

1 A

UN CONCEPT MODERNE DES TRANSPORTS PUBLICS : LE SYSTEME DE TRANSPORT AUTOMATISE URBAIN : T.A.U.

BRICHAUX Marc
Directeur de la Division Installations Fixes
ACEC (Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi)

2148



RESUME

Les villes de moyenne importance présentent un problème de transport en commun mal résolu par les systèmes conventionnels. Le nouveau système de Transport Automatisé Urbain apporte une réponse originale et globale à ce problème. Il permet d'offrir aux agglomérations moyennes un mode de transport présentant les performances du métro en n'en atteignant que 50 % du coût de l'investissement initial. Des véhicules de petit gabarit, entièrement automatisques, sans conducteur à bord, circulent sur une infrastructure réalisée selon des méthodes nouvelles, faisant un large appel à la préfabrication en usine. La haute disponibilité et la sécurité ferroviaire du système sont obtenues grâce à un dialogue bilatéral s'établissant entre des architectures multi-microprocesseurs installées au poste de commande centralisé et à bord des véhicules. Le canal de transmission est constitué d'un câble posé dans la voie. La redondance d'ordre trois, rendue possible selon des architectures compactes grâce à l'utilisation généralisée de l'informatique et des technologies de pointe, confère au système de Transport Automatisé Urbain des performances supérieures aux systèmes existants. La taille des stations, l'implantation du système à faible profondeur, sa capacité de franchir des courbes de très faible rayon (10 m) grâce à un bogie déformable et une propulsion par moteur de roue, permettent une insertion aisée du TAU dans le tissu urbain.

1. PROBLEMES DU TRANSPORT URBAIN

Le centre de nos agglomérations connaît de plus en plus l'engorgement en raison de l'utilisation des véhicules privés. Les transports en commun circulant en surface, trams et bus, ne peuvent assurer une qualité de service satisfaisante.

En effet :

- à l'heure de pointe, ils sont mêlés aux embarras de la circulation et ne peuvent garantir une vitesse commerciale et une régularité satisfaisantes,
- aux heures creuses, l'exploitant diminue les fréquences de succession en vue de limiter les frais de personnel de conduite. Il en résulte des temps d'attente souvent inacceptables pour les voyageurs.

La solution classique à ces problèmes est représentée par les systèmes de type "métro". Leurs coûts d'infrastructure sont cependant très élevés et la capacité de transport offerte trop importante pour des villes moyennes.

SUMMARY

The medium-size towns present a problem of common transport ill-resolved by conventional systems. The new T.A.U. System brings an original answer to this problem. It offers to medium-size towns a transport system showing Metro performances for only 50 % of initial investment costs. Small-size vehicles, fully automated, without driver on board, run on a light infrastructure realized through new methods using prefabrication in factory. The high disponibility and the railway safety of the system are obtained by a bilateral dialogue between multi-microprocessors architectures installed at the Central Control Post and on board the vehicles. The channel of transmission is constituted of a cable laid into the tracks. The 3-mode redundancy, possible according to compact architectures by using data processing and high-advanced technology, gives to the T.A.U. System better performances than those of conventional systems. The dimensions of the stations, low-depth established, its capability to negotiate minimum curve radius (10 m) thanks to an articulated bogie propelled by motors integrated within the wheels, enable the easy insertion of T.A.U. in the urban traffic.

2. LE SYSTEME TAU - UNE NOUVELLE APPROCHE GLOBALE DU TRANSPORT URBAIN

Depuis 1979, les trois sociétés ACEC, BN et CRTH ont uni leurs efforts pour réaliser un système de transport nouveau répondant aux objectifs tels qu'ils découlaient d'une étude de faisabilité entamée deux ans auparavant. Ces objectifs peuvent se résumer comme suit :

