

Retour d'expérience des choix entre tramway & BHNS dans les agglomérations françaises

MATHIAS CUREAU
Consultant de
Trans-Missions
ÉTIENNE TRUBERT
Ingénieur d'études
de TTK

De nombreuses agglomérations françaises se posent la question de créer de nouvelles lignes de TCSP (1) de surface en tant qu'élément structurant de leur réseau de transport et plus généralement de leur développement urbain. Dans le choix du TCSP s'opposent souvent deux modes aux caractéristiques proches mais pourtant bien distinctes, le tramway et le BHNS (2).

Consciente d'un certain retard des agglomérations françaises en équipements lourds de transport, l'Association Qualité Mobilité a souhaité faire un état des lieux, sous forme de

retour d'expériences, et d'éclairer le choix des élus lorsqu'il s'agit soit :

- de créer une première ligne de tramway ou de BHNS ;
- d'étendre un réseau existant.

Les cabinets Trans-Missions (Tours) et TTK (Karlsruhe/Lyon) ont associé leurs connaissances des réseaux urbains afin de traiter la question sous un angle aussi complet que possible. Coûts, fréquentation, attractivité, mais aussi capacités, insertion, durée de vie du mode sont autant d'aspects à prendre en compte.

Définitions et état des lieux

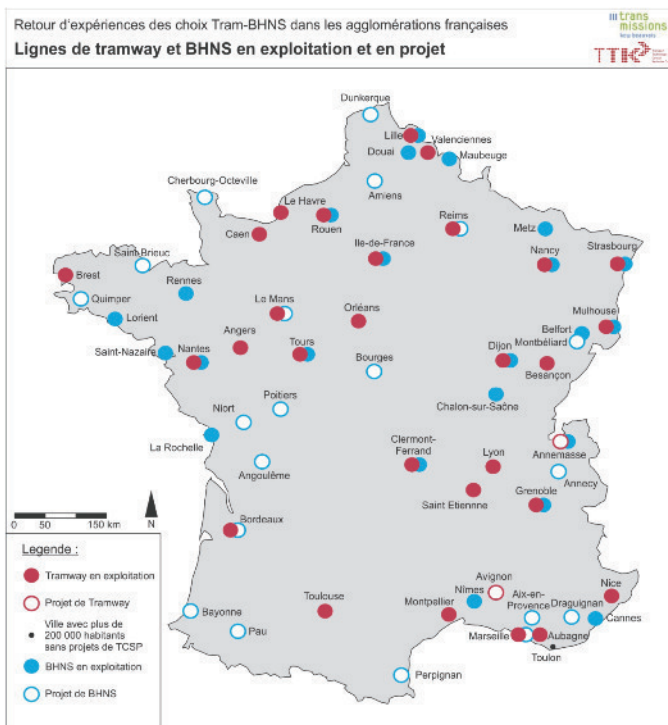
Le tramway est un mode de transport guidé, dont le tracé est très majoritairement en site propre avec une fréquence élevée, qui par définition apporte aux usagers une haute qualité de service (capacité en places assises, confort et faible bruit du roulement, design soigné). 28 agglomérations ont au moins une ligne de tramway en France pour près de 650 km de lignes cumulées sur le territoire (chiffres au 1er janvier 2016).

Le BHNS est un mode de transport non guidé, dont la définition n'est pas clairement fixée. Sa performance doit être analysée selon sa fréquence, la capacité du véhicule, sa vitesse commerciale au regard du pourcentage de tracé en site propre...

Une tendance nouvelle, qui vient renforcer l'intérêt de l'étude, est que les deux modes tentent de plus en plus d'élargir leurs zones de pertinence. Alors que les bus (articulés) ne dépassaient pas 18 m (115 places), les tramways ne descendaient pas sous les 32 m (200 places). Or, depuis 2013 et le choix de Metz pour un véhicule routier de 24 m de long (138 places), corrélé à celui de Besançon d'opter pour un tramway de 23 m (132 places), les constructeurs essaient autant que faire se peut de trouver de nouveaux

marchés. Ce qui amène à se demander à quel moment se justifie le choix pour un mode, quelle est leur vraie zone de pertinence au regard de la fréquentation (actuelle et future), par rapport aux capacités et aux coûts ? Voici ce que l'étude tente, modestement, d'apporter au débat.

