

De l'autorail au train très léger

Pour qui, pour quoi ?

Avril 2021



Mr Margouillat, Wikimedia Commons

*Véhicule Aramis, système développé dans les années 70 et 80 par la RATP.
Le concept est celui de nombreux projets passés et actuels : transport autonome guidé
point-à-point et à la demande, 24h/24.*

La démarche engagée par le MTES (DGITM)

- Encourager le développement d'un matériel léger / très léger
 - Modulo adaptations réglementaires et sécuritaires pour faciliter son usage
- Déterminer les portions de réseau susceptibles de l'accueillir
 - Et par conséquent l'importance du marché potentiel
- En profiter le cas échéant pour implémenter des innovations :
 - Susceptibles de réduire les coûts de production (abaissement du « point mort ») sur des lignes à faible trafic ou sur des lignes à rouvrir : signalisation frugale, voie légère, autonomie de conduite, usage à la demande, etc.

Un peu de terminologie

- **Autorail conventionnel** : X 73500 (80 places, 12 t/essieu)
- **Train léger (TL)** : optimisation du modèle conventionnel dans la voie de l'allègement et de la consommation d'énergie, en restant dans les normes du réseau ferré national (compatibilité avec d'autres circulations conventionnelles)
- **Train très léger (TTL)** : concept innovant partant d'une page blanche, sans obligation de compatibilité avec les normes régissant le RFN => règlement de sécurité ad hoc, restrictions d'accès aux gares (voies dédiées nécessaires).

Quelques matériels existants ou ayant existé

Type	Date construction	Ecartement	Poids à l'essieu	Capacité places assises	Possibilités de circulation en UM	Nombre construits
X 5500-5800 (U 150)	1950-1954	Voie normale	4,375 t (17,5/4)	63	Jumelage + remorques ad hoc	106
X 5600 (FNC)	1948-1953	Voie normale	6,25 t (12,5/2)	43	Jumelage + remorques ad hoc	60
X 3800 (U 300) (120 km/h)	1950-1960	Voie normale	7,875 t (31,5/4)	87	Jumelage + remorques unifiées	250
X 5000 / X 240 (Corse et Blanc-Argent)	1980-84	Voie métrique	6,25 (25/4)	44	Jumelage + remorques ad hoc	4
Z 100 (Train Jaune) Le seul encore en service commercial « TER »	1908-12	Voie métrique	7 (28/4)	40	Jumelage + remorques ad hoc	18
X 97150 (A2E, Carhaix-Paimpol)	1990	Voie normale	12,2 t (25,5/2)	50	?	3
RegioShuttle (Stadler) (120 km/h - 1,2m/s ²)	1996-2013	Voie normale	10 (40/4)	70-100	Jumelage	497
Schienenbus VT 98 (DB)	1953-1962	Voie normale	9,45 t (19,5/2)	58	UM + remorques adaptées	332

Situation des « petites lignes »

- Niveau de demande critique, même avec petits autorails et infra simplifiée
 - Deux façons d'adapter le débit au besoin : taille du véhicule / fréquence
 - Choix classique = fréquence progressivement réduite, jusqu'à la fermeture
- Abandon progressif des trains légers de type autocar sur rails
 - Lignes concernées fermées pour la plupart
 - **Performances faibles** (vitesse/capacité/confort) : un autocar les atteint à coût moindre, car non contraint par le guidage.
 - Petites séries lignes particulières : enjeux maintenance et fragilité industrielle
- Regain d'intérêt pour un **système** léger moderne et performant
 - Clé « 100-100-10-10 » : 100 places, 100km/h, < 10t/essieu, système à 10€/km
 - Voire encore plus léger ?

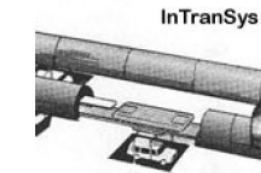
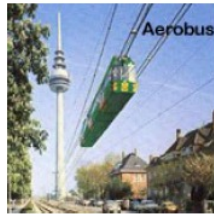
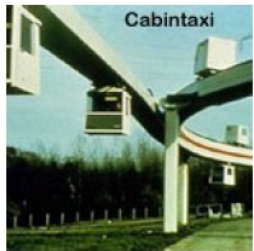
A l'étranger