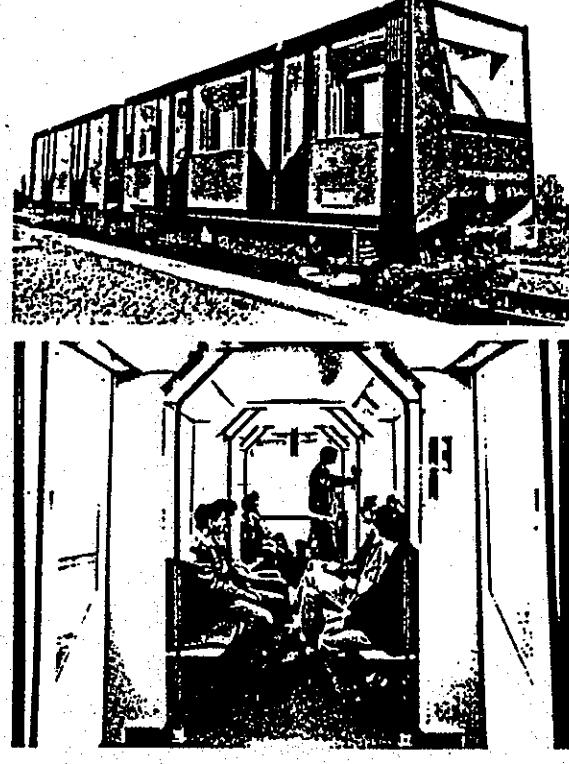
- le problème de transport en commun dans les villes moyennes n'est pas solutionné de manière efficace. Il existe entre le bus et le tram en site banal et le métro lourd un créneau non couvert, celui qui concerne une demande de transport à l'heure de pointe comprise entre 5000 et 15000 voyageurs/h/sens.

* Ce créneau est la cible du TAU.
Il devient de ce fait :

- le réseau principal pour les villes moyennes (100.000 à 600.000 habitants)
- le réseau de complément pour les grandes agglomérations
- la solution, dans une version simplifiée, à des problèmes particuliers : dessertes d'aéroports, zoning industriel.

- offrir la qualité de service du métro (fréquence, vitesse commerciale, confort) en limitant les coûts d'investissement à 50 % du coût de la solution conventionnelle.
- permettre une insertion aisée dans le tissu urbain et à faible coût : le système sera implanté à faible profondeur dans l'axe des voiries, les accès aux stations seront directs à partir des trottoirs. Afin d'éviter les expropriations coûteuses, le système pourra s'inscrire dans les courbes de rayon de 10 m, de sorte que le tunnel suive le tracé des rues mêmes étroites aux carrefours.
- recourir à des véhicules de petit gabarit permettant des tunnels de faible section et des stations compactes,
- limiter au minimum les sections en tunnels et doter les véhicules d'un système de propulsion permettant de gravir des rampes importantes (8 à 10 %), de façon à réduire les longueurs des trémies.
- adapter la capacité offerte à la demande de transport variable entre l'heure creuse et l'heure de pointe, tout en maintenant des fréquences suffisantes aux heures creuses, pour éviter des temps d'attente prohibitifs. Donc, recourir à un système modulaire, permettant d'adapter la capacité des convois (composition des rames) et l'intervalle de succession.
- afin de réduire les coûts d'exploitation, adopter un système de transport entièrement automatique, sans conducteur à bord des véhicules.
- conséquence de l'automatisme, mais également démarche indispensable pour garantir confort et régularité, le système doit être doté d'un site propre intégral.
- assurer au système un niveau de sécurité, fiabilité et disponibilité supérieur à celui que l'on obtient dans les systèmes conventionnels, pourtant déjà élevé.

3. VÉHICULES



Gabarits

L'unité de traction élémentaire se présente sous la forme de deux caisses de petites dimensions accouplées en permanence. Des rames sont formées en accouplant autant d'unités de traction qu'il en faut pour faire face à la demande de transport en heures de pointe.

Deux versions sont possibles au niveau du gabarit des véhicules, selon que les équipements sont situés ou non en-dessous du plancher.

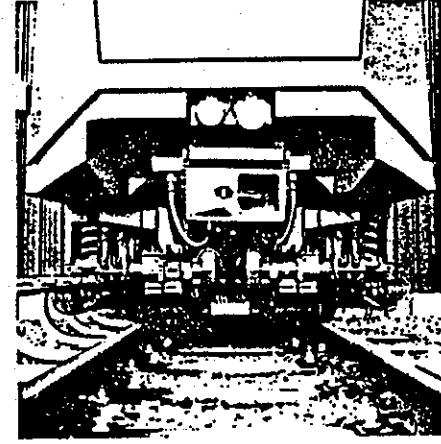
- . version à plancher surbaissé : $L = 17,5m$, $l = 2,06m$, $H = 2,56m$.
Dans ce cas, les équipements sont disposés au-dessus du plancher, à chaque extrémité des véhicules. La visibilité frontale n'est, dans cette version, pas possible pour les voyageurs.
- . version à plancher normal : $L = 17,5m$, $l = 2,06m$, $H = 3m$.
Les équipements de propulsion sont disposés dans des coffres en dessous du véhicule.

