

Référentiel pour le choix des systèmes de transports collectifs à haut niveau de service

décembre 2018



date : décembre 2018

auteur : Cerema

rédacteurs : Florence GIRAULT et Marine MILLOT

versions du document :

<i>Date</i>	<i>Version</i>	<i>Commentaires</i>
28/11/17	V1	Envoi pour traduction et relectures internes
07/12/18	VF	

Sommaire

1. Présentation de la notion de système de transport collectif urbain	6
1.1 Notion de système de transport collectif	6
1.1.1 Le matériel roulant	6
1.1.2 Les infrastructures	7
1.1.3 L'exploitation	9
1.1.4 L'intérêt d'une approche systémique	9
1.2 Le concept de Haut niveau de service	10
1.3 Présentation des principaux modes lourds de transports collectifs en France	11
2. Les enjeux du projet de transports	13
2.1 Réseau de transport et projet de territoire	13
2.2 Le projet de transport au sein du réseau	14
2.2.1 Hiérarchiser le réseau de transport	14
2.2.2 Complémentarité des modes et intermodalité	15
3. Présentation des critères français de choix du mode	16
3.1 Un processus de choix rarement linéaire et propre à chaque contexte institutionnel et politique	16
3.2 L'offre de service	17
3.2.1 Capacité d'un système	17
3.2.2 Attractivité d'une ligne	19
3.2.3 La vitesse commerciale	19
3.2.4 Confort	20
3.2.5 Accessibilité	21
3.3 Le coût global du système incluant l'investissement, la durée de vie, l'exploitation et la maintenance	21
3.4 L'image du projet incluant les enjeux de réaménagement urbain	25
3.5 Les caractéristiques pour l'insertion urbaine incluant l'analyse des contraintes comme les emprises disponibles	28
3.6 Les impacts du projet incluant les caractéristiques pour l'environnement	31
3.7 Le principe de l'analyse multicritère	33
4. Conclusion	35
5. Références bibliographiques	36
6. Annexes	37
6.1 Vitesse commerciale	37
6.2 Gabarit des véhicules et insertion urbaines	39

Le présent document a été rédigé dans le cadre du projet d'élaboration d'un **référentiel pour le choix des systèmes de transports collectifs à haut niveau de service, adapté au contexte latino-américain**. Ce projet rentre dans le cadre de la convention France – CEPAL (Commission économique des pays d'Amérique Latine et des Caraïbes).

L'objectif de ce projet est de contribuer au renforcement des capacités dans le domaine de la mobilité urbaine et de la ville durable, à un niveau régional latino-américain, en participant à la production d'outils d'aide à la décision.

Ce document constitue un premier livrable à destination de nos partenaires latino-américains. Il vise à expliciter les pratiques françaises liées au processus de choix d'un mode de transport urbain structurant.

Dans une première partie, sont présentés les concepts de « systèmes de transports » et de « haut niveau de service ». Ensuite, sont développés les enjeux d'un projet de transports. Enfin, les critères « français » de choix d'un mode sont détaillés.

1. Présentation de la notion de système de transport collectif urbain

1.1 Notion de système de transport collectif

La notion de système de transport collectif est caractérisée par 3 sous-systèmes :

- le matériel roulant,
- les infrastructures associées,
- les équipements de gestion et modalités d'exploitation.

Chacun de ces sous-systèmes contribue à la qualité et performance du système de transport.

1.1.1 Le matériel roulant

Le matériel roulant regroupe :

- les véhicules nécessaires à l'exploitation commerciale y compris ceux en réserve,
- les options techniques choisies (traction, aménagements intérieurs, confort...).

Les matériels peuvent être affectés à des lignes bien définies ou être gérés globalement sur plusieurs lignes.



Sur un tronç commun, des véhicules floqués différemment selon les lignes (Photo : Cerema)

1.1.2 Les infrastructures

Le sous-système « infrastructures » regroupe :

- la plateforme et la voie sur laquelle circule le matériel roulant (liées au degré de site propre nécessaire),
- les équipements d'alimentation en énergie,
- les ateliers et dépôts, et les voies pour y parvenir,
- les points d'arrêt et leurs zones d'attente et de commodités associées, les lieux d'échange, les espaces de vente et d'accueil de la clientèle...
- les installations techniques telles que les ascenseurs et escaliers mécaniques,
- les aménagements nécessaires à l'insertion du projet, dont notamment les dispositions constructives de déplacement et rétablissement de réseaux et voies existantes,
- les aménagements qualitatifs complémentaires.

La plateforme sur laquelle circule le transport collectif peut être :

- **dédiée entièrement au système de transport identifié**, avec éventuellement possibilité pour les systèmes d'urgence de les emprunter lors de leurs interventions,



Exemple de plateforme dédiée au tramway

(Photo : Cerema)

- **partagée avec d'autres systèmes de transport collectif** (ex : tramway-bus) ou d'autres usagers (taxi, vélo...),



*Exemple de plateforme partagée entre le bus et les vélos
(Photo : Cerema)*

- ouverte à tous les usagers sans restriction, c'est ce qu'on appelle **le site banal**.



*Exemple de plateforme tramway, ouverte aux autres modes (voitures et vélos)
(Photo : Cerema)*

1.1.3 L'exploitation

Le sous-système « équipements de gestion et modalités d'exploitation » comprend :

- les lieux d'exploitation tels que le poste de commande centralisé, les bureaux et lieux de vie du personnel,
- tous les équipements nécessaires à l'exploitation du système (SAE),

A travers ces équipements se pose notamment la question de la priorité donnée au mode de transport collectif (priorité aux feux par exemple).

NB : en Europe, dans la moitié des pays seulement, le tramway a la priorité absolue aux carrefours (Source : COST 2015). La France fait partie des pays donnant la priorité absolue aux tramways, sous réserve qu'ils respectent leur signalisation dédiée.

- les modalités choisies pour la régulation du mode nominal et des modes dégradés, y compris celles qui concernent la sécurité des biens et des personnes,
- les modalités choisies pour la billettique. Celles-ci pouvant avoir notamment des impacts sur les temps d'accès au véhicule, mais aussi sur les conditions d'intermodalité.

1.1.4 L'intérêt d'une approche systémique

Selon les **caractéristiques choisies pour les trois sous-domaines précédemment évoqués, les résultats seront différents en termes de performance de transport**. À noter que pour les systèmes ferrés, la réflexion « système » est souvent intégrée. C'est moins le cas pour les systèmes routiers, les sous-domaines ne relevant pas forcément des mêmes autorités.

Certaines **relations entre sous-domaines doivent impérativement être prises en compte** comme :

- la longueur des quais qui doit permettre l'accès à toutes les portes du matériel roulant,
- une exploitation en site propre avec priorité aux feux pour une fréquence de passage très élevée,
- une hauteur de quais qui doit être compatible avec le matériel roulant.

Cette notion de système est importante. Des choix faits sur un élément peuvent avoir des conséquences sur les autres. Par exemple, Montpellier, en choisissant de floquer ses rames de tramway selon les lignes (hirondelles pour la ligne 1, fleurs pour la ligne 2...) permet une facile reconnaissance des lignes par les usagers, c'est notamment intéressant sur les troncs communs. Par contre, cela pose des questions en terme d'exploitation et notamment dans la gestion des véhicules de réserve qui sont souvent partagés entre plusieurs lignes. Il a ainsi été choisi ne pas floquer les véhicules de réserve, qui ne seront donc pas identifiables par les usagers (voir figure de la partie 1.1.1 Le matériel roulant).

1.2 Le concept de Haut niveau de service

Le **niveau de service** mesure la quantité du service programmé, c'est-à-dire **les moyens mis en œuvre**, notamment par l'exploitant du réseau, pour assurer le service.

La **qualité du service mesure l'écart entre le service programmé et celui effectivement réalisé** (régularité, respect des horaires, propreté, etc.) en référence à la norme « Qualité de service » EN13816. Plus concrètement, la qualité de service renvoie à **ce que ressent l'usager** lorsqu'il utilise le transport collectif.

Le concept de « Transport collectif à Haut Niveau de Service (THNS) » vise à satisfaire au mieux la demande au regard de quatre critères privilégiés, avec une exigence de qualité de service :

- **Fréquence :**
 - Recherche de la fréquence optimale au regard de la demande de déplacement :
 - les systèmes tramway et bus permettent jusqu'à 1 passage tous les 2 minutes en heure de pointe dans les sites complètement dédiés
 - les systèmes métro et ferré lourd permettent jusqu'à 1 passage par minute
 - Quelques repères :
 - pour une fréquence inférieure à 10 minutes, les passagers n'ont pas besoin de connaître les horaires,
 - une fréquence de 20 minutes correspond au temps d'attente maximal acceptable si on manque le passage d'un transport collectif. Au-delà de ce seuil, le service n'est plus attractif pour les non captifs,
 - au-delà de 60 minutes, le service n'est pas attractif pour l'ensemble des voyageurs.
- **Amplitude horaire :** garantir le maximum d'activités réalisables en TC (pas seulement les déplacements domicile-travail) grâce à une amplitude de fonctionnement étendue (par exemple : 5h-24h, avec éventuellement une amplitude particulière les vendredis et samedis soirs)
- **Vitesse commerciale :** rendre compétitif le TC en temps de parcours (ce critère est davantage développé dans le chapitre 3.2).
- **Régularité :** fiabiliser les temps de parcours des TC, c'est-à-dire réduire les écarts de temps de parcours entre heure de pointe et heure creuse, ainsi que réduire l'intervalle entre deux passages du TC.

A ces critères principaux, sont rajoutés des critères **de confort et d'accessibilité** à tous les usagers y compris les plus vulnérables (ces critères sont développés dans le chapitre 3.2).

Le confort inclut le confort à bord du véhicule ainsi que dans les lieux d'attente.

