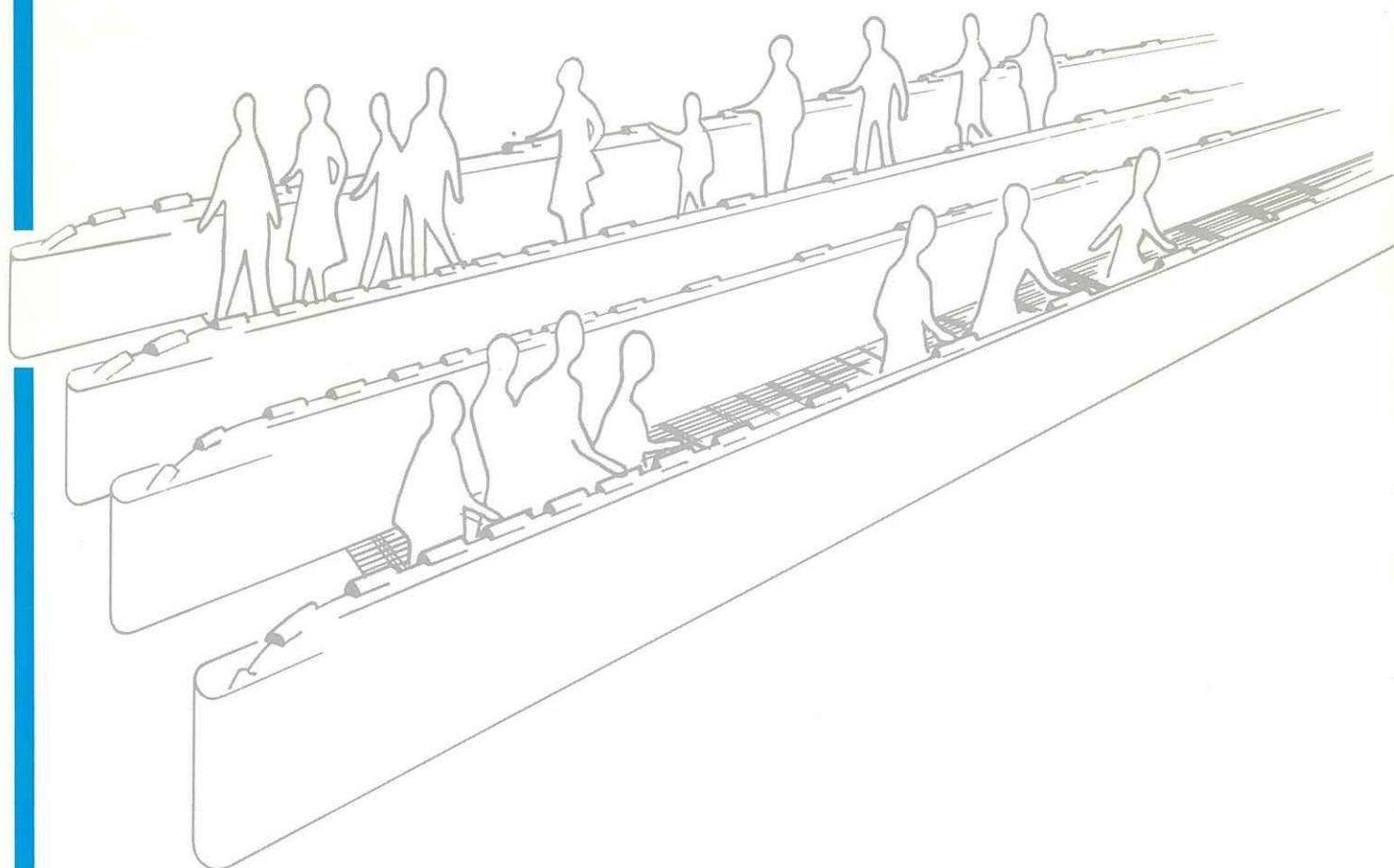


70

numéro spécial  
novembre - décembre

# le système **trax**



**RATP**



REGIE  
AUTONOME  
DES  
TRANSPORTS  
PARISIENS

53 ter, quai des Grands-Augustins  
75271 PARIS CEDEX 06

le  
système  
**trax**

Bulletin de documentation et d'information  
édité par la Direction des Études Générales  
NUMÉRO SPÉCIAL



*Pour améliorer la qualité du service en station dans le métro parisien, des trottoirs roulants ont été mis en place à partir de 1964. Mais la vitesse de ces appareils est nettement inférieure à celle de l'homme au pas. Aussi, dès que leur longueur dépasse une certaine limite, 150 mètres environ, leur utilisation devient fastidieuse.*

*On estime généralement qu'il y a place, dans le domaine des transports en commun, pour un transporteur hectométrique continu qui permettrait, à l'entrée, l'embarquement des passagers à la vitesse normale d'un trottoir roulant, atteindrait ensuite une vitesse quatre à six fois plus grande, puis ralentirait avant la sortie.*

*La RATP, pour sa part, a étudié plusieurs solutions utilisant des techniques variées et a finalement retenu le système TRAX fondé sur deux idées fondamentales, brevetées conjointement par la Régie et par M. Pierre Patin, directeur à la RATP.*

*La première est celle du « double peignage » des plaques : entre elles et par les plaques palières.*

*La seconde est celle de l'entraînement des plaques par une suite de mailles déformables contiguës.*