Capacité

La capacité varie selon la disposition des sièges, transversale ou longitudinale. Pour le véhicule à plancher normal, la capacité par unité de traction varie entre 92 et 118 places dont 24 ou 28 assises. En heures de pointe, l'intervalle de succession entre les rames peut être réduit à 60 sec. En considérant des rames constituées de trois unités de traction accouplées, la capacité d'un tel système peut atteindre 18.000 voyageurs/h/ sens.

La plupart des villes constituant la cible du TAU pourront être desservies par des rames doubles (longueur des quais : 35 m).

Organe de roulement, motorisation



Afin de permettre la circulation dans des courbes d'un rayon aussi petit que 10m, il a fallu développer un bogie déformable, breveté, à roues désolidarisées, sans essieux et à empattement court. Chaque roue est entraînée par un "moteur de roue" individuel, tournant à grande vitesse avec réducteur à deux étages incorporé.

Les moteurs de roue sont à courant continu. Ils sont alimentés par des ponts redresseurs à thyristors à partir d'un 3ème rail triphasé.

Ce système d'alimentation permet le freinage de service par récupération, les sous-stations, simples transformateurs, étant parfaitement réversibles.

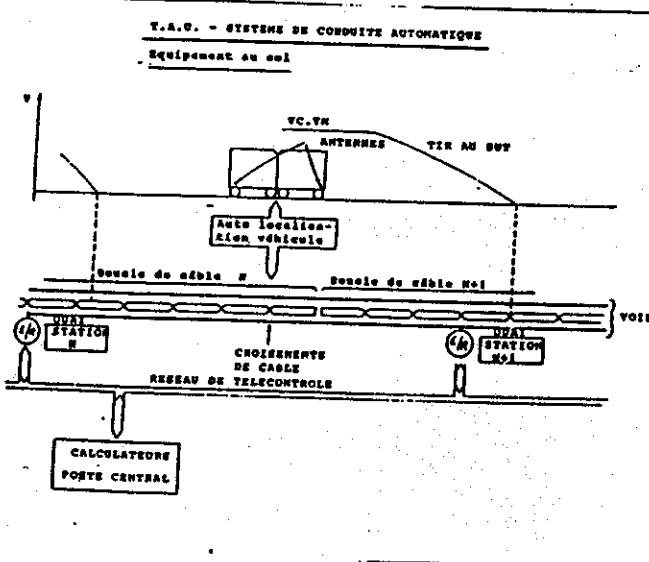
Le frein d'arrêt est un frein à disques à commande électromécanique. Le freinage d'urgence est obtenu par la superposition, à ces freins à disques, de freins à patins électromagnétiques agissant sur les rails. Il n'y a aucun recours à l'air comprimé, le véhicule est du type "tout électrique".

Performances

- Caractéristiques générales (version à plancher normal)

- Unité de traction réversible composée de 2 éléments inséparables,
- Longueur H.T. : 17,5 m
- Largeur H.T. : 2,06 m
- Hauteur H.T. : 3,00 m
- Hauteur de plancher : 0,85 m
- Hauteur intérieure : 2,05 m
- Masse totale à vide : 16,0 t
- Masse du bogie : 1,6 t
- Charge maxi par roue : 2 t
- Accélération : 1,2 m/sec²
- Accélération de service : 1,2 m/sec²
- Gradient d'accélération : 0,7 m/sec²
- Vitesse de croisière : 60 km/h
- Vitesse de pointe : 72 km/h
- Rampe maximale : 8 %
- Vitesse commerciale : 30 à 35 km/h pour des inter-stations respectivement de 500 et 750 m