L'accessibilité inclut l'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite (pour accéder à la station, pour accéder au véhicule, et pour voyager à bord du véhicule).

Chaque sous-système présenté précédemment intervient dans le niveau de service proposé aux usagers. Il convient ainsi de choisir de façon cohérente les caractéristiques de chaque sous-système afin d'atteindre le niveau de service souhaité.

1.3 Présentation des principaux modes lourds de transports collectifs en France

En France, les principaux systèmes de transports collectifs **urbains** à haut niveau de service qui se sont développés sont le métro, le tramway et le bus à haut niveau de service (BHNS).

Chacun de ces modes associe un matériel roulant, une infrastructure et des modalités de gestion spécifiques et peut être décliné pour s'adapter au territoire et à la demande.

Le métro est un véhicule ferroviaire, il emprunte systématiquement une infrastructure dédiée. Des distinctions peuvent exister en termes de matériel ou d'exploitation :

- des métros avec conducteurs et des métros automatiques,
- des métros « traditionnels » et des métros « légers » ou Véhicule Automatique Léger (VAL) utilisant du matériel roulant de plus faible capacité.

Le tramway est un véhicule ferroviaire, adapté à la circulation sur voirie. Il est non soumis au code de la route. Le matériel roulant présente une grande capacité (longueur, largeur, couplage), ainsi qu'un bon confort et une quasi-accessibilité totale. En termes de contraintes, ce véhicule présente un mauvais freinage (pour le système sur rail), son domaine d'emploi est limité en rampe (8%, voire 10% max), et il est bien sûr « prisonnier de ses rails ».

Il existe une diversité de matériel roulant : sur rails ou sur pneus, de largeur variée entre 2,3 m et 2,65 m, de longueur également variée (forme compacte de 20 m, rame longue de 40 m, double rame). Des innovations sont en cours au regard du système de motorisation.

Le bus est un véhicule routier, standard ou articulé, soumis au code de la route. Il présente une capacité limitée et un confort moindre par rapport aux véhicules ferroviaires. En revanche, il a de bonnes capacités de freinage et il peut sortir de son site. Il est plus ouvert en termes d'exploitation et d'utilisation d'infrastructures variées. En France, sont ainsi mis en œuvre des bus à haut niveau de service (BHNS) avec ou sans priorité aux feux, guidés ou non.

A Nantes, le BHNS « Busway » bénéficie des caractéristiques qui ont fait le succès du tramway :

- *fréquence de 3 minutes en heure de pointe,*
- *amplitude horaire de 5 heures à minuit,*
- *site propre sur la quasi-totalité du tracé,*
- *priorité aux feux,*
- *stations de type tramway avec billetterie automatique,*
- *design spécifique du matériel roulant...*

Longue de 7 kilomètres, la ligne transporte près de 34 000 voyageurs par jour. Les travaux du Busway se sont accompagnés de la requalification en boulevard urbain d'une ancienne pénétrante autoroutière.

Selon les caractéristiques des villes, d'autres modes se sont développés comme

- le téléphérique urbain
- les navettes fluviales ou maritimes

qui sont notamment des modes pertinents dans le cas de franchissement.

Les navettes fluviales et maritimes sont des systèmes adaptés au franchissement de baie ou fleuve. Elles ont des performances comparables à celles d'un bus en termes de capacité et de vitesse commerciale. Des innovations technologiques se développent pour améliorer les systèmes d'accostage et faire évoluer les motorisations.

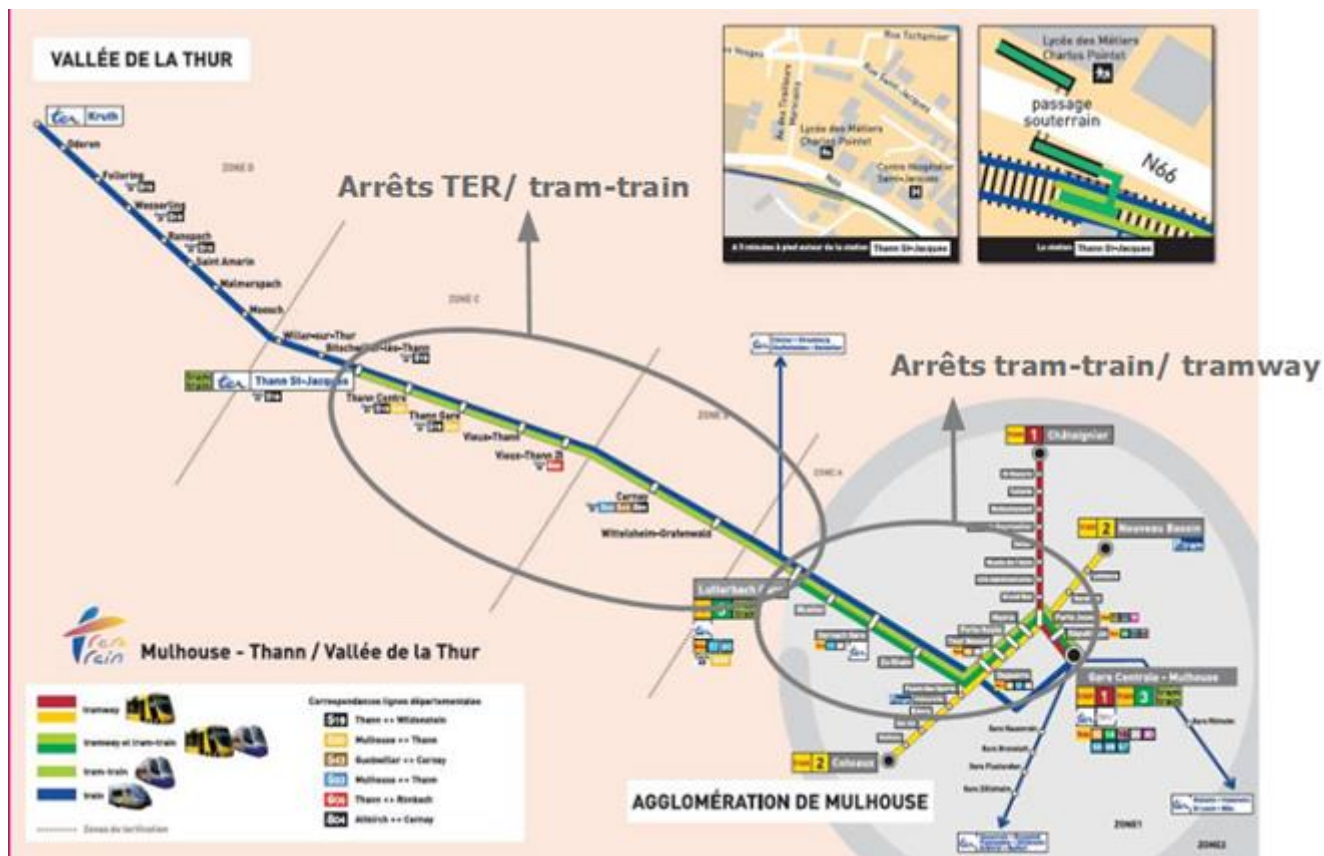
Les systèmes aériens à câble sont des systèmes de transport où le véhicule (cabine) est soutenu et tracté par un ou plusieurs câbles. Il est intégralement guidé et se déplace en site propre intégral, non partagé.

Deux types de véhicules se distinguent :

- les téléphériques, qui sont des grandes cabines circulant en aller-retour,
- les télécabines, qui sont des cabines de taille plus réduite, circulant en boucle.

Certains systèmes de transports routiers et ferrés se sont également développés afin de répondre aux besoins de desserte des **territoires métropolitains ou périurbains**. Ainsi, la région francilienne (unique en France par sa population et sa densité) est structurée par un réseau ferroviaire métropolitain (RER et Transilien), complémentaire au réseau urbain parisien, qui dessert Paris et ses banlieues.

Des projets de tram-trains se sont également développés dans quelques agglomérations françaises. Ainsi, à Mulhouse, le tram-train dessert la vallée de la Thur jusqu'à Thann, en circulant à la fois sur le réseau ferré national et sur le réseau de tramway. Les tram-train de l'ouest lyonnais ou de Nantes-Châteaubriant sont davantage des trains légers, dans la mesure où ils ne sont pas interconnectés au réseau urbain. Ils bénéficient d'un matériel roulant adapté avec des capacités accrues de freinage et accélération.



Principe de circulation mixte du tram-train de Mulhouse

Source : Solea, Mulhouse Alsace Agglomération, SNCF

Ces différents systèmes peuvent être classés selon leur infrastructure, leur matériel roulant et leur exploitation.

2. Les enjeux du projet de transports

2.1 Réseau de transport et projet de territoire

En France les lignes de transports collectifs « lourds » visent à répondre à une forte demande de déplacement mais elles constituent plus largement un levier pour les politiques d'aménagement, d'une part à l'échelle globale du territoire de l'agglomération, et d'autre part à l'échelle locale, autour des stations.

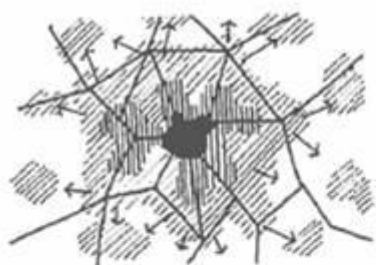
Par exemple,

- la construction des 68 gares du Grand Paris (rocares ferroviaires franciliennes) s'accompagne de nombreux projets urbains ;
- à Grenoble, le prolongement du tramway a été réalisé dans le cadre d'un contrat d'axe visant à densifier l'urbanisation le long de la ligne.

Le défi est de développer les politiques d'aménagement du territoire en lien avec les politiques de transports afin qu'elles se complètent et se mettent en oeuvre ensemble. D'un côté, les stratégies de localisation à long terme de l'habitat, et les évolutions de mode de vie et de comportement de mobilité peuvent modifier les équilibres et les besoins de déplacements, de l'autre, elles peuvent être influencées par la politique de transport.