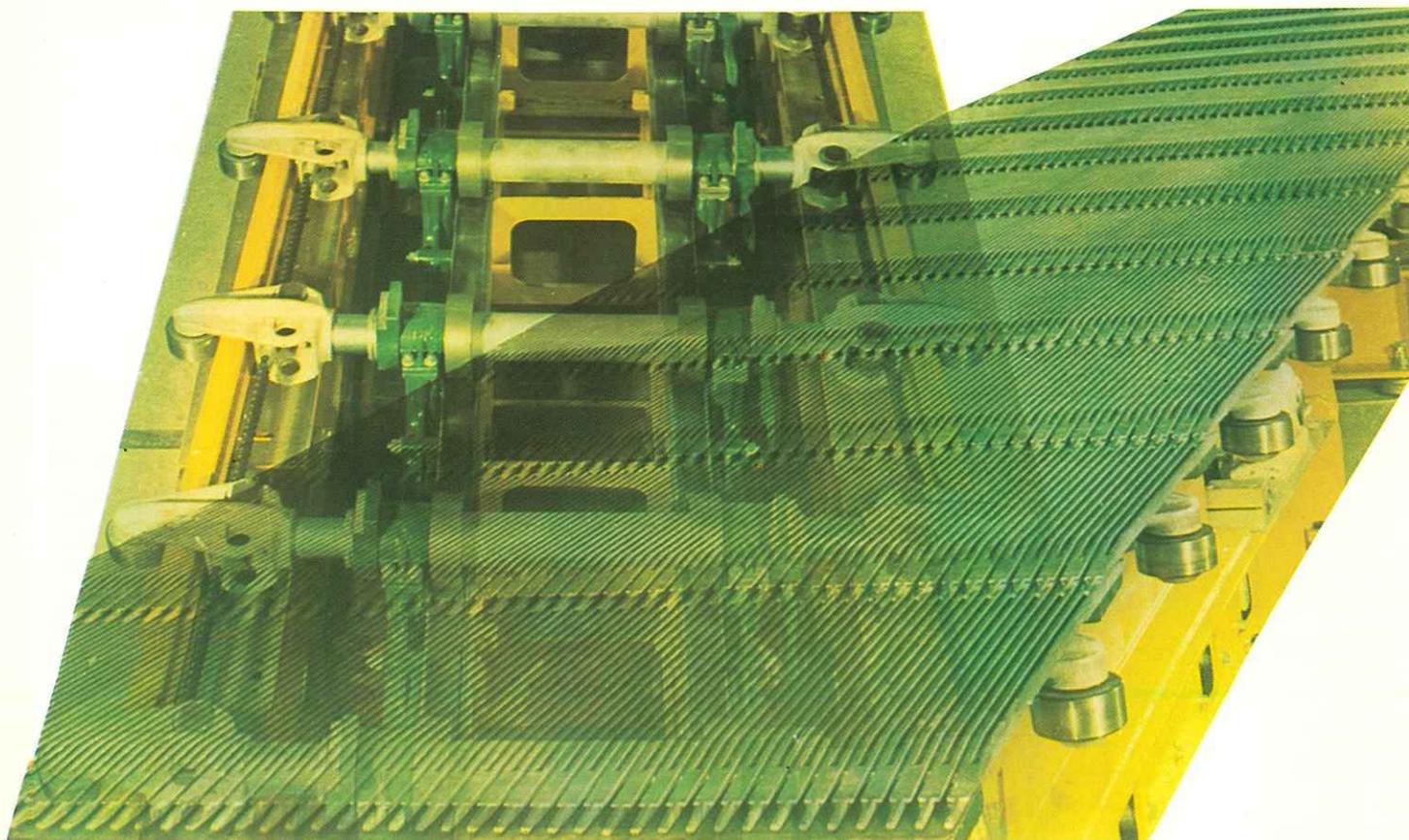
## Principe

Le système TRAX est un trottoir roulant accéléré qui assure, sur quelques centaines de mètres, le transport continu des piétons à une vitesse de 12 km/h.

Il se présente comme un trottoir roulant classique, mais son plancher est constitué de plaques rainurées coulissantes, dont le mouvement relatif est produit par des mailles quadrangulaires déformables qui relient deux plaques consécutives. Chaque plaque peigne les rainures de la plaque suivante et toutes les plaques sont peignées par des plaques palières d'entrée et de sortie.

Dans des zones d'entrée, les plaques sont accélérées de 3 km/h à 12 km/h ; dans des zones de sortie, elles sont décélérées de 12 km/h à 3 km/h, ce qui permet l'embarquement et le débarquement des passagers, de face et sans danger. Un trottoir aller et un trottoir retour sont raccordés à leurs extrémités par deux demi-tours de manière à former une boucle sans fin dont l'entraînement s'effectue dans les zones à grande vitesse.

La main courante a la même loi de mouvement que les plaques. Elle est constituée de poignées individuelles reliées deux à deux, l'intervalle entre deux poignées permettant un appui occasionnel sans danger.



## Phases de développement

Une maquette construite pour TRANSPORT EXPO 73 par la Société Hydro-mécanique et Frottement qui apporta de nombreuses idées complémentaires, démontra la validité du système TRAX. Le lancement d'un prototype formant une boucle d'une longueur développée de 70 m fut décidé en avril 1973.

Pour limiter les risques financiers, le programme de développement du prototype, qui doit aboutir à son expérimentation technico-commerciale dans un couloir du métro, a été décomposé en trois phases dont les lancements successifs sont subordonnés à la réussite de la phase précédente.

Le but de chacune des phases successives est de :

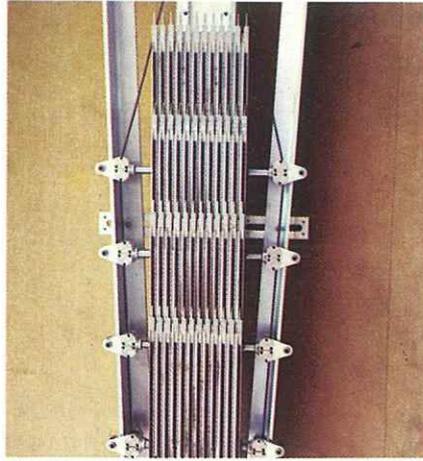
1. mettre au point le plancher mobile,
2. rendre opérationnel le prototype complet (plancher mobile et mains courantes) chez le constructeur,
3. installer le prototype complet dans un couloir du métro pour connaître les réactions des utilisateurs.

Le lancement des différentes tranches d'étude et de réalisation de chaque phase dépend de l'obtention d'un certain nombre de résultats qui rendent pratiquement improbable la remise en question des solutions déjà adoptées dans les tranches précédentes.

Depuis le début du mois de novembre 1975, les essais à vitesse normale avec passagers ont confirmé le très bon fonctionnement du plancher mobile et l'intérêt du système TRAX.

Les travaux sur les mains courantes ont été lancés au début de l'année 1976 et les essais du prototype complet pourraient commencer au deuxième trimestre de l'année 1977.

Si leurs résultats sont corrects, l'installation du prototype dans un couloir du métro sera décidée et les premières expérimentations technico-commerciales pourraient commencer au cours du deuxième semestre de l'année 1978.



## Description du prototype

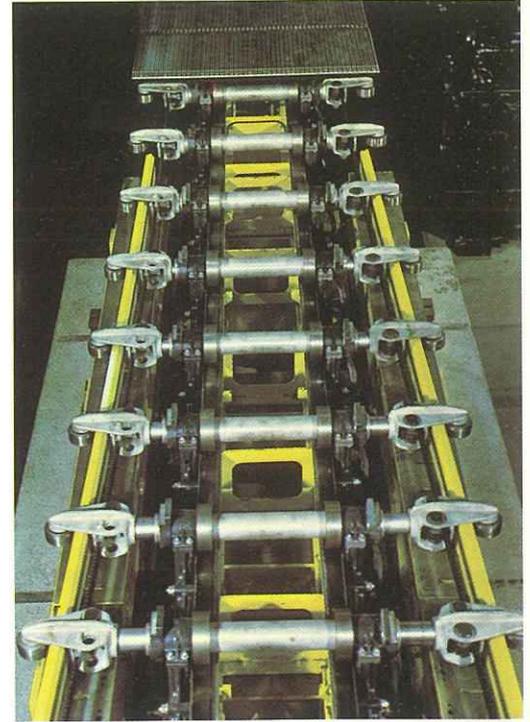
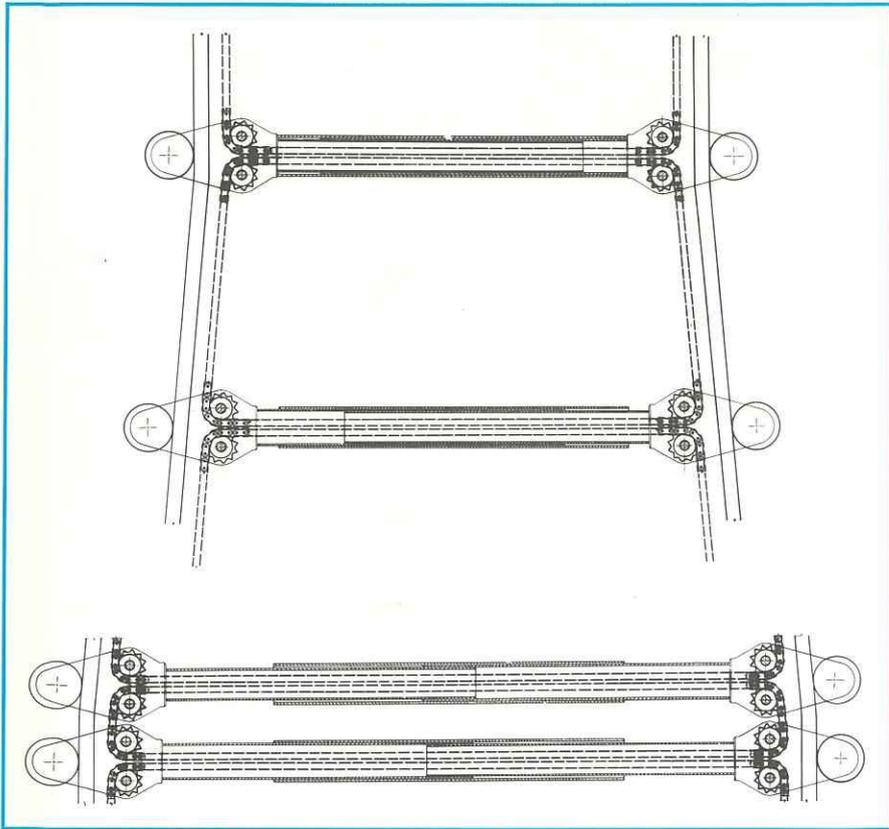
Le prototype étudié par la RATP en collaboration avec la Société Hydromécanique et Frottement, est installé dans les locaux de cette société près de Saint-Etienne, pour tester l'ensemble du système TRAX, vérifier la validité des solutions originales adoptées, apporter les modifications éventuellement nécessaires et préparer l'industrialisation.