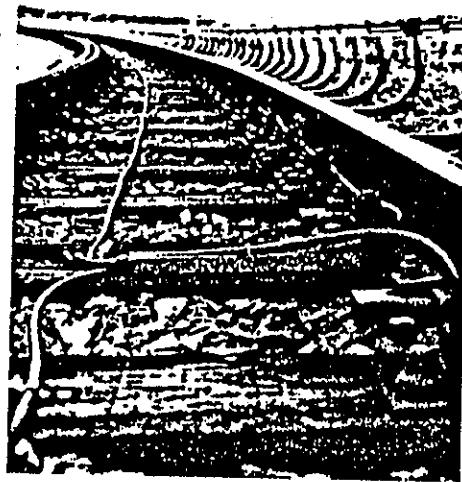
4. AUTOMATISMES



Le système TAU est doté d'une automatisation intégrale, permettant de réduire de 50 % le personnel nécessaire pour l'exploitation et la maintenance du réseau.

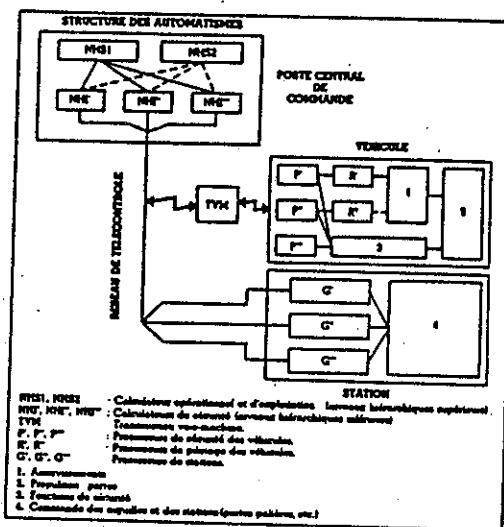
L'ensemble des automatismes est basé sur le dialogue permanent entre deux groupes de microprocesseurs, l'un situé dans un poste central de commande (PCC), l'autre situé à bord de chaque véhicule.

Un câble posé dans la voie assure ce dialogue bidirectionnel entre les véhicules et le PCC.



Ce câble est croisé à intervalles réguliers. Les véhicules détectent ces croisements et, de cette manière, s'autolocalisent. Ils transmettent cette localisation en permanence au PCC.

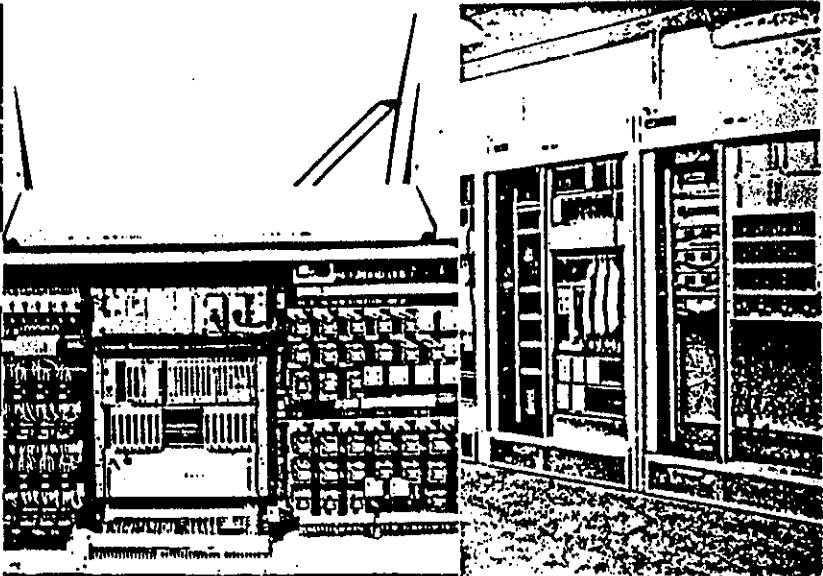
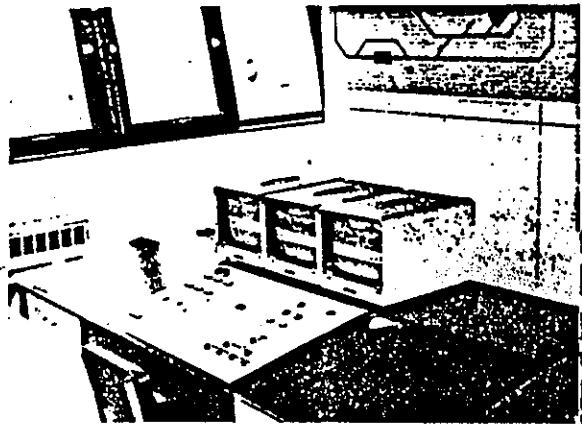
Architecture des automatismes