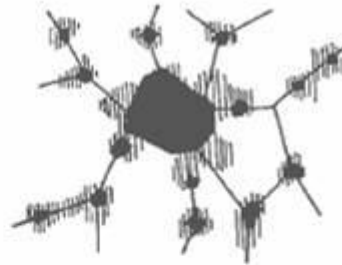
En France, de nombreux documents de planification territoriale prévoient de densifier l'urbanisation le long des axes de transports ou à proximité des gares.

Un territoire urbain polycentrique est desservi plus efficacement par les transports collectifs qu'un territoire urbanisé « en tâche ».



Evolution urbaine en tâche
Organisation urbaine éclatée
Faibles densités
Espaces monofonctionnels

Système de déplacements
Nombre élevé de déplacements motorisés
Distances des déplacements motorisés en croissance
Faible usage des modes autres que la voiture



Système d'urbanisation durable
Organisation polycentrique
Diversité urbaine
Densités élevées

Système de déplacements durable
Déplacements motorisés le plus bas possible
Distance d'un déplacement motorisé la plus courte possible
Consommation des ressources pour les déplacements motorisés la plus basse possible
Déplacements en TC, à pied, à vélo le plus élevé possible

Organiser un système urbain durable

Source : Cerema DteCTV – ouvrage SCoT et déplacements.

La définition du **périmètre de réflexion** est importante. En effet, la pertinence du mode peut être modifiée selon si on ne considère que la ville-centre, ou au contraire si on arrive à intégrer les communes périurbaines et à s'approcher du bassin de vie réel des populations. Ainsi, en France les réflexions sur les transports urbains se font à l'échelle du périmètre de l'autorité organisatrice de la mobilité (AOM) qui regroupe la ville centre et sa périphérie.

2.2 Le projet de transport au sein du réseau

2.2.1 Hiérarchiser le réseau de transport

La hiérarchisation des réseaux consiste à structurer l'offre par niveaux de service :

- des lignes structurantes à haut niveau de service (ex : métros)
- des lignes majeures (tramways ou BHNS)
- des lignes complémentaires (bus)
- des lignes de desserte spécifiques (minibus, transport à la demande...)

Hiérarchiser un réseau permet d'adapter l'offre à la demande et de rendre le réseau plus lisible pour l'utilisateur.

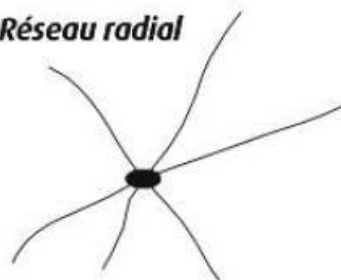
Hiérarchiser ne signifie pas concentrer tous les efforts sur la première ligne de transport collectif à haut niveau de service. L'amélioration du service doit être continue et la collectivité doit disposer de marge de manœuvre pour penser au moyen et long terme. Par ailleurs, selon le principe du maillage du réseau, les lignes

complémentaires ne doivent pas être toutes pensées en rabattement vers les lignes structurantes au risque de saturer ces dernières (principe du rabattement sans contrainte).

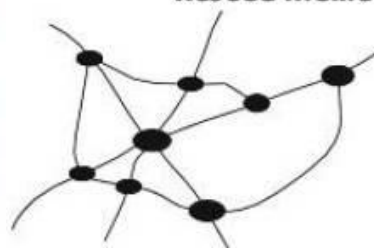
Le maillage peut être réfléchi dès la première ligne. Cela permet ainsi d'éviter une première ligne de transport collectif trop longue, qui peut créer des difficultés en terme d'exploitation. Par ailleurs, les réseaux radiaux, qui concentrent l'offre en un point d'échanges, créent des saturations au croisement des lignes.



Réseau radial



Réseau maillé



Croisement de 5 lignes de tramway à la station Homme de Fer à Strasbourg

Le maillage du territoire par le réseau de transport collectif permet une desserte optimale du territoire par une répartition de l'offre et des flux.

2.2.2 Complémentarité des modes et intermodalité

La hiérarchisation comme principe de structuration de réseau part du postulat que chaque mode a son domaine de pertinence et vient en complémentarité avec les autres, et non pas en concurrence.

En France, la complémentarité des lignes des réseaux de transports est d'autant plus facilement pensée que l'ensemble du réseau (métro, tramway, bus) est organisé par une unique autorité organisatrice de la mobilité. Ce n'est pas toujours le cas dans les pays d'Amérique latine où une multiplicité d'acteurs peut intervenir pour la planification, le financement et l'organisation des différents modes constituant le réseau de transport collectif.

Ce principe d'organisation des réseaux permet de mettre en avant les principaux lieux de correspondances (pôles d'échanges multimodaux) qui devront faciliter le passage d'un mode à l'autre pour l'utilisateur. D'autres outils permettent de faciliter l'intermodalité pour les usagers : l'information multimodale, la billettique, l'intégration tarifaire.

3. Présentation des critères français de choix du mode

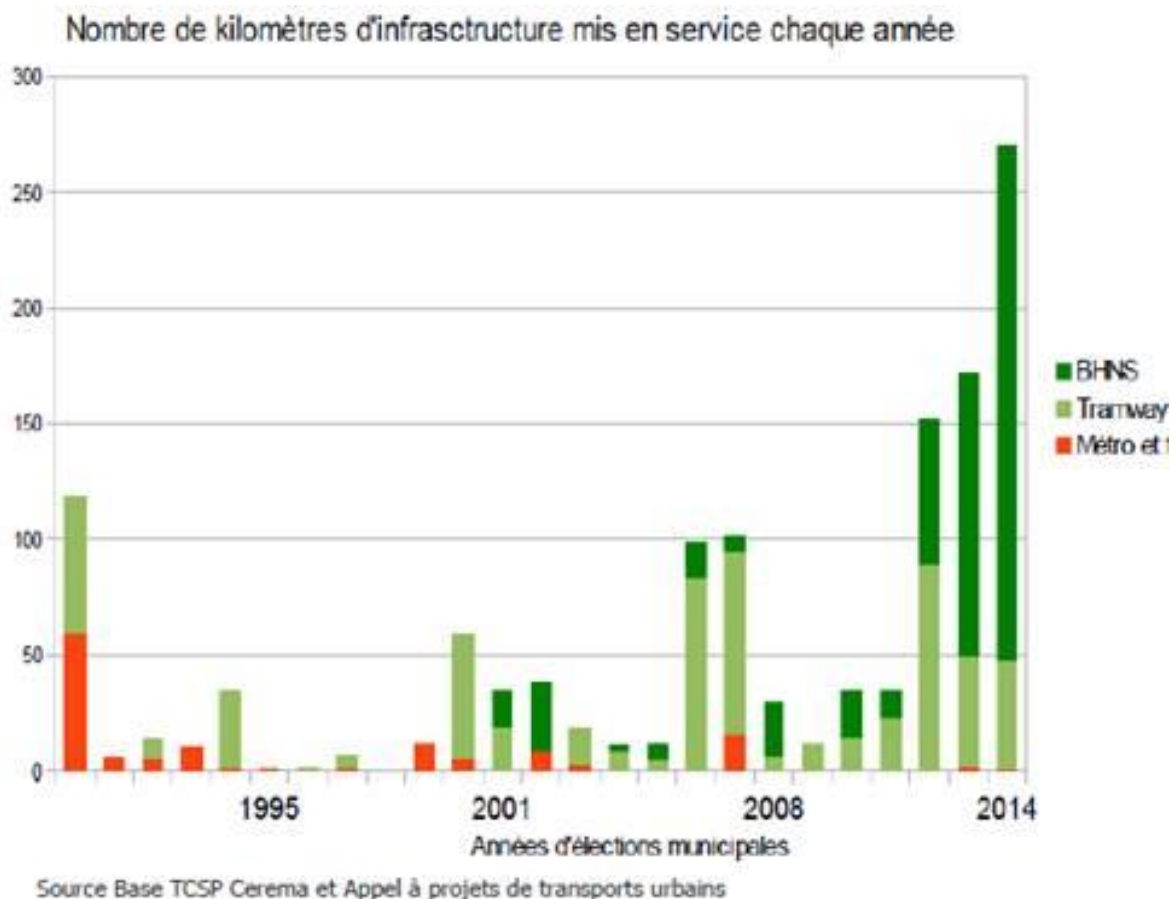
Cette version du rapport ne traite pas des délais de réalisation du projet comme critère de choix du système.

3.1 Un processus de choix rarement linéaire et propre à chaque contexte institutionnel et politique

Malgré l'existence d'un référentiel technique et de critères techniques objectifs pour aider au choix du mode, les projets de transports ne suivent pas forcément un processus linéaire. Les choix peuvent être largement liés au contexte politique.

En France, plusieurs villes ont pu voir leur projet de transport retardé ou modifié (modification du tracé ou du choix du système) à la suite de changement de majorité politique.

Un projet de transport s'appuie en effet sur une forte volonté politique. Le calendrier électoral rythme ainsi le développement des transports collectifs à haut niveau de service. On observe en France un saut de mise en service de ces projets à l'approche des élections électorales.



