

1971

Transports collectifs urbains et maîtrise de l'énergie

B. JACHIMIAK et C. SOULAS,
Agence française pour la maîtrise de l'énergie

Transports collectifs urbains et maîtrise de l'énergie

Il existe une grande variété de matériels de transport en commun en service, en construction ou en projet. Chacun a ses détracteurs et ses défenseurs. Tous sont passionnés. En fait l'intérêt d'un système n'est jamais absolu mais dépend des cas d'applications envisagés. L'objet de cet article est d'apporter quelques précisions quant à la nature et aux utilisations possibles des divers systèmes de transport collectif urbain, à la lumière de leur éventuel impact énergétique.

ASPECTS GÉNÉRAUX

Si on s'en tient au seul critère énergétique, le choix d'un système de transport doit s'apprécier en fonction de deux paramètres :

- son caractère intrinsèquement économe,
- son attractivité vis-à-vis d'usagers utilisant jusqu'alors un mode de transport plus vorace en énergie.

Ce deuxième paramètre est particulièrement important.

Augmenter la part de trafic du transport collectif paraît constituer, au plan de la maîtrise de l'énergie, une voie d'action non négligeable. Pour y parvenir, il convient d'explorer simultanément deux voies :

1) Limiter l'attractivité de l'automobile en ville (par exemple par une politique adaptée du stationnement, par un meilleur partage de la voirie pour favoriser les modes les plus économes, par la limitation des nouvelles infrastructures routières, etc.).

2) Augmenter l'attractivité des transports collectifs urbains en améliorant régularité, vitesse commerciale, fréquence de passage, confort, et en créant des réseaux cohérents.

Cet article ne traite que les aspects relatifs à ce deuxième point; en insistant cependant sur le fait que seule la mise en place d'organi-

sations globales des systèmes de transport, intégrant notamment des mesures du premier type, sont susceptibles de concourir efficacement au succès de cette politique.

COMPARAISONS ÉNERGÉTIQUES

Compte tenu des nombreux paramètres entrant en jeu les comparaisons énergétiques entre modes sont toujours délicates et ne donnent qu'un ordre de grandeur. Ainsi une différence de consommation de 10 à 20 % entre deux modes est peu significative, par contre le rapport de 3 à 5 entre voiture particulière et transport collectif est à prendre en considération.

Il se trouve que le fait de rapporter la consommation d'énergie au passager/kilomètre transporté avec un coefficient de remplissage moyen est à la fois la méthode la plus pratique pour la comparaison entre modes et le critère le plus universellement utilisé. Il apparaît difficile et peu utile d'affiner ce critère* dans la mesure où les incertitudes relatives à l'évaluation des paramètres (coefficient de remplissage, dis-

tance parcourue par rapport à la distance utile, effets induits, améliorations technologiques...) et les possibilités d'évolution de ces paramètres concernent tout autant les divers modes de transport collectif ou individuel. Le développement des transports collectifs urbains dépasse le strict cadre énergétique, mais on peut remarquer que d'autres arguments jouant en faveur de ce développement ont un lien indirect avec l'énergie :

a) La pollution (1) qui dépend de la quantité d'énergie consommée et de la nature de cette énergie. Ainsi les transports collectifs à moteur thermique dégagent moins de pollution par passager-km transporté que la voiture particulière, et les systèmes à traction électrique ne dégagent eux aucune pollution atmosphérique en milieu urbain.

b) La consommation d'espace nettement réduite des transports collectifs (en circulation et en parking) est un facteur de diminution de la saturation des voies de circulation, cette saturation étant surconsommatrice d'énergie.

c) La sécurité est tributaire des collisions qui sont directement liées à l'énergie cinétique mise en jeu ainsi qu'à la maîtrise de cette énergie cinétique. Les transports collectifs diminuent l'énergie cinétique mise en jeu par passager transporté (encore plus en cas de site propre). Ce point est important car même si ce n'est pas le cas des tués, le plus grand nombre de blessés dus à la

