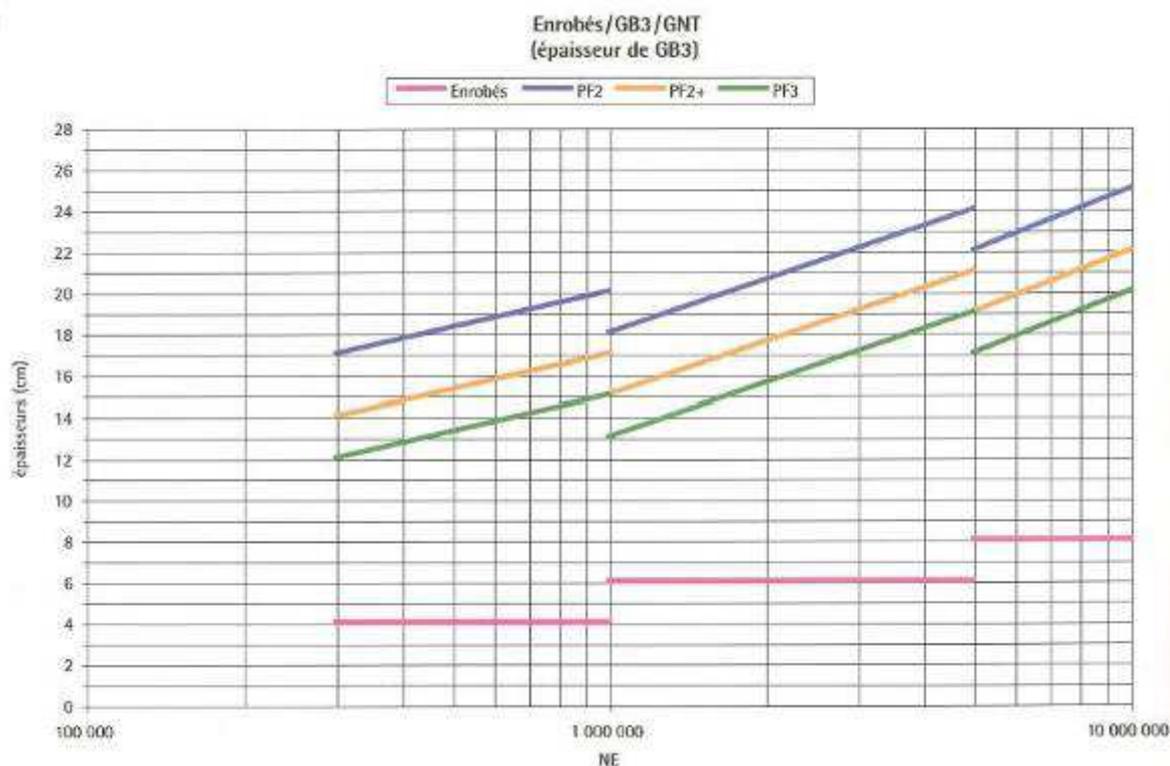


Figure 43 : Abaque GNT/GB3/BBSG¹

L'abaque donne l'épaisseur de GB3. L'épaisseur de GNT (type B et de classe 1 selon la norme NF EN 13285) est fixée à 25 cm en PF2, 20 cm en PF2 + et 15 cm en PF3.

Pour un trafic de 1 000 000 NE, la structure GNT/GB3/BBSG a une épaisseur de 34 à 49 cm selon la plateforme : 15 à 25 cm de GNT, 13 à 18 cm de GB3 et 6 cm de BBSG.

Pour un trafic de 3 millions de NE, la structure GNT/GB3/ BBSG a donc une épaisseur de 38 à 53 cm selon la plateforme : 15 à 25 cm de GNT, 17 à 22 cm de GB3 et 6 cm de BBSG.

Pour un trafic de 3,5 millions de NE, la structure GNT/GB3/ BBSG a donc une épaisseur de 39 à 54 cm selon la plateforme : 15 à 25 cm de GNT, 18 à 23 cm de GB3 et 6 cm de BBSG.

Pour un trafic de 11,5 millions de NE, la structure GNT/GB3/ BBSG a également une épaisseur totale de 44 à 59 cm, selon la plateforme mais avec 15 à 25 cm de GNT, 21 à 26 cm de GB3 et 8 cm de BBSG.

Pour l'épaisseur de BBME, on déterminera l'épaisseur de la couche avec le tableau de correspondance suivant :

Tableau XVII : Correspondance BB/BBSG/BBME

6 BB	=	6 BBSG	=	5 BBME
7 BB	=	7 BBSG	=	6 BBME
8 BB	=	8 BBSG	=	7 BBME

Notons que le BBME permet de gagner 1 cm par rapport au BBSG.

¹ Extrait de l'ouvrage « Chaussées bus, choix des matériaux et dimensionnement structurel », CERTU, 2006

3-3 Hypothèse 2 : structure en Béton pour la voie de TCSP

3-3-1 Structure en béton de ciment de type BC 3 / BC 5 :

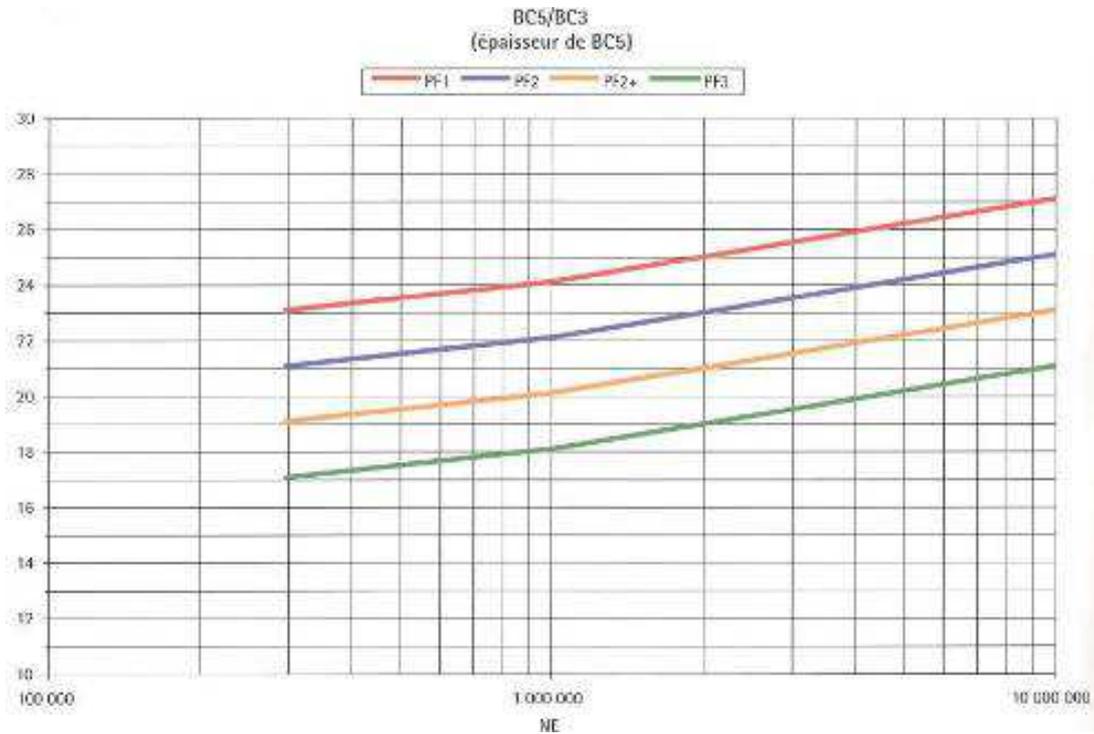


Figure 44 : Abaque BC 3/BC 5¹

L'abaque donne l'épaisseur de BC 5, l'épaisseur de béton maigre type BC 3 étant fixée à 15 cm.

L'épaisseur de BC 5 est donc située entre 18 et 22 cm pour la section courante et au droit de la station des 2 frères et entre 20 et 24 cm pour le giratoire de la place de la Loi.

¹ Extrait de l'ouvrage « Chaussées bus, choix des matériaux et dimensionnement structurel », CERTU, 2006

3-3-2 Structure en béton armé continu de type BC 2 / BAC

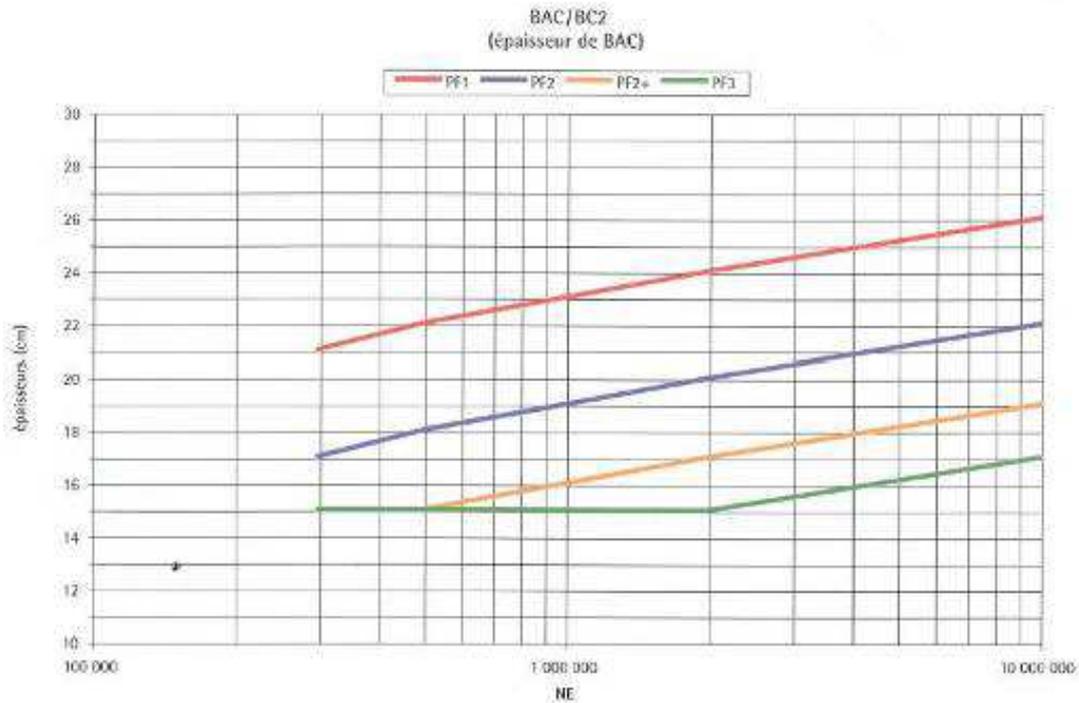


Figure 45 : Abaque BC 2/BAC¹

L'abaque donne l'épaisseur de BAC, l'épaisseur de béton maigre type BC 2 étant fixée à 15 cm.

L'épaisseur de BAC est donc située entre 15 et 19 cm pour la section courante et au droit de la station des 2 frères et entre 16 et 21 cm pour le giratoire de la place de la Loi.

3-4 Comparatif des structures

Nous pouvons désormais livrer un tableau comparatif sur l'épaisseur de chaque structure :

Tableau XVIII : Epaisseurs des différentes structures possibles

	Voie VL		Voie TCSP - section courante		Voie TCSP en station		Voie TCSP giratoire	
	PF 2	PF 3	PF 2	PF 3	PF 2	PF 3	PF 2	PF 3
GB3 / GB3 / BBSG	26	21	30	26	31	27	36	31
EME / EME / BBSG	21	17	25	21	26	22	29	25
GNT / GB3 / BBSG	49	34	53	38	54	39	59	44
BC 3 / BC 5	-	-	37	33	38	34	39	35
BC 2 / BAC	-	-	34	30	35	30	36	31

Il apparaît clairement que le coefficient NE n'a que peu d'incidence sur l'épaisseur totale de la structure concernant la voie de TCSP. En effet, avec un coefficient NE doublé (de 3 et 11 millions de NE), la différence d'épaisseur entre les différentes couches varie mais sans que l'épaisseur totale augmente de façon significative. Ainsi, nous constatons que plus l'épaisseur d'enrobé est élevée moins la couche d'assise est épaisse.