3.2 L'offre de service

3.2.1 Capacité d'un système

On définit la capacité d'un système, ou débit horaire D, de la façon suivante :

$$D = C \cdot 60 / I$$

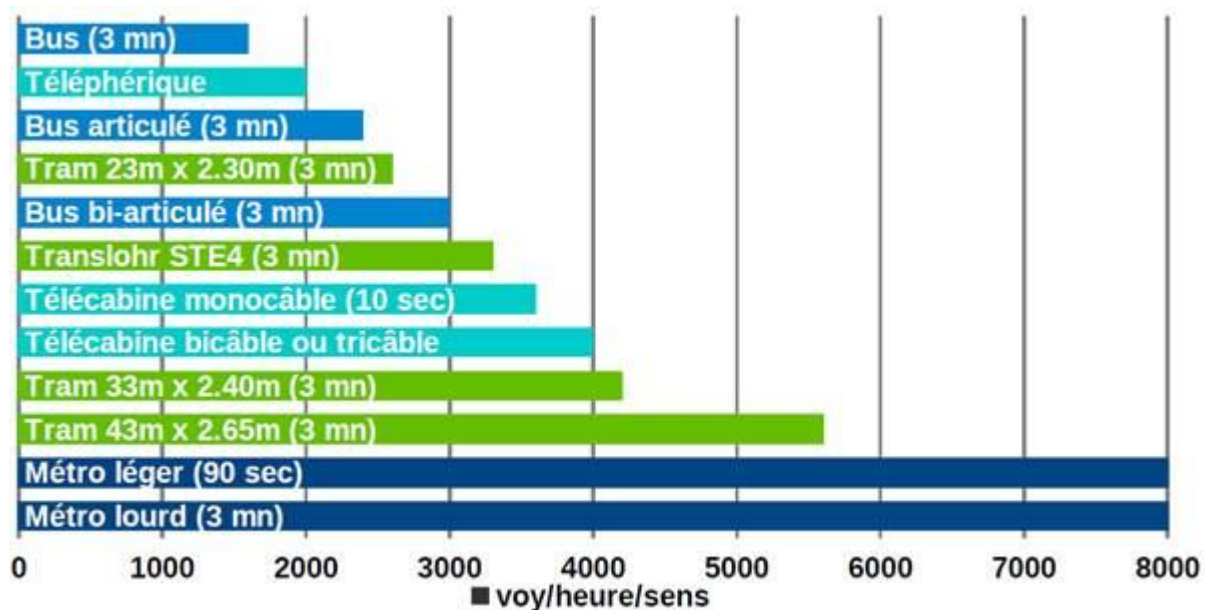
avec C la capacité du véhicule et I l'intervalle de passage en minutes, entre deux véhicules.

La **capacité d'un système dépend du choix du matériel roulant, de son aménagement intérieur, mais aussi des conditions d'exploitation, des éventuelles perturbations du service et de l'infrastructure** (qui conditionnent l'intervalle de passage du véhicule).

Le choix de la capacité souhaitée d'un système doit résulter d'une réflexion sur la structure du réseau et sur la fonction que la ligne doit assurer au sein du réseau (cf principe de hiérarchisation des réseaux). L'analyse de la demande permet d'évaluer la fréquentation potentielle de la ligne en heures de pointe (débit horaire maximal), qui dimensionnera le système. La fréquentation potentielle doit donc **prendre en compte les projets de développement du territoire** (projets urbains, densification...).

La capacité d'un système doit ainsi être adaptée non seulement à la demande actuelle mais également anticiper la demande future. Pour cela, utiliser des modèles de prévision de la demande peut être recommandé.

Le graphique ci-dessous précise les **capacités des différents systèmes pour une fréquence donnée**, et pour un remplissage de 4 personnes / m² (norme française). La fréquence dépend des différents éléments du système de transport collectif : le matériel, l'infrastructure (dédiée ou non, densité d'interactions avec d'autres réseaux...), l'exploitation (priorité donnée aux points d'interaction...).



Capacité des systèmes (4pers/m²)

Source : Certu, 2009, Tramway et Bus à haut niveau de service en France (BHNS) : domaines de pertinence en zone urbaine. Collection « Le point sur » en Mobilité et Transports, fiche n°12

Un système en sous-capacité (capacité inférieure à la demande) entraîne un manque de confort pour l'utilisateur (sur-remplissage du matériel), mais également une baisse de la vitesse commerciale (allongement du temps aux arrêts) ainsi que de la ponctualité et de la régularité. Cela a pour conséquence de diminuer la capacité effective du système et le niveau de service offert à l'utilisateur.

En France, la capacité unitaire théorique de confort est calculée sur la base de 4 pers/m². On retient une charge de 6 pers/m² pour dimensionner les « charges exceptionnelles » de la ligne. La charge de 8 pers/m² correspondent aux normes

Niveaux de service offerts aux passagers ⁴¹					
Niveau de service	Bus		Rail		Commentaires
	m ² /pers.	pers./siège*	m ² /pers.	pers./siège	
A	>1,20	0,00 à 0,50	>1,85	0,00 à 0,50	Aucun passager n'est obligé de s'asseoir à côté d'un autre
B	0,80 à 1,19	0,51 à 0,75	1,30 à 1,85	0,51 à 0,75	Les passagers peuvent choisir où s'asseoir
C	0,60 à 0,79	0,76 à 1,00	0,95 à 1,29	0,76 à 1,00	Tous les passagers peuvent s'asseoir
D	0,50 à 0,59	1,01 à 1,25	0,50 à 0,94	1,01 à 2,00	Espace confortable pour les passagers debout
E	0,40 à 0,49	1,26 à 1,50	0,30 à 0,49	2,01 à 3,00	Charge maximale prévue
F	< 0,40	>1,50	< 0,30	>3,00	Passagers entassés

* Les valeurs approximatives pour comparaison des « niveaux de service » sont basées sur les surfaces par passager.

constructives des matériels. Elle correspond à des conditions de transports très peu attractives pour les usagers et peut entraîner des dysfonctionnements aux arrêts et des baisses de vitesse commerciale. Pour éviter ces dysfonctionnements, des agents régulent par exemple la fermeture des portes sur le RER A francilien).

Niveaux de service offerts aux passagers en fonction des m²/pers
Source : Certu, 2004, Les modes de transports collectifs urbains. Éléments de choix par une approche globale des systèmes.

3.2.2 Attractivité d'une ligne

Pour la clientèle, l'attractivité d'une ligne de transport dépend fortement du **temps global de déplacement** qu'implique cette ligne, c'est-à-dire de

- la vitesse commerciale : vitesse moyenne de circulation d'un terminus à l'autre
- la fréquence d'exploitation (qui détermine le temps d'attente moyen) (voir 1.2 Le concept de Haut niveau de service)
- la régularité (avance et retard à l'arrêt)
- les temps d'accès aux TC, les temps de transfert entre modes et les temps jusqu'à la destination finale.

3.2.3 La vitesse commerciale

La vitesse commerciale dépend de différents éléments dont notamment :

- des vitesses maximales autorisées ou possibles en ligne (sinuosité du tracé, congestion ou site propre, nature des sites traversés, densité de carrefours et priorité aux carrefours, exploitation en tronç commun...),
- des performances cinématiques des véhicules,
- de la distance moyenne entre stations : plus cette distance est longue, plus la vitesse commerciale est élevée
- du temps d'arrêt moyen en station, qui dépend de la fréquentation, du nombre de portes du matériel et de leurs largeurs, de la qualité de l'interface quai/véhicule, du système de billettique (l'achat et la validation des titres à bord entraîne une perte de temps).

Selon les composantes des sous-domaines, des différences de vitesses commerciales sont observées :

- en site banal, de l'ordre de 10 à 20 km/h,
- en site propre avec priorité aux feux, les systèmes de bus guidés et les tramways peuvent atteindre des vitesses commerciales de 18 à 20 km/h, voire 25 km/h si les inter-stations sont plus longues,
- les systèmes métros, avec des sites propres intégraux permettant des vitesses maximales supérieures (70 km/h) peuvent atteindre des vitesses commerciales de 25 à 35 km/h.

Du point de vue de la hiérarchie du réseau, les lignes structurantes ont la vitesse commerciale la plus élevée et donc des distances inter-station plus longues que

celles des lignes complémentaires, et des fréquences plus élevées (voir annexe 6.1).

En France, les métros ont une distance inter-station de l'ordre du kilomètre. Cependant, à Paris, le métro fut construit au début du XXe siècle avec l'objectif d'offrir une desserte fine de la capitale. Les distances inter-stations sont en moyenne de 550m seulement.

Les systèmes de BHNS français et de Bus Rapid Transit latino-américains (BRT) se différencient par leur insertion urbaine et leurs caractéristiques de ligne : les BHNS ont une distance inter-station de 500 m tandis que celle des BRT latino-américains peut se rapprocher de celle du métro (de l'ordre du km).

Vitesses commerciales comparées des systèmes				
SYSTÈMES	Vitesse commerciale (en km/h) en heure de pointe	Interstation en m*	Intervalle minimum en min	Régularité
* Systèmes routiers				
sur site banal • autobus et trolleybus	10 à 20 (souvent dégradée en heure de pointe)	300	4 à 5	Difficile à atteindre variation souvent forte entre les HP et les HC
sur site partagé ou propre** • autobus et trolleybus	15 à 20	300 à 500	2 à 3	Bonne sous condition d'une exploitation en site banal limité et d'une priorité aux carrefours
* Systèmes guidés sur pneus	18 à 25	400 à 500	de l'ordre de 2	En attente de retour d'expériences
* Systèmes tramways	18 à 25	400 à 500 et +	de l'ordre de 2	Bonne si prise en compte aux carrefours
* Systèmes métros				
• Métro classique	25 à 35	700 à 800	1,5 à 2	Très bonne
• Val	32 à 35	700 à 800	1 à 2	Très bonne

* Valeur moyenne indicative ; elle dépend du rôle attribué au TC dans le réseau.

Vitesses commerciales des systèmes de transport urbain

Source : Certu, 2004, *Les modes de transports collectifs urbains. Éléments de choix par une approche globale des systèmes.*

3.2.4 Confort

Le confort d'un système renvoie au confort à bord du véhicule ainsi que dans les lieux d'attentes.

En terme de confort, le roulement fer sur fer et le guidage apportent un meilleur confort de roulement pour les usagers (moins de balancement pour les usagers debout).