(1) Si l'on excepte les quelques villes à industries très polluantes, la pollution atmosphérique en milieu urbain est due essentiellement à la circulation routière : monoxyde de carbone, oxydes d'azote, plomb, etc.

| TRACTION ELECTRIQUE | | | | | | | | | | MOTEUR THERMIQUE | | | | | | | |
|------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---------------------|--|--------------------------------|--|----------------------------|--|---|--|
| GUIDE | | | | | | | | | | ROUTIER | | SITE BANAL, RESERVE OU PROTEGE | | SYSTEMES AVEC CONDUCTEURS | | BUS | |
| | | | | | | | | | | FERROVIAIRE | | | | | | BIMODE DIESEL | |
| NON FERROVIAIRE | | | | | | | | | | SITE PROPRE | | SYSTEMES AUTOMATIQUES GUIDES | | TROLLEY | | BUS articulé | |
| | | | | | | | | | | | | | | SYSTEMES FUTURS | | MANIBUS | |
| SYSTEMES AUTOMATIQUES GUIDES | | | | | | | | | | ROUES A SANDARE | | ROUES FEP | | BIMODE ELECTRIQUE | | MINIBUS ELECTRIQUE | |
| | | | | | | | | | | | | | | SYSTEMES HECTOMETRIQUES | | TELEBUS DELTA V SK | |
| SUSTENTATION MAGNETIQUE | | | | | | | | | | COUSSIN D'AIR | | BOULEMENT PNEUMATIQUE | | TRAMWAY | | METRO | |
| | | | | | | | | | | | | | | H-BAHN C-BAHN | | RER, S-BAHN trains de banlieue | |
| CRÉNEAU PEU UTILISÉ - OTIS | | | | | | | | | | | | | | ICTS canadien | | SYSTEMES FUTURS | |
| | | | | | | | | | | | | | | VAL ARAMIS POMA 2000 | | SYSTEMES AMERICAINS SYSTEMES JAPONAIS SYSTEMES FUTURS | |
| | | | | | | | | | | | | | | H-BAHN | | H-BAHN | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Certains systèmes particuliers n'apparaissent pas dans le tableau :
- le bus guidé actuellement pratiquement inexistant,
- le métro sur pneu, généralement les métros sur pneu ont également des roues fer,
- le TRAX système particulier sans véhicules : trottoir roulant accéléré.

Tableau 1 : Modes de transport collectif urbain.

circulation routière est occasionné par des accidents survenant en agglomération.

au passager transporté ne sont pas totalement optimisées du fait des

conditions générales de circulation dans lesquelles il évolue, du phénomène de répartition non uniforme de la demande (problème des heures creuses et du compromis à trouver pour ne pas trop limiter l'attractivité) et enfin de sa conception technologique même.

Il peut être considérablement amélioré au plan énergétique par diverses mesures, touchant d'une part à l'organisation générale du système de transport :

- couloirs réservés ou voies protégées,
- priorité aux carrefours,
- service rapides directs ou semi-directs,
- adaptation de la capacité : minibus ou au contraire bus articulé à grande capacité ;

et d'autre part, à l'engagement de programmes d'innovation technique :

- chaînes de traction plus performantes et optimisation des auxiliaires,
- utilisation de composants nouveaux, par exemple la transmission hydrostatique qui pourrait déboucher sur la récupération de l'énergie cinétique au freinage,
- l'allègement des véhicules par des conceptions originales et l'utilisation de matériaux nouveaux,
- le passage aux bus électriques.

Sur ces différents aspects l'A.F.M.E. a engagé en 1983 des programmes de mise en œuvre d'opérations pilotes et de développement de recherches technologiques.

LES SYSTÈMES

Le tableau 1 dresse la liste des divers modes de transport collectif urbain. Chacun présente ses particularités propres qui conduisent à le réserver à certains usages plutôt qu'à d'autres.