L'architecture des automatismes est celle d'un réseau informatique de télécontrôle, responsable aussi bien des fonctions de sécurité que des fonctions opérationnelles et d'exploitation. Les véhicules et les aiguillages y sont gérés comme des postes subordonnés à partir du poste central de commande (P.C.C.). Cette philosophie permet de réduire au minimum les équipements dans la voie et en station ce qui est favorable en particulier à la fiabilité et à la maintenabilité du système.

Au PCC, deux niveaux de contrôle sont structurés hiérarchiquement :

- le niveau opérationnel et d'exploitation, appelé niveau hiérarchique supérieur (NHS), comporte deux calculateurs redondants, l'un fonctionnant en "stand-by". Ce niveau prend en charge toutes les fonctions non de sécurité comme régulation du trafic, gestion des itinéraires, du parc de véhicules, du dépôt, ...



- le niveau de sécurité, appelé niveau hiérarchique inférieur (NHI), comporte trois calculateurs redondants, fonctionnant simultanément en parallèle. Une méthode de vote majoritaire permet de poursuivre l'exploitation avec un des calculateurs en panne, en toute sécurité et à pleines performances. Cette architecture se retrouve également à bord des véhicules et en station, soit respectivement au poste chef et aux postes subordonnés du réseau de télé-contrôle.

Fonctions remplies par les automatismes

En partant de l'autolocalisation effectuée par chaque véhicule et transmise au PCC, ce dernier établit et tient à jour en permanence la position de tous les véhicules sur le réseau, ainsi que leur sens de déplacement. Les calculateurs du poste central élaborent et transmettent à chaque véhicule :

- le niveau de vitesse maximal, soit la vitesse la plus élevée à laquelle le véhicule peut rouler, compte tenu de l'état d'occupation des voies en aval et de la configuration de la ligne (présence d'un aiguillage, d'une courbe à faible rayon de courbure imposant une limitation de vitesse, ...), pour être en mesure de s'arrêter en urgence si les conditions de sécurité l'exigeaient avant d'interférer avec l'obstacle.

- le niveau de vitesse conseillé, selon le programme d'exploitation. Le niveau de vitesse conseillé sera toujours plus faible que le niveau de vitesse maximal en tout point de la ligne. Le niveau de vitesse conseillé, capté par le véhicule, sera traité par les processeurs responsables de la régulation de vitesse qui assureront la marche du véhicule de façon automatique.

De façon permanente, la vitesse réelle du véhicule sera comparée au niveau de vitesse maximal, par les processeurs de sécurité responsables du contrôle continu de vitesse.

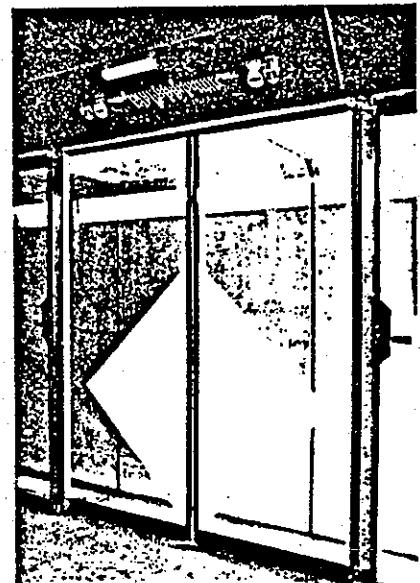
En cas de dépassement par le véhicule de ce niveau de vitesse maximal, le freinage d'urgence sera appliqué automatiquement jusqu'à l'arrêt complet.

Pour assurer le pilotage automatique de façon intégrale, d'autres fonctions sont réalisées :

- commande de la fermeture des portes et de départ

L'ordre de fermeture des portes est émis automatiquement par le poste de commande centralisé en fonction des horaires pré-enregistrés et du programme de régulation de trafic : dès que cet ordre est reçu à bord, un signal acoustique retentit avertissant les voyageurs l'imminence de la fermeture.

