

Rapport final

Client:

Association Qualité-Mobilité

32 rue Raymond Losserand,
75015 Paris
France

Prestataires :

Trans-Missions, Tours
Transport-Technologie Karlsruhe, Lyon

Retour d'expériences des choix Tramway-BHNS dans les aggloméra- tions françaises

Responsable de l'étude :

Trans-Missions

19 rue Edouard-Vaillant
37000 Tours
France

info@trans-missions.eu

02 45 34 01 90

06/09/2016



Auteurs

Jean-Marie Beauvais, Gérant de Trans-Missions, Docteur en Économie des Transports

Marc Perez, Chef de département Planification des Transports de TTK, Docteur en Économie des Transports

Mathias Cureau, Consultant de Trans-Missions

Jérémy Gradelle, Ingénieur d'études de TTK

Etienne Trubert, Ingénieur d'études de TTK

Table des matières

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUCTION | 7 |
| 1.1 | Présentation des cabinets..... | 7 |
| 1.1.1 | Trans-Missions..... | 7 |
| 1.1.2 | TTK..... | 7 |
| 1.2 | Les agglomérations retenues..... | 8 |
| 1.3 | Méthodologie employée | 9 |
| 1.3.1 | Le recueil de données..... | 9 |
| 1.3.2 | Analyse multicritères | 9 |
| 1.3.3 | Guide méthodologique pour les décideurs publics..... | 10 |
| 1.4 | Définitions | 10 |
| 1.4.1 | BHNS | 10 |
| 1.4.2 | Tramway | 11 |
| 1.4.3 | Localisation des projets de BHNS et Tramway en France..... | 12 |
| 1.5 | Plan du rapport..... | 13 |
| 2 | MONOGRAPHIES DES CAS D'ETUDE..... | 15 |
| 2.1 | IDF - Trans-Val-de-Marne | 15 |
| 2.1.1 | Rappel historique | 15 |
| 2.1.2 | Les fondements du projet | 15 |
| 2.1.3 | Présentation du projet..... | 16 |
| 2.1.4 | Fréquentation | 17 |
| 2.1.5 | Aspects économiques et financiers | 18 |
| 2.1.6 | Perspectives du projet / réseau..... | 19 |
| 2.1.7 | Bilan du projet..... | 19 |
| 2.2 | IDF - T-Zen 1 | 21 |
| 2.2.1 | Rappel historique | 21 |
| 2.2.2 | Les fondements du projet | 21 |
| 2.2.3 | Présentation du projet..... | 22 |
| 2.2.4 | Fréquentation | 23 |
| 2.2.5 | Aspects économiques et financiers | 24 |
| 2.2.6 | Perspectives du projet / réseau..... | 24 |
| 2.2.7 | Bilan du projet..... | 25 |
| 2.3 | Metz – Mettis..... | 27 |
| 2.3.1 | Rappel historique | 27 |
| 2.3.2 | Les fondements du projet | 27 |
| 2.3.3 | Présentation du projet..... | 28 |
| 2.3.4 | Fréquentation | 31 |
| 2.3.5 | Aspects économiques et financiers | 33 |
| 2.3.6 | Perspectives du projet / réseau..... | 34 |
| 2.3.7 | Bilan du projet..... | 35 |



| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.4 | Besançon - Tram 1..... | 36 |
| 2.4.1 | Rappel historique..... | 36 |
| 2.4.2 | Les fondements du projet..... | 36 |
| 2.4.3 | Présentation du projet..... | 38 |
| 2.4.4 | Fréquentation..... | 40 |
| 2.4.5 | Aspects économiques et financiers..... | 41 |
| 2.4.6 | Perspectives du projet / réseau..... | 42 |
| 2.4.7 | Bilan du projet..... | 42 |
| 2.5 | Nantes - Busway..... | 43 |
| 2.6 | Strasbourg - Ligne G..... | 46 |
| 2.7 | Lyon – tram T3..... | 51 |
| 2.8 | Rouen – Lignes TEOR..... | 58 |
| 2.9 | Tours - Tramway ligne A..... | 63 |
| 3 | ANALYSE COMPARATIVES DES LIGNES..... | 67 |
| 3.1 | Comparaison des caractéristiques principales..... | 68 |
| 3.1.1 | Caractéristiques générales..... | 68 |
| 3.1.2 | Matériel roulant..... | 69 |
| 3.1.3 | Fréquentation..... | 69 |
| 3.1.4 | Fréquence et vitesse commerciale..... | 70 |
| 3.1.5 | Effet TCSP..... | 70 |
| 3.2 | Ratios relatifs à la fréquentation..... | 72 |
| 3.2.1 | La fréquentation par kilomètre produit..... | 72 |
| 3.2.2 | La fréquentation par place kilomètre offerte..... | 73 |
| 3.3 | Ratios relatifs aux coûts..... | 74 |
| 3.3.1 | Le coût d'investissement rapporté au kilomètre de ligne..... | 74 |
| 3.3.2 | Le coût d'investissement rapporté à la fréquentation..... | 75 |
| 3.3.3 | Le coût de fonctionnement rapporté au kilomètre parcouru .. | 76 |
| 3.3.4 | Le coût de fonctionnement rapporté à la fréquentation..... | 78 |
| 3.3.5 | La ventilation de coûts spécifiques..... | 78 |
| 3.4 | Comparaison financière par la méthode des coûts globaux ... | 80 |
| 3.4.1 | 1 ^{er} temps : Méthode de Marc Le Tourneur..... | 80 |
| 3.4.2 | 2 ^e temps : Méthode adaptée aux données CERTU..... | 81 |
| 3.4.3 | 3 ^e temps : Méthode adaptée aux cas d'étude..... | 83 |
| 3.4.4 | 4 ^e temps : Retour du comité de pilotage..... | 84 |
| 4 | METHODOLOGIE POUR LE CHOIX DU MODE..... | 85 |
| 4.1 | Comparaison des caractéristiques techniques des modes..... | 85 |
| 4.2 | Zones de pertinence des modes – limite de capacité..... | 87 |
| 4.2.1 | Limite de capacité des modes et définition du modèle..... | 87 |
| 4.2.2 | Résultats obtenus par le modèle..... | 88 |
| 4.3 | Calcul des coûts globaux..... | 91 |
| 4.3.1 | Définition du modèle de calcul..... | 91 |
| 4.3.2 | Résultats obtenus par le modèle..... | 93 |
| 4.3.3 | Bilan du modèle..... | 96 |
| 4.4 | Autres aspects à considérer..... | 97 |



| | |
|---------------------------------------|------------|
| 5 CONCLUSION | 101 |
| Bibliographie indicative | 103 |
| Illustrations..... | 104 |
| Tableaux..... | 106 |



1 INTRODUCTION

L'Association Qualité-Mobilité (AQM) a été créée en 2015 dans le but de promouvoir la qualité dans les transports en commun. En effet, faute de moyens, les Autorités Organisatrices de Transport, qu'elles soient locales, régionales ou nationales, réfléchissent désormais davantage en termes d'amélioration de l'existant qu'en termes d'extension de leur réseau de transport. Il s'agit ainsi pour un service de transport en commun d'être notamment plus fiable (pas ou peu de suppressions), plus ponctuel (pas ou peu de retards), et plus confortable (place assise, bruit,...).

En ce sens, l'AQM a lancé une série d'études sur le sujet de la qualité dans les transports à partir du début de l'année 2016. Parmi celles-ci, elle a notamment proposé au groupement Trans-Missions / TTK (voir la présentation des deux cabinets ci-dessous) de réaliser une étude sur le retour des expériences du Tramway et du BHNS dans certaines agglomérations françaises.

1.1 Présentation des cabinets

Les deux cabinets retenus pour cette étude sont Trans-Missions, basé à Tours et TTK, basé à Karlsruhe et Lyon.

1.1.1 Trans-Missions

Trans-Missions a été fondé à Tours au début de l'année 2015 et offre toute une gamme de compétences aux Autorités organisatrices de transport : connaissance des besoins en déplacements, reconstitution des coûts de transports, estimation du montant de la subvention à verser au transporteur, rédaction des conventions d'exploitation ou des contrats de délégation de service public, assistance à l'AOT lors des négociations avec le ou les transporteurs.

Trans-Missions est né de la volonté de ses fondateurs, KCW (Berlin) et Beauvais Consultants (Tours) d'offrir aux Autorités organisatrices des transports en France (Agglomérations, Départements, Régions, Etat) une offre complète de services : aussi bien au niveau stratégique qu'économique, financier, juridique et technique. D'où la dénomination « Trans-Missions » : réaliser des missions transdisciplinaires dans le secteur des transports.

Les intervenants de Trans-Missions seront Jean-Marie Beauvais (chef de projet) et Mathias Cureau (consultant).

1.1.2 TTK

Transport Technologie-Consult Karlsruhe GmbH (TTK SARL) est une entreprise franco-allemande de conseil spécialisée dans la planification des transports. Créée en 1996 à Karlsruhe, elle est une filiale d'AVG (Albtal-Verkehrsgesellschaft GmbH), exploitant les tram-trains de la Région de Karlsruhe et de PTV Consult GmbH du groupe PTV AG.

Fondée à l'origine pour répondre aux demandes des collectivités sur le concept du tram-train, la société TransportTechnologie-Consult Karlsruhe GmbH



(TTK) a ainsi depuis largement développé son spectre d'activités. Aujourd'hui, constituée autour de deux départements « Infrastructures » et « Etudes générales », elle constitue un pôle de compétences en matière d'études multimodales et de planification des transports publics.

Elle intervient entre autres dans les domaines d'activités, tels que les Etudes de faisabilité sur des projets ferroviaires classiques, TCSP (métro, tramway, tram-train, BHNS), de mise en place ou restructuration de réseaux de bus ; Elaboration de schémas de transport et de PDU ; Planification ferroviaire stratégique ; Restructuration de réseaux et conseil à l'exploitation ; Conseil en tarification et billettique ;...

Les intervenants de TTK seront Marc Perez (chef de projet adjoint), Jérémy Gradelle et Etienne Trubert (ingénieurs d'études).

1.2 Les agglomérations retenues

Afin de traiter d'un échantillon représentatif de projets de tramway et de BHNS en France, il a été convenu, à l'issue du premier Comité de pilotage du 22 janvier 2016, de détailler l'analyse des lignes suivantes :

- Le **TVM** en **Ile-de-France**, mis en place en 1993 et considéré comme la 1^{ère} ligne de **BHNS** en France, bien qu'elle n'en portait pas le nom à l'époque.
- Le **T-Zen1** en **Ile-de-France**, mis en place en 2011 et répondant à une charte stricte sur la Haute Qualité de Service du **BHNS**.
- Les deux lignes de **BHNS « Mettis » à Metz**, mises en place en 2013 et proches dans leurs caractéristiques (site propre, coût du projet, TCSP comme élément de renouvellement) de ce qu'aurait pu apporter un tramway.
- **Besançon** avec la mise en place en 2014 d'un **tramway** dit « optimisé ».

D'autres cas seront également traités mais avec un moindre niveau de détails attendu :

- **Strasbourg** avec la **ligne BHNS G** du réseau comportant jusqu'à lors 6 lignes de tramway (2013)
- **Rouen** avec le choix du mode BHNS retenu pour l'axe Est-Ouest (**lignes TEOR** en 2001).
- **Nantes** avec le choix de continuer à développer son réseau par du BHNS (**Busway** en 2006) alors que trois lignes de tramway structuraient le réseau.
- **Lyon** avec la ligne de **tramway T3**, empruntant en partie une infrastructure ferroviaire (2006)
- **Tours** avec le choix audacieux d'un **tramway** de 44m et une ligne de 14km (2013)



1.3 Méthodologie employée

Il s'agit de reconstituer la situation Ex-Ante et Ex-Post de chaque projet de TCSP.

La situation Ex-Ante décrit la situation au stade des études ; les coûts et les données de fréquentation sont alors **estimés**.

La situation décrit la situation une fois le projet mis en service ; les coûts et la fréquentation sont alors des données **observées**.

1.3.1 Le recueil de données

Deux niveaux de collecte sont attendus :

- d'une part des données formelles/objectivées issues des documents officiels/confidentiels des AOT, exploitants ainsi que des usagers. Les différents rapports officiels publiés par ces acteurs donnent accès à des données quantitatives, nécessaires notamment dans l'étude des coûts et de la fréquentation.
- d'autre part, des données informelles/subjectivées avec le ressenti des acteurs rencontrés sur place permettant une compréhension globale des projets réalisés. Ces éléments viendront alimenter la partie sur les aspects qualitatifs des projets.

Par ailleurs, le groupement aura recours à la littérature sur les comparaisons entre modes.

III Nota Bene : Toutes les sources de chaque chiffre présenté ne sont pas systématiquement citées afin d'alléger la lecture du rapport. Les chiffres émanent de sources officielles et, lorsque ce n'est pas le cas (hypothèses retenues du groupement), alors cela est précisé dans le corps du texte. Chaque source reste disponible sur demande.

1.3.2 Analyse multicritères

Ce recueil de données permettra, entre autres, de procéder à une comparaison objective entre les différents projets de TCSP retenus.

L'analyse se décomposera en deux phases (Ex-Ante et Ex-Post) ainsi qu'entre les projets entre eux.

Les principaux indicateurs porteront essentiellement sur les coûts estimés puis observés et pareillement pour les fréquentations. Non seulement ceux-ci seront étudiés en valeur absolue mais aussi rapportés à certaines grandeurs (longueur de ligne, kilomètres d'exploitation,...).

Une analyse sera menée sur l'ensemble des coûts des projets en prenant en compte notamment le cycle de vie du matériel et de l'infrastructure, le coût du projet, les places kilomètres offertes par projet, la fréquentation, et d'autres indicateurs décrits plus bas.



Cette partie aura un volet théorique basé sur des postulats issus du CERTU et des cabinets d'études ainsi qu'un volet pratique reprenant les données des cas d'études. Cela permettra de comparer les projets entre eux, qu'ils soient de nature BHNS ou tramway.

1.3.3 Guide méthodologique pour les décideurs publics

Enfin une troisième partie sera consacrée au choix du mode dans la perspective des élus. Dans cette partie interviendra des aspects plus qualitatifs liés au choix des modes.

Il sera notamment question d'évaluer les opportunités et les risques que revête le choix d'un mode. De nombreux autres aspects, différents des coûts rapportés au potentiel de clientèle, sont à prendre en considération et seront détaillés dans cette partie.

1.4 Définitions

En tant que système de transport dit à Haut Niveau de Service, ces projets sont des éléments structurants pour les agglomérations concernées et a fortiori pour leurs réseaux de transport.

Il est important de noter que ces deux modes ne définissent pas de la même manière : l'un par ses caractéristiques de service, l'autre par ses caractéristiques techniques. Le BHNS reste un système de transport de type bus avec une qualité de service réhaussée, alors que le tramway est considéré comme étant déjà un mode à haut niveau de service.

1.4.1 BHNS

Le sigle BHNS désigne le concept de Bus à Haut Niveau de Service. Le matériel roulant ainsi désigné est à prendre au sens large. Il n'y a pas d'obligations de gamme (standard, articulé ou bi-articulé) ou de motorisation mais seulement des critères de performance. Le « haut niveau » est dit atteint lorsque le système de transport proposé satisfait à un ensemble de critères d'efficacité. Cela passe notamment par un site propre, un système d'exploitation (priorité aux feux) et d'information aux voyageurs.

D'après le CERTU, l'évaluation du niveau de service d'un système de transport se répartit en plusieurs catégories (amplitude horaire, fréquence, vitesse, sécurité, accessibilité, connexion au reste du réseau).

Toutefois, on ne saurait limiter la pertinence d'un système de transport aux seules performances qu'il est capable de développer, sans considérer la qualité du service proposé, c'est-à-dire son exploitation. La qualité de service sert à décrire et qualifier les écarts entre l'offre programmée et l'offre ressentie par le client. Il est en effet indispensable d'adopter le point de vue du voyageur et de prendre en compte ses préoccupations pour évaluer au mieux la qualité du service rendu (qualité des stations, confort pendant le voyage).

La lisibilité de la ligne est un élément également important à prendre en compte. Le bus souffre d'une mauvaise image auprès des usagers, notamment comparé aux autres modes de transport par rail. Il convient donc



d'associer à la mise en service de la ligne une opération de communication visant à promouvoir les qualités du BHNS. Celui-ci doit en outre être facilement identifiable au sein du réseau. Il doit pouvoir se lire, se distinguer, s'identifier aisément par l'utilisateur, le riverain, etc.

Quel que soit le mode de transport, le site propre est un outil supplémentaire au service du réseau urbain. Le projet associé doit donc correspondre d'un point de vue quantitatif et qualitatif à son amélioration. Structurant à l'échelle de la desserte urbaine, il est essentiel de favoriser son interconnexion avec les autres lignes de bus, mais également avec les autres modes de transport et l'agglomération.

Le BHNS en France, c'est :

- un développement en Ile de France en 1993 avec le Trans-Val de Marne (TVM) évoqué dans l'étude
- des projets références avec le TEOR à Rouen en 2001 et le Busway à Nantes en 2006, évoqués également dans l'étude
- 12 agglomérations ont fait le choix du BHNS comme mode de transport urbain structurant [début 2016]
- parmi les villes tramway, 14 ont une (ou plusieurs) ligne de BHNS en complément de leur(s) ligne(s) de tramway.
- de nombreux projets de création de lignes nouvelles et de prolongement de lignes actuelles dans de nombreux réseaux, avec différents degrés d'avancement.

1.4.2 Tramway

Le tramway est un mode performant de transport en commun circulant sur des voies ferrées. Il existe depuis beaucoup plus longtemps que le BHNS, on ne s'attardera pas à le définir aussi longuement.

Le tramway en France, c'est :

- des réalisations dès 1839 puis un abandon après-guerre en faveur des modes routiers ;
- un retour à Nantes en 1985 (trois lignes dont Lille, Marseille et Saint-Etienne sont restées actives depuis le début du XXème siècle) ;
- une réapparition en Ile de France avec le T1 en 1992 ;
- un retour dans les villes moyennes dans les années 2000, initié par Orléans en 2003 ;
- 28 agglomérations ont fait le choix du tramway comme mode de transport urbain structurant [début 2016] ;
 - soit 650 km de lignes cumulées en France [début 2016] ;
 - une longueur moyenne de 23 km de lignes cumulées par réseau [début 2016] ;
- un projet de création d'une ligne de tram à Avignon (mise en service prévue pour 2017) et à Annemasse (prolongement de la ligne 12 de Genève pour une mise en service en 2018) ;
- des projets de prolongement de lignes dans de nombreux réseaux, avec différents degrés d'avancement.

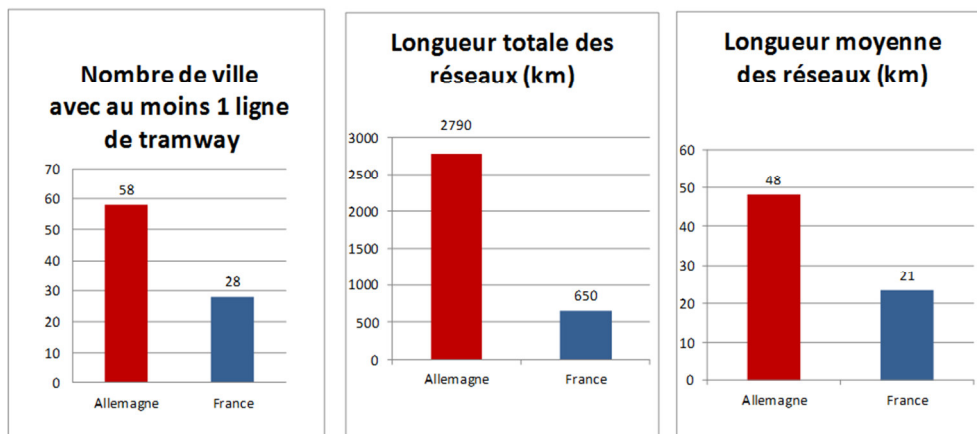


Figure 1 : Comparaison de réseaux tramway en France et en Allemagne

1.4.3 Localisation des projets de BHNS et Tramway en France

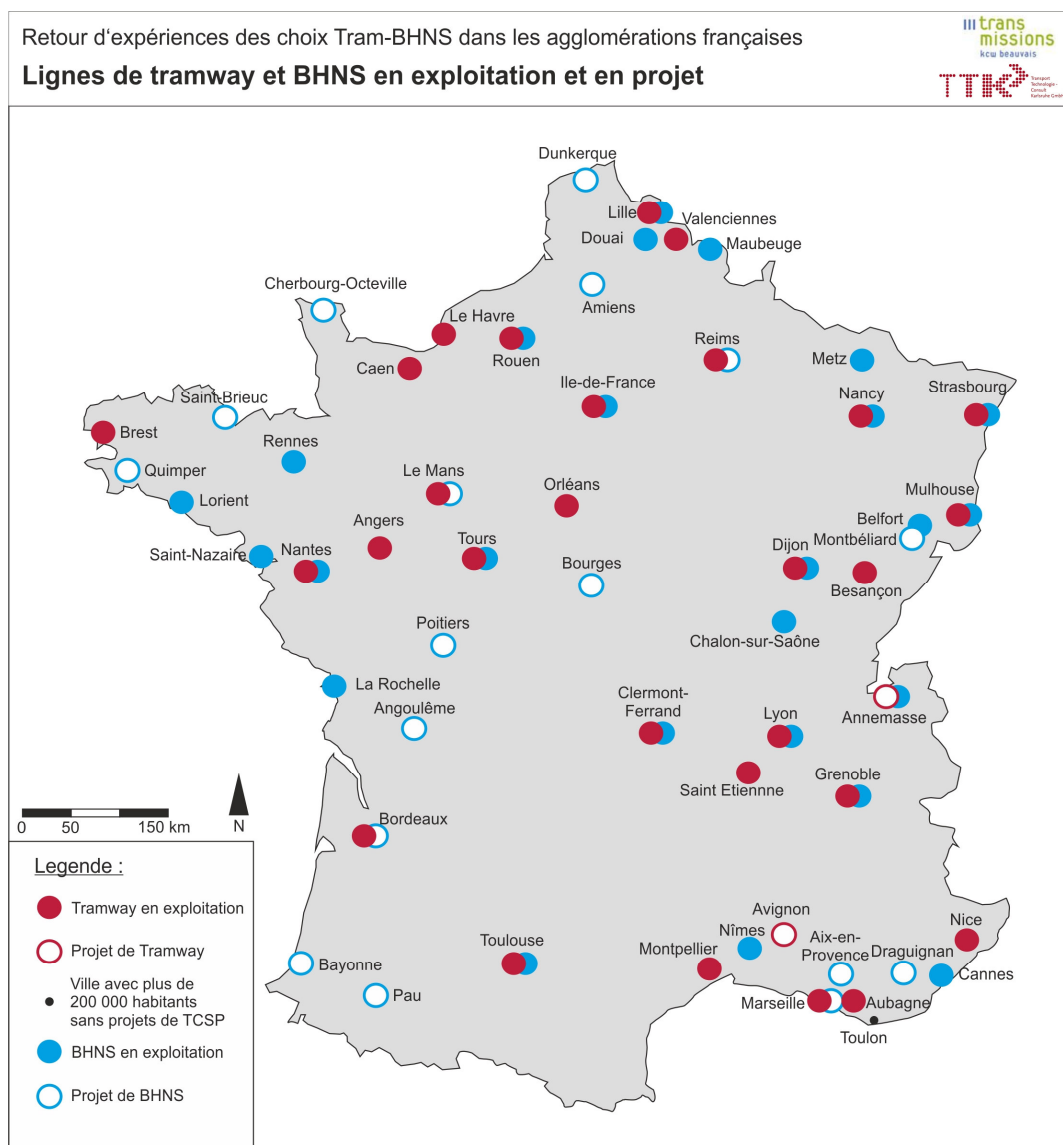


Figure 2 : Localisation des TCSP en exploitation et en projet en France



1.5 Plan du rapport

Il ne s'agit pas de réaliser autant d'études socio-économiques (avec examen non seulement des coûts mais aussi des avantages, et ce, sur toute la durée de vie du projet) qu'il y a de sites à étudier avec un calcul de rentabilité a posteriori (avec les coûts et des trafics effectivement constatés), mais de partir d'un retour d'expériences pour aboutir à des recommandations en matière d'aide au choix entre deux familles de système.

Finalement, le rapport comprendra, outre l'introduction et la conclusion, trois parties :

- Monographies (9 cas dont 4 plus approfondis) ;
- Comparaison des lignes entre elles selon toute une batterie d'indicateurs ;
- Méthode d'aide à la décision destinée aux élus pour le choix d'un système.



2 MONOGRAPHIES DES CAS D'ETUDE

Le Comité de Pilotage a arrêté la liste des sites à étudier lors de sa réunion du 22 janvier 2016. Il a souhaité s'assurer d'un équilibre en l'Ile-de-France et la Province ainsi qu'entre les projets de BHNS et de tramway.

2.1 IDF - Trans-Val-de-Marne

2.1.1 Rappel historique

Dans les années 1980, la population de la Région Ile de France générait quotidiennement 19,2 millions de déplacements en modes motorisés (tous motifs confondus) composés au 2/3 de trajets de banlieue à banlieue.

Si la part des déplacements en TC atteint près de 30% de l'ensemble, elle se réduit à seulement 13% pour les liaisons entre banlieues.

43 lignes d'autobus exploitées par la RATP ont alors une vocation de rocade mais elles sont souvent prises dans la congestion automobile (car seuls 2,5% de l'offre bénéficient de sites propres), les vitesses commerciales moyennes ainsi inférieures à 10 km/h ne peuvent pas contester la voiture (17 km/h en moyenne).

Un potentiel important s'offre donc aux TC si ceux-ci devenaient attractifs, à savoir en circulant sur une plateforme qui lui serait dédiée intégralement, permettant une régularité et une augmentation de la performance du déplacement.

2.1.2 Les fondements du projet

Le choix du TCSP

Dès 1969, un ensemble de décideurs du département du Val-de-Marne émettent le souhait de créer une ligne de TCSP reliant les pôles du Département. Le 94 est alors en pleine croissance démographique / économique et constate les problèmes grandissant des relations entre lieux de vie et lieux de travail. L'idée étant de relier les emplois et les services au Sud de Paris (RN 186) en effectuant une correspondance avec le RER.

Le projet se concrétise avec la mise en place d'un groupe de travail en 1983 composé de la Direction Départementale de l'Équipement (DDE), la DRE, ainsi que la RATP, exploitante du réseau et du fait de l'ouverture de l'A 86 qui permet de réduire le trafic routier de la RN 186.

Enfin en 1986, le Schéma de principe du projet est approuvé par la STP et la RATP devint Maître d'Ouvrage du projet de TCSP.

Le choix du BHNS

Finalement, le choix du mode de transport n'a pratiquement pas été débattu. En effet, l'idée était de ralentir l'utilisation de la voiture sur la RN 186 tout en proposant une offre de transport de qualité à moindre coût.

Pour optimiser les coûts, la RATP a alors décidé de réutiliser la matériel (véhicules et dépôts) dont elle disposait pour exploiter la ligne de TCSP du Trans-Val-de-Marne à venir ; d'où un choix effectué en faveur d'un bus articulé sur une plate-forme dont il aura l'usage exclusif (ou éventuellement partagé avec une autre ligne).

2.1.3 Présentation du projet

Le BHNS du Trans-Val-de-Marne a été mis en service le 1^{er} octobre 1993 et relie Saint-Maur/Créteil à Rungis-Marché International faisant alors 12,5 km de long. Il a été prolongé le 21 juillet 2007 à La Croix de Berny (19,7 km en tout).

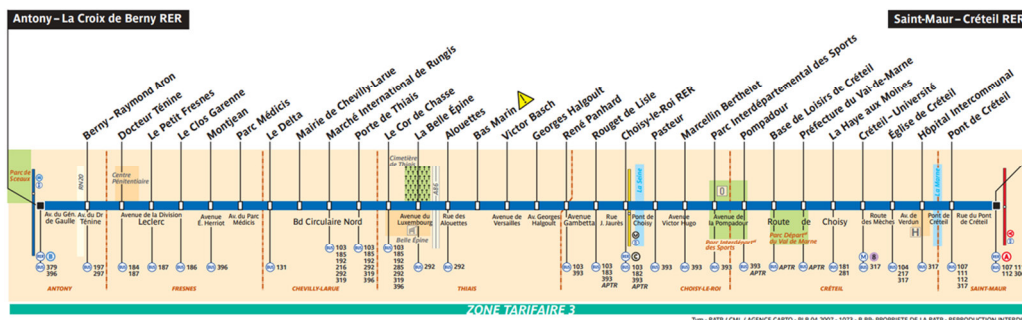


Figure 3 : Description de la ligne TVM (après le prolongement de 2007)

Les principales caractéristiques du projet peuvent être résumées ici :

- un site propre au sol de 7 m de large séparé de la circulation routière par des bordurettes infranchissables. Seules quelques portions ne sont pas en site propres comme ponctuellement à Créteil ou Rungis.
- une longueur de tracé de 12,5 km (22 stations) jusqu'en 2007 puis désormais de 19,7 km (32 stations).
- la RATP est Maître d'Ouvrage du projet et exploitant unique de la ligne.
- le parc de véhicule (bus articulés de 18 m) a plus que doublé, passant de 19 véhicules à 45 aujourd'hui.
- le site propre est également partagé partiellement avec la ligne 393.
- la vitesse commerciale est de 23 km/h en heure creuse et de 22 km/h en heure de pointe selon la RATP.



2.1.4 Fréquentation

La ligne TVM reprend le tracé partiel de plusieurs lignes circulant sur la RN 186 au début des années 1990 telles que les lignes 317, 392, 393, 396 avec une fréquentation journalière cumulée de 17.000 voyageurs par jour.

Les études d'avant projet présentent des estimations de fréquentation avoisinant les 43.000 voyageurs par jour. 25.000 voyageurs sont décomptés lors de la mise en service (1993). Le chiffre de 30.000 voyageurs par jour sera atteint 2 ans plus tard, une fois la montée en charge terminée.

Ce n'est qu'une fois que le tracé prolongé de 7,2 kilomètres et un renforcement de la cadence que les estimations de fréquentation seront atteintes.

| | | | TVM | Par km Ligne |
|------|-------------------------------|----------------|------------|--------------|
| Ante | fréquentation court terme | JOB | 43.000 | 3.440 |
| | | Annuelle | 11.700.000 | 936.000 |
| Post | fréquentation mise en service | année | 1995 | 12,5 |
| | | voyageurs/jour | 30.000 | 2.400 |
| | | annuelle | 8.162.791 | 653.023 |
| | fréquentation actuelle | année | 2015 | 19,7 |
| | | voyageurs/jour | 55.000 | 2.792 |
| | | annuelle | 14.960.000 | 759.391 |

Tableau 1 : Évolution de la fréquentation du TVM

On constate en 2015 une fréquentation de près de 55.000 voyageurs par jour ce qui fait du TVM la 2ème Ligne la plus fréquentée du réseau bus RATP (après la 183 avec 59.000 voyageurs par jour).

Cela s'est accompagné d'une augmentation considérable du parc de bus articulés dédiés à la ligne, passant de 19 véhicules à 47 actuellement.

La fréquentation atteint ainsi un niveau élevé pour la dimension actuelle de l'offre ce qui a des répercussions sur la qualité de service :

- les nombreuses montées/descentes sur certaines stations allongeant considérablement le temps de parcours.
- la gestion des priorités à certains carrefours crée des attentes longues en inter-stations
- la mixité d'usage avec d'autres lignes (notamment la 393) amenant le TVM à attendre « son tour » à certaines stations/carrefours.

Le TVM est donc en quelque sorte victime de son succès et doit prochainement évoluer.

Ne pouvant augmenter la fréquence sur la ligne (toutes les 2 minutes sur le tronç commun avec la ligne 393) la RATP est en réflexion actuellement avec le STIF pour augmenter la capacité des véhicules.

Il est cependant, pour l'heure, exclu de passer sur un autre mode de transport tel que le tramway. La solution de passer sur des véhicules de 24 m serait davantage à l'ordre du jour.

2.1.5 Aspects économiques et financiers

Le choix du BHNS avait été privilégié à la fin des années 1980 afin de pouvoir utiliser le matériel existant à la RATP, à savoir les véhicules et le dépôt.

Le projet se voulait donc modeste dès l'origine car il comprenait très peu d'ouvrages d'art, d'aménagement urbain (facade à facade) et n'avait pas de dimension artistique comme on peut le retrouver sur certains projets récents.

La décomposition des prix qui figurent dans la Déclaration d'Utilité Publique de 1986 se présente de telle manière :

| Année | Ex-Ante | |
|------------------------|---------------------|-------------|
| | DUP - 1987 | M€/km ligne |
| Génie Civil | 47.256.098 € | 3,8 |
| Équipement | 22.103.659 € | 1,8 |
| Acquisitions foncières | 5.335.366 € | 0,4 |
| Matériel | / | |
| Dépôt | / | |
| Total | 76.219.512 € | 6,1 |

Tableau 2 : Coûts du TVM (non actualisés, soit valeur 1987)

Actualisés à l'année 2015, la somme totale serait proche de 135 M€ pour 12,5 km.

