

2514

Coût des modes de transports

Le 17 juin 2002 à Orléans, élus et habitants de l'agglomération sont conviés à assister à la conférence - débat sur le thème du coût des modes de transport animée par M. Claude SOULAS, spécialiste des systèmes « transport » au laboratoire des technologies nouvelles de l'INRETS, M. Pierre MARX, du bureau d'études Semaly (chef de projet pour les études relatives à la Liaison Est - Ouest) et M. Jean-Marie GUIDEZ, chercheur au CERTU.

Avant d'évoquer les composantes du coût des modes de transports collectifs envisageables pour la Liaison Est - Ouest, nous présenterons un rappel des fonctionnalités de ces modes ; préliminaire fondé sur l'ouvrage du Certu « L'offre française en matière de transports publics ».

1) Fonctionnalités des modes de transport

Les critères de comparaison des modes sont nombreux ; on retiendra ici ceux qui permettent d'apprécier globalement les domaines d'emploi possibles de ces modes et les potentialités qu'ils offrent, mais en aucun cas d'étayer à eux seuls le choix d'un mode parmi les matériels existants.

1.1 Le débit horaire habituel

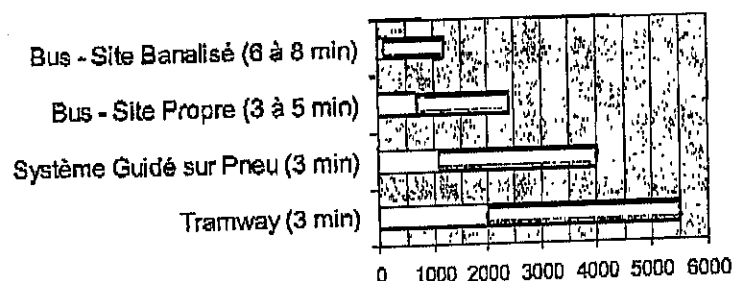
Débit horaire : nombre de passagers transportés par un véhicule, en une heure et par sens.

Il dépend :

- de la fréquence de passage (en heures de pointes comme en heures creuses)
- de la capacité du véhicule, qui doit être considérée par rapport à deux valeurs : la capacité de confort maximale (places assises + un ratio de 4 pers.debout/m²) et la capacité « heure de pointe » maximale (places assises + un ratio de 6 pers.debout/m²) -peu utilisée.

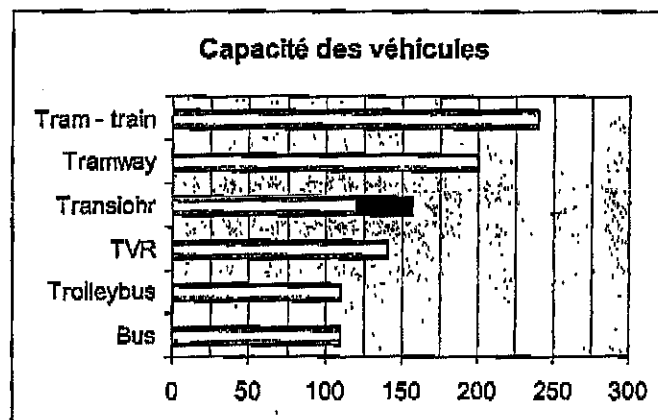
Note : certains types de véhicules (tramway fer ou pneus) présentent l'avantage d'être modulables, ce qui permet d'accroître la capacité sans frais d'exploitation supplémentaires (liés à la conduite). De nombreuses agglomérations ont ainsi pu augmenter la capacité des rames de leur réseau : ainsi à Montpellier, certains véhicules vont disposer d'une caisse supplémentaire, et offriront alors non plus 200, mais 300 places.

Débits horaires usuels (4 pers/m²)



La fréquence de passage est relativement indépendante du mode : un tramway, comme un tramway sur pneus ou un bus, peut offrir une fréquence de 3 minutes (les intervalles de 6 minutes prévus en heure de pointe sur la Liaison Est – Ouest sont donc possibles quel que soit le mode). C'est la qualité du site propre qui permet aux TC d'optimiser les fréquences : quel que soit le mode, s'il circule en site banalisé ou en site peu protégé le véhicule est pénalisé par la circulation générale et peut difficilement offrir des intervalles inférieurs à 5 ou 6 minutes.

La capacité du véhicule varie en revanche fortement selon le mode. Notamment, les véhicules non guidés, soumis à ce titre au Code de la Route, ne peuvent excéder une longueur de 24,50 m, ce qui contraint leur capacité.