Moto sur rail, Argentine,
Docu. *Des trains pas comme les autres*

- Des trains légers « classiques » (Allemagne, Suisse, etc.)
 - Regioshuttle (RS1) de Stadler : à peine plus capacitaire que le X 73500, pour **40t** vs 48, 120 km/h vs 140, mais **performant** (accélération $1,2\text{m/s}^2$)
 - Comme en France, pas de « successeur » des « récents » RS1 et VT641 (=73500)
- De nombreux autres systèmes encore plus légers :
 - Des **systèmes coûteux** : Morgantown (USA) ou plus récemment Heathrow, véhicules routiers guidés sur voie dédiée type taxi-robot, courtes distances
 - Des **bricolages** : minibus sur rail (Cuba), estafette sur rail (Roumanie), etc.
 - Des **intermédiaires**, mais toujours en petites séries, très spécifiques.
 - Et des centaines de **projets** routiers et ferroviaires, la plupart abandonnés, basés sur de petits modules autonomes (automated people mover)

Et de l'inventivité !



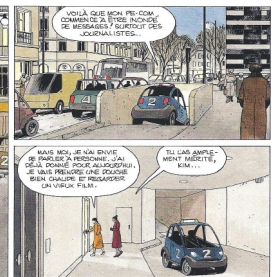
PRT de Masdar, É-A-U, 2015



Serpentine, Suisse, 2001



Tram sur pneu sans rails ni chauffeur, 70 km/h, sur batteries, Chine, 2017



Heathrow, UK, « since 2012 »



Denver, années 70



Vectus

Quelles orientations ?

Situation initiale :

- 12.000 km de lignes « UIC 7 à 9 » dont 9.000 km avec voyageurs
- **faible offre et faible trafic**
- infra limitée : voie unique non électrifiée, signalisation simplifiée
- **Infra dégradée** : vitesse limitée, affaiblit encore le système.
- matériel type X73500 (1 caisse) ou X72500 (bicaisse)

1) Si un potentiel existe → **offre cadencée**

- Amortissement des coûts fixes et hausse de trafic.

2) Si potentiel très limité et/ou ligne déjà fermée : quelle alternative ?

A) Autocars sur route parallèle ou sur la plateforme bitumée

B) Système ferroviaire léger « classique » ?

C) Système ferroviaire léger/très léger en rupture ?

Un indice permettant de mieux cibler les lignes concernées : l'usage actuel d'autorails monocaisse (X 73500)



Quel domaine de pertinence ?

- Borne basse du système ferré actuel :
 - X73500 : 80 places, 48 t, 140 km/h
 - Tram-train, « léger et nerveux » : 75+75 places (assis-debout), <40 t , 100 km/h
 - Coût **total** en système cadencé : ~10€/tr.km selon l'infra, le matériel et la rotation
- Borne haute du système routier actuel :
 - Autocar grand tourisme : 65 places (assises seulement), 15 t, 100 km/h
 - Coût **total** : 2 à 4€ / car.km, dont infra ~0,25€, selon matériel roulant et rotation

Cadrage économique : < 10 voire < **5 €/train.km** tout compris

→ Réflexion **système** en lien avec un service : matériel « léger et nerveux », infra légère, signalisation frugale, gares réaffectées, billettique, correspondances, etc.

Quel domaine de pertinence ?

- Quel intérêt des rails pour une capacité atteignable en car ?
 - **Confort** : infra mais aussi toilettes, espace à bord, en gare... Qui coûtent !
 - **Sécurité** : suppose une signalisation ad hoc (guidage sur **voie unique** de plus)
 - **Régularité** : idem (précision des croisements). « Avantage neige » symbolique mais faible dans les faits + flexibilité moindre en cas de perturbation.
 - **Vitesse ?** Peu de lignes non pertinentes en train classique au-delà de 100 km/h
 - **CO2 ?** Implique un poids plume, donc rupture « poids par place » vs autocar
 - **Voyageurs debout** pour absorber les pointes ? Si freinage d'urgence raisonnable
 - **Couplage véhicules** en pointe
 - Structuration physique du territoire ? Fonctionne si gares visibles (→ coût)
 - Autres ?



Cuba, 2012
Photo B. Meignien

Quoi de neuf ?

- **Automatismes**

- **Moins coûteux**, grâce aux rails toujours mais aussi progrès logiciels (?)
- **Plus performants (plus que l'humain)** : Conduite à vue à 100 km/h, par tous temps, en particulier aux passages à niveau ?
- Plus fiables ? Cas du véhicule « en panne » au milieu de la ligne
- **Peut-on envisager un système à véhicules peu capacitaires sans automatisation ?**



Poste de contrôle d'Aramis, in Bruno Latour, *Aramis ou l'amour des Techniques*.

