

Vers une mobilité performante, abordable et durable

Cette note passe en revue – sans trop entrer dans des détails techniques – les problèmes liés aux modes de transport existants en milieu urbain ou périurbain, du point de vue de leur usage et leur impact environnemental.

Elle décrit ensuite comment un nouveau mode de transport permet de pallier les inconvénients des modes existants et d'aboutir à une solution environnementalement durable.

Problèmes liés aux modes de transport urbain existants

Caractéristiques d'usage

En matière de modes de transport, il est souvent de bon ton – notamment dans les milieux écologiques, où cette question relève de l'idéologie – de considérer que les voitures sont à proscrire, car assurant un transport individuel et polluant, et que les transports collectifs (TC : bus, tramway, train, métro) sont la solution idéale, car collective et plus propre. Cela s'est traduit, depuis des décennies, par des politiques de déplacement visant à réduire la part de l'automobile par transfert modal vers les TC, surtout des TC en site propre. Pourtant, la voiture (particulière ou utilitaire) présente des avantages substantiels indéniables :

- elle donne *l'impression* de rapidité, de liberté, de service de déplacement de porte à porte – les TC ne peuvent y prétendre ;
- elle passe à peu près partout, car elle est peu encombrante, assurant ainsi la couverture complète d'un territoire urbain ; en effet, les villes ont progressivement été organisées à cet effet – les TC n'ont pas cette agilité ;
- elle se prête au trafic relativement léger ou individuel – les TC sont lourds et par définition collectifs ;
- elle est disponible 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 – les TC ne sont pas disponibles à des heures tardives et nocturnes et peu disponibles en week-end ;
- elle est disponible rapidement – avec les TC c'est impossible du fait de leur lourdeur et leur coût élevé ;
- elle offre un degré de confort (places assises garanties) inaccessible aux TC, notamment aux heures de pointe ;
- sous sa forme utilitaire, elle transporte des objets encombrants – ce n'est pas le cas des TC.

L'ensemble de ces avantages interdisent à la ville d'imposer l'usage des TC contre celui de la voiture. En outre, le coût des infrastructures de TC et du matériel roulant est énorme (mais rarement perçu comme tel par les usagers), tant en investissement qu'à l'exploitation. En conséquence, les TC ne sont jamais rentables (seule exception : le funiculaire de Montmartre) et leur exploitation repose très largement sur les entreprises (par le biais du "versement transport") et sur les pouvoirs publics, la billetterie ne couvrant que 30 % des dépenses.

Plus la clientèle est dispersée et peu nombreuse, comme c'est le cas dans les territoires peu densément peuplés, plus les TC sont difficiles à financer et à rendre attractifs en termes de qualité de service (fréquence, temps de trajet, proximité des stations, amplitude). C'est pourquoi dans les zones peu denses (y compris la grande couronne francilienne), les TC sont bien moins pertinents que les voitures. Ils le sont d'ailleurs de moins en moins au fur et à mesure que la réduction des dotations de fonctionnement aux collectivités territoriales diminue la capacité de celles-ci à entretenir des lignes de TC, souvent très sous-occupées pendant les heures creuses.

De son côté, la voiture a aussi de gros inconvénients, en particulier la congestion routière, la difficulté de stationnement et la pollution. À titre d'exemple, en Île-de-France les embouteillages ont augmenté de 22% entre 2010 et 2015. Les solutions de covoiturage et d'autopartage – en évitant l'utilisation des voitures "en solo" – peuvent soulager ces problèmes, mais en milieu urbain les gains ainsi obtenus restent assez faibles.

Nombreux sont ceux qui comptent sur la voiture autonome pour soulager les problèmes de circulation routière ; c'est même devenu une sorte de pensée unique, qui absorbe quasiment tous les crédits de recherche sur les transports. De l'avis de l'institut de recherche VEDECOM, dont c'est le sujet d'étude principal, cette technologie ne sera exploitable dans un avenir prévisible, en raison des problèmes de sécurité, que sur des voies dédiées, ce qui pose des problèmes de disponibilité d'espace et de coût de réalisation. Les spécialistes en intelligence artificielle estiment que la voiture pleinement autonome nécessite d'améliorer d'un facteur 10 000 la puissance de calcul des ordinateurs embarqués, ce qui n'est pas réalisable avant 2050. En outre, intrinsèquement la voiture autonome n'a guère la capacité de résoudre les problèmes de congestion et son modèle économique reste à trouver.