Le bus

Ce système s'est le plus généralisé du fait de sa souplesse et de sa facilité d'insertion. Il devra probablement subsister partout où on ne pourra pas implanter un des autres systèmes évoqués par la suite. Ses performances énergétiques mesurées en consommations spécifiques

Le tramway moderne français est en cours de construction à Nantes (photo SEMITAN).



La traction électrique

Le choix d'un système de transport collectif à traction électrique revêt une importance particulière pour des raisons énergétiques (indépendance pétrolière, et possibilité de récupération) mais aussi pour des raisons liées au confort et à l'environnement (réduction de la pollution atmosphérique et du bruit).

Les solutions possibles sont les suivantes :

- a) le minibus électrique à batteries adapté pour des dessertes en centre ville,
- b) le trolley bus,
- c) le trolley bus bimode qui permet de supprimer les trolleys d'alimentation dans les zones où ceux-ci sont considérés gênants (centres historiques ou au contraire quartiers périphériques à faible flux de transport). Le bimode thermique utilisé à Nancy est équipé d'un moteur diesel. Dans le cas du bimode tout électrique, dont un prototype a fonctionné à Lyon, une autonomie de quelques kilomètres est assurée par des batteries,
- d) le tramway réapparaît avec le tramway moderne dont une première réalisation est en cours à Nantes,
- e) les systèmes en site propre qui comprennent les métros et les sys-



Le trolleybus mode traditionnel à traction électrique est remis au goût du jour (photo R.V.I.).

tèmes automatiques guidés parfois appelés modes nouveaux.

Les quatre possibilités sont les suivantes :

- site banal, mêlé à la circulation générale,
- site réservé (par exemple couloir à bus) où une voie pour transport

collectif est simplement matérialisée sur la chaussée,

- site protégé : la voie réservée est en plus séparée physiquement des voies de la circulation environnante, mais le passage aux carrefours s'effectue selon les règles communes,
- site propre : il n'y a plus de conflits aux carrefours, le système passe soit au sol avec des carrefours en dénivelé, soit en aérien, en souterrain, en tranchée ouverte, en semi-enterré ou en semi-aérien. Il est bon de préciser qu'il s'agit de site propre intégral, par opposition au site protégé auquel on entend parfois attribuer le qualificatif site propre.

Les couloirs réservés pour autobus améliorent la consommation énergétique et l'attractivité des autobus, encore plus s'ils sont protégés. (photo CETUR)



En terme d'efficacité énergétique, le passage successif par ces différentes possibilités permet d'accéder aux infrastructures les plus performantes. Il est clair en effet que simultanément diminuent les arrêts et ralentissements générateurs de gaspillages d'énergie et augmente l'attractivité du système susceptible ainsi d'induire des transferts importants du transport individuel vers le transport collectif. Naturellement, la contrainte économique n'est pas à négliger, le gain de performance énergétique se traduisant par un surcoût financier qui peut être important.

En tout état de cause, chacun à leur niveau, les investissements liés à la réalisation d'un site réservé, d'un site protégé ou d'un site propre sont des investissements destinés à économiser l'énergie, et ceci sur une longue période. Le choix

entre les différentes possibilités ne dépend pas seulement du débit de passagers à transporter mais également des caractéristiques du site.

Les bus, trolleys, bimodes et tramways peuvent selon les cas être installés en site banal, réservé ou protégé, voire en combinaison de ces trois possibilités pour un même parcours. L'intérêt du système tramway est sans doute le plus important en site protégé. Le tramway peut également être installé en site propre intégral, notamment sous forme de métro léger, mais il entre alors en concurrence avec les systèmes automatiques guidés. Le métro atteint actuellement ses limites d'efficacité énergétique avec les prolongements de ligne en banlieue et avec les lignes secondaires des réseaux de métro de province. Il faut donc passer à des systèmes en site propre adaptés à des débits moins élevés que ceux des métros « lourds ».