Quoi de neuf ?

- Matériaux
 - Moins lourds, mieux dimensionnés.
 - N'élude pas 1 voie en bon état : léger = durée de vie courte sur voie dégradée
 - Ou une suspension qui absorbe les défauts de voie ?
- CO2 / énergie :
 - Sujet énergie déjà présent par le passé (guerre) ou à l'étranger
 - Sujet CO2 devenu majeur → **légèreté, mais aussi motorisation** : batteries, hybrides, électrification partielle, « biodiesel », récupération d'énergie au freinage, optimisation marches sur l'erre, etc.
- Plan de relance
 - Inventer de nouvelles solutions, investir pour l'avenir

Le GT TTL de la DGITM : quelques leçons

- Discussions ouvertes autour des questions communes qui nécessitent une prise de position de la part des pouvoirs publics, toujours suspectés de brider l'innovation :
 - Quelles modalités d'expérimentation (lignes test ? Financement de démonstrateurs ?)
 - Quelle souplesse dans l'évolution de la réglementation, quelle entité responsable (EPSF et STRMTG étaient présents) ? Comment gérer la sécurité, notamment au niveau des PN ?
 - Quel marché (nombre de lignes « déconnectables du RFN) ?
 - Quelle infrastructure ? Conventiennelle ou *ad hoc* ?
 - Quelles économies en termes d'émissions de CO2 par rapport à un service routier ?
 - Quel modèle économique ? Abaissement du point mort des petites lignes, comparaison avec l'autocar sur route ? Une ligne fictive de 50 km avec des caractéristiques données a été soumise aux innovateurs pour qu'ils effectuent des chiffrages.

Les deux cas d'usage soumis aux innovants

- Cas N°1
 - 50 km de desserte, de type pendulaire, avec descente « en masse » au bout de ligne
 - 1000 voy/j, trajet moyen 35 km (35000 vk), avec :
 - Desserte **minimum** imposée à un départ /h/sens hors pointe, 1 départ / 30 mn en pointe (6h-9h, 16h-19h), amplitude 16h (6h-22h), soit **1800 véhicules unitaires.km**
 - 2/3 des voyageurs en pointe, 1/3 en heures creuses
- Cas N°2
 - 50 kms de desserte, type pendulaire, descente « en masse » en bout de ligne
 - 500 voy/jour, trajet moyen 35 km (17500 vk), avec
 - Desserte **minimum** imposée à un départ /1h/sens toute la journée
 - amplitude 16 h (6h-22h), soit **1200 véhicules unitaires.km**
 - 2/3 des voyageurs en pointe, 1/3 en heures creuses

Des innovants hors sol ?

- Trois projets reposant sur un système ferroviaire classique avec un allègement drastique du matériel et le recours à des batteries : écotrain (<https://navetteferroviaire.org/>), Taxirail (<https://www.taxirail.fr/>) et Draisie (SNCF+CAF : <https://www.sncf.com/fr/innovation-developpement/innovation-recherche/mobilite-pour-tous-dans-les-territoires>)
- Un projet rail-route (Flexmove) porté par Akka Technologies avec des véhicules routiers conventionnels adaptés au rail avec conduite autonome en mode guidé : cf. <https://www.akka-technologies.com/akka-transforme-la-mobilite-avec-flexmove/?lang=fr>
- Un projet de capsules à 2 places sur voie très légère (Urbanloop) davantage adapté à des boucles locales qu'à une ligne de 50 km... porté par un consortium d'écoles d'ingénieurs lorraines : cf. <https://urbanloop.univ-lorraine.fr/> et faisant l'impasse sur la réfection des infrastructures.

Où en sommes-nous ?

- Appel à projets CORIFER dans le cadre du PIA 4, lancé au printemps 2021 et géré par l'ADEME
- La partie ferroviaire a été transférée dans un second AAP sur lequel la DGITM entend avoir la main, baptisé « Digitalisation et décarbonation du secteur ferroviaire ». Résultats à venir sous peu, avec des projets de développement sur 4 à 5 ans devant déboucher sur des prototypes. Enveloppe minimale de 4 millions d'€ par projet. *« Les projets pourront notamment porter sur le développement de briques technologiques, de démonstrateurs territoriaux ou de projets pilotes intégrant des briques innovantes, permettant de valider la pertinence technico-économique de la solution en usage représentatif ».*



*Gare de Lacapelle-
Viescamp (Cantal), 2019*

Merci de votre attention