

Article paru dans la revue *Transport/Environnement/Circulation (TEC)* n° 203 de septembre 2009, numéro spécial "Transports publics et territoires"

Tramway et Bus à Haut Niveau de Service (BHNS) en France : domaines de pertinence en zone urbaine

Avec l'évolution des pratiques de déplacements et des mentalités, les transports collectifs doivent s'adapter en permanence en proposant des innovations, tant technologiques qu'organisationnelles. À partir des années 80, sous l'impulsion de l'État, le tramway est réintroduit dans les villes françaises (Nantes en 1985, Grenoble en 1987, Rouen et Strasbourg en 1994) en portant avec lui des projets de réaménagements urbains. La loi sur l'Air de 1996 initie avec les PDU de grandes réflexions sur les déplacements urbains qui se traduisent par de nombreux projets de tramway. Avec le soutien financier de l'État et la montée des préoccupations de cadre de vie, le tramway s'installe dans la plupart des grandes agglomérations françaises¹.

Progressivement, la question de la pertinence du tramway dans les agglomérations moyennes (moins de 300 000 habitants) est posée, notamment dans le rapport coût/besoins. Ainsi, l'idée de « systèmes intermédiaires » entre le bus et le tramway apparaît, poussée par une forte dynamique d'innovation technologique : *TVR* de Bombardier, *Civis* d'Irisbus, *Translohr* de Lohr, *Phileas* d'APTS... Alors que les promesses de ces nouveaux systèmes ne sont pas toujours tenues, les chercheurs et praticiens tournent leur regard vers l'Amérique et le Bus Rapid Transit (BRT). À partir d'expériences locales (*TVM* en Île-de-France, *TEOR* à Rouen, *BusWay*® à Nantes, etc.), cette démarche donne naissance en 2005 au concept de Bus à Haut Niveau de Service (BHNS) qui place le bus au cœur d'un véritable « système » de transport et lui redonne une image positive. La montée en puissance du BHNS depuis 2006 et le retour de l'État dans le financement des transports collectifs (Grenelle de l'environnement) accentuent la dynamique autour des transports collectifs en site propre (TCSP) qui s'inscrivent désormais dans des politiques locales et nationales de développement durable. Cet engouement replace la question du choix du système au cœur de débats complexes et délicats auxquels sont amenés à participer techniciens, élus et citoyens.

Une terminologie à clarifier

Parler de TCSP nécessite quelques précisions de terminologie. Le temps, l'histoire et l'évolution des mentalités font en effet émerger des visions différentes des systèmes de transports urbains.

En France, 3 familles de TCSP urbains qui reposent sur des considérations réglementaires

En France, l'apparition des « systèmes guidés sur pneus » à la fin des années 90 a engendré des confusions sur le plan sémantique. En particulier, motivé par la communication politique, l'usage abusif du terme « tramway sur pneus » génère

plusieurs idées reçues portant sur la capacité, les performances, l'attractivité et les conditions de mise en œuvre des systèmes (réglementation). Dans la foulée, le BHNS apparaît sous la forme d'un concept dont les contours restent volontairement souples.

Le Certu propose donc depuis 2007 une nouvelle classification « TCSP urbains » discutée dans des groupes de travail impliquant la DGITM, le Gart, l'UTP, l'Inrets et le STRMTG. Elle repose sur la distinction des systèmes selon deux réglementations :



¹ En 2009, la France compte 407 km de tramways dans 17 agglomérations. D'ici 2015, 10 agglomérations devraient rejoindre le « club » pour porter le total à environ 750 km.

- le décret n° 2003-425 relatif à la sécurité des transports publics;
- les articles R. 311-1, R. 312-10 et R. 312-11 du code de la route et l'arrêté du 2 juillet 1982 relatif aux transports en commun de personnes, modifié par l'arrêté du 18 mai 2009.

Certains systèmes guidés sont soumis aux deux réglementations dans la mesure où le guidage est immatériel (*TEOR* à Rouen, *Phileas* d'APTS à Douai), ou non permanent (*TVR* de Bombardier à Nancy et Caen). Leurs maté-

riels roulants, considérés comme des véhicules routiers, sont donc limités en gabarit par le code de la route (24,50 m de long, 2,55 m de large, hors rétroviseurs). En revanche, le *Translohr* proposé par Lohr Industrie est guidé de manière permanente par un rail central. Il n'est donc soumis qu'à la réglementation sur les transports publics guidés, comme le sont le métro et le tramway.

Ces considérations réglementaires et techniques permettent de définir trois classes de TCSP urbain : le métro, le tramway et le Bus à Haut Niveau de Service (BHNS).

Transports collectifs en sites propres (TCSP)

On entend par « transport collectif en site propre » (TCSP), un système de transport public utilisant majoritairement des emprises affectées à son exploitation. L'approche « système » d'un TCSP repose sur 3 composantes et sur leur articulation :

- l'infrastructure (plate-forme, stations, etc.);
- le matériel roulant;
- les conditions d'exploitation (modalités de circulation, systèmes d'aide à l'exploitation, information voyageurs...).

Métro

Le métro est un TCSP guidé de manière permanente et caractérisé par un site propre intégral (pas de carrefour, plate-forme inaccessible aux piétons, aux vélos et à tout véhicule à moteur). Il est généralement en souterrain ou en viaduc. Il est exploité à voie libre à l'aide d'un système de cantonnement. Il peut être automatique. On fera la différence entre le métro lourd et le métro léger de type Véhicule Automatique Léger (VAL).

Tramway

Le tramway est un TCSP guidé caractérisé par un véhicule assujéti à suivre de façon permanente une trajectoire déterminée par un ou des rails matériels. On intègre donc dans cette catégorie le « Tramway sur pneus » *Translohr* du constructeur Lohr, système guidé sur pneus qui présente la particularité d'avoir un guidage matériel permanent par rail. Cette caractéristique lui permet de se soustraire au code de la route, notamment en ce qui concerne les dimensions des rames.