Les systèmes automatiques guidés

Du point de vue de l'attractivité le site propre permet de garantir une bonne régularité et une vitesse commerciale élevée. Dans le cas des systèmes automatiques guidés ces caractéristiques sont complétées par une fréquence de passage élevée, applicable donc même pour des débits inférieurs à ceux du métro : pour assurer un certain débit l'absence de conducteur résultant de l'automatisme intégral permet de choisir un plus grand nombre de véhicules de capacité unitaire plus faible se succédant à cadence plus élevée. Cette fréquence de passage relativement plus élevée s'applique également aux heures creuses, ce qui est un facteur d'attractivité des transports collectifs (plus encore si le trajet nécessite une ou deux correspondances), susceptible de conduire à des transferts modaux.

Le site propre intégral en milieu urbain est une solution d'avenir qui permet d'augmenter artificiellement (ou de mieux gérer) l'espace devenu trop rare en ville, afin d'économiser l'énergie et/ou augmenter la mobilité. Il existe plusieurs types de systèmes pouvant utiliser le site propre intégral, mais ils n'ont pas tous le même impact énergétique. Ainsi, le métro, utilisé en dessous d'un certain seuil de débit, consomme plus d'énergie que la moyenne des transports collectifs. Or, en France, la plupart des sites où un métro lourd se justifie sont déjà pourvus.

Par ailleurs il a été développé des sites propres intégraux pour automobiles : périphériques, voies rapides, voies sur berge, toboggans aériens, voiries souterraines, etc. Ceux-ci accroissent la mobilité des automobiles et augmentent globalement la consommation d'énergie. Ils sont également plus voraces en espace : pour assurer un débit modeste (par rapport au débit d'une ligne de transport collectif) il est nécessaire de multiplier le nombre de voies de circulation (1), sans parler des voies de raccordement.

Ainsi le seul site propre intégral qui pourra s'imposer dans les villes est celui des transports collectifs plus légers que le métro. Les avantages et les inconvénients des systèmes automatiques guidés doivent cependant s'apprécier par rapport à cette notion de site propre intégral : ils nécessitent des infrastructures coûteuses inhérentes à ce type de réalisation, mais dès lors qu'un site

(1) par exemple à Paris sur la petite ceinture, avec 15 000 p/h sens, Aramis pourra écouler sur 2 m de large deux fois plus de personnes que le périphérique sur une largeur de 10 m à l'heure de pointe.

propre intégral est souhaité pour les raisons déjà évoquées, ils sont les mieux adaptés. Notons de plus que dans les années à venir d'autres systèmes plus optimisés pourront apparaître, le progrès consistant à alléger de plus en plus le poids et le coût des infrastructures.

Actuellement existent plusieurs systèmes automatiques guidés (cf. tableau 2) dont les différences portent essentiellement sur le créneau visé (débit, vitesse, pentes, etc.) et sur les choix technologiques de base :

- Le VAL récemment mis en service à Lille franchit un premier pas par rapport au métro classique à pilotage automatique :

- des automatismes supplémentaires pour assurer les fonctions résiduelles normalement prises en charge par le conducteur,
- une capacité unitaire plus faible (répercussions sur le gabarit et le poids),
- une gamme de débit juste en dessous de celle du métro.

- Une version simplifiée du POMA 2000 est en construction à Laon, il s'agit d'une réalisation beaucoup