¹ Extrait de l'ouvrage « Chaussées bus, choix des matériaux et dimensionnement structurel », CERTU, 2006

A l'inverse, le type de plateforme et de matériaux est particulièrement déterminant dans le dimensionnement de la structure. Une plateforme de type PF 3 permet en effet de gagner 5 à 10 cm d'épaisseur. Au contraire, la mise en œuvre d'une couche de GNT augmente de façon très importante (plus de 40 %) l'épaisseur totale de la structure. Le choix d'utiliser des GNT ne permet pas d'optimiser son dimensionnement.

Ce qui est, en revanche, le cas d'une plateforme béton bitumineuse à module élevé dont l'épaisseur est plus faible comparée à une structure béton.

Globalement, on constatera que la structure EME/EME/BBME avec une plateforme de type PF 3 est la structure avec l'épaisseur la plus faible. Elle permet ainsi d'éviter d'atteindre la profondeur des réseaux divers (situés à 60 cm de profondeur).

La plateforme béton peut constituer également une solution, celle-ci reste totalement insensible à l'orniérage et aux hydrocarbures. Le module du béton est par ailleurs largement plus élevé en couche d'assise (20 à 24 000 Mpa) et offre une résistance en fatigue plus élevée. Le choix d'une structure béton peut ainsi être choisi afin d'éviter tout risque d'orniérage, ce qui peut être le cas au droit des stations où le trafic est beaucoup plus canalisé.

Cependant, au vu des calculs, notre choix s'oriente ainsi vers une structure à faible épaisseur de type EME/EME/BBME pour la voie de TCSP et une structure GB3/GB3/BBSG pour les voies VP qui permet d'obtenir des épaisseurs presque semblable avec un dénivelé entre les 2 chaussées égale 1 à 2 cm.

Par ailleurs, nous ne prenons pas en compte le coût des matériaux qui peut être très prohibitif avec une structure béton.

A noter qu'un reclassement de la plateforme en PF3 nécessitait la mise en œuvre d'une couche de forme de 30 cm traitée au liant hydraulique. Le bilan économique de la structure peut également prendre en compte la mise en place d'une couche de forme de 30 cm qui permettrait de réduire de 5 à 10 cm de couche d'assise.

Nous allons maintenant procéder à la vérification du dimensionnement des structures au gel/dégel.

4. Dimensionnement de la structure, étape n°2 : Vérification au gel / dégel

4-1 Déroulement du calcul

Comme pour le dimensionnement de la structure, la vérification au gel/dégel s'effectue en comparant deux indices : un indice de gel de référence propre au climat local à un indice de gel admissible fonction du type et de l'épaisseur des matériaux mis en œuvre.

Soit l'inéquation suivante :

Indice de gel admissible (IA) \geq Indice de gel de référence (IR)

Si IA \geq IR, la vérification est positive et la structure peut être retenue.

Si IA < IR, la vérification est négative.

Il convient alors soit de changer de type de structure, soit de modifier la conception de la couche de forme afin d'obtenir une meilleure protection.

Le choix d'un hiver de référence conditionne la fréquence des poses éventuelles de barrières de dégel.

En pratique on considère deux situations de référence :

- l'hiver exceptionnel noté HE, qui est l'hiver le plus rigoureux rencontré entre 1951 et 1997,
- l'hiver rigoureux non exceptionnel, noté HRNE défini comme l'hiver de fréquence décennale sur la période 1951 - 1997.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de ces situations de référence pour les stations météo d'Ile-de-France. Ces valeurs de référence sont à utiliser pour les réseaux situés en rase campagne.

Pour les réseaux situés en site urbain dense, un abattement de 20 % peut être réalisé.

Tableau XIX : IA en fonction des postes météo

Poste météo		Indice de gel de référence en degrés x jours	
Département	Lieu	HE	HRNE
77	Ferrières	215	80
77	La Ferté Gaucher	195	85
77	Melun	185	85
77	Mitry Mory	185	75
77	Nemours	200	80
77	Touquin	205	85
78	Trappes	200	95
78	Villacoublay	180	90
91	Brétigny	180	90
91	Orly	150	80
95	Cormeilles	190	90
93	Le Bourget	160	100
75	Paris Montsouris	115	< 75

Nous prendrons en compte la station météo de Villacoublay, soit les valeurs suivantes après abattement :

HE : 150

HRNE : 75

L'indice de gel admissible (IA) d'une chaussée dépend :

- de la gélivité des matériaux du support,
- de la protection thermique apportée par les matériaux non gélifs (couche de forme et chaussée),
- de la résistance mécanique de la chaussée,
- des phénomènes de rayonnement et convection en surface.

Selon leur nature, les sols et matériaux granulaires sont plus ou moins sensibles au phénomène de cryosuccion. Cette sensibilité est appréciée en laboratoire par l'essai de gonflement (NF P 98-234-2).

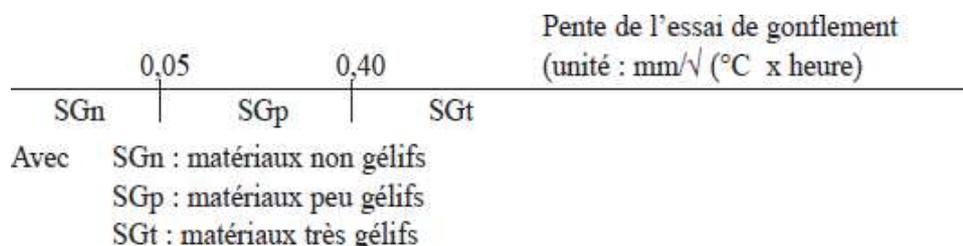


Figure 46 : Schéma essai de gonflement

Ne pouvant disposer des résultats de l'essai de gonflement, il est permis d'adopter les classes de sensibilité au gel mentionnées dans le tableau ci-dessous :

Tableau XX : Classe de sensibilité au gel

<i>Classes indicatives de sensibilité au gel</i>	
Classification géotechnique du sol ou matériau non traité	Classe de sensibilité au gel pouvant être adoptée en l'absence d'essai de gonflement
matériaux dont le passant à 80 mm est < 3 % (comprend une partie des matériaux D)	SGn
A3, A4, B1	SGp
A1, A2, B2, B3, B5, B6, R1	SGt

Selon les valeurs de ce tableau, nous pouvons considérer que la couche de sol est de nature très gélive. (S Gt)

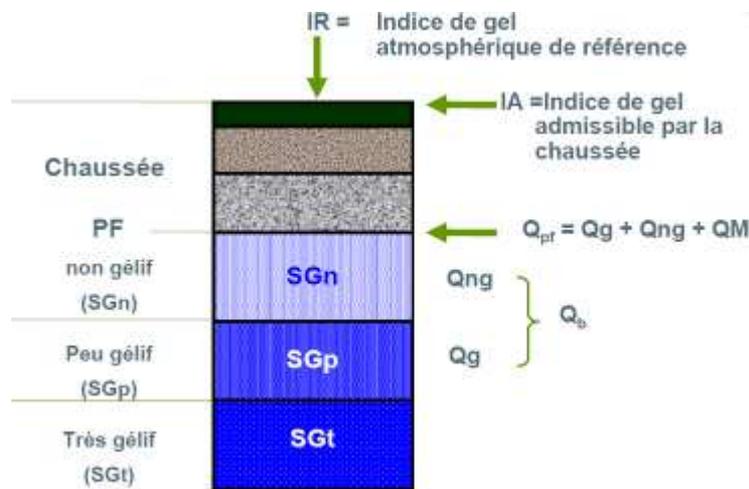


Figure 47 : Schéma du calcul de l'IA

Afin de déterminer la valeur IA, nous devons au préalable calculer la valeur de Qpf égale à la somme des valeurs de Qg + Qng + Qm

La valeur de Qg se calcule par rapport à la pente de l'essai de gonflement. Ne possédant pas cette valeur, nous choisissons de prendre en compte une pente p de 1 soit un Qg égale à 0 comme le mentionne le tableau ci-dessous :

Tableau XXI : Valeurs du coefficient Qg

Valeur de Qg en fonction de p	
$0,05 < p < 0,25$	$Qg = 4$
$0,25 < p < 1$	$Qg = 1/p$
$p > 1$	$Qg = 0$
p inconnue	$Qg = 0$

La valeur de Qng est donnée par la formule : $Qng = An \cdot hn^2 / (hn + 10)$

Avec :

hn : épaisseur de la couche non gélive en cm

An : coefficient dépendant de la nature du matériau de couche de forme

Le coefficient A_n est fourni par le tableau ci-dessous.
Celui-ci se définit par rapport à la nature du matériau de couche de forme.

Tableau XXII : Valeurs du coefficient A_n en fonction des matériaux

Matériaux	A_n	Hn	Qng
A	0,15		0,0
B/C	0,13	30	2,9
D, GNT	0,12		0,0
CV/SH/SL	0,17	30	3,8
LTCC	0,14		0,0

A, B, C et D : classes de sols non traités définis par la norme NF P 11-300

GNT : grave non traitée

SH : sables traités aux liants hydrauliques

LTCC : limon traité à la chaux-ciment

CV : cendres volantes chaux-gypse.

Avec une couche de forme non traitée de 30 cm, nous obtenons un coefficient Q_{ng} d'une valeur de 2,9.

Avec une couche de forme traitée aux liants hydraulique de 30 cm, nous obtenons un coefficient Q_{ng} d'une valeur de 3,8.

Le coefficient Q_m correspond à la prise en compte d'une augmentation de la contrainte de la couche de dessus sur la couche du dessous pour une valeur de 5%.

En simplifiant, le calcul revient à diviser l'épaisseur de la couche de forme par 10.

Soit $Q_m = 3$

Nous obtenons une quantité de gel admissible à la base de la plateforme égale de 5,9 à 6,8.

Ensuite, nous devons calculer l'indice de surface IS dont l'équation est la suivante :

$$IS^{0,5} = (1 + \sum a_i \cdot h_i) Q_{pf} + \sum b_i \cdot h_i$$

Afin de déterminer les valeurs A_i et B_i , il est possible d'utiliser le tableau ci-dessous :

Tableau XXIII : Valeurs du coefficient A_i et B_i en fonction des matériaux

Matériaux	ai	bi
BB/GB	0,01	0,06
GNT/GE	0,01	0,1
BCi/GH	0,01	0,1
GCV	0,01	0,13
LTCC	0,01	0,14
SH	0,01	0,15

En prenant en compte 21 cm de couche bitumineuse correspondant à la section courante avec une plateforme de type PF3, nous obtenons un coefficient IS de 71.

En prenant en compte 31 cm de couche en béton correspondant à la section courante avec une plateforme de type PF3, nous obtenons un coefficient IS de 118.

Enfin, il convient de tenir compte des phénomènes de rayonnement et de convection en surface, nous obtenons le coefficient IA en appliquant l'équation suivante au coefficient IS :

$$IA = (IS/0,7) + 10$$

4-2 Comparatif des structures au gel/dégel

Ainsi, nous alignons la série de résultats suivante pour le coefficient IA :

Tableau XXIV : IA en fonction des structures et épaisseurs

	Voie VL		Voie TCSP - section courante		Voie TCSP en station		Voie TCSP giratoire	
	PF 2	PF 3	PF 2	PF 3	PF 2	PF 3	PF 2	PF 3
GB3 / GB3 / BBSG	126	139	139	157	142	161	159	177
EME / EME / BBSG	112	126	123	139	126	143	136	154
GNT / GB3 / BBSG	243	208	261	226	265	231	288	254
BC 3 / BC 5	-	-	209	229	212	232	220	241
BC 2 / BAC	-	-	194	211	196	211	204	217

	IA ≥ IR en HE
	IA ≥ IR en HRNE mais ≤ HE
	IA ≤ IR en HRNE

Rappelons que l'indice de gel de référence est de 75 en hiver non exceptionnel et 150 en hiver exceptionnel.