Après quelques secondes, les portes se ferment en synchronisme avec les portes palières des stations ; le départ n'est autorisé qu'après contrôle de la fermeture effective de toutes les portes.



- Fonction de "tir au but" assurant l'arrêt précis à quai, permettant l'utilisation de portes palières en stations.

- Commande d'ouverture des portes après arrêt complet du véhicule.

- Transmission permanente par le véhicule, d'un message de santé, permettant aux calculateurs du poste central de décider à tout moment si le véhicule poursuit sa marche ou s'il doit être retiré du réseau. Ces messages de santé sont élaborés par le véhicule et traités au poste central par un système de gestion automatique des pannes.

- Afin de permettre les mouvements vers les ramifications et branchements de lignes du réseau, ainsi que vers le dépôt et les aires de stockage, le système est doté de fonctions d'identification automatique des véhicules et des destinations.

Ces fonctions assurent également le tracé automatique des itinéraires des véhicules suivant leur destination, et l'affichage de ces destinations sur les quais, et à bord des véhicules, à l'intention des voyageurs.

Gestion de trafic

Les ordinateurs d'exploitation (niveau hiérarchique supérieur) sont informés à tout moment de la situation des rames en ligne (programmes de suivi des trains), et comparent en permanence la configuration du système par rapport à la situation idéale.

Dès qu'une perturbation prend naissance en un point quelconque du réseau, ils rétablissent au plus vite l'horaire programmé, ou un intervalle constant entre rames, évitant de laisser les effets cumulatifs de retards s'amplifier.

Dans ce but, ils imposent aux véhicules de modifier leur temps d'arrêt en stations, ou, d'adopter en interstations une progression différente de celle correspondant à la marche type idéale.

Ils gèrent également les injections sur le réseau, à l'approche des heures de pointes de trafic, et les rentrées en dépôt ou les stockages en ligne de rames en heures creuses.

Ce sont également ces ordinateurs d'exploitation qui tiennent à jour les tables de composition des rames et provoquent les commandes d'accouplement et de désaccouplement des unités de traction en fonction des besoins du trafic.

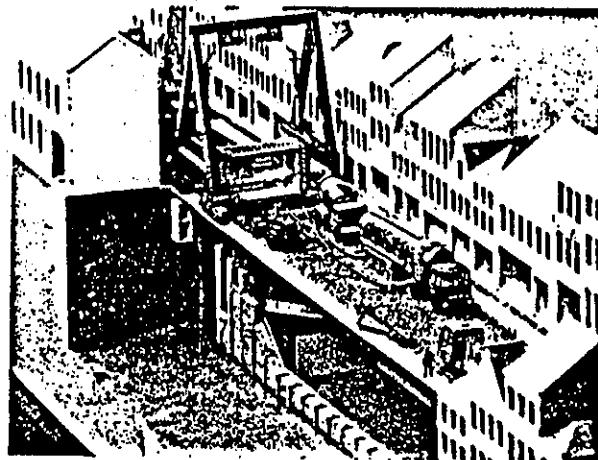
Disponibilité élevée

Les automatismes sont particulièrement étudiés en vue de garantir une disponibilité très élevée par :

- une mise en redondance intégrale des équipements, systématiquement doublés, et même triplés, pour les fonctions de "sécurité" aussi bien au sol qu'à bord des véhicules.

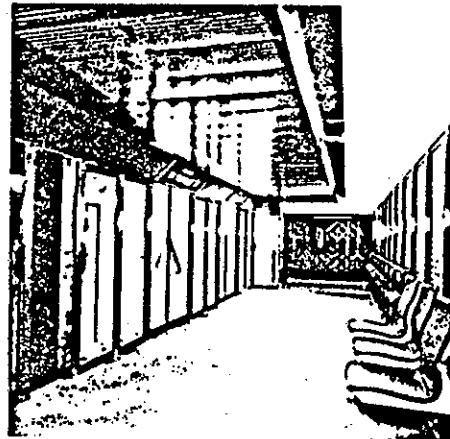
- des fonctionnements performants en modes dégradés qui sont intégrés et programmés dans le système, permettant de rétablir très rapidement le trafic normal en cas de perturbations et réduisant au minimum les interventions éventuelles du personnel d'exploitation.