### Le plancher mobile

Le plancher mobile est constitué par des plaques rainurées, montées sur des tubes-supports à l'intérieur de chacun desquels coulisent deux tubes télescopiques.





La variation de vitesse est obtenue par la déformation des mailles quadrangulaires formées par des chaînes fermées, de même périmètre, reliant les extrémités de deux tubes télescopiques consécutifs.

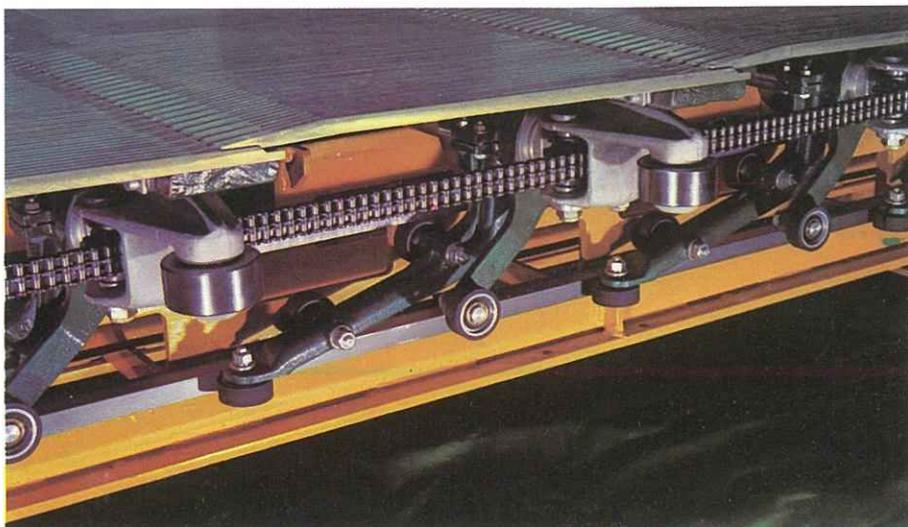
Les tubes-supports se déplacent sur deux rails par l'intermédiaire de deux galets en acier qui roulent sur la face acier d'une structure sandwich (acier-néoprène) collée par sa face néoprène sur les rails. Deux bras de guidage

équipés de galets empêchent tout mouvement vertical et transversal des tubes-supports, donc des plaques.

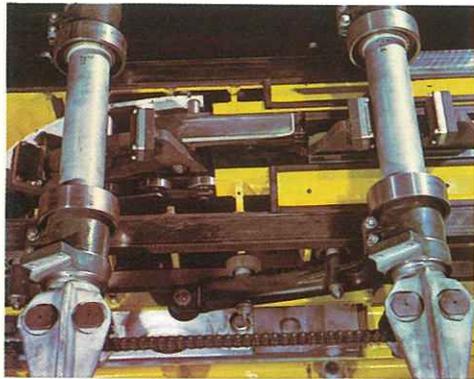
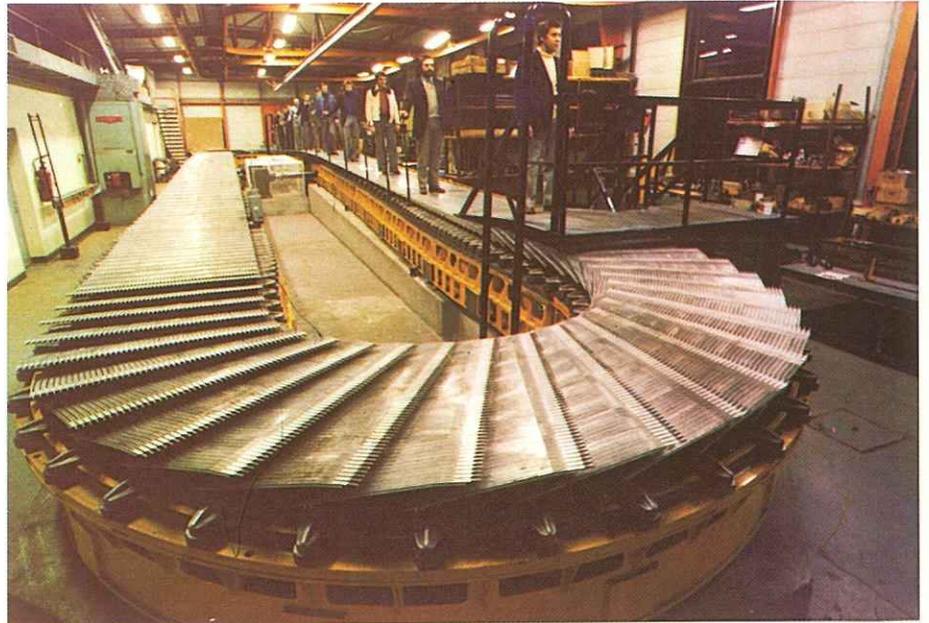
Deux rampes latérales, sur chacune desquelles roule un galet en acier monté à l'extrémité de chacun des tubes télescopiques, commandent soit l'allongement de ces derniers, ce qui entraîne le rapprochement des tubes-supports donc une contraction du plancher et un ralentissement, soit leur raccourcissement d'où l'éloignement des tubes-

supports, donc une extension du plancher et une accélération. Le profil des rampes latérales est déterminé par la loi de variation de vitesse choisie.

Dans toutes les zones à grande vitesse, les tubes télescopiques sont en butée contre les extrémités des tubes-supports, et les rampes latérales sont supprimées, ce qui élimine les pertes par frottement de roulement sur les rampes, simplifie la construction et procure une réduction substantielle des coûts.



L'entraînement a lieu dans la zone à grande vitesse où la constance de l'intervalle entre les tubes-supports permet d'employer des moyens simples. Pour le prototype un moteur électrique asynchrone, associé à un coupleur électromagnétique et à un frein, commande deux chaînes à taquets par l'intermédiaire d'accouplements, de renvois d'angle, d'une boîte de vitesse et d'un pont différentiel. Une chaîne à taquets est placée avant chaque zone de décélération. Elle entraîne ou freine une demi-boucle du plancher mobile par l'action de doubles taquets qui enserrant les tubes-supports de trois ou quatre éléments mobiles successifs.



### Les mains courantes

Comme pour les plaques, la variation de vitesse des poignées individuelles est obtenue par la déformation de mailles qui, dans ce cas, sont formées par des chaînes ouvertes de même longueur. Des chariots auxquels sont fixées les extrémités de deux chaînes successives, roulent sur une rampe inférieure dont le profil détermine la loi de vitesse. Chaque chaîne lie deux poignées consécutives qui roulent sur un rail parallèle au plancher mobile. Cette chaîne, à un seul sens de courbure, assure sans aucun risque pour les mains, la continuité de l'appui entre deux poignées. La distance entre celles-ci correspond, dans les zones d'entrée et de sortie à

la distance minimale admissible entre deux piétons.

Comme le plancher mobile, les mains courantes forment deux bandes sans fin dont l'entraînement s'effectue dans les zones à grande vitesse. Les demi-tours d'extrémités de la main courante extérieure s'effectuent obligatoirement au-dessous du niveau du sol; ceux de la main courante intérieure peuvent se faire à niveau si l'on ne veut pas laisser un passage central entre les deux voies à sens contraire.