Translohr de Clermont-Ferrand (source: Certu)

Bus à haut niveau de service (BHNS)

Le BHNS est un TCSP caractérisé par un véhicule routier limité à 24,50 m de long et 2,55 m de large par le code de la route.

Par une approche globale (matériel roulant, infrastructure, exploitation), le BHNS assure un niveau de service supérieur aux lignes de bus conventionnelles (fréquence, vitesse, régularité, confort, accessibilité) et continu. Il s'approche du niveau de service des tramways français. Le bus est ici considéré dans sa conception la plus large : il peut être guidé (guidage matériel ou immatériel) ou non guidé, à motorisation thermique, électrique ou hybride. On parlera donc de « trolleybus à haut niveau de service » pour les BHNS utilisant des véhicules trolleybus : C1/C2 à Lyon, projets à Saint-Étienne, Valenciennes et Nancy.

Le *TVR* de Bombardier, système guidé par rail central qui est soumis aux dispositions du code de la route, est à ce titre considéré comme un BHNS guidé. Le *Phileas* d'APTS, en cours de développement, devrait aussi intégrer la catégorie BHNS guidé, sous réserve de l'homologation en France du véhicule routier par les services compétents.



BHNS guidé à Rouen (source : communauté de l'agglomération rouennaise)

Cette classification met en évidence une approche différente de la réglementation selon la nature du guidage :

- permanent et matériel pour le métro et le tramway ;
- partiel, immatériel ou inexistant pour le BHNS.

Classification des TCSP de surface en fonction des caractéristiques de guidage (source : Certu)

Classification TCSP	Tramway		BHNS guidés				BHNS non guidé
	Tramway fer	Translohr	TVR de Bombardier à Caen	TVR de Bombardier à Nancy	Phileas d'APTS à Douai*	Bus à guidage optique	Bus classique
Type de guidage	2 rails porteurs	Rail central	Rail central	Rail central	Magnétique	Optique	
Classe de guidage	Matériel	Matériel	Matériel	Matériel	Immatériel	Immatériel	
Utilisation du guidage	Permanent	Permanent	tout le parcours commercial (hors dépôt)	Une partie du parcours commercial	Permanent (sauf mode dégradé)	Permanent (sauf mode dégradé) ou ponctuel	Aucun
Soumis à la réglementation TPG	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
Soumis au code de la route	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui

* en projet

Elle met aussi en avant la notion de **capacité** qui demeure un critère important dans le choix d'un système TCSP :

- le guidage permanent et le site propre intégral ouvrent de vastes horizons pour le métro ;
- à un degré moindre, le tramway doit sa grande capacité à ses dimensions permises par le guidage matériel permanent. En revanche, sa capacité reste bornée par les conditions d'exploitation (gestion des carrefours) et la longueur des quais ;
- les vitesses et fréquences du BHNS peuvent être identiques à celles d'un tramway. En revanche, les dimensions du matériel roulant, et donc sa capacité, sont limitées par le code de la route.

Des approches différentes d'un pays à l'autre

La vision du tramway en France reste étroitement liée à son démantèlement après la deuxième guerre mondiale. Sa réintroduction à partir de 1985 repose sur de fortes exigences en matière de niveau de service (recours quasi absolu au site propre) et sur le projet urbain qui l'accompagne.

Dans d'autres pays, notamment dans le nord et l'est de l'Europe, le tramway reste avant tout un outil de transport. Ses performances varient selon les configurations : du tramway englué dans la circulation sur le modèle du vieux *Streetcar* américain, au tramway présentant des sections en tunnel. Toutefois, le tramway présente des caractéristiques communes au niveau européen : une circulation en majorité sur voirie et une relative « perméabilité » du site propre. En Allemagne, le tramway est d'ailleurs désigné sous le terme de *Straßenbahn*, terme qui renvoie à l'idée de « voie ferrée dans la rue ». En revanche, lorsque du matériel léger (type tramway) est uti-

lisé sous la forme d'un métro (site propre intégral inaccessible), on parle de *Stadtbahn*. On retrouve aussi cette notion de *Métro Léger* dans le concept de *Light Rail Transit (LRT)* américain qui s'est largement répandu dans le monde. Les contours de ce dernier restent variés. Si aux États-Unis, le LRT renvoie à des systèmes allant du métro léger au métro, le terme englobe parfois, sans doute à tort, le « tramway européen ».

En ce qui concerne le bus, la terminologie traduit d'abord des différences de contexte d'un continent à l'autre. Dans la majorité des villes d'Europe, les besoins de fortes capacités sont déjà satisfaits par les trains de banlieues, les métros et les tramways. Le BHNS (ou *BHLS* en anglais pour *Bus with a high Level of Service*) s'adapte donc au nombre d'usagers, tout en conservant les principaux avantages du tramway et sa philosophie en matière d'insertion dans des rues souvent étroites. À l'opposé, le concept de BRT et ses projets mythiques associés (Bogota, Curitiba) renvoient régulièrement à un fort besoin de capacité qui peut se traduire par des coupures urbaines fortes (circulations en site propre à 2x2 voies, carrefours dénivelés, passerelles pour les piétons, convois de bus...). Ce *Full-BRT*² semble se répandre dans de nombreuses grandes métropoles de pays en développement et véhicule une image partielle du BRT. En effet, aux États-Unis, le concept BRT est plus large puisqu'il intègre le *BRT-Heavy* (l'équivalent du BHNS français) et le *BRT-Lite* qui correspond à des opérations de dynamisation de lignes telles les *Lianes*³ à Dijon ou les lignes *Chronobus* à Nantes. Cette dernière catégorie est avant tout basée sur des lignes à forte fréquence et larges amplitudes horaires, avec des aménagements ponctuels au niveau de certains points noirs (sas, couloir bus, priorités aux carrefours).

² Terme utilisé aux États-Unis pour caractériser les BRT à très forte capacité.