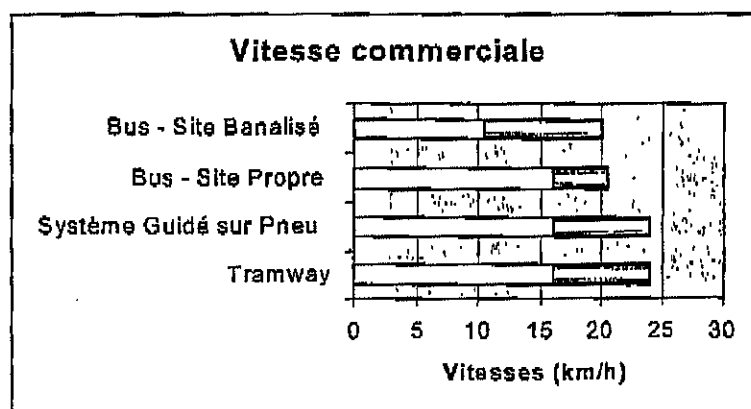
NB : le Transiohr retenu est celui de 25m (dans sa version 39m, il a une capacité de 200 personnes).

✓ Les vitesses commerciales courantes

Vitesse commerciale : vitesse moyenne entre les deux terminus de la ligne, qui prend en compte les temps de circulation, ainsi que les temps d'arrêts aux stations.

La vitesse commerciale dépend de :

- la qualité de protection du site de circulation et des passages aux carrefours ;
- la distance entre les stations (ou « interstation ») ;
- les performances dynamiques du véhicule (accélération et vitesse maximum) ;
- la qualité de l'accessibilité du véhicule (fluidité des descentes et des montées) ;
- les proportions en longueur de section urbaine dense et périurbaine, lorsque le site est franchissable.



Le facteur majeur est la qualité du site propre, quel que soit le mode. Mais ce site propre est d'autant plus important pour les bus, car leurs sites réservés sont généralement moins bien respectés que ceux des modes plus lourds. Ainsi, sur une ligne en site banalisé on observe des variations de temps de parcours allant du simple au double entre deux courses, tant le réseau est tributaire de la circulation automobile. Pour ce qui est directement fonction du mode, on notera que la vitesse commerciale des bus reste légèrement en deçà de celle des modes guidés.

Aujourd'hui, tous les projets de TCSP qui traversent des zones denses de centre-ville visent des vitesses commerciales de 20-21 km/h ; mais cet objectif ne peut être atteint que si le projet s'accompagne de mesures d'exploitation très performantes, en particulier la priorité systématique aux carrefours. Ainsi à Karlsruhe le tramway atteint, dans sa partie urbaine, 24 à 25 km/h.

✓ L'emprise foncière

Emprise foncière : largeur de voirie nécessaire à la circulation en double sens d'un TCSP, intégrant le gabarit dynamique des véhicules (largeur réelle + 20 à 25 cm), et les bordures éventuelles les séparant de la circulation générale.

Elle dépend :

- du gabarit du véhicule ;
- de la présence ou non de guidage, qui permet de réduire l'emprise au sol ;
- du tracé de la ligne (l'emprise foncière augmente dans les courbes).

	Bus	Cristalis	Civis	TVR	Translohr	Tram	Tram - Train
Gabarit (m)	2,5	2,55	2,55	2,5	2,2	2,3 - 2,65 (2,32 à Orléans)	2,3 - 2,65
Emprise pour une double voie (m)	7	7	6,8	6,45	5,8	6 à 6,7 selon la largeur (2,3 à 2,65) (5,5 - 6 à Orléans)	6,2 - 6,7

Au-delà de la question des emprises, on peut mentionner la consommation d'espace au sol des différents modes de transport (en m²/heure/personne). Ainsi, selon une étude de la RATP, la consommation espace-temps d'un individu est 7,5 fois supérieure s'il utilise sa voiture plutôt qu'un bus en site propre ; différence liée au stationnement du véhicule.

✓ Le dimensionnement de la plate-forme

Dimensionnement de la plate-forme : épaisseur de la voie nécessaire à long terme à la circulation du mode.

En effet, les véhicules circulant tous sur une même trajectoire, un phénomène d'usure de la voirie (orniérage) se produit. Pour le retarder, il faut renforcer la voirie sur tout le tracé, par la pose d'un treillis en acier.