- (1) Transport en Commun en Site Propre
- (2) Bus à Haut Niveau de Service



L'étude dont il est rendu compte ici a été menée sur neuf cas de sites propres tramways et autobus plus ou moins récents. Elle vise à déterminer si les « zones de pertinence » généralement établies en termes de trafic journalier se révèlent pertinentes, dans un contexte où il existe désormais une offre de matériel tramway court et où le passage des véhicules routiers à 24 mètres n'est plus aussi rare qu'auparavant. Les recouvrements qui en résultent ne sont pas sans interpeller élus et techniciens, soucieux de réaliser des économies sans pour autant mettre en service des TCSP trop rapidement « victimes de leur succès ».

Fig. 1 : Lignes de tramway et BHNS en exploitation et en projet (réalisation TTK/Trans-missions)

Neuf monographies de lignes

Afin de récolter des données suffisamment détaillées pour pouvoir comparer les modes dans tous leurs aspects, neuf cas (six BHNS et trois tramways) ont été retenus, à savoir, par ordre chronologique de mise en service :

- Le **Trans-Val de Marne** (TVM) en Ile-de-France, mis en service en 1993 et considéré comme une des premières lignes de BHNS en France (bien qu'elle n'en porte pas le nom à l'époque);
- Rouen avec le choix du mode BHNS 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 avaient commencé à structurer le réseau;
- **Lyon** avec la ligne de tramway **T3**, empruntant largement une infrastructure ferroviaire désaffectée (2006);
- Le **T-Zen1** en Île-de-France, mis en service en 2011 et répondant à une charte stricte sur la Haute Qualité de Service du BHNS avec un véhicule de 12 m;
- **Tours** avec le choix audacieux d'un tramway de 43 m et une ligne de 14,6 km (2013);

- Les deux lignes de BHNS **Mettis** à Metz, mises en service 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;
- Strasbourg avec la ligne **BHNS G** d'un réseau comportant jusqu'alors 6 lignes de tramway (2013);
- **Besançon** avec la mise en place en 2014 d'un tramway court dit « optimisé ». de 14,5 km (2 lignes avec un grand tronçon commun).

Le choix des villes s'est limité à neuf afin de pouvoir suffisamment détailler chaque cas et récolter auprès des AOT (3) et exploitants les informations nécessaires en vue d'une comparaison précise entre les cas d'études et plus généralement entre les deux modes de transport.

L'étude a veillé à ce que les différentes composantes du territoire français, les constructeurs et les différentes capacités des matériels roulants soient bien représentés.

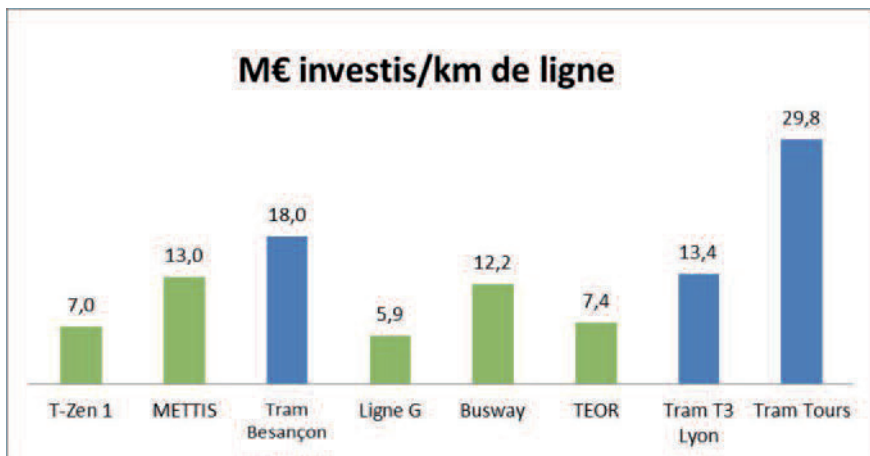
■ **Figure 2: Niveau d'investissement kilométrique des lignes analysées.**

NB : le TVM n'apparaît pas du fait de la grande évolutivité du projet rendant peu fiable la réactualisation de ses coûts initiaux qui remontent à 1993.