- ne sont pas compris dedans :
 - le coût du matériel roulant. Au départ 19 véhicules, que l'on pourrait estimer grossièrement à un investissement de près de 5 M€ (considérant le prix d'un bus articulé à 300.000 € pièce). Désormais ce sont 45 véhicules qui correspondent à près de 15 M€.
 - le dépôt : considérant un coût moyen de 1 M€ / véhicule, ce serait plus de 25 M€ en 2015.
 - le coût de l'infrastructure prolongée en 2007 de 7,2 kilomètres que l'on pourrait estimer valeur 2015 à près de 50 M€.

Au final, on pourrait estimer le coût global du projet avec ses coûts à près de 225 M€, ce qui donnerait un coût kilométrique à plus de 11 M€ / km de ligne (matériel roulant inclus).

Les coûts du TVM sont difficiles à comparer à ceux des autres projets pour plusieurs raisons :

- ils ne portent que sur l'infrastructure,
- sont de valeurs 1987 et sont difficilement actualisables en 2015,
- la grande évolutivité du projet avec les années (prolongement, renforcement fréquence, nouveau matériel),
- les acquisitions foncières en IDF qui restent définitivement plus élevés que dans le reste du pays.

Le coût de réalisation du TVM se situe plutôt se situe dans la fourchette haute des projets de bus en site propre.

2.1.6 Perspectives du projet / réseau

Le principal défi actuel du TVM est de trouver une solution à la fréquentation de la ligne par rapport à sa capacité. Il n'est pas possible d'augmenter la fréquence du fait de son partage avec la ligne 393, amenant la fréquence à 2 minutes en Heure de Pointe.

Il serait envisagé de passer sur un matériel plus capacitaire (sans pour autant passer à un autre mode) type tri-caisses.

Cependant celui-ci devra répondre (à l'horizon 2020) aux exigences du STIF et donc être de motorisation électrique.

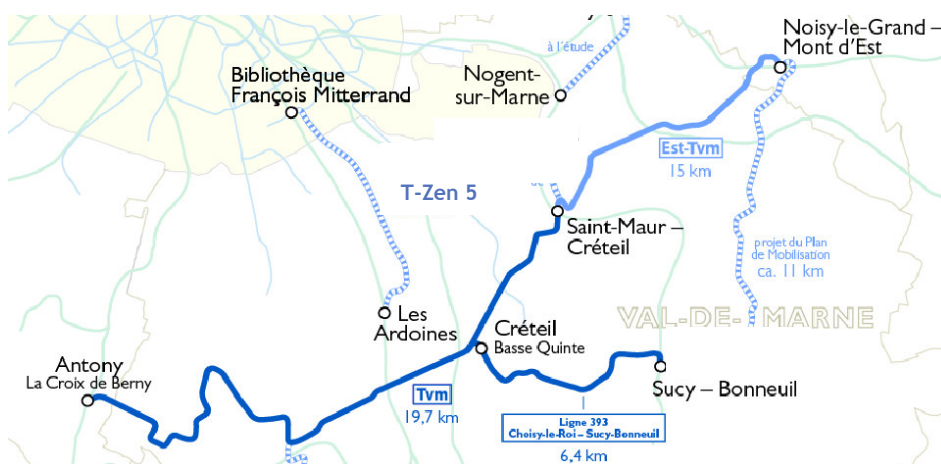


Figure 4 : Description des projets en cours sur le TVM
(carte personnelle de Maximilian Dörrbecker)

2.1.7 Bilan du projet

Le TVM doit s'analyser dans sa durée, ses évolutions et son fonctionnement actuel.

Certes les fréquentations sont aujourd'hui au delà des estimations mais cela du fait :

- d'un prolongement du site propre 7,2 km en 2007
- d'une augmentation de la fréquence à 3-4 minutes en HP
- d'une augmentation du parc de véhicules
- d'une croissance démographique et économique du secteur

Désormais, le TVM connaît des fréquentations journalières dans les zones de pertinence tramway. La ligne 183 (et ses 59.000 voyageurs par jour) évoluera en T9 dans les années à venir. Cette transformation du 183 en T9 est notamment indispensable pour faire face à l'augmentation de fréquentation qui sera induite par la correspondance créée avec la future ligne 15 du Grand Paris.

Il n'est donc pas certain que le fait d'évoluer sur des tri-caisses (ou bus à 24 m) change fondamentalement la situation des usagers, d'autant qu'une partie des problèmes se situe dans la gestion des carrefours à feux et des conflits occasionnés.



Il est toutefois important de prendre en considération que la Région Ile-de-France et le STIF réalisent un métro en rocade plus au nord du TVM. L'impact de ce projet doit bien entendu être pris en compte pour apprécier le devenir du TVM.

Au niveau financier le projet, pris dans sa durée et avec l'ensemble des coûts estimés et intégrés au projet donne un projet entre 11 et 12 M€ / km de ligne, ce qui est assez élevé pour un BHNS.

Le TVM est donc victime de son succès mais doit évoluer rapidement au prix de voir l'offre comme n'étant plus du tout adaptée à la demande.



2.2 IDF - T-Zen 1

2.2.1 Rappel historique

Comme pour le projet de TVM, le projet de T-Zen 1 a été pensé très longtemps avant sa réalisation.

Dès les années 1990, les réflexions continuent sur l'amélioration des dessertes des trajets de banlieue à banlieue qui croissent avec l'arrivée de villes nouvelles dynamiques autour de Paris.

C'est le cas de Melun-Sénart et Evry au Sud de Paris qui doivent être amenés à se développer rapidement en tant que pôles démographiques et économiques satellites de Paris.

2.2.2 Les fondements du projet

Le choix du TCSP

La « Liaison de Transport en Commun en Site Propre entre Sénart et Evry » est inscrite au Schéma Directeur de la Région Ile-de-France (SDRIF) en tant que portion d'une rocade ferroviaire de grande couronne parisienne (réseau Lutèce).

Dans sa configuration ferroviaire de l'époque, cette liaison a été envisagée en 1991 par la SNCF pour une réalisation prioritaire destinée à assurer la desserte du Grand Stade qui devait être accueilli par la Ville Nouvelle de Sénart.

Or, deux changements importants ont remis en cause l'utilité à court terme d'une liaison ferroviaire lourde :

- En 1993, il est décidé d'implanter le Grand Stade à Saint-Denis,
- Le réseau Lutèce a été phasé en trois Tangentielles (Nord, Ouest-Sud et Est) avec une orientation pour optimiser le réseau ferroviaire existant en direction de Melun.

Ainsi, le projet ferroviaire lourd a été reporté au profit de la « Liaison de Transport en Commun en Site Propre entre Sénart et Evry ».

Le choix du BHNS

Sur la base de ces nouvelles perspectives, une étude réalisée en 1999 pour le compte du STIF a montré l'intérêt de la mise en oeuvre d'une liaison entre Sénart et Evry, et a permis l'inscription de cette liaison au Contrat de Plan Etat Région 2000-2006, avec un mode de type tramway sur fer.

Début 2000, il a été décidé d'étudier des modes moins capacitaires que le tramway sur fer, plus adaptés à la fréquentation attendue sur la ligne et de desservir la gare de Corbeil-Essonnes.

Les estimations de fréquentation du projet (10.000 voyageurs par jour) comme il était envisagé alors ont plutôt fait orienter le projet sur un Site Propre Bus à la capacité restreinte.

2.2.3 Présentation du projet

Alors que le projet était en réflexion depuis le début des années 1990, la mise en service de ce TCSP a eu lieu en 2011, reliant la gare RER de Lieusaint à celle de Corbeil.

Initialement pensé pour être une liaison TC de mode très capacitaire type RER, le projet consiste donc finalement en un projet de BHNS de capacité moyenne. Toutefois, il est innovant à deux égards :

- c'est le premier T-Zen, nouveau standard BHNS du STIF en Ile-de-France faisant l'objet d'une charte qualité propre.
- il a fait l'objet d'une contractualisation en tant que ligne de bus hors IDF (depuis 2007) avec un opérateur autre que la RATP (ici Transdev).

Le projet a été pensé en deux phases. Une mise en service le 4 juillet 2011 avec une ligne en site propre à 70% (Phase 1) suivie d'une réalisation intégrale de l'infrastructure en site propre, pour le moment à l'étude.

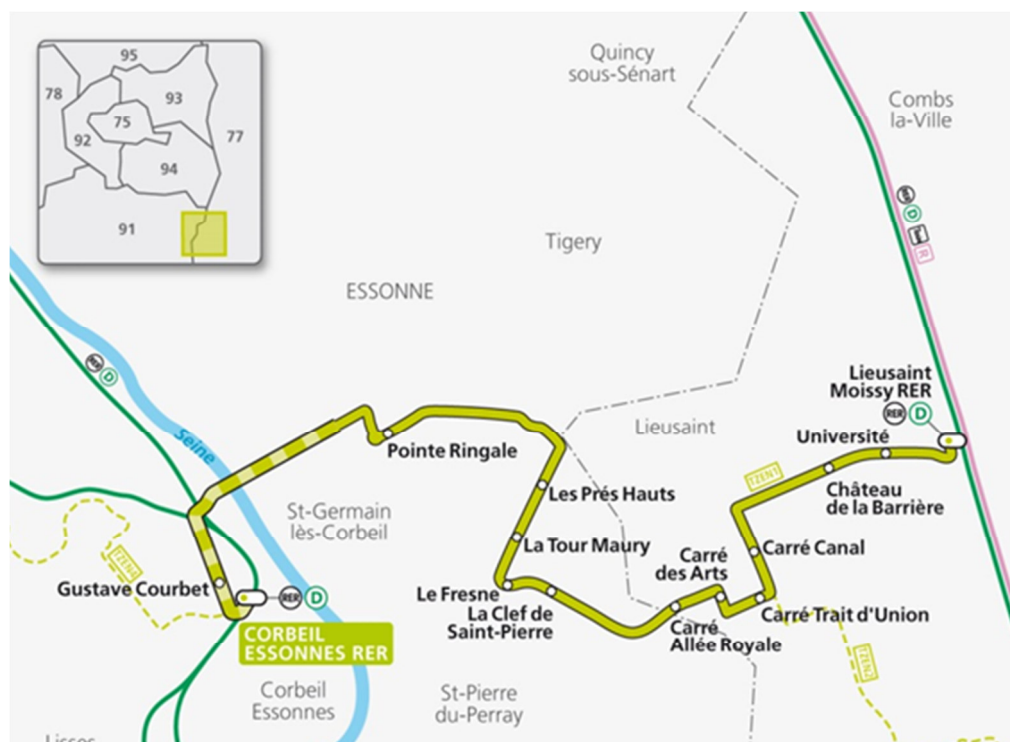


Figure 5 : Projet et phasage (pointillés) du T-Zen 1 (STIF)

Les principales caractéristiques du projet sont rappelées ci-après :

- Longueur de ligne construite (gare de Lieusaint, gare de Corbeil) : 14,7 km
- Nombre de stations : 14
- Matériel roulant : Bus de 12 m de long
- Parc nécessaire de 9 véhicules
- Desserte totale à terme (400 m vol d'oiseau) 30 000 dont :

- Population desservie : 16 000
- Emplois desservis : 11 900
- Scolaires desservis : 2 100
- Trafic journalier estimé : 16 100 voyages (fin de la Phase 2)
- Amplitude de service de 5h à 24h.
- Intervalle à l'heure de pointe : 7 minutes à terme (Phase 1 et 2)
- Objectif de vitesse commerciale : 32 km/h à terme (Phase 1 et 2)

2.2.4 Fréquentation

La fréquentation estimée est limitée au regard des autres projets dits de BHNS des années 2000 en France.

Avec 6.000 voyageurs par jour attendus en Phase 1 (2011) et 16.000 voyageurs par jour attendus en Phase 2, le choix s'est porté sur un véhicule de 12 m de long et une fréquence faible pour un site propre non partagé (7 minutes en Heures de Pointe et 15 minutes en Heures Creuses).

Au regard des voyageurs finalement comptabilisés sur la ligne, on s'aperçoit des évolutions suivantes :

| | | | IDF | |
|------|---------------------------|----------|------------------|------------------|
| | | | TZEN 1 - Phase 1 | TZEN 1 - Phase 2 |
| Ante | fréquentation court terme | JOB | 6.000 | 12.000 |
| | | Annuelle | 2.000.000 | 4.000.000 |
| | fréquentation long terme | JOB | 8.000 | 16.000 |
| | | Annuelle | 2.700.000 | 4.400.000 |

| | | | | |
|------|-------------------------------|----------------|-----------|--|
| Post | fréquentation mise en service | année | 2011 | |
| | | voyageurs/jour | 6.000 | |
| | | annuelle | 1.632.000 | |
| | fréquentation actuelle | année | 2015 | |
| | | voyageurs/jour | 6.000 | |
| | | annuelle | 1.632.000 | |

Tableau 3 : Évolution de la fréquentation du T-Zen 1

Le T-Zen 1 atteint ses objectifs de fréquentation mais qui restent modestes.

Les explications à cela sont les suivantes :

- l'évolution démographique et économique de Melun-Senart est moins rapide que prévue,
- le taux de motorisation des ménages vivant sur le corridor est très élevé et le stationnement ne représente aucune contrainte,
- l'offre du T-Zen 1 n'est pas de très haute qualité (15 minutes en HC est trop peu pour un projet dit de BHNS),
- les stations ne sont pas nombreuses (14) et les interstations semblent particulièrement grandes (1 km en moyenne).

2.2.5 Aspects économiques et financiers

Coûts d'investissement

Les investissements ont été estimés dans le présent dossier pour l'opération complète (Phase 1 et 2). Le montant total de l'opération est de 162 M€ avec le détail suivant :

| | | IDF | |
|------|-------------------|---------------------|----------------------|
| | | TZEN 1 - Phase 1 | TZEN 1 - Phase 2 |
| Ante | année | 2008 | |
| | Infrastructure | 82.000.000 € | 64.000.000 € |
| | Dépôt | 12.000.000 € | |
| | Matériel | 4.200.000 € | |
| | cout total | 98.200.000 € | 162.200.000 € |
| | kilométrique | 6.680.272 € | 11.034.014 € |

Tableau 4: Détail des coûts non actualisés du T-Zen 1 (deux phases confondus)

Le dépôt ainsi que le matériel seront réutilisés dans la phase 2 d'où leur absence dans la partie droite du tableau ci-dessus.

Les coûts d'investissement du T-Zen 1 est relativement modeste pour sa première phase (comparé aux coûts des TCSP en Ile-de-France). Le coût de la phase 2 est élevé car intègre la réalisation d'un nouveau franchissement de Seine.

Il semblerait que les aménagements urbains (facade à facade) et le dépôt soient particulièrement coûteux mais globalement le T-Zen tient son enveloppe initiale.

Bilan d'exploitation

D'après les études d'avant-projet, en ce qui concerne les coûts d'exploitation, on distingue deux pôles :

- les coûts d'exploitation du T-Zen 1,
- les coûts d'exploitation des lignes de bus restructurées.

Un coût unitaire d'exploitation du T-Zen 1 est défini à 5 € par véhicule-kilomètre effectué. Les coûts d'exploitation s'élèveront à 4,71 M€/an à terme d'après le schéma de principe.

D'après les études Ex-Post dont nous disposons, le coût d'exploitation est autour de 5€/km parcouru, ce qui est conforme aux prévisions Ex-Ante (le nombre de services par an est en 2015 autour de 70.000).

2.2.6 Perspectives du projet / réseau

La phase 2 du projet est en cours d'étude et consiste à prolonger le site propre à l'ouest afin de renforcer la régularité et une amélioration des vitesses commerciales.

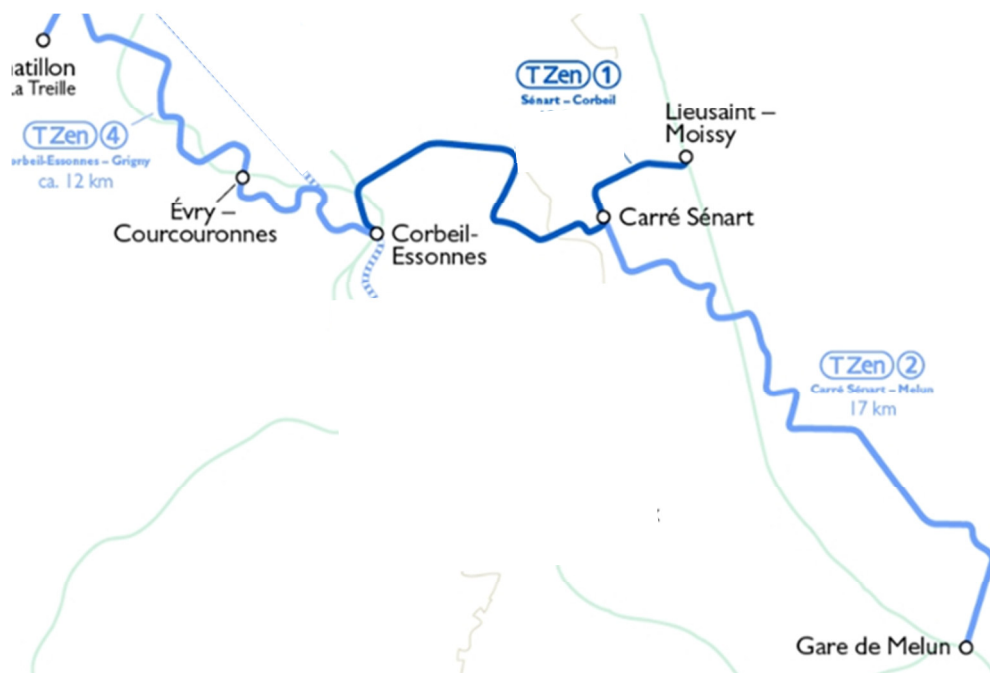


Figure 6 : Projets autour du T-Zen 1 (carte personnelle de Maximilian Dörrbecker)

Deux lignes T-Zen (2 et 4) sont en projet et assureront une correspondance avec l'actuelle ligne de T-Zen 1, ce qui entraînera un effet de réseau et donc une hausse de la fréquentation sur la ligne.

Toutefois, lorsqu'on observe les serpents de charge de la demande actuelle, on s'aperçoit d'une séparation dans son usage avec un creux de charge au milieu de la ligne. Chaque bassin de vie se dirige vers sa gare RER la plus proche et peu d'usagers utilisent la ligne de bout en bout.

Il est attendu que la ville nouvelle de Sénart continue à se développer, se densifier et des programmes urbains le long du TCSP sont en cours de réalisation. Ainsi on peut envisager une hausse de la fréquentation dans les années à venir.

Toutefois, l'usage non contraignant de la voiture (voirie, stationnement) ne laisse pas penser qu'il sera aisé de faire reporter beaucoup d'usagers VP sur le TC.

2.2.7 Bilan du projet

Le projet de T-Zen 1 est contrasté. Initialement pensé en liaison ferrée type RER, il en résulte un projet décalé de près de 20 ans avec un niveau de service en deça de ce que peut offrir un Bus à Haut Niveau de Service.

Des véhicules de 12 m de long avec une fréquence en HC de 15 minutes est insuffisant pour capter des usagers plutôt enclins à utiliser leur voiture (usage non-contraint de la voiture sur ce territoire).

Certes les estimations de fréquentation sont modestes et ne justifient pas un mode plus capacitair mais cela conduit finalement à un investissement élevé au regard de la fréquentation (voir les tableaux de la partie suivante).



Toujours est-il qu'une charte T-Zen existe désormais et qu'elle pourra être appliquée à des territoires aux besoins plus importants.

Par ailleurs, il est à noter que le territoire peut rencontrer la croissance attendue et ainsi faire augmenter significativement la fréquentation du T-Zen 1, disposant actuellement de réserve de capacité.



2.3 Metz – Mettis

2.3.1 Rappel historique

Metz Métropole compte 44 communes pour environ 230.000 habitants. La communauté d'agglomération s'inscrit dans le secteur largement urbanisé du sillon Mosellan qui réunit la plus grande partie de la population et des activités économiques de la région. L'agglomération messine est ainsi la plus étendue et la plus peuplée de Lorraine, devant celle de Nancy.

En 2006, le PDU a été révisé suite à une forte augmentation du périmètre de transport (intégration de nouvelles communes). Il comporte notamment la réalisation d'infrastructures sur le tronc commun des lignes fortes existantes. Le projet devait alors se limiter à la réalisation d'un site propre et au traitement des feux.

En 2008, D. Gros (PS) est élu à la mairie de Metz à la place de J-M. Rausch (divers droite) et devient vice-président en charge des transports. L'objectif fixé par les nouveaux élus est alors de s'orienter vers un projet plus ambitieux que le simple chronobus initialement prévu.

Après plusieurs ajustements, le projet s'inspire finalement des lignes BHNS de Nantes et Rouen (voir leurs monographies respectives dans la suite du présent rapport), tout en reprenant le tracé établi initialement (pas de changement des équipes de transport lors de la transition politique).

Le réseau a été restructuré une première fois sur la base des propositions de l'exploitant (Transdev) et l'agence d'urbanisme (AGURAM) en amont des travaux.

2.3.2 Les fondements du projet

Le besoin en TCSP

Dans les années 2000, la fréquentation du réseau TCRM (transport en commun de la région Messine) a atteint un niveau de saturation aux alentours de 17 millions de voyageurs annuels. La fréquentation correspondait alors au maximum de la capacité du réseau.

Le centre-ville était desservi par de nombreuses lignes de bus. En période de pointe, la vitesse commerciale était inférieure à 10 km/h sur le tronçon des lignes principales. L'attractivité du réseau s'en trouvait fortement impactée.

Par ailleurs, un fonctionnement en tuyau ne pouvait être viable en raison du nombre trop élevé de bus. Même avec un traitement des feux adapté, il y aurait eu création de train de bus et une trop forte dégradation des conditions de circulation générale impactant le fonctionnement du réseau de TC urbain.

Il était donc nécessaire de réorganiser le réseau dans sa globalité et de passer en ligne unique.

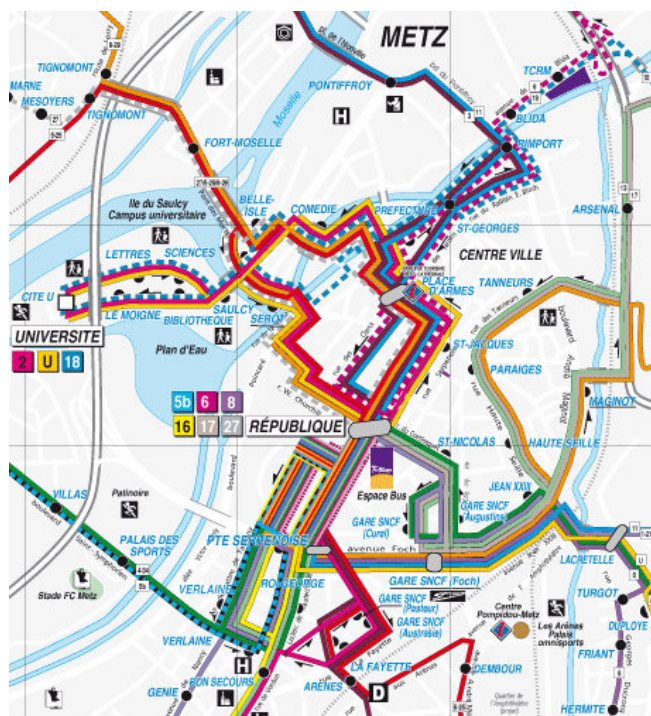


Figure 7 : Ancienne desserte du centre-ville (Déclaration d'utilité publique, 2009)

Le choix du BHNS

La question du mode de transport s'est principalement cristallisée autour de trois enjeux :

- choisir un mode adapté à la fréquentation prévue ;
- maîtriser le coût du projet ;
- faciliter l'insertion urbaine dans le secteur sauvegardé de Metz.

L'observation de la population recensée dans un périmètre de 500 mètres autour du tracé de la ligne de TCSP, réalisée dans le cadre de la déclaration d'utilité publique, a estimé à 4.800 le nombre d'habitants par kilomètre de ligne en site propre. Par ailleurs la fréquentation des lignes remplacées (25.000 voyageurs par jour) a laissé apparaître un potentiel de fréquentation à l'interface entre le tramway et le BHNS. Les deux modes sont en effet capables de répondre à une telle demande.

Concernant le coût d'investissement, les études d'avant projet se sont basées sur les ratios publiés par le CERTU plaçant le mode BHNS moins cher que le tram : 4 à 10 M€ / km pour le BHNS contre 15 à 35 M€ / km pour le tram. Bien que ces chiffres soient peu précis, le choix de BHNS est apparu comme le plus soutenable en termes de coûts d'investissement.

Par ailleurs, les rues étroites de l'hypercentre, la présence de nombreux monuments et patrimoine historiques induisent des contraintes techniques auxquelles le mode BHNS était le plus à même de répondre.

2.3.3 Présentation du projet

Le projet METTIS de Metz Métropole a consisté en la mise en œuvre d'un Transport en commun en Site Propre (TCSP) reliant Woippy à Borny (pas

sur la carte) et le Saulcy au CHR de Mercy par l'intermédiaire de deux nouvelles lignes. Celles-ci ont été mises en service en octobre 2013.

Les deux lignes disposent d'axes aménagés (couloirs réservés, priorités aux carrefours) afin de garantir leur régularité. Elles présentent un linéaire total de 17,8 km et un tronç commun entre le Moyen-Pônt et l'arrêt « Provence » sur une distance de 5,6 km.

Sur ce tronçon du centre-ville, plusieurs lignes du réseau urbain partagent le site propre des deux lignes BHNS. Près de 85% du parcours est réalisé en site propre intégral. En dehors du Pont vers l'Université, les sites mixtes Mettis / VP et Mettis / bus fonctionnent bien. Lorsque les lignes classiques du réseau Le MET' circulent avec les lignes METTIS, les arrêts de bus sont différents afin de ne pas gêner les METTIS.

En 2012 Keolis a été choisi par Metz métropole comme nouveau délégataire du service public (pour 12 ans). Certains ajustements ont été réalisés en septembre 2014.

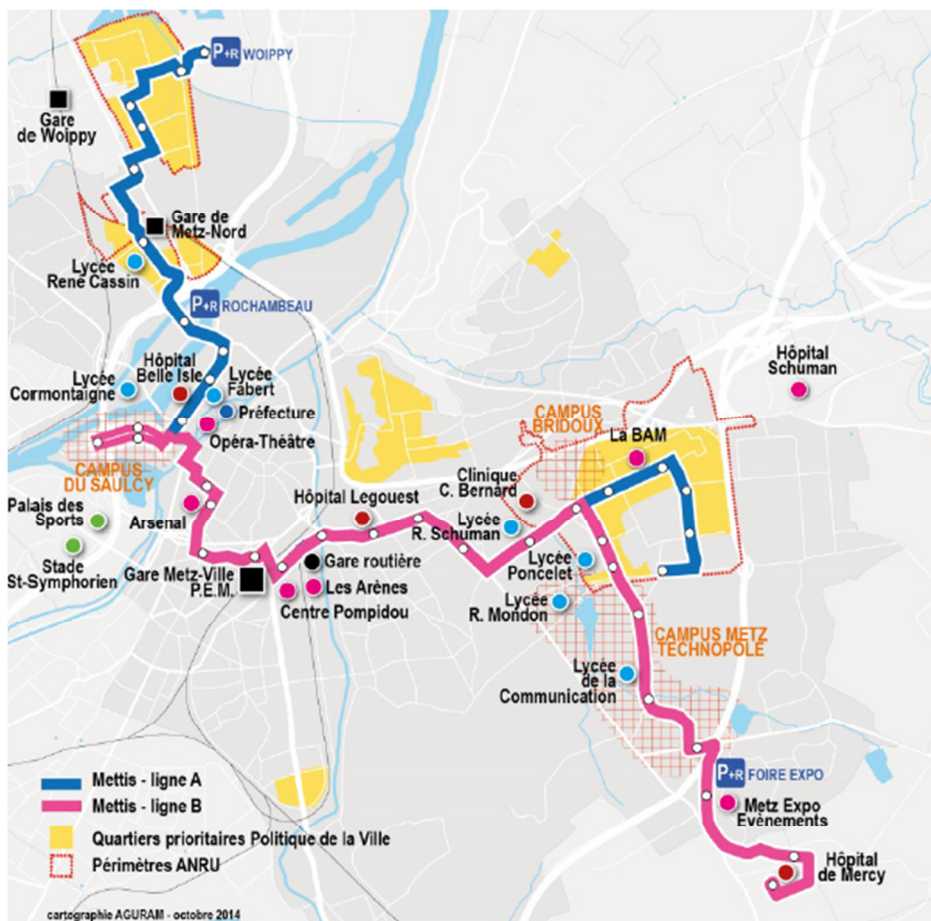


Figure 8 : Plan des lignes A et B du projet METTIS (Agence d'urbanisme d'agglomération de Moselle – février 2015)

Le projet METTIS a également prévu l'implantation de 3 parcs relais (P+R) afin de favoriser l'intermodalité :



- le parc relais de Woippy : connecté à l’A31 depuis l’échangeur de la Maxe ; permet de rejoindre le centre-ville avec la ligne A.
- Le parc relais de Metz Expo : Connecté au sud de la rocade (RN431) depuis l’échangeur de Grigy.
- Le parc relais de Metz – centre-ville (Rochambeau) : connexion à l’A31 depuis l’échangeur de Metz Nord. Le P+R est également articulé avec la ligne A.

La phase travaux

Pendant la période des travaux un réseau alternatif a été mis en place. La réalisation de la voirie a été effectuée de manière simultanée sur l’ensemble des sites concernés. Comparés à un chantier de création d’un tram, les travaux n’ont donc pas été moins lourds (déviation des réseaux souterrains puis réalisation de la plateforme).

Afin de permettre le passage du BHNS, le Moyen-Pont a dû être doublé dans le sens de la largeur. Fort de leurs valeurs symbolique et culturelle, les arches du pont ont été reconstruites à l’identique.

Le choix du matériel roulant

A l’origine, les lignes METTIS devaient être équipées de bus bi-articulé de 18 m. Cependant, Les études d’avant-projet ont identifié un problème de capacité avec ce type de matériel roulant : A l’hyper pointe du matin (période de 20 minutes), une fréquence de 3-4 minutes aurait été nécessaire et aurait mobilisé près de 35 bus. Afin de permettre une exploitation plus souple, la métropole a décidé de se doter de véhicules plus capacitaires de **24 m (27 bus d’une capacité de 138 passagers)**. La fréquence sur le tronçon commun est alors de **5 minutes en HP**.

Le choix des véhicules s’est porté sur un matériel roulant à la fois innovant (design et fonctionnement proche du tram^o: apparence symétrique, chauffeur isolé de l’habitacle) et utilisant des techniques éprouvées préexistantes (24m, moteur hybride électrique-diesel).

| METTIS | Matériel roulant |
|---------------|-----------------------------|
| constructeur | Van Hool |
| produit | ExquiCity |
| motorisation | hybride (diesel-électrique) |
| longueur | 24 m |
| largeur | 2,55 m |
| capacité | 138 passagers |
| parc | 27 véhicules |
| coût unitaire | 914.400 € |
| coût total | 24.688.800 € |

Tableau 5 : Données matériel roulant METTIS (coûts 2010)

Analyse critique du projet

Les aménagements urbains du projet dans le quartier de la gare peuvent être considérés comme aussi réussis que ceux d’un projet tramway (site propre pavé). La place de la République a également été rénovée de cette



manière. Cette réussite esthétique se heurte toutefois à des problèmes de stabilité des pavés entraînant un surcout annuel important (300.000 € sur un tronçon d'environ 1,5 km) et ne peut en l'état pas être recommandée pour un autre projet BHNS.

La collectivité a par ailleurs rencontré des problèmes de vibration sur certains tronçons en pente lié à la nature des dalles béton (dalles goujonnées).

La vitesse commerciale des lignes est inférieure aux objectifs du projet. La vitesse est de 17,6 km/h sur ligne A et 19,6 km/h sur la ligne B, contre un objectif de 20 km/h. La différence de vitesse s'explique par des charges différentes en station. La ligne A desservant des zones plus denses est plus chargée ; cela impacte les temps d'échanges en station et réduit ainsi sa vitesse commerciale.

Par ailleurs la restructuration du réseau, conjointe à la mise en œuvre des lignes METTIS, a entraîné la sortie de plusieurs lignes du centre-ville. La ligne 3, seule ligne maintenue dans l'hyper-centre offre une fréquence de 10 minutes aux heures de pointe. Sa fréquentation est du même ordre que celle des lignes METTIS. L'attractivité des lignes METTIS aurait donc pu être favorisée par la desserte de l'hyper-centre.