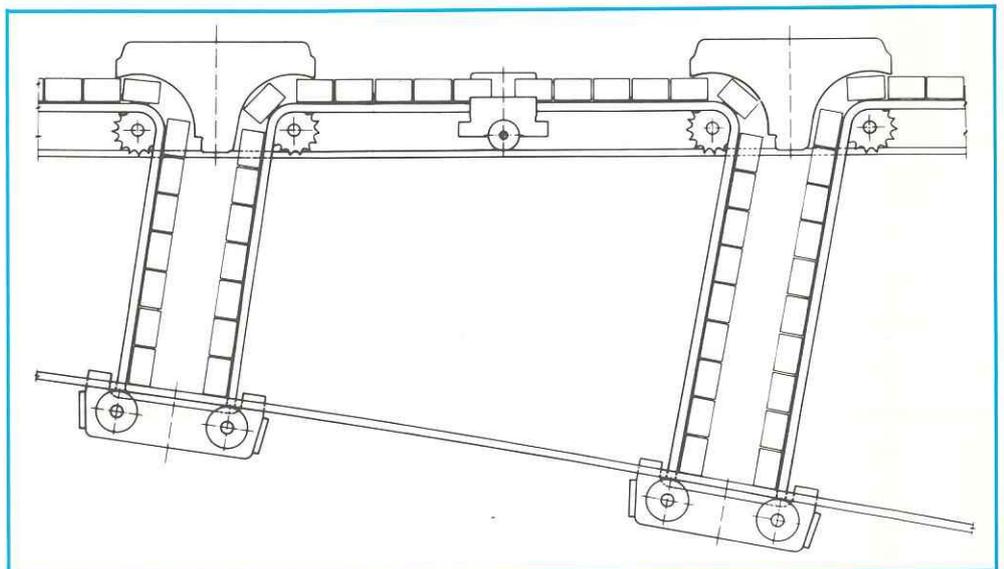
Dans les zones à grande vitesse, les chariots inférieurs viennent en butée contre les poignées ce qui permet de supprimer les rampes inférieures.

Dans les zones de décélération, l'énergie cinétique est récupérée et transmise aux zones en amont par la tension des chaînes de liaison. Le système est ainsi extrêmement économe en énergie.

Un faible jeu entre les doigts de peignage et les rainures autorise la prise de courbes en plan.

Les plaques sont conçues pour que le profil en long puisse comporter des courbes et par conséquent des pentes et des rampes.

Les demi-tours d'extrémités, à très faible rayon, se situent au dessous du niveau du sol. Après les plaques palières de sortie, dans une courte zone d'accélération, la distance entre deux tubes-supports consécutifs est augmentée pour leur permettre de prendre le demi-tour. Dans cette zone, un bras de relevage, solidaire des plaques, équipé d'un galet d'extrémité qui roule sur une rampe spéciale, soulève légèrement l'arrière des plaques pour dégager leurs doigts des rainures de la plaque suivante. Le demi-tour achevé, les tubes-supports sont ralentis dans une courte zone de décélération où les plaques sont abaissées pour retrouver leur position normale avant la plaque palière d'entrée.



## Exploitabilité

L'exploitation de tout système de transport est conditionnée par ses performances, ses facilités d'insertion, la sécurité qu'il offre au public, sa fiabilité, et son coût.

### Performances

- Débit théorique maximal : 12 000 passagers par heure et par sens,
- Débit pratique attendu : 8 000 passagers par heure et par sens \*,
- Vitesse d'entrée et de sortie : 3 km/h,
- Grande vitesse : 12 km/h,
- Vitesse moyenne du trajet : voisine de 12 km/h,
- Accélération maximale :  $1 \text{ m/s}^2$ ,
- Jerk maximal :  $0,6 \text{ m/s}^3$ ,
- Longueur des zones d'accélération ou de décélération : 9 m,
- Courbes en plan et en profil en long dans les zones à grande vitesse : rayon supérieur à 50 m,
- Pente maximale : 15 % (imposée par des conditions de confort),
- Largeur du trottoir : 1 m,
- Niveau sonore : faible.

### Facilités d'implantation

Une bande de 4,80 m de largeur est suffisante pour implanter un système TRAX et un passage central. Très simple, l'installation ne nécessite que des fosses de 1 m pour les dispositifs d'entraînement et de 2,50 m pour les demi-tours d'extrémités. Dans les autres zones, le trottoir peut être directement posé sur le sol ; dans ce cas, les plaques sont à environ 50 cm au-dessus de celui-ci, voire à 35 cm si le radier permet un ancrage direct.

### Sécurité

Dans la recherche des solutions aux problèmes posés par le système TRAX, la sécurité a toujours été le premier critère de choix, le but étant qu'elle soit identique à celle des escaliers mécaniques et des trottoirs roulants à plaques.

Dès la conception du système, le double peignage des plaques a permis d'envisager la réalisation d'un système suffisamment sûr avec une bonne chance de réussite.

Au stade actuel de développement, les études de sécurité ne sont pas terminées. Il est cependant possible de préciser, dès maintenant, quelques résultats déjà acquis et de donner l'orientation des recherches futures.

### Zone de sortie

Comme sur tous les trottoirs roulants accélérés à largeur constante en projet, les passagers devront garder entre eux une distance minimale avant d'aborder la zone de décélération pour éviter les tassements et les bousculades à la sortie.

Sur le TRAX, la solution adoptée consiste à inciter les passagers à conserver entre eux cette distance minimale par l'agencement de la main courante.

La forme et la présentation des poignées individuelles seront étudiées pour inciter le plus possible les piétons à les utiliser plutôt que les chaînes ou les appuis intermédiaires constitués par les chariots qui réunissent, entre deux poignées consécutives, deux demi-chaînes d'égales longueurs.

L'information des passagers sera très explicite. Une signalétique bien étudiée leur fera comprendre la « règle du jeu » : saisir une poignée et ne l'abandonner, en marchant sur le trottoir roulant, qu'à condition de retrouver une poignée libre avant la zone de décélération. Il faut cependant remarquer que la plupart des passagers marchent sur un tapis roulant classique parce que sa vitesse (3 km/h) est nettement inférieure à celle de la marche à pied, et la vitesse absolue ne dépasse pas 8 km/h. Sur le TRAX, la grande vitesse (12 km/h) est bien supérieure à celle de la marche à pied et la vitesse absolue peut dépasser 17 km/h et, sans doute, bien peu d'utilisateurs se déplaceront à cette vitesse entre deux habillages fixes distants de 1 m et à 1,5 m, au plus, du mur du couloir.

### Plaques

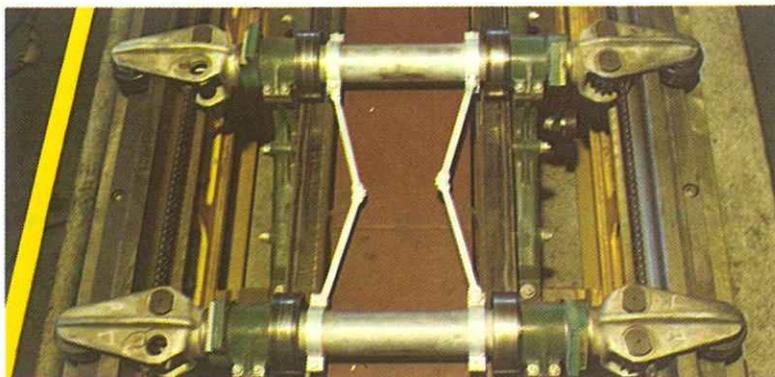
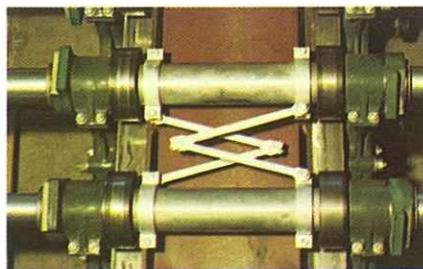
Les plaques étant articulées autour des tubes-supports, le galet des bras de relevage des plaques et un contre-rail empêchent leur soulèvement.