³ Les Lianes ne sont pas considérées comme BHNS. Voir la définition du concept dans le retour des enquêtes 2008 *Keoscopie II* de Keolis

Quel TCSP choisir ? une question universelle qui évolue avec le temps

La question du choix du système TCSP est au cœur de nombreux débats. Alors que les transports publics occupent désormais une place importante dans le débat politique, cette question trouve un écho auprès des citoyens, des associations, des passionnés, de la presse... Elle se traduit différemment selon les pays, les villes et les époques.

Aux États-Unis, le débat entre BRT et métro léger (LRT) est ancien et repose sur de nombreux lobbies. Des études à Saint-Louis et Washington dans les années 50 ont fait émerger les premiers projets de BRT. Très vite, il est comparé au LRT. Ce débat est encore d'actualité. Il repose toujours sur les mêmes arguments :

- Dans les villes Nord-Américaines, les transports publics doivent avant tout répondre aux besoins des navetteurs qui se rendent dans les Central Business District (CBD) depuis leur domicile de banlieue⁴. Grâce à sa souplesse et pour un coût limité, le BRT permet d'envisager des formes d'exploitation plus adaptées aux besoins : limitation des rabattements et services directs plus rapides en compléments de lignes omnibus.
- Les défenseurs du LRT mettent en avant son niveau de service, sa capacité, son attractivité et son potentiel à structurer l'environnement traversé.

En Europe, la question du choix du TCSP est généralement du ressort d'une autorité de transports urbains unique qui définit les besoins (tracé, capacité...) puis les moyens à

mettre en œuvre (type de système). Les îles britanniques représentent la principale exception. La dérégulation des bus en Grande Bretagne ou la séparation des compétences entre bus et tramway en Irlande sont autant de freins pour mener une approche globale et intégrée. Dans ces contextes, le tramway peine à s'affirmer.

En France, les discussions sur les TCSP ont d'abord été marquées à partir des années 80 par le choix entre le Véhicule Automatique Léger (VAL) (1^{re} mise en service en 1983 à Lille) et le tramway. Ces deux systèmes présentent des caractéristiques très différentes en termes de performances, d'insertion urbaine, et de coûts. Ainsi, le débat a été très animé dans les grandes agglomérations de province qui souhaitaient se doter d'un TCSP (Strasbourg, Toulouse, Rennes et Bordeaux notamment). De 1994 à 2003, l'État a indirectement participé à ce débat en favorisant le développement du tramway par rapport au VAL, par des taux et des plafonds de subventions plus avantageux.

Avec la diffusion du tramway dans des agglomérations de moins de 300 000 habitants à partir de 2001 (Montpellier, Orléans), et l'émergence récente des BHNS, les débats se recentrent désormais sur les TCSP de surface. Cependant, à la différence du choix VAL/tramway, le choix tramway/BHNS se place dans le cadre d'une vision partagée en termes de niveau de service et d'insertion urbaine. Cependant, tramway et BHNS sont complémentaires et possèdent leur propre domaine de pertinence.

Domaines de pertinence des tcsp de surface et processus de choix

La démarche qui conduit au choix d'un TCSP peut être complexe. Elle nécessite du temps, des études, de la concertation et une implication forte des décideurs sur certains aspects techniques très pointus. Elle se base notamment sur les 6 thématiques qui sont développées dans la suite de l'article. Le déroulement des études peut nécessiter des itérations entre ces thématiques, le choix du système le plus adapté n'étant pas toujours immédiat.

La vision à long terme (20-30 ans) du développement de l'agglomération et des réseaux de TC/TCSP

Les stratégies de localisation à long terme de l'habitat, des emplois et des équipements, et les évolutions des

attentes et des comportements, peuvent modifier les équilibres et les besoins en déplacements d'une agglomération.

Elles peuvent elles-mêmes être influencées par la politique des transports. Aussi, la construction des réseaux de TCSP (systèmes, tracés, organisation générale des TC) doit anticiper au mieux ces phénomènes dans une vision globale à long terme.

En ce qui concerne la logique de construction des réseaux de TC à long terme, les retours d'expériences des premières villes à TCSP permettent de tirer plusieurs enseignements :

⁴ À l'inverse, en Europe, les transports collectifs utilisent le potentiel procuré par la concentration des flux et prennent une part de plus en plus importante pour les motifs autres que les déplacements domicile-travail.

- La 1re ligne de TCSP ne doit pas concentrer tous les efforts.** Pour obtenir un effet durable, l'amélioration du niveau de service doit être continue dans le temps (développement d'autres lignes TCSP, améliorations sur le réseau de bus, etc.) et l'AOTU doit disposer de marges de manœuvre en pensant au long terme. Par ailleurs, une première ligne de TCSP ne doit pas chercher à desservir systématiquement les grands pôles générateurs de trafic au risque d'être sinueuse (vitesse limitée), coûteuse (investissement et exploitation), voire en sous-capacité. En revanche, elle peut constituer une étape dans le développement d'un réseau de lignes à haut niveau de service.
- Les TCSP font partie d'un réseau global qui les accompagne.** Ils ne doivent pas concentrer tous les efforts. Les effets les plus positifs en termes de mobilité TC sont observés là où l'offre de bus classique en parallèle est performante (Nantes, Strasbourg, Rennes). C'est d'autant plus vrai lorsque les TCSP ne desservent qu'une partie du territoire.
- Les rabattements bus → TCSP ne doivent pas être systématiques.** L'organisation d'un réseau de bus « au service » du tramway a montré ses limites, comme le prouve l'expérience de la 1re ligne de tramway d'Orléans en 2001. S'il permet d'assurer un niveau minimal de trafic sur la ligne de tramway, ce fonctionnement ne garantit en rien un « effet TCSP » sur l'ensemble du réseau⁵. Par ailleurs, il peut générer des correspondances pénalisantes, notamment dans le sens sortant, lorsque les fréquences des bus ne sont pas suffisantes. Il est parfois préférable de multiplier les possibilités pour l'usager : rabattement performant ou diffusion du bus en centre-ville avec un maillage du réseau. Ce concept de « rabattement sans contrainte » est notamment mis en œuvre à Rennes, Lyon et Le Mans.
- Les problèmes de capacité des TCSP doivent être anticipés** pour éviter des difficultés à moyen terme (problème d'exploitation, irrégularité, baisse de la vitesse commerciale, mauvaise image du service). En particulier, la logique de concentration des lignes en un pôle central fort peut être remise en cause. Outre des difficultés d'exploitation des lignes (3 lignes de tramway se croisent au nœud « Commerce » à Nantes), ces configurations engendrent des flux de piétons difficiles à gérer sur des espaces étroits (station « Homme de Fer » à Strasbourg). Les collectivités doivent alors prendre en compte cette dimension dans leurs projets futurs (rochades tramway comme la ligne E de Strasbourg, maillage du réseau initié avec la ligne 4 à Nantes).
- Plusieurs réseaux français intègrent désormais la notion de maillage** dans la construction de leurs réseaux de TCSP, tant pour mieux répondre aux besoins de déplacements que pour anticiper les problèmes de capacité. Cette philosophie se développe en complément d'un réseau de TCSP déjà en place (extension de la ligne E de tramway de Toulouse, ligne C de Grenoble) ou dès les premières lignes de TCSP (projet de tramway de Dijon).