Deux aspects du projet dans le secteur Université / Centre-ville sont également sources de regret :

- d'une part la ligne B est prise dans la congestion aux heures de pointe sur le site mixte METTIS / VP du Pont vers l'université;
- d'autre part, pour des problèmes de contraintes architecturales sur le Moyen Pont, l'arrêt prévu dans le secteur n'a pu être réalisé, ce qui ne permet pas de correspondance ligne A / ligne B ni d'accès direct nord-ouest à l'hyper-centre (accès au quartier Cathédrale).

Enfin, parmi les 3 parcs relais qui ont été créés, deux fonctionnent mal. Cela s'explique par des temps de trajet vers le centre peu directs et peu compétitifs par rapport à la route. Le P+R Rochambeau au niveau de l'échangeur de Metz Nord fonctionne mieux car son accessibilité est meilleure et le temps TC vers le centre est compétitif depuis le site. Au P+R Sud la fréquentation répond plutôt en sens inverse pour les besoins d'accès au CHR de Mercy. Il aurait été plus pertinent de rechercher des disponibilités foncières plus près du centre permettant de créer des parcs de rabattement répondant mieux aux besoins.

2.3.4 Fréquentation

L'estimation de la fréquentation a été calculée de deux manières différentes afin d'obtenir un plus large éventail comprenant une fréquentation à court et long terme :

- A partir d'une hypothèse basse : l'estimation correspond à la somme des fréquentations de 3 lignes remplacées par le projet (1, 11/21/31 et U).
- A partir d'une hypothèse haute : l'estimation prend de plus en compte l'amélioration de l'offre et des projets de développements urbains associés.



| fréquentation - Ante | hypothèse basse | hypothèse haute |
|----------------------|-----------------|-----------------|
| voyageurs/ jour | 25.000 | 36.000 |
| voyageurs/an | 6.800.000 | 9.792.000 |

Tableau 6 : Fréquentation METTIS Ante

Le réseau a connu une forte baisse de fréquentation pendant les 3 ans de travaux. Pour des raisons techniques pendant leur réalisation, l'ouverture au public des lignes METTIS eu lieu un mois après la rentrée scolaire de septembre 2013. Il s'agit d'un retard important car le mois de septembre fixe les habitudes de déplacements pour l'année scolaire. La fréquentation des lignes METTIS a donc directement été impactée par ce délai ; la montée en charge a été retardée.

En 2014, toutefois, soit quelques mois après la mise en œuvre des lignes, la fréquentation des lignes METTIS est déjà supérieure à l'hypothèse basse.

| fréquentation - Post | | | |
|----------------------|-----------|-----------|-----------------|
| année | 2014 | 2015 | écart POST/ANTE |
| voyageurs/ jour | 26.000 | 32.000 | -4.000 |
| voyageurs/an | 7.072.000 | 8.704.000 | -1.088.000 |

Tableau 7 : Fréquentation METTIS Post

En 2015 la fréquentation est presque au niveau de l'estimation haute. Si le trafic croit encore et n'atteint pas un niveau stabilisé, les services de Metz métropole estiment cependant qu'il sera difficile de dépasser cet objectif.

La fréquentation est cependant suffisamment importante pour créer un phénomène de saturation le matin en heure de pointe. Ponctuellement les services doivent être doublés. Les véhicules de réserve sont alors réquisitionnés en renfort.

En ce qui concerne le réseau, la fréquentation globale n'est revenue à son niveau d'avant travaux que fin 2014.

L'effet BHNS est mesurable au gain de fréquentation obtenu par rapport aux 3 précédentes lignes qu'il remplace. Avec près de 2 millions de voyageurs supplémentaires sur le même tronçon (+30%), les voyageurs ont répondu favorablement à l'arrivée du TCSP à Metz.

A l'échelle du réseau, entre 2014/2015, la seule augmentation des lignes METTIS ont permis au réseau de gagné +10% de voyageurs.

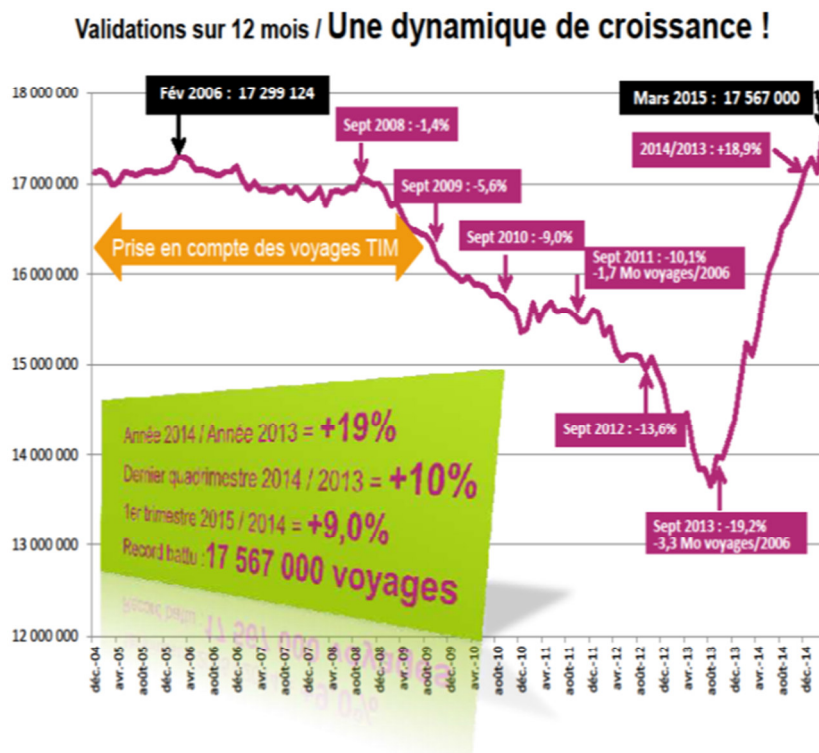


Figure 9 : Fréquentation du réseau « Le Met » depuis 2004 – graphique Metz métropole

2.3.5 Aspects économiques et financiers

Initialement le budget du projet était de 146 M€ en 2008. Ce chiffrage ne comprenait toutefois pas le volet système, la régulation des feux et l'aménagement urbain associé au projet. Le chiffrage se basait de plus sur l'utilisation de bus articulés standards de 18 m et l'utilisation des installations de maintenance existantes.

Ce budget a été mis à jour en 2010 et estimé alors à 198 M€ tout compris. Le centre de maintenance est repensé afin de convenir aux Bus Van Hool, dont le coût unitaire à l'achat est de 914.400 € HT.

Après la mise en œuvre, le budget consacré au projet METTIS est finalement estimé à 230 M€ (+15%), dont 8 M€ concernant la part « d'embellissement » du projet dans son traitement de façade à façade. Ramené aux 18 kilomètres de ligne, le prix kilométrique du projet est de 13 M€/km.

Le projet a connu un surcoût pendant la phase d'exécution des travaux (+ 18 M€ pour l'infrastructure). Cependant, l'augmentation du budget correspond également à la mise à jour des prix en valeur 2013.

La réalisation de l'infrastructure, des ouvrages d'art, du dépôt et l'achat du matériel roulant représentent près de 75% du budget du projet.

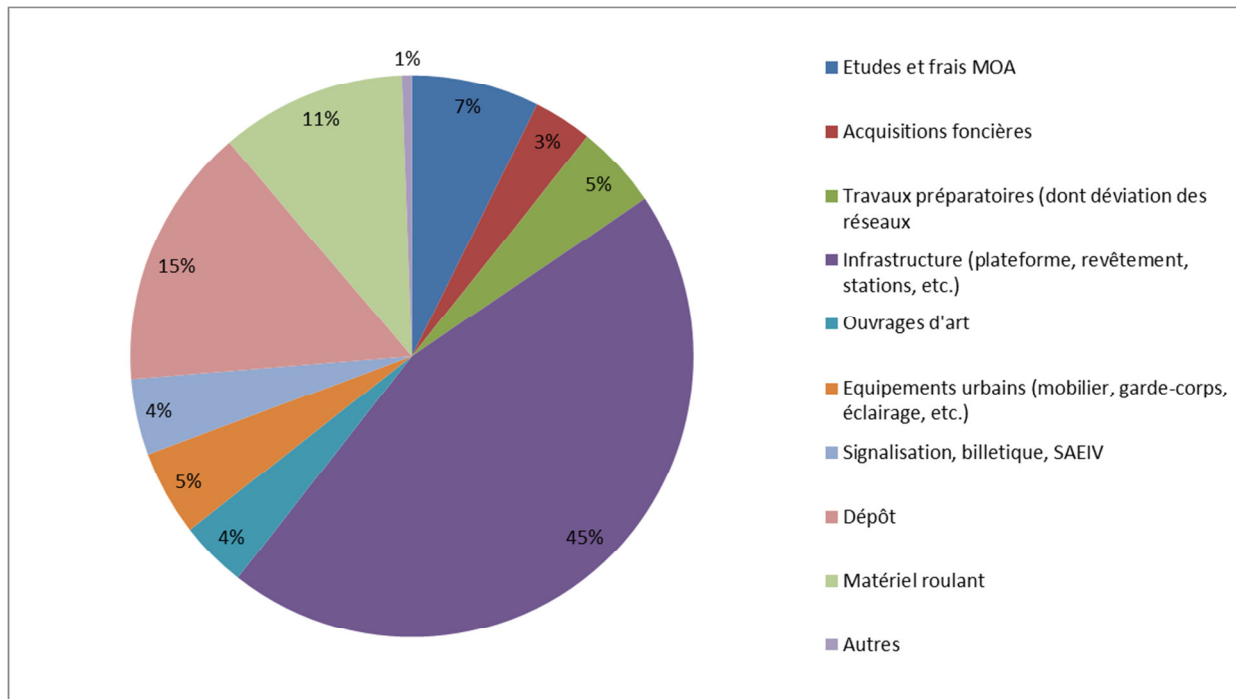


Figure 10 : Décomposition du coût d'investissement du projet METTIS – données Metz Métropole

Concernant la tarification, la mise en service n'a pas entraîné d'augmentation de prix. Les tarifs appliqués aux lignes METTIS sont les mêmes que pour l'ensemble du réseau.

Mis à part le surcoût entraîné par la détérioration des pavés sur quelques tronçons du parcours, le coût d'entretien de la plateforme béton des lignes METTIS est très faible. Il n'y a par ailleurs de problème d'orniérage car l'ensemble de la plateforme a été repensée lors des aménagements. Sur le reste, l'entretien est également limité au minimum car pas les bus ne sont pas guidés.

Le coût de fonctionnement des lignes METTIS est de 5,7 €/km. Ce coût comprend le roulage (salaires conducteur, carburant/électricité, pneumatiques, nettoyage, huiles et lubrifiants, etc.) et la maintenance (main d'œuvre d'atelier, pièces d'atelier, vandalisme et accident, etc.).

2.3.6 Perspectives du projet / réseau

Après la fermeture en 2012 de l'ancienne base aérienne 128 Metz-Frescaty, Metz Métropole a acquis ces terrains situés au sud de la ville. Ces friches pourront le moment venu justifier une 3^e ligne si ce quartier vient à être aménagé.

Le quartier de la gare est toutefois en mutation (avec notamment la création du centre Pompidou et le développement du quartier de l'Amphithéâtre au sud de la gare). Son développement est prioritaire avant le lancement d'autres projets. La priorité des 10 ans à venir n'est donc pas une troisième ligne mais plutôt l'aménagement type « chronobus » des lignes fortes existantes (3^e appel à projet Grenelle en ce sens).



2.3.7 Bilan du projet

De par le choix de son mode de transport, le projet METTIS s'ajoute à la liste des réalisations BHNS en France. Le projet porté par Metz Métropole se démarque toutefois des autres BHNS par l'importance des efforts financiers consentis afin de proposer un TCSP de qualité. Le coût d'investissement s'élève ainsi à 13 M€ par kilomètre.

A travers le choix d'un matériel roulant innovant et la réalisation de nombreux aménagements urbains, le projet de BHNS s'est donné les moyens de son ambition.

Si les aménagements initialement prévus ont tous été réalisés, le projet contient toutefois quelques faiblesses. Le site mixte du Pont vers l'Université pose notamment des problèmes de congestion.

Par ailleurs, la fréquentation actuelle des deux lignes a presque atteint le niveau de fréquentation estimée en avant-projet. Avec 32.000 voyageurs / jour, elle semble toutefois limitée vis-à-vis du coût d'investissement important. La mise en service de la ligne est cependant très récente et un développement urbain le long de l'axe pourrait augmenter sensiblement la fréquentation.

Sans être une réussite commerciale, les lignes METTIS fonctionnent bien et ont le mérite de se placer à l'interface entre un projet de BHNS « classique » et un projet de tramway.

2.4 Besançon - Tram 1

2.4.1 Rappel historique

La ville de Besançon est très vaste (65 km²) et concentre une part importante de la population et des activités de son bassin de vie. Ainsi, longtemps, la ville-centre n'a pas eu besoin de s'associer aux communes de la périphérie pour répondre aux enjeux majeurs de mobilité. L'intercommunalité s'est donc construite de manière tardive.

Dès les années 70, le territoire a pris conscience des enjeux en matière de mobilité avec la mise en œuvre de la piétonisation du centre-ville, une décision précoce par rapport à d'autres villes en France durant cette période. La place des bus a ainsi été repensée via une desserte directe du centre-ville par les axes piétonniers. Besançon devient une des premières villes de France à mettre en place l'équivalent d'un « Plan de Déplacements Urbains » dès 1978. Cette politique ambitieuse permet de multiplier par deux l'usage des transports collectifs : de 60 voyages par habitant par an à 120 voyages effectués.

Afin de répondre aux besoins de desserte de la périphérie, 36 communes s'associent en 1993 et créent le syndicat mixte des transports périurbains du Grand Besançon, auquel participe la commune de Besançon, mais à titre secondaire (coordination des réseaux). Le syndicat, bien que périurbain, se dote d'un versement transport.

Les transports de l'agglomération s'organisent ainsi de manière parallèle et convergent dans le centre de la boucle où les échanges sont assurés.

En 1996, la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE) impose la mise en place des Plans de Déplacements Urbains pour les agglomérations de plus de 100 000 habitants. Les deux autorités organisatrices lancent ainsi conjointement des réflexions sur la réalisation de leur propre PDU. De ces documents naissent les réflexions sur l'amélioration de la circulation des bus pour entrer dans la ville-centre. Si Besançon est déjà équipé de sites propres, de priorités aux feux et d'un Système d'Aide à l'Exploitation et d'Information Voyageurs (SAEIV) depuis le début des années 90, le PDU ambitionne de renforcer la politique de priorisation des transports collectifs.

2.4.2 Les fondements du projet

Le besoin en TCSP

A la fin des années 90, l'organisation des transports via deux réseaux parallèles trouve ses limites et nécessite en 2001 la création de la communauté d'agglomération du Grand Besançon afin de coordonner les transports à l'échelle de 58 communes. La CAGB approuve les deux PDU alors qu'elle ne les a pas réalisés et en fait un élément majeur de la construction de la politique d'agglomération.

Les PDU portent deux éléments forts :

- sur le périmètre de la ville de Besançon : la réalisation d'axes prioritaires intégrant la mise en œuvre d'un matériel roulant nouveau ;

- pour la périphérie : le ferroviaire est considéré comme le TCSP du périurbain.

La première mission de la CAGB est la création d'un réseau unifié nommé Ginko. Le principe de pôles d'échanges d'entrée de ville est intégré afin d'éviter la superposition des lignes urbaines et périurbaines dans le cœur de Besançon. La correspondance est imposée, mais les études montrent que la destination finale de 60% des voyageurs périurbains se situe dans le secteur du pôle d'échanges. Ainsi, seulement 40% des voyageurs réalisent la correspondance.



Figure 11 : Principe de fonctionnement en pôle d'échanges du grand Besançon (2013)

La notion de transport à haut niveau de service devient ainsi nécessaire pour assurer les correspondances avec les lignes urbaines depuis les pôles d'échanges.

La CAGB a donc construit un réseau de lignes à forte fréquence mais sans infrastructures. Elles ont cependant trouvé leurs limites par l'augmentation constante du trafic automobile de l'ordre de 3% par an et pénalisant fortement la vitesse commerciale des bus urbains.

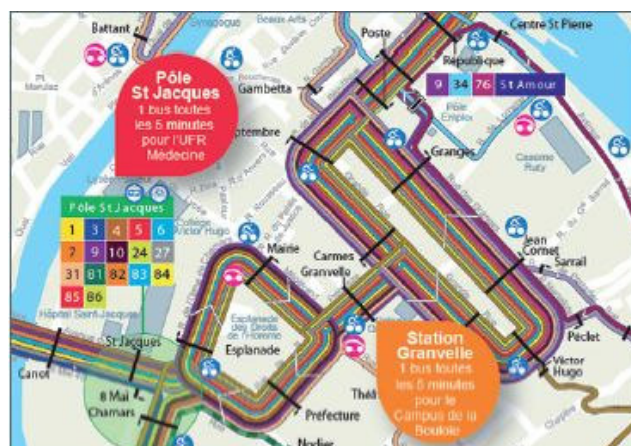


Figure 12 : Saturation de centre-ville avant la mise en œuvre du tram (2013)

Le centre-ville par ailleurs, lieu de convergence de la circulation, était alors asphyxié. La forte volonté politique de reprise en main de la piétonisation nécessitait une réponse adaptée en transports collectifs. Le passage de 1.200 bus par jour dans la boucle n'était pas viable à long terme.



Afin de pallier les problématiques de vitesse commerciale et de saturation de la boucle, l'agglomération prend conscience de la nécessité de réaliser des infrastructures. Le but est à la fois commercial et économique (à l'époque la perte d'1 km/h correspond à 600.000 € HT/an de charge supplémentaire à Besançon). En 2005, la CAGB produit ainsi un schéma directeur TCSP issu des enjeux des PDU. Ce document fondateur est à l'origine de la création de haltes ferroviaires, de la ligne 3+ et du tramway. Le principe d'un axe TCSP lourd est ainsi entériné en 2009. La fréquentation est alors de 24 millions de voyageurs annuel.

Le choix du tramway

Dès le lancement du projet, la Communauté d'agglomération du Grand Besançon a ouvert tout le champ des possibles, sans a priori concernant le choix du mode. Le principe du tramway s'est fait à la fin de la réflexion.

Les corridors ont facilement été identifiés. A l'Ouest, l'axe Planoise - Gare existait déjà avec le réseau de bus urbain. Sa fréquentation était forte. A l'Est, la problématique fut différente puisque le TCSP y était considéré comme un outil de développement urbain. Le besoin de capacité est alors estimé à 1.200 voyageurs par heure et par sens. Le potentiel de fréquentation identifié est en conséquence à l'interface entre BHNS et tramway.

L'accessibilité aux transports en commun, au moment même du vote de la loi handicap en 2005, nécessite de trouver un matériel permettant des accostages parfaits en station. Si le mode tramway répond parfaitement à cette contrainte, l'accostage d'un bus peut également être optimisé par l'utilisation d'un guidage optique. La question de l'accessibilité ne permet donc pas de choisir un mode plutôt qu'un autre.

Par la suite du travail d'identification de tracés potentiels, les fortes contraintes de largeurs de voiries ont à la fois impacté les choix de tracés et le choix du matériel roulant. Les rayons de giration d'un bus à guidage immatériel n'étant pas adaptés dans la boucle, les girations contraintes en centre-ville argumentent sensiblement en faveur du tramway.

Au niveau local, le tramway a rapidement été considéré comme un outil inadapté pour une ville de la taille de Besançon mais le Grand Besançon a pris conscience de la nécessité de porter une vision d'avenir plus novatrice avec le tramway qu'avec le BHNS. La question de l'image renvoyée aux personnes non utilisatrices des transports auparavant a également été un argument important en faveur du tramway.

2.4.3 Présentation du projet

Les deux lignes de tramway de Besançon ont été mises en service en septembre 2014. Elles s'étendent sur 14,5 km de lignes, dont 60% sont réalisés en commun (sur la cote on ne distingue pas le tronçon commun). Elles permettent ainsi de relier 3 des 4 pôles d'échanges de l'agglomération, tout en

assurant la desserte du centre-ville et de la gare Viotte (ligne 2 uniquement)¹.



Figure 13 : Plan du réseau Tramway de Besançon (Grand Besançon)

La fréquence des lignes est 6 minutes sur le tronc commun et 12 minutes sur les branches.

La vitesse commerciale est en deçà de l'objectif annoncé avant travaux (18,6 km/h au lieu de 20 km/h). La vitesse actuelle correspond toutefois à une augmentation de près de 70% en heure de pointe par rapport à l'ancienne ligne de bus 10.

Concernant le matériel roulant, le choix s'est orienté vers un matériel tramway CAF de 23 m. La capacité restreinte des rames par rapport à d'autres lignes de tramway en France permet d'assurer une fréquence soutenue sur la ligne pour un coût limité. Par ailleurs le Grand Besançon a prévu des stations et un dépôt adaptables à des rames de 40 m (36 m dans le cas d'ajout de modules au modèle CAF Urbos) dans le cas d'une surcharge des rames actuelles.

¹ Le pôle Temis sera desservi par le TCSP ligne 3 à court terme.



| Tram 1&2 | matériel roulant |
|---------------|----------------------------|
| constructeur | CAF |
| produit | Urbos 3 |
| motorisation | alimentation par caténaire |
| longueur | 23 m |
| largeur | 2,4 m |
| capacité | 132 places |
| parc | 19 |
| coût unitaire | 1.800.000 € |
| coût total | 34.200.000 € |

Tableau 8 : Données matériel roulant du tramway de Besançon

Le réseau Ginko comptait 2 parc relais jusqu'à fin août 2014 (au niveau des pôles d'échanges Temis et Micropolis). 3 nouveaux parcs-relais ont été créés en septembre 2014, conjointement à la mise en œuvre des lignes de tramway, afin de faciliter l'intermodalité avec le réseau Ginko.

Malgré une tarification avantageuse (gratuit pour les abonnés du réseau Ginko), la majorité des P+R affiche une fréquentation moyenne limitée (moins de 50 voitures / jour à la fin 2014). Le parc-relais situé au niveau de Haut du Chazal, terminus des deux lignes de tramway, est toutefois plus fréquenté (100 voitures / jour en moyenne fin 2014).

2.4.4 Fréquentation

La fréquentation estimée dans les études préalables s'élevait à 43.000 voyages par jour. En 2016, la fréquentation est de l'ordre de 40.000 voyages par jour. Du fait de leur mise en œuvre récente, les lignes n'ont toutefois pas encore atteint leur fréquentation maximale.

| fréquentation | ANTE | POST | écart POST/ANTE |
|----------------|-----------|-----------|-----------------|
| voyageurs/jour | 43.000 | 40.000 | -3.000 |
| voyageurs/an | 8.201.442 | 7.629.248 | -572.194 |

Tableau 9 : Fréquentation des lignes de tramway de Besançon

La fréquentation actuelle est donc légèrement inférieure à la l'estimation d'avant-projet. Cet écart peut notamment s'expliquer par les projets d'urbanisation non encore aboutis à l'est :

- le projet d'extension de la zone commerciale des Marnières sur la commune de Chalezeule au terminus du tramway devrait voir le jour en 2018 ;
- l'éco-quartier des Vaîtes doit intégrer 1.200 logements supplémentaires.

La première année de mise en service a permis de récupérer la perte de la période travaux (-14%). Par ailleurs, le Grand Besançon n'assiste pas à un effet tramway important puisque la fréquentation du réseau était déjà élevée. La réalisation du tramway a permis de prendre les devants d'un essoufflement probable du réseau Ginko à moyen terme.



2.4.5 Aspects économiques et financiers

Les contraintes budgétaires (une capacité budgétaire estimée à 150 M€ au moment de la validation du schéma directeur) ont obligé le Grand Besançon à rechercher des pistes d'optimisation du coût du tramway sans pour autant réaliser un tramway « low-cost ».

L'optimisation des coûts a été rendu possible par la convergence de plusieurs facteurs, entre autres :

- une forte concurrence concernant le matériel roulant ;
- le choix des rames CAF non customisées ;
- l'extension du SAEIV existant ;
- des abris voyageurs classiques en station ;
- un nombre limité de sous stations ;
- des revêtements de qualité mais sur une emprise limitée au projet TC ;
- l'intégration de prairie sans arrosage au lieu du gazon habituel ;
- un remisage extérieur permettant de proposer un centre de dépôt et de maintenance à 11 M€ soit 580.000 € par rame.

Ce travail important en matière d'optimisation des coûts a permis de proposer un projet à 228 M€ HT (CE 2008), études et matériel roulant inclus, soit environ 16 M€/km. Le projet se situe alors dans la fourchette haute des BHNS et la fourchette basse du tramway, en cohérence avec un axe TC se situant dans la zone de pertinence BHNS et tramway.

In fine, le budget initial a été tenu. Le budget d'investissement consacré au projet s'élève à 256 M€ (CE 2015). L'écart par rapport à la valeur de 2008 vient uniquement du fait de l'actualisation de la valeur liée à l'inflation.

Le coût d'investissement du projet se répartie en plusieurs catégories :

- les études (AMO, MOE, communication, indemnités, assurances) ;
- l'équipement (matériel roulant, billetterie, acquisition foncière, etc.) ;
- les travaux (infrastructures, centre de maintenance, ouvrages d'art, etc.) ;
- autres.

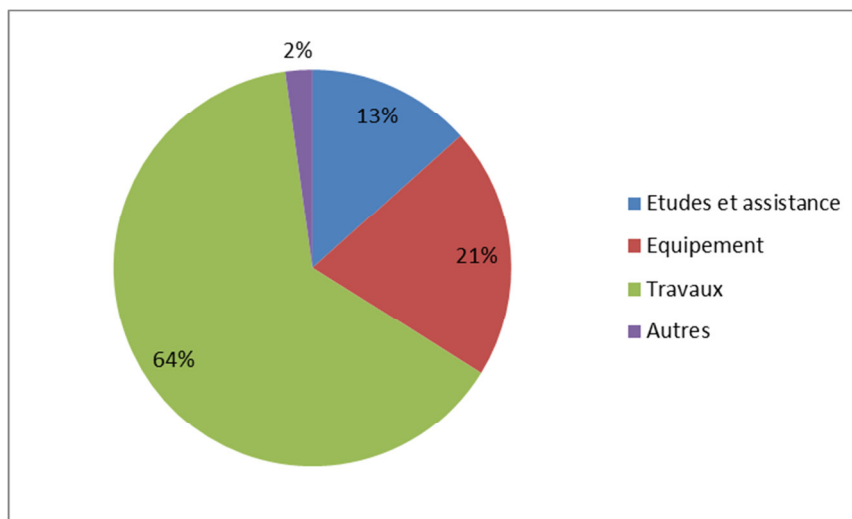


Figure 14 : Décomposition du coût d'investissement pour le tramway de Besançon - données Grand Besançon

Par ailleurs, l'exploitant chiffre le coût de fonctionnement du tramway à hauteur de 6,6 €/km (comprend le coût de roulage et de maintenance).

2.4.6 Perspectives du projet / réseau

Le Grand Besançon réalise actuellement des aménagements pour favoriser la vitesse commerciale de la ligne 3 de BHNS au Nord. Actuellement bien fréquentée (plus de 6.000 voyageurs par jour), elle dessert le campus de la Bouloie, le parc d'activité Temis, des équipements sportifs majeurs et des quartiers denses. La fréquentation est estimée à 9.000 voyageurs par jour.

La ligne, longue de 4,1 km, devrait être mise en service dès 2017 avec une fréquence renforcée et un site propre entre la gare Viotte et le boulevard Churchill (tronçon de 2 km). Le coût d'investissement du projet est estimé en 2015 à 15 M€.

Le choix du BHNS s'explique notamment par une demande plus faible que l'axe tramway et des besoins variables tout au long de l'année avec la présence du campus.

2.4.7 Bilan du projet

Le Grand Besançon était confronté à de nombreux problèmes d'exploitation en centre-ville et limité par un budget contraint. A travers le choix d'un matériel roulant adapté au potentiel de fréquentation identifié, il a su proposer un projet TCSP économiquement optimisé.

Avec près de 40.000 voyageurs / jour, la fréquentation actuelle est proche de l'estimation d'avant-projet. Elle est encore en phase de montée en charge et pourrait croître à la faveur des projets urbains développés à l'est de Besançon.

Le tramway n'a pas considérablement augmenté l'offre de transport mais a permis la régularité du temps de parcours aux heures de pointe et le désengorgement de l'hyper-centre. Le nombre de bus circulant rue de la République a ainsi été divisé par deux.

2.5 Nantes - Busway

Rappel historique

Au début des années 2000, la ligne 3 du tram de Nantes était en travaux dans sa partie nord-ouest mais la partie sud-est faisait l'objet de discussions. En effet, le trafic attendu n'était que de 17.000 voyages par jour, c'est-à-dire beaucoup moins que sur le reste du réseau de tram. Les élus étaient confrontés à la question du financement de ce tronçon qui aurait coûté 135 M€ pour seulement 4 km. Ils décidèrent de lancer de nouvelles études mais avec un tracé un peu différent et surtout plus long. Donc, avant de choisir le Busway, le tram avait bien été envisagé.

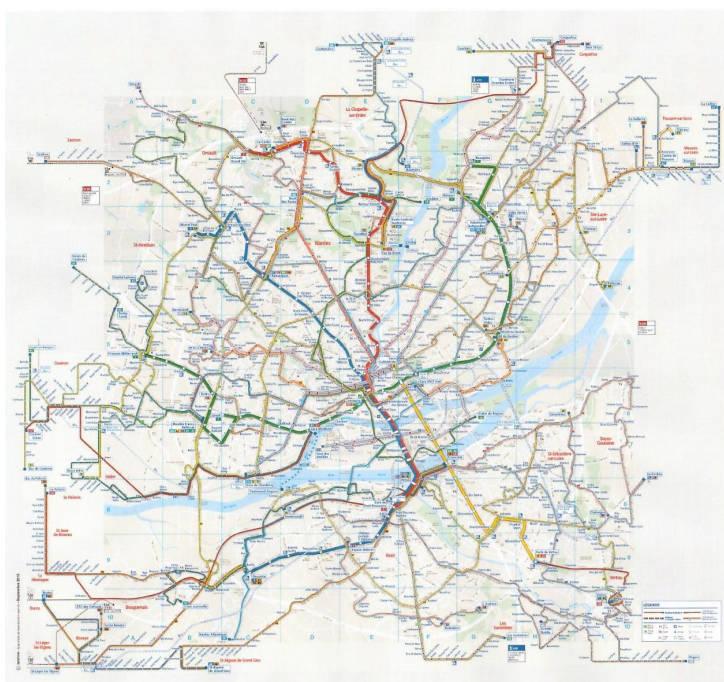


Figure 15 : Réseau TAN (2016)

Les fondements du projet

Il y a d'abord cette question de coût. Le Busway, qui était tout à fait en mesure de faire face au trafic prévu, ne coûtait que 75 M€ (valeur 2006). Et cela, pour 7 km (et non pas 4 km). Avec une requalification de façade à façade sur une ancienne pénétrante autoroutière, le Busway était en mesure de créer la dynamique urbaine attendue. Le plus fort potentiel de requalification du tram n'était pas nécessaire.

D'autres critères ont conduit à retenir le Busway et à écarter le tramway: problème technique et d'insertion urbaine (le pont SNCF aurait été peu adapté au tram compte tenu des rampes et de la perspective du château), difficultés d'exploitation (une ligne supplémentaire de tram sur le tronçon commun aurait conduit à des problèmes d'exploitation sachant qu'il y a déjà deux lignes de tram sur ce tronçon commun), manque de souplesse (en cas de perturbation, le BHNS peut passer sur la voirie ordinaire ce que ne peut pas faire le tram).

Présentation du projet

La ligne 4 fait 7 km et relie la cathédrale St-Pierre de Nantes à la Porte de Vertou au sud-est de l'agglomération.



Figure 16 : Ligne 4 du réseau (Busway)

La vitesse commerciale du Busway atteint 22 km/h contre 20 pour le tram et 18 pour le chronobus.

Le service fonctionne de 5h00 à 0h30 (et même 2h30 le samedi soir). A l'heure de pointe, il passe un BHNS toutes les 2 minutes 30.