Il appartiendra au maître d'ouvrage de choisir la valeur de l'indice à partir duquel celui-ci souhaite protéger la chaussée. Cependant, dans notre exemple nous avons effectué le dimensionnement des structures avec une durée de service de 20 ans, il conviendra ainsi de prendre comme référence l'indice de gel en hiver exceptionnel.

De manière générale, nous remarquons que tous les indices admissibles des structures se situent au-dessus de l'indice de référence hors hivers non exceptionnel.

Cependant la tenue au gel/dégel des matériaux bitumineux est moins bonne que celle des matériaux non-bitumineux lors des hivers exceptionnels.

Si l'on souhaite garder une structure de type EME / EME / BBME, il conviendra soit :

- d'augmenter l'épaisseur de la couche de forme afin d'obtenir un module de Young supérieur à 120 MPa, ce qui reviendrait à obtenir une plateforme de catégorie PF 4,
- d'augmenter l'épaisseur des couches d'assise,
- de changer la nature de la couche de fondation.

Pour la dernière mention, un compromis satisfaisant consisterait à placer en couche de fondation en grave non-traitée (GNT). Le type de structure ainsi obtenu serait PF 2 / GNT / EME / BBME.

Il suffit par la suite d'évaluer le volume de matériaux à mettre en œuvre parmi ces structures et ainsi obtenir une analyse technico-économique pertinente qui permet de juger l'ensemble des paramètres de manière systémique.

5- Données génériques pour la phase travaux

5-1 Volume & Surface

Le projet d'aménagement prévoit un niveau général à environ 130 m NGF pour un site qui s'inscrit entre la cote 125 et 130 m NGF. Ainsi, les opérations d'aménagement de la voirie et de la plateforme ne nécessitent pas de mouvement important de terre. Elles sont considérées comme négligeables.

Cependant, même si la topographie générale est respectée, les travaux d'aménagement de la voirie nécessitent des purges pour l'apport de couches de formes, des fosses pour les arbres, de galeries techniques et de canalisations diverses. L'aménagement de la plateforme requiert des travaux de terrassement relativement importants. Les déblais peuvent ainsi être évalués à 10 000 m³ pour ce projet.

Les différentes surfaces d'aménagement du site sont réparties comme suit :

Tableau XXV : Surfaces des différentes zones du site

Circulation VP + PL	Surface en m²
Site Propre	1 079
Bordure nord + station les deux frères	178
Zone piétonnière Ouest	1 297
Zone piétonnière Nord Est	610
Zone piétonnière Sud Est	458
Station les deux frères	65
Zone de circulation VL	2 263
Site Propre Place de la Loi	263
Circulation VP + PL	700
Zone de stationnement	1 150

En volume, le site propre constitue 2 700 m³ et la voirie VP 6 500 m³. Soit plus de 9 200 m³ d'apport de matériaux pour la chaussée.

5-2 Etude économique

Nous allons essayer ici d'évaluer le coût des différentes structures que nous avons exposées jusqu'à présent.

Nous devons, pour ce faire évaluer le volume de matériaux à mettre en œuvre parmi ces structures et ainsi obtenir une analyse technico-économique pertinente qui permet de juger l'ensemble des paramètres de manière systémique.

Les prix unitaires sont mentionnés ci-après (prix à la tonne). Ceux-ci proviennent d'une moyenne de diverses sources. La densité du béton dosé à 350 kg de ciment est de l'ordre de 2.5 T/m³, la masse volumique du béton bitumineux a été considérée à 2 T/m³.

Tableau XXVI : Prix au m³ des matériaux

Matériaux	Prix au m ³
GNT	83 €
GB 3	156 €
BBSG	178 €
EME	230 €
BC 3/ BC 5	200 €
BAC	320 €

Le tableau ci-dessous détermine le prix au m² de chaque type de structure pour ce qui concerne le site propre. Nous avons examiné les 5 types de chaussées sur lesquels nous avons basé notre étude :

Tableau XXVII : Prix au m² des différentes structures

	Voie TCSP - section		Voie TCSP en station		Voie TCSP giratoire		Total	
	PF 2	PF 3	PF 2	PF 3	PF 2	PF 3	PF 2	PF 3
GB3 / GB3 / BBSG	46,80 €	40,56 €	48,36 €	42,12 €	56,16 €	48,36 €	73 884 €	63 988 €
EME / EME / BBSG	57,50 €	48,30 €	59,80 €	50,60 €	66,70 €	57,50 €	90 239 €	76 253 €
GNT / GB3 / BBSG	54,95 €	38,90 €	56,51 €	40,46 €	61,19 €	45,14 €	85 444 €	61 046 €
BC 3 / BC 5	74,00 €	66,00 €	75,00 €	67,00 €	78,00 €	70,00 €	113 720 €	101 559 €
BC 2 / BAC	90,80 €	78,00 €	92,40 €	78,00 €	97,20 €	81,20 €	139 997 €	119 412 €

Comme on peut l'observer, la structure béton est presque deux fois plus élevée (entre 80 et 100 € du m² contre 40 à 60 € du m² pour une structure bitumineuse). L'investissement initial sera ainsi beaucoup plus important. Cependant les coûts d'entretien et de maintenance s'avèrent plus importants pour des structures de type bitumineux.

Par voie de conséquence, cela nous amène à considérer deux options :

- un investissement initial élevé avec peu de frais d'exploitation.

Ceci correspondra au choix d'une structure béton garantissant la rigidité nécessaire à l'agressivité du trafic et une durée de vie longue sans entretien coûteux.

- un investissement initial modéré pour des frais d'exploitation plus élevé.

Ceci correspondra au choix d'une structure bitumineuse dont les matériaux sont moins coûteux que pour le béton mais dont l'entretien est plus systématique. La durée de vie de ce type de structure est aussi beaucoup plus courte.

5-3 Recommandations pour la phase travaux

La création du site propre nécessite les aménagements suivants :

- la réalisation de la plateforme de circulation du site propre et des stations,
- les modifications de voirie et l'aménagement des carrefours de la place Simart et d'une partie de la place de Loi,
- les interventions et les déplacements des réseaux existants,
- la création des arrêts,
- le réaménagement des espaces piétonniers,

Les effets majeurs de ce chantier concernent d'une part la perturbation du trafic liée à l'emprise des travaux et d'autre part, les nuisances propres aux différentes phases de chantier pour les riverains (habitants et activités) : bruit, poussières... Les effets sur l'environnement pendant la période des travaux sont par nature limités dans le temps et dans l'espace. Cependant, ils ne sont pas négligeables car ils peuvent engendrer des gênes pour les riverains et usagers des voies de circulation.

Présentation des grandes caractéristiques du chantier

La réalisation de l'ensemble du chantier, dans une période de temps minimal, demande que l'ordre des opérations soit soigneusement étudié, afin de supprimer ou réduire le plus possible les temps d'inactivité.

Les autres contraintes d'organisation sont les suivantes :

- prévoir les perturbations dans la rue de Versailles consécutives aux travaux,
- suspendre les activités nuisibles en période de fêtes,
- maintenir une bonne vitesse commerciale pour les autobus et un bon accès aux communes concernées par le projet.
- Les cadences d'avancement des chantiers seront adaptées aux conditions d'environnement et permettront de traiter les contraintes de traversées et de préserver le plus possible les activités riveraines de la rue de Versailles dans de bonnes conditions de sécurité.
- Pour minimiser les gênes liées à l'occupation d'une partie de l'emprise réservée normalement à la circulation automobile par le chantier, un phasage des travaux sera mis en place. Il correspondra en règle générale au déroulement suivant :

les démarches préparatoires :

- prise de contact avec les concessionnaires des réseaux enterrés,
- déplacements ou modifications des réseaux,

les travaux hors plateforme :

- la redistribution des espaces urbains sur l'ensemble du profil en travers de la voirie parcourue par le tracé de la ligne : trottoirs, stationnements, éclairages, assainissement, de la réalisation de la plateforme de circulation du site propre et des stations.

la réalisation de la plateforme

Cette phase comporte les travaux suivants :

- la démolition des chaussées, le terrassement et l'évacuation des déblais,

- le déracinement et déplacement des arbres existants, ainsi que la plantation des nouveaux arbres,
- les fondations, le béton de forme, ce qui impliquera la circulation de poids lourds pour le transport de matériaux de construction,
- la mise en place des bordures, des caniveaux, de l'assainissement et des multitubulaires pour le passage des divers réseaux,
- la réalisation des stations et du mobilier urbain,
- la mise en place du revêtement de la plateforme.

les aménagements annexes de voirie et de plateforme

- les traversées piétonnes, les feux de circulation, la signalisation horizontale et verticale.

les équipements et les essais

- Il s'agit de la phase la moins contraignante pour les riverains puisqu'elle consiste à mettre en place les derniers équipements et à procéder aux essais d'ensemble après la livraison du matériel roulant, ceci afin de vérifier que les systèmes suivants sont opérationnels.

Organisation des travaux

Les contraintes liées aux travaux sont de plusieurs natures :

$\frac{3}{4}$ contraintes liées à la présence de réseaux enterrés, vis-à-vis d'interventions lourdes (extension de voirie nécessitant la mise en œuvre de couche de forme, mise en œuvre de fourreaux ...), ou localisées (déplacement d'émergence de réseaux...), $\frac{3}{4}$ contraintes liées à la circulation générale pour les interventions nécessitant un empiètement sur les voiries (bordures du site propre et revêtement de celui-ci, traversée de réseaux...) susceptible d'entraîner la mise en place de déviations locales ou des interventions pendant des créneaux horaires de nuit ou pendant des périodes de moindre trafic, $\frac{3}{4}$ contraintes vis-à-vis des accès particuliers imposant leur maintien permanent, contraintes liées aux conditions météorologiques, en particulier vis-à-vis des conditions hivernales pouvant interdire la réalisation de certaines prestations telles que des revêtements bitumineux, ou imposant des interventions saisonnières comme les plantations.

Conclusions de la troisième partie

L'analyse et le dimensionnement des structures que nous avons élaborés démontrent l'étendue des difficultés du processus décisionnel sur le choix des matériaux. Les nombreux paramètres qui déterminent le dimensionnement de la structure sont tous à examiner avec soin quand bien même certains seraient difficiles à appréhender.

Ainsi, nous avons noté que la durée de service représente un choix déterminant. Le dimensionnement initial aura un très fort impact sur la durée d'exploitation de la chaussée. Par ailleurs, le choix d'une durée de service devra être déterminé en cohérence avec le modèle de structure : une structure rigide de type béton pour une durée de service longue ou une structure souple de type bitumineuse avec des entretiens réguliers.

Après avoir passé en revue précédemment les contraintes géométriques que notre système de transport impliquait, nous prenons acte à présent des fortes contraintes qui en découlent sur le dimensionnement de la chaussée. Cela se traduit essentiellement par un trafic agressif et canalisé, ainsi que par la nécessité d'obtenir une bonne résistance à l'orniérage et une bonne résistance en fatigue.

En l'occurrence, nous pensons que les matériaux à module élevé devraient être privilégiés. L'épaisseur des couches est relative aux matériaux mis en œuvre, et la tenue au gel/dégel peut perturber le choix initial dans le sens où elle participe également au dimensionnement. Enfin, les derniers critères et non des moindres sont les contraintes économiques qui risquent de peser sur le choix des épaisseurs de couche à mettre en œuvre. On préférera *a priori* optimiser les épaisseurs des couches d'assises et des couches de surface, plus coûteuses, et augmenter en contrepartie l'épaisseur de la couche de forme.