Entre Vertou et Nantes, le choix de BusWay® (bleu puis vert) plutôt que d'une nouvelle branche de tramway (bleu) initie un maillage du centre-ville tout en désengorgeant le tramway existant (gris) (source: Nantes Métropole)

La question de l'organisation globale et à long terme des réseaux constitue une problématique majeure. Certains réseaux anticipent cette dimension dans leurs réflexions (Nantes et Strasbourg depuis quelques années, Dijon). D'autres vont y venir par la force des choses. C'est le cas de l'agglomération bordelaise dont les projets de TCSP à court terme (2012-2013) concernent essentiellement des prolongements de lignes de tramway existantes déjà très chargées. Les débats qui ont eu lieu lors du renouvellement de la délégation de service public ont mis en avant ces faiblesses. À court terme, le nouvel exploitant a proposé la mise en place de *Lianes* sur le modèle de Dijon, afin de renforcer l'attractivité du bus en complément du tramway. En parallèle, l'agglomération a intégré ces éléments dans sa réflexion sur le schéma de développement du réseau de TCSP à l'horizon 2020-2030.

⁵ Mesuré en nombre de déplacements et non en nombre de voyages !

Les objectifs de niveau de service du TCSP

Tramway et BHNS peuvent apporter le même service en ce qui concerne les fréquences, l'amplitude horaire, la vitesse et la régularité. Tout dépend de leurs conditions de circulation. La différence porte sur les niveaux de confort, d'accessibilité, d'image et de lisibilité qui sont supérieurs avec le tramway, même si les évolutions autour du bus (design, guidage) ont permis de nombreuses améliorations.

Confort : le roulement fer sur fer et le guidage apportent un meilleur confort de roulement (moins de balancements pour les usagers debout). Les tramways sur fer modernes sont relativement silencieux mis à part les crissements dans les courbes trop serrées. À cet égard, les véhicules sur pneus présentent un avantage mais, **de manière générale, les courbes de faibles rayons sont à éviter pour des questions de vitesses.**

Accessibilité : les systèmes guidés monotraces (tramway sur fer, *Translohr*) proposent des niveaux d'accessibilité optimum tant dans l'interface quai/véhicule qu'à l'intérieur du véhicule. Les lacunes horizontales et verticales sont inférieures à 3 cm sur toutes les portes. Il n'existe pas encore de retour d'expérience sur le BHNS

Phileas qui est aussi un système monotrace. Les systèmes guidés optiquement (non monotrace) offrent également une bonne accessibilité (lacunes horizontales et verticales inférieures à 5 cm sur la porte la plus accessible sur TEOR à Rouen).

Image et lisibilité : les tramways sur fer permettent plus de liberté en termes de choix de matériaux (pavés, gazon, etc.) afin de renforcer l'image moderne et de qualité du système. Les rails participent à la lisibilité du système. Toutefois, les retours d'expériences montrent que le BHNS dispose d'un potentiel élevé en terme d'image, de requalification urbaine et de lisibilité. À Rouen, le BHNS TEOR est largement plébiscité par les usagers, grâce notamment au haut niveau de service apporté (note de 16,2/20 de satisfaction globale pour TEOR, 15,7/20 pour le tramway).

Les systèmes d'alimentation par le sol (14 km à Bordeaux) et de batteries embarquées (traversée de la place Masséna à Nice) participent désormais à la qualité esthétique de l'insertion des tramways. Dans un avenir plus ou moins proche, le trolleybus pourrait aussi disposer de ce type de techniques.



Avenue Alsace Lorraine à Rouen avant et après la mise en place de TEOR (source : communauté de l'agglomération rouennaise)

Du tramway au tram-train ?

L'interconnexion possible avec le réseau ferré classique qui vise à réduire les ruptures de charge est souvent mise en avant comme un argument en faveur du tramway. Dans la pratique, les perspectives de développement de réseaux ferrés interconnectés (urbain/réseau ferré national) en France semblent limitées à quelques grandes agglomérations (Paris, Lyon, Lille, Strasbourg, Nantes, etc.), à des contextes particuliers (Vallée de la Thur étroite et dense à Mulhouse) ou comme support de développement. Le « modèle de Karlsruhe », souvent cité en exemple, repose sur une urbanisation bien plus favorable que celle de nos agglomérations françaises et sur un fort rabattement de proximité.