Fréquentation

Le Busway a été mis en service en novembre 2006. En janvier 2007, la fréquentation atteignait 20.500 voyages par jour. En janvier 2011, elle atteignait 28.000 voyages par jour. Aujourd'hui (en mars 2016), on atteint 38.000 voyages par jour. Il n'est pas rare d'atteindre 2.300 voyages par sens, et des problèmes de saturation apparaissent.

| fréquentation - Post | | | |
|----------------------|-----------|-----------|------------|
| année | 2007 | 2011 | 2016 |
| voyageurs par jour | 20.500 | 28.000 | 38.000 |
| voyageurs par an | 5.576.000 | 7.616.000 | 10.336.000 |

Tableau 10 : Évolution de la fréquentation du Busway à Nantes

Aspects économiques et financiers

Le projet aura coûté 75 M€ (€ de 2006) à raison de 60 M€ pour l'infrastructure, 11 M€ pour le matériel roulant (20 bus dédiés + 3 bus d'appoint) et 4 M€ pour l'acquisition du foncier.



| Année | Post | |
|------------------------|--------------|--------------|
| | € 2006 | M€ /km ligne |
| Infrastructure | 60.000.000 € | 8,6 |
| Matériel Roulant | 11.000.000 € | 1,6 |
| Acquisitions foncières | 4.000.000 € | 0,6 |
| Total | 75.000.000 € | 10,7 |

Tableau 11 : Coûts d'investissement du Busway à Nantes

Le coût au kilomètre est d'environ 2 M€ pour le chronobus, 10 M€ pour le BHNS et 25 M€ pour le tram. Ces chiffres sont des ordres de grandeurs à prendre avec précaution mais le rapport entre ces chiffres est correct : en investissement le BHNS coûte 2 à 3 fois moins cher que le tram. Mais attention, il faut aussi tenir compte de la capacité, de la durée de vie et de la fréquentation. Par exemple, le ratio V/K (Voyageurs transportés / Kilomètres d'exploitation) est très différent d'un mode à l'autre : 7 pour le chronobus, 9 pour le Busway et 13 pour le tram.

Concernant le Busway, la couche de roulement n'a pas été refaite jusqu'à maintenant mais il est prévue de la refaire, probablement à l'été 2016 ou l'été 2017. Le seul problème concerne les stations ; le béton bitumineux (qui montre un certain orniérage) sera remplacé par du béton.

Perspectives du projet / réseau

Il est prévu de passer à des véhicules de 24 mètres de long (contre 18 m aujourd'hui). Ainsi, on pourra faire face à un trafic de 52.000 voyages alors que les prévisions conduisent à une fourchette de 40.000 à 45.000 voyages par jour. A noter qu'une 5ème ligne TCSP Nord-Sud sur la ZAC Sud-Ouest de l'île-de-Nantes devrait d'ici 2025 contribuer à désaturer le Busway.

Les stations de 2006 ont été prévues pour 24 m si bien que le coût d'adaptation ne devrait pas dépasser 1,5 M€. La mise en service de la nouvelle flotte est prévue pour 2018. Le réemploi des anciens véhicules (qui ont une durée de vie de l'ordre de 15 à 20 ans) sur d'autres lignes du réseau ne posera pas de problèmes puisqu'ils ne sont pas spécifiques (à l'époque les constructeurs ne commercialisaient pas ces beaux BHNS que l'on voit aujourd'hui comme à Metz). Par ailleurs, ces nouveaux véhicules de 24 m seront électriques avec recharge d'opportunité au terminus de Porte de Vertou voire à quelques stations.

Bilan du projet

En 2016, la fréquentation atteint 38.000 voyageurs par jour et des périodes de saturation apparaissent. Nantes Métropole semble se diriger en 2017 vers une nouvelle flotte de véhicules électriques longs de 24 m.

2.6 Strasbourg - Ligne G

Rappel historique

Afin de répondre aux besoins de transport d'une grande agglomération et de renforcer son accessibilité, l'Eurométropole de Strasbourg (EMS) a engagé depuis le début des années 1990 une politique ambitieuse de déplacements en développant le concept de multimodalité à travers la création de plusieurs lignes de tramway. Cette démarche vise à promouvoir les déplacements multimodaux en privilégiant les transports publics, les modes de transports alternatifs et l'usage plus raisonné de l'automobile.

En 2009, le réseau tramway de l'Eurométropole comprenait quelques 38,5 km d'infrastructures en site propre. Sur ce réseau maillé étaient exploitées cinq lignes ("A", "B", "C", "D" et "E") totalisant une longueur commerciale cumulée de 53,7 km grâce à l'exploitation en troncs communs partiels de ces lignes.

En 2010, le schéma directeur des transports collectifs décrit les principaux enjeux de déplacement de l'agglomération, au nombre desquels la desserte du quartier de Cronembourg et de l'Espace Européen de l'Entreprise. Pour l'Eurométropole, ce projet poursuivait un objectif plus large de desserte de la première couronne de l'agglomération. Il s'agissait de la couvrir entièrement par un réseau de transport collectif structurant en complétant la desserte sur les axes radiaux non encore desservis actuellement.

Le réseau avant le projet

Le besoin en TCSP

Historiquement, l'Espace Européen de l'Entreprise était desservi par la ligne 19 du réseau Strasbourgeois. La ligne transportait quotidiennement près de 10.000 voyageurs par jour. Afin de répondre à cette forte demande, la ligne proposait une fréquence de 3 minutes en heure de pointe. L'offre était en conséquence très importante.

Pour des raisons de tracé (angle de radiation), la ligne ne pouvait rouler qu'avec du bus standard (capacité d'environ 80 personnes à l'intérieur du véhicule). L'exploitation était donc arrivée à saturation (formation de train de bus, rupture de charge au contact des lignes de tram). La ligne BHNS a ainsi été pensée afin de soulager et fiabiliser la ligne 19.

Une enquête Origines-Destinations réalisée sur la ligne 19 a mis en exergue la part importante de voyageurs réalisant le déplacement depuis la gare centrale de Strasbourg vers l'Espace Européen de l'Entreprise. Le projet TCSP a donc vu le jour afin de permettre une liaison directe performante entre ces deux pôles.

Le choix du BHNS

Afin de desservir le corridor Cronembourg / Espace Européen de l'Entreprise, deux solutions ont été envisagées :

- une desserte par prolongement de la ligne de tramway D ;

- une desserte par la création d'une ligne de Bus à Haut Niveau de Service via la rue de Hochfelden et desservant le coeur de la cité nucléaire de Cronenbourg.

Le prolongement de la ligne D n'a cependant pas été retenu, la fréquentation identifiée étant trop faible pour le mode tramway.

Présentation du projet

La ligne s'étend sur près de 5,2 km, dont 80% sont réalisés en site propre avec un système de priorité aux feux. Ces infrastructures permettent à la ligne de circuler en moyenne à la vitesse commerciale prévue, soit 20 km/h.

12 stations jalonnent le parcours depuis la gare centrale de Strasbourg jusqu'à l'Espace Européen de l'Entreprise, soit une distance inter-station moyenne de 400 m.

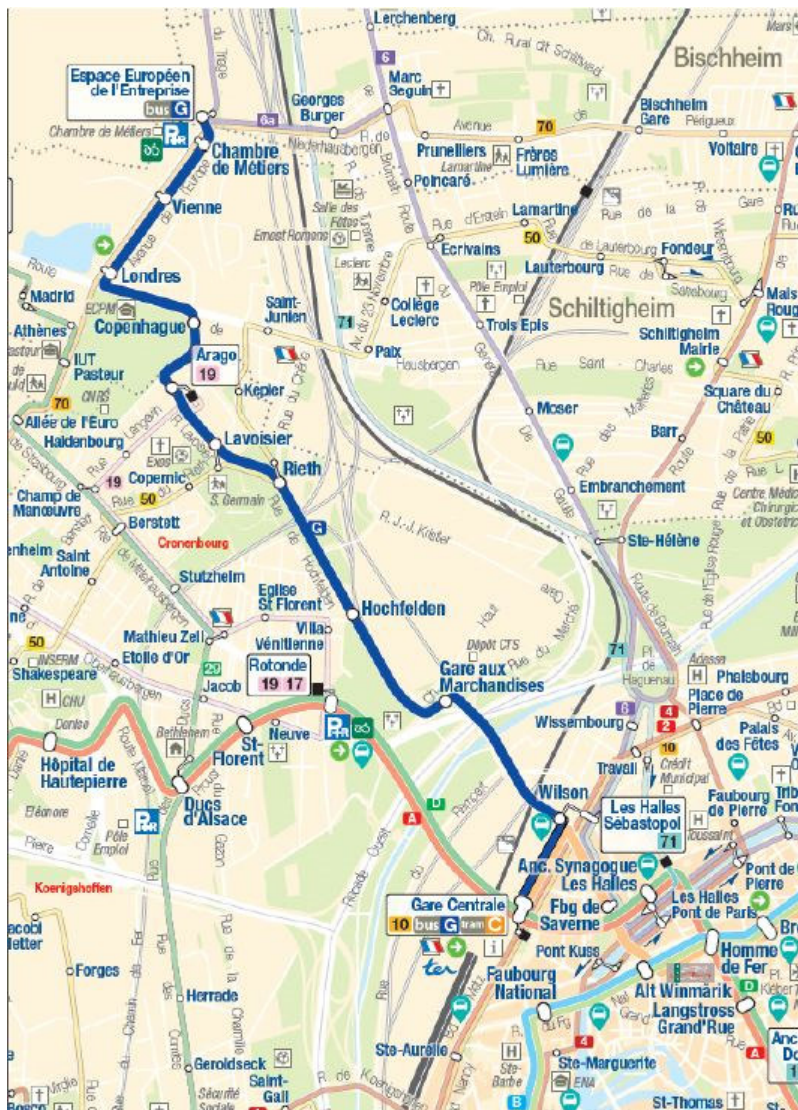


Figure 17 : Itinéraire des lignes 19 et G (Compagnie des Transports Strasbourgeois, 2015)

L'itinéraire emprunté par la ligne 19 ne permettait pas la circulation de bus articulés ni la réalisation d'un site propre. Il a donc fallu orienter le tracé du



BHNS via la rue de Hochfelden qui convenait mieux aux contraintes d'insertion d'un BHNS.

L'itinéraire de la ligne BHNS a cependant connu plusieurs variantes, notamment :

- quant à la desserte du quartier Cronenbourg. Le projet final prévoit la desserte du quartier aux arrêts Lavoisier et Arago ;
- quant à la desserte du centre-ville, au niveau des halles. Le terminus du BHNS est finalement positionné à la gare centrale.

A la mise en service de la ligne G, la ligne 19 a été restructurée.

Le choix des véhicules s'est porté sur un matériel roulant articulé de 18 m, pouvant accueillir environ 120 passagers ; 10 véhicules sont initialement achetés. Cependant, face à la demande de déplacements aux heures de pointe, un 11^{ème} véhicule vient d'être livré afin de renforcer la fréquence.

| ligne G | matériel roulant |
|---------------|------------------|
| constructeur | Mercedes |
| produit | Citaro G |
| motorisation | Thermique |
| longueur | 18 m |
| largeur | 2,55 m |
| capacité | 120 places |
| parc | 11 |
| coût unitaire | 485.000 € |
| coût total | 5.335.000 € |

Tableau 12 : Données du matériel roulant de la ligne G à Strasbourg

Le projet prévoyait la création d'un P+R au niveau de l'Espace Européen de l'Entreprise, terminus de la ligne G, près de l'autoroute A4. Il dispose d'une capacité de 170 places et est gratuit pour les abonnés du réseau de transport Strasbourgeois. Au total le territoire dispose de 10 P+R.

Fréquentation

La fréquentation prévue à terme était de 10.000 voyageurs par jour. Dès l'inauguration de la ligne, en 2013 elle atteint 9.000 voyageurs par jour. En 2015, elle atteint les objectifs annoncés avec 10.000 voyageurs par jour.

| fréquentation | ANTE (2012) | | POST (2015) | | Gain BHNS |
|----------------|-------------|------------|-------------|-----------|-----------|
| | 19 | G | 19 | G | |
| ligne | réelle | estimation | réelle | réelle | |
| calcul | réelle | estimation | réelle | réelle | |
| voyageurs/jour | 10.000 | 10.000 | 4.000 | 10.000 | 4.000 |
| voyageurs/an | 2.720.000 | 2.720.000 | 1.088.000 | 2.720.000 | 1.088.000 |

Tableau 13 : Fréquentation des lignes 19 et G Ante/post

Pour estimer le gain de fréquentation associé à la mise en œuvre du TCSP, il est important prendre également en compte la fréquentation actuelle de la ligne 19, qui est de 4.000 voyageurs par jour. Ainsi le corridor compte aujourd'hui 14.000 voyages/jour (ligne G + ligne 19) contre 10.000 pour



l'ancienne ligne 19. On peut donc estimer que 4.000 voyageurs supplémentaires circulent sur le réseau depuis la mise en œuvre de la ligne G.

La charge de la ligne est importante dans les deux sens :

- de nombreux professionnels et étudiants voyagent vers l'Espace Européen de l'Entreprise ;
- les habitants du quartier de Cronembourg vers la gare.

De fait, la fréquentation de la ligne correspond aux flux pendulaires du matin et du soir. L'exploitation doit être adaptée en conséquence. La fréquence initialement prévue était de 6 minutes en heure de pointe, correspondant à l'utilisation de 8 véhicules. Après quelques mois de service cependant, il s'est révélé nécessaire d'injecter deux nouveaux véhicules. En heure de pointe, la fréquence de passage des bus de la ligne G est ainsi de 4 minutes aujourd'hui.

Avec un ratio voyage/kilomètre de 7,3, la ligne G possède un très bon niveau de performance.

La fréquentation du parc relais cependant est faible. Cela s'explique par plusieurs raisons :

- un mauvais signallement : Il n'est pas jalonné depuis l'autoroute ;
- une offre de stationnements gratuits non loin ;
- la présence d'un autre parc relais concurrentiel au niveau de Rotonde, au contact de 2 lignes de tramway.

Aspects économiques et financiers

Le prix unitaire d'un bus Citaro utilisé sur la ligne BHNS est de 485.000 € (coûts 2013). Le parc de bus actuel étant composé de 11 véhicules, le coût total d'achat du matériel roulant est de 5,3 M€.

Le coût d'investissement s'élevait à 25 M€ (4,8 M€ / km) hors coût du matériel roulant, soit 30,3 M€ (5,7 M€ / km) au total.

Le budget consacré à la mise en œuvre du projet a été respecté.

Par ailleurs, le coût de fonctionnement du BHNS (exploitation et entretien du matériel roulant) est de 6 €/km.

Perspectives du projet / réseau

Il est envisagé de prolonger la ligne depuis la gare vers l'arrêt de tram « Etoile Bourse » en passant par la ceinture des boulevards (boulevards de Metz, Nancy, Lyon et Pasteur). Cette extension permettrait de soulager les lignes de tram du centre-ville d'une partie de leur charge. Sur ce tronçon, le BHNS occuperait le rôle de ligne de rocade.

Bilan du projet

L'Eurométropole de Strasbourg a développé le projet BHNS ligne G afin de répondre aux difficultés d'exploitation de la ligne 19 et assurer un maillage plus fin de son territoire.



La ligne ad hoc permet aujourd'hui à près de 10.000 voyageurs par jour d'effectuer la liaison entre la Gare Centrale et l'Espace Européen de l'Entreprise via le quartier Cronenbourg. Cela correspond à la fréquentation qui était initialement prévue.

Avec un coût d'investissement restreint, à hauteur de 5,7 M€ par kilomètre, le projet BHNS de l'Eurométropole répond aux besoins identifiés, notamment en termes de vitesse et de régularité.



2.7 Lyon – tram T3

Rappel historique

Déclaré d'Utilité Publique le 14 août 1877, le Chemin de Fer de l'Est Lyonnais (CFEL) est né officiellement le 30 octobre 1881. Il permettait la liaison entre Lyon et Saint-Genix-sur-Guiers (à proximité d'Aoste en Savoie) sur une distance de 71 km. La ligne était alors aussi bien destinée au service de voyageurs qu'au transport de marchandises. Si la desserte voyageurs fut suspendue peu après la seconde guerre mondiale, le trafic de marchandise sur le CFEL continua jusqu'à la fin des années 1990.

A l'échéance de la concession en 1976, les conseils généraux du Rhône et de l'Isère devinrent officiellement propriétaires de l'infrastructure sur le territoire respectif. L'exploitation de la ligne fut confiée par affermage en 1987 à la SNCF pour la portion Lyon Part-Dieu – Meyzieu Zone Industrielle, soit 15 km environ. Le reste fut conservé bien qu'inexploité jusqu'à Crémieu sur environ 16 km supplémentaires.

Le PDU adopté en 1997 préconisa la création d'un tramway dans l'est lyonnais ayant pour objectif de :

- relier la zone industrielle de Meyzieu à la gare part Dieu ;
- desservir l'aéroport de Lyon Saint-Exupéry.

Ces deux objectifs furent finalement scindés en deux projets distincts, confiés au SYTRAL (autorité organisatrice des transports de l'agglomération lyonnaise) pour la LEA (tram T3) et à la société Rhônexpress pour la LESLYS (liaison express Lyon Saint-Exupéry). Le projet du tram T3 correspond ainsi à l'axe fort inscrit au PDU voté le 14 octobre 1997 par le SYTRAL.

Les fondements du projet

Les premières études de faisabilité ont été menées en 2000 par la Semaly en reprenant l'itinéraire de l'ancienne voie de chemin de fer. Le CFEL présentait alors une emprise disponible sur toute sa longueur avec une largeur de l'ordre de 8 m sauf en quelques points plus délicats à l'Est de Décines.

Depuis la gare Part-Dieu et après avoir traversé la ZAC Dauphiné, le projet prévoyait la desserte de plusieurs communes situées dans l'est lyonnais :

- Villeurbanne (seconde commune de l'agglomération) ;
- Vaulx-en-Velin (desserte de la Zone industrielle) ;
- Décines (desserte du centre-ville, de la clinique, des zones d'habitat et des établissements scolaires) ;
- Meyzieu (desserte du centre-ville, des équipements administratifs, des zones d'habitat et de la zone industrielle).

En considérant le tissu urbain compris dans une zone de 500 m autour de ce corridor, l'étude établit un potentiel de mobilité important, composé de 36.000 emplois et 67.000 habitants (majoritairement concentrés au niveau de Lyon et de Villeurbanne).

Compte tenu des distances importantes séparant les différents pôles (Meyzieu / Décines / Part-Dieu), la vitesse commerciale du projet revêtait une

importance capitale. Pour assurer l'efficacité de la ligne, il était primordial de garantir une vitesse élevée à travers le tissu urbain de l'est lyonnais. L'instauration d'un site propre associée à la priorité totale aux carrefours avec la voirie était donc nécessaire.

Lors de l'étude menée par la Semaly en 2000, la desserte de l'est lyonnais est également envisagée par le mode routier. Le concept reposait sur la mise en œuvre d'un site propre bus ou trolleybus à double sens sur l'emprise du CFEL depuis la gare de la Part-Dieu jusqu'à la zone industrielle de Meyzieu.

Au moment de la délibération concernant le mode de roulement, le BHNS ne bénéficiait pas encore de son aura actuelle (le Busway à Nantes fut mis en service quelques années après). Ainsi, compte tenu du potentiel identifié et suite à l'engouement suscité par la réussite des deux premières lignes de tramway, le projet s'orienta définitivement vers le mode ferré.

Présentation du projet

La ligne T3, longue de 14,6 kilomètres, à une vocation de desserte express de la banlieue Est de l'agglomération lyonnaise depuis le centre économique de la Part-Dieu. Elle traverse le sud de Villeurbanne, Vaulx-en-Velin par son quartier en développement de La Soie, avant de passer par les centres de Décines et Meyzieu pour aboutir dans une zone industrielle. La ligne comporte une dizaine de stations, soit moins d'une par kilomètre.

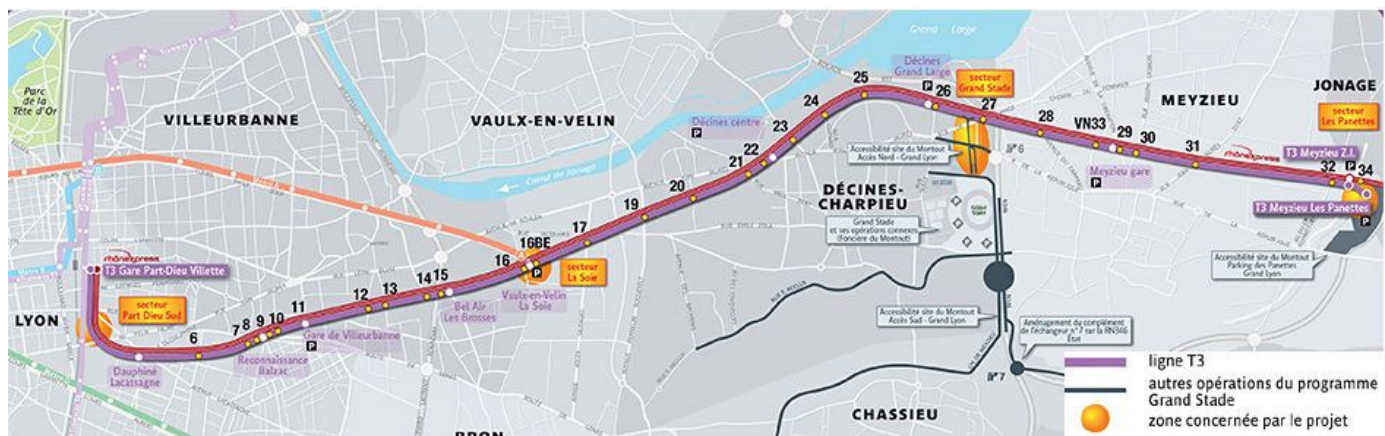


Figure 18 : Itinéraire de la ligne T3 (SYTRAL)

Par ailleurs, le tracé est utilisé par un deuxième opérateur afin de desservir l'aéroport. Cela implique que les rames de la LEA puissent être dépassées par celles du Rhônexpress. De ce fait, certaines stations sont à quatre voies, dotées de quais pour les deux services. D'autres sont à trois voies afin de permettre le dépassement.

Le projet a récemment connu deux modifications mineures de son tracé :

- le prolongement de 400 m vers Meyzieu les Panettes en 2014 (visible sur la carte ci-dessous) ;

- l'embranchement de 600 m vers le stade des lumières, entre les stations « Décines Grand Large » et « Meyzieu Gare », décidé et réalisé conjointement à la construction du stade.



Figure 19 : Desserte du stade des lumières le soir de match

Des services tramway (LEA et Rhônexpress) et bus sont déclenchés 2h15 avant le coup d'envoi puis pendant 1h15 après la fin du match afin de répondre à la forte affluence. La fréquentation des rames du tramway lors d'évènements sportifs est cependant plus importante que prévue. De fait, l'attente en station peut atteindre 40 minutes après un match.

Le projet a par ailleurs permis la réalisation d'une piste cyclable et de plusieurs parcs-relais (capacité totale de 1.600 stationnements) le long de la voie ferrée. La tarification proposée au niveau des P+R était initialement de 20 €/mois (soit environ 1€ par jour ouvré). Leur faible fréquentation a cependant poussé le SYTRAL à proposer la gratuité pour les détenteurs d'un titre de transport. Cette mesure a considérablement amélioré la fréquentation des parcs-relais.

Analyse critique

Pour déterminer des objectifs de vitesse, plusieurs hypothèses ont été testées, en faisant varier la vitesse maximale de la ligne.

| Vitesse maximale en km/h | Temps de parcours en min. | Vitesse commerciale moyenne en Km/h |
|----------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| 50 | 23' | 37 |
| 70 | 19' | 45 |
| 50 avec des sections à 100 | 20' | 43 |
| 70 avec des sections à 100 | 18' | 49 |

Tableau 14 : Vitesses commerciales estimées du T3 (*étude préliminaire Semaly*)

En 2002, l'objectif de vitesse commerciale a été fixé à 40 km/h. Elle est aujourd'hui inférieure aux estimations de la Semaly (35 km/h en 2015). Pour autant, la ligne T3 est la ligne de tramway la plus rapide de l'agglomération lyonnaise (moyenne de 20 km/h sur les autres lignes).

Concernant ses infrastructures, la ligne a connu des problèmes de louvoiement liés au type de rail employé (rail Vignole type SNCF et non pas à gorge).

La ligne est en correspondance directe avec les lignes T4 et Rhônexpress au niveau de la gare Part-Dieu. La correspondance est également réalisable avec le métro B, le tramway T1 et les bus situés à l'ouest de la gare. Les voyageurs souhaitant réaliser ces correspondances sont toutefois obligés de passer par le hall de la gare Part-Dieu (saturé en période pointe).

Fréquentation

La fréquentation a tout d'abord été étudiée à partir des enquêtes Origine / Destination et Ménage / Déplacement de 1995. Ces enquêtes ont mis en évidence un potentiel important entre l'Est lyonnais et le quartier d'affaire de la Part-Dieu. En 1995 Décines et Meyzieu émettaient 220.000 déplacements tous modes motorisés par jour, 80.000 étant internes à l'ensemble de deux communes et 40.000 en direction de Lyon et Villeurbanne.

Ces données ont par ailleurs permis d'alimenter le modèle de prévision de trafic TERESE spécifiquement élaboré pour déterminer l'impact des grands projets de transports en commun urbains. L'objectif de fréquentation de la ligne a ainsi pu être estimé. Les caractéristiques socio-économiques (population, emploi, mobilité) de l'agglomération ont été considérées comme stables à l'horizon du projet. La clientèle est ainsi estimée en 2000 à 14.000 voyageurs par jour pour le trolleybus et 16.000 pour le tramway.

Ces estimations ont été calculées en considérant une fréquence en heure de pointe de 10 minutes. En ce qui concerne le mode ferré, ces résultats ont donné une charge dimensionnante de 1.400 voyageurs par heure. Avec des véhicules dont la capacité est de 200 places (rames utilisées sur les autres lignes), 7 tramways semblaient alors nécessaires par heure, pour une fré-

quence de 8 minutes². Finalement, la fréquence mise en œuvre est de 7 minutes en HP et 15 minutes en HC.

Concernant la fréquentation de la LEA, elle est de 22.000 voyageurs par jour à sa mise en service (2006) et n'a cessé d'augmenter depuis (27 000 voyageurs par jour en 2010 et 32.000 voyageurs quotidiens aujourd'hui).

| fréquentation | ANTE | | POST | | écart POST/ANTE |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
| année | 2000 | 2006 | 2010 | 2016 | 2016/2000 |
| voyageurs/jour | 16.000 | 22.000 | 27.000 | 32.000 | 16.000 |
| voyageurs/an | 4.352.000 | 5.984.000 | 7.344.000 | 8.704.000 | 4.352.000 |

Tableau 15 : Fréquentation de la ligne T3 Ante/Post

Le parc de matériel roulant utilisé à la mise en œuvre est composé de 12 Citadis 302 de 32 m de longueur et d'une capacité de 200 places³. De nouvelles rames de 42 m (Citadis 402) sont cependant utilisées depuis 2013 sur la ligne et constituent désormais la majorité du parc. Nous retiendrons cette capacité (300 places) pour la ligne T3 dans les comparaisons entre projets. Ces rames permettent notamment de répondre à la forte demande en heure de pointe.

| Tram T3 | Matériel roulant |
|---------------|----------------------------|
| constructeur | Alstom |
| produit | Citadis 302 |
| motorisation | alimentation par caténaire |
| longueur | 32 m |
| largeur | 2,65 m |
| capacité | 200 places |
| parc | 12 |
| coût unitaire | 3.000.000 € |
| coût total | 36.000.000 € |

Tableau 16 : Données matériel roulant Tram T3 (première phase d'achat du parc)

Aspects économiques et financiers

Le tracé qui s'étend sur une longueur de 14,6 km a repris en partie l'emprise de l'ancienne ligne de chemin de fer de l'est lyonnais. Cela a permis une acquisition foncière à bas coût. Celle-ci s'est en effet limitée en section courante à des bandes latérales de faible largeur (de 0,5 à 2 mètres environ). En plus de ces bandes linéaires, il a cependant fallu acquérir les terrains nécessaires à la création des parkings de rabattement. Par ailleurs, les aménagements façade à façade ont été limités.

² Le SYTRAL aurait cependant pu faire le choix de véhicule plus capacitaire (240 places) afin de conserver une fréquence de 10 minutes en heure de pointe.

³ Selon la norme de confort de 4 personnes/m²

La présence des chemins de fer a cependant compliqué la réalisation de l'infrastructure. La dépose des rails, du goudron et des autres matériaux présents a ainsi engendré un surcoût.

En 2000 le trolleybus est chiffré à 745 MF, selon les coûts détaillés ci-dessous :

| | |
|----------------------|---------------|
| Infrastructures | 228 MF |
| Equipements | 160 MF |
| Aménagements | 45 MF |
| Parc relais | 15 MF |
| Matériel roulant | 98 MF |
| Réseaux | 30 MF |
| Total travaux | 576 MF |
| Aléas | 87 |
| Ingénierie | 82 |
| Total | 745 MF |

Tableau 17 : Estimation du coût d'investissement du projet trolleybus (étude préliminaire Semaly)

La même étude estime un coût d'investissement supérieur pour le tramway :

| | |
|----------------------|---------------|
| Infrastructures | 100 MF |
| Equipements | 280 MF |
| Aménagements | 65 MF |
| Parc relais | 15 MF |
| Matériel roulant | 165 MF |
| Réseaux | 30 MF |
| Total travaux | 655 MF |
| Aléas | 95 |
| Ingénierie | 90 |
| Total | 840 MF |

Tableau 18 : Estimation du coût d'investissement du projet tramway (étude préliminaire Semaly)

Ces estimations prévoyaient par ailleurs :

- la création d'un nouveau dépôt livré en 2006 d'une capacité de 32 rames. Le dépôt est également utilisé par les lignes T1 et T4 ;
- la création d'un mur anti-bruit sur 7 km installé en 2005 pour protéger les habitants des nuisances sonores ;
- l'achat de 12 rames Citadis 302 dont le prix unitaire est d'environ 3 M€.

Suite à la Déclaration d'Utilité Publique de 2004, le coût du projet est estimé à 150 M€. Le projet LEA coutera en définitif 187 M€.

Par ailleurs, le coût de l'embranchement vers le stade des lumières s'est élevé à 33,7 M€.

Le coût de fonctionnement de la ligne T3 est de 7,62 €/km, soit le ratio le plus faible parmi les lignes tramway de l'agglomération lyonnaise.



| mode et réseau | coût de fonctionnement (€/km) |
|-------------------|-------------------------------|
| Tramway T1 - Lyon | 9,15 |
| Tramway T2 - Lyon | 8,41 |
| Tramway T3 - Lyon | 7,62 |
| Tramway T4 - Lyon | 8,5 |
| Tramway T5 - Lyon | 8,55 |

Tableau 19 : Coût de fonctionnement des lignes tramway de l'agglomération lyonnaise

La vitesse commerciale du T3, bien plus élevée que sur les autres lignes tramway (35 km/h contre 20 km/h en moyenne sur les autres lignes) lui permet d'afficher un coût de fonctionnement inférieur.



2.8 Rouen – Lignes TEOR

Rappel historique

Les lignes du réseau métro ont été mises en service à la fin de l'année 1994. Ces lignes permettent de relier le nord au sud de l'agglomération. Les années suivantes ont vu la réflexion se porter sur la création d'une ligne TCSP permettant de compléter l'offre en transport sur l'axe est-ouest.

L'objectif était de connecter à la ville, sur l'axe est-ouest, plusieurs quartiers à la périphérie de Rouen, notamment :

- le quartier prioritaire « Les Hauts de Rouen » situé au-delà de la continuité urbaine de Rouen ;
- Le campus universitaire à Mont-Saint-Aignan.

Les premières études ont démarré en 1996. Le projet TEOR (Transport Est Ouest Rouennais) est ensuite déclaré d'utilité publique en 1999. Il s'agit du premier projet BHNS en France. Il a donc été nécessaire d'inventer un nouveau concept sur le modèle du BRT sud-américain :

- lisibilité et attractivité de la ligne ;
- guidage optique afin d'assurer une accessibilité parfaite.

La phase de travaux et de mise en service a été progressive et finalement réalisées en 3 temps. A partir de 2001, après 2 ans de travaux, les parties ouest des lignes T2 et T3 fonctionnent normalement. La partie ouest de la ligne T1 a, elle, été mise en service en 2002. En 2007 enfin, les travaux réalisés au centre-ville et dans l'est de l'agglomération permettent de rendre le réseau TEOR opérationnel sur l'ensemble de son tracé.

En 2008, la ligne T1 est prolongée jusqu'à Boulingrin, terminus de deux lignes de métro.

Les fondements du projet

Le TCSP a été décidé afin d'assurer une vitesse commerciale élevée et la régularité des services. Il n'est cependant en site propre qu'au centre-ville et vers le campus universitaire, soit 45% du tracé. En dehors, le trafic est limité et ne justifie pas un site propre.

Concernant le choix du mode, plusieurs éléments ont favorisé le BHNS :

- La nature du projet. Les lignes TEOR s'étendent sur près de 30 kilomètres. Or, près de la moitié du tracé ne justifie pas d'aménagements conséquents ;
- Le budget alloué au projet. La longueur du tracé est importante et aurait impliquée un coût d'investissement bien plus conséquent pour le tramway ;
- La topologie de la Métropole Rouen Normandie. Le quartier des hauts de Rouen se situe en hauteur ; la pente est importante (supérieure à 6%) et pose des problèmes techniques pour une desserte en tramway.