Bus et tram ligne A à Orléans

Le dimensionnement de la plate-forme dépend :

- de la présence ou non de guidage
- du fait que le véhicule soit routier ou ferroviaire
- de la masse du véhicule

En outre, tous les modes nécessitent le déplacement des réseaux souterrains, si l'on veut préserver au maximum le site de toute intervention de nature à dégrader la régularité du TCSP. En effet, sa place primordiale dans le réseau TC de l'agglomération impose une disponibilité accrue vis-à-vis des autres services de rabattement.

	Bus	Cristalis	Civis	TVR	STE4 Translohr	Tram	Tram - Train
Epaisseur de voirie (cm)	50	60	60	60	60	70	70
Omierage	Acceptable	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non

✓ La portée environnementale

A l'échelle de l'agglomération, le report modal de la voiture particulière vers les TC, induit par l'introduction d'un TCSP, ne bouleverse pas les données environnementales, en matière d'émission de polluants, de manière tangible. Les bus équipés de moteurs thermiques restent plus polluants qu'une automobile en valeur absolue, mais ils le sont nettement moins rapporté au nombre de personnes transportées. Ainsi en Ile de France, les bus de la RATP assurent 1/3 des déplacements motorisés de surface et contribuent à moins de 4% aux émissions de polluants¹. En outre, l'introduction de normes et de nouvelles technologies tend à réduire en valeur absolue les émissions polluantes des bus.

En termes de nuisances sonores, les bus à moteurs thermiques sont les plus bruyants, mais des progrès sont possibles en la matière (la motorisation au Gaz Naturel pour Véhicules (GNV), etc.)

Il faut distinguer deux sources de gênes pour les riverains : le bruit en lui-même, mais aussi les vibrations. Ces phénomènes, commun à tous les modes dans des proportions variables, peuvent être réduits par des aménagements spécifiques (contact roue - rail, traitement des rails en courbes, pour le bruit ; dalles flottantes pour les vibrations).

✓ Divers critères non quantifiables mais essentiels

Le confort lié à l'aménagement intérieur du véhicule, les informations à la clientèle ou encore la climatisation ont potentiellement des caractéristiques similaires pour les différents modes. Toutefois, des écarts peuvent exister : la transmission électrique permet des accélérations plus progressives qu'avec un moteur thermique, le guidage limite les débattements latéraux...

Afin de faciliter l'accessibilité des personnes à mobilité réduite² aux TC, les divers modes peuvent offrir une configuration avec un plancher bas intégral. De plus, les modes guidés permettent un accostage régulier en stations, ce que le bus peut compenser avec des systèmes de palettes. Ces mesures peuvent également favoriser l'intermodalité en facilitant l'accès des cyclistes.

Le bus, le trolleybus (quand il est bimodal « électricité - diesel ») ainsi que les VGP ne sont pas obligatoirement alimentés par électricité. Il en découle une souplesse d'exploitation appréciable avec la possibilité de s'affranchir de la ligne aérienne pour des raisons esthétiques ou pour la

¹ source : Ademe, 1996

² Handicapés, personnes chargées, parent avec un landau, etc.

desserte de zones périurbaines par exemple. A cette bimodalité d'alimentation s'ajoute le fait que ces modes ne sont pas nécessairement guidés en permanence : ils peuvent dévier temporairement de leurs trajets (situation qui doit rester exceptionnelle, pour contourner des travaux par exemple) et les trajets vers les dépôts peuvent s'en trouver simplifiés.

Tous les modes retenus dans le cadre des études LEO renvoient une image valorisante des transports collectifs, facteur qui participe aux gains de nouvelle clientèle que l'on observe souvent à la mise en service des TCSP. Et si le bus accuse un petit retard en la matière, les nouveaux designs et technologies tendent à réduire cet écart. Toutefois, il faut souligner que tous les projets, en France comme en Europe, tendent à montrer que les augmentations substantielles de clientèle sont liées à l'introduction de systèmes lourds, et que le bus reste moins attractif, et essentiellement tributaire d'une clientèle captive.

2) Transports collectifs et évolutions techniques

En marge des fonctionnalités actuelles, les évolutions techniques envisageables à moyen terme sont également des éléments à prendre en compte pour le choix d'un mode pour la LEO, en ce sens qu'elles composent l'horizon de la mise en service de ce nouvel axe de TCSP.

✓ Les évolutions futures du bus

Ces dernières années, certaines fonctionnalités offertes par les bus ont atteint un niveau de prestations équivalent à celui des modes lourds (aménagement intérieur, accessibilité). Aujourd'hui on attend des progrès en matière d'émissions de polluants, grâce à diverses solutions techniques.