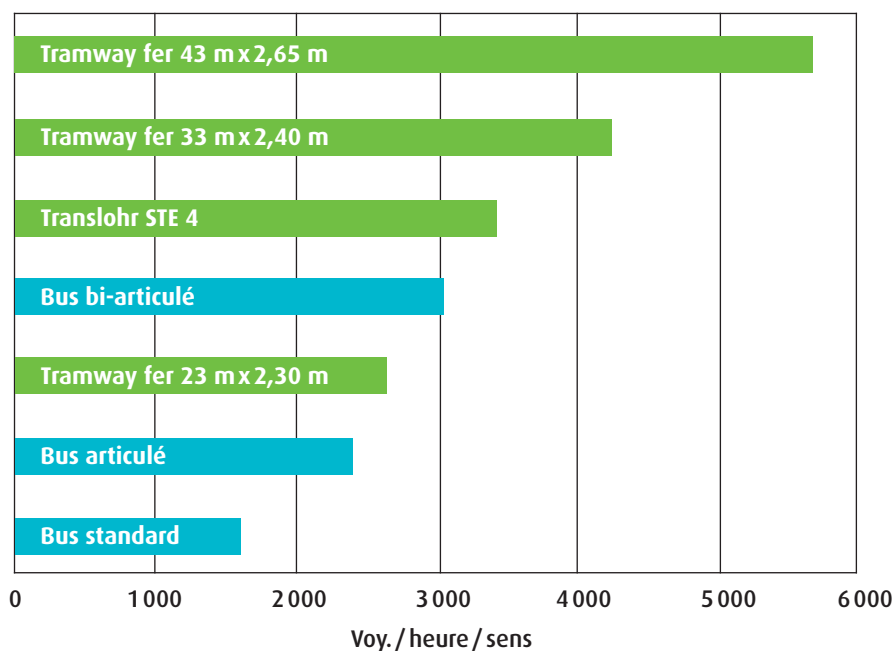
Finalement, le potentiel du « tram-train » repose aujourd'hui surtout sur les performances de matériels spécifiques (capacités d'accélération et de freinage) qui permettent une desserte plus fine des territoires (Aulnay-Bondy et projets de l'Ouest lyonnais et de Nantes-Chateaubriand).

Demande de déplacements et capacité des systèmes TCSP

Les capacités maximales théoriques des systèmes TCSP dépendent de la **fréquence** et de la **capacité des matériels roulants**. Elles sont calculées sur la base d'une norme de confort de 4 personnes/m² et d'un service optimisé (régularité parfaite, fréquence de 3 minutes par sens). En pratique, la capacité d'un système est large-

ment dépendante des conditions de mise en œuvre et d'exploitation. Vente de tickets à bord, absence de priorité aux feux, mauvais respects des sites propres..., sont autant d'éléments qui impactent négativement la régularité et donc la capacité d'un TCSP.

Capacité maximale des matériels (4 pers./m² - fréq. 3 min.) (source: Certu)



Tramway et BHNS présentent des niveaux de capacité différents du fait des réglementations.

Le véhicule du BHNS est en effet limité par le code de la route à 24,50 m en longueur et 2,55 m en largeur, hors rétroviseurs. Hormis le TVR de Bombardier à Caen et Nancy, seuls des bus standards ou articulés (18,75 m de long maximum) circulent en France à ce jour. À l'étranger, quelques agglomérations exploitent des bus bi-articulés non guidés (Van Hool AGG 300 à Utrecht et Hambourg, véhicules Hess en Suisse). Les constructeurs qui travaillent sur le sujet devraient proposer de nouveaux matériels dans les années à venir. Plusieurs agglomérations françaises dont Nantes et Nîmes se montrent intéressées par ce type de véhicule.



Bus bi-articulé Van Hool AGG 300 à Utrecht (source: Certu)

Les dimensions des véhicules tramways (sur fer ou sur pneus) peuvent en revanche aller au-delà des limites fixées par le code de la route. Ce sont des matériels modulables dont les capacités peuvent varier fortement d'un modèle à l'autre, en fonction des choix (largeur, longueur, agencement intérieur).

L'adéquation entre capacité et demande est délicate puisqu'elle se base sur des prévisions de trafic à long terme (20-30 ans) qui peuvent évoluer en fonction du contexte. Depuis 2006, sous l'effet de la baisse du pouvoir d'achat et de la prise de conscience environnementale, on observe une croissance forte de la fréquentation des réseaux. Celle-ci vient rappeler le fort potentiel de développement des transports collectifs urbains mais

nécessite une certaine prudence. En effet, ces tendances récentes ne sont pas stabilisées et l'incertitude demeure même dans le cas de modélisation fine.

Cependant, l'expérience française et européenne montre que des marges de capacité doivent être prévues. Le choix d'un système qui atteint sa limite de capacité dès sa mise en service ou peu de temps après, peut engendrer des difficultés d'exploitation (temps de montée/descente importants, phénomènes de « montée impossible », irrégularités, baisse des vitesses commerciales...). Celles-ci génèrent alors des surcoûts d'exploitation et diffusent une image très négative auprès de la population.

Fréquentations de lignes de TCSP : quelles comparaisons ?

Les comparaisons de fréquentations de lignes TCSP entre agglomérations sont délicates. Les configurations des lignes TCSP sont différentes d'une ville à l'autre, en particulier en ce qui concerne leur longueur et la répartition de la clientèle sur les différents arrêts (concentration ou dispersion). À titre d'exemple, le BHNS *Trans-Val-de-Marne* en Île-de-France présente une fréquentation de 65 000 voyageurs/jour sur 22 km alors même que la ligne B de tramway de Grenoble affiche 50 000 voyageurs/jour sur 9 km (données 2007).

À minima, la fréquentation doit donc être rapportée à la longueur de la ligne ou au nombre de stations. En 2005, **la quasi-majorité des lignes de tramway dépassait 4 000 voyageurs par kilomètre de ligne**. Avec 2 500 voyageurs par kilomètre de ligne, Orléans faisait figure d'exception en raison notamment d'une longue partie actuellement non urbanisée entre le quartier de La Source et le centre-ville.

Coûts globaux des systèmes TCSP

La question des coûts des systèmes fait l'objet de nombreuses études et controverses, notamment à l'étranger. Dans le contexte difficile du financement des transports publics, ce thème est souvent abordé de manière trop simpliste et ne peut se résumer au fait que « le BHNS coûte 3 fois moins cher qu'un tramway », comme on l'entend souvent en France.

La connaissance des coûts des différents postes d'investissement et d'exploitation est difficile car elle renvoie à des données stratégiques pour les constructeurs et les opérateurs. Toutefois, à partir des retours d'expériences de TCSP en service et en projet (appel à projet « transports urbains » issu du Grenelle de l'environnement), il est possible de donner quelques ordres de grandeur.