Par ailleurs, une capacité du système adaptée à la demande garantit un meilleur confort pour l'usager (cf « capacité unitaire théorique de confort »).

La qualité des lieux d'attente inclut l'éclairage, la propreté, les places assises pour l'attente, la protection contre le vent et la pluie, ainsi que leur bon dimensionnement en fonction des densités en heure de pointe. En France, les stations de BHNS sont parfois construites comme celles des tramways afin d'améliorer le niveau de service offert aux usagers.

En termes de bruit, les tramways sur fer modernes sont relativement silencieux.

3.2.5 Accessibilité

L'accessibilité du système renvoie à l'accessibilité à bord ainsi qu'à l'accès au véhicule depuis le quai et au quai depuis l'entrée de la station (cas de stations aérienne ou souterraine).

En terme d'accessibilité aux personnes en fauteuil roulant, les systèmes guidés monotraces (tramway sur fer) proposent des niveaux d'accessibilité optimum tant dans l'interface véhicule / quai qu'à l'intérieur du véhicule (lacunes horizontales et verticales inférieures à 3 cm). Les systèmes routiers en guidage optique présentent également une bonne accessibilité (lacunes horizontales et verticales inférieures à 5 cm).

3.3 Le coût global du système incluant l'investissement, la durée de vie, l'exploitation et la maintenance

Le coût des systèmes de transports collectifs constitue un investissement lourd pour les collectivités, au moment de sa mise en œuvre (coût d'investissement) mais également à long terme. En effet, les coûts d'exploitation et de maintenance ne sont pas à négliger.

Le tableau suivant présente les coûts français relatifs aux différents systèmes.

Système	Bus à Haut Niveau de Service (BHNS)	Tramway	Métro léger (de type Val)	Métro lourd
Coût d'investissements 1 ^{re} ligne	2 à 10 M€/km de site propre	13 à 22 M€/km	60 à 80 M€/km	90 à 120M€/km
Durée de vie des matériels	10-15 ans	30-40 ans	30-40 ans	30-40 ans
Coût d'un véhicule	300 k€ à 900 k€	1,8 à 3 M€/rame	3 à 4 M€/rame	5 à 9 M€/rame
Coût d'exploitation d'une 1 ^{re} ligne	3,5 à 5 €/km	6 à 10 €/km	8 à 10 €/km	10 à 16 €/km

Coûts des principaux systèmes de transport urbain

source : Certu, 2011, *Le coûts des transports collectifs urbains en site propre*

En investissement, 1 km métro = 5 km de tramway = 25 km de BHNS
En exploitation : des coûts par (passagers x km) comparables

Il est intéressant de relever que la réflexion sur la notion de réseau de transports collectifs peut avoir un impact sur les coûts, dans le sens où elle peut permettre de mutualiser certaines dépenses (dépôt, commande groupée de matériel...).

Les paramètres ayant un impact sur les coûts sont les suivants :

- **les aménagements urbains** : en France les projets de tramways s'accompagnent régulièrement de projet d'aménagement urbain (voir partie 3.4 L'image du projet incluant les enjeux de réaménagement urbain).

Ces aménagements liés au « tramway à la française » ont un impact non négligeable sur l'investissement. Les aménagements hors plateforme peuvent ainsi représenter près de 40 % du coût total d'une ligne de tramway.

Cependant, un BHNS qui aurait les mêmes ambitions urbaines atteindrait des coûts proches de ceux du tramway.

A contrario, un tramway périurbain sans aménagement urbain (travaux d'infrastructure réduits, voie unique sur certaines portions, longue distance inter-station) a des coûts d'investissement réduits (coûts divisés par 3 à Valenciennes).

- **les ouvrages d'art et souterrains** : un tramway enterré a des coûts qui se rapprochent de ceux du métro. En effet, l'enfouissement d'une station de tramway ou d'un tronçon de ligne induit des travaux lourds en génie civil et sur voirie. Ainsi, le tramway de Nice, enterré sur 3,6 km et 8 stations, atteint un coût de 70 M€/km sur la section enfouie (hors matériel roulant), ce qui correspond au coût d'un métro léger.

Les surcoûts d'un tramway enterré par rapport à un tramway de surface proviennent également des coûts d'exploitation (ascenseurs, éclairage des stations, gardiennage, fermeture des stations...).

Les métros légers sont quant à eux moins chers que les métros lourds traditionnels car ils sont moins enterrés et de gabarit moins volumineux. Par exemple, le métro léger de Rennes (VAL) a atteint un coût de 60 M€2010 / km

- **la vitesse commerciale** : la vitesse commerciale joue un rôle important en termes de productivité et de coût d'exploitation : à capacité égale, une chute de la vitesse commerciale entraîne une augmentation du nombre de véhicules nécessaires en ligne et donc une augmentation des charges d'exploitation.

L'augmentation du nombre de rames peut également avoir une incidence sur le dimensionnement du dépôt et son coût.

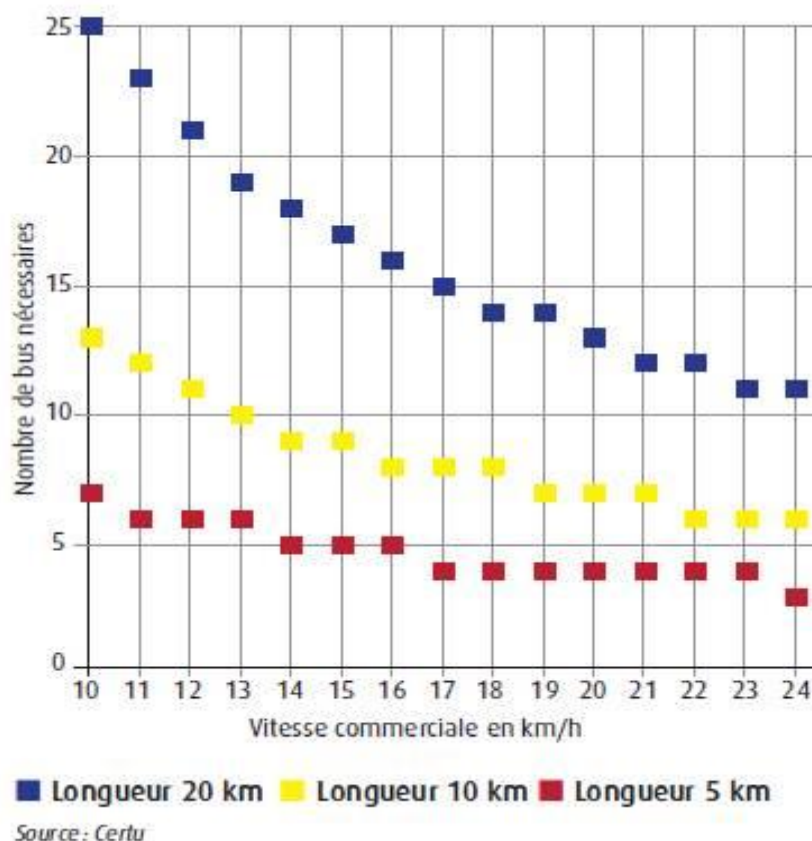
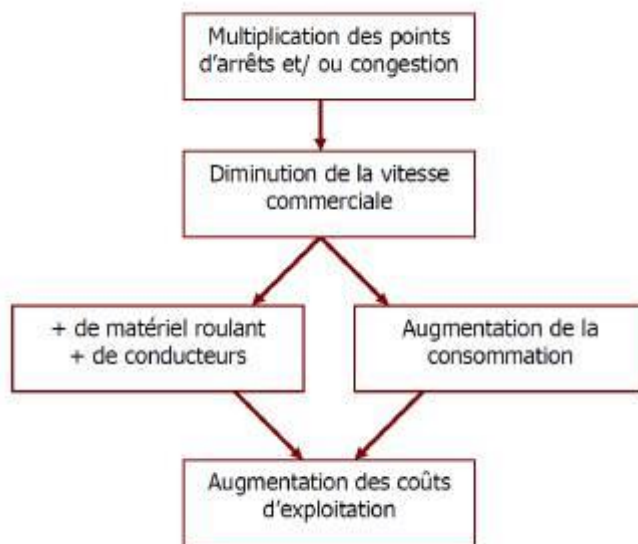


Figure 12 : variation du nombre de bus nécessaires selon la vitesse commerciale
Source Certu 2011, *Le coûts des transports collectifs urbains en site propre*

La vitesse commerciale influe également sur la consommation énergétique des véhicules. Le constructeur Irisbus a montré qu'une augmentation de la vitesse d'un autobus de 12 km/h à 17km/h entraîne une baisse de 13 % de sa consommation en diesel.



- **la distance inter-stations** : la distance inter-stations influe sur la vitesse commerciale et donc sur les coûts d'exploitation. Par ailleurs, une réduction de la distance inter-stations augmente le nombre de stations et donc les coûts d'investissement et d'exploitation des stations (quais, auvents, distributeurs...)
- **l'innovation** : le coût de l'innovation peut être celui de l'incertitude liée à l'exploitation du système.

Par exemple, en France, les agglomérations de Caen et Nancy, qui avaient choisi un système de transport routier, à roulement sur pneus et à guidage par un rail central (transport sur voie réservée TVR), ont vu les coûts d'exploitation doublés et les coûts de maintenance multipliés par 5 par rapport aux prévisions. En effet, la technologie du système n'était sans doute pas assez mature et de nombreuses pannes du système ont été recensées.

En Turquie, Istanbul a été la première ville à se doter d'un système de BRT. Le choix du matériel s'est porté sur un véhicule innovant, bi-articulé à guidage optique et moteur hybride (le Phileas APTR). Ce matériel n'a pas donné les résultats escomptés puisque les surcharges de passagers en heures de pointe et les fortes pentes du tracé de la ligne ont causé de nombreux dysfonctionnements et pannes de matériel. Finalement le Phileas a été réservé aux heures creuses et d'autres véhicules (Mercedes Citaro et Capacity) ont été préférés pour la période de pointe. Le coût d'investissement a ainsi été alourdi par un choix de matériel roulant inadapté à la ligne.