### Chaînes

L'ouverture d'une chaîne de maille par rupture ou par perte de l'axe d'un maillon pourrait avoir des conséquences sérieuses par la formation d'une discontinuité du plancher mobile. Il est donc absolument nécessaire qu'un dispositif de secours sûr, constamment prêt à intervenir, donc très simple, se substitue immédiatement à la chaîne pour assurer la continuité du plancher mobile.

Deux ciseaux horizontaux relient en permanence deux tubes-supports successifs. Ils sont fermés dans les zones à petite vitesse et presque entièrement ouverts dans celles à grande vitesse. A l'ouverture d'une chaîne, ils évitent la coupure du plancher mobile, et un système de détection commande l'arrêt du TRAX.

En un point quelconque de la boucle, l'intervalle de deux passages successifs de plaques, appelé couramment période, est constant. Ainsi, les plaques de la boucle se retrouvent placées, toutes les périodes, en un même ensemble de points, ce qui permet d'utiliser très simplement des détecteurs de passage pour contrôler le fonctionnement du TRAX. Il est normal si les signaux de deux détecteurs correctement placés apparaissent simultanément ; il est anormal si un déphasage supérieur à un certain seuil existe entre eux, dans ce cas, un ordre d'arrêt est envoyé au boîtier de commande des dispositifs d'entraînement. Cette mesure permet, entre autres, de déceler les écarts anormaux de deux plaques donc une rupture de chaîne, les inclinaisons anormales des plaques à l'entrée et à la sortie des demi-tours donc un défaut au niveau des bras de relevage (déformation, rupture), la rupture des bras de guidage, etc.



\* Obtenu à partir des comptages effectués sur les escaliers mécaniques et les trottoirs roulants ordinaires.

En plus des sécurités inhérentes à la conception du système, signalées dans les paragraphes précédents, toutes celles des escaliers mécaniques et des trottoirs roulants classiques sont évidemment prévues sur le système TRAX : survitesse, surcouple, défaut de synchronisme avec les mains courantes, plongée des mains courantes, soulèvement des plaques palières, etc.

## Fiabilité

L'électronique du système TRAX sera analogue à celle des escaliers mécaniques et des trottoirs roulants classiques. Compte tenu de l'expérience actuelle de ces installations et de la fiabilité des composants, il sera relativement facile d'étudier et de prévoir la fiabilité de l'électronique de commande et de contrôle.

La mécanique du système TRAX, au contraire, en est assez différente mais elle utilise des composants de même nature. La fiabilité des ensembles mécaniques ne peut être abordée de la même façon que celle des ensembles électroniques. Elle est liée essentiellement aux notions de durée de vie et de maintenance. Ces connaissances ne peuvent être acquises que par l'observation de ces ensembles en fonctionnement normal dans l'environnement réel et par l'analyse des pannes de jeunesse, des pannes franches accidentelles et du vieillissement des composants.

Au stade d'un prototype qui n'a pas encore effectué tous ses essais d'endurance, seules les durées de vie prévisionnelles des différents composants sont accessibles au calcul.

A la suite d'études approfondies, les couples de matériaux dans les pièces en roulement ou en frottement ont été choisis avec un soin tout particulier.

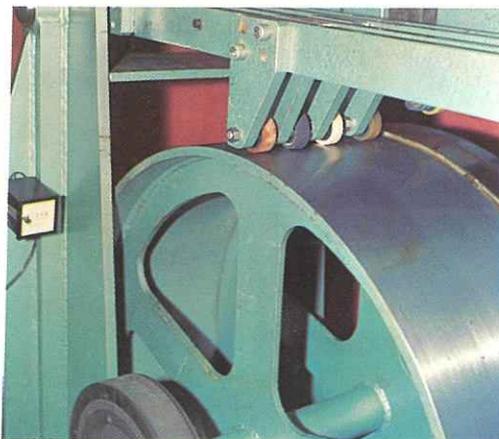
### Galets

Chaque traverse est équipée de treize galets.

Les huit galets de guidage et le galet de relevage, dont les charges variables sont relativement faibles, sont montés avec des roulements étanches et équipés de bandages en plastique pour réduire le bruit.

Les deux galets de rampe ont une charge qui varie le long de la boucle. Sa valeur maximale élevée et la précision de position nécessaire pour définir la loi de variation de vitesse imposent un chemin de roulement et un bandage en acier.

Les deux galets porteurs ont un bandage en acier qui constitue la bague extérieure d'un roulement à billes.



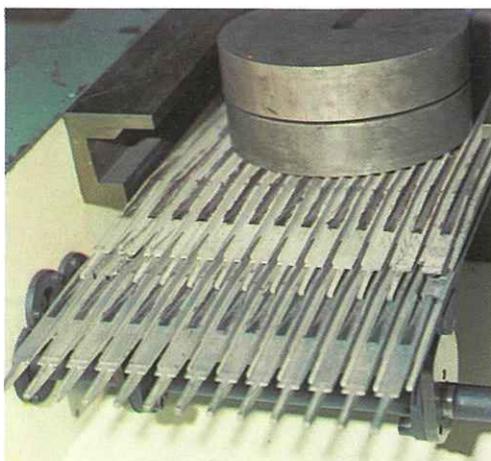
La durée de vie théorique de ces roulements varie de 5 à 10 ans, sauf celle des galets porteurs qui est bien supérieure, car leurs dimensions ont été imposées par des conditions de géométrie et non de durée de vie.

En ce qui concerne les bandages des galets de guidage, un banc d'essai d'endurance a été réalisé pour analyser, avec et sans dérapage, leur comportement. Le meilleur résultat a été obtenu avec un type de galet qui a résisté sans aucune déformation et usure importante à plusieurs cycles d'essais successifs. Son bandage surmoulé ne glisse pas sur le roulement. Malgré ses qualités, la durée de vie d'un tel bandage est probablement inférieure à celle des roulements. Des améliorations sont en cours d'étude.

### Plaques

La durée de vie des plaques rainurées dépend de leur tenue à la fatigue et du comportement du revêtement des fonds de rainures mis en place pour diminuer le frottement des plaques entre elles.

Pour déterminer le meilleur revêtement des fonds de rainures (coefficient de frottement et durée de vie) un banc d'essai a été construit. Deux solutions ont été essayées sur ce banc. Pour la meilleure, l'usure maximale n'était que de 0,3 mm lorsque l'essai a été arrêté après 1500 000 manœuvres, correspondant à une durée de service d'environ



ron 10 ans pour un TRAX de 150 m. Quelques essais ont été effectués en présence de poussière et de grains de sable. Le plus souvent les dents de la plaque suivante poussent vers l'avant ces corps étrangers. Lorsqu'il y a coincement le revêtement est rayé sans être déchiré.

Le coefficient de frottement moyen est de l'ordre de 0,2.

Un alliage d'aluminium a été choisi pour la fabrication des plaques.

Un banc d'essai a été construit pour mesurer le nombre de flexions supportées par un élément de plaque (4 éléments de plaque forment une plaque) sous une charge de 1200 N (environ 2 mm de flèche). Deux millions de manœuvres ont été effectuées sans modification de la flèche et sans apparition de déformation permanente.

Avec cet alliage, très résilient, il n'y a jamais eu de rupture d'un élément de plaque sous des chocs créés par une masse de 100 kg tombant de 500 mm.

### Chaînes de maille

Ce sont des chaînes doubles dont la charge de rupture est de 31000 N.

La tension limite maximale d'une chaîne est fixée à 3000 N, ce qui correspond à un coefficient de sécurité voisin de 10.

Ces chaînes fonctionnent :

1. à sec,
2. avec leurs axes verticaux,
3. avec un défilement limité aux zones d'accélération et de décélération, à l'entrée et à la sortie des demi-tours,
4. avec des tensions et des vitesses de défilement variables.

Compte tenu de ces conditions inhabituelles de fonctionnement, leur durée de vie ne sera connue qu'après les essais d'endurance du plancher mobile.

La présence du dispositif de sécurité décrit dans le paragraphe précédent et l'impossibilité du désengrènement de la chaîne des pignons, permettent d'effectuer ces essais sans aucune appréhension. La seule exigence est la surveillance de l'usure des chaînes par la mesure de l'allongement des portions de chaîne qui roulent sur les pignons.