Pour autant, le tracé et les travaux de la ligne T1 (en plan, profil en long et déviation des réseaux) ont été en partie réalisés de manière à laisser la possibilité d'y insérer ultérieurement un tramway sur fer.

Présentation du projet

Le tracé des trois lignes TEOR est long de près de 30 km, dont 3,5 km sur le tronc commun. La voirie se compose de :

- sites protégés (seuls les TEOR empruntent la voie) : 7,3 km soit 25% du tracé.
- sites réservés (la voie peut être ponctuellement franchissable par les autres véhicules) : 6,1 km au total soit 20%.
- sites banalisés (la voie peut être ponctuellement franchissable par les autres véhicules) : 16,4 km soit 55%.

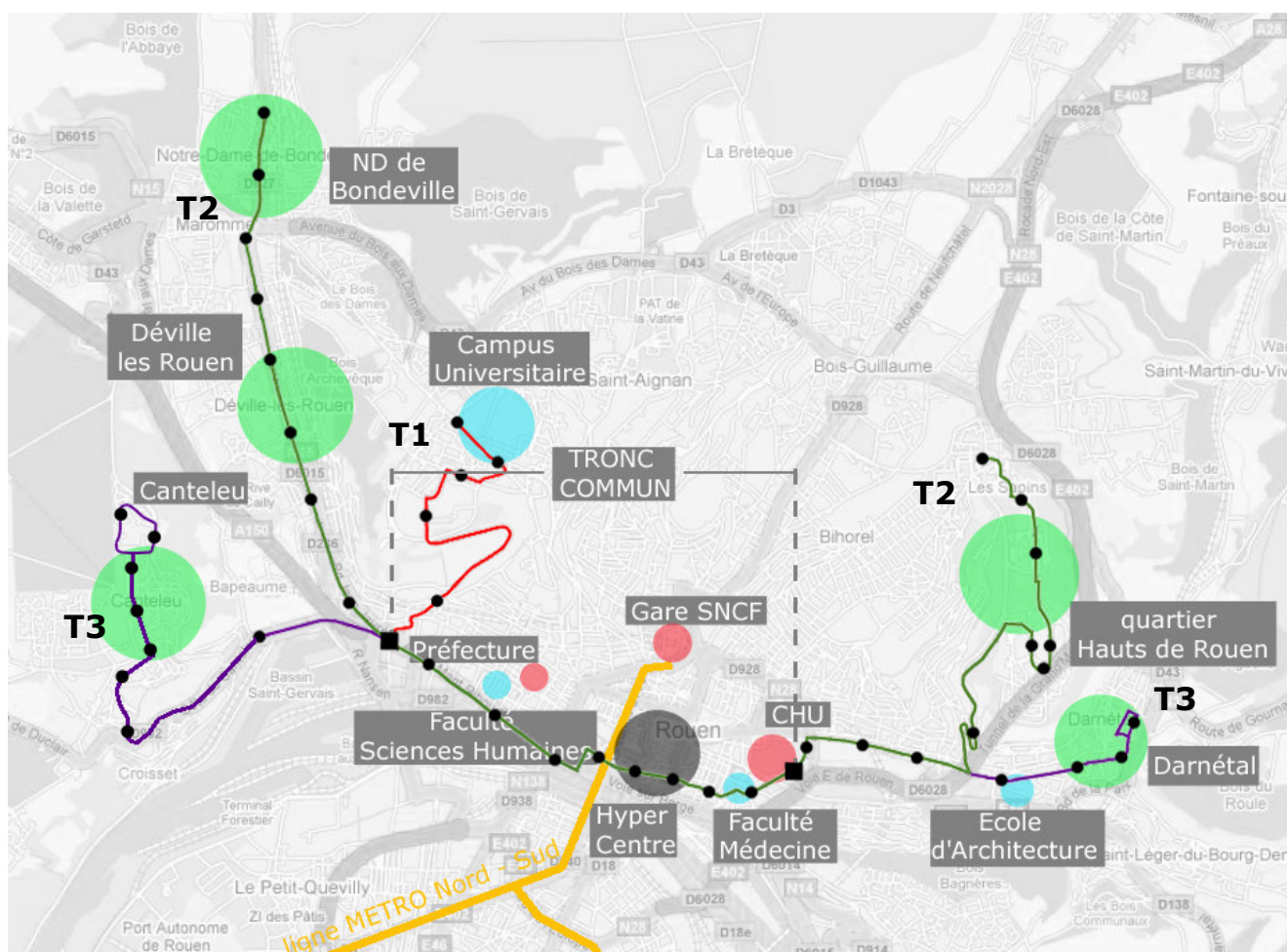


Figure 20 : Desserte des 3 lignes TEOR

Afin d'assurer une accessibilité parfaite en station, la collectivité a décidé la mise en place d'un guidage optique. Une caméra située dans ou sur le véhicule lit un marquage codé peint sur la chaussée et matérialisant la trajectoire imposée. Un ordinateur analyse alors la position du véhicule par rapport à la voie et transmet à la colonne de direction les corrections nécessaires.



Le guidage optique était, à l'époque de la réalisation du projet, un système propriétaire développé par la société SIEMENS. Dans le cadre de l'accord liant Siemens au constructeur Irisbus, seuls ses bus pouvaient en être équipés. De fait, le choix du matériel roulant était limité à ses seuls modèles.

Le parc de matériel roulant était à l'origine composé de véhicules « Agora » de la marque Irisbus. Ces bus ont au fur et à mesure été remplacés par des Citélis, puis des Créalis Néo. Le parc est aujourd'hui composé de près de 58 véhicules.

Analyse critique

Pour répondre à la demande en transport, la fréquence est aujourd'hui de 2 minutes sur le tronçon commun en heure de pointe (entre 3 et 4 minutes en heure creuse). Malgré le site propre sur ce tronçon et la priorisation des bus aux feux, des « trains de bus » se forment parfois.

Afin de répondre à ce dysfonctionnement, plusieurs solutions ont été envisagées :

- l'instauration d'un tramway limité au tronçon commun, mais la rupture de charge induite à ses terminus pour les usagers souhaitant rejoindre les hauts de Rouen ou le campus universitaire est trop importante ;
- l'achat de véhicules plus capacitaires (tri-caisse). Mais pour des raisons esthétiques, d'insertion urbaine et de dénivelé (ligne T1 à l'ouest et T2 à l'est), cette option n'a pas été retenue à ce jour.

Les difficultés d'exploitation ont également pour conséquence la dégradation de la vitesse commerciale des lignes. En 1998 l'objectif de vitesse a été fixé à 20 km/h, soit autant que le métro rouennais. La vitesse commerciale est aujourd'hui de 17,5 km/h (88% de l'objectif).

Fréquentation

L'enquête publique de 1998 estime la fréquentation de projet à 49.000 voyageurs par jour, soit un peu moins de 14 millions de voyageurs par an.

Dans les faits, la montée en charge des lignes a été progressive. La fréquentation a fortement augmenté les premières années, suivant l'avancée des travaux (+ 3,2 millions de voyageurs entre 2006 et 2007). La fréquentation de projet estimée en amont n'a toutefois été atteinte qu'en 2011 (13,7 millions de voyageurs), soit 10 ans après la mise en service des lignes.



| fréquentation annuelle (millions de voy.) | T1 | T2 | T3 | TEOR (ensemble) |
|--|-----|-----|-----|--------------------|
| 2001 | 0,0 | 1,7 | 1,3 | 3,0 |
| 2002 | 1,3 | 2,2 | 1,6 | 5,1 |
| 2003 | 2,4 | 2,7 | 1,8 | 6,9 |
| 2004 | 2,5 | 2,8 | 1,8 | 7,2 |
| 2005 | 2,5 | 2,8 | 1,8 | 7,0 |
| 2006 | 2,3 | 2,6 | 1,8 | 6,8 |
| 2007 | 2,6 | 4,1 | 3,3 | 10,0 |
| 2008 | 3,0 | 4,5 | 3,6 | 11,2 |
| 2009 | 3,3 | 4,4 | 3,6 | 11,4 |
| 2010 | 3,8 | 4,9 | 4,1 | 12,7 |
| 2011 | 4,1 | 5,3 | 4,4 | 13,7 |
| 2012 | 4,3 | 5,4 | 4,7 | 14,4 |
| 2013 | 4,6 | 5,5 | 4,8 | 14,9 |
| 2014 | 4,6 | 5,5 | 4,8 | 14,8 |
| 2015 | 4,5 | 5,4 | 4,7 | 14,6 |

Tableau 20 : Evolution de la fréquentation des lignes TEOR depuis leur mise en service

La fréquentation annuelle des lignes TEOR est aujourd’hui de 14,6 millions de voyageurs, soit environ 52.000 voyageurs quotidiens.

| fréquentation | ANTE - estimée en amont | POST - réalisée aujourd'hui | Ecart POST/ANTE - prévision |
|----------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| année | 1998 | 2015 | 2015 |
| voyageurs/jour | 49.000 | 52.000 | + 3.000 |

Tableau 21 : Comparaison des fréquentations actuelles et estimées en 1998

Par ailleurs, les lignes TEOR ont remplacé 6 lignes de bus (2, 4, 19, 21, 34 et 45) qui transportaient quotidiennement près de 26 000 voyageurs, ainsi que la partie ouest de la ligne 3. Les lignes TEOR ont également soulagé le trafic de la ligne 1 qui était à l’époque la ligne de bus la plus fréquentée (22.000 voyages quotidiens).

La MRN estime ainsi que sur l’itinéraire des lignes TEOR, la fréquentation a connu une hausse de plus de 40% par rapport à 1998.

Aspects économiques et financiers

Le coût d’investissement du projet a été estimé en 1998 à 144 M€. Le projet prévoyait alors l’achat de 35 bus « Agora » guidés pour un montant de 22,5 M€.

Le coût du projet est finalement chiffré à près de 200 M€ en 2007, soit un peu plus de 6,5 M€ par kilomètre. La plus grande partie du budget alloué au projet comprend la phase de travaux (infrastructure, ouvrage d'art) et l'achat du matériel roulant.

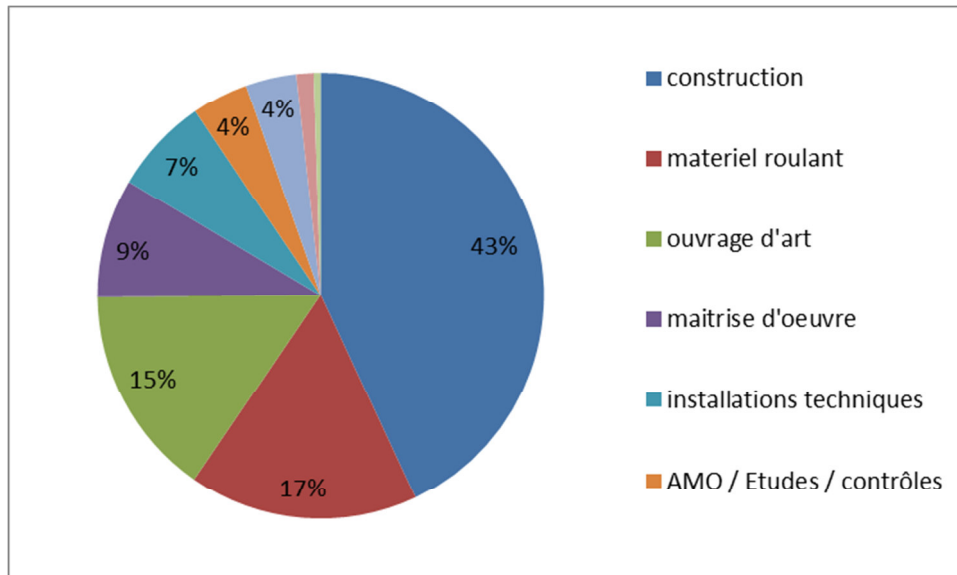


Figure 21 : Décomposition du coût d'investissement du projet TEOR – données MRN

Par rapport à d'autres projets BHNS (le Busway ou le METTIS par exemple), des surcoûts ont été induits par l'utilisation du guidage optique. Ils se retrouvent dans plusieurs phases du projet :

- les études ;
- la réalisation (dessin de l'approche des quais) ;
- l'achat du matériel roulant ;
- l'entretien/maintenance.

Par ailleurs, le coût d'exploitation des lignes BHNS est de 4,9 €/km, soit 0,5 € de plus que pour les lignes de bus classiques du réseau Astuce.

Perspectives du projet / réseau

A l'horizon 2018, le réseau TEOR prévoit la création d'une nouvelle ligne T4 qui constituera un axe fort des déplacements Nord-Sud dans la métropole. L'enquête publique a été réalisée en 2015. Le tracé de la ligne doit s'étendre sur 8,5 km (la totalité en site propre).

Par ailleurs, la métropole poursuit un projet de développement de la ville vers l'ouest, à travers la réalisation du grand ensemble Rouen Seine Cité. Deux projets d'envergure sont concernés : Luciline Rives de Seine (renouvellement urbain) et l'éco-quartier Flaubert. Afin d'assurer leur desserte, la métropole envisage de dévier l'itinéraire de la ligne T1 par la rive gauche de la Seine.



2.9 Tours - Tramway ligne A

Rappel historique

Conformément au PDU de 2003, Tour(s)plus a décidé en mars 2007 la réalisation de la première ligne de tramway calquée en partie sur la ligne de bus n°1 (orientée nord-sud). En décembre 2010, l'arrêté de DUP était obtenu et les travaux pouvaient commencer. Le 31 août 2013, le tramway était en service ; 270.000 spectateurs étaient présents à l'inauguration.

Les fondements du projet

Historiquement, le réseau de bus formait un axe Nord-Sud et, plus les années passaient, plus on constatait une saturation de l'axe central avec la formation de trains de bus (notamment à proximité de la place Jean-Jaurès).

Ce phénomène réduisait considérablement la vitesse commerciale de l'ensemble du réseau et amoindrissait la qualité de service. La collectivité de Tours devait alors répondre aux besoins de transports des tourangeaux.

S'ajoute à cette question de faire face aux besoins de déplacement, la volonté des élus de faire du tramway un outil d'aménagement urbain.

Présentation du projet

Il n'y a pas eu d'étude comparative entre tramway et BHNS. Dès le départ (mars 2007), le choix s'est porté sur le tramway pour des raisons capacitaires. Mais il y a eu une étude comparative (coût, capacité) a été menée un peu plus tard entre le tramway de 32 m avait été envisagé au début et le tramway de 44 m qui a finalement été choisi.

Il a été considéré comme acceptable une fréquence de 6 minutes (avec une rame de 44 m) et non pas de 5 minutes (avec une rame de 32 m). Sachant qu'il reste une possibilité de passer de 6 à 5 minutes ultérieurement (mais pas à moins en raison des stations électriques).

La ligne de tramway est longue de 14,8 km. Le tram roule sur un site partagé avec la voiture sur 800 m (av. Maginot) et avec les bus (place Jean-Jaurès et avenue de Grammont). La vitesse commerciale est de 18,5 km/h.

Le parc comporte 21 rames de 43,7 m (Citadis 402) dont 18 en exploitation, 2 en maintenance et 1 en réserve.

5 rames sont désormais équipées de capteurs pour compter les montées et les descentes : on devrait ainsi estimer la distance moyenne par voyage ainsi que le taux de fraude. Actuellement ce taux est estimé à 9,28% sur le tram (pas de passage devant le conducteur) contre 4,63% sur les bus (passage devant le conducteur).

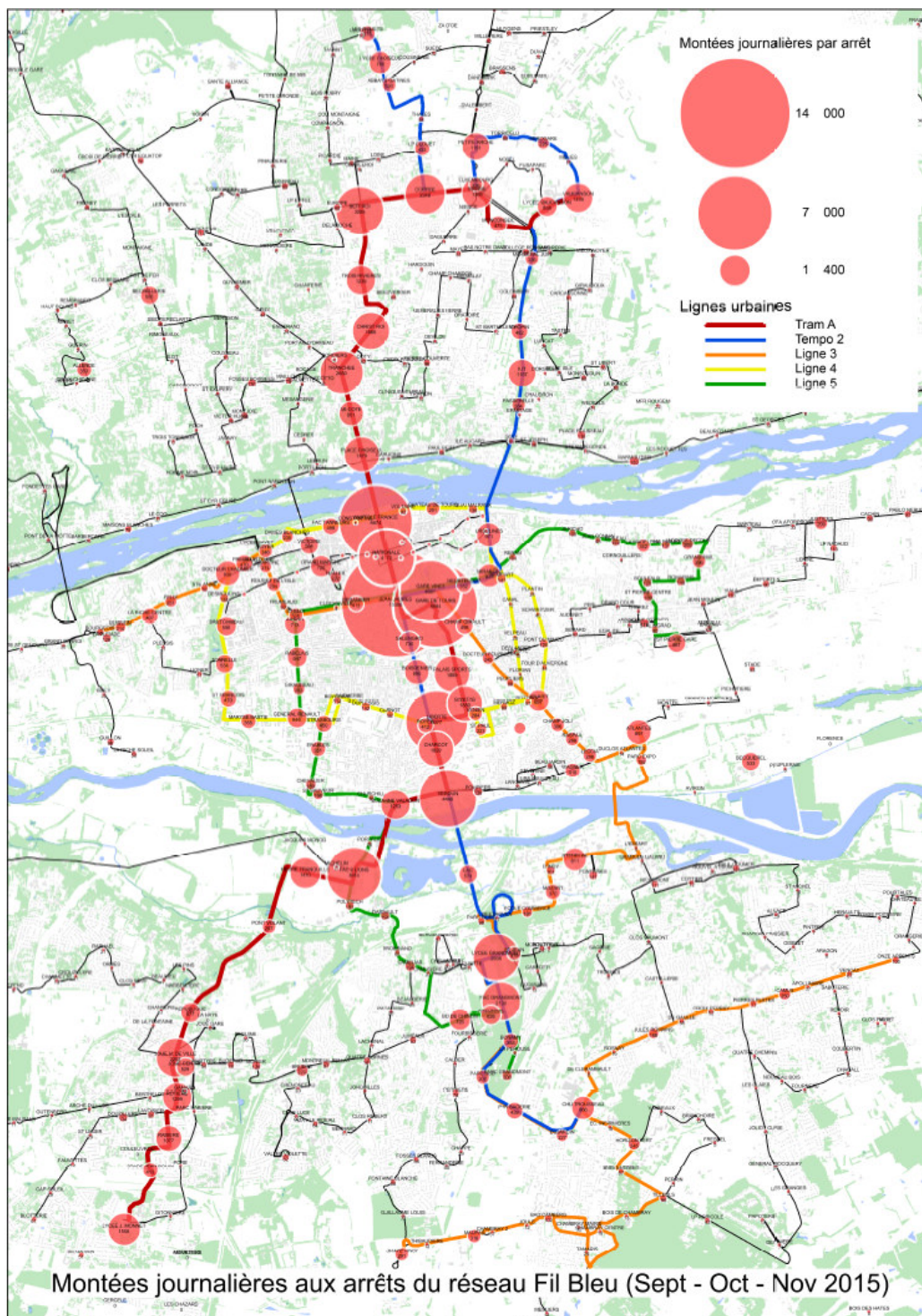


Figure 22 : Montées journalières aux arrêts du réseau de l'Agglomération de Tours (Tour(s)plus)

Fréquentation

Il était prévu 55.000 voyageurs par jour à la fin de la montée en charge, c'est-à-dire en 2018.



Or, en octobre 2014 (c'est-à-dire un an seulement après la mise en service), on comptait déjà 62.000 voyageurs par jour (sur la journée la plus forte) ; le tramway dépasse donc largement les espoirs placés en lui.

Le succès du tramway ne s'est pas fait au détriment des autobus ; il se retrouve au niveau de l'ensemble du réseau.

| Année | Kilomètres | Voyageurs |
|-------|------------|------------|
| 2012 | 9.587.949 | 22.614.635 |
| 2013 | 9.662.075 | 24.278.993 |
| 2014 | 10.241.864 | 34.342.881 |
| 2015 | 10.356.212 | 35.527.389 |

Tableau 22 : Évolution des données d'exploitation et de fréquentation du réseau de Tours

On note une croissance de 40 % entre 2013 et 2014, succès qui a valu à Tour(s)plus la palme d'or de Ville Rail & Transport.

Le recul relatif pour 2015 s'explique par la suspension du service du tramway entre juin et octobre entre les stations Liberté et Verdun suite à un incendie sous le pont enjambant les voies SNCF.

| Année 2015 | Kilomètres | Voyageurs |
|------------|------------|------------|
| Tramway | 1.207.377 | 14.813.523 |
| Bus | 9.147.837 | 20.713.866 |
| Total | 10.356.212 | 35.527.389 |

Tableau 23 : Évolution des données d'exploitation et de fréquentation du Tramway et du bus de Tours

On note que le tramway compte pour 43 % de la fréquentation totale.

Les réseaux TC de 2015 et de 2010 sont comparés afin d'estimer les niveaux de fréquentation sur l'itinéraire du tramway en amont et en aval du projet. Ces valeurs sont directement liées au niveau d'offre sur ce même tronçon. Il est cependant difficile d'évaluer de manière précise les modifications apportées par la reconstruction au niveau du corridor TCSP, étant donné que la ligne de tramway ne remplace pas exactement toutes les lignes de bus supprimées. Suivant les variations d'offre considérées, l'effet tram calculé est compris entre 100% et 150%.

Aspects économiques et financiers

Un coût assez élevé (près de 29 M€ par kilomètre de ligne) mais qui s'explique par :

- d'importantes acquisitions foncières (alors qu'au Mans, par exemple, l'emprise gare n'est pas comprise dans le coût global du projet);
- 74 M€ pour le matériel roulant mais celui-ci intègre les 1,8 km d'APS (il n'est pas possible de diviser en l'état le budget matériel par le nombre de rames mais on sait que le prix d'une rame se situe un peu en dessous 3,5 M€) ;



- un dépôt de qualité avec des matériaux résistants permettant moins d'entretien (alors que, par exemple, le dépôt d'Orléans a choisi le ballast ce qui diminue les coûts) ;
- un dépôt dimensionné pour deux lignes de tramway ;
- un nouveau système billettique (6,6 M€ environ pour l'ensemble du réseau bus et tramway) ;
- un nouveau SAEIV (également 9 M€) ;
- une qualité des aménagements réalisés.

Perspectives du projet / réseau

Le succès du tramway est à rapprocher de ses points forts : le confort, l'attrait, l'accessibilité, l'esthétique (plus fin qu'un bus).

Un schéma directeur de transport collectif en site propre est à l'étude et, à la fin de l'année 2016, est attendue la décision de construire une extension de la ligne actuelle de tram pour desservir le CHU Trousseau au sud-est de l'agglomération.

Notons que simultanément au tramway, une ligne de BHNS a aussi été mise en service ; la ligne 2 du réseau (dénommée Tempo), elle aussi orientée nord-sud. Elle fait 15 km dont 50% en site propre. Son parcours, avec de forts générateurs de déplacements, lui permet d'avoir une fréquentation importante : 20.000 voyageurs/jour.

Bilan du projet

Le succès est au rendez-vous puisque la fréquentation un an après la mise en service atteignait 62.000 voyageurs par jour contre 55.000 prévus à l'horizon 2018. De plus, une fréquentation supplémentaire est à attendre au fur et à mesure du remplissage des nombreux programmes immobiliers qui longent le tracé. Les élus ne regretteront pas d'avoir fait le choix de rames longues.

3 ANALYSE COMPARATIVES DES LIGNES

Suite aux monographies présentées, il nous est permis d'effectuer des comparaisons multicritères entre ces cas. Les aspects quantifiables tels que les coûts (globaux, infrastructure, matériel, fonctionnement) ou encore la fréquentation seront particulièrement détaillés.

Il convient de présenter différents avertissements quant à la lecture des graphiques qui suivront :

- Les chiffres ont été actualisés aux prix 2015. Cette actualisation des projets antérieurs à l'année 2015 s'est effectuée sur la base de l'inflation annuelle constatée depuis 1987 (date des chiffres les plus anciens avec le TVM). L'actualisation part donc d'un chiffre global moyen et non pas détaillée par postes (énergie, personnel,...) ;
- Certains projets présentent des coûts incomplets car certains postes n'ont pas été inclus dans les études d'avant-projet (matériel roulant et dépôt du TVM par exemple) ;
- Il convient de prendre les distances nécessaires sur une comparaison des projets en Ile-de-France et ceux hors Ile-de-France notamment sur les dépenses en acquisitions foncières ;
- Le prix global peut revêtir des dépenses sortant du cadre du projet de transport associé (aménagements urbains, renouvellement billettique, système SAEIV) ;
- Sur les aspects fréquentation, les méthodes de recueil de données sont parfois diverses (billettique, redressement OD par des EMD, comptage Montées-Descentes, hypothèses de déplacements par abonnements,...) et peuvent comporter des inexactitudes;
- Les projets sont à des degrés de maturité différents : il est quelque part arbitraire de s'arrêter sur l'année 2015 (données les plus récentes que nous disposons sur les réseaux) en comparant des lignes en service depuis 2 ans et certaines depuis près de 30 ans. Il n'est pas uniquement question ici de la montée en charge mais plutôt de la dimension urbaine et démographique dont les effets se ressentent sur le long terme. Par exemple, le T-Zen1 a été mis en service en 2011 mais les projets urbains le long de l'axe sont en cours. Il est certes prématuré de tirer trop de conclusions concernant les chiffres qui seront affichés avec ce type de projet.



3.1 Comparaison des caractéristiques principales

Les 9 monographies précédemment détaillées demandent à être comparées entre elles et analysées sur des aspects quantitatifs. Les aspects financiers seront traités dans la partie suivante.

Du fait du nombre de projets restreint et malgré tout de par leur caractère hétérogène, il nous a semblé inopportun de faire apparaître des moyennes générales (bien que pondérées) voire par mode.

3.1.1 Caractéristiques générales

| | Projet | Mode | Mise en service | longueur du tracé | | fréquence HP (minutes) |
|------------|------------------|---------|--------------------|-------------------|---------------|------------------------|
| | | | | totale [km] | % site propre | |
| IDF | TVM - Phase 1 | BHNS | 1er octobre 1993 | 12,5 | 90% | 4 |
| | TVM - Phase 2 | | 21 juillet 2007 | 19,7 | 95% | 4 |
| IDF | TZEN 1 - Phase 1 | BHNS | 4 juillet 2011 | 14,7 | 65% | 7 |
| | TZEN 1 - Phase 2 | | Études en cours | 14,7 | 100% | 7 |
| Metz | METTIS | BHNS | octobre 2013 | 17,8 | 85% | 5 |
| Besançon | Tram 1&2 | Tramway | 1er septembre 2014 | 14,5 | 83% | 6 |
| Rouen | TEOR | BHNS | 12 février 2001 | 30 | 45% | 2 |
| Nantes | Busway | BHNS | 6 novembre 2006 | 7 | 87% | 3,5 |
| Lyon | Tram T3 | Tramway | 5 décembre 2006 | 14,6 | 100% | 7,5 |
| Tours | Tram A | Tramway | 31 août 2013 | 14,8 | 90% | 6 |
| Strasbourg | Ligne G | BHNS | 30 novembre 2013 | 5,2 | 80% | 6 |

Tableau 24 : Caractéristiques générales des 9 cas étudiés

Le TVM est le projet le plus ancien mais aussi celui qui a le plus évolué dans le temps (posant certaines limites à l'analyse comparative). Autrement, tous les projets sont postérieurs aux années 2000 dont 4 projets mis en place il y a moins de 2 ans.

Il est possible de remarquer que les projets de TCSP ont une taille critique qui se situerait grossièrement entre 10 et 20 km de long et un pourcentage en site propre proche de 85%. Le pourcentage pondéré est de 77% pour le BHNS et de 91% pour le tramway mais ici comme dans la suite du rapport nous n'avons pas souhaité afficher les moyennes par mode en raison de la petite taille des sous-échantillons. Ici par exemple, le faible pourcentage relatif au BHNS s'explique essentiellement par le taux très faible du TEOR de Rouen alors que ce dernier a une longueur de tracé importante.

Les fréquences vont de 4 à 6 minutes avec exceptions comme sur le tronçon commun du TEOR (2 minutes).

3.1.2 Matériel roulant

| | Projet | Mode | constructeur | produit | longueur [mètre] | capacité [places] | parc | coût unitaire € (non actualisés) |
|------------|------------------|---------|--------------|---------------|------------------|-------------------|------|----------------------------------|
| IDF | TVM - Phase 1 | BHNS | Renault | PR 180 | 18 | 110 | 22 | N.C. |
| | TVM - Phase 2 | | MAN | Lion's City G | 18 | 110 | 45 | N.C. |
| IDF | TZEN 1 - Phase 1 | BHNS | Iveco | Crealis 12 | 12 | 91 | 9 | 490.000 |
| | TZEN 1 - Phase 2 | | | | | | | |
| Metz | METTIS | BHNS | Van Hool | ExquiCity | 24 | 138 | 27 | 933.000 |
| Besançon | Tram 1&2 | Tramway | CAF | Urbos 3 | 23 | 132 | 19 | 1.840.000 |
| Rouen | TEOR | BHNS | Iveco | Crealis 18 | 18 | 110 | 70 | 558.000 |
| Nantes | Busway | BHNS | Mercedes | Citaro | 18 | 110 | 20 | 545.000 |
| Lyon | Tram T3 | Tramway | Alstom | Citadis 402 | 43 | 291 | 12 | 3.420.000 |
| Tours | Tram A | Tramway | Alstom | Citadis 402 | 43 | 291 | 21 | 3.264.000 |
| Strasbourg | Ligne G | BHNS | Mercedes | Citaro G | 18 | 110 | 11 | 509.000 |

Tableau 25 : Le matériel roulant des 9 cas étudiés

Concernant le matériel roulant, deux remarques principales prévalent :

- les 9 cas d'étude présentent une très grande hétérogénéité :
 - tous les principaux constructeurs du secteur sont représentés,
 - toutes les longueurs de matériels sont présentes (excepté le tramway de 32 m), permettant de considérer des capacités très variables. Nous verrons plus bas à quel point les capacités différentes nécessitent, dans la perspective d'une comparaison entre les projets, une analyse en place kilomètre offerte (PKO),
- le matériel tramway est globalement deux fois plus cher que le BHNS à capacité égale.

3.1.3 Fréquentation

| | Projet | Mode | Longueur du tracé [km] | Fréquentation 2015 | Ratio voyageurs/km de tracé |
|------------|------------------|---------|------------------------|--------------------|-----------------------------|
| IDF | TVM | BHNS | 19,7 | 55.000 | 2.792 |
| IDF | TZEN 1 - Phase 1 | BHNS | 14,7 | 6.000 | 408 |
| Metz | METTIS | BHNS | 17,8 | 32.000 | 1.798 |
| Besançon | Tram 1&2 | Tramway | 14,5 | 40.000 | 2.759 |
| Rouen | TEOR | BHNS | 30 | 52.000 | 1.733 |
| Nantes | Busway | BHNS | 7 | 36.000 | 5.143 |
| Lyon | Tram T3 | Tramway | 14,6 | 32.000 | 2.192 |
| Tours | Tram A | Tramway | 15 | 62.000 | 4.133 |
| Strasbourg | Ligne G | BHNS | 5,2 | 10.000 | 1.923 |

Tableau 26 : La fréquentation 2015 des 9 cas étudiés

Une fois encore, force est de constater la grande disparité des chiffres de fréquentation des projets étudiés (de 6.000 à 62.000 voyageurs par jour). Les projets de tramway retenus ne présentent pas des chiffres particulièrement plus élevés que ceux du BHNS.

Rapporté à la longueur de la ligne, le projet Busway a l'air de montrer une charge très élevée. Des analyses plus fines seront menées ultérieurement.

3.1.4 Fréquence et vitesse commerciale

| | Projet | Mode | Vitesse commerciale Ante (km/h) | Vitesse commerciale Post (km/h) | % site propre | fréquence HP (minutes) |
|------------|------------------|---------|---------------------------------|---------------------------------|---------------|------------------------|
| IDF | TVM - Phase 1 | BHNS | 22 | 23 | 90% | 4 |
| | TVM - Phase 2 | | 23 | 22 | 95% | 4 |
| IDF | TZEN 1 - Phase 1 | BHNS | N.C. | 30 | 65% | 7 |
| | TZEN 1 - Phase 2 | | 32 | | 100% | 7 |
| Metz | METTIS | BHNS | 20 | 18,6 | 85% | 5 |
| Besançon | Tram 1&2 | Tramway | 20 | 18,2 | 83% | 6 |
| Rouen | TEOR | BHNS | 19 | 17,5 | 45% | 2 |
| Nantes | Busway | BHNS | N.C. | 21,5 | 87% | 3,5 |
| Lyon | Tram T3 | Tramway | 40 | 35 | 100% | 7,5 |
| Tours | Tram A | Tramway | 19 | 18,5 | 90% | 6 |
| Strasbourg | Ligne G | BHNS | 20 | 19,5 | 80% | 6 |

Tableau 27 : Fréquence et vitesse commerciale des 9 cas étudiés

N.B. : il n'est pour le moment pas possible de déterminer la vitesse commerciale constatée de la phase 2 du T-Zen 1 car les études sont en cours ; d'où la case grisée. Le N.C correspond à des données non communiquées.