CONCLUSIONS GENERALES

Les communes de Versailles et du Chesnay se sont lancées depuis une dizaine d'année dans un projet de transport urbain structurant afin de résoudre les problèmes de congestion, d'améliorer les déplacements au sein de l'agglomération et de rendre plus efficient son réseau de transport. Au vu des fréquentations, il a été décidé d'y implanter un TCSP de type BHNS dans l'axe Nord/Sud. Le présent mémoire a été l'occasion d'étudier son insertion au niveau du site le plus contraint : la rue de Versailles au sein de la commune du Chesnay.

Nous avons noté que le fait d'implanter le système du BHNS rue de Versailles au Chesnay nécessitait d'être examiné de près. Sur le plan de la méthode, le fait qu'il s'agisse d'un mode de transport routier ne devait d'aucune manière porter préjudice à l'analyse système de ce mode ni aux choix de son insertion urbaine. Ainsi, les critères du système gagnent à être analysés de façon rigoureuse. En effet, les objectifs premiers tels que la volonté de créer un axe de transport structurant de l'agglomération, le souci d'obtenir une vitesse commerciale élevée, une fréquence élevée avec des véhicules de grande capacité ne sont réalisables que si l'ensemble des exigences du projet est efficacement orienté vers ces objectifs. Il est important de souligner que ceux-ci entraînent des développements se rapprochant davantage du système tramway moderne que du bus classique (priorité des véhicules au niveau des feux tricolores, un site propre intégral, des équipements en station, une accessibilité de plain-pied, etc.)

De la sorte, l'enjeu était d'imaginer une configuration satisfaisante entre notre système de transports qui nécessitait d'être indépendant à la circulation automobile. Toutefois, la largeur limitée de la rue de Versailles, les enjeux du quartier, les contraintes locales réclamaient de redéfinir les contours du projet et de réfléchir à des compromis permettant de satisfaire équitablement l'ensemble des acteurs locaux. C'est bien dans ce souci que nous avons proposé, dans la seconde partie, un site propre axial à sens alterné susceptible de garantir les performances d'un BHNS et d'améliorer les différentes fonctionnalités du quartier. De cette manière, nous pensons avoir démontré qu'il était possible d'élaborer un projet apte à satisfaire l'ensemble des usagers et à s'articuler avec l'ensemble des modes de transport du quartier, quels qu'ils soient.

Après avoir défini de manière générale la configuration de la voirie, il nous a paru indispensable de nous pencher sur le type d'infrastructure que comporte un tel système. Ceci a été l'occasion de mener à bien une étude permettant de définir ce que pourrait être une structure-type correspondant à la physionomie du lieu et répondant aux critères du système de transport. Comme notre projet est un système intermédiaire entre mode routier et mode guidé, c'est-à-dire à mi-chemin entre mode de transport léger et mode de transport lourd, nous nous sommes heurtés à la comparaison problématique entre une structure bitumineuse classique et une structure rigide de type béton.

Nous sommes arrivés à la conclusion que l'agressivité et la canalisation des contraintes que le trafic impose sont beaucoup plus importantes qu'une infrastructure routière mais moins élevées que dans le cas d'un système ferroviaire urbain. Les résultats de notre recherche, dans la troisième partie liée au dimensionnement de la chaussée, nous autorisent à affirmer qu'une structure béton permet de gagner en rigidité et peut même contribuer à s'affranchir d'entretiens périodiques permanents. Cependant, de nouveaux types de structure bitumineuse paraissent mieux correspondre à nos critères et semblent moins surdimensionnés.

Néanmoins, le choix de la structure doit aussi et surtout satisfaire des exigences liées au climat et au sol support. Ainsi, nous estimons que le choix de la structure ne s'autodétermine

pas qu'en fonction des paramètres du système de transports et des prévisions de trafic mais aussi en fonction de la gélivité des sols support. En effet, pour des sols gélifs au climat rigoureux, le choix d'une structure bitumineuse serait plus délicat à traiter qu'une structure béton. Au fil de la démonstration, nous avons insisté sur le fait que la nature du sol support reste également un critère déterminant dans le dimensionnement de la couche d'assise et de roulement. En effet, la mise en place d'une structure haute performance s'avère peu rentable économiquement, notamment pour ce qui concerne la mise en place de structure béton, le coût de celle-ci étant plus élevé à celui d'une structure bitumineuse classique. L'option la plus avantageuse nous paraît être celle consistant à améliorer la portance du sol par la méthode la plus efficace (en l'occurrence par compactage ou par substitution du sol...).

Nous en concluons ainsi qu'une plateforme de type PF3 est préférable à n'importe quel type de structure afin de limiter l'épaisseur et dès lors le coût des couches supérieures. Ces couches supérieures de type enrobé et béton bitumineux à module élevé sont les plus appropriées pour notre projet au vu des prévisions de trafic. Toutefois, il importe de faire remarquer que les projets parallèles de BHNS en France optent de façon systématique pour des structures béton : Mettis à Metz, Tzen en Ile de France¹ etc. et de moins en moins pour des structures bitumineuses, comme ce fut le cas par le passé (TEOR à Rouen, TVM en Ile de France par exemple). En effet, on observe généralement que les structures bitumineuses quand celles-ci sont utilisées comme structure-support de transports guidés souffrent de manière systématique de problèmes d'orniérages. Il est ainsi recommandé dans notre projet de prévoir une structure béton ponctuel au droit des stations, ainsi que dans les courbes serrées comme la place de la Loi, dont l'enrobé à module élevé atteint les limites de performance.

En tout état de cause, le système de transport que nous proposons sur une section de petite taille ne saurait devenir pleinement opérationnel que si les autres sections du projet de TCSP sont conçues de la même manière. Le choix de la structure devra ainsi tenir compte des objectifs globaux inhérents à la conception du projet (couleur des enrobés, aménagement uniforme des stations, type de véhicules, etc.). Chaque disposition est tenue de prouver son efficacité dans le milieu réel qu'elle intègre.

En revanche, il sera utile de suivre à l'avenir le développement d'enrobé à module élevé permettant de répondre à ce système intermédiaire de façon plus appropriée que le béton et qui pourrait à terme servir de référence.

¹ Voir les exemples de BHNS en France en annexe 8

ANNEXES

Annexe 1 – Notre proposition d’insertion en images

Annexe 2 - La rue de Versailles en images

Annexe 3 - Recensement de la population dans la zone d’étude

Annexe 4 - Fréquentation générale sur notre périmètre d’étude

Annexe 5 - Plans de la rue de Versailles, situation existante

Annexe 6 - Plans de la rue de Versailles, notre proposition d’aménagement

Annexe 7 - Plan de la rue de Versailles, situation de la voirie et réseau divers sur le site

Annexe 8 – Fiche technique véhicule de transport urbain articulé

Annexe 9 – Exemples de BHNS en France

Annexe 1 – Notre proposition d’insertion en image

1- La section courante



Figure 48 : Plan section courante

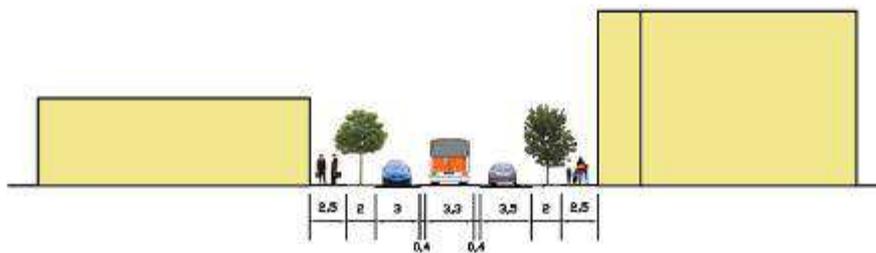


Figure 49 : Plan en coupe vers la place de la Loi

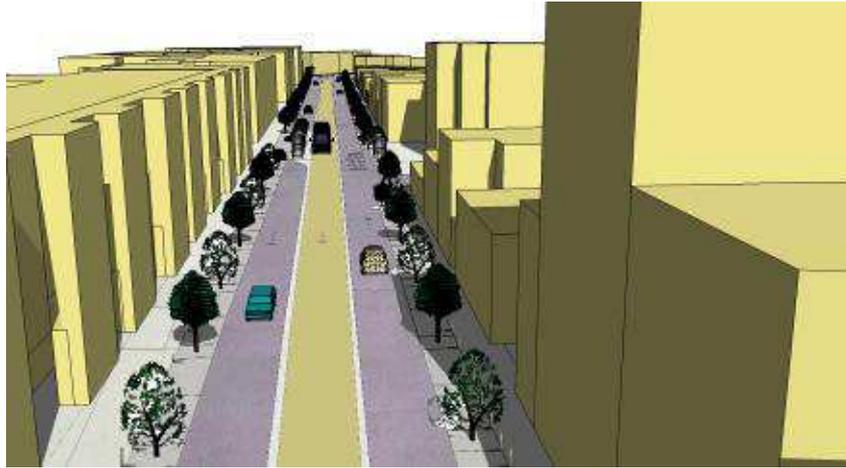


Figure 50 : Perspective de la rue de Versailles, vers la place Simart

2- La place de la Loi

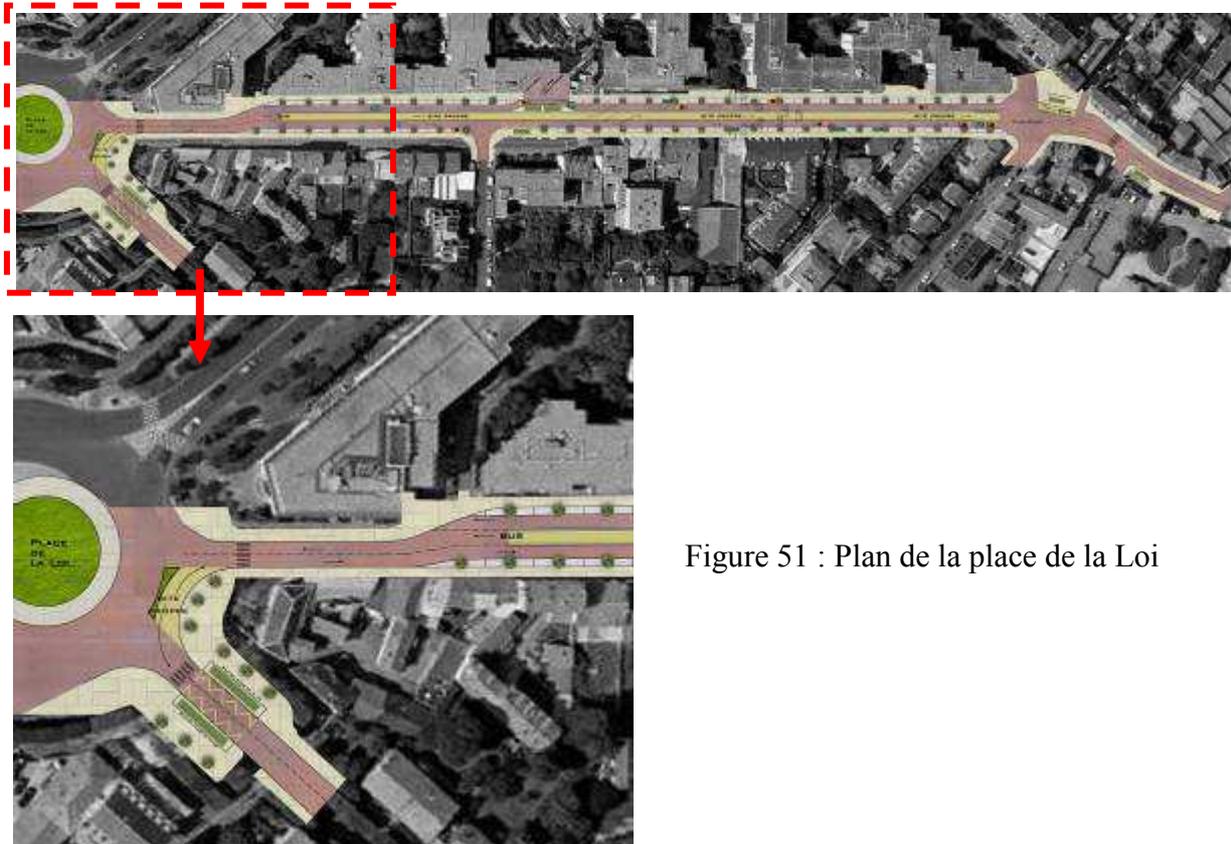


Figure 51 : Plan de la place de la Loi



Figure 52 : Plan en coupe de la station place de la Loi

3- La station « Les 2 Frères »