Les enseignements sur les coûts, rapportés à la fréquentation et la capacité

Sur l'échantillon étudié, il apparaît que l'investissement initial, en infrastructure et matériel roulant, est plus faible pour le BHNS que pour le tramway. En effet, dans le cas du tram-

way, l'infrastructure est complètement dédiée et intègre des coûts d'embellissement de la ville (traitement de façade à façade) comme c'est le cas pour Tours alors que le BHNS peut réutiliser une voirie existante. Toutefois on peut aussi remarquer que des projets de tramway optimisés comme Besançon (tramways courts, moins de requalifications urbaines) ou encore le T3 de Lyon (réutilisation d'une emprise ferroviaire) peuvent aboutir à des coûts en dessous de la moyenne française. A l'inverse le BHNS peut avoir des coûts proches de 7 M€/km de ligne (matériel et infrastructure standard, pas de requalification) comme avoisiner les 13 M€/km (Mettis avec des véhicules de 24 m).



(3) Autorité Organisatrice de Transport

Tableau 1: Caractéristiques des lignes analysées (situation à terme pour le TZen 1)

Ligne	TZen 1	Mettis	Tram Besançon	Strasbourg G	Busway Nantes	Teor	T3 Lyon	Tram Tours
Dépôt propre (Oui/Non)	N	N	O	O	O	N	O	O
Fréquence en minutes	7'	5'	6'	4'	2'30''	2'	7'30''	6'
Proportion de sites propres (en %)	100	85	83	80	87	45	100	100
Vitesse commerciale (en km/h)	32	17,6 (A) 19,6 (B)	18,6	20	22	17,5	35	18,5
Interstation en m	1050	494	500	400	500	697	1460	510

Il faut également bien avoir à l'esprit que le coût d'une première ligne est nettement plus élevé que les suivantes (création du dépôt, de la billetterie, du SAEIV...) ce qui fait que la Ligne G, le Busway, le TEOR présentent des coûts fixes plus faibles.

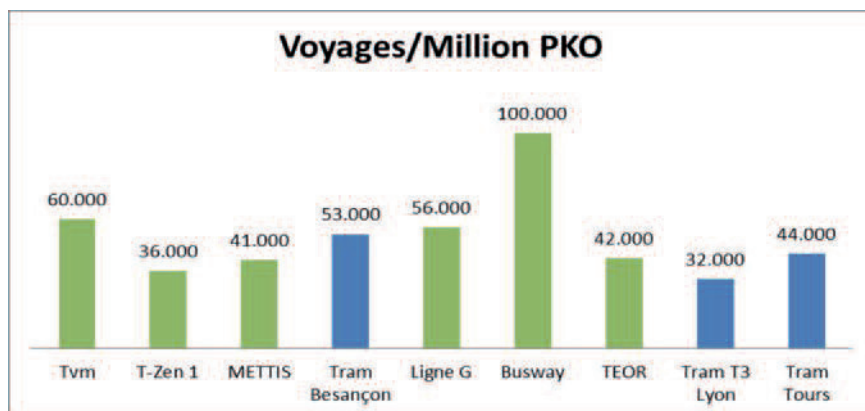
Cependant, le coût d'investissement initial n'est pas le seul critère à prendre en compte.

Les neuf cas d'études ont des fréquentations à la journée très disparates (de 6000 voyages pour le T-Zen à 62000 pour le tramway de Tours) mais les capacités des véhicules sont également très différentes (de moins de 90 places avec un BHNS de 12 mètres à 300 places avec un tramway de 43 mètres), d'où l'intérêt de raisonner en termes de places kilomètres offertes (PKO) (4).