Les essais d'endurance, chez le constructeur et à Paris, permettront de mieux connaître la fiabilité du TRAX.

## Intérêt économique

Il est prématuré de vouloir établir le bilan économique précis d'un système qui n'est pas achevé et n'a pas encore fonctionné dans les conditions normales de service. Néanmoins, il est possible d'établir une approche de ce bilan à partir de données sûres (coût des parties construites) et d'estimations bien fondées (offres de prix, dépenses similaires connues, ...).

### Coût d'investissement d'un TRAX (hors génie civil)

En excluant les études et les essais, les dépenses pour la construction du prototype, actualisées au 1<sup>er</sup> janvier 1976, s'élevaient à 6,3 millions de F.

Une répartition des dépenses permet de décomposer le coût global en deux coûts partiels dont l'un est indépendant de la longueur de la zone à grande vitesse et l'autre lui est proportionnel.

Ainsi, le coût global en millions de F d'un TRAX de longueur quelconque, réalisé suivant les mêmes conceptions et avec les mêmes procédés de fabrication que le prototype, serait :

$$C_p = 6 + 0,047 L$$

(L étant la longueur en mètres de la zone à grande vitesse).

Mais l'expérience acquise au cours des études, de la construction, du montage et des essais du prototype, devrait permettre de diminuer ce coût pour un TRAX construit industriellement. En admettant, dans une première phase d'industrialisation limitée, une réduction de 40% qui pourrait être améliorée facilement par la suite, on obtient :

$$C_i = 3,6 + 0,028 L$$

$$\text{ou } C_i = 3 + 0,028 D$$

(D étant la distance en mètres entre les plaques palières).

A ce coût, il faut ajouter celui des habillages, des installations électriques, de la télésignalisation, etc. Mais, ces éléments différant peu de ceux utilisés pour un trottoir classique, leur coût industriel est connu avec une bonne précision.

D'où le coût global en millions de F, au 1<sup>er</sup> janvier 1976, d'un TRAX double sens, hors génie civil :

$$C_T = 3,4 + 0,036 D \quad (\text{MF})$$

Cette formule est directement comparable à celle du coût de deux trottoirs roulants classiques :

$$2 C_c = 2 + 0,017 D \quad (\text{MF})$$

A titre d'exemple, pour une distance de 200 m, on aurait :

$$C_T = 10,6 \text{ MF et } 2 C_c = 5,4 \text{ MF}$$

Le prix d'un TRAX (double sens) serait donc environ deux fois celui de deux trottoirs roulants classiques.

Le coût du génie civil a été volontairement exclu, car il dépend en grande partie du lieu où sera installé le système et non du système lui-même. Il est nettement plus faible que celui de deux trottoirs roulants car il n'y a pas de fosse continue.

### Coût d'exploitation

Au coût d'investissement qui vient d'être calculé et au coût du génie civil qui sera déterminé pour chaque cas d'application, il faut ajouter le coût d'exploitation (énergie et maintenance). Ce dernier peut être estimé à partir des résultats obtenus avec les trottoirs roulants classiques. Pour ceux-ci la dépense en MF par an est approximativement :

$$2 M_c = 0,14 + 0,0005 D \quad (\text{MF/an})$$

Pour un TRAX, elle a été choisie égale au double de celle de deux trottoirs roulants classiques :

$$M_T = 0,28 + 0,001 D \quad (\text{MF/an})$$

Toutefois, il est estimé que cette valeur maximale ne devrait pas être atteinte.

Les gains à mettre à l'actif du TRAX pour compenser les coûts précités, dépendent essentiellement du type d'exploitation envisagé. Ils pourront être :

- un droit d'accès,
- la valorisation du temps gagné par rapport à un autre moyen de transport,
- la valorisation de la diminution de pénibilité,
- etc.

## Etude économique comparative du TRAX et du trottoir roulant classique

En pratique, le choix d'un système de transport résulte de la comparaison économique entre les différentes solutions adaptées aux besoins du cas considéré.

Le trottoir roulant classique étant le plus proche système concurrent du TRAX, une étude économique comparative entre ces deux systèmes est intéressante.

Au plan des services rendus en fonctionnement normal, un TRAX (un trottoir aller et un trottoir retour) est équivalent à deux trottoirs roulants classiques\*.

Les frais de génie civil de deux trottoirs roulants classiques sont supérieurs à ceux d'un TRAX car celui-ci ne nécessite des fosses que dans les zones d'entraînement et les demi-tours. Néanmoins, nous ne tiendrons pas compte de cette différence, favorable au TRAX, qui ne peut être évaluée que dans chaque cas d'application.

La différence entre la somme des coûts d'investissement et d'exploitation pendant une période de J jours, pour un TRAX et pour deux trottoirs roulants classiques est :

$$\Delta C = (C_T - 2 C_c) + (M_T - 2 M_c) \frac{J}{365}$$

Dans les études de réseaux de transports collectifs notamment une valeur horaire du temps est prise en compte. Elle était de 14,50 F au 1<sup>er</sup> janvier 1976.

Le gain de temps résultant de l'emploi d'un TRAX plutôt que de deux trottoirs classiques, se traduit donc par une économie pour la collectivité qui s'évalue comme suit :

\* Il est juste de remarquer qu'en cas de panne, la solution TRAX, qui immobilise les deux sens de marche, offre une disponibilité un peu moins bonne. On peut cependant espérer qu'une telle immobilisation sera suffisamment exceptionnelle (quelques demi-journées par an) pour ne pas justifier un investissement supplémentaire relativement important. Dans le cas contraire, il faudrait comparer une installation à deux TRAX avec une installation à trois trottoirs roulants.

- temps gagné par personne et par trajet, en supposant qu'une personne sur deux marche sur le trottoir classique (vitesse 6,5 km/h au lieu de 3 km/h) :

$$\Delta T = 0,57 D - 4 \quad (\text{en secondes})$$

- nombre de voyageurs par jour : chaque sens d'un TRAX ou un trottoir roulant classique peut recevoir le même débit de passagers (même largeur et même vitesse d'entrée). Expérimentalement, on a constaté que le débit réel maximal était de l'ordre de 8 000 v/h. Si l'on admet :

qu'à l'heure de pointe le débit est maximal (8 000 v/h) dans un sens, mais seulement de 12,5 % (1 000 v/h) dans le sens inverse (ce qui correspond à une implantation où la migration est fortement alternante),

que la répartition journalière sur le trottoir est la même que pour l'ensemble du réseau ferré de la RATP (soit une moyenne horaire maximale de  $6.10^5$  pour une moyenne journalière de  $40.10^5$ ),

la valeur moyenne journalière du nombre de voyageurs empruntant un TRAX (ou deux trottoirs classiques) est de 60 000 v/j.

- valeur de l'économie journalière due au gain de temps :

$$E = 138 D - 967 \quad (\text{en F/j})$$

Si cette économie est seule prise en compte (pas de droit d'accès...) le nombre de jours, au bout duquel elle aura compensé le supplément de coût d'investissement et d'exploitation ( $\Delta C$ ), sera :

$$J = \frac{19 D + 1400}{0,137 D - 1,351}$$

soit :

- pour  $D = 100$  m,  $J = 270$  jours.
- pour  $D = 300$  m,  $J = 180$  jours.

Mais ce calcul n'est que l'approche d'une étude économique qui ne peut être effectuée plus rigoureusement que dans chaque cas précis d'application.

On trouvera en annexe l'étude économique détaillée d'une application du TRAX à un cas concret : celui d'une liaison éventuelle entre les stations AUBER et SAINT-LAZARE.