Cependant, le développement de nouvelles technologies demande parfois une participation des agglomérations pour assurer leur développement et leur fiabilité. C'est par exemple le cas de l'alimentation par le sol du tramway de Bordeaux, qui a

nécessité quelques mois de mises au point importantes avant de fonctionner conformément aux exigences de l'agglomération aujourd'hui.

- **le matériel roulant** : possibilité de commandes groupées pour réduire les coûts.

Par exemple, les agglomérations de Dijon et de Brest ont réalisé une commande groupée pour l'achat de tramways, ce qui a permis une économie de 500 000€ par rame.

Les caractéristiques des véhicules influent également sur leur prix : climatisation, motorisation, écrans d'information...

Le flochage différencié des véhicules selon le numéro de ligne, comme à Montpellier (voir 1.1.1) permet une identification facilitée de la ligne pour l'usager, notamment sur les troncs communs. Cependant ce choix impose de ne pas mutualiser les véhicules entre les lignes et nécessite donc un nombre plus important de rames. À Montpellier, le choix a été fait de ne pas floquer les véhicules de réserve afin qu'ils puissent être utilisés indifféremment sur chacune des lignes.



Flocage du tramway de Montpellier
source : Cerema

Le projet de tramway de Besançon a limité les aménagements urbains, opté pour un matériel éprouvé et classique dans son design, et optimisé les infrastructures (site partagé ou en voie unique sur certains tronçons). Ces choix ont permis de faire de ce projet un des tramways les moins chers de France (16 M€/km).

Afin de pouvoir comparer les coûts des projets entre eux, le Cerema propose les décompositions des coûts suivantes :

Les coûts d'un système de transport: de quoi parle-t-on ?

Les coûts des transports collectifs sont composés :

- d'une part des coûts d'investissements qui comprennent les dépenses liées à la mise en œuvre. Afin de comparer les projets, le CERTU préconise un découpage de ces coûts en 19 postes détaillés.

I	Études d'avant-projet/projet	X	Revêtement du site propre
II	Maitrise d'ouvrage	XI	Voirie (hors site propre) et espaces publics
III	Maitrise d'œuvre de travaux	XII	Équipements urbains
IV	Acquisitions foncières et libération des emprises	XIII	Signalisation
V	Déviations de réseaux	XIV	Stations
VI	Travaux préparatoires	XV	Alimentation en énergie de traction
VII	Ouvrage d'art	XVI	Courants faibles et PCC
VIII	Plate-forme	XVII	Dépôt
IX	Voie spécifique des systèmes ferrés et guidés	XVIII	Matériel roulant
		XIX	Opérations induites

*Décomposition des coûts d'investissements en 19 postes
Source : « Évaluation des transports en commun en site propre, indicateurs transport pour l'analyse et le suivi des opérations » (Certu, 1997).*

- d'autre part des coûts d'exploitation qui comprennent les frais de personnel, les frais de fonctionnement du matériel roulant (énergie, maintenance) et les frais de structure. Le Certu préconise, pour notamment l'établissement des évaluations socio-économiques, d'isoler les frais généraux et les charges de structure et, par type de système, d'identifier les différents postes de dépenses suivants: frais de personnel, dépenses d'énergie, sous-traitances (et services extérieurs) et autres achats. Il est à noter que les impôts et les taxes, les amortissements de toute nature, les « grosses réparations » comme les entretiens à mi-vie des tramways sont comptabilisés dans les coûts d'investissements.

Source : Certu, 2011, *Le coûts des transports collectifs urbains en site propre*

En France, les coûts d'exploitation des transports collectifs sont largement liés au frais de personnel, notamment des chauffeurs (60 % minimum). Viennent ensuite les frais liés à l'entretien du matériel roulant (15 % minimum) et à l'énergie (10%).

Pour que le projet puisse être exploité sur toute sa durée de vie, il est nécessaire d'anticiper les dépenses dès sa conception, et d'inclure dans les évaluations les dépenses d'investissements et d'exploitation (notamment maintenance et investissement-rénovation).

3.4 L'image du projet incluant les enjeux de réaménagement urbain

En France, la mise en service d'un système de transport de masse répond s'accompagne d'une ambition un report modal du véhicule particulier vers les transports collectifs en général¹. Il est donc important que ce système amène une image forte de rupture avec les modes existants, surtout lorsqu'ils sont vus comme

¹ En France, la mise en place d'un TCSP vise généralement un objectif de report modal de la voiture particulière vers les transports collectifs. Dans d'autres pays, le taux de possession de la voiture particulière étant plus faible, l'enjeu concerne davantage l'amélioration de l'accessibilité.

vétustes, inconfortables, dangereux, lents... Il faut donc que le nouveau système ait une identité et lisibilité facilement perceptibles par les usagers.

Cette nouvelle image se construit d'abord avec le design du matériel roulant. Même un bus doit pouvoir se démarquer des bus traditionnels par un design moderne.



Exemple de bus au design moderne

Mais elle doit aussi se retrouver dans le concept de Haut niveau de service défini précédemment avec un système matériel roulant – infrastructure – exploitation qui garantisse une vraie qualité de service.

En France, les projets de transport à Haut niveau de service (tramway ou bus) sont majoritairement accompagnés de projets de réaménagement urbain.

A Nice, par exemple, le projet de tramway donne l'occasion de reconquérir et valoriser deux places publiques emblématiques (Masséna et Garibaldi).



La place Masséna à Nice, réaménagée lors du projet de tramway

Ce réaménagement urbain de façade à façade se fait souvent par une reconquête de l'espace dédié à la voiture.



Dijon : Place Darcy



La place Dracy à Dijon, réaménagée lors du projet de tramway

Les tramways sur fer permettent plus de liberté en termes de choix de matériaux au sol (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 Bus à Haut niveau de service dispose également 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)



*Des bus à haut niveau de service avec des plateformes dédiées et différenciées du reste de la voirie : à gauche, BHNS TEOR à Rouen et à droite, BHNS Busway à Nantes
(Photo : Cerema)*

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 technique.

Certains projets qui sont des échecs (innovation non aboutie, mauvaise exploitation du système...) peuvent aussi donner une mauvaise image du système de transports.

3.5 Les caractéristiques pour l'insertion urbaine incluant l'analyse des contraintes comme les emprises disponibles

Il s'agit d'analyser aussi finement que possible le contexte fonctionnel et technique du site traversé et de rechercher les meilleures réponses aux objectifs du projet de transport, et en particulier, s'il s'agit d'un TC en site propre de surface, à ceux du nouveau partage de la voirie (avec les autres usagers : piétons, vélos, voitures...).

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.

Le projet peut être soumis à de nombreuses contraintes :

- le relief et les barrières naturelles qui entraînent des contraintes de profil en long (pente), en travers (largeur possible), en plan (rayon de giration admissible), de franchissement, de coupure...
- le sous-sol qui va engendrer des contraintes géotechniques pour les tunnels, voies aériennes, chaussées et pour la déviation des réseaux,

A noter que certaines contraintes, comme la déviation des réseaux, peuvent se transformer en opportunité, dès lors qu'elles permettent d'améliorer des éléments qui auraient dû l'être.

- la voirie de surface avec ses contraintes fonctionnelles (nombre de carrefours, d'accès riverains, de commerces, emprise de stationnement)

et les études qu'elle nécessite (diagnostic de sécurité, d'accessibilité aux personnes à mobilité réduite, plan de circulation...),

- la qualité des espaces avec la préservation éventuelle de sites classés ou inscrits, des espaces verts,



A Nice, la place Masséna, classée en terme patrimonial, interdit l'utilisation des caténaires et oblige à passer en alimentation électrique par le sol. La montée et descente du pantographe du tramway se fait en station de part et d'autre de la place.

(Photo : Google StreetView)



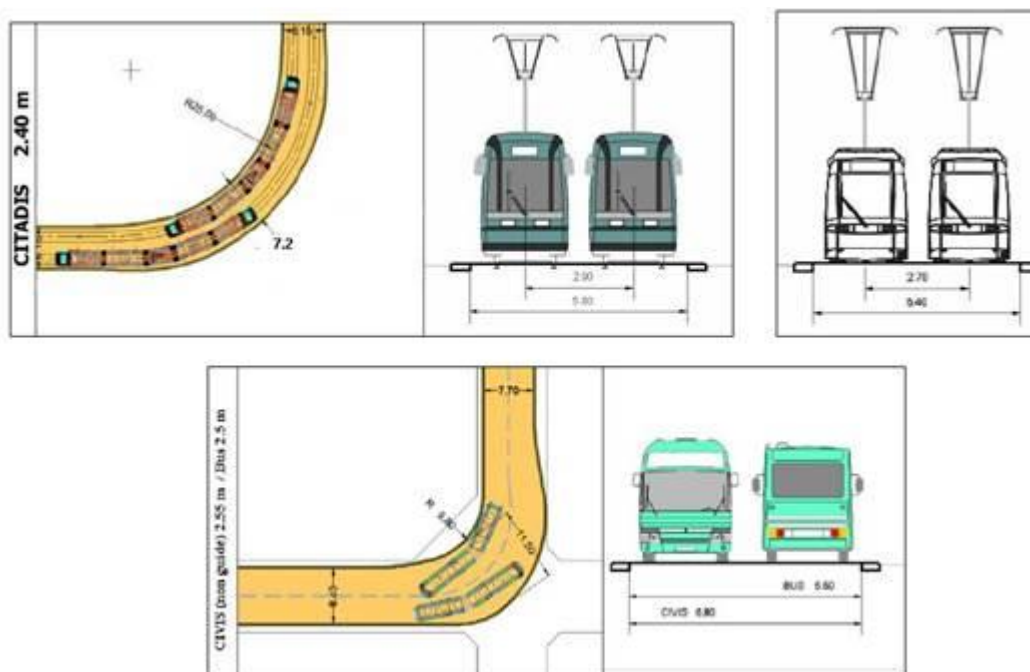
Un contrainte d'espace pour les stations de bus à Marseille :