- La dépollution du moteur diesel

Aujourd'hui, cette dépollution s'opère par l'utilisation de carburants additivés (gazole à Très Basse Teneur en Soufre, diester ou aquazole) ou par le post-traitement avec filtre à particules (FAP) qui offre des résultats aussi probants que les carburants gazeux, excepté pour les oxydes d'azote.

Avantages de cette filière : elle est relativement simple à mettre en place (ne nécessitant pas de renouvellement du matériel roulant), elle requiert un investissement limité ou progressif, et elle laisse le champ ouvert aux innovations techniques. Cependant, il s'agit d'une démarche moins volontariste que l'utilisation de carburants gazeux, en termes de résultats mais aussi d'image.

La recherche actuelle, forte du potentiel industriel (poids lourds et motorisation diesel en général) porte sur l'optimisation du moteur diesel et la réduction à la source des rejets (amélioration de la combustion interne), ou l'optimisation du post-traitement (recirculation des gaz d'échappement).

- Les carburants gazeux

A l'heure actuelle, les carburants gazeux (Gaz de Pétrole Liquéfié et Gaz Naturel pour Véhicules) constituent la seule filière qui apporte une réduction de l'émission de tous les polluants. Ils impliquent toutefois un renouvellement du matériel roulant qui peut être progressif, mais demeure une démarche indispensable et irréversible (pas d'évolution possible). En outre, des investissements de structure sont nécessaires (dépôt et station service).

Cette technologie, quoique opérationnelle, dispose de marges de progression sur la conception des moteurs, et la qualité et la constance du gaz distribué.

Pour le GPL, le développement de la filière reste limité en France du fait de l'absence d'une offre « constructeur » concurrentielle, d'une image négative liée à la sécurité (les problèmes de montée

de pression sont aujourd'hui maîtrisés) et de l'absence d'un lobbying (contrairement aux carburants « traditionnels » et au GNV). Le GNV quant à lui bénéficie d'une image et d'un lobbying forts, et est proposé par de nombreux constructeurs.

- Les bus propres : aperçu des coûts

A l'investissement, les données de coût sur le matériel roulant ou les stations de compression sont bien maîtrisées, ce qui n'est pas le cas pour les infrastructures, notamment dans l'hypothèse d'une mise aux normes d'un dépôt existant pour ce qui concerne la sécurité relative à l'utilisation du gaz.

	Véhicules	Dépôts	Station
FAP	4,5 à 6 k€	-	-
GPL	32 k€	150 à 1 500 k€	150 à 300 k€
GNV	35 k€	300 à 1 500 k€	300 à 600 k€

Pour ce qui concerne les coûts d'exploitation, le tableau ci-dessous est établi à partir d'une étude comparative menée par la RATP en 2000 en se fondant sur le coût d'une exploitation au gazole. Le très léger différentiel en faveur du GPL s'explique par une fiabilité plus élevée sur certains équipements (bougies, électrovannes, etc.).

	Surcoût au km
FAP	+ 0,04 €
GPL	+ 0,28 €
GNV	+ 0,26 €

- La filière électrique

L'intérêt de la filière électrique réside dans ce qu'elle permet de supprimer tous les rejets au niveau local, de supprimer les vibrations lors du voyage, et de réduire le bruit des véhicules, en particulier à l'arrêt et au démarrage.

Aujourd'hui, cette filière est confrontée au problème de stockage de l'énergie. Les batteries n'offrent qu'une autonomie et une durée de vie limitées. Il faudra attendre l'arrivée de matériel nouveau (lithium), dont la mise au point reste à confirmer. Il existe néanmoins des expériences satisfaisantes (en Italie ou à Bordeaux), et de nouvelles filières se développent.

Les bus hybrides, associant un moteur thermique et un moteur électrique visent à optimiser les performances en réduisant la pollution. L'objectif est de réduire les émissions du moteur thermique en régularisant son régime. C'est une filière récente, dans un marché concurrentiel, qui préfigure le futur bus électrique, tout en pouvant être orientée vers la pile à combustible.

Cette pile à combustible (PAC) est un générateur électrochimique qui utilise l'hydrogène comme carburant et ne produit que de la vapeur d'eau en sus de l'électricité. Il s'agit de la meilleure réponse aux émissions de gaz carbonique (à effet de serre). Toutefois, cette filière se heurte à des problèmes de stockage et de reformage de l'hydrogène (à partir de méthanol) et ne devrait pas déboucher sur une production de véhicules à prix raisonnable avant une quinzaine d'années.