Les vitesses commerciales des TCSP (plus de 20 km/h) sont tendancielle-ment plus élevées que les services de transport classiques (moyenne de 14 km/h).

C'est davantage le site propre que le type de matériel (Tramway ou BHNS) qui indiquera la performance de la ligne. D'une manière générale, plus la proportion du tracé est en site propre, plus les vitesses commerciales seront élevées.

Enfin, force est de constater une certaine différence entre les vitesses commerciales prévues et celles effectivement relevées une fois le projet mis en service. Ceci s'explique notamment par le fait que les fréquentations sont souvent effectivement plus élevées que celles prévues, engendrant une attente en station en Heures Pleines plus importante.

3.1.5 Effet TCSP

L'effet TCSP correspond à l'augmentation de la fréquentation recensée sur le corridor projet suite à la réalisation du TCSP. Il permet donc d'estimer le gain de voyageurs obtenus grâce aux performances du mode TCSP (BHNS ou tramway) venant remplacer les lignes de bus existantes. Sa détermination est cependant rendue difficile :

- par l'ensemble des éléments extérieurs venant perturber ou renforcer la hausse de la fréquentation (projets immobilier, évolution du contexte local) ;
- par la restructuration TC ayant lieu avant/après la mise en œuvre du projet et qui se révèle être bien souvent complexe. Généralement, la création du TCSP ne vient pas seulement remplacer une ou deux lignes existantes mais c'est l'ensemble du réseau qui évolue. Il est alors délicat de déterminer la variation de la fréquentation sur le corridor du projet TCSP.

Aussi, certains réseaux n'ont pas été en mesure de transmettre cette information au groupement. Pour d'autres projets il a été possible, sur la base



des données transmises (rapports d'activités, plans des réseaux avant/après), de calculer une estimation de l'effet TCSP.

L'expérience du groupement sur les effets TCSP permet de penser qu'il varie selon les modes. En première approche, on peut ainsi considérer que l'augmentation de fréquentation sur le corridor du projet est de l'ordre de :

- + 50% pour le mode BHNS ;
- + 100% pour le mode tramway.

L'écart s'explique notamment par la valorisation des terrains jalonnant la ligne de tram : outre son image, d'avantage de projets urbains sont créés du fait de la stabilité du mode tramway dans le temps.

En ce qui concerne les réseaux étudiés, la plupart des résultats corroborent cette première analyse :

- Mettis (BHNS) : + 30% ;
- Strasbourg (BHNS) : +30 % ;
- TEOR (BHNS) : +40 % ;
- Tours (Tramway) : entre 100% et 150% ;
- Besançon (Tramway) : +30%.

Si la fréquentation du tramway de Besançon est limitée en comparaison de ce qui est observé à Tours, plusieurs arguments peuvent être avancés pour justifier cet effet tramway restreint :

- la mise en service récente du tramway (niveau de fréquentation calculé seulement un an après la mise en service) ;
- le niveau de fréquentation déjà très haut des lignes de bus que le tramway est venu remplacer.

3.2 Ratios relatifs à la fréquentation

3.2.1 La fréquentation par kilomètre produit

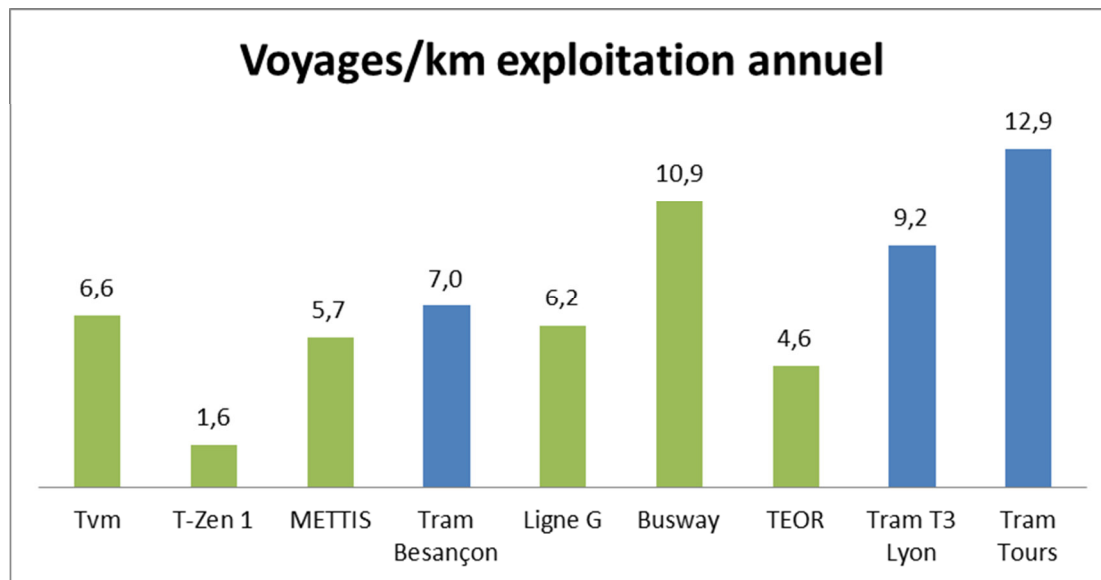


Figure 23 : Fréquentation par kilomètre produit

Constat

Le rapport V/K représente le nombre de voyageurs transportés par kilomètre roulé. Le ratio traduit le niveau de performance commerciale des lignes.

En revanche, le rapport V/K ne rend pas compte de la distance parcourue par les usagers, ce qui permettrait de se faire une idée du taux d'occupation du matériel roulant.

Trois groupes se distinguent :

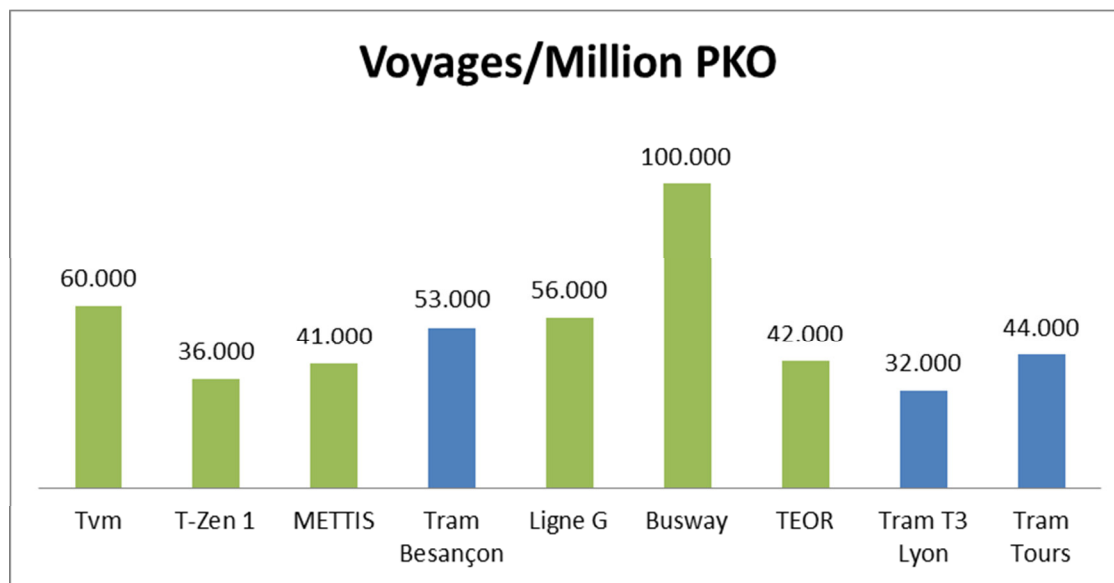
- < 5 voyageurs par kilomètre produit : T-Zen 1 et TEOR.
- entre 5 et 10 voyageurs par kilomètre produit: les principaux projets de TCSP se situent dans cette fourchette.
- > 10 voyageurs par kilomètre produit: seuls le Busway à Nantes et le tramway de Tours se situent dans cette catégorie.

Si les projets tramways présentent globalement un rapport V/K supérieur aux projets BHNS, le niveau de performance commerciale varie fortement pour un même mode (7,0/11,5 entre les tramways de Besançon et Tours, 1,6/10,9 entre le T-Zen1 et le Busway).

Explications

Bien que le T-Zen 1 atteigne ses objectifs de fréquentation, le nombre de voyages constaté est relativement faible. Pour le TEOR, du fait de la longueur du tracé, les kilomètres produits sont importants (3 Mkm en 2015, soit 3x plus que le Busway à Nantes), ce qui explique son plus petit ratio.

3.2.2 La fréquentation par place kilomètre offerte



| | | | | | | | | | |
|----------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Longueur | 18 | 12 | 24 | 23 | 18 | 18 | 18 | 43 | 43 |
| Capacité | 110 | 91 | 138 | 132 | 110 | 110 | 110 | 291 | 291 |

Figure 24 : Fréquentation par place kilomètre offerte

Constat

Afin d'affiner l'analyse à la capacité du matériel, ce graphique vient présenter les voyageurs par million de places kilomètres offertes (PKO).

Les différentes capacités par matériel ont été rappelées dans le tableau sous le graphique et sont dans le même ordre d'apparition.

Trois groupes se forment :

- < 50.000 voyages par million de PKO : on retrouve ici le tram T3 de Lyon, T-Zen 1, le tramway de Tours, le Mettis et le TEOR.
- de 50.000 à 90.0000 voyages par million de PKO : le tramway de Besançon, la ligne G de Strasbourg et le TVM.
- > 90.000 voyages par million de PKO : seul le Busway à Nantes se situe dans cette catégorie.

Explications

On retrouve les mêmes explications que pour le point précédent, seulement ici on remarque que les projets où le matériel roulant est de grande capacité, le rapport voyages par million de PKO est plus faible. A l'inverse, le tramway de Besançon, dont la fréquentation est en dessous de ce qu'on a l'habitude de rencontrer sur du tramway a un ratio élevé du fait de sa capacité moindre.

Il conviendrait de connaître les voyageurs.kilomètres pour se faire une idée plus précise du taux d'occupation des véhicules.

3.3 Ratios relatifs aux coûts

3.3.1 Le coût d'investissement rapporté au kilomètre de ligne

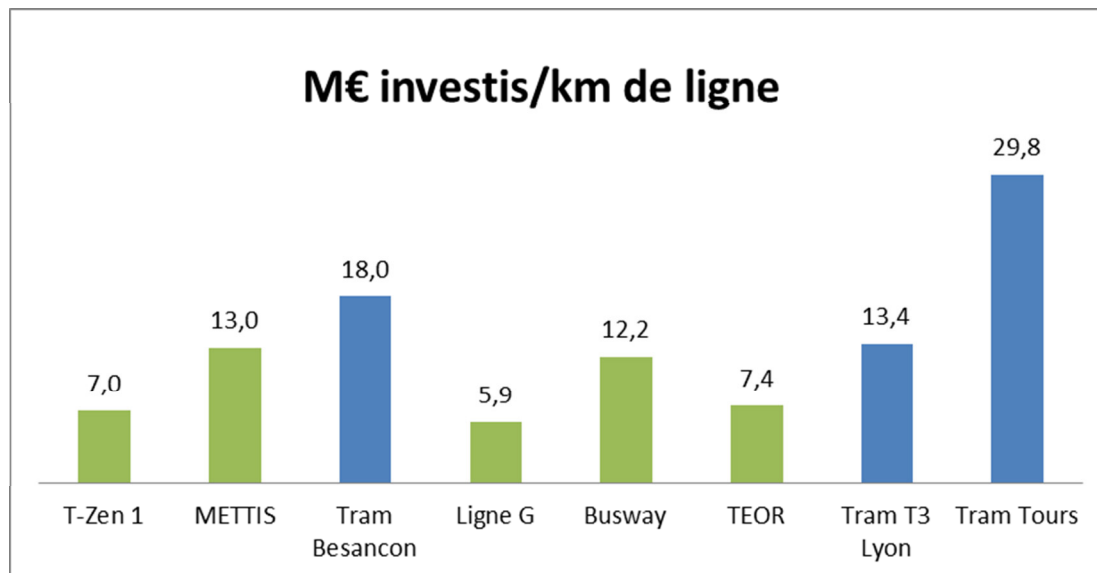


Figure 25 : Coût d'investissement au kilomètre de ligne

Constat

Parmi les 9 cas présentés sur le graphique, trois groupes se distinguent lorsque l'on compare les cas selon leurs coûts d'investissement au kilomètre de ligne :

- < 10 M€ du kilomètre : dans cette catégorie se retrouvent les projets de BHNS plutôt modestes, tels que la ligne G à Strasbourg, le T-Zen1, et le TEOR ;
- De 10 M€/km à 15 M€/km : ici se trouvent des projets de BHNS qualitatifs et hautement capacitaires (façade à façade, matériel 18-24 m), tels que le Mettis et le Busway, ainsi que le Tram 3 de Lyon, aux coûts d'infrastructure modestes ;
- > 15 M€ du kilomètre : deux projets de tramway avec Besançon et Tours

Le TVM ne fait pas parti du graphique du fait du manque d'informations précises dont nous disposons sur ses coûts.

Explications

Le tramway avec une infrastructure dédiée et des capacités plus importantes engendre des coûts fixes qui font de lui le projet au kilomètre le plus cher du panel étudié.

Concernant le BHNS, un matériel plus capacitair associé à un projet d'embellissement urbain au-delà du seul projet transport aboutit à un coût d'investissement kilométrique supérieur.

3.3.2 Le coût d'investissement rapporté à la fréquentation

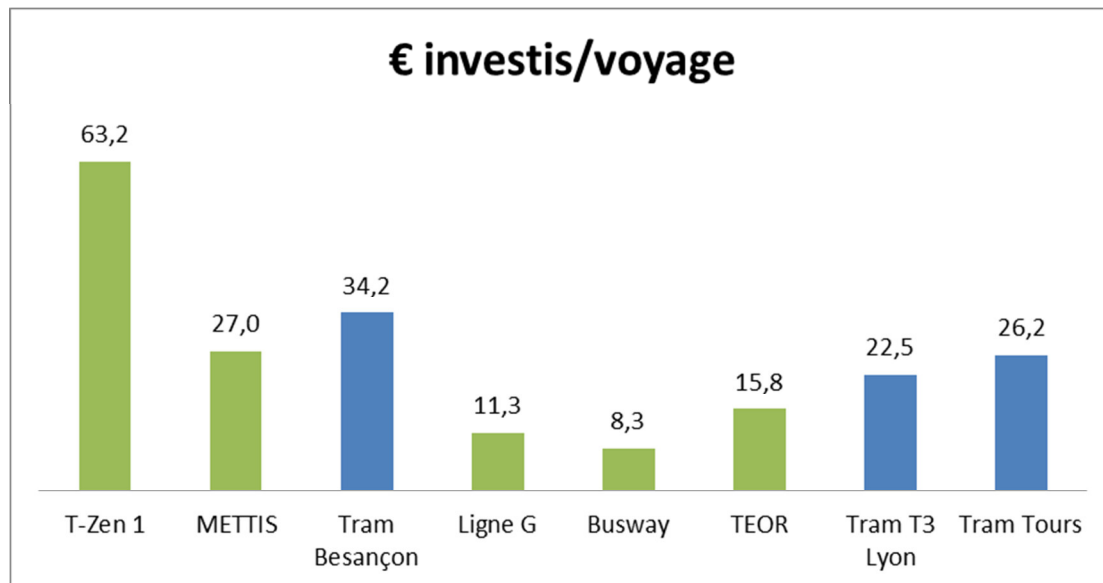


Figure 26 : Coût d'investissement rapporté à la fréquentation

Constat

A la lecture du graphique, deux groupes se dégagent concernant la fréquentation rapportée au coût d'investissement :

- Moins de 20 € investis pour générer un voyage : dans ce groupe apparaissent le TEOR, la Ligne G à Strasbourg et le Busway.
- Plus de 20 € investis pour générer un voyage : dans ce groupe apparaissent le T-Zen 1, les tramways de Tours, Lyon et Besançon ainsi que le Mettis.

Là encore le TVM ne fait pas parti du graphique du fait du manque d'informations précises dont nous disposons sur ses coûts.

Explications

Le Mettis et le Tramway de Besançon sont deux projets coûteux (entre 13 M€ et 18 M€ / km) et pour l'instant la fréquentation ne donne pas encore tout à fait satisfaction. Par ailleurs, leur mise en service est récente (respectivement 2013 pour le Mettis et 2014 pour le tramway de Besançon). La fréquentation maximale sur ces lignes n'est pas encore atteinte.

A l'inverse, les autres lignes de BHNS (excepté le T-Zen 1) connaissent des charges très importantes (parfois plus de 40.000-50.000 voyageurs par jour) pour un budget relativement modeste.

Le T-Zen 1, mis en service avant que l'urbanisation de l'axe soit achevée, connaît une fréquentation plus faible que les autres projets, expliquant ainsi son ratio particulièrement élevé.

3.3.3 Le coût de fonctionnement rapporté au kilomètre parcouru

Le coût de fonctionnement d'une ligne ou d'un réseau est généralement communiqué par kilomètre. Les données présentées ci-dessous sont obtenues à partir des engagements contractuels liant l'AOM à l'exploitant du réseau. Ces coûts ne représentent donc pas nécessairement les coûts réels d'exploitation. Ils constituent toutefois une approximation suffisamment fiable pour donner une tendance.

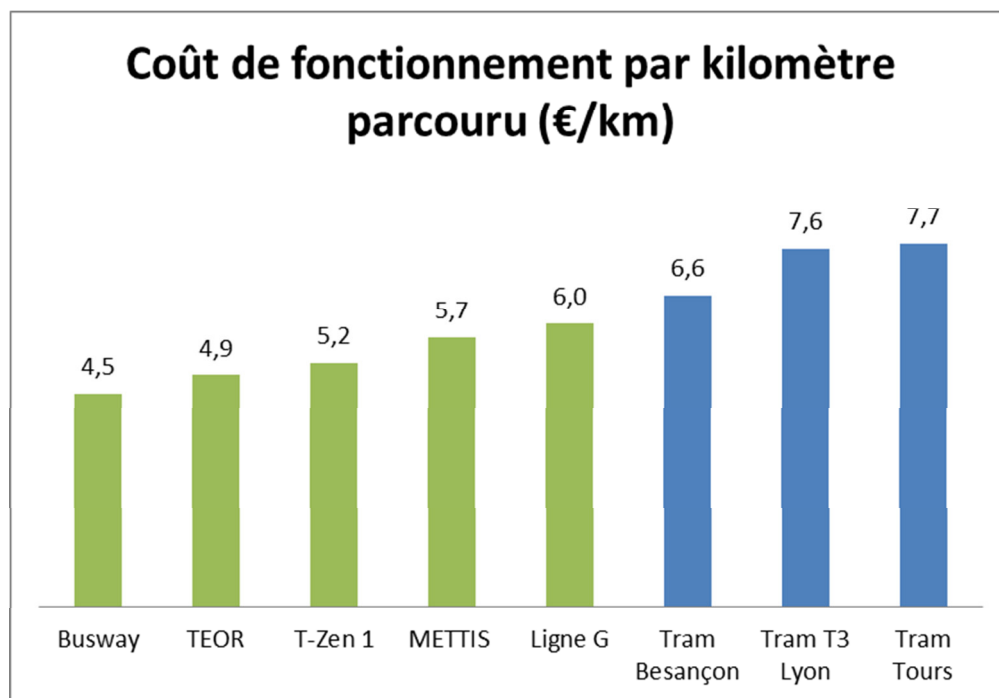


Figure 27 : Coût de fonctionnement par kilomètre

Avant-propos

Parmi les 9 cas étudiés, 8 réseaux ont été en mesure de nous communiquer le coût de fonctionnement de la ligne TCSP. Celui-ci comprend notamment :

- le coût de roulage (salaires conducteur, carburant/électricité, pneumatique, nettoyage, huile et lubrifiant, etc.).
- le coût de maintenance (main d'œuvre d'atelier, pièces d'atelier, vandalisme et accident, etc.).

Il n'a cependant pas été possible pour le groupement de savoir si l'entretien de l'infrastructure est pris en compte dans le calcul de ces coûts. Si l'infrastructure tramway reste à la charge de l'exploitant (étant donné que la plateforme bus, elle, relève de la responsabilité de l'agglomération), alors la différence des coûts de fonctionnement par kilomètre pourrait être imputable à ce procédé comptable.

Analyse

Parmi les réseaux considérés, le projet Busway possède le coût de fonctionnement le plus bas. Cela s'explique par le nombre important de kilomètres produits et l'utilisation de véhicules « classiques ». Le surcoût BHNS par rapport aux lignes de bus n'est estimé qu'à 0,5 €/km.

Il apparait néanmoins que le coût de fonctionnement est légèrement supérieur pour le mode tramway.



3.3.4 Le coût de fonctionnement rapporté à la fréquentation

Afin d'estimer la rentabilité des lignes TCSP, il convient de rapporter les coûts de fonctionnement à leur niveau de fréquentation.

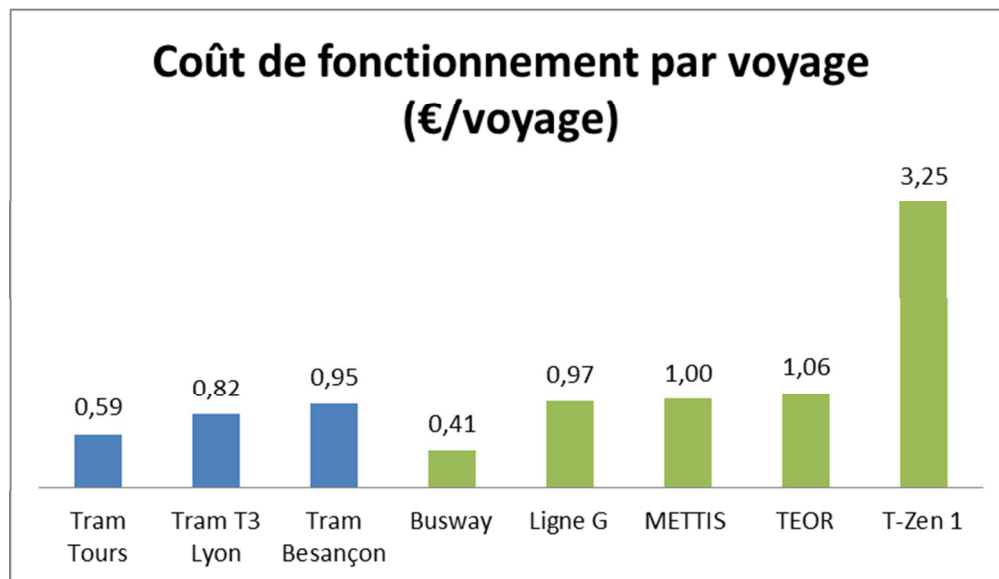


Figure 28 : Coût de fonctionnement par voyage

Analyse

Les lignes tramways présentent un niveau de fréquentation supérieur aux lignes BHNS. Leur coût de fonctionnement par voyage est donc légèrement plus faible.

En raison de son faible niveau de fréquentation, le BHNS T-Zen 1 présente un coût de fonctionnement par voyage bien plus important.

On remarque enfin que sur certains réseaux (Besançon, Strasbourg, Metz, Rouen), la rentabilité des modes est équivalente.

3.3.5 La ventilation de coûts spécifiques

Les projets de tramway sont en partie plus chers que les projets de BHNS pour deux facteurs principaux : l'investissement dans l'infrastructure et le choix qui est d'embellir la ville grâce au projet.

En effet nous venons de le voir, les coûts d'exploitation sont proches, de même que l'investissement en matériel roulant (le tramway est trois fois plus cher mais dure trois fois plus longtemps).

Toutefois nous ne sommes pas en mesure, faute de données mises à disposition par les réseaux⁴ de pouvoir mener une comparaison aussi précise que

⁴ A ce propos, il convient de noter que les agglomérations elles mêmes ne disposent pas des données, du fait de commandes groupées lors de la phase de construction. Ainsi, à titre d'exemple, ToursPlus a commandé à Alstom les rames de tramway et la section de 1,8 km d'APS dans le même ensemble.



les précédentes. De plus, quand les réseaux communiquent sur leurs chiffres, ces derniers peuvent recouper des réalités bien différentes (prise en considération d'éléments autres, coûts cachés ou ignorés)

Sur les réseaux dont nous disposons de données communiquées :

- T-Zen 1 (part dans l'investissement initial) :
 - infrastructure : 58,7 %
 - renouvellement urbain : 7,57%
- Busway :
 - infrastructure : 80 %
- Tramway de Besançon :
 - infrastructure : ~ 60 %
- Mettis :
 - infrastructure : 54 %

Nous ne pouvons donc que procéder par ordre de grandeur sur l'isolement des coûts relatifs à l'infrastructure et le renouvellement urbain.

Toutefois l'important est de noter qu'ils devraient, à l'avenir, les agglomérations devraient demander un détail exhaustif des coûts et que d'une manière générale, la part du renouvellement urbain dans les projets de tramway et désormais de BHNS (exemple du Mettis) est importante (~ 10% du projet global).



3.4 Comparaison financière par la méthode des coûts globaux

Il apparaît nécessaire au terme de ces comparaisons de mettre au point une méthode qui tiennent compte de l'ensemble des paramètres pour les ramener à un paramètre unique, un coût global, qui tiendrait compte à la fois de l'investissement et du fonctionnement, sachant que les durées de vie des infrastructures et des matériels ne sont pas les mêmes (la durée de vie du matériel ferroviaire est supérieure à celle du matériel routier).

3.4.1 1^{er} temps : Méthode de Marc Le Tourneur

En septembre 2010, Marc Le Tourneur réalise « une analyse économique comparée Tramway / BRT ». Les données, relatives à Nantes et à Montpellier, proviennent du groupe Transdev. Elles concernent l'année 2008.

Pour ne pas mettre sur le même plan des autobus articulés (105 à 115 places et de rames de tramway (200 à 300 places) il rapporte les coûts à la place kilomètre offerte. La capacité est calculée comme la somme du nombre de places assises et du nombre de places debout à raison de 4 personnes par m².

L'idée est de simuler un BRT (BHNS en France) à la place de la ligne 1 du tramway de Montpellier.

Les hypothèses retenues sont les suivantes :

- itinéraire et stations identiques à la ligne de tramway, entièrement en site réservé ;
- même vitesse commerciale avec priorité totale aux feux routiers de circulation ;
- aménagement et équipement de la ligne identique au Busway de Nantes ;
- coût de fonctionnement calculé sur la base des coûts bus de TAM auxquels se rajoutent les coûts de maintenance des installations fixes du Busway ;
- coût d'investissement au kilomètre de BRT égal à celui du Busway de Nantes ;
- même attractivité commerciale que le tramway ligne 1 de Montpellier ;
- frais financiers dans les deux cas de 5 % appliqués à la durée moyenne d'amortissement de l'investissement.



Les résultats sont les suivants :

| | | TRAMWAY (chiffres réels) | BHNS (simulation) |
|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Source : Transdev 2010 (valeurs 2008) | | Ligne 1 de Montpellier (15 km) | Idem ligne 1 de Montpellier (15 km) |
| Données physiques | Matériel roulant | 33 rames | 33 bus articulés |
| | | 285 places | 105 places |
| | Milliers de véhicules x km par an | 1800 | 1800 |
| | Milliers de PKO par an | 501 100 | 189 000 |
| | Milliers de voyageurs par an | 30 000 | 11 300 |
| Coût d'investissement | Millions € | 407 M€ | 139 M€ |
| Coût annuel | Amortissement et frais financiers | 27,9 M€ | 9,5 M€ |
| | Fonctionnement | 15,9 M€ | 14,3 M€ |
| | Total | 43,8 M€ | 23,8 M€ |
| Coût par place kilomètre offerte | Investissement | 5,6 centimes | 5,0 centimes |
| | Fonctionnement | 3,2 centimes | 7,6 centimes |
| | Total | 8,8 centimes | 12,6 centimes |
| Coût par voyage | Investissement | 0,93 € | 0,84 € |
| | Fonctionnement | 0,53 € | 1,27 € |
| | Total | 1,46 € | 2,11 € |

Tableau 28 : Calcul des coûts globaux selon la méthode Marc Le Tourneur

Il ressort de cette comparaison que certes le BHNS coûte en investissement initial 3 fois moins cher que le tramway, mais que son coût global à la place kilomètre offerte ou son coût global par voyage est de 43 % supérieur.

3.4.2 2^e temps : Méthode adaptée aux données CERTU

Le même calcul a été repris en s'appuyant sur les chiffres fournis par le CERTU (Source : les coûts des transports collectifs urbains en site propre – chiffres clés – principaux paramètres, octobre 2011).

Sauf que le CERTU ne donne pas des coûts mais des fourchettes de coûts et que ces coûts sont valeur 2010 et que nous souhaitons obtenir des coûts 2015 pour être homogène avec le reste de l'étude. C'est ainsi que nous

avons retenu la moyenne entre le bas de la fourchette et le haut de la fourchette et que nous avons multiplié la valeur obtenue par 1,056 pour tenir compte de l'inflation entre 2010 et 2015.

D'où les coûts 2015 suivants :

| | TRAMWAY | BHNS |
|--|-----------|----------|
| Coût d'investissement de la ligne par km | 18,478 M€ | 6,335 M€ |
| Coût d'un véhicule | 2,534 M€ | 0,633 M€ |
| Coût d'exploitation par km | 8,45 € | 4,49 € |

Tableau 29 : Données d'entrées du calcul des coûts globaux selon la méthode CERTU

Quant aux durées de vie du matériel, le CERTU donne une fourchette 10/15 ans pour le BHNS et de 30/40 ans pour le tram. Nous retiendrons les valeurs moyennes suivantes : 12,5 ans pour le BHNS et 35 ans pour le tramway. Par ailleurs, nous avons fait l'hypothèse que la durée de vie du projet était de 50 ans, en se basant sur l'expérience acquise du groupement.

Sur ces nouvelles bases, on peut estimer les coûts globaux en gardant le même cas de figure (une ligne de 15 km et 1.800.000 de véhicules km par an) :

| | TRAMWAY | BHNS |
|-----------------------------------|---------------|---------------|
| Amortissement et frais financiers | 25,278 M€ | 8,154 M€ |
| Fonctionnement | 15,205 M€ | 8,077 M€ |
| Total coût annuel | 40,482 M€ | 16,231 M€ |
| Places kilomètres offertes | 513.000.000 | 189.000.000 |
| Coût par place kilomètre offerte | 7,89 centimes | 8,59 centimes |

Tableau 30 : Calcul des coûts globaux selon la méthode CERTU

Il apparaît maintenant que le tramway présente un coût global rapporté à la place kilomètre offerte inférieur à celui du BHNS, mais l'avantage n'est plus que de 9 % (et non pas de 43 % comme dans le premier temps).

Notons au passage qu'on ne sait pas si le coût de maintenance de l'infrastructure est compris dans le coût de fonctionnement.

Quant au coût par voyage, il n'apparaît pas dans ce tableau afin de ne pas faire intervenir une hypothèse supplémentaire relative à la fréquentation (le taux d'occupation des rames restant inconnu).

3.4.3 3^e temps : Méthode adaptée aux cas d'étude

Pour répondre aux préoccupations du Comité de pilotage, le groupement a mis au point une méthode systématique (et donc bien sûr théorique) de calcul des zones de pertinences des différents systèmes et de calcul des coûts globaux selon la durée de vie de l'infrastructure et du matériel.