Il apparaît que les différences entre lignes constatées avec l'indicateur « investissement par kilomètre de ligne » sont atténuées avec cet indicateur (à savoir entre 30000 et 60000 voyages par million de PKO). Seul le Busway sort du lot avec 100000 voyages par million de PKO, ce qui est dans un sens une très bonne performance pour le réseau, mais aussi un indice d'inconfort. D'ailleurs, les usagers de la ligne 4 du réseau nantais se plaignent de la saturation à certaines heures de la journée.

Un meilleur indicateur pour le taux d'occupation serait non pas Voyages/PKO mais « voyageurs.km / places kilomètres offertes », le voyageur.km tenant compte de la durée de la présence du voyageur dans le véhicule (s'il reste 5 km dans la rame au lieu de 3 km, le taux est plus élevé) mais cette information manque souvent aux exploitants et *a fortiori* aux AOT.

On terminera la comparaison par le coût global par voyage, indicateur qui combine le coût d'exploitation kilométrique sur l'ensemble du cycle de vie et la fréquentation observée. C'est évidemment l'indicateur que l'AOT se doit d'optimiser. Cet indicateur tient compte :



- du coût d'investissement initial réel actualisé 2015 ;
- du coût de renouvellement du matériel roulant pendant toute la durée de vie du projet réel ;
- du coût de fonctionnement réel (personnel, énergie, maintenance du matériel et de l'infrastructure, billetterie, administration...);
- de la fréquentation réelle en 2015.

Dans les neuf cas étudiés, les écarts sont importants et il apparaît que le BHNS revient moins cher que le tramway. Toutefois, plusieurs facteurs sont à prendre en compte :

- le développement urbain est plus lent que la mise en place de la ligne et l'effet tramway (+100 % à +150 % de gain de clientèle sur le corridor), en tant qu'élément structurant du territoire, est plus important que le BHNS (de +30 % à +50 % de gain de clientèle) ;
- le Busway fut relativement peu onéreux mais est saturé, ce qui explique son coût au voyage très faible ;
- le Mettis à un coût global proche du tramway (matériel roulant cher et fréquentation moyenne) ;
- d'une manière générale la comparaison s'effectue sur des lignes aux caractéristiques différentes (longueur et fréquentation notamment).

■ Figure 3: Voyages par million de Places Kilomètre Offertes.

L'effet tramway, en tant qu'élément structurant du territoire, est plus important que celui du BHNS.

Des outils d'aide à la décision politique

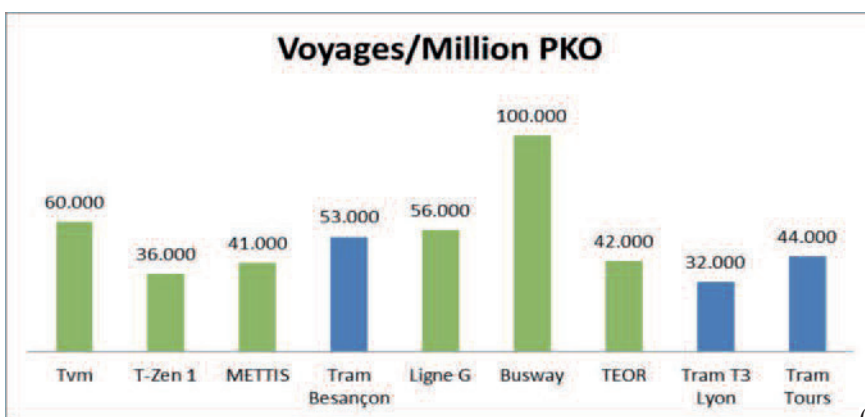
L'élu est pourtant souvent contraint à effectuer le choix de son mode :

- par rapport à une fréquentation attendue,
- et sachant qu'il existe un effet d'attractivité propre à chaque système.

L'offre de transport se calcule, entre autres, sur la fréquentation en heure de pointe dans le sens et le tronçon le plus chargé. De là s'adapte un niveau d'offre capable d'absorber le flux de voyageurs.