✓ Les évolutions futures des autres modes

- Le trolleybus

Une des innovations majeures est l'arrivée sur le marché du Cristalis d'Irisbus, avec notamment la possibilité de l'équiper du système de guidage optique du Civis. Le Cristalis apporte des innovations majeures, sur le plan technique avec le moteur-roue, mais aussi en matière d'aménagement et de confort, avec son plancher bas (contrairement aux anciens trolleybus), sa climatisation et son nouveau design.

- Le tramway

Le tramway est une technologie éprouvée, qui continue d'évoluer, avec des innovations continues en termes technologiques. On peut citer notamment les travaux effectués actuellement dans le domaine de l'alimentation électrique par le sol (APS), avec une application possible pour le tramway de Bordeaux. L'APS se présente comme une alternative à la ligne aérienne de contact, pour des raisons pratiques mais aussi esthétiques. Elle suppose néanmoins un surcoût : de l'ordre de 10 MF/km à Bordeaux (coût d'autant plus important qu'il s'agit d'une première application).

3) Coût des modes TCSP

Il ne s'agit pas ici de chiffrer précisément le coût associé à la mise en œuvre de tel ou tel système de transport ; l'objectif est uniquement de remettre en mémoire les différentes composantes de ce coût afin de n'en négliger aucune, et dans un deuxième temps de donner des ordres de grandeur.

Les industriels parlent en général du "coût de possession" d'un système de transport ("Life Cycle Cost" ou LCC en anglais). Ce coût, à charge de la collectivité, inclut les dépenses de premier investissement, les charges d'exploitation et de maintien en bon état de fonctionnement du système, et la valeur de démontage en fin d'usage. En revanche, il n'intègre pas les coûts externes (coûts et gains générés par sa mise en place dans son environnement physique et social).

Cette présentation exposera donc les éléments principaux pour apprécier les coûts de premier investissement des principaux systèmes et matériels correspondants, ainsi que leur coût d'exploitation ; ces éléments sont issus des études réalisées pour la Liaison Est-Ouest par Semaly.

✓ Coût d'investissement des modes de transport

Ce coût intègre l'ensemble du projet : les travaux préparatoires, les déviations des conduites des services publics, la plate-forme complète du site propre, les quais des stations, l'alimentation en énergie, le système de guidage, les équipements d'exploitation en station, le réaménagement des voiries de façade à façade, l'équipement des carrefours, le matériel roulant, le dépôt, le centre de maintenance et d'exploitation, les ouvrages particuliers (parc-relais, pôles d'échange, ouvrages d'art, etc.), les aléas et l'ingénierie.

Certains postes ne sont pas communs à tous les modes ou peuvent varier en fonction du niveau de qualité du TCSP recherché. Par exemple, les modes routiers guidés n'imposent pas la déviation systématique des réseaux (même si les fournisseurs la recommandent fortement). Enfin, il faut noter que dans certains cas les aménagements peuvent être progressifs.

Exemple du coût d'investissement pour un projet LEO

	Bus	Bus guidé	Trolleybus	VGP	Tramway
Longueur	22 700 m				
Stations	34 stations				
Interstation moyenne	690 m				
Vitesse commerciale	23 km/h				
Parc matériel roulant	25 véhicules				
Système	62 M€	92 M€	88 M€	175 M€	197 M€
Voirie et réseaux	21 M€	32 M€	28 M€	44 M€	44 M€
Ouvrages particuliers	4 M€	4 M€	4 M€	5 M€	7 M€
Aménagements	12 M€ (9 M€ pour les mails + 3 M€ pour la Gare SNCF LCSP)				
Acquisitions foncières	4 M€	4 M€	4 M€	4 M€	5 M€
Aléas, ingénierie	22	31	29	50	56 M€
Total H.T.	125	175	165	290	321 M€
Coût/km	5,5 M€	7,7 M€	7,3 M€	12,8 M€	14,2 M€
Coût /places offertes /h	115 000 €	160 000 €	150 000 €	195 000 €	185 000 €

48 MF/h 84 MF/h 93 MF/h

✓ Coût d'exploitation des modes de transports

Au-delà du mode retenu, le coût d'exploitation varie en fonction du contexte d'organisation et de productivité du réseau : ainsi, la qualité des sites propres par exemple, contribue à garantir une bonne vitesse commerciale et donc à mieux maîtriser les coûts de conduite, poste essentiel dans les coûts d'exploitation.

Le coût d'exploitation intègre l'ensemble des charges de personnel (conduite, entretien, opération, contrôle), les pièces détachées, l'énergie (traction, éclairage, climatisation et chauffage) et les charges de structure.