Afin d'être pertinente, l'analyse des coûts doit :

- prendre en compte les coûts d'investissements mais aussi les coûts d'exploitation et de régénération sur le long terme (reprise de la couche de roulement à cause de l'orniérage pour les systèmes sur pneus, aiguillages pour les tramways, rénovation des matériels roulants à mi-vie, etc.);
- intégrer la durée de vie des matériels roulants;
- isoler la partie « transports » des TCSP des réaménagements urbains de façade à façade qui sont indépendants du choix du système TCSP;
- s'intégrer dans un véritable calcul économique sur le long terme.

Données de coûts des systèmes TCSP (source : Certu)

Système	BHNS	Tramway (sur fer ou sur pneus)
Coût d'un véhicule (valeur 2007 HT)	300 k€ à 900 k€	1,5 à 3 M€
Coût d'investissement d'une 1re ligne de TCSP - partie « transport » hors véhicules (valeur 2013 HT)	2 à 10 M€/km de site propre	13 à 22 M€/km de site propre
Durée de vie des matériels	15-30 ans	30-40 ans
Coûts d'exploitation d'une 1re ligne TCSP (valeur 2008 HT)	3,5 à 5 €/km	5 à 7 €/km

Nota :

- les coûts d'investissement de la partie « transports » ne comprennent pas les opérations de voirie hors site TC, les équipements urbains et les opérations induites. Ils dépendent notamment du niveau de service et du contexte (ouvrages d'art, dépôt...);
- le coût du véhicule BHNS dépend de sa longueur et de ses équipements. La valeur de 900 k€ pour le BHNS correspond à un trolleybus articulé moderne;
- le TVR de Bombardier dont la fabrication n'est plus assurée et le *Phileas* d'APTS qui n'est pas homologué à ce jour, ne sont pas pris en compte dans les données du tableau. Toutefois, on notera que le TVR de Caen affichait un coût d'investissement (partie « transport » y compris matériel roulant) de 14 M€₂₀₀₀/km de site propre et un coût d'exploitation de 6,5 €/km en 2003, soit du niveau d'un tramway. Par ailleurs, le projet de *Phileas* à Douai est chiffré à 7,5 M€ HT₂₀₀₇/km de site propre dans les marchés de travaux 2007. Le matériel roulant est estimé à 1,3 M€ pour un véhicule de 18 mètres.

L'analyse du couple coûts/demande

L'analyse du couple coûts/demande est souvent déterminante dans le choix du système TCSP. Pour les « cas limites », il est recommandé de bâtir des scénarios d'offres permettant d'écouler le même trafic (ex : 1 BHNS toutes les 3 minutes en heures de pointes, 1 tramway toutes les 5 minutes, etc.). Sur le long terme, les coûts engendrés par la forte fréquence du BHNS peuvent annuler l'avantage à l'investissement.

Insertion urbaine du TCSP

L'insertion urbaine des TCSP doit s'intégrer dans une démarche globale visant à favoriser l'usage des modes alternatifs à la voiture particulière : transports collectifs mais aussi modes doux. Toutefois, l'étroitesse des rues de la plupart des villes françaises peut rendre la tâche particulièrement difficile. La vision à long terme de l'agglomération et de son réseau de TC peut conduire à des choix de systèmes et de tracés incompatibles avec les possibilités d'insertion.

Les systèmes sur pneus présentent l'avantage de pouvoir mieux tourner, surtout lorsqu'ils sont guidés et mono-trace. Précisons aussi que les bus bi-articulés peuvent présenter de meilleures caractéristiques d'insertion en courbe que des bus articulés (essieu arrière directionnel par exemple). En revanche, l'emprise en courbe des tramways est plus faible que celles des bus. **Au-delà des limites physiques, les TCSP doivent éviter des tracés trop sinueux dans une logique de performance (confort et vitesses notamment).**

Le tramway présente une meilleure insertion en ligne droite grâce à des matériels roulants qui peuvent avoir une faible largeur (2,40 m pour le standard classique, 2,20 m pour le *Translohr*). Les bus ont des largeurs qui se situent entre 2,50 m et 2,55 m auxquels il faut ajouter les débords des rétroviseurs (0,25 m de chaque côté). En utilisant des portes supplémentaires sur le côté gauche (cas de tous les tramways en France et du *Phileas* d'APTS), il est aussi possible de réduire l'emprise au niveau des stations (un quai central de 4 m au lieu de 2 quais latéraux de 2,50 m par exemple).

Insertion de différents systèmes TCSP (source : Certu et Cete Méditerranée)

Système	Tramway fer 2,40 m	Translohr	TVR	Philéas ⁽¹⁾	TEOR	Bus classique ⁽²⁾
Type de guidage	2 rails porteurs	rail central	rail central	Informatique avec recalage par plots magnétiques	Optique	Pas de guidage
Monotrace	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non
Emprise en alignement droit (voie double)	5,6 m à 5,8 m	5,4 m	6,2 m	6,5 m à 7 m	6,7 m à 7,3 m	6,5 m à 7 m
Rayon minimum acceptable	25 m	10,5 m (au rail)	12 m (au rail) ⁽³⁾	12 m	12 m (non guidé) 25 m (guidé)	11 à 12 m
Emprise en courbe	7 m à 7,5 m	6,7 m à 7 m	7 m à 7,6 m	8,2 m à 8,5 m	9 m à 11 m	10 m à 12 m

(1) Au 01/06/09, le système Phileas n'est pas encore homologué en France. Les emprises pourraient donc évoluer.

(2) Sans cyclistes.

(3) Les retours d'expériences de Nancy et Caen montrent qu'il est préférable de ne pas descendre en dessous de 15 m.

Quel intérêt du guidage pour un BHNS ?