La fréquentation journalière par rapport aux niveaux de charge HP (heure de pointe) est une donnée indicative qui dépend projet par projet de la longueur de la ligne, du caractère radial/diamétral et de la plus grande distribution de la fréquentation à l'HP. Un « haut niveau de service » peut être défini comme une offre à intervalle maximal de 10 minutes (offre minimale pour un TCSP urbain) et minimal de 3 minutes (en deçà duquel l'exploitation devient complexe).

(4) L'indicateur V/K , où K représente le nombre de véhicules x km, très utilisé par les réseaux, garde tout son intérêt lorsqu'il s'agit non plus d'une approche « fréquentation » mais d'une approche « coût d'exploitation », car les coûts d'exploitation sont plus liés aux véhicules x km qu'aux PKO.



■ Figure 4: Coût global en euros par voyage

Tableau 2 : Fréquence (en minutes) selon la fréquentation et la capacité du matériel

Fréquentation journalière	15 000-22 500	20 000-30 000	25 000-37 500	30 000-45 000	35 000-52 500	40 000-60 000	45 000-67 500	50 000-75 000	55 000-82 500	60 000-90 000	65 000-97 500	70 000-115 000
Charge max. 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

À fréquentation égale, le BHNS est globalement moins cher que le tramway, à condition de se situer dans sa zone de pertinence (moins de 45 000 voyageurs par jour).

On s'aperçoit que le BHNS a une pertinence à partir de 15 000 voyageurs par jour mais même un matériel de 24 m de long ne pourrait proposer une offre dite de haute qualité de service au-dessus de 45 000 voyageurs par jour, où seul le tramway (de plus de 32 m) peut répondre à la demande.

Pour le tramway, la zone de pertinence est plus large, entre 20 000 et 115 000 voyageurs par jour : on observe ainsi qu'une vraie zone de recouvrement existe entre les deux modes lorsque la fréquentation est comprise entre 20 000 et 45 000 voyageurs par jour.

S'ajoute alors la question des coûts. On reprend le calcul des coûts globaux par voyage, cette fois-ci à fréquentation donnée.

La comparaison s'intéresse ici à un BHNS de 24 m et un tramway de 32 m pour répondre à deux fréquentations attendues. En prenant en compte les mêmes facteurs (cette fois-ci avec des données moyennes et

une capacité théorique à 65 % pour le haut niveau de service) qu'explicités dans les études de cas réels plus haut, apparaissent des résultats qui viennent confirmer que le BHNS est, rapporté au voyage (durée de vie de l'infrastructure et du matériel comprise), moins cher que le tramway mais que cet écart est inférieur à 10 % (5).

Toutefois, les effets d'attractivité des modes sur la fréquentation à venir en partant d'un même corridor sont nettement supérieurs pour le tramway : + 100 % que pour le BHNS : +40 % (6) Ainsi le coût global par voyage, prenant en compte les effets d'attractivité des modes, est favorable au tramway.

En reprenant le modèle établi, avec une fréquentation sur le corridor de 15 000 voy/JOB, la fréquentation du projet sera de 30 000 voy/JOB pour le tramway ou 21 000 voy/JOB pour le BHNS. Ainsi le coût global par voyage sera de 3,00 €/voy pour le tramway et de 3,80 €/voy pour le BHNS.

La prise en compte d'aspects plus qualitatifs

A fréquentation future égale, le BHNS est donc globalement moins cher que le tramway lorsqu'il est analysé dans sa zone de pertinence (moins de 45 000 voyageurs par jour). Au-dessus de ce chiffre, le choix se porterait sur le tramway pour la raison de l'absorption de l'offre par rapport à la capacité du véhicule, tout en maintenant une certaine qualité de service.

Entre 20 000 et 45 000 voyageurs par jour, des aspects plus qualitatifs sont également à prendre en compte dans le choix du mode (autre que la géographie et topographie contrainte du site).