5. GENIE CIVIL



L'exécution des tunnels à faible profondeur est possible à partir de la surface, en ouvrant des chantiers de faible envergure et progressant rapidement. La gêne des riverains est ainsi réduite, la perturbation étant limitée à un mois au maximum. Plusieurs procédés peuvent être utilisés, tirant parti du petit gabarit du système. Un procédé original, faisant appel à des éléments de tunnel et de stations préfabriqués, a été mis au point par l'association RDW. Il permet d'atteindre les objectifs de coût d'infrastructure qui ont présidé au concept du TAU.

6. LES STATIONS ET LES COMMUNICATIONS



Les stations sont situées à faible profondeur et sont entièrement automatiques (sans aucun personnel). Elles assurent quatre fonctions : la distribution contrôlée des billets, le compostage des titres de transport, la régulation des admissions à quai et l'admission des voyageurs dans les voitures en toute sécurité grâce à des portes palières coïncidant avec les portes du véhicule. Leur aménagement fonctionnel a voulu allier l'harmonie du décor, l'information et la sécurité des voyageurs à la facilité d'accès aux quais et aux véhicules.

Les annonces aux voyageurs sont effectuées automatiquement par des synthétiseurs vocaux dans les véhicules et sur les quais et par des afficheurs animés.

Un système de dialogue, par interphone et caméra vidéo, permet l'échange d'information entre le poste central de commande et tout voyageur, aussi bien à quai que dans la rame.

7. POSTE CENTRAL DE COMMANDE

Son rôle consiste essentiellement à :

- * surveiller les véhicules, les stations, les différents équipements des installations fixes (sous-stations électriques, aiguillages, etc ...),
- * assurer les communications entre les opérateurs de ce poste et les usagers,
- * intervenir immédiatement en cas d'incident,
- * gérer les échanges de véhicules entre le réseau et le dépôt,

Dans ce but, il dispose :

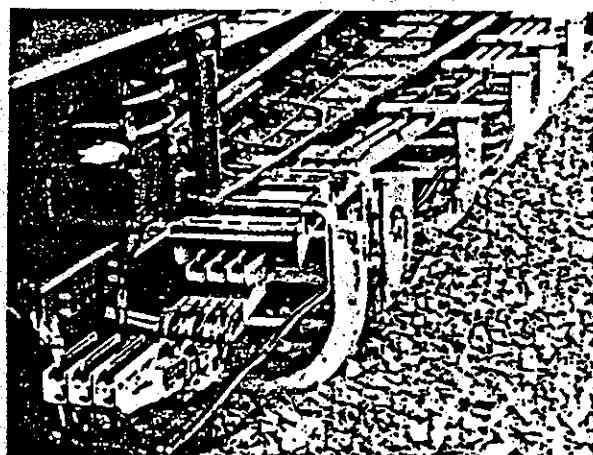
- * d'équipements de télévision et d'interphonie,
- * d'informations périodiques sur l'état des différents sous-ensembles,
- * de logiques de traitement permettant de faire la synthèse de ces informations, d'établir un diagnostic sur l'état des différents sous-ensembles et d'évaluer les conséquences d'une éventuelle défaillance (gestion automatique des pannes),
- * de moyens de télécommande permettant aux opérateurs de se substituer aux automatismes en cas d'incidents nécessitant une intervention humaine.

8. VOIE, AIGUILLAGES, ALIMENTATIONS

Les voies du réseau de transport TAU sont du type métrique et s'apparentent aux voies ferrées traditionnelles. Elles sont posées sur des plots antivibratoires spécifiques dont les qualités acoustiques, la compacité et les frais de maintenance réduits rendent ce type de pose très avantageux vis-à-vis de la pose classique sur traverses et ballast.

Les aiguillages sont à lames flexibles et les boîtes de commande sont du type à verrouillage interne.