Figure 53 : Plan station « Les deux frères »

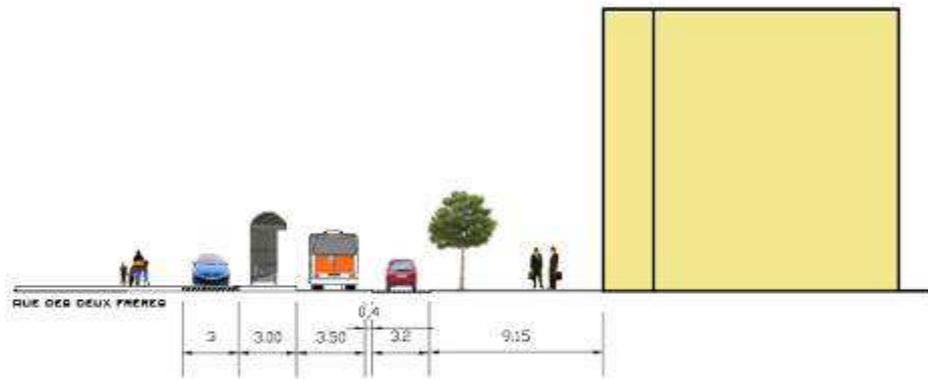


Figure 54 : Plan en coupe de la station « Les 2 Frères » vers la place Simart

4- La place Simart



Figure 55 : Plan station « place Simart »

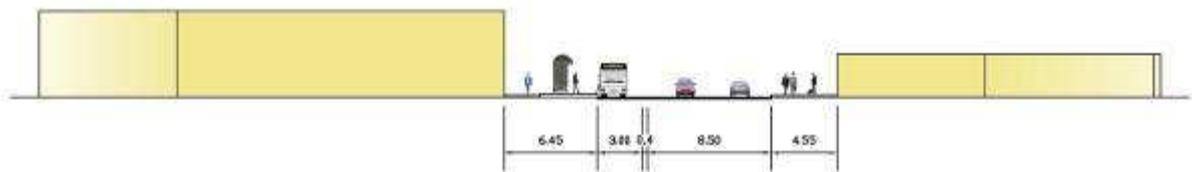
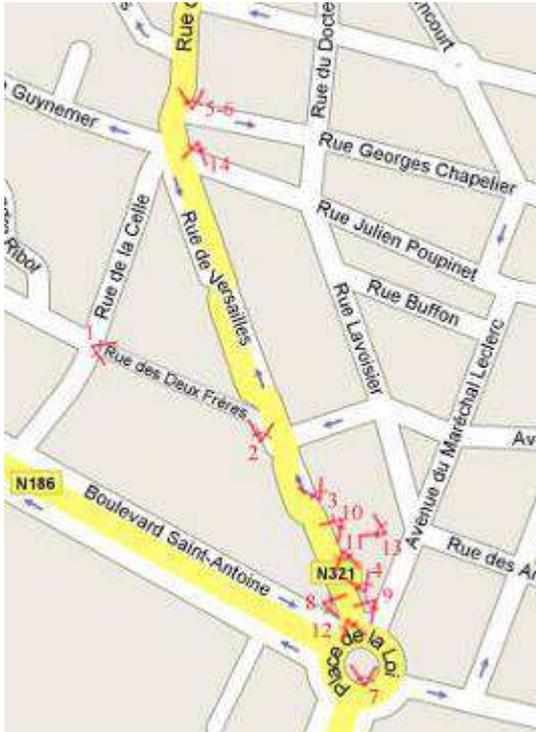


Figure 56 : Plan en coupe de la station « place Simart »

Annexe 2 - La rue de Versailles en images



1 La rue des 2 frères



2 Contre allées entre la rue des Deux Frères et la rue de Versailles où un bus de la ligne B parcourt la rue.



3 La rue de Versailles



4 Contre-allées avec stationnement en épi



5 L'arrêt « place Simart » direction Rocquencourt



6 Nous pouvons remarquer que le bateau sert en vérité de quai.



7
 Vue aérienne de la place de la Loi
 entre l'avenue du Générale Leclerc et
 la rue de Versailles



8
 L'angle est particulièrement aigu
 entre l'avenue du Générale Leclerc et
 la rue de Versailles



9
 Un bus de la ligne B à l'arrêt
 « place de la Loi »



10
 Stationnement en épi rue de
 Versailles



11
 Perspective de la rue de Versailles
 vers la place de la Loi



12
 La place de la Loi



13
 La rue de Versailles depuis la place
 de la Loi



14
 La rue de Versailles depuis la place
 Simart

Annexe 3 - Recensement de la population dans la zone d'étude



Figure 57 : découpage de notre zone d'étude par type d'habitat

Tableau XXVIII : Nombre d'habitants par zone sur le périmètre d'étude

Groupe de parcelles dans la commune du Chesnay	Nombre de personnes	Nombre de locaux principaux
Groupe 1	2 376	999
Groupe 2	441	179
Groupe 3	169	55
Groupe 4	339	122
Total	3 325	1 355

Annexe 4 - Fréquentation générale sur notre périmètre d'étude

Tableau XXIX : Montées journalières période scolaire ligne B¹

Montées journalières période scolaire ligne B		
Stations :	Sens Roquencourt > Porchefontaine	Sens Porchefontaine > Roquencourt
Place Simart	372	99
La Celle	Non desservi	64
Place de la Loi	441	136
Total Vieux Chesnay Sud	813	299

Selon une campagne de comptages réalisée en juin 2007, il a été observé la fréquentation suivante sur la ligne B du réseau Phébus :

Le matin entre 7h15 et 9h15 :

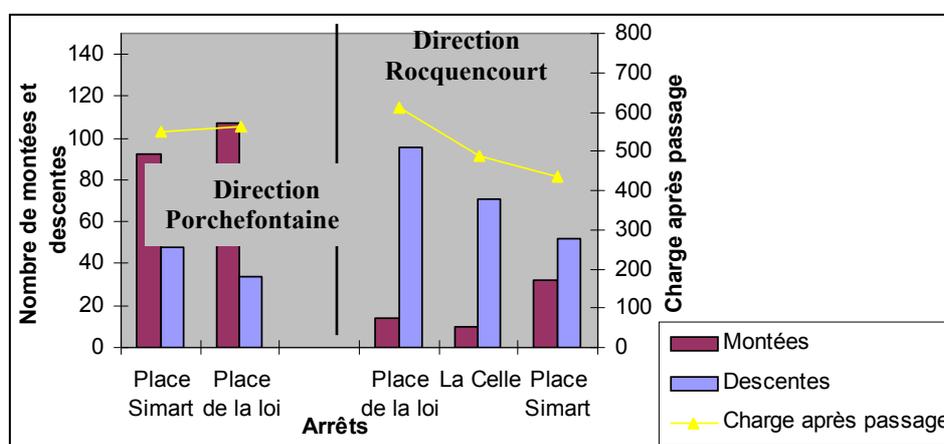


Figure 58 : Comptages période de pointe du matin

L'après-midi entre 16h30 et 19h :

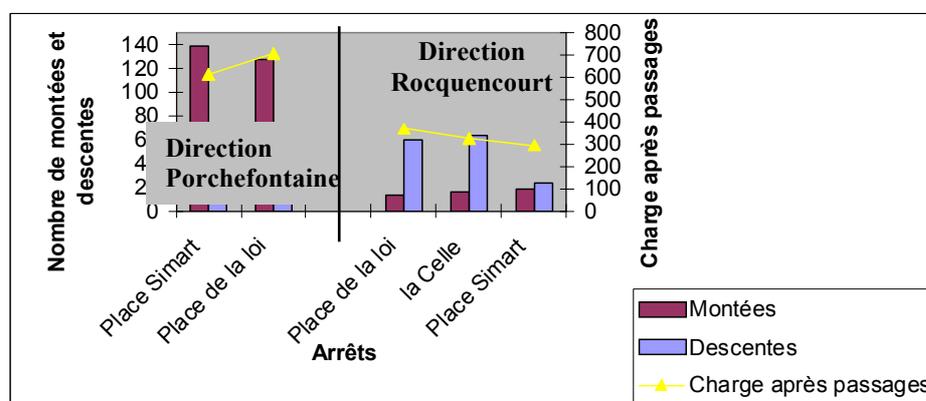


Figure 59 : Comptages période de pointe du soir

¹ Chiffres Phébus

Annexe 5 - Plans de la rue de Versailles, situation existante

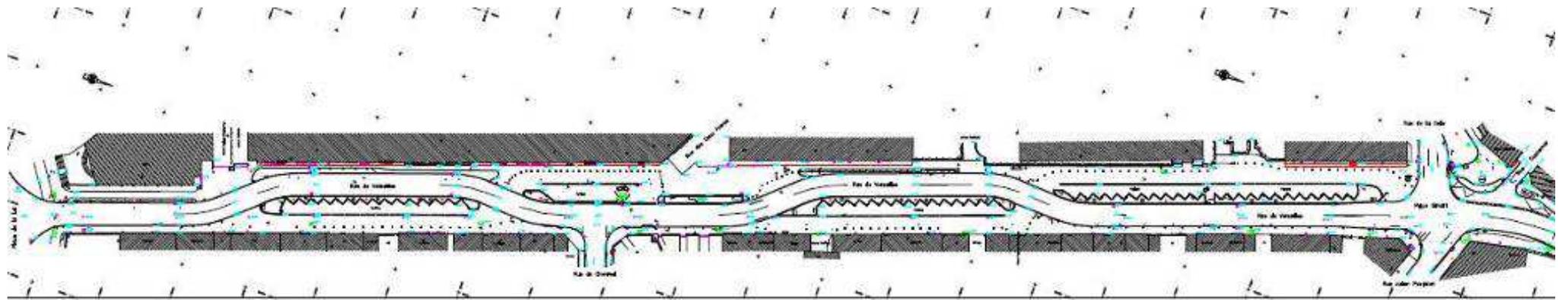
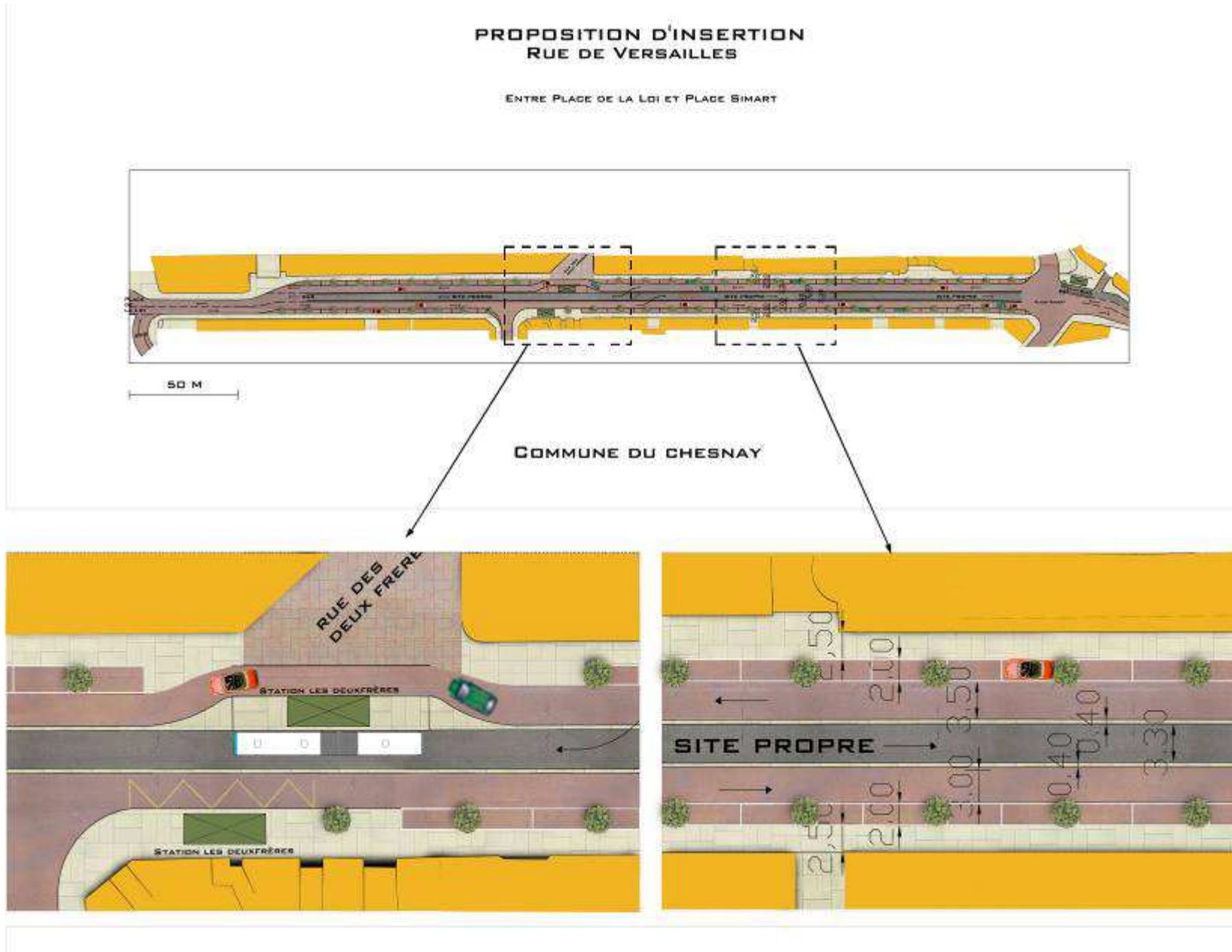