Le tramway, de par son infrastructure figée pour plusieurs décennies, donne certains gages aux habitants de l'agglomération et aux promoteurs. Son effet de captage de la clientèle (explicité plus haut) ainsi que son image de marque pour la ville sont plus importants que pour le BHNS. Toutefois le BHNS a des atouts dans l'exploitation, notamment en situation perturbée où il peut sortir de sa voie dédiée pour rejoindre un site mixte.

Tableau 3 : Coût global par voyage rapporté au même niveau de fréquentation

		Fréquentation attendue	
		10 millions par an ; 36 000 par jour	15 millions par an ; 54 000 par jour
Coût global annuel	Tramway BHNS	27,80 M€ 25,20 M€	35,70 M€ 33,30 M€
Coût par voyage	Tramway BHNS Écart	2,78 2,52 9 %	2,39 2,22 7 %

(5) Il est entendu que l'estimation concerne un projet hors Ile-de-France, avec un prix du foncier moins élevé.

(6) Ces moyennes proviennent à la fois des monographies, croisées avec les moyennes issues d'autres réseaux BHNS et tramway.

Sur les aspects de confort, force est de constater que le tramway apporte un meilleur service que le BHNS, notamment sur les phases d'accélération, de freinage et de giration. La sensation est même amplifiée lorsque l'utilisateur est debout dans le véhicule. De même, l'espace occupé au sol est moins important pour le tramway et des solutions d'embellissement et de réduction des bruits de la voirie sont techniquement réalisables (engazonnement par exemple).

Enfin, des économies d'échelles peuvent être réalisées avec le réemploi de l'infrastructure existante, du dépôt, du centre de contrôle, si bien que le prix d'une ligne s'ajoutant à l'existante aura des coûts bien moins élevés. Ce constat prévaut d'autant plus pour un projet de tramway que les investissements initiaux sont plus conséquents et que la durée de vie du projet est plus longue. Toutefois, on peut aussi imaginer un projet de BHNS qui vient compléter le maillage d'un réseau tramway (cas de la ligne G à Strasbourg ou de la ligne 4 à Nantes).



■ **Figure 5: Le tramway de Tours à l'infrastructure engazonnée dans un contexte urbain dense (Photo P. Zembri).**

Conclusion

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 30 000 voyages par jour, le choix peut se porter sur le BHNS de 18 m, le BHNS de 24 m ou le tramway de 24 m ;
- si le trafic attendu est compris entre 30 000 et 45 000 voyages par jour le choix peut se porter sur le BHNS de 24 m ou tous types de tramways ;
- si le trafic attendu est supérieur à 45 000 voyages par jour, le choix devra se porter sur le tramway.

Les trois seuils résultent de la confrontation entre les trafics attendus et la capacité offerte. Ils sont donnés à titre indicatif, comme ordres de grandeur utiles pour fixer les idées. Il faut davantage les voir comme des valeurs à moduler en fonction des particularités de chaque projet (longueur de la ligne, radialité/diamétrie, coefficient de pointe, etc.).

Au vu des neuf cas d'études présentés, il apparaît que le BHNS est légèrement moins cher que le tramway lorsqu'on calcule le coût global rapporté au voyage ; toutefois « l'effet tramway » étant nettement plus important sur la fréquentation future que le BHNS, rend le choix du tramway plus pertinent dans sa zone de pertinence.

Dans tous les cas, les aspects qualitatifs sont tout aussi importants dans la décision : confort pour le voyageur, emprise au sol, attractivité pour le réseau et le territoire...

Dans le prolongement, le choix du mode devrait 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.

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

■ **Figure 6: La ligne 4 de Nantes (Busway), dont la finalité initiale était de compléter le maillage tramway sans en avoir le niveau de fréquentation, est désormais victime de son succès (photo P. Zembri).**



À propos de la sélection des modes

François de Fleurian

Le sujet de la sélection des modes se pose régulièrement dans la constitution des réseaux, que cela soit pour opter entre métro automatique et tramway, entre BHNS et tramway ou bien encore entre car et train. L'article qui précède a été établi après une bonne recension des services sur plusieurs lignes de bus à haut niveau de service ou de tramway. Il vise à déterminer les domaines préférentiels d'utilisation de ces deux modes en fonction de leur coût global.