Un mode de TC a pris son essor récemment : le téléphérique urbain. Il présente des caractéristiques de vitesse et de débit similaires à celles d'un tramway et a pour avantages son fonctionnement automatique, sa non interférences avec les transports au sol, sa faible emprise au sol et ses coûts d'investissements et de fonctionnement plus modestes que ceux des autres modes de TC. Son insertion paysagère peut cependant poser problème.

Enjeux environnementaux

La transition énergétique n'est pas une option, elle est vitale pour l'humanité, en raison tant des émissions de gaz à effet de serre (GES), qui provoquent le dérèglement climatique, que de l'épuisement progressif des ressources énergétiques non renouvelables.

À des degrés divers, tous les modes de transport motorisés sont consommateurs d'énergie, qu'elle soit thermique (voiture, bus) ou électrique (voiture, bus, tramway, train, métro). Le Grand Paris Express est un exemple emblématique : il fera plus que doubler la consommation électrique du réseau de transport francilien. Le téléphérique urbain consomme également de l'électricité, mais bien plus modestement que les modes ferroviaires.

De même, tous les modes de transport motorisés contribuent à la pollution atmosphérique et à l'émission de GES, soit directement, soit indirectement à travers la production de l'électricité, qui repose pour une grande part sur des centrales thermiques alimentées par des carburants fossiles (charbon, pétrole et gaz). En outre, les voitures et bus à moteur diesel, par leurs émissions de particules fines, aggravent la pollution de l'air. Enfin, il est maintenant reconnu que la pollution sonore des modes de transport autres que les véhicules électriques et les téléphériques urbains est nuisible à la santé publique.

L'amélioration des performances énergétiques des modes de transport existants a déjà fait l'objet de nombreuses études et ne peut plus guère évoluer qu'à la marge.

Expression de besoin d'un nouveau mode de transport urbain durable

Le besoin fondamental est de déterminer une solution environnementalement durable de transport optimal, applicable en tout lieu urbain ou périurbain. Il s'agit de développer non seulement une nouvelle technologie de transport, mais avant tout un nouvel outil d'aménagement urbain permettant de dessiner un nouveau modèle ville-mobilité, débarrassé de l'emprise oppressante de l'automobile.

En grands traits, ce besoin se décline comme suit.

Exigences primitives

- *Transport*
 - Transporter de point à point, sans rupture de charge, les personnes et les biens sur un territoire avec :
 - une latence minimale (temps maximal garanti d'attente + transport),
 - une disponibilité 24h/24, 7j/7,
 - le pouvoir de s'adapter simplement aux évolutions du territoire sans le contraindre,
 - la capacité d'aller partout et de tout transporter afin de pouvoir remplacer l'automobile.
- *Durabilité*
 - Libérer la ville des nuisances anciennes : automobile, circulation, pollutions atmosphérique et sonore.
 - Employer des solutions simples et rustiques.
 - Éviter les émissions de GES, les polluants, le bruit.
 - Employer des matériaux recyclables.
- *Optimisation*
 - Consommation d'énergie minimale, compatible des énergies renouvelables.
 - Vitesse maximale modérée, vitesse commerciale plus élevée que pour l'existant.
 - Application de l'architecture la plus efficace : la plus sûre, performante, simple, économique.

Exigences dérivées

- *Architecture*
 - Déploiement d'un seul système intégré sur tout le territoire traité.
 - Déploiement d'un automate cellulaire (performances et sécurité maximales, coût minimal).
 - Voitures autonomes guidées pour atteindre immédiatement l'objectif coût/service.
 - Granularité fine pour réoccuper enfin la niche de l'automobile.
 - Formulation universelle pour restituer la flexibilité d'emploi de l'automobile.
- *Forme urbanistique*
 - Composante réseau :
capacité de couvrir tout ou partie d'un territoire de 10 à 30 km de diamètre.
 - Composante sol :
pour compléter la desserte du territoire, des moyens simples mais coordonnés au réseau permettent une desserte totale au sol sur les 100 à 200 derniers mètres.