Figure 60 : Plan de la rue de Versailles, situation existante

Annexe 6 - Plans de la rue de Versailles, notre proposition d'aménagement



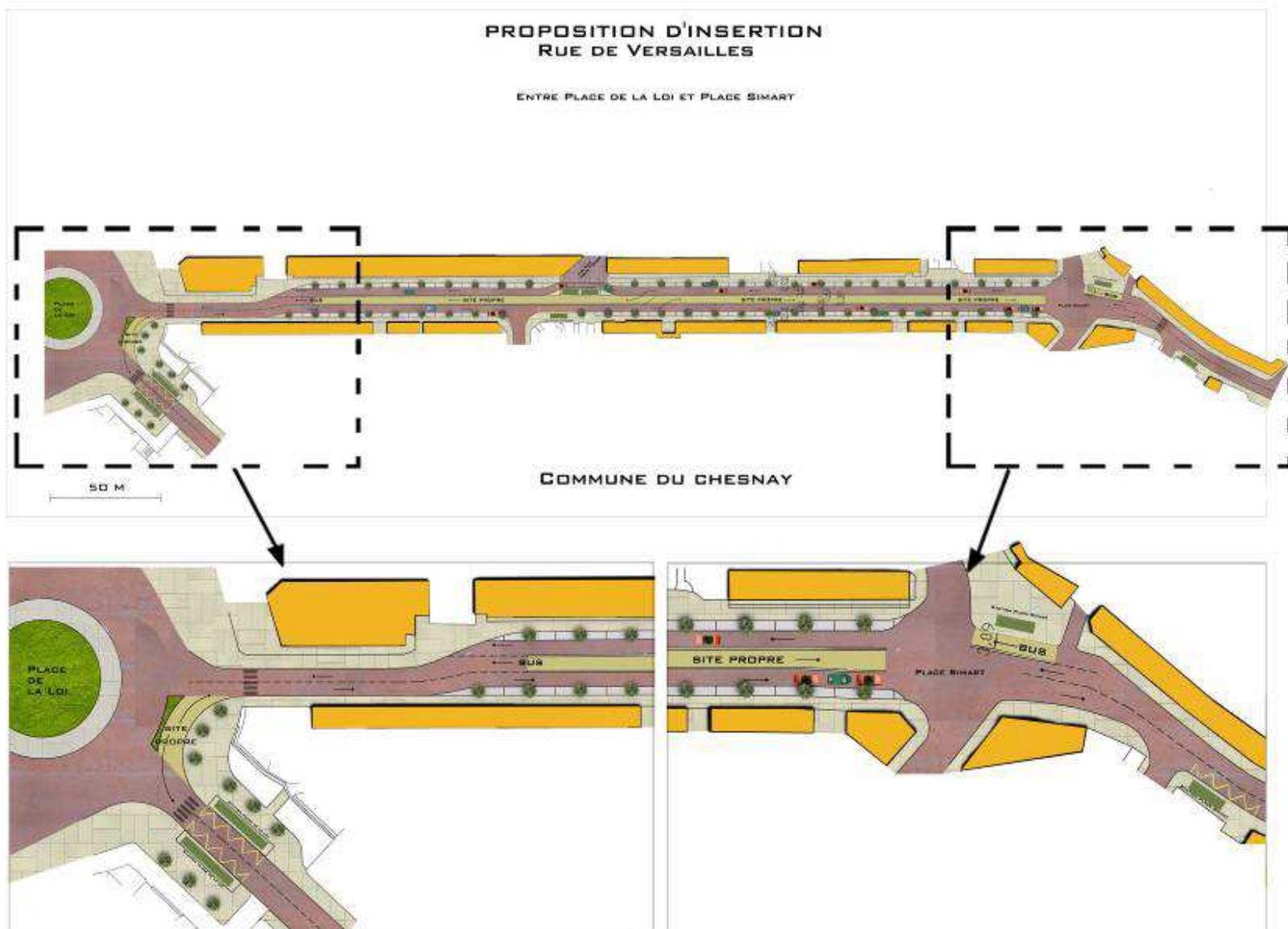


Figure 61 : Propositions d'insertions

Annexe 7 - Plan de la rue de Versailles, situation de la voirie et réseaux divers sur le site

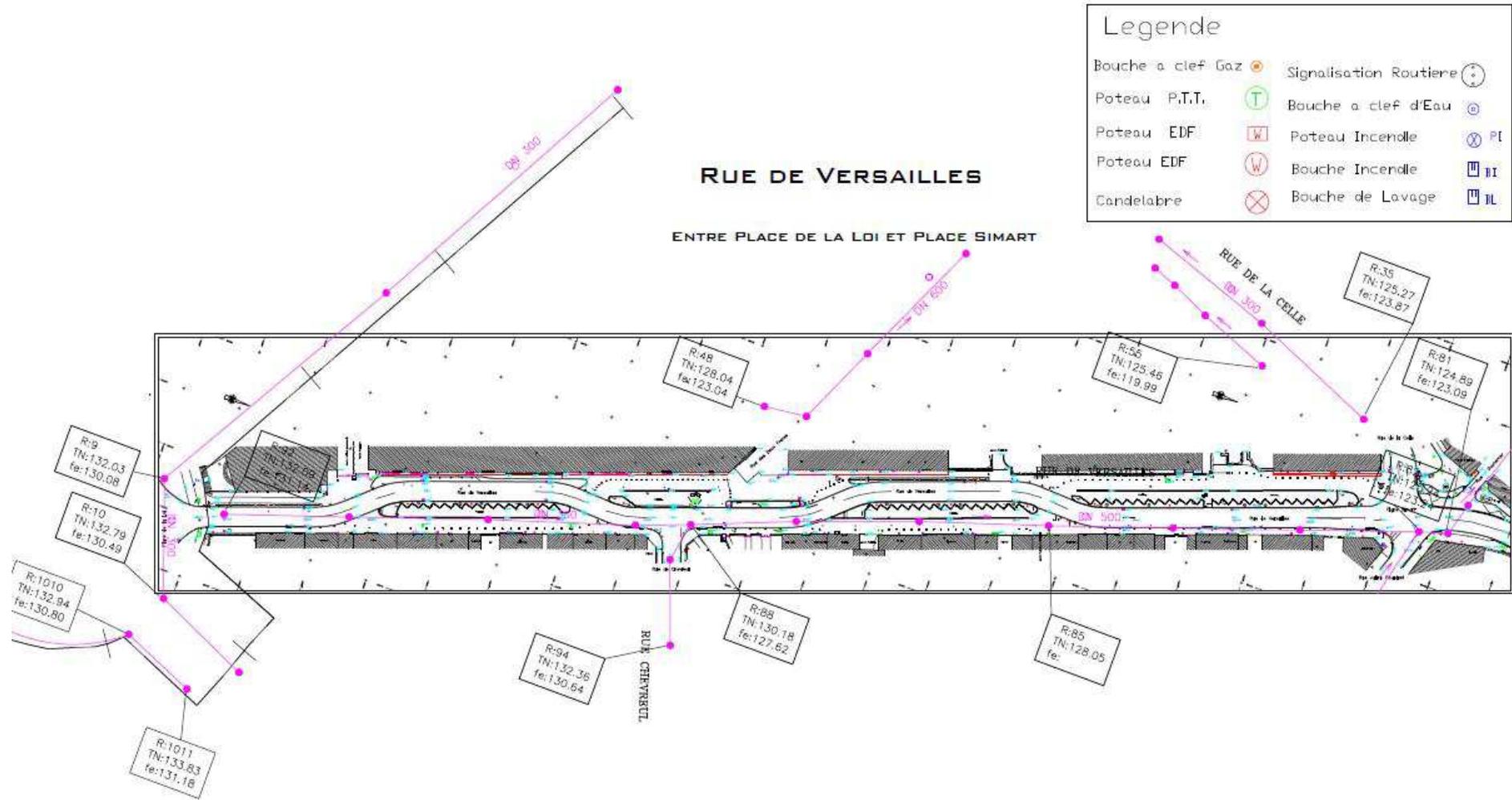
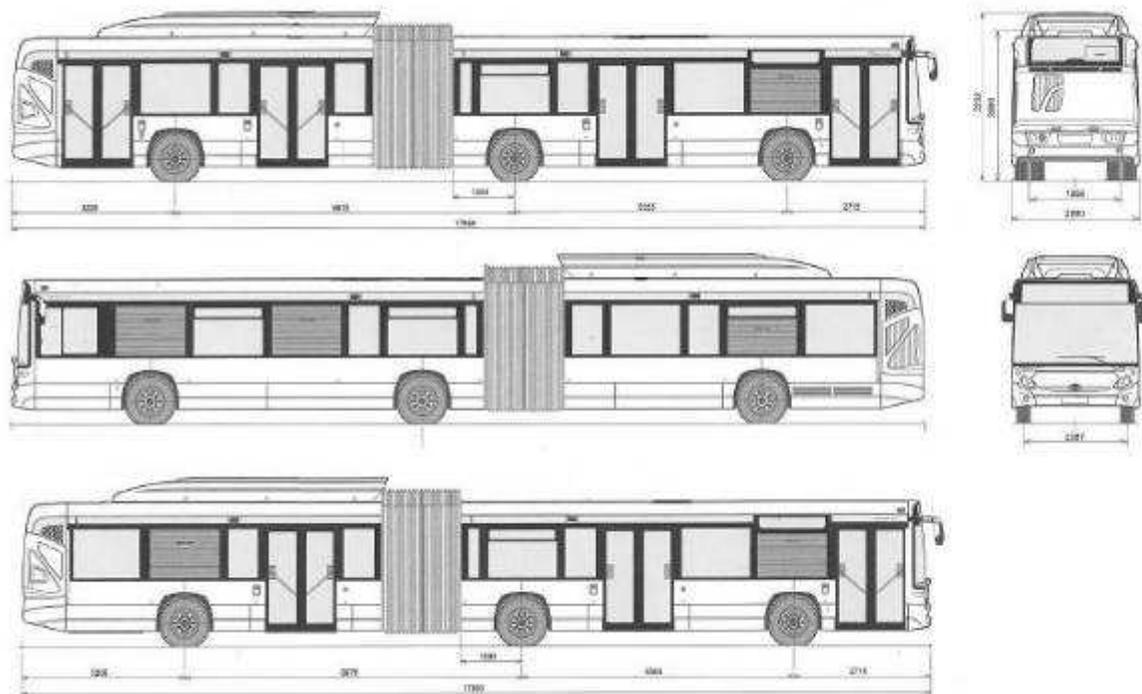