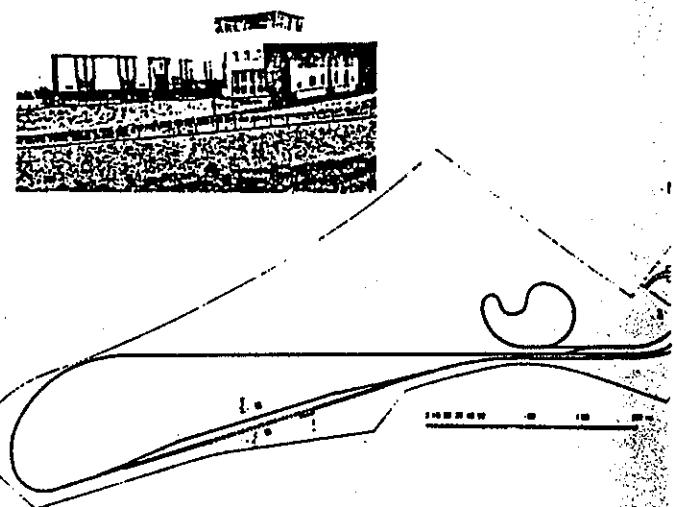
Les sous-stations de traction, simples transformateurs entourés d'appareillages moyenne et basse tension, distribuent l'énergie de traction en 950 V triphasé à un triple réseau de 3ème rail, entièrement protégé.



Chaque unité de traction est équipée de deux paires de frotteurs, portant des doigts de contact venant s'introduire par le dessous dans les gaines isolantes entourant chaque rail de cuivre. Le plan de contact horizontal.

9. CENTRE D'ESSAIS

Une expérimentation complète et des tests d'endurance des éléments constitutifs du système ont été réalisés au "centre d'essais" du TAU, situé à JUMET, équipé de :



- un circuit de 2,5 km de voies, dont 100 m en tunnel
- un bâtiment technique comprenant : le P.C.C. de g de l'exploitation du réseau d'essai (circulation véhicules, distribution d'énergie), les équipement informatiques de commande - contrôle - régulation protection - signalisation, un dépôt atelier, les sous-stations d'alimentation de traction et auxiliaires,
- une station prototype entièrement équipée et doté portes palières,
- deux véhicules prototypes, le premier étant un vé "laboratoire" doté des équipements de propulsion d'automatismes, le second étant un véhicule entièrement carrossé et habillé préfiguration du véhicule d'exploitation.

10. DEVELOPPEMENT PLURIDISCIPLINAIRE

Le TAU résulte d'une étroite collaboration entre équipes pluridisciplinaires, garante d'une approche optimale de l'ensemble des aspects d'un système de transport intégré.

- ensembliers-systémistes, bureaux d'études et constructeurs électriciens, électroniciens, informaticiens, mécaniciens et de génie civil,
- designers pour les aspects esthétiques et utilitaires des véhicules et des stations,
- pouvoirs publics et sociétés exploitantes de transport en commun.

11. CONCLUSIONS

La faisabilité technique d'un système de transport entièrement automatisé, sans conducteur à bord des véhicules, et faisant appel à des solutions originales tant au niveau de la structure des véhicules et à leurs organes de roulement, qu'à celui des dispositifs électroniques informatiques de pilotage et de contrôle, ou que pour la réalisation des infrastructures de génie civil, a été démontrée par les essais effectués sur le circuit de JUMET. Les aspects sécurité et fiabilité, caractéristiques essentielles pour ce type de système entièrement automatisé ont été particulièrement investigués et des solutions garantissant à cet égard le plus haut niveau de performances ont été élaborées et complètement éprouvées.

Les mises au point et les essais d'endurance ont été menés sur un véhicule prototype pendant deux ans.

Un second véhicule, entièrement parachevé et préfigurant le véhicule d'exploitation a été mis en service à JUMET en avril 1985.

La méthode de génie civil RDW, primée par le Ministère des Communications, utilisant la technique de préfabrication, et permettant d'atteindre des coûts d'infrastructure de 50 % inférieurs à ceux d'un métro conventionnel, a été utilisée avec succès à JUMET pour réaliser un tronçon de tunnel, intégré dans le circuit d'essais.

Cette réalisation à JUMET prépare à l'implantation du TAU dans une ville "moyenne" belge pour laquelle des études détaillées de rentabilité ont confirmé l'économie apportée par ce système de transport urbain.

C'est selon la même approche globale que celle qui a présidé à la phase "prototypes", qu'ACÉC conduira un consortium multidisciplinaire pour la réalisation d'une première ligne d'exploitation commerciale du TAU à LIEGE.