Une solution nouvelle et innovante : CarLina

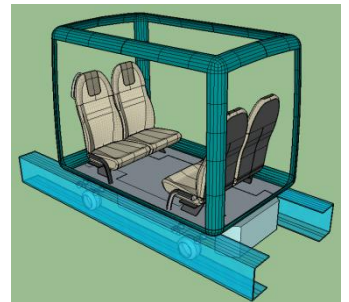
Pour répondre au besoin exprimé, la solution CarLina propose un nouveau mode de TC, qui vise à apporter au maximum les avantages de l'automobile sans en reproduire les inconvénients que sont la congestion routière, la difficulté de stationnement et l'impact environnemental.

CarLina, inscrite dans le pôle de compétitivité Mov'eo, est une sorte de mini-métro automatique surélevé, avec des véhicules d'un format un peu inférieur à celui de petites voitures électriques. CarLina peut être vue comme un réseau de voitures autonomes guidées, mais beaucoup plus simples voire rustiques, tout en allant plus loin en termes de service rendu du fait de l'intégration complète en un seul système.

CarLina fonctionne avec des rails "intelligents" sur lesquels cheminent des plateformes génériques également dotées d'intelligence et équipées de quatre roues motorisés électriquement. Les plateformes communiquent avec les rails et entre elles. L'intelligence des rails est très limitée (incorporée à intervalles réguliers dans des petites puces de communication et de contrôle, dont le coût est négligeable par rapport à celui du rail en acier). L'intelligence embarquée dans les plateformes est bien plus élaborée, mais n'occupe qu'un faible volume.

La plateforme supporte la totalité des fonctions de service et de sécurité du réseau. Les normes de sécurité et de sûreté de fonctionnement de CarLina sont celles du domaine aérospatial.

Chaque plateforme peut porter une "capsule", dont il peut exister différentes variantes : habitacle de personnes, benne de fret, équipements techniques, etc. Ci-contre l'illustration d'une capsule de type habitacle à quatre places assises, montée sur sa plateforme, dont les roues cheminent à l'intérieur des rails.



L'interface mécanique entre plateforme et capsule est standard, donc neutre par rapport aux fabricants de capsules.

Les voies portant les rails sont surélevées, typiquement à une hauteur de 3 à 4 m, sont larges de 1 m, autoportantes et épaisses de 30 cm ; les deux voies étant espacées d'un mètre, la largeur totale d'une ligne aller-retour est de 3 m. L'emprise au sol est très faible, les voies étant soutenues par des poteaux métalliques d'un diamètre de 25 cm, espacés de 10 à 12 m et vissés dans le sol, donc sans avoir besoin d'être coulés dans du béton.

Grâce à l'intelligence embarquée, le trafic est pré-ordonné en temps réel, de façon à éviter toute congestion et à garantir un temps d'attente borné (inférieur à 3 minutes) et un temps de trajet certain.

Bien que la vitesse de déplacement des plateformes soit modeste (36 km/h en ville, 60 km/h à l'extérieur), la capacité de débit est de l'ordre de 30 000 passagers par heure et par sens. Ce débit important dérive de la granularité fine et la capacité à atteindre un taux d'occupation des voies beaucoup plus élevé que celui des modes de transport ferroviaires classiques, les capsules ayant tendance à se regrouper en "peloton" et les stations étant disposées en évitement. La vitesse pourrait être augmentée, mais au détriment de la consommation d'énergie.

Le fonctionnement de CarLina est entièrement automatique et repose sur une architecture totalement distribuée, de sorte qu'il n'y a pas besoin d'un centre de contrôle externe, ce qui réduit au strict minimum le coût d'exploitation.