Or, sur le plan économique, cette sélection devrait s'établir selon trois niveaux.

Le premier niveau, traité par l'article, est celui du coût global d'exploitation au voyage, plus pertinent bien sûr que le coût d'investissement kilométrique ou même que le coût d'exploitation kilométrique.

Ces coûts ne sont pas très faciles à établir – ils ne sont pas publics – et leur niveau dépend des performances possibles de la ligne, comme de sa clientèle potentielle et des accords sociaux régissant l'entreprise de transport.

Le second niveau est celui de desserte d'un vaste quadrant, qui sera organisé bien différemment selon le mode employé, avec un maillage plus ou moins lâche, une intensité de services plus ou moins importante, une attractivité différente et des performances économiques en définitive assez contrastées. Il existe des cas comme celui des quadrants Nord et Ouest de Strasbourg où les transports publics sont très pratiqués pour les déplacements domicile-travail et où l'architecture des sous-réseaux, leur performance, leur clientèle, leur connexion au réseau urbain sont très différentes selon que le quadrant est desservi en train ou bien en car interurbain. Certains auteurs ont d'ailleurs exploré ce sujet (Alku, 2005). Mais les conclusions qu'ils en tirent ne sont valables que pour un environnement économique donné et que pour un bassin géographique de taille et de densité donnée. Enfin au niveau de l'autorité organi-

satrice ou d'un grand territoire, la question qui se pose est d'investir suffisamment dans des infrastructures performantes pour optimiser le coût au voyage tout en obtenant un partage modal favorable. Plusieurs résultats militent pour des modes de transport lourds et rapides comme ceux rassemblés par Todd Litman dans une étude de synthèse sur les réseaux de grandes villes américaines (Litman, 2012) ou bien les comparaisons faites à Montpellier d'une exploitation du réseau d'agglomération tel qu'il a été constitué, soit en bus à haut niveau de service, soit en tramway. Les résultats obtenus par la communauté tarifaire de Munich (2,8 M habitants, 5500 km²) sont assez impressionnants pour une architecture composée de deux réseaux entremêlés de métro et de trains régionaux. L'offre kilométrique totale annuelle est de l'ordre de 100 millions de kilomètres, le nombre de déplacements pratiqués en transport public est de 645 millions par an et la part modale du transport public à l'échelle de la communauté tarifaire est de 15 %.

L'offre étant en définitive toujours plafonnée, le choix d'un mode capacitaire joue sur l'attractivité du réseau. À Montpellier, la fréquentation des autobus du corridor de la première ligne de tramway était de 40 000 voyageurs/jour. Elle est passée à 80 000 voyageurs/jour avec la mise en service de la première ligne de tramway et à 120 000 avec l'allongement des rames à 40 mètres – en l'occurrence à coût d'exploitation pratiquement inchangé –. La capacité d'un mode à gérer un succès de clientèle est un facteur de sélection.

ALKU A., 2005, « Modern Light Rail basics », Factsheet.
LITMAN T., 2012, « Rail Transit in America : A comprehensive evaluation of benefits », Victoria BC, Victoria Transport Policy Institute VTPI.

Les quadrants Nord et Ouest de l'agglomération strasbourgeoise : un cas d'école

À Strasbourg, pour des raisons historiques, les quadrants Nord et Ouest de l'agglomération sont respectivement desservis par le fer et des cars interurbains. Tous les deux ont une importante clientèle domicile-travail. Là où il faut seize lignes de cars pour desservir un quadrant, trois suffisent dans l'autre, avec évidemment des rabattements en voiture particulière ou tout autre mode individuel sur les gares.

On comprend à travers cet exemple qu'un choix de mode induit une architecture de réseau, qui n'est pas sans influence sur le coût d'exploitation.

D'après le plan du réseau 67, Kochersberg/Vallée de la Bruche, édition 11/2016