Figure 62 : Plan de la rue de Versailles, situation de la voirie et des réseaux divers sur le site

Annexe 8 – Fiche technique véhicule de transport urbain articulé

Exemple d'une fiche technique d'un véhicule urbain articulé de capacité de 140 places.
Modèle Heuliez bus ACCESS'BUS GX 427 GNV



DESCRIPTIF TECHNIQUE

Version France

Ref. Juillet 2010 Annule et remplace réf. Septembre 2009

POIDS

PT à vide	selon aménagements
P.T.A.C.	30 000 kg
Sur essieu AV	7 245 kg
Sur essieu milieu	11 500 kg
Sur essieu AR	13 000 kg

DIMENSIONS

Longueur hors tout	17,950 m
Porte-à-faux AV/AR	2,715/3,205 m
Empattement AV/AR	5,355/6,675 m
Largeur	2,550 m
Hauteur totale en charge	3,232 m
Hauteur intérieure partie AV	2,384 m
Hauteur intérieure partie AR	2,262 m
Hauteur emmarchement	
Porte AV	0,320 m
Porte 2	0,330 m
Portes AR (portes 3 et 4)	0,330 m
Largeur portes AV/MED/AR	1,200 m
Hauteur du plancher en partie centrale	0,340 m
Hauteur libre sous jupe	0,300 m
Voie AV/AR	2,087/1,869 m
Rayon de braquage entre trottoirs	10,182 m
Rayon de balayage avant	11,650 m
Angles d'attaque/fuite	7,4°/7,4°

Annexe 9 – Exemples de BHNS en France

Le TEOR à Rouen

TEOR



TEOR



TEOR



TEOR

Quelques chiffres

Mise en service : février 2001

Agglomération : Rouen

Trafic voyageurs : 42 000 / jour

Nombre de kilomètres : 25,6

Couche de roulement : béton bitumineux

TEOR

Rue du Général Leclerc, avant travaux



TEOR

Rue du Général Leclerc, après travaux



Le busway à Nantes

BUSWAY



BUSWAY



BUSWAY

Quelques chiffres

Mise en service : décembre 2006

Agglomération : Nantes

Trafic voyageurs : 28 000 / jour

Nombre de kilomètres : 7

Couche de roulement : béton bitumineux

BUSWAY



Le trolleybus Cristalis C3 à Lyon

CRISTALIS C3



CRISTALIS C3

Quelques chiffres

Mise en service : octobre 2007

Agglomération : Lyon

Trafic voyageurs : 50 000 / jour

Nombre de kilomètres : 12

Couche de roulement : béton bitumineux

CRISTALIS C3



CRISTALIS C3



CRISTALIS C3



Le TVM, (trans'Val de Marne) entre St Maur et Créteil en Ile de France

TVM



TVM

Quelques chiffres

Mise en service : octobre 1993

Agglomération : Ile-de-France, Val de Marne

Trafic voyageurs : 48 000 / jour

Nombre de kilomètres : 19,7

Couche de roulement : béton bitumineux

TVM



TVM



Le METTIS à Metz

METTIS



METTIS

Quelques chiffres

Mise en service : octobre 2013
Agglomération : Metz
Trafic voyageurs : 36 000 / jour
Nombre de kilomètres : 17,8
Couche de roulement : béton BAC à 75%

METTIS



METTIS



Le Tzen, entre Lieusaint-Moissy et Corbeil Essonnes en Ile de France

Tzen



Tzen

Quelques chiffres

Mise en service : juillet 2011

Agglomération : Ile-de-France, Essonne

Trafic voyageurs : 5 000 / jour

Nombre de kilomètres : 14,7 dont 9,6 en site propre

Couche de roulement : béton BAC et béton goujonné

Tzen



Tzen



LISTE DES ABREVIATIONS

BHNS : Bus à Haut Niveau de Service

BBME : Béton bitumineux à module élevé

BAC : Béton armé continu

BC : Béton de ciment

BBSG : Béton bitumineux semi-grenu

CERTU : Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les Constructions Publiques

EME : Enrobé à module élevé

GB : Grave bitume

GNT : Grave non traitée

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

PDUIF : Plan de Déplacements Urbains d'Ile de France

PF : Plateforme

SAE : Système d'Aide à l'Exploitation

SAEIV : Système d'Aide à l'Exploitation et à l'Information aux Voyageurs

STIF : Syndicat des Transports d'Ile de France

SVTU : Société Versaillaises de Transport Urbain

TEOR : Transport Est Ouest Rouennais

TC : Transport en commun

TCSP : Transport en commun en Site Propre

VP : Voiture Particulière

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages :

- CERTU, 2000, Dimensionnement des structures des chaussées urbaines ;
- CERTU, janvier 2000, Guide d'aménagement de voirie pour les transports collectifs ;
- CERTU, 2001, Panorama des villes à PDU obligatoires sans projet de TCSP avancé ;
- CERTU, 2003, Panorama des villes à TCSP (hors Ile de France), situation 2001 » ;
- CERTU, 2003, Les zones 30 en France, bilan des pratiques en 2000,
- CERTU et CCI de Bordeaux, 2004, Déplacements et commerces, recommandations pour observer les impacts d'un TCSP sur les activités économiques ;
- CERTU, octobre 2005, Bus à haut niveau de service, concept et recommandations ;
- CERTU, 2006, Chaussées bus, choix des matériaux et dimensionnement structurel ;
- JEUFFROY G., SAUTEREY R., 1991, Cours de Routes, dimensionnement des chaussées 2^e édition, *Ecole des Ponts et Chaussées*,
- KARSENTY G., 2004, Guide pratique des VRD et aménagements extérieurs, *Eyrolles* ;
- LABORATOIRE REGIONAL DE L'OUEST PARISIEN, 2003, Guide technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile de France, catalogue des structures de chaussées ;
- LCPC-SETRA, 1994, Guide technique – Conception et dimensionnement des structures de chaussées.

Plans de VRD suite à une DICT¹ un lancée par la mairie du Chesnay :

- GRT Gaz, ERDF, France Telecom, Numericable, SFR, Eiffage Connectic, Sevesc, Smarov, Eiffage forclum.

¹ Déclaration d'intention de commencement de travaux effectuée en janvier 2013 par la commune du Chesnay

Documents d'urbanisme

- PDUIF (plan de déplacements urbains d'Ile de France), décembre 2000, document d'orientation d'urbanisme régional ;
- PLU (plan local d'urbanisme) du Chesnay, délibéré le 15 février 2005 ;
- PLU (plan local d'urbanisme) de Versailles, approuvé le 8 septembre 2006.

Principales études de transport liées au projet :

- Etude de faisabilité du TCSP Versailles-Le Chesnay, 1999-2003 ;
- Etude de fluidité Versailles, 2001 ;
- Marché de définition phase 1 et 2 TCSP Versailles- Le Chesnay, STIF, 2005-2006.

Etude de prix :

- Conseil Général des Yvelines, 2011, Catalogue des revêtements adaptés aux véloroutes, voies vertes, pistes cyclables et bandes cyclables ;
- Société SATO et associés, 2013, Analyse de devis de projets de VRD ;
- NGE, octobre 2013, entretien informel avec le directeur commercial.

Entretiens :

- **CERTU**, 10 juillet 2007, Lyon, entretien avec Mrs Christian Babilotte et François Rambaud, service « transport » et « voirie » ;
- **Communauté d'agglomération de Rouen**, 18 juillet 2007, entretiens avec Mrs Letellier (qui s'est occupé de la réalisation de la phase 2 du réseau TEOR) et Bertrand Masson (qui s'est occupé de la phase 1 du réseau TEOR) ;
- **Keolis Lyon**, 27 juillet 2007, Lyon, entretien avec Stéphane Guillemain, service « études et projets »,.
- **Municipalité du Chesnay** :
3 janvier et 5 février 2013, entretiens avec M. Nicolas Baguenard, directeur général des services techniques et de l'aménagement urbain de la commune du Chesnay.
- **Stage à la SVTU** (réseau de transports Phébus à Versailles), avril / septembre 2007 ;
- **Groupe NGE**, octobre 2013, terrassement et travaux publics, entretien informel ;
- **Société SATO et associés**, décembre 2013, ingénierie générale, entretien informel.

Visites réseaux extérieurs lors d'un stage en 2007 à la SVTU :

- TCL, Transports en commun Lyonnais, 10 et 27 juillet 2007
- STAS, Transports urbains de l'agglomération de Saint Etienne, 27 juillet 2007
- RATP, réseau de bus de Paris, Tvm et tramway T1 particulièrement, juillet - aout 2007
- TCAR (réseau « metrobus »), Transports en commun de l'agglomération Rouennaise, 18 juillet 2007

Logiciels utilisés :

- Calculs : Microsoft Excel 2003,
- CAO/DAO : Autocad 2012
- Plans : 2D : Adobe Photoshop CS5, 3D : Sketchup

Divers

- Cours du CNAM, effectués entre 2008 et 2012 dont les cours suivants :
 - Module de GGC 234, Terrassement et routes, années 2009/2010.
 - Modules de résistance des matériaux 1 à 4, années 2008/2009/2010/2011
 - Module GGC 236, Géologie du génie civil, année 2008/2009
- Cours de Master 1 et 2 Exploitation et développement des réseaux de transports publics, effectué à l'université de Cergy Pontoise entre 2005 et 2007 dont les cours suivants :
 - Module de Conception de l'offre de transport

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Avantages et inconvénient d'un site propre unidirectionnel et une voix VP à sens unique.....	27
Tableau II : Fréquentation des trois stations concernées par le projet.....	38
Tableau III : Fréquentation de la station « rue des deux frères ».....	38
Tableau IV : Temps de parcours et vitesse commerciale.....	42
Tableau V : Détermination des portances à court terme et à long terme les plus probables dans des conditions usuelles.....	48
Tableau VI : Classe de l'arase de terrassement.....	49
Tableau VII : définition des épaisseurs de couche de forme par rapport à l'arase.....	49
Tableau VIII : Classe de plateforme en fonction de l'arase.....	50
Tableau IX : Conditions des matériaux en couche de forme.....	50
Tableau X : Trafic bus journalier (MJA).....	51
Tableau XI : Distinction des périodes de fréquentation.....	52
Tableau XII : Poids des essieux.....	53
Tableau XIII : Coefficient d'agressivité moyen (CAM).....	53
Tableau XIV : Nombre d'essieux équivalents (NE) pour les structures souples.....	55
Tableau XV : Nombre d'essieux équivalents (NE) pour les structures rigides.....	55
Tableau XVI : Caractéristiques de chaque structure.....	62
Tableau XVII : Correspondance BB/BBSG/BBME.....	65
Tableau XVIII : Epaisseurs des différentes structures possibles.....	67
Tableau XIX : IA en fonction des pote méteo.....	69
Tableau XX : Classe de sensibilité au gel.....	70
Tableau XXI : Valeurs du coefficient Qg.....	70
Tableau XXII : Valeurs du coefficient An en fonction des matériaux.....	71
Tableau XXIII : Valeurs du coefficient Ai et Bi en fonction des matériaux.....	72
Tableau XXIV : IA en fonction des structures et épaisseurs.....	72
Tableau XXV : Surfaces des différentes zones du site.....	73
Tableau XXVI : Prix au m ³ des matériaux.....	74
Tableau XXVII : Prix au m ² des différentes structures.....	74
Tableau XXVIII : Nombre d'habitants par zone sur le périmètre d'étude.....	87
Tableau XXIX : Montées journalières période scolaire ligne B.....	88