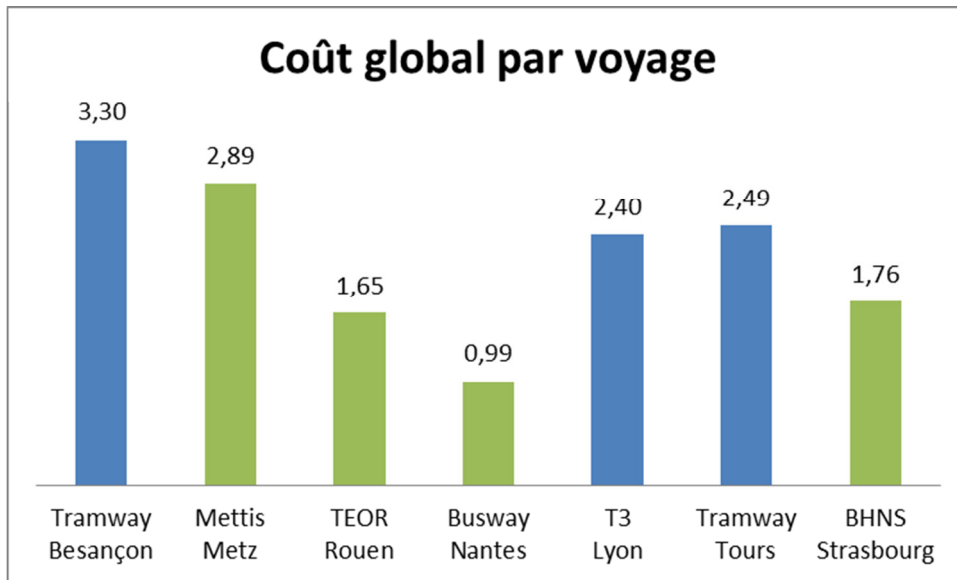


Figure 29 : Méthode des coûts globaux adaptée aux cas d'étude

Avant-propos

La méthode des coûts globaux présentée ci-dessus a été appliquée aux cas d'étude. Cela signifie donc que les données d'entrée ne sont plus des moyennes issues de l'expérience du CERTU mais bien des chiffres réels concernant :

- coûts de l'infrastructure ;
- coûts d'exploitation ;
- coûts du matériel et taille du parc ;
- PKO ;
- fréquentation.

Elle reprend toutefois les mêmes durées de vie du projet retenues par le groupement (50 ans), du matériel tramway (35 ans) et du BHNS (12,5 ans).

Nous tenons à préciser que faute de données précises sur le TVM (grande durée de vie et évolutivité du projet), ce projet ne figure pas dans la liste. De même pour le T-Zen 1, où le développement urbain le long de l'axe de TCSP tarde à se concrétiser, faussant les chiffres du projet.

Constat

L'étude des coûts globaux appliquée aux cas concrets étudiés place le tramway dans la fourchette haute des projets de TCSP étudiés, avec un coût global du voyage supérieur à 2,40 €.



Le Busway présente une nouvelle fois des chiffres flatteurs, quoi que posant à nouveau la question de la surcharge/non adéquation de l'offre actuelle par rapport à la forte demande.

Enfin, le Mettis en tant que ligne de BHNS, présente un coût global au voyage du niveau des projets de tramway.

Analyse

Les projets de tramway ont un coût global plus élevé que les projets de BHNS alors que Marc Le Tourneur présentait un résultat inverse. Nous tentons d'expliquer ces tendances par deux raisons principales :

- le nombre de voyageurs comme le nombre de places kilomètres offertes n'est pas le même dans les deux termes de la comparaison : 30 millions de voyageurs par an pour le tramway et seulement 11 pour le BHNS.
- les projets de tramway étudiés sont récents et n'ont probablement pas encore atteint leur potentiel de fréquentation.
- enfin le coût du matériel roulant tramway à capacité égale a augmenté plus vite que l'inflation entre la date d'achat des rames de la ligne 1 de Montpellier (prises en compte dans l'estimation de Marc Le Tourneur) et aujourd'hui. Cela tient éventuellement à la sophistication croissante des véhicules.

3.4.4 4^e temps : Retour du comité de pilotage

Le résultat des deux premiers temps est le même : le tramway est moins cher lorsqu'on raisonne en coût globaux rapportés à la place kilomètre offerte.

Le troisième temps conclut plutôt dans un sens inverse si on exclut le cas du T-Zen1.

C'est pourquoi, face à ces résultats divergents, le Comité de pilotage, lors de sa réunion du 28 juin 2016, a demandé au groupement de raisonner à trafic attendu donné. Il s'agit de se mettre à la place d'un élu qui connaît le trafic auquel il doit faire face et qui se demande quel système choisir, tramway ou BHNS.

Ainsi, le groupement devra retenir plusieurs niveaux de trafic (par exemple, 30.000 / 60.000 / 90.000 voyages par jour) puis pour chacun de ces niveaux de trafic mener une estimation du coût global par voyage tant pour le tramway que pour le BHNS.

De plus, il a été demandé au groupement de faire plusieurs variantes pour tenir compte des débats passés sur la durée de vie du matériel roulant et sur le taux d'occupation de la capacité offerte.

La 4^{ème} partie (Méthodologie pour le choix du mode) vient répondre à cette préoccupation en prenant de la hauteur par rapport aux cas étudiés qui ont tous leurs particularités et s'inscrivent dans une temporalité donnée et différente.

4 METHODOLOGIE POUR LE CHOIX DU MODE

Un projet TCSP se définit en premier lieu par son mode de transport. Si l'itinéraire et l'offre proposés jouent également beaucoup dans la réussite du projet, le choix du mode est primordial. Pour les collectivités, il est donc essentiel de comprendre l'ensemble des caractéristiques, coûts et qualités associés à chaque mode.

Afin d'apporter des éléments de réponse compréhensibles et objectifs, les modes tramways et BHNS sont comparés théoriquement sur la base de ces différents critères.

L'analyse des cas d'étude démontre cependant l'hétérogénéité des projets TCSP en France, tant du point de vue de leur réalisation que de leurs performances. Ainsi pour un même mode de transport, certains projets présentent des résultats de fréquentation et de coûts très différents.

Les arguments théoriques venant étayer le choix du mode de transport doivent donc être directement corrélés avec le contexte et les particularités locales du projet. Les éléments de méthodologie proposés devront ainsi être amendés afin de correspondre aux spécificités du projet TCSP sur lequel se pose la question du mode de transport.

4.1 Comparaison des caractéristiques techniques des modes

Il convient tout d'abord de différencier les projets BHNS et tramway par rapport à leurs composantes techniques, tant au niveau du matériel roulant que de l'infrastructure.

Le tableau ci-dessous reprend les caractéristiques techniques généralement rencontrées dans les projets TCSP français.

| caractéristiques | BHNS | Tramway |
|------------------------------------|---|---|
| roulement | sur pneus | sur fer / sur pneus (Translohr) |
| longueur | 18 m ou 24 m (METTIS) | de 24 m (Besançon) à 44 m (Tours) |
| motorisation | thermique ou gaz naturel (Strasbourg, Nantes) | alimentation électrique par caténaire ou par le sol |
| conduite | unidirectionnel | bidirectionnel |
| emprise au sol en alignement droit | 6,5 m | 5,6 m |
| emprise au sol en courbe | 9 m | 7 m |

Tableau 31 : Comparaison du matériel roulant entre les modes BHNS et tramways

Si les bus BHNS sont généralement articulés et composés de deux ou trois caisses, rien n'empêche théoriquement d'utiliser des bus monocaisse de

12 m (cas du T-Zen 1). De la même manière, la qualité et la quantité du site propre dans un projet BHNS ne souffrent d'aucune obligation théorique. Le niveau de service du BHNS peut ainsi grandement varier d'un projet à l'autre, contrairement au tramway pour lequel le site propre intégral est la norme en France.

Le BHNS est associé à une plus grande flexibilité :

- possibilité de prévoir un itinéraire avec couloirs dissociés ;
- modification de l'itinéraire après réalisation envisageable.

La question de l'insertion urbaine est en revanche plus complexe, d'une part :

- l'utilisation de caténaires pour le tram peut poser des problèmes d'ordre esthétique (l'APS peut y remédier mais présente un coût plus élevé) ;
- la longueur des quais est potentiellement plus importante pour le tram (rames plus longues) ;

mais d'autre part :

- le guidage par le rail assure une accessibilité parfaite en station alors qu'il n'existe pas encore de solutions optimales pour le bus (guidage optique/mécanique) ;
- l'emprise des rames est plus faible en alignement droit et en courbe.

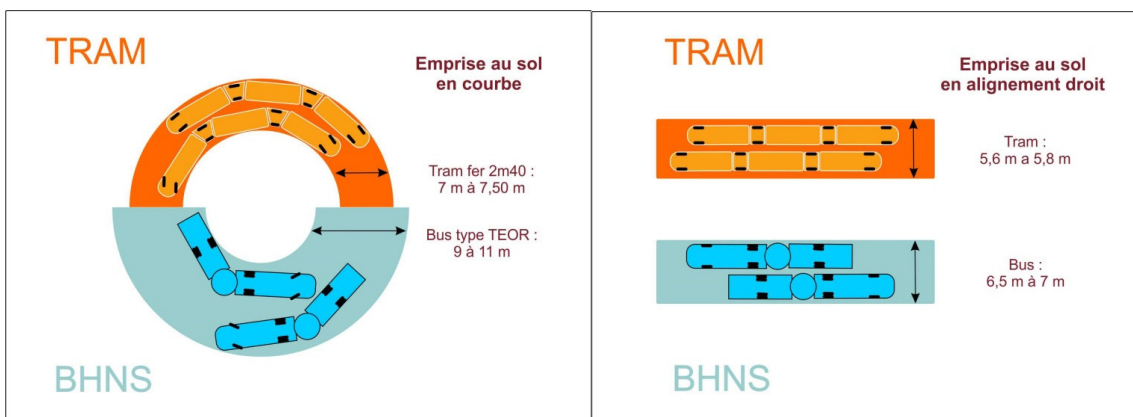


Figure 30 : Comparaison des emprises au sol entre bus et tramway (à partir des données du CERTU)

Les caractéristiques techniques des deux modes sont donc suffisamment différentes pour conditionner le choix du mode (à Rouen et Besançon par exemple). Il est donc nécessaire de formuler précisément en amont les attentes techniques associées au projet TCSP.

4.2 Zones de pertinence des modes – limite de capacité

L'analyse des différents cas d'étude a mis en exergue l'existence de potentiels de fréquentation associés au tramway ou au BHNS. Selon l'estimation de la fréquentation, certains projets se sont en effet orientés vers l'un ou l'autre des deux modes.

On considère généralement que le mode routier est adapté à une demande en transport plus faible que pour le tramway, notamment du fait de sa capacité plus restreinte.

Il convient toutefois d'apporter plus de précisions à cette problématique afin de définir clairement le domaine de pertinence, en termes de capacité, de chacun des modes.

En amont du choix du mode de transport, l'estimation de la fréquentation est donc primordiale et doit être calculée pour deux horizons de temps différents :

- à la mise en service de la ligne, afin de s'assurer la fonctionnabilité et la rentabilité de celle-ci dans les conditions socio-économiques actuelles ;
- plusieurs années après, afin de prendre en compte la montée en charge de la ligne, l'effet TCSP associé à sa mise en œuvre ainsi que la création de projets urbains jalonnant le corridor.

Pour le décideur public, la fréquentation ciblée à terme⁵ doit être en conformité avec le domaine de pertinence du mode choisi.

4.2.1 Limite de capacité des modes et définition du modèle

La limite de capacité d'un mode peut se rencontrer de plusieurs manières :

- une surcharge du matériel roulant en heure de pointe, ce qui dégrade d'autant le niveau de service proposé à l'utilisateur ;
- une fréquence trop forte qui nuit à l'exploitation du service et qui peut entraîner la formation de trains de véhicules.

Plusieurs véhicules de mode et de capacités différents sont testés afin de considérer un large éventail de matériel roulant TCSP. En France, la capacité réelle considérée du matériel roulant correspond environ à 80% de sa capacité théorique. En Allemagne cependant, le ratio utilisé dans le dimensionnement des projets de tramway est généralement pris à 65% (soit environ 2,5 personnes/m²).

Afin d'assurer un bon niveau de confort à l'utilisateur, le modèle prend en compte ce dernier ratio dans la définition de la capacité réelle des véhicules.

⁵ Selon les caractéristiques locales du territoire et l'impulsion souhaitée par la collectivité, la montée en charge de la ligne TCSP peut être plus ou moins longue



| véhicule | BHNS 18m | BHNS 24m | TRAM 24m | TRAM 32m | TRAM 43m |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| capacité théorique | 110 | 138 | 132 | 200 | 300 |
| capacité réelle | 71,5 | 89,7 | 85,8 | 130 | 195 |

Tableau 32 : Capacités théoriques et réelles des différents véhicules testés

Ces véhicules reprennent par ailleurs pour certains les capacités rencontrés dans l'analyse des 9 cas d'étude :

- BHNS de 18 m à Nantes, Rouen, Strasbourg et en Ile-de-France ;
- BHNS de 24 m à Metz ;
- tramway de 24 m à Besançon ;
- tramway de 44 m à Lyon et Tours.

Afin d'étudier le comportement des véhicules face à différents niveaux de fréquentation (identiques pour chaque mode), on étudie la réponse apportée par le système de transport en termes de fréquence. L'expérience montre que les difficultés d'exploitation apparaissent alors pour un intervalle de temps inférieur à 3 minutes. Au contraire, on considère qu'au-delà de 10 minutes, la ligne perd en attractivité.

La fréquence en HP est déterminée par la charge maximale en HP dans le sens et sur le tronçon le plus chargé ; elle-même calculée à partir de la fréquentation de projet (en JOB) :

La charge maximale en section C_{max} correspond au nombre de personnes ayant voyagées sur le tronçon le plus chargé sur l'ensemble de la journée :

$$C_{max} = \frac{\text{fréquentation de projet}}{2}$$

La charge maximale en heure de pointe $C_{max_{hp}}$ correspond au nombre de personnes ayant voyagés sur ce même tronçon pour une heure de pointe :

$$C_{max_{hp}} = \frac{C_{max}}{10}$$

Cependant, la charge maximale par tronçon est également fonction de la longueur de la ligne. Nous distinguerons donc deux cas de longueur de ligne :

- égale ou inférieure à 10 km ;
- comprise entre 10 et 15 km.

Les données de fréquentation et de fréquence des 9 cas d'étude ont par ailleurs permis d'affiner le modèle afin de le faire correspondre le plus possible à la réalité des réseaux.

4.2.2 Résultats obtenus par le modèle

Les résultats obtenus par le modèle sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

| fréquence sur la ligne (minutes) | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| fréquentation par jour | 15000-22500 | 20000-30000 | 25000-37500 | 30000-45000 | 35000-52500 | 40000-60000 | 45000-67500 | 50000-75000 | 55000-82500 | 60000-90000 | 65000-97500 | 70000-115000 |
| Charge maximale HP sens le plus chargé | 750 | 1000 | 1250 | 1500 | 1750 | 2000 | 2250 | 2500 | 2750 | 3000 | 3250 | 3500 |
| BHNS 18 m | 5:43 | 4:17 | 3:25 | 2:51 | 2:27 | 2:08 | 1:54 | 1:42 | 1:33 | 1:25 | 1:19 | 1:13 |
| BHNS 24 m | 7:16 | 5:27 | 4:21 | 3:38 | 3:07 | 2:43 | 2:25 | 2:06 | 1:57 | 1:47 | 1:39 | 1:31 |
| Tramway 24 m | 6:54 | 5:12 | 4:12 | 3:25 | 2:54 | 2:36 | 2:12 | 2:03 | 1:52 | 1:45 | 1:34 | 1:28 |
| Tramway 32 m | 10:24 | 7:48 | 6:14 | 5:12 | 4:27 | 3:54 | 3:27 | 3:07 | 2:49 | 2:36 | 2:24 | 2:13 |
| Tramway 44 m | 15:36 | 11:42 | 9:21 | 7:48 | 6:40 | 5:51 | 5:12 | 4:40 | 4:15 | 3:54 | 3:36 | 3:20 |

| | |
|--|-------------------------|
| | bon dimensionnement |
| | dimensionnement limite |
| | mauvais dimensionnement |

Tableau 33 : Fréquence des différents véhicules testés en fonction de la fréquentation de projet

Dans cette simulation, la capacité du véhicule est fixe et inférieure à sa capacité maximale théorique afin de garantir le haut niveau de service. La limite de capacité n'est donc identifiable qu'aux difficultés d'exploitation rencontrées.

Dans les réseaux français, l'utilisation de la totalité de la capacité des véhicules (4 personnes/m²) permet une exploitation plus souple (fréquence plus faible). Le Busway à Nantes, équipé de véhicules de 18 m, est ainsi fréquenté par près de 38.000 voyageurs quotidiens à mesure d'un bus toutes les 3,5 minutes en heure de pointe. Néanmoins, la saturation du véhicule ne correspond pas aux attentes d'un véhicule à haut niveau de service.

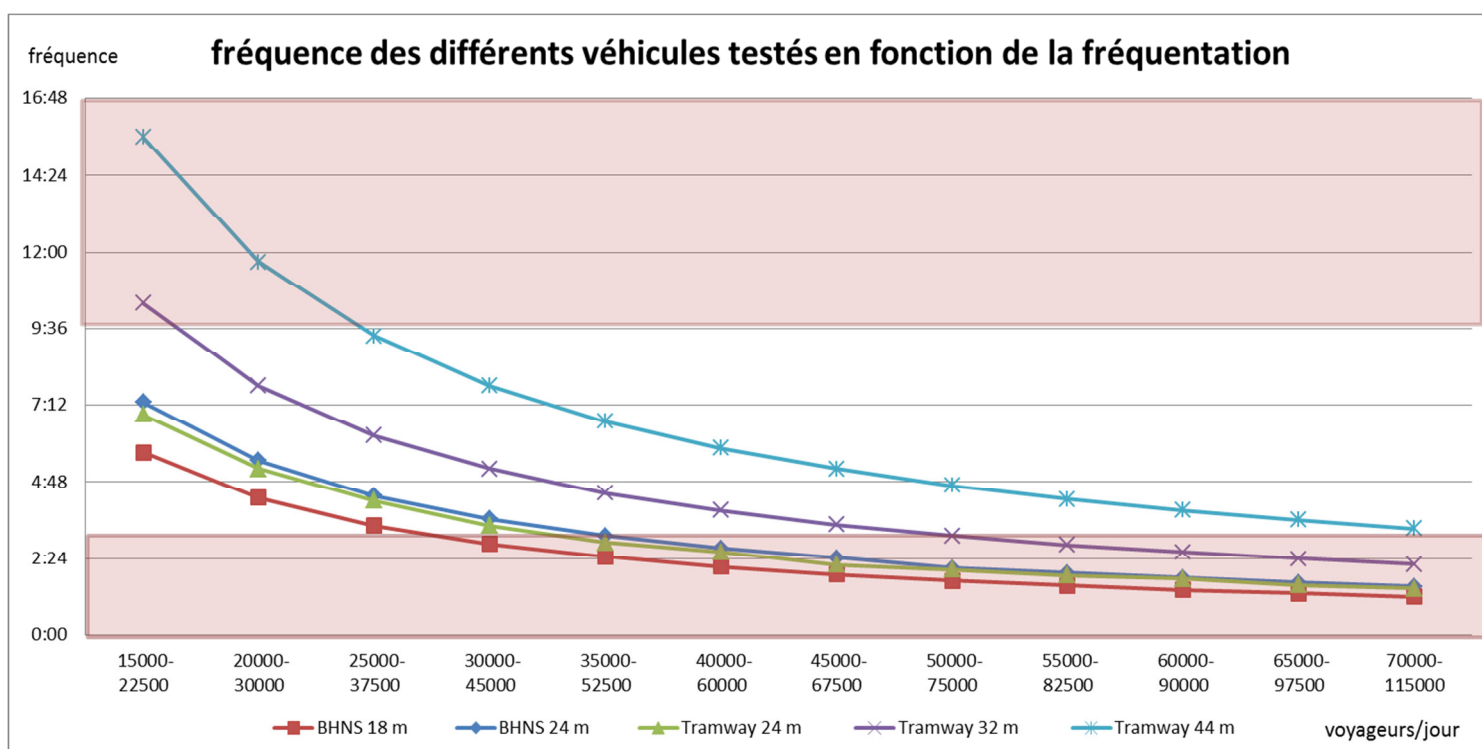


Figure 31 : Fréquence des différents véhicules testés en fonction de la fréquentation



Ainsi, plus le véhicule utilisé sur la ligne est capacitaire, plus celle-ci est en mesure de répondre à une forte demande en transport. Le tableau ci-dessous regroupe les limites de capacité atteinte pour les différents véhicules selon la fréquentation de projet (en voyage/JOB⁶).

| limite de capacité (fréquentation /JOB) | | |
|---|--------------|---------------|
| type de véhicule | ligne < 10km | ligne > 10 km |
| BHNS 18 m | 30.000 | 45.000 |
| BHNS 24 m | 35.000 | 52.000 |
| Tramway 24 m | 35.000 | 52.000 |
| Tramway 32 m | 50.000 | 75.000 |
| Tramway 44 m | 70.000 | 115.000 |

Tableau 34 : Limite de capacité des véhicules

La plupart des projets BHNS sont aujourd’hui équipés de bus 18 m. Leur limite de capacité, selon les caractéristiques locales du projet (longueur de ligne, section particulièrement fréquentée, etc), se situent donc entre 30.000 et 45.000 voyageurs par jour. Au dessus de cette limite, il convient donc de privilégier un mode plus capacitaire.

En dessous de cette limite de 45 000, les modes routiers et ferrés sont envisageables. Il convient alors de les comparer selon d’autres critères, notamment celui du coût.

⁶ Jour Ouvré de Base (généralement un mardi ou un jeudi en période scolaire)



4.3 Calcul des coûts globaux

Bien qu'assez variable selon les cas d'étude, le coût d'investissement d'un projet tramway s'avère plus élevé que pour un projet BHNS. Cela s'explique en partie par une infrastructure et un matériel roulant plus dispendieux. Pour les décideurs publics, le choix du tramway implique donc une capacité à investir fortement sur une période donnée.

Pour comparer l'économie des deux modes, il est toutefois nécessaire de se projeter à un horizon plus lointain correspondant à la durée de vie du projet. A cette échelle sont considérés l'ensemble des coûts et leur amortissement. Cette méthode permet ainsi de proposer une comparaison objective, selon le mode, de l'implication du projet TCSP dans le budget annuel de la collectivité.

La méthode théorique décrite ci-après traduit dans ses hypothèses l'expérience cumulée du groupement incrémentée de l'analyse des neuf cas d'étude. Elle ne saurait toutefois comprendre l'ensemble des particularités de chaque projet TCSP et n'a de fait pas vocation à présenter des valeurs définitives et réutilisables dans le cadre du chiffrage de projet.

Pour chaque nouveau projet TCSP, il est toutefois préconisé d'utiliser une méthodologie de calcul similaire, adaptée aux caractéristiques du territoire, afin de prendre en compte les coûts globaux dans le choix du mode.

4.3.1 Définition du modèle de calcul

Un modèle de calcul est programmé à partir du logiciel Excel afin d'étudier les coûts globaux induits par les modes BHNS et tramway. Pour un projet donné, il permet de comparer les deux modes d'un point de vue strictement financier. Plusieurs données d'entrée sont considérées afin d'alimenter le modèle, elles portent notamment sur :

- le matériel roulant ;

Afin de proposer une comparaison pertinente entre les deux modes, les véhicules considérés possèdent une capacité théorique proche et sont en mesure de répondre à une demande en transport équivalente.

| véhicule | Tramway | BHNS | unité |
|------------------------|---------|------|--------|
| longueur | 32 | 24 | mètres |
| coût unitaire | 2,5 | 0,8 | M€ |
| coût de fonctionnement | 8 | 6 | €/km |
| vitesse commerciale | 20 | 20 | km/h |
| capacité théorique | 190 | 138 | places |

Tableau 35 : Caractéristiques du matériel roulant testés

La vitesse commerciale est prise à 20 km/h, ce qui est l'objectif de la plupart des lignes TCSP.

Les coûts d'achat et de fonctionnement (dont entretien) ont été déterminés à partir des exemples étudiés.



- l'infrastructure de la voie ;

Le tracé du projet considéré s'étend sur 15 km.

| Infratructure | Tramway | BHNS | unité |
|-----------------------|---------|-------|-------|
| longueur | 15 | 15 | km |
| coût kilométrique | 20 | 10 | M€/km |
| durée de vie | 50 | 50 | an |
| taux d'intérêt annuel | 2,00% | 2,00% | - |

Tableau 36 : Caractéristiques de l'infrastructure de projet

Les coûts considérés s'établissent sur la base des exemples étudiés et de l'expérience du groupement. Il se base sur des projets hors de l'Ile-de-France (du fait du foncier plus élevé dans cette Région).

Le coût kilométrique ne prend pas en compte l'achat du matériel roulant.

Afin de déterminer les frais financiers, le modèle prend l'hypothèse que la totalité de l'investissement initial est empruntée. De manière à considérer une valeur moyenne qui restera réaliste dans les prochaines années, le taux d'intérêt annuel est fixé à 2%.

- la nature de l'offre ;

La charge maximale en section, définie en heure de pointe, permet de déterminer le nombre de véhicules nécessaire. Le calcul des coûts globaux cependant est effectué sur la base d'une année. Il convient donc de trouver un ratio pertinent entre les kilomètres produits en heure de pointe et à l'année.

Pour cela l'offre est répartie entre 3 catégories :

- l'offre en heure de pointe ;
- l'offre en heure de journée : 66% de l'offre en heure de pointe ;
- l'offre en heure du soir : 33% de l'offre en heure de pointe.

| | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 5h<>6h | 6h<>7h | 7h<>8h | 8h<>9h | 9h<>10h | 10h<>11h | 11h<>12h | 12h<>13h | 13h<>14h | 14h<>15h |
| HS | HS | HP | HP | HJ | HJ | HJ | HJ | HJ | HJ |
| 15h<>16h | 16h<>17h | 17h<>18h | 18h<>19h | 19h<>20h | 20h<>21h | 21h<>22h | 22h<>23h | 23h<>24h | |
| HJ | HP | HP | HP | HS | HS | HS | HS | HS | |

Figure 32 : Variation de l'offre projet au long de la journée

Sur la base du niveau d'offre projet proposé ci-dessus, le ratio JOB/HP est pris égal à 12. Autrement dit, en termes de nombre d'aller-retour, l'offre proposée sur un JOB est équivalente à 12 HP.

Enfin, on considère un ratio année/JOB de 310 afin de calculer les kilomètres d'exploitation annuels réalisés par le projet TCSP.



- Autres hypothèses concernant le matériel roulant ;

D'autres données d'entrée sont par ailleurs sujettes à caution. Sur la base des discussions menées lors du comité de pilotage final, plusieurs hypothèses sont étudiées afin de prendre en considération les différentes opinions.

Concernant la capacité réelle des véhicules, deux hypothèses sont testées afin de rendre compte des modèles français et allemand en la matière :

- hypothèse A : la capacité réelle correspond à 80 % de la capacité théorique du véhicule ;
- hypothèse B : la capacité réelle correspond 65 % de la capacité théorique du véhicule.

Concernant la durée de vie des rames du tramway :

- hypothèse 1 : durée de vie de 35 ans ;
- hypothèse 2 : durée de vie de 25 ans (hypothèse basée sur le fait que les tramways à plancher bas auraient une durée de vie plus courte).

Ces hypothèses sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

| véhicule | Tramway | BHNS | unité |
|-----------------------|---------|-------|--------|
| capacité réelle hyp A | 152 | 110,4 | places |
| capacité réelle hyp B | 123,5 | 89,7 | places |
| durée de vie hyp 1 | 35 | 12,5 | an |
| durée de vie hyp 2 | 25 | 12,5 | an |

Tableau 37 : Hypothèses prises sur le matériel roulant

4.3.2 Résultats obtenus par le modèle

A partir de ces données sont calculés, pour chaque hypothèse, les coûts globaux :

- Coût d'investissement initial (infrastructure, matériel roulant, etc.) ;
- Frais financiers associés à l'investissement initial ;
- Renouvellement du matériel roulant ;
- Coût de fonctionnement de la ligne.

Les annuités d'amortissement comprennent l'ensemble de ces coûts rapportés à la durée de vie du projet. Elles sont calculées pour différents niveaux de fréquentation afin d'étudier leur impact sur la rentabilité des modes.

Les tableaux ci-dessous regroupent les différentes annuités pour le tramway et le BHNS suivant différents niveaux de fréquentation.



| coût global annuel TRAM (en Millions €) | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| fréquentation projet /an (millions de voyages) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| fréquentation projet /JOB (voyages) | 18000 | 36000 | 54000 | 71000 | 89000 | 107000 |
| hyp 1A : 35 ans tram + 80% capacité th. | 18,5 | 24,8 | 31,3 | 37,7 | 44,1 | 50,5 |
| hyp 1B : 35 ans tram + 65% capacité th. | 19,9 | 27,8 | 35,7 | 43,6 | 51,6 | 59,5 |
| hyp 2A : 25 ans tram + 80% capacité th. | 18,7 | 25,3 | 32,1 | 38,8 | 45,4 | 52,2 |
| hyp 2B : 25 ans tram + 65% capacité th. | 20,3 | 28,5 | 36,8 | 45,0 | 53,3 | 61,5 |

Tableau 38 : Coût global annuel du projet tramway sur la base d'une durée de vie projet de 50 ans

| coût global annuel BHNS (en Millions €) | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| fréquentation projet (millions de voyages) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| fréquentation projet /JOB (voyages) | 18000 | 36000 | 54000 | 71000 | 89000 | 107000 |
| Hyp A : 12,5 ans + 80% de capacité théorique | 15,6 | 22,2 | 28,7 | 35,3 | 41,9 | 48,5 |
| Hyp B : 12,5 ans + 65% de capacité théorique | 17,1 | 25,2 | 33,3 | 41,4 | 49,5 | 57,7 |

Tableau 39 : Coût global annuel du projet BHNS sur la base d'une durée de vie projet de 50 ans

| différence des coûts globaux annuels entre le tram et le BHNS (en Millions €) | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| fréquentation projet (millions de voyages) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| fréquentation projet /JOB (voyages) | 18000 | 36000 | 54000 | 71000 | 89000 | 107000 |
| hyp 1A : 35 ans tram / 12,5 ans BHNS + 80% capacité th. | 2,9 | 2,6 | 2,5 | 2,4 | 2,1 | 2,0 |
| hyp 1B : 35 ans tram / 12,5 ans BHNS + 65% capacité th. | 2,8 | 2,6 | 2,4 | 2,2 | 2,0 | 1,8 |
| hyp 2A : 25 ans tram / 12,5 ans BHNS + 80% capacité th. | 3,2 | 3,2 | 3,3 | 3,5 | 3,5 | 3,7 |
| hyp 2B : 25 ans tram / 12,5 ans BHNS + 65% capacité th. | 3,2 | 3,3 | 3,5 | 3,6 | 3,8 | 3,9 |

Tableau 40 : Différence des coûts globaux annuels entre le tram et le BHNS

Ce dernier tableau représente la différence entre les coûts globaux générés par le tramway et le BHNS. On remarque que :

- quel que soit la fréquentation et l'hypothèse considérées, le projet de tramway reste toujours plus cher ;
- quelle que soit les hypothèses considérées, la différence tend à s'amoinrir quand la fréquentation augmente.

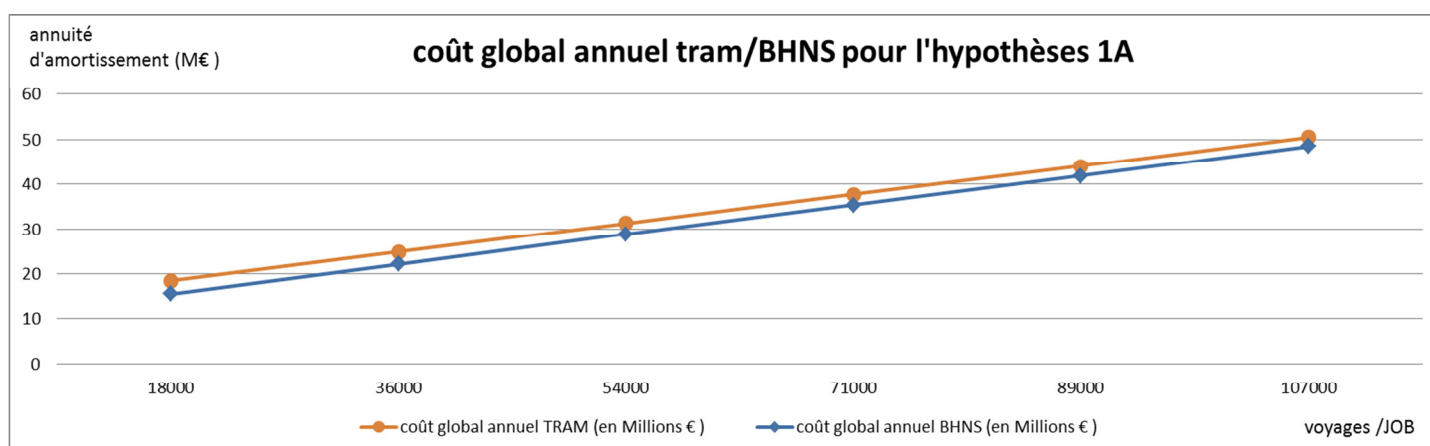


Figure 33 : Coût global annuel pour le tramway/BHNS dans le cadre des hypothèses 1 et A

Le graphique permet de constater que dans l'hypothèse 1A, la différence de coût initiale est maintenue quasi-constante selon la fréquentation de projet testée.