L'étude de systèmes guidés pour véhicules routiers est souvent techniquement motivée par des difficultés d'insertion. La réalité est beaucoup plus complexe. Le choix de guidages matériels comme le rail central du TVR permet effectivement de limiter l'emprise du véhicule. En revanche, la conclusion n'est pas toujours valable pour les véhicules à guidage immatériel. La réglementation sur les transports publics guidés impose des marges de sécurité qui, en section courante, peuvent annuler le gain lié au guidage (cas du système *Phileas* d'APTS à Douai) voire augmenter l'emprise (cas de *TEOR* à Rouen). En courbe, si l'emprise peut être plus faible dans le cas de systèmes monotraces, le dispositif de guidage n'est pas toujours adapté à des rayons de courbures faibles (cas du guidage optique à Rouen).

Finalement, après les difficultés rencontrées par certains systèmes à guidages matériels (coûts plus élevés que prévu, dysfonctionnements) et avec les limites en terme d'insertion pour les systèmes à guidage immatériel, le guidage semble désormais surtout intéresser les collectivités pour **son apport en termes d'aide à l'accostage et d'accessibilité en station** (cas des projets de Metz, Nîmes et Nancy).

Sauf cas particuliers, les véhicules tramways sont aujourd'hui fabriqués pour gravir des pentes jusqu'à 6 ou 7 %. Avec des motorisations sur chaque essieu, il est possible d'envisager des pentes jusqu'à 10 % avec des modifications significatives pouvant engendrer un surcoût du matériel roulant. Les matériels sur pneus ont plus de facilité pour gravir les pentes avec une limite souvent fixée à 13 % pour le confort des usagers. Notons toutefois que les véhicules électriques présentent de meilleures capacités d'accélération en pente.

Alors que les études d'insertion sont souvent réalisées de manière tardive, il semble important de prendre en

compte cette dimension dès les études de faisabilité. À Besançon, la vision stratégique du développement de la ville et de son réseau de TC, et les contraintes de la boucle du Doubs, ont orienté le choix d'un TCSP via l'hyper centre. Celui-ci, très contraint, nécessite des sens dissociés complexes pour la circulation de bus qui ne sont pas compatibles avec le haut niveau de service recherché et la volonté d'« aérer » l'espace public. Quant à la solution « voie unique » pour les bus, elle ne permet pas de répondre à la demande aux heures de pointe, dès la mise en service du système. Le choix du tramway permet donc de limiter les difficultés d'insertion et de garantir une capacité suffisante du système sur le moyen-long terme.

Technologies et industrialisation

Tous les systèmes TCSP ne présentent pas les mêmes « garanties constructeurs » sur le long terme. Le tramway sur fer, et les BHNS basés sur des modèles de bus relativement classiques, sont des solutions éprouvées en France et en Europe. Il en résulte une concurrence et des économies d'échelle favorables à leur diffusion.

Les nouveaux systèmes guidés sur pneus complets « clef en main » reposent souvent sur un unique constructeur (Lohr, Bombardier, APTS). Alors que le TVR est quasiment abandonné par Bombardier, le *Translohr* poursuit son développement en France, en Italie et en Asie. En ce qui concerne le Phileas, il n'est pas à ce jour homologué en France et il éprouve des difficultés de mise en œuvre aux Pays-Bas et en Turquie. Plus simple et moins coûteux, la solution du guidage optique « en option » intéresse les constructeurs et pourrait poursuivre son développement. Quel que soit le matériel (tramway ou bus), les recherches mettent aujourd'hui largement en avant les questions de motorisation et de suppression des lignes électriques de contact, pour lequel le tramway sur fer possède un temps d'avance : systèmes d'APS à Bordeaux sur plus de 10 km, batteries embarquées à Nice pour traverser la place Masséna, et nombreuses recherches en cours chez les constructeurs⁶. Lohr propose aussi un fonctionnement sur batteries du *Translohr* pour de courtes distances (moins de 2 km à Padoue) et étudie un système de caténaires inversés qui suppose toutefois l'installation de poteaux en grand nombre (distance

inter-poteaux inférieure à la longueur du véhicule). En ce qui concerne le bus, si des systèmes avec batteries sur courte distance semblent pouvoir émerger rapidement, leur circulation complète « sans fil » renvoie sans doute à un horizon plus lointain.

Autres caractéristiques des systèmes

Les autres caractéristiques des systèmes TCSP ne semblent pas jouer un rôle déterminant dans le choix final. Du point de vue **des émissions de CO₂**, la filière électrique mise en avant par l'État dans le cadre de sa politique d'aide financière aux projets de TCSP trouve une réponse tant pour le tramway que pour le BHNS (trolleybus). Concernant le **bruit**, les nuisances sont aujourd'hui bien maîtrisées même si les problèmes de crissements en courbes serrées des tramways sont toujours problématiques. Ces problèmes de crissements en courbe incitent les concepteurs à choisir des tracés les plus rectilignes possibles d'autant plus que les rayons de faible courbure sont aussi sources d'usure rapide des rails et de sensibles limitations de vitesses. Les conclusions relatives à l'impact des tramways sur les **activités économiques** semblent pouvoir s'appliquer aux BHNS (études en cours à Rouen). Enfin, même si les **travaux** d'un BHNS peuvent être moins longs que ceux d'un tramway (tout dépend du niveau de service recherché), cet argument ne semble pas déterminant dans le choix du système.

Conclusion

Les TCSP de surface (tramway et BHNS) sont des outils performants à disposition des collectivités pour accompagner une politique de transports urbains durables. Première ligne de TCSP ou poursuite d'un réseau, la réflexion doit s'appuyer sur des scénarios (tracé, système, organisation, insertion) qui s'inscrivent dans une vision globale à long terme du réseau de TC et du développement de l'agglomération.

L'analyse des caractéristiques des systèmes montre que l'entrée coûts/besoins et la dimension insertion urbaine sont déterminantes dans le choix du système le plus adapté aux objectifs des collectivités. Chaque système dispose en effet de son propre domaine de pertinence. Toutefois, les incertitudes qui pèsent sur l'évolution de la mobilité en France (prix du pétrole ? durée et impact de

la crise économique ? prise de conscience environnementale ? potentiel réel de report modal ? etc.) apportent une complexité supplémentaire dans le choix de systèmes pertinents sur le long terme (15 ans, 30 ans, voire plus !) et impactent sur la capacité des collectivités à les financer.