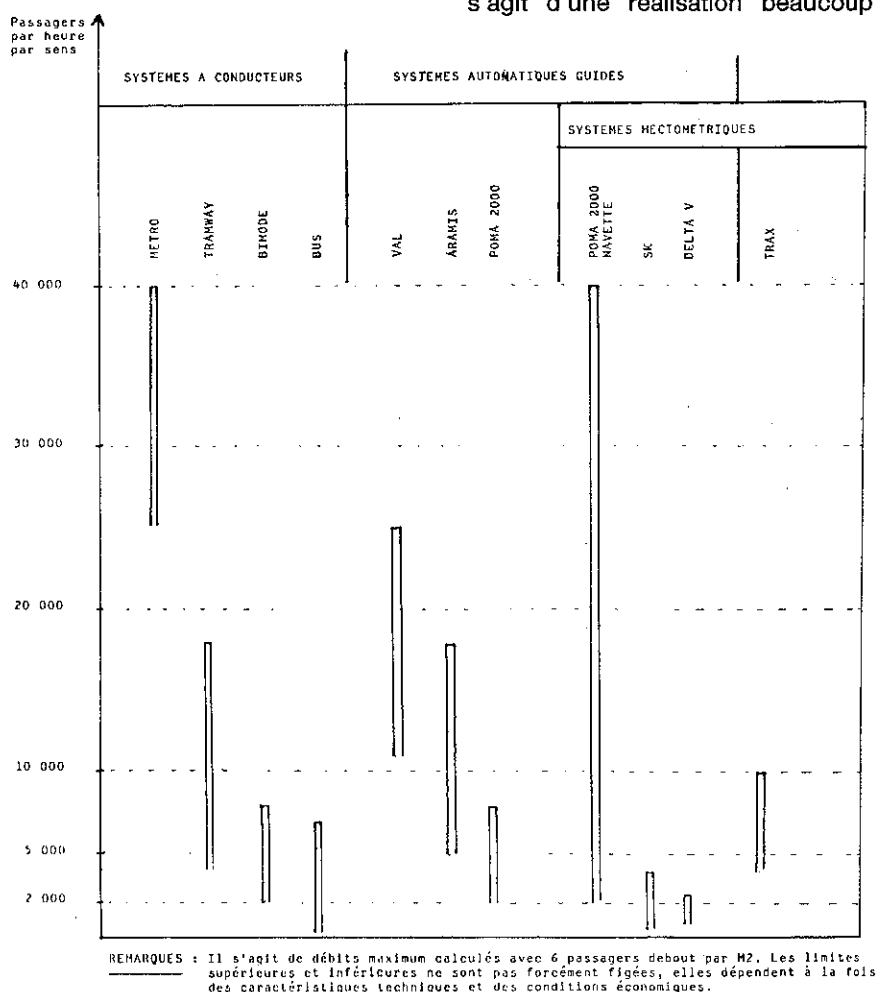
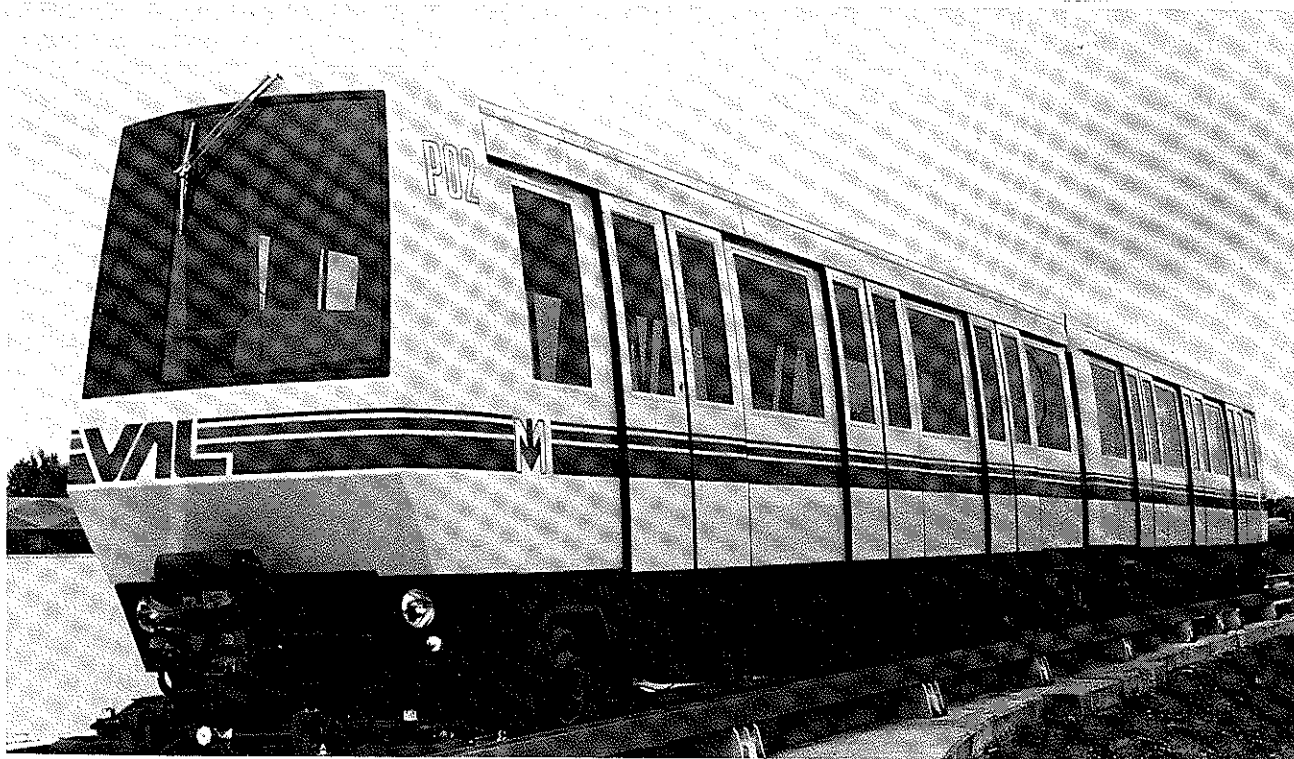