Le coût des voies est évalué à **moins de 1 M€ par kilomètre, 100 fois moins que celui d'un métro automatique, et 20 fois moins que celui d'un téléphérique urbain.**

Typiquement, les stations sont espacées de 200 m et les lignes également de 200 m. On crée ainsi une bande de 200 m de large où l'usage des voitures et camions de livraison est comparativement plus lent, plus cher et moins disponible. Par extension, on obtient un espace urbain à 99 % bâti ou piétonnier, sans circulation automobile, bitume, priorités, passages protégés, bruit,... La légèreté de son infrastructure permet à un réseau CarLina d'être modifiée ou étendue – et même d'être démontée – assez facilement, ses matériaux (acier, aluminium) étant par ailleurs recyclables. Étant silencieux et non polluant et ne consommant pas plus d'énergie par passager qu'un vélo électrique, cette solution s'inscrit très favorablement dans la perspective de la transition énergétique.

La figure ci-dessous illustre plusieurs fonctions de CarLina : transport de masse (formation spontanée de pelotons), individuel/isolé/nocturne..., fret, servitude terminale au sol. À noter également :

- L'élément de mobilité au sol figuré en arrière-plan – la composante sol du réseau – est capital : c'est ce qui permet très simplement, en remplaçant avantageusement le trafic de livraison/ambulancier/technique, de compléter le service qui rend l'automobile superflue.

- Le transport du fret avec 100 m de marche aux extrémités demeure bien plus rapide qu'avec les modes classiques, par la circulation ininterrompue de la composante réseau.
- La plateforme porte indifféremment les charges illustrées. La collectivité territoriale qui exploite le réseau peut ainsi configurer rapidement son parc : il faut 10 min. pour changer une plateforme de "voiture" à "wagon".



Du point de vue de l'urbaniste, comme l'insertion de CarLina s'accompagne du retrait progressif du trafic viaire et de ses nuisances, il convient de comparer l'état complet avant et après la mise en place de cette solution.

Le potentiel de CarLina est très important. Les principaux obstacles à son adoption seront probablement sa rupture avec les modes de transport actuels et l'inertie importante de ceux-ci. En revanche, son faible coût et son faible encombrement permettent de l'insérer en des lieux inaccessibles, financièrement et/ou physiquement, aux modes de transport classiques. Pour autant, CarLina n'a pas vocation à aller dans toutes les petites ruelles, le réseau empruntera surtout les axes principaux ; par exemple, sur des boulevards où la distance entre façades est de 20 m ou plus, l'intégration ne pose aucun problème selon l'avis des paysagistes.

Le faible coût de CarLina permet par ailleurs d'envisager des expérimentations très peu risquées. Un contexte de choix serait celui du développement d'un quartier nouveau, car cette technologie pourrait y être intégrée d'emblée avec l'habitat et y rencontrerait le moins de résistance.

Enfin et surtout, CarLina ouvre une perspective extrêmement prometteuse de **résoudre le problème, jusqu'ici non résolu, de la desserte des zones périurbaines**, où la faible densité de population et la dispersion de l'habitat n'autorisent pas l'exploitation de moyens de transport classiques dans des conditions économiquement viables.

Fiche technique de CarLina

Tous véhicules

Propulsion électrique, sur supercondensateurs
 Bruit < 40 dB (silencieux)
 Nuisances Néant
 Consommation Minimum théorique
 Masse plateforme automotrice à vide 150 kg
 Masse totale version passagers 500 kg
 Masse totale version fret 700 kg

Transport des passagers

Débit maximal/ligne 30 000/h
 Vitesse commerciale ville 36 km/h
 Vitesse commerciale extérieur 60 km/h
 Temps d'attente < 1 mn
 Trajet point-à-point sans escale

Transport de marchandises

< 500 kg dans le trafic normal
 500 kg < < 1 t hors heures de pointe
 Conteneur 20'/3 t trafic de nuit

Modalités de mission

Mode haut débit planifié, réservation
 Mode taxi attente en station < 3 mn
 Fret accompagné planifié/taxi
 Fret autonome planifié
 Convois spéciaux grand volume planifié, nocturne

Taille du réseau

Nombre maximal de véhicules 65 000/réseau
 Nombre de stations sans limite
 Nombre de mailles de réseau sans limite

Coût du réseau

Voie < 1 M€/km, + si obstacles
 Station 100 k€ + ascenseur PMR
 Voiture passagers 35-60 k€ selon équipement
 Plateforme automotrice fret 25 k€
 Plateforme automotrice technique sur spécifications

Informations complémentaires : www.aida-sea.fr.