*A Marseille, la Canebière est une avenue classée architecturalement. Il a donc été imposé une implantation bilatérale des voies de tramway. Ceci entraîne une forte utilisation de la plateforme par les piétons du fait de la proximité avec les trottoirs dans des espaces très fréquentés **et empêche la mutualisation des stations entre bus et tramway** (photo).*

(Photo : Cerema)

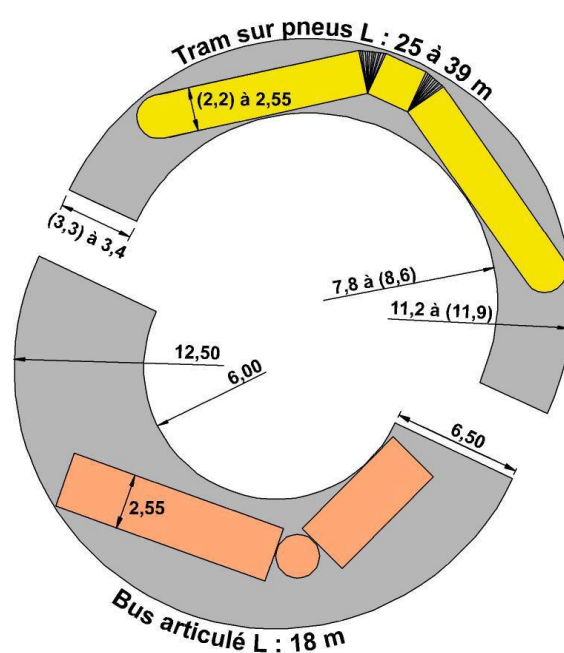
- l'exploitation et la maintenance du système avec la nécessité d'un dépôt-atelier spécifique, des équipements de signalisation et de guidage,
- les contrôles de sécurité de l'insertion de l'infrastructure nécessaires à l'autorisation de mise en service (obligatoires en France pour les matériels ferroviaires et les transports guidés de surface).

Pour un TC de surface, il est important de rappeler qu'une trop grande sinuosité du tracé contribue à des pertes d'exploitation, réduit la lisibilité du réseau, la sécurité et le confort des usagers. Les courbes serrées entraînent des réductions de vitesse, des nuisances sonores et vibratoires (principalement pour le tramway) ainsi que de fortes usures.



Des bus plus larges à intégrer en ligne droite, mais permettant plus aisément des courbes à angle droit que les tramways.

Les systèmes sur pneus présentent l'avantage de pouvoir mieux tourner, surtout lorsqu'ils sont guidés et monotrace. 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 systèmes de transports doivent éviter des tracés trop sinueux dans une logique de performance (confort et vitesses notamment).



Rayons de giration des bus et tramways sur pneus.

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)². 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).

En pente, les systèmes sur pneus sont plus performants, tandis que le tramway sur fer peut circuler sur des pentes maximales à 8%.

3.6 Les impacts du projet incluant les caractéristiques pour l'environnement

Le transport est principalement concerné par les enjeux suivants :

- la pollution atmosphérique, portant atteinte à la santé des populations, surtout celles en zone urbaine,
- le risque climatique dû à l'augmentation de l'effet de serre et au réchauffement global de la terre,
- la raréfaction puis le possible épuisement des différentes énergies fossiles et fissiles,
- les nuisances acoustiques,
- les diverses nuisances telles que la pollution des eaux pluviales, l'imperméabilisation des sols, les effets de coupure, l'altération des paysages, etc.

Si les risques individuels associés à l'exposition à la **pollution atmosphérique** peuvent paraître faibles, par comparaison à des facteurs de risque tels que le tabac,

² Voir annexe « 6.2 Gabarit des véhicules et insertion urbaines »

l'impact sanitaire de cette pollution est considérable compte tenu du nombre très important de personnes concernées. Ainsi, pour l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé), la pollution de l'air est le principal risque environnemental pour la santé dans le monde. Les lignes directrices OMS 2005 sont conçues pour donner des orientations mondiales et réduire les conséquences de cette pollution sur la santé. Elles s'appliquent au monde entier et se fondent sur l'évaluation des données scientifiques actuelles par des experts. Les concentrations guides recommandées ont été révisées pour un certain nombre de polluants : particules en suspension (PM10, PM2,5), ozone (O3), dioxyde d'azote (NO2) et dioxyde de soufre (SO2), et concernent toutes les régions du monde.

Lignes directrices de l'OMS concernant la qualité de l'air (2005)

Polluants	Recommandations OMS
NO ₂	→ 40 µg/m ³ en moyenne annuelle → 200 µg/m ³ en moyenne horaire
O ₃	→ 100 µg/m ³ en moyenne sur 8h
PM10	→ 20 µg/m ³ en moyenne annuelle → 50 µg/m ³ en moyenne sur 24 heures
PM2,5	→ 10 µg/m ³ en moyenne annuelle → 25 µg/m ³ en moyenne sur 24 heures
SO ₂	→ 20 µg/m ³ en moyenne sur 24 heures → 500 µg/m ³ en moyenne sur 10 minutes

Dans la zone Europe de l'OMS (53 pays), il est estimé qu'environ 600 000 décès par an sont liés à la pollution de l'air (482 000 sont dus à la pollution de l'air extérieur et 117 200 à la pollution de l'air intérieur). Selon une étude publiée en 2015 par l'OMS et l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), le coût économique de ces 600 000 décès prématurés ainsi que des maladies provoquées par la pollution de l'air extérieur et intérieur dans la zone Europe de l'OMS atteignait, en 2010, 1 600 milliards de dollars US.

Lors de la COP 22, selon les estimations de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), on associe quelque 12,6 millions de décès par an à la pollution de l'environnement dans le monde, dont 6,5 millions de morts (11,6 % du total mondial des décès), seraient liés à la pollution de l'air, dans les habitations ou à l'extérieur.

En France, la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte prévoit un renouvellement des parcs de matériel roulant de transport collectif de 50% (dès 2020) puis 100% (dès 2025) de véhicules propres (notamment bus électriques).

En plus des questions de pollution, vient se poser celle **de la raréfaction puis le possible épuisement des différentes énergies fossiles et fissiles**. La dépendance énergétique de chaque pays est différente, ainsi que le mode principal de production de l'énergie. Dans tous les cas, la nécessité d'une forte efficacité énergétique du transport est posée. Et le transport collectif apporte déjà une des clés pour diminuer les impacts versus le transport individuel. Mais celui-ci doit tout de même être analysé au regard de ses propres performances.

Comme le rappelle l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail dans son rapport de 2013, **les niveaux d'exposition au bruit**

environnemental, comme ceux retrouvés à proximité des infrastructures de transport, ont des effets sanitaires, dits « extra-auditifs » : certains de ces effets se manifestent à court terme (perturbations du sommeil, expression de la gêne, etc.) tandis que d'autres nécessitent des temps d'exposition relativement longs pour s'exprimer (détérioration de l'apprentissage scolaire, effets cardiovasculaires, etc.). Ces effets, qui ne sont pas spécifiques à l'exposition au bruit et peuvent être observés dans d'autres situations d'agressions environnementales, sont aujourd'hui insuffisamment pris en compte.

En France, 80 % du bruit ambiant est dû aux transports (dont 68 % routier, 20 % aérien et 12 % ferroviaire).

Beaucoup de projets de transport collectif intègrent, en France, une recherche d'atténuation du bruit et des vibrations émises. Les sources, nombreuses, concernent principalement la motorisation et l'interface de contact avec l'infrastructure.

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.

3.7 Le principe de l'analyse multicritère

Le présent document expose des critères objectifs de choix de mode de transport collectif. Cependant, le choix d'un système de transport collectif est un processus itératif. Celui-ci s'appuie d'une part sur une vision à long terme de l'agglomération et de son réseau de transport, et d'autre part sur un diagnostic des potentialités et des contraintes du territoire.

Ces objectifs de développement du réseau et du territoire amènent à privilégier certains critères de choix des systèmes au détriment d'autres (par exemple l'image du projet au détriment du coût). L'enjeu est d'objectiver ces choix et de prendre conscience de leurs conséquences sur le réseau de transport et sur l'environnement urbain. La méthode proposée n'inclut pas de pondération quantitative des différents critères étudiés.

L'analyse multicritère peut être synthétisée de façon simple et visuelle de façon à mettre en avant les avantages et inconvénients associés à chaque mode étudié. Le tableau ci-après est un exemple de rendu de la synthèse de l'analyse d'un projet de transport selon trois scénarios : un scénario « BHNS » et de deux scénarios « tramway ». Un tel rendu met en évidence les points forts et points faibles de chaque mode et chaque scénario étudié.

Référentiel pour le choix des systèmes de transports collectifs à haut niveau de service

		BHNS	Tramway scénario 1	Tramway scénario 2
Niveau de service	Capacité	Orange	Vert	Vert
	Vitesse	Orange	Orange	Vert
Coût du système	Coût d'investissement	Vert	Orange	Orange
	Durée de vie du matériel	Orange	Vert	Vert
	Coût d'exploitation	Vert	Orange	Orange
Image du projet		Orange	Orange	Vert
Insertion urbaine		Vert	Vert	Orange
Impacts environnementaux		Vert	Vert	Vert

4. Conclusion

Le choix d'un mode de transport lourd résulte de la prise en compte de nombreux critères, qui ne peuvent pas se résumer à un dimensionnement du système en fonction de la demande prévisionnelle.