Tableau 2 : Ordre de grandeur des débits.



VAL, métro de Lille : l'Automatisme du système VAL assure la conduite des rames, la régulation du trafic, les sécurités anti-collision et anti-survitesses (photo MATRA).

plus modeste mais qu'il sera intéressant de suivre du point de vue de l'insertion d'un système à débit modeste en aérien et au sol dans une ville moyenne, et du point de vue des possibilités (entre autres énergétiques) de la traction par câble en milieu urbain.

- Le projet ARAMIS sur la petite ceinture sud de Paris est assez ambitieux bien qu'il s'agisse également d'une version simplifiée : dans les véhicules de 10 places tous les passagers seront assis. Malgré une tare à vide par passager un peu plus élevée que pour les autres transports collectifs, ce projet devrait être intéressant du point de vue énergétique car le couplage électronique de ces véhicules en rame permet d'adapter tout au long de la journée la capacité unitaire au débit réel, en augmentant ainsi le coefficient de remplissage tout en maintenant une bonne fréquence de passage même aux heures creuses.

Dans l'avenir, ces systèmes pourront évoluer technologiquement notamment dans les directions suivantes :

- amélioration des automatismes de commande,
- exploitation de créneaux techniques peu utilisés en France : roulement sur rail, traction par moteur linéaire, etc.,

- amélioration du roulement-guidage pneumatique par guidage latéral électronique,
- pilotage à intervalles plus courts,
- améliorations classiques pour tout type de véhicules, par exemple allègement,
- d'une manière générale mise au point de systèmes adaptés pour les villes moyennes, avec des infrastructures allégées.

Les réseaux

L'efficacité des transports collectifs passe généralement par la réalisation de réseaux où plusieurs lignes quadrillent une agglomération. Il importe de remarquer qu'aucun système n'exclut les autres et qu'un réseau peut être constitué de lignes utilisant des systèmes de nature différente. Or à l'origine les systèmes automatiques guidés sont parfois apparus comme destinés à remplacer d'emblée tous les autres systèmes. Pour les PRT (Personnel Rapid Transit) il s'agissait même de supprimer toutes les correspondances et tous les arrêts intermédiaires, le passager pouvant programmer lui-même la destination de son petit véhicule. Il est clair qu'une telle solution présente sur le plan de l'efficacité énergétique beaucoup d'avantages en limitant les interruptions de trafic conduisant à des gaspillages énergétiques et diminuant le caractère dissuasif des

correspondances pour les usagers potentiels des transports collectifs.