En parallèle, l'innovation technologique et conceptuelle se poursuit afin d'offrir les solutions les plus adaptées aux besoins des territoires : les fils disparaissent des centres historiques, le concept de BHNS s'ouvre sur le périurbain en complément de l'offre ferroviaire (projet TSPO à Strasbourg, réflexions à Grenoble, Toulouse, etc.), les transports par câbles pourraient trouver une place en milieu urbain et périurbain (projet de Grasse), les discussions sur un « tramway économique » (projet de Bezançon) se poursuivent...

⁶ Système d'alimentation par le sol chez Bombardier (projet PRIMOVE avec technologie d'induction) et chez Ansaldo (projet TRAMWAVE) ou supercondensateurs chez Alstom (projet STEEM) ou Siemens (projet ITRAS HES).

Sigles

APS: Alimentation Par le Sol

APTS: Advanced Public Transport Systems

DGITM: Direction Générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer

GART: Groupement des Autorités Responsables des Transports

INRETS: Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité

PDU: Plan de Déplacements Urbains

STRMTG: Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés

TEOR: Transports Est-Ouest de l'agglomération rouennaise

TSPO: Transport en Site Propre Ouest strasbourgeois

TVM: Trans-Val-de-Marne

TVR: Transports sur Voie Réservée (Bombardier)

UTP: Union des Transports Publics et ferroviaires

Références

- Sites web BHNS au niveau français www.bhns.fr et au niveau européen www.bhls.eu.
- Finn, B., Heddebaut, O., Rabuel, S., *Bus with a high level of service (BHLS): the European BRT concept*, For submission to the AP050 Bus Transit Systems Committee, Transportation Research Board, 2010.
- Certu, *Bus à haut niveau de service: du choix du système à sa mise en œuvre*, Ouvrage collectif, Certu, Gart, Inrets, Cete, UTP, Certu, France, publication prévue pour novembre 2009.
- Gouin, T. (rédacteur), Rabuel, S., Varnaison-Revolle, P., *Planification urbaine et tramway en France, Mobilité et Transports: Le Point sur*, No9, Certu, France, publication prévue pour novembre 2009.
- Certu, *Carte des villes à TCSP au 1er janvier 2009, Carte des villes à tramway au 1er mai 2009, Carte des villes à BHNS au 1er mai 2009* (en téléchargement sur le site web du Certu).
- Zhang, M., *Bus vs. Rail: A meta-analysis of cost characteristics, carrying capacities, and land use impacts*, In *TRB 2009 Annual Meeting CD-ROM*.
- Hsu, L.R., *Project cost models for mode choice between light rail and bus rapid transit systems*, In *TRB 2009 Annual Meeting CD-ROM*.
- Dauby, L., *LRT/BRT: mind the pitfalls!*, In *Public Transport International*, p.35, novembre/décembre 2008.
- Deutsch, V., *Cost pointers for the implementation of tramway and bus systems*, In *Public Transport International*, pp.48-51, septembre/octobre 2008.
- Cain, A., Flynn, J., McCourt, M., Reyes, T., *Quantifying the importance of image and perception to Bus Rapid Transit*, NBRTI, FTA, 2008.
- Certu, Cete de Lyon, *Panorama des villes à transports publics guidés hors Ile-de-France, situation 2005*, Lyon, Certu, 53 p., 2007 (en téléchargement sur le site web du Certu).
- Vuchic, V.R., *Métros légers et liaisons rapides par autobus, modes concurrents ou complémentaires?* In *Transportation Public International*, pp.10-13, 2005.
- Certu, *Bus à haut niveau de service, Concept et recommandations*, Ouvrage collectif, Certu, Gart, Inrets, UTP, Certu, Lyon, France, 111 p., 2005.
- Certu, Armacande, *Déplacements et commerces, Impacts du tramway sur le commerce dans différentes agglomérations françaises*, Lyon, Certu, 48p., 2005. (en téléchargement sur le site web du Certu).
- Soulas, C., *Les transports guidés sur pneus dits "systèmes intermédiaires" dans le contexte de l'innovation en transport collectif urbain*, In *Transports Urbains*, N°105, pp.3-11, octobre-décembre 2003.
- Certu, *Evaluation des transports en commun en site propre, Recommandation pour l'évaluation socio-économique des projets de TCSP*, Lyon, Certu, 144 p., 2002.
- Levinson, H.S., Zimmerman, S., Clinger, J., Rutherford, S.C., *Bus Rapid Transit: An Overview*. In *Journal of Public Transportation*, volume 5 No2, pp.1-30, 2002.
- Beauçire F., Emangard, P.H., *un réseau et ses territoires: le tram-train d'interconnexion de Karlsruhe*, In *Géographie des transports*, Flux n°41, p.41-45, juillet-septembre 2000.

Contact : sebastien.rabuel@developpement-durable.gouv.fr

Ont contribué à la réalisation de cette fiche :

Dominique Bertrand, Cécile Clément, Thierry Gouin, Christian Lebondier, Sébastien Rabuel,
François Rambaud, Patricia Varnaison-Revolle et Thomas Vidal du Certu
Sophie Hasiak du Cete Nord-Picardie, Stéphane Patouillard du Cete Méditerranée,
Mathieu Rabaud du Cete Normandie-Centre, Jean Robert du Cete de Lyon,
Odile Heddebaut et Claude Soulas de l'Inrets.

© 2009 Certu

La reproduction totale ou partielle du document doit être soumise à l'accord préalable du Certu.

Mise en page : Cete de Lyon.

Certu

centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques

9, rue Juliette Récamier 69456 Lyon Cedex 06

téléphone: 04 72 74 58 00 - télécopie: 04 72 74 59 00

www.certu.fr

Resources, territoires, infrastructures et transports
Énergie et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

**Présent
pour
l'avenir**