Cette étude a un double mérite :

- elle montre qu'en ce qui concerne le montant des investissements bruts, la souplesse d'installation du TRAX résultant notamment du fait qu'il accepte des courbes, ce qui permet une inscription plus facile de son tracé sous la voirie, peut conduire à un projet comportant une plus grande longueur de mécanisation qu'un trottoir roulant pour un même

coût d'installation. Ce ne serait sans doute pas vrai pour tous les projets mais l'expérience prouve qu'il est difficile de trouver des sites absolument rectilignes et d'une grande longueur susceptibles de recevoir un trottoir roulant. Le cas complexe étudié dans l'annexe est donc davantage un exemple qu'une exception ;

- elle montre d'autre part que pour le TRAX le taux de rentabilité pour la collectivité est bien supérieur à celui qui résulterait du seul gain de temps dû à sa plus grande vitesse, car le trafic induit par la réduction du temps de correspondance est très important.

## Conclusion

La longueur et la pénibilité des correspondances entre lignes de métro ou autres modes de transport sont les contraintes les plus difficilement acceptées par les voyageurs. Aussi la RATP et nombre d'organismes dans le monde entier, cherchent-ils à résoudre le problème du transport de plusieurs milliers de personnes à l'heure sur des distances comprises entre celles qui sont du domaine du trottoir roulant classique (100 mètres environ) et celles d'un mode semi-continu ou discontinu (1 kilomètre au moins par exemple pour l'autobus). Il semble que le TRAX soit parfaitement adapté à cette demande. Il va sans dire que si le TRAX répondait à toutes les espérances, son domaine d'application excéderait très largement celui des modes de transport d'appoint, complémentaires des autres modes. Nombreux sont en effet les cas, dans de grands ensembles immobiliers à usages commerciaux ou de bureaux ou dans les aéroports par exemple, où il pourrait constituer un mode de transport autonome.

Le développement du TRAX est arrivé à une phase où ses chances de succès paraissent élevées. La phase finale qui comportera l'expérimentation commerciale, devrait aboutir en 1978, et c'est à ce moment que pourra être confirmée la mise sur le marché de ce système de transport.

## Annexe

# Etude économique détaillée d'une éventuelle liaison entre les stations AUBER et SAINT-LAZARE

Le projet consisterait à relier deux nœuds très importants du réseau de transport en commun de la région parisienne par un couloir équipé de transporteurs hectométriques :

- d'un côté «Saint-Lazare», avec la gare SNCF et les stations des lignes 3, 12 et 13 du métro urbain,
- de l'autre «Auber», avec la station du RER et la station «Havre-Caumartin» des lignes 3 et 9 du métro urbain.

Cette correspondance répondrait à trois objectifs :

- elle donnerait de bonnes conditions d'accès au RER aux usagers de la

gare SNCF qui n'est pas directement desservie par le RER bien qu'elle écoule le trafic de banlieue le plus important de la région parisienne avec plus de 100 millions de voyageurs par an ;

- elle améliorerait également la diffusion dans Paris de ces voyageurs grâce à la liaison directe avec la ligne 9 ;
- enfin, elle assurerait la liaison entre la ligne Est-Ouest du RER et la nouvelle transversale Nord-Sud à petit gabarit constituée par la ligne 13 du métro urbain.

Cette correspondance pourrait être réalisée par un couloir équipé soit de deux trottoirs roulants classiques, soit d'un TRAX. Elle constitue donc un cas d'application intéressant pour comparer l'intérêt économique des deux solutions : TRAX et trottoirs roulants classiques.

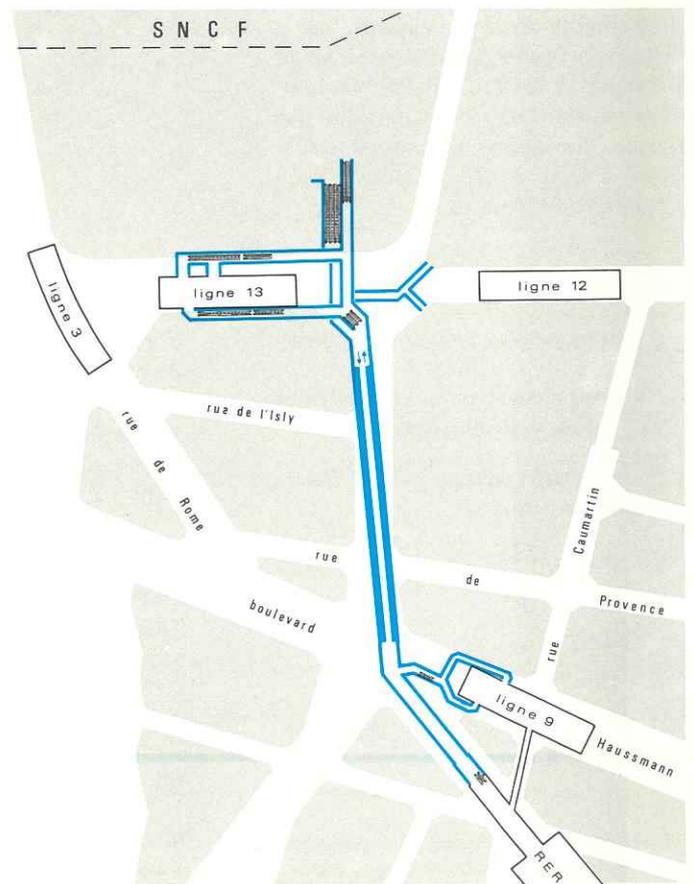
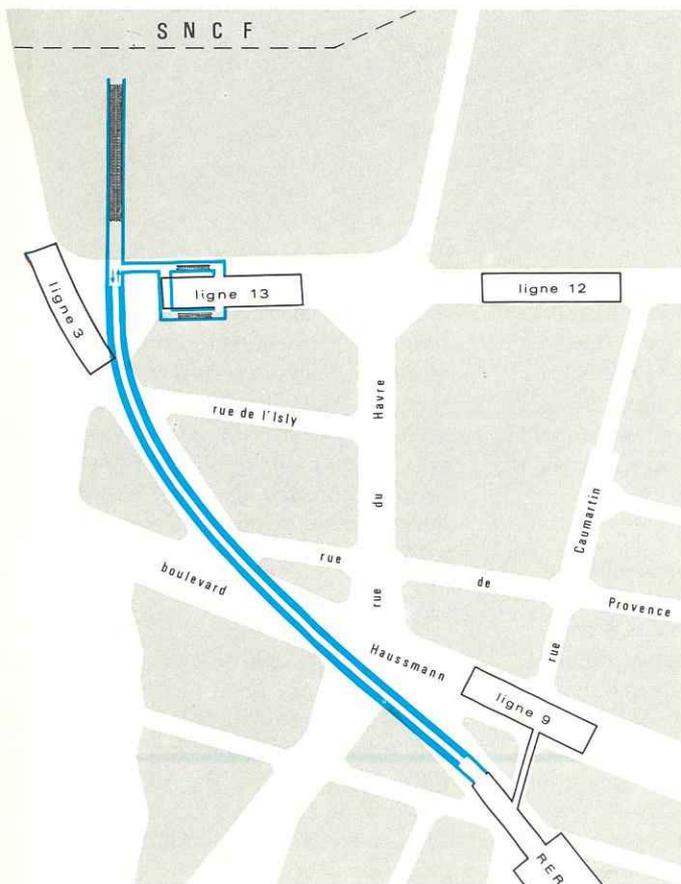
## Description des deux solutions

Contrairement aux trottoirs roulants classiques, le TRAX peut prendre des

courbes en plan de rayon supérieur à 50 m ; cet avantage conduirait à retenir deux tracés très différents.

Le premier tracé correspondrait à un couloir de 350 m équipé d'un TRAX de 330 m qui prendrait son origine à l'extrémité Nord-Ouest de la station Auber et où aboutirait la liaison avec la ligne 9. Ce couloir en courbe de rayon 200 m serait en souterrain sous la rue de Rome. Il déboucherait dans une salle des billets à construire sous la cour de Rome. Un couloir serait aménagé pour permettre d'accéder aux quais de la station de la ligne 13. Un escalier mécanique conduirait les voyageurs jusqu'aux quais de banlieue de la gare SNCF.