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Vue aérienne de la rue de Versailles.....	7
Figure 2 : Principaux flux routiers	8
Figure 3 : Schéma de principe des circulations douces.....	9
Figure 4 : plan de la rue de Versailles	9
Figure 5 : Structure actuelle de la chaussée	10
Figure 6 : Tracé envisagé du futur TCSP	12
Figure 7 : Schéma site propre axial.....	15
Figure 8 : Schéma site propre latéral.....	15
Figure 9 : Schéma site propre bilatéral.....	15
Figure 10 : Un bus TEOR arrive en station rue du Général Leclerc	17
Figure 11 : Billetterie en station.....	18
Figure 12 : SAEIV.....	18
Figure 13 : Accès réglementé de la plateforme.....	18
Figure 14 : Signaux routiers et spécifique tram	19
Figure 15 : Schéma de la route de Dieppe	20
Figure 16 : la route de Dieppe en photos	20
Figure 17 : Dénivelé entre le site propre et la chaussée routière.....	21
Figure 18 : Hauteur du quai des lignes TEOR	21
Figure 19 : Schéma de principe d'un site propre avec croisement en station	23
Figure 20 : Inconvénient d'un site propre bidirectionnel à voix unique	23
Figure 21 : Schéma site propre bidirectionnel à double voix avec voix VP à sens unique.....	24
Figure 22 : Schéma site propre unidirectionnel avec voix VP à double sens	25
Figure 23 : Schéma site propre unidirectionnel avec voix VP à sens unique	26
Figure 24 : Perspective de la rue de Versailles vers la place Simart.....	26
Figure 25 : Le site propre place de la Loi entre l'avenue du Général Leclerc et la rue de Versailles.....	26
Figure 26 : Plan de circulation du quartier.....	28
Figure 27 : Schéma de principe du fonctionnement du site propre.....	33
Figure 28 : Schéma carrefour place Simart.....	35
Figure 29 : Schéma rue de Versailles vers place de la Loi.....	36
Figure 30 : Schéma station « rue des deux frères ».....	37
Figure 31 : Zone d'attractivité de la future station « Les 2 Frères ».....	38
Figure 32 : Configurations possibles de la station « Les deux frères ».....	39
Figure 33 : Configuration de la station « Place Simart ».....	40
Figure 34 : Configuration de la station « Place de la Loi ».....	41
Figure 35 : Courbe de vitesse.....	42
Figure 36 : schéma de calcul de dimensionnement.....	46
Figure 37 : Carte géologique sur le territoire du Chesnay	47
Figure 38 : Abaque classe mécanique matériau couche de forme	49
Figure 39 : Sectionnement de la voirie.....	56
Figure 40 : Plans en coupe d'une structure bitumineuse et d'une structure béton.....	59
Figure 41 : Abaque structure GB3/GB3/BBSG	63
Figure 42 : Abaque EME/EME/BBSG	64
Figure 43 : Abaque GNT/GB3/BBSG	65
Figure 44 : Abaque BC 3/BC 5	66
Figure 45 : Abaque BC 2/BAC	67

Figure 46 : Schéma essai de gonflement.....	69
Figure 47 : Schéma du calcul de l'IA.....	70
Figure 48 : Plan section courante	81
Figure 49 : Plan en coupe vers la place de la Loi.....	81
Figure 50 : Perspective de la rue de Versailles, vers la place Simart.....	82
Figure 51 : Plan de la place de la Loi.....	82
Figure 52 : Plan en coupe de la station place de la Loi	82
Figure 53 : Plan station « Les deux frères ».....	83
Figure 54 : Plan en coupe de la station « Les 2 Frères » vers la place Simart	83
Figure 55 : Plan station « place Simart »	84
Figure 56 : Plan en coupe de la station « place Simart ».....	84
Figure 57 : découpage de notre zone d'étude par type d'habitat	87
Figure 58 : Comptages période de pointe du matin	88
Figure 59 : Comptages période de pointe du soir.....	88
Figure 60 : Plan de la rue de Versailles, situation existante.....	89
Figure 61 : Propositions d'insertions	91
Figure 62 : Plan de la rue de Versailles, situation de la voirie et des réseaux divers sur le site ...	92

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS.....	2
REMERCIEMENTS	3
SOMMAIRE.....	4
INTRODUCTION.....	5
Partie I - Environnement du projet et présentation du système de transport	6
1- Analyse urbaine	7
1-1 Configuration urbaine	7
1-2 Flux routier.....	8
1-3 Les modes doux.....	9
1-4 Configuration de la rue de Versailles	9
1-5 Etat initial de la structure de la chaussée.....	10
2- Le système transport	12
2-1 enjeux du projet.....	12
2-2 Présentation du système	13
2-3 Configuration du site propre.....	14
2-4 Le franchissement des carrefours.....	16
2-5 Configuration des stations	16
2-6 Exemple de BHNS en France.....	17
2.6.1. Présentation	17
2.6.2. Etude de cas : la route de Dieppe à Déville les Rouen.....	20
Partie II - Configuration et définition du tracé de la voirie	22
1- Choix de la configuration	23
Configuration n°1	23
Configuration n°2	24
Configuration n°3	25
Configuration n°4	26
2- Prescription Générale.....	28
2-1 Etude de cas : suppression d'un sens de circulation	28
2-2 Caractéristiques d'une zone 30.....	29
2-3 Le cas du stationnement	30
2-4 Le cas du vélo.....	31
2-5 Choix des critères	31
3- Notre proposition d'esquisse.....	33
3-1 Dimensionnement de la voirie.....	33
3-2 Configuration de la section courante	35
3-2-1 Carrefour place Simart	35
3-2-2 La fin du site propre en arrivant vers la place de la Loi	36

3-3 Configuration des stations	37
3-3-1 La station « Les 2 Frères »	37
3-3-2 La station « place Simart »	40
3-3-3 Le système de passage à la station « place de la Loi »	40
3-4- Vitesse commerciale	42
Conclusions de la seconde partie	43
Partie III - Conception et dimensionnement de la plateforme	44
Avant-propos	45
1-Paramètres de dimensionnement	47
1.1 Données géologiques / portance sol support.....	47
1-2 Détermination du trafic et du coefficient NE	51
1-2-2 Le trafic MJA	51
1-2-2 Poids des véhicules	52
1-2-3 Coefficient d'agressivité	52
1-2-4 La canalisation du trafic	53
1-2-5 Durée de service et risque de calcul	54
1-2-6 Taux de croissance du trafic.....	54
1-2-7 Calcul du nombre d'essieux équivalents NE.....	54
2- Choix des couches de surface.....	56
2-1 Données initiales à respecter	56
2-2 Choix des matériaux de la couche de roulement	57
2-2-1 Section du site propre.....	57
2-2-1 Section banalisée	59
2-2-3 Choix de la couche d'assise	59
3- Dimensionnement de la structure, étape n°1 : choix des matériaux	61
3-1 Principe du calcul	61
3-2 Hypothèse 1 : structures souples en béton bitumineux.....	63
3-2-1 Structure GB3/GB3/BBSG ou BBME pour la section courante :	63
3-2-2 Structure EME/EME/BBSG ou BBME pour la section courante.....	64
3-2-3 Structure GNT/GB3/BBSG ou BBME :	65
3-3 Hypothèse 2 : structure en Béton pour la voie de TCSP	66
3-3-1 Structure en béton de ciment de type BC 3 / BC 5 :	66
3-3-2 Structure en béton armé continu de type BC 2 / BAC.....	67
3-4 Comparatif des structures.....	67
4. Dimensionnement de la structure, étape n°2 : Vérification au gel / dégel	68
4-1 Déroulement du calcul	68
4-2 Comparatif des structures au gel/dégel.....	72
5- Données génériques pour la phase travaux.....	73
5-1 Volume & Surface.....	73
5-2 Etude économique	74
5-3 Recommandations pour la phase travaux	75
Conclusions de la troisième partie	77
CONCLUSIONS GENERALES.....	78

ANNEXES	80
Annexe 1 – Notre proposition d’insertion en image	81
Annexe 2 - La rue de Versailles en images.....	85
Annexe 3 - Recensement de la population dans la zone d’étude	87
Annexe 4 - Fréquentation générale sur notre périmètre d’étude.....	88
Annexe 5 - Plans de la rue de Versailles, situation existante.....	89
Annexe 6 - Plans de la rue de Versailles, notre proposition d’aménagement	90
Annexe 7 - Plan de la rue de Versailles, situation de la voirie et réseaux divers sur le site.....	92
Annexe 8 – Fiche technique véhicule de transport urbain articulé	93
Annexe 9 – Exemples de BHNS en France	94
LISTE DES ABREVIATIONS	100
BIBLIOGRAPHIE.....	101
LISTE DES TABLEAUX.....	104
LISTE DES FIGURES	105
TABLE DES MATIERES.....	107

RESUME

Les communes de Versailles et du Chesnay projettent de créer une ligne de TCSP au sein de leur centre-ville. Notre étude porte sur la configuration de la voirie au sein du centre-ville du Chesnay sur ce projet. Cette section d'une longueur de 460 mètres présente de multiples contraintes dont le fait de posséder une largeur de façade à façade relativement étroite (16 à 19 mètres) mais devant accueillir l'ensemble des flux : routiers, piétons, des places de stationnement et notre système transport (site propre, stations etc.).

Nous pensons qu'il est possible et avantageux de préconiser un site propre franchissable axial à sens alterné, aux stations aménagées avec quai haut et accessibilité renforcée aux PMR, avec un double sens de circulation et stationnements bilatéraux dans une zone 30, avec des trottoirs élargis où les piétons sont revalorisés. De cette façon, notre ligne à haut niveau de service s'intègre à la physionomie du lieu et aux enjeux qui s'en dégagent.

Le fort trafic d'autobus prévu entraîne de fortes contraintes sur le dimensionnement de la chaussée. Cela se traduit essentiellement par un trafic agressif et canalisé, ainsi que par la nécessité d'obtenir une bonne résistance à l'orniérage et une bonne résistance en fatigue.

Mots clés : BHNS, TCSP, transport, bus, chaussée.

SUMMARY

The municipalities of Versailles and Chesnay intended to create a line of specific site public transport within their city center.

Our study concerns the configuration of the public road network within the city center of Chesnay on this project.

This section of 460 meters length presents multiple constraints as for example the relatively narrow distance between the facades (16 to 19 meters) which must welcome multiples flows : traffic, pedestrians, the parking places and our specific site public transportation (bus lane, bus stations, etc.).

We think that it is possible and advantageous to recommend an axial crossable bus lane with alternated directions and with bus stations fitted out with high platforms accessible for disabled peoples, as well as with a double direction traffic, bilateral car park in a 30 speed zone and with widened sidewalks where the pedestrian spaces are revalued. This way, our line of high level service becomes integrated into the environment and into the challenges that this environment creates.

The high buses traffic which has been projected will bring important constraints of the sizing of the road. This matter is essentially translated by an aggressive and channelled traffic, as well as by the necessity of obtaining a good resistance to the pavement rutting and a good resistance to the road wear.

Key words : BRT, transport, bus, road.