En Amérique latine, l'utilisation de la voiture particulière est en augmentation, au détriment progressif de l'usage des transports collectifs. Il y a donc un enjeu fort incitant à réagir pour conserver la compétitivité des transports publics et limiter la hausse du trafic automobile et les changements de pratiques modales de la population. La pertinence des systèmes mis en œuvre et les processus de choix qui y sont associés, ont toute leur importance afin de répondre au mieux aux ambitions de développement des villes et à la demande des résidents.

Les processus de choix du mode, et les critères présentés dans ce document reflètent l'état de l'art et les pratiques française dans ce domaine.

Le Cerema propose d'approfondir la question afin de déterminer les autres critères, et les caractéristiques du contexte territorial, qui peuvent rentrer en compte dans le cas de projets latino-américains.

5. Références bibliographiques

Ouvrages :

CERTU, 2004, Les modes de transports collectifs urbains. Éléments de choix par une approche globale des systèmes. Collection Références du CERTU

CERTU, 2009, Tramway et Bus à haut niveau de service en France (BHNS) : domaines de pertinence en zone urbaine. Collection « Le point sur » en Mobilité et Transports, fiche n°12

CERTU, 2011, Les coûts des transports collectifs urbains en site propre – chiffres clefs – principaux paramètres

CETE Méditerranée, CERTU, 2013, Choisir un mode capacitaire. L'exemple des villes méditerranéennes. Collection Dossiers n°266

COST, 2015, Operation and safety of tramways in interaction with public space. Analysis and outcomes detailed report. TU113 Action final report.

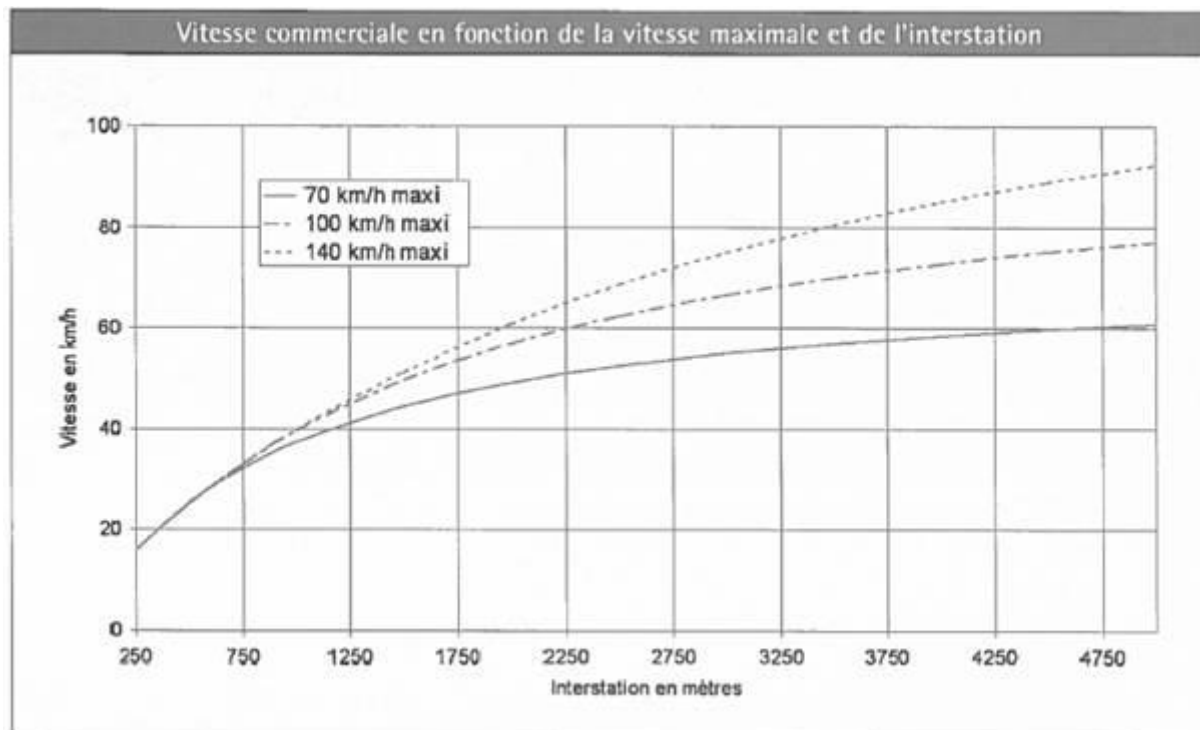
Sites internet :

<http://www.euro.who.int/fr/health-topics/environment-and-health/air-quality/news/news/2014/03/almost-600-000-deaths-due-to-air-pollution-in-europe-new-who-global-report>

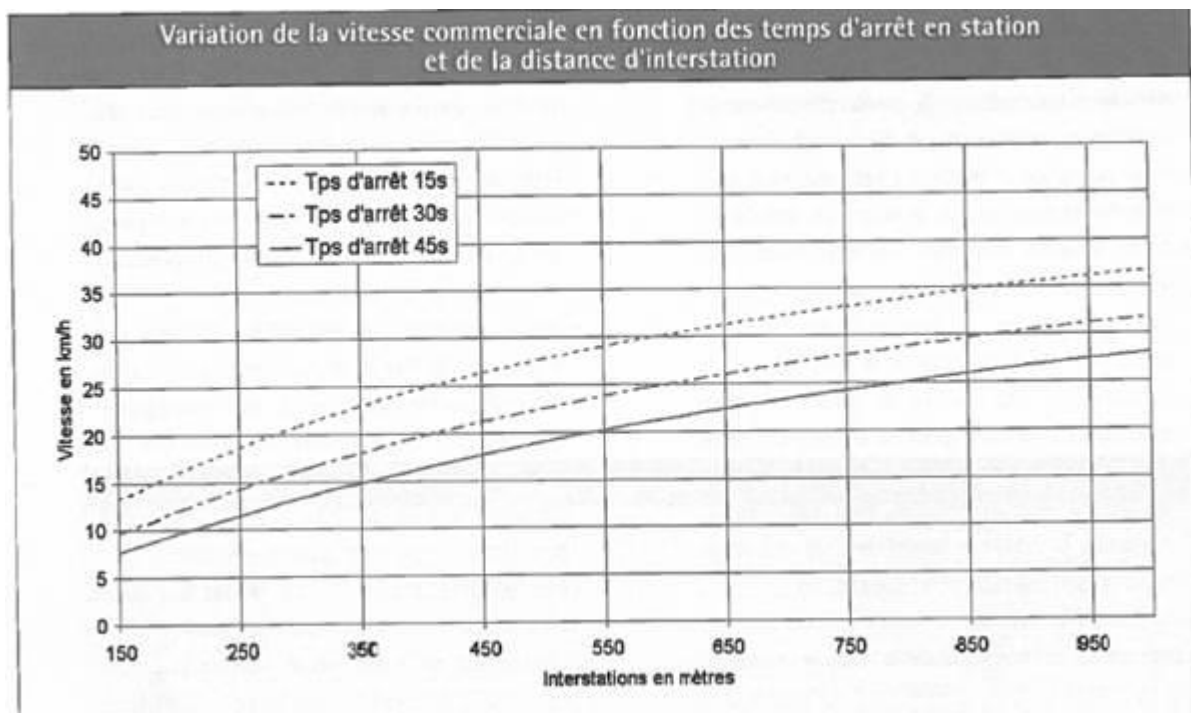
<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-quality/fr/>

6. Annexes

6.1 Vitesse commerciale



Vitesse commerciale en fonction de la vitesse max et de la distance inter-stations
Source : CERTU, 2004, *Les modes de transports collectifs urbains. Éléments de choix par une approche globale des systèmes.* Collection Références du CERTU



Vitesse commerciale en fonction des temps d'arrêts en station et de la distance inter-stations
Source : CERTU, 2004, Les modes de transports collectifs urbains. Éléments de choix par une approche globale des systèmes. Collection Références du CERTU

6.2 Gabarit des véhicules et insertion urbaines

Tableau comparatif des gabarits et profils de l'infrastructure						
SYSTÈMES	Gabarit			Profil		
	Longueur en mètres	Largeur en mètres	Emprise en voie double ¹⁾		Pente maximale admissible	Rayon en plan minimum en mètres
			Alignement droit	En courbe avec rayon minimum		
* Systèmes routiers						
• minibus	5 à 6	2,1 à 2,2			13 ‰ ²⁾	7
• bus à gabarit réduit	7 à 10	2,2 à 2,3			13 ‰ ²⁾	8-9
• autobus et trolleybus standard	12	2,5 à 2,55	7	10 à 11	13 ‰ ²⁾	11 à 12
• autobus et trolleybus articulés	18	2,5 à 2,55	7	10 à 11	13 ‰ ²⁾	11 à 12
* Systèmes guidés sur pneus						
• type Civiis et TVR autorisés à rouler non guidés	18 à 24,5	2,5 à 2,55	6 - 6,2	7,2 à 7,5	13 ‰ ²⁾	12
• tramway sur pneus type Translohr STE	20 à 40	2,20	5,4	6,8	13 ‰ ²⁾	10,5
* Systèmes tramways						
tramways modulaires de nouvelle génération	20 à 40 par pas de 10 environ	2,3 à 2,65	5,4 à 6,2	6,6 à 7,2	10 ‰ ²⁾	25 à 30 ³⁾
* Systèmes métros						
• métros « classiques »	50 à 100	variable			5 à 8 ‰ ²⁾	
• Val (1 élément)	26	2,1			12 ‰	

Gabarits des véhicules et profils des infrastructures adaptés aux différents systèmes
 Source : CERTU, 2004, *Les modes de transports collectifs urbains. Éléments de choix par une approche globale des systèmes.* Collection Références du CERTU