Le deuxième tracé correspondrait à un couloir de 180 m équipé de deux trottoirs roulants classiques de 150 m et qui prendrait son origine à l'extrémité Nord-Ouest de la station Auber. Il serait en alignement droit sous la rue du Havre. Ce couloir déboucherait sous la «Rotonde» de la place du Havre. Des escaliers mécaniques et fixes permettraient d'atteindre les quais de la ligne 12, de la ligne 13 et de la gare SNCF.



## Prévisions de trafic

La création de cette correspondance représenterait une modification structurelle importante du réseau de transport en commun.

Les prévisions de trafic ont été établies en utilisant le modèle global de la RATP, qui permet d'évaluer les reports entre modes de transport, les changements d'itinéraires et les modifications de charge de chaque tronçon des réseaux. Elles prennent en compte les hypothèses d'urbanisation les plus récentes sur l'ensemble de la région (hypothèses H5 de l'IAURP), cohérentes avec les objectifs d'urbanisation retenus dans le nouveau schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme de 1975.

Le trafic prévisible a été estimé en 1985 en considérant qu'à cette date seraient en service les diverses extensions dont la réalisation peut être considérée comme certaine ou très probable. On a, en particulier, considéré que serait en service la totalité des liaisons nouvelles résultant de l'interconnexion des réseaux du métro régional et de la SNCF à Gare du Nord, Gare de Lyon et Nanterre-Préfecture.

A l'heure de pointe du soir :

- si le couloir était équipé d'un TRAX,
  - 7 500 voyageurs l'utiliseraient d'Auber à Saint-Lazare,
  - et 4 700 voyageurs de Saint-Lazare à Auber,
- s'il était équipé de deux trottoirs roulants classiques,
  - 3 400 voyageurs l'utiliseraient d'Auber à Saint-Lazare,
  - et 3 400 voyageurs de Saint-Lazare à Auber.

La répartition du trafic, liaison par liaison, est donnée dans le tableau ci-après :

Liaison	Nombre de voyageurs		
	Pas de couloir	Trottoirs roulants classiques	TRAX
RER (Auber) → SNCF .....	} 890	560	1 650
SNCF → RER (Auber) .....		390	650
RER (Auber) → 13 (Saint-Lazare) .....	0	140	280
13 (Saint-Lazare) → RER (Auber) .....	0	1 030	1 680
9 (Havre-Caumartin) → SNCF .....	} 950	2 650	5 560
SNCF → 9 (Havre-Caumartin) .....		290	610
9 (Havre-Caumartin) → 13 (Saint-Lazare) ...	0	0	0
13 (Saint-Lazare) → 9 (Havre-Caumartin) ..	0	0	0
12 (Saint-Lazare) → 9 (Havre-Caumartin) ...	0	30	0
9 (Havre-Caumartin) → 12 (Saint-Lazare) ..	0	ε	0
RER (Auber) → 12 (Saint-Lazare) .....	0	0	0
12 (Saint-Lazare) → RER (Auber) .....	0	0	0
Autres utilisateurs <sup>(1)</sup>			
- Auber → Saint-Lazare .....	0	150	ε
- Saint-Lazare → Auber .....	0	1 660	1 760

(1) Il s'agit de voyageurs utilisant le TRAX ou les trottoirs avant de sortir du réseau de transport en commun ou avant de l'utiliser.

Ce tableau montre qu'il n'y a pratiquement pas d'échange entre la station Saint-Lazare (ligne 12) d'une part, et les stations Havre-Caumartin (ligne 9) et Auber (RER) d'autre part. Il est donc inutile de prévoir une liaison avec la ligne 12.

Ce projet permettrait de décharger certaines interstations du métro urbain. Tout d'abord, la correspondance envisagée doublerait l'interstation Havre-Caumartin - Saint-Lazare de la ligne 3 qui est la plus chargée et la décongestionnerait; le trafic de cette interstation passerait de 15 000 voyageurs à 14 000 voyageurs si le TRAX était installé, et de 15 000 voyageurs à 14 700 s'il y avait des trottoirs roulants.

En outre, le trafic diminuerait légèrement sur les interstations Havre-Caumartin - Saint-Augustin et Saint-Augustin - Miromesnil de la ligne 9. En effet, nombre de voyageurs qui doivent aller prendre un train SNCF, préféreraient emprunter le TRAX plutôt que de passer de la ligne 9 à la ligne 13 à Miromesnil.

A l'inverse, les arrivées et les départs à la gare Saint-Lazare augmenteraient légèrement ainsi que le trafic de l'interstation Châtelet - Auber du RER qui passerait de 49 120 voyageurs à 49 670 dans le cas des trottoirs roulants et à 50 490 voyageurs dans le cas du TRAX.

## Coûts

Les estimations se décomposent comme suit (hors taxes, frais généraux compris) aux conditions économiques du 1<sup>er</sup> janvier 1976 :

Nature des travaux	Solution trottoirs roulants	Solution TRAX
- gros œuvre .....	54,3	47,4
- aménagements .....	7,2	8
- trottoirs roulants .....	5	-
- TRAX .....	-	15,5
- escaliers mécaniques .....	13	7,5
- poste éclairage force .....	2	2
- visualisation et télécommande ..	1,5	0,6
<b>TOTAL .....</b>	<b>83 MF</b>	<b>81 MF</b>

## Intérêt pour la collectivité

Au niveau de la collectivité, cette création de correspondance entraînerait deux sortes d'économies :

- celles résultant directement de la réduction du temps,
- celles créées par un report d'utilisateurs de la voiture particulière vers les transports en commun (315 déplacements à l'heure de pointe du soir pour le TRAX, 130 pour les trottoirs roulants).

Les économies pour la collectivité sont données, en millions de francs, dans le tableau ci-dessous.

Les gains de temps de parcours et la diminution de pénibilité ont été estimés en les regroupant, selon les méthodes d'évaluation habituelles, en un gain de temps généralisé donné par la formule valable pour les longues correspondances :

$$T_g \text{ (en minutes)} = 4 + (1 + 0,06 t) t$$

dans laquelle t est le temps de correspondance y compris le temps d'attente.

Le gain global de temps généralisé serait de 892 000 heures pour les 22,2 millions de voyageurs qui utiliseraient annuellement le TRAX.

Il serait de 197 000 heures pour les 12,3 millions de voyageurs qui utiliseraient annuellement les deux trottoirs roulants classiques.

Ces gains de temps ont été valorisés à 18,85 F/heure pour 1985, en francs du 1<sup>er</sup> janvier 1976.

## Rentabilité

Le taux de rentabilité immédiate du projet, rapport entre les avantages annuels pour la collectivité et le montant total des investissements, serait de :

- 11 % avec les deux trottoirs roulants classiques,
- 35 % avec un TRAX.

Remarque :

La formule qui donne le temps généralisé pour des correspondances de faible longueur est :

$$T_g \text{ (en minutes)} = 4 + 1,4 t$$

Avec cette expression le taux de rentabilité immédiate pour le TRAX s'abaisserait de 35 % à 24 %, ce qui est encore caractéristique d'une opération très intéressante.

	Solution avec deux trottoirs roulants classiques	Solution avec un TRAX
Gains de temps généralisé pour les voyageurs .....	3,71	16,80
Economie de dépense d'utilisation de la voiture particulière .....	0,74	1,85
Economie de dépense de stationnement	1,60	3,82
Gain dû à la décongestion de la voirie	2,59	6,29
Economie d'entretien de la voirie ....	0,13	0,33
Dépenses d'énergie et d'entretien ....	- 0,22	- 0,61
<b>TOTAL .....</b>	<b>8,55 MF</b>	<b>28,48 MF</b>



Achévé d'imprimer le 17 Janvier 1977, sur  
les presses de l'IMPRIMERIE H. DRIDÉ  
162, Av. du Général Gallieni - 93140 BONDY  
N° Imprimeur 75.687 - Imprimé en France  
Dépôt légal - 1<sup>er</sup> Trimestre - Année 1977