Actuellement les PRT ne sont plus (ou pas encore) d'actualité, mais il existe d'autres méthodes pour sinon supprimer totalement du moins réduire notablement les pénalités des correspondances :

- réduire le temps d'attente en améliorant les systèmes classiques et en installant lorsque c'est possible des systèmes automatiques guidés moins complexes que les PRT,
- installer des systèmes hectométriques aux correspondances longues et/ou pénibles.

Les systèmes hectométriques

Ils sont adaptés pour des distances courtes de quelques centaines de mètres, même si certains d'entre eux peuvent éventuellement être utilisés pour des distances plus longues.

Leur domaine d'application est le suivant :

- correspondances,
- rabattement vers des lignes de transport en commun plus importantes,
- aides au piéton au sein de zones piétonnes ou pour le franchissement de ponts et d'obstacles divers,
- desserte de zones spécifiques :

aéroports, centres commerciaux, terrains d'exposition, hôpitaux, etc.

Le fait que les systèmes hectométriques puissent être l'un des multiples éléments de l'attractivité des réseaux montre que leur impact énergétique ne doit pas être envisagé isolément, mais globalement du fait de leur contribution à l'incitation à utiliser les transports collectifs, voire la marche à pied dans les zones piétonnes.

Différents systèmes existent actuellement à des stades divers d'avancement :

Le TRAX

C'est le seul trottoir roulant accélééré dans le monde à atteindre le stade de l'industrialisation et prochainement de l'expérimentation commerciale. Il est adapté pour les correspondances à gros débit.

Le DELTA V

Son développement est beaucoup moins avancé. Il est adapté pour les sites à très fortes pentes, et pour les correspondances à faible débit comprenant au besoin des très fortes pentes (escaliers) et des courbes à faible rayon.

Le SK

Ce système est parti le dernier mais son développement est déjà important. Il pourrait être d'une utilisation plus universelle au sein du domaine d'application général des systèmes hectométriques, à l'exclusion des gros débits et des très fortes pentes.

Le POMA 2000 en version spéciale navette

Un POMA 2000 adapté du type funiculaire peut satisfaire des dessertes en navette à très gros débit.

Le TÉLÉBUS

Son développement est actuellement au point mort. Son créneau resterait à l'identifier au sein des systèmes automatiques à traction par moteur linéaire.

Le VEC

Après l'expérience de la FNAC ce système n'a pas connu d'autre application.

CONCLUSION

Le développement des transports collectifs urbains est une grande source potentielle d'économies d'énergie. Il sera d'autant plus efficace qu'il s'effectuera par une association judicieuse des divers systèmes dans l'espace et dans le temps. En effet, les solutions les plus performantes sont également les plus coûteuses. Leur implantation ne s'effectuera que de façon progressive, mais conduira à des résultats pendant une très longue période. Le catalogue de mesures à prendre est important, de celles qui ont un effet immédiat (par exemple la création d'un couloir réservé pour autobus) à celles qui auront

un effet à long terme comme la réalisation des systèmes automatiques guidés futurs, en passant par les effets à court-moyen terme tels que la construction d'une ligne de tramway, de trolley ou de tout autre système à traction électrique.

L'amélioration de l'attractivité des transports collectifs, si possible associée à d'autres types de mesures (meilleur partage de la voirie, organisation du stationnement, aménagement du temps, etc.), est nécessaire pour diminuer sensiblement la consommation d'énergie des transports urbains de voyageurs, soit environ 8 millions de TEP, avec des répercussions favorables dans le domaine de la sécurité, du cadre de vie et de l'environnement. ■

ARAMIS : véhicule prototype en cours d'essai à Orly (photo MATRA).