Toutefois, si l'on rapporte cette différence au coût global du projet de tramway, on constate qu'elle est de plus en plus négligeable à mesure que le niveau de fréquentation augmente.

| différence des coûts globaux annuels entre le tram et le BHNS rapportée au coût du tramway | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| fréquentation projet (millions de voyages) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| fréquentation projet /JOB (voyages) | 18000 | 36000 | 54000 | 71000 | 89000 | 107000 |
| hyp 1A : 35 ans tram / 12,5 ans BHNS + 80% capacité th. | 16% | 11% | 8% | 6% | 5% | 4% |
| hyp 1B : 35 ans tram / 12,5 ans BHNS + 65% capacité th. | 14% | 9% | 7% | 5% | 4% | 3% |
| hyp 2A : 25 ans tram / 12,5 ans BHNS + 80% capacité th. | 17% | 13% | 10% | 9% | 8% | 7% |
| hyp 2B : 25 ans tram / 12,5 ans BHNS + 65% capacité th. | 16% | 12% | 9% | 8% | 7% | 6% |

Tableau 41 : Différence des coûts globaux annuels rapportée au coût global du projet tramway

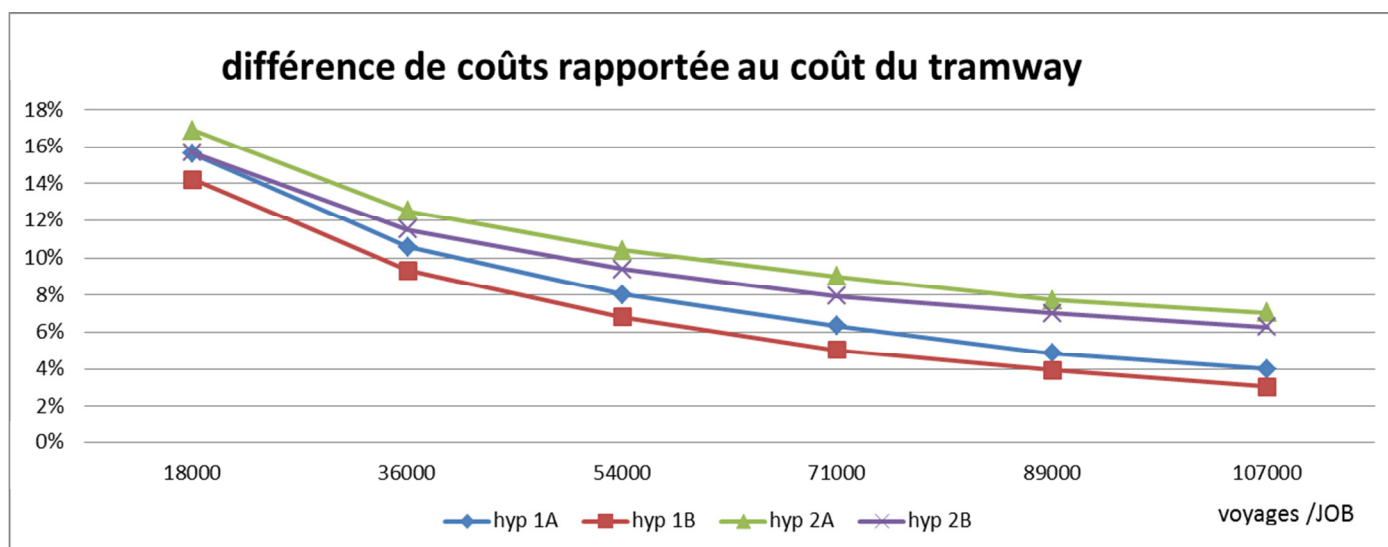


Figure 34 : Différence des coûts globaux annuels rapportée au coût global du projet tramway

Les annuités d'amortissement sont donc plus importantes pour le tramway que le BHNS, quelque soit le niveau de fréquentation considéré. La différence entre ces deux valeurs ne diminue très légèrement en fonction de la fréquentation. Pour autant, plus la fréquentation est importante plus la différence est minime comparée au volume global des coûts annuels.

Rapportée à la fréquentation, les annuités d'amortissement diminuent à mesure que la fréquentation augmente. Plus le potentiel identifié est important, plus le projet sera rentable en termes de coût par voyage.

| coût par voyage (€/voyage) TRAM | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| fréquentation projet (millions de voyages) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| fréquentation projet /JOB (voyages) | 18000 | 36000 | 54000 | 71000 | 89000 | 107000 |
| hyp 1A : 35 ans tram + 80% capacité th. | 3,7 | 2,5 | 2,1 | 1,9 | 1,8 | 1,7 |
| hyp 1B : 35 ans tram + 65% capacité th. | 4,0 | 2,8 | 2,4 | 2,2 | 2,1 | 2,0 |
| hyp 2A : 25 ans tram + 80% capacité th. | 3,7 | 2,5 | 2,1 | 1,9 | 1,8 | 1,7 |
| hyp 2B : 25 ans tram + 65% capacité th. | 4,1 | 2,9 | 2,5 | 2,3 | 2,1 | 2,1 |

Tableau 42 : Coût par voyage pour le mode tramway



| coût par voyage (€/voyage) BHNS | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| fréquentation projet (millions de voyages) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| fréquentation projet /JOB (voyages) | 18000 | 36000 | 54000 | 71000 | 89000 | 107000 |
| Hyp A : 12,5 ans + 80% de capacité théorique | 3,1 | 2,2 | 1,9 | 1,8 | 1,7 | 1,6 |
| Hyp B : 12,5 ans + 65% de capacité théorique | 3,4 | 2,5 | 2,2 | 2,1 | 2,0 | 1,9 |

Tableau 43 : Coût par voyage pour le mode BHNS

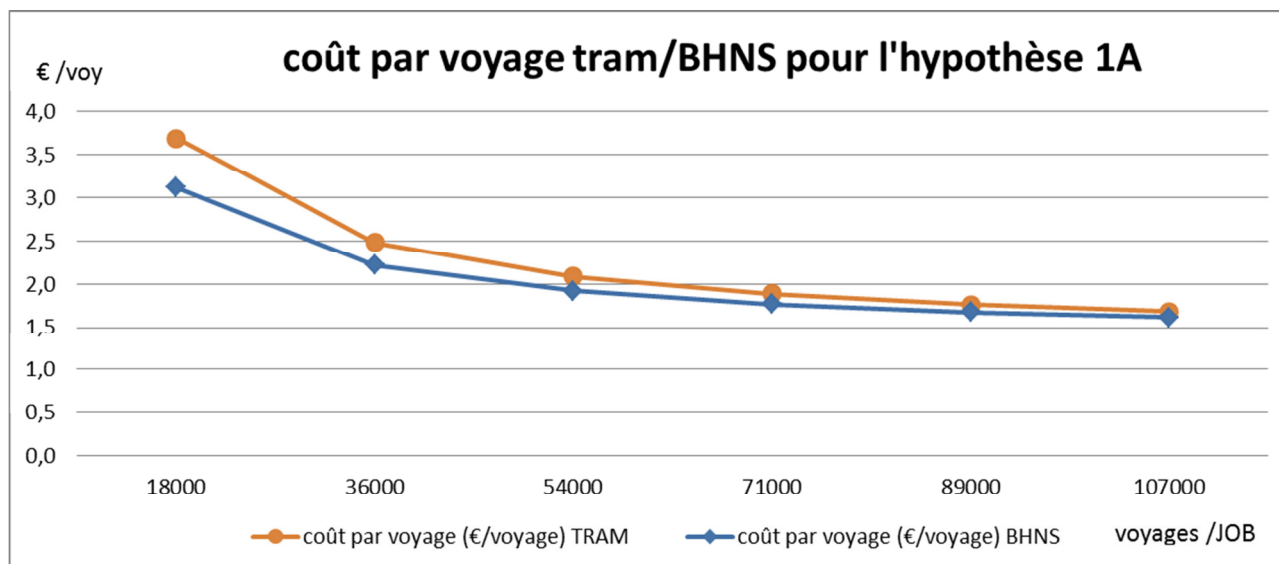


Figure 35 : Coût par voyage pour les modes tramway et BHNS

4.3.3 Bilan du modèle

Le modèle utilisé permet donc de constater que pour l'ensemble des hypothèses étudiées, le tramway présente un coût annuel toujours supérieur au mode BHNS.

L'écart de coût entre les deux modes à toutefois tendance à s'atténuer pour des fréquentations importantes : la différence devient très faible à partir de 15 millions de voyages annuels (environ 54.000 voyages quotidiens).

Le modèle restant limité à la notion de coûts, il convient de prendre en considération d'autres aspects à caractère plus qualitatifs, ce que la partie suivante s'attache à montrer.



4.4 Autres aspects à considérer

Nous le constatons à travers les études de cas et les diverses méthodes appliquées que trois zones de pertinence prévalent dans le choix entre BHNS et tramway. En dessous de 30.000 voyageurs par jour, le BHNS est incontestablement le choix le plus rationnel au regard des coûts par voyageur transporté. A l'inverse, au-delà de 45.000 voyageurs par jour, le tramway (32 m) s'impose car le BHNS fait preuve d'une limite de capacité. C'est donc dans la zone comprise entre 30.000 et 45.000 voyageurs par jour que d'autres aspects, plus qualitatifs, sont alors à considérer si l'on souhaite apporter un maximum d'éléments pour le choix d'un mode plutôt que d'un autre.

Il en résultera une présentation sous forme de points positifs et négatifs selon le mode envisagé.

Les économies d'échelle réalisées après une première ligne de TCSP

Les investissements pour une première ligne de tramway sont plus importants que ceux d'un BHNS (entre 18 et 30 M€/km de ligne pour le tramway, entre 6 et 13 M€/km de ligne pour le BHNS). Or l'investissement pour une deuxième ligne de tramway est bien moindre que pour la première pour les raisons suivantes :

- l'infrastructure peut être réutilisée dans l'optique d'un tronc commun.
- le centre de contrôle, les dépôts ainsi que le matériel spécifique peuvent être réutilisés. De plus en plus de réseaux prévoient pour leur dépôt une capacité suffisante pour accueillir la flotte de véhicules d'une deuxième ligne.
- les études en amont sont moins importantes (champ des possibles réduit, taille et design matériel déjà choisi).
- le savoir-faire technique des agents tramway (conducteurs, formateurs, réparateurs,...) peuvent être mis à profit pour une deuxième ligne.

C'est pourquoi, une deuxième ligne de tramway peut avoisiner un budget de 15 M€/km de ligne et se rapprocher d'un investissement BHNS. Cette analyse prévaut d'autant plus que, nous l'avons vu dans l'introduction, 28 agglomérations françaises ont fait le choix du tramway et que nombre d'entre elles n'ont pour le moment qu'une seule ligne.

Ce constat peut également être mené pour une éventuelle deuxième ligne de BHNS mais dans des mesures moins importantes. En effet, un dépôt de bus comporte moins de pièces spécifiques qui peuvent entraîner des économies d'échelle. De plus, la durée de vie d'un projet BHNS étant moins longue que celle d'un tramway, les agglomérations n'investissent souvent pas avec des réserves de capacités.

Toutefois, un projet de BHNS ne se traduit pas forcément par un matériel nouveau au design soigné (voir TVM, Strasbourg, Rouen,...). Des économies d'échelles peuvent être réalisées sur un réemploi de la flotte existante (respectant les normes de qualité récentes) et des dépôts. Le BHNS se caractériserait alors essentiellement par son site propre.



Infrastructure fixe (tramway) vs exploitation plus souple (BHNS)

Le tramway est un investissement qui s'inscrit sur le temps long (ordre de grandeur de 50 ans). De plus, de part son infrastructure fixe, le TCSP assure une certaine garantie de l'évolution territoriale mais aussi une certaine rigidité. En effet, investir en une ligne de tramway affiche la volonté très claire de structurer le territoire autour de cet axe et ce pour des décennies. La différence fondamentale avec le BHNS, dont l'infrastructure est moins figée que pour le tramway, c'est qu'il offre la garantie aux habitants (a fortiori propriétaires), aux commerces et aux promoteurs la pérennité d'un investissement privé. L'accessibilité étant facilitée pour le centre-ville et les grands équipements, le bien peut effectivement prendre une valeur supplémentaire⁷.

A l'inverse, le BHNS possède une infrastructure moins figée que le tramway, (absence de rails et de catenaires) mais contient toutefois un site propre et des stations associées fixes. Toutefois, en cas de problème sur la ligne (problème technique, blocage de la voie, travaux, maintenance...) le BHNS peut rapidement changer d'itinéraire, permettant ainsi de sauvegarder le service. L'exploitation est ainsi considérée comme étant plus souple, a fortiori en situation perturbée.

Pour ce qui est du partage du site propre avec d'autres lignes, faisant ainsi état d'un site mixte, le tramway et le BHNS présentent les mêmes caractéristiques.

Confort

Le confort lors d'un voyage en TC incite ou désincite l'utilisateur de la voiture particulière de se détourner. Il paraît, à l'heure actuelle incontestable, que le tramway apporte un plus grand confort à ses usagers que le BHNS. L'accélération et le freinage sont plus doux et la place disponible (à dimensions égales) dans le véhicule est plus importante (notamment les places assises). Même si le BHNS a une tendance à se rapprocher du tramway dans ses aspects qualitatifs, il ne serait pas raisonnable de les mettre au même niveau sur ce point là.

Image de marque

De même, au niveau de l'image de marque, force est de constater le côté plus luxueux d'un investissement tramway (du fait de son coût plus élevé il est vrai) par rapport au BHNS. Les agglomérations ayant récemment fait le choix du tramway utilisent cet argument comme outil de communication (Bordeaux, Tours,...). Ce n'est pas le cas de villes ayant opté pour le BHNS.

Renouvellement technologique

Le fait que le tramway soit un investissement sur le temps long lui apporte une moins grande flexibilité concernant les évolutions technologiques que l'on peut intégrer dans le véhicule. En effet, le fait que le matériel BHNS a une durée de vie de 12 ans lui permet, dans le cadre du renouvellement du

⁷ PREDIT, Évaluation de l'impact du T3 sur les prix de l'immobilier résidentiel, mars 2011



matériel, d'y intégrer les nouvelles technologies adaptées au contexte spatio-temporel. Les évolutions technologiques et informatiques étant croissantes, le BHNS permet sur ce point d'être plus en accord avec son temps qu'un tramway dont la durée de vie peut dépasser les 35 ans.

L'évolutivité de la demande

Bien que le renouvellement puisse permettre au système de transport d'être totalement dans son temps, le BHNS n'a pas cette faculté de s'adapter à une demande qui pourrait s'avérer plus conséquente que prévue. Un BHNS, par ses véhicules difficilement extensibles, a beaucoup moins de capacité de croissance qu'un réseau de tramway dont les rames peuvent être couplées et allongées. Il faut cependant être vigilant sur ce point : un réseau de tramway extensible doit être pensé au préalable avec des stations comportant des réserves de capacités, de même que le dépôt et les sous-stations.

La question énergétique

Sur les aspects énergétiques : il est très difficile de se prononcer sur les conséquences environnementales du choix du TCSP, que ce soit dans la production/le renouvellement du matériel et de l'infrastructure ainsi que de la consommation d'énergie dans l'exploitation. En effet, analyser finement les impacts environnementaux serait une étude en soi et il n'est pas certain qu'une expertise faisant autorité puisse être réalisable dans l'état des connaissances actuelles. Cela supposerait un verdict détaillé sur l'utilisation du nucléaire, des batteries rechargeables pour les autobus, de leur durée de vie effective, de la baisse des énergies fossiles disponibles,...

Il est toutefois certain qu'à l'heure actuelle, le tramway alimenté en électricité émet moins de CO₂ et de NO_x que le BHNS roulant à l'énergie thermique. Les dernières tendances vont toutefois en direction d'un BHNS roulant aux énergies hybrides voire électriques.

Effet TCSP

L'effet TCSP - c'est à dire le potentiel d'attraction de nouveaux voyageurs sur le corridor du projet - dépend en partie du mode retenu. L'expérience du groupement, étayée par l'analyse des différents projets TCSP, permet d'affirmer qu'il est plus important pour le tramway que pour le BHNS. Les différents aspects propres au tramway développés plus haut permettent d'expliquer ce phénomène. L'image de marque du tramway, le confort qui lui est associé ou encore sa stabilité dans le temps (les terrains sont mieux valorisés) lui permettent donc d'attirer, pour un même réseau, un nombre plus important de voyageurs.

Pollution sonore

De nombreux tramways en France ont retenu un aménagement engazonné de la plate-forme, permettant ainsi une réduction significative du bruit de roulement. Les dernières études sur le sujet avancent jusqu'à une réduction de 10 dB du fait de l'engazonnement. Or, cet aménagement ne peut être mis en place dans le cadre d'un BHNS.



Les autres externalités

Il semble également difficile de départager le tramway du BHNS sur les aspects telles que la beauté visuelle ou l'accidentologie, tant leurs caractéristiques semblent proches ou que l'état actuel des connaissances ne permet pas d'avoir un avis faisant autorité sur la question.

Bilan

En définitive, le tableau dressé dans la partie précédente démontrait un choix qui se porterait rationnellement vers le BHNS en dessous de 45 000 voyageurs par jour si l'on se contentait d'analyser la problématique uniquement par le prisme du coût / voyageurs transportés.

La partie qui vient d'être présentée vise à montrer que le choix du mode ne peut justement pas se limiter à une analyse sur les coûts. Bien d'autres aspects, à notre sens tout aussi importants, doivent être considérés lorsque l'on fait le choix d'un TCSP.

La question du confort (bruit, douceur des accélérations/freinages, places assises) est centrale pour l'utilisateur qui souhaite se détourner de sa voiture privée pour un voyage en TC pour des motifs professionnels ou de loisirs. De même pour l'élus, l'image que véhicule sa ville à travers son TCSP est fondamentale. Sur les 20 dernières années, l'Histoire a retenu tel ou tel maire/président d'Agglomération pour avoir mené à son terme un projet de transport structurant.

En bref, si l'on s'en limite aux aspects de coûts sous 45.000 voyageurs par jour transportés, alors le BHNS est plus rentable sur la durée de vie du projet (50 ans) que le tramway. Mais si on intègre des dimensions plus larges et plus portées sur le qualitatif, alors il semble que les deux modes de transport ont autant d'atouts chacun (au sein de la zone « grise » 30 000 - 45.000 voyageurs par jour).

Aux élus, en connaissance de cause, de faire leur choix selon leurs besoins, opportunités, finances, envies et perspectives.

5 CONCLUSION

Cette étude s'est appuyée sur une analyse détaillée de 9 cas de figure, on l'espère, représentatifs des projets BHNS et tramway français.

Toutefois, et cela a été évoqué à diverses reprises, il est difficile voire impossible de faire ressortir un projet type du BHNS ou du tramway, serait-ce par des moyennes ou par son absence de défauts. Le BHNS présente une palette plus large de possibilités du fait de son coût en infrastructure moins élevé que le tramway. Autrement dit, le BHNS est davantage un mode à géométrie variable, là où le tramway nécessite un investissement de base tellement élevé qu'il dépasse de fait sa dimension transport. De plus, sa durée de vie plus importante que le BHNS amène les collectivités à investir sur des aspects plus qualitatifs lorsqu'elles s'orientent vers un tramway.

Les projets de ces dernières années ont pourtant tendance à montrer un certain nivellement des projets entre le tramway et le BHNS. Les projets de BHNS type Mettis ont une volonté de rehausser la qualité du mode bus : matériels de plus grande capacité, renouvellement urbain, travail esthétique sur l'infrastructure, le matériel, les stations,...

De même, certains projets de tramway récents montrent une volonté de réduire beaucoup de coûts moins essentiels à la performance du projet de transport. Cette étude a analysé en détails le projet de Besançon dit « tramway optimisé ».

Force est de constater qu'il n'y a pas de « recettes » d'un bon projet de transport. Les deux modes ont des zones de pertinence assez nettes et nombre de projets BHNS montrent très vite des limites de capacité qu'il conviendrait de mieux prendre en considération en amont tant l'investissement est important. De même, un projet de tramway peut avoir sa clientèle surestimée et donc l'investissement peut être jugé comme étant en inadéquation avec les besoins réels. Ces cas de figure ont toutefois l'avantage de s'inscrire dans le temps et pouvoir atteindre leur potentiel de demande au cours de la durée de vie du projet (à la suite de projets urbains autour des arrêts ou d'une lente montée en charge).

Finalement, le lecteur est invité d'une part, à se rappeler qu'il existe non pas *un* mais *plusieurs* BHNS et non pas *un* mais *plusieurs* tramways et d'autre part, à distinguer plusieurs situations en fonction du trafic attendu :

- si le trafic attendu est inférieur à 22.500 voyages par jour, le choix porte sur le BHNS de 18m, le BHNS de 24 m et le tram de 24 m ;
- si le trafic attendu est inférieur à 37.500 voyages par jour (mais supérieur à 22.500), le choix porte sur le BHNS de 18 m, le BHNS de 24 m, le tram de 24 m et le tram de 32 m ;
- si le trafic attendu est inférieur à 45.000 voyages par jour (mais supérieur à 37.500), le choix porte sur le BHNS de 24 m, le tram de 24 m, le tram de 32 m et le tram de 43 m ;
- si le trafic attendu est inférieur à 67.500 voyages par jour (mais supérieur à 45.000), le choix porte sur le tram de 32 m et le tram de 42 m ;



- au-delà de 67.500 voyages par jour, seul le tram de 42 m peut faire face au trafic.

Les quatre seuils résultent de la confrontation entre les trafics attendus et la capacité offerte. Ils sont donnés à titre indicatif, comme ordre de grandeurs utiles pour fixer les idées. Il ne faut pas les voir comme des valeurs précises mais plutôt comme des valeurs à moduler en fonction des particularités de chaque projet (longueur de la ligne, coefficient de pointe, etc.)

On note que lorsque le trafic dépasse 45.000 voyages par jour, seul le tramway peut faire face au trafic. Dans les autres cas, plusieurs systèmes peuvent faire face au trafic, et il faut alors mener à bien une étude comparative des coûts globaux. En effet, il serait trompeur de se limiter à la seule comparaison des coûts d'investissement initiaux. Pour l'élu, le critère c'est le coût global (investissement, renouvellement, fonctionnement) pendant toute la durée de vie du projet, rapporté au voyage.

Mais il est apparu que la différence entre les coûts globaux par voyage était faible et donc peu significative compte tenu des nombreuses hypothèses qu'il a fallu formuler (durée de vie du matériel roulant, par exemple). De plus, nous avons des hypothèses quant au coût d'investissement qui reflètent plus la réalité des projets hors Ile-de-France (prix du foncier). Ainsi, il faudra donc, selon toutes probabilités, mener à bien une étude socio-économique complète qui tiendra compte :

- Des perspectives de développement du trafic éventuellement dans le cadre d'une politique proactive de coordination entre transport et urbanisme. Le système est alors utilisé comme outil d'urbanisme ;
- Des impacts sur l'environnement (NOx, CO₂, Particules fines) ;
- Du confort des voyageurs (espace disponible en période de pointe, secousses liées à la traction routière, ...).

Dans le prolongement, le choix du mode, selon notre avis, doit donc s'effectuer en premier lieu selon le potentiel de clientèle le long d'un axe, ensuite pour des considérations d'ordre technique (contraintes du tracé) et politiques (vision à long terme du projet) puis enfin pour les questions financières. Malgré ce que l'on pourrait penser, les contraintes financières ne doivent pas être le critère unique de choix. N'être guidé que par l'enveloppe financière n'encourage pas à s'intéresser aux vrais besoins du bassin de vie en question. L'exemple de Tours et de la ligne A du tramway est à ce propos à saluer car les besoins ont été placés au premier rang avant de voir comment il était possible financièrement d'atteindre cet objectif.

Le travail présent, on le répète, a donc eu pour vocation de poser un débat éclairé et objectif sur le choix entre le tramway et le BHNS, de poser les bonnes questions mais aussi, autant que faire ce peu, d'apporter des réponses. Il reste donc aux élus de s'emparer des analyses qui ont été développées dans le présent rapport en vue de leurs décisions futures. Que ce travail puisse les aider à initier des projets de TCSP au plus près de leurs besoins, car il est inutile de le rappeler, il y a une nécessité de plus en plus urgente à rehausser la qualité dans le transport collectif des agglomérations françaises.

Bibliographie indicative

La liste des ouvrages et articles suivante n'est pas exhaustive sur le sujet, le travail effectué ne comportant pas de dimension recherche/universitaire. De plus, l'essentiel des informations contenues dans le présent rapport émane des données transmises lors des entretiens ou de nos propres méthodes et outils. La littérature suivante nous a néanmoins aiguillés dans la réflexion :

- CASSIDY Edmund, LRT versus BRT: which is the better option?, Steer Davies Gleave, 28 juillet 2015
- CEREMA, Quel bilan de 12 années d'évaluation a posteriori de projets de transport en commun urbains ?, Journée d'échanges du 15 septembre 2015
- CERTU, Les coûts des transports collectifs urbains en site propre - chiffres clés, principaux paramètres, octobre 2011
- LE TOURNEUR Marc, L'analyse économique comparée Tramway / BRT, septembre 2010
- NEXTRAM, Le Tramway à la portée de tous, Vinci/CAF, Mai 2014
- PREDIT, Évaluation de l'impact du T3 sur les prix de l'immobilier résidentiel, mars 2011



Illustrations

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Comparaison de réseaux tramway en France et en Allemagne | 12 |
| Figure 2 : Localisation des TCSP en exploitation et en projet en France .. | 12 |
| Figure 3 : Description de la ligne TVM (après le prolongement de 2007)..... | 16 |
| Figure 4 : Description des projets en cours sur le TVM (carte personnelle de Maximilian Dörrbecker) | 19 |
| Figure 5 : Projet et phasage (pointillés) du T-Zen 1 (STIF) | 22 |
| Figure 6 : Projets autour du T-Zen 1 (carte personnelle de Maximilian Dörrbecker) | 25 |
| Figure 7 : Ancienne desserte du centre-ville (Déclaration d'utilité publique, 2009) | 28 |
| Figure 8 : Plan des lignes A et B du projet METTIS (Agence d'urbanisme d'agglomération de Moselle – février 2015)..... | 29 |
| Figure 9 : Fréquentation du réseau « Le Met » depuis 2004 – graphique Metz métropole | 33 |
| Figure 10 : Décomposition du coût d'investissement du projet METTIS – données Metz Métropole | 34 |
| Figure 11 : Principe de fonctionnement en pôle d'échanges du grand Besançon (2013) | 37 |
| Figure 12 : Saturation de centre-ville avant la mise en œuvre du tram (2013)..... | 37 |
| Figure 13 : Plan du réseau Tramway de Besançon (Grand Besançon) . | 39 |
| Figure 14 : Décomposition du coût d'investissement pour le tramway de Besançon - données Grand Besançon..... | 42 |
| Figure 15 : Réseau TAN (2016) | 43 |
| Figure 16 : Ligne 4 du réseau (Busway)..... | 44 |
| Figure 17 : Itinéraire des lignes 19 et G (Compagnie des Transports Strasbourgeois, 2015)..... | 47 |
| Figure 18 : Itinéraire de la ligne T3 (SYTRAL) | 52 |
| Figure 19 : Desserte du stade des lumières le soir de match | 53 |
| Figure 20 : Desserte des 3 lignes TEOR | 59 |
| Figure 21 : Décomposition du coût d'investissement du projet TEOR – données MRN | 62 |



| | |
|---|----|
| Figure 22 : Montées journalières aux arrêts du réseau de l'Agglomération de Tours (<i>Tour(s)plus</i>)..... | 64 |
| Figure 23 : Fréquentation par kilomètre produit..... | 72 |
| Figure 24 : Fréquentation par place kilomètre offerte | 73 |
| Figure 25 : Coût d'investissement au kilomètre de ligne | 74 |
| Figure 26 : Coût d'investissement rapporté à la fréquentation..... | 75 |
| Figure 27 : Coût de fonctionnement par kilomètre..... | 76 |
| Figure 28 : Coût de fonctionnement par voyage..... | 78 |
| Figure 29 : Méthode des coûts globaux adaptée aux cas d'étude..... | 83 |
| Figure 30 : Comparaison des emprises au sol entre bus et tramway (à partir des données du CERTU) | 86 |
| Figure 31 : Fréquence des différents véhicules testés en fonction de la fréquentation | 89 |
| Figure 32 : Variation de l'offre projet au long de la journée | 92 |
| Figure 33 : Coût global annuel pour le tramway/BHNS dans le cadre des hypothèses 1 et A | 94 |
| Figure 34 : Différence des coûts globaux annuels rapportée au coût global du projet tramway..... | 95 |
| Figure 35 : Coût par voyage pour les modes tramway et BHNS..... | 96 |



Tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Évolution de la fréquentation du TVM | 17 |
| Tableau 2 : Coûts du TVM (non actualisés, soit valeur 1987)..... | 18 |
| Tableau 3 : Évolution de la fréquentation du T-Zen 1 | 23 |
| Tableau 4: Détail des coûts non actualisés du T-Zen 1 (deux phases confondus)..... | 24 |
| Tableau 5 : Données matériel roulant METTIS (coûts 2010) | 30 |
| Tableau 6 : Fréquentation METTIS Ante | 32 |
| Tableau 7 : Fréquentation METTIS Post..... | 32 |
| Tableau 8 : Données matériel roulant du tramway de Besançon | 40 |
| Tableau 9 : Fréquentation des lignes de tramway de Besançon | 40 |
| Tableau 10 : Évolution de la fréquentation du Busway à Nantes..... | 44 |
| Tableau 11 : Coûts d'investissement du Busway à Nantes..... | 45 |
| Tableau 12 : Données du matériel roulant de la ligne G à Strasbourg | 48 |
| Tableau 13 : Fréquentation des lignes 19 et G Ante/post | 48 |
| Tableau 14 : Vitesses commerciales estimées du T3 (<i>étude préliminaire Semaly</i>) | 54 |
| Tableau 15 : Fréquentation de la ligne T3 Ante/Post..... | 55 |
| Tableau 16 : Données matériel roulant Tram T3 (première phase d'achat du parc) | 55 |
| Tableau 17 : Estimation du coût d'investissement du projet trolleybus (<i>étude préliminaire Semaly</i>) | 56 |
| Tableau 18 : Estimation du coût d'investissement du projet tramway (<i>étude préliminaire Semaly</i>)..... | 56 |
| Tableau 19 : Coût de fonctionnement des lignes tramway de l'agglomération lyonnaise | 57 |
| Tableau 20 : Evolution de la fréquentation des lignes TEOR depuis leur mise en service | 61 |
| Tableau 21 : Comparaison des fréquentations actuelles et estimées en 1998 | 61 |
| Tableau 22 : Évolution des données d'exploitation et de fréquentation du réseau de Tours | 65 |



| | | |
|--------------|---|----|
| Tableau 23 : | Évolution des données d'exploitation et de fréquentation du Tramway et du bus de Tours..... | 65 |
| Tableau 24 : | Caractéristiques générales des 9 cas étudiés | 68 |
| Tableau 25 : | Le matériel roulant des 9 cas étudiés..... | 69 |
| Tableau 26 : | La fréquentation 2015 des 9 cas étudiés | 69 |
| Tableau 27 : | Fréquence et vitesse commerciale des 9 cas étudiés | 70 |
| Tableau 28 : | Calcul des coûts globaux selon la méthode Marc Le Tourneur | 81 |
| Tableau 29 : | Données d'entrées du calcul des coûts globaux selon la méthode CERTU..... | 82 |
| Tableau 30 : | Calcul des coûts globaux selon la méthode CERTU..... | 82 |
| Tableau 31 : | Comparaison du matériel roulant entre les modes BHNS et tramways..... | 85 |
| Tableau 32 : | Capacités théoriques et réelles des différents véhicules testés..... | 88 |
| Tableau 33 : | Fréquence des différents véhicules testés en fonction de la fréquentation de projet..... | 89 |
| Tableau 34 : | Limite de capacité des véhicules | 90 |
| Tableau 35 : | Caractéristiques du matériel roulant testés..... | 91 |
| Tableau 36 : | Caractéristiques de l'infrastructure de projet..... | 92 |
| Tableau 37 : | Hypothèses prises sur le matériel roulant | 93 |
| Tableau 38 : | Coût global annuel du projet tramway sur la base d'une durée de vie projet de 50 ans | 94 |
| Tableau 39 : | Coût global annuel du projet BHNS sur la base d'une durée de vie projet de 50 ans | 94 |
| Tableau 40 : | Différence des coûts globaux annuels entre le tram et le BHNS | 94 |
| Tableau 41 : | Différence des coûts globaux annuels rapportée au coût global du projet tramway | 95 |
| Tableau 42 : | Coût par voyage pour le mode tramway..... | 95 |
| Tableau 43 : | Coût par voyage pour le mode BHNS | 96 |