

RATP
ÉTUDES · PROJETS

88

octobre - novembre - décembre

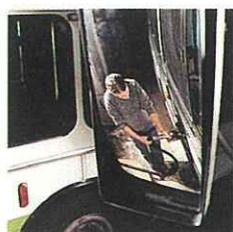
**Revue éditée par
la Régie Autonome des
Transports Parisiens**

RATP

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

Abonnement pour l'année 1988
FRANCE et ÉTRANGER : 123 F

SOMMAIRE



LES FACTEURS D'ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION DE CARBURANT DES AUTOBUS

Pourquoi, à la RATP, entre janvier 1975 et octobre 1986, la consommation globale mensuelle de carburant des autobus a-t-elle augmenté de plus de 15 % ?

Des réponses qui devraient permettre une bonne estimation des dépenses de gazole dans les budgets futurs et un approfondissement des études d'actions visant à économiser l'énergie.

5



SEHPIA ET CHIC CHRONO : DES OUTILS AU SERVICE DES DÉPÔTS

Le système SEHPIA et le logiciel CHIC CHRONO constituent deux outils d'aide à l'élaboration des tableaux de marche du réseau d'autobus : ils permettent, sur chaque ligne, une meilleure adaptation de l'offre à la demande de transport par une connaissance plus précise des temps de parcours et de battement en terminus tenant compte des conditions réelles de l'exploitation

11



DIMENSIONNEMENT DES ÉQUIPEMENTS FIXES D'ALIMENTATION TRACTION À LA RATP : LE PROGRAMME MARCADET

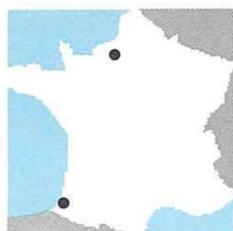
Plus de 800 millions de kilowattheures sont consommés chaque année en courant de traction par les trains du métro et du RER. Pour maintenir ses installations d'alimentation et de distribution en énergie constamment adaptées aux besoins réels, la RATP a mis au point, au cours des deux dernières décennies, un outil informatique : le programme MARCADET. Fondé sur la simulation de la marche des trains en ligne et sur un ensemble de calculs électriques, ce programme a déjà été non seulement appliqué aux lignes RATP, mais également utilisé dans des études pour des réseaux de province ou étrangers

18



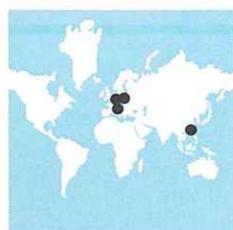
NOUVELLES DIVERSES DE LA RATP

- Mise en service de correspondances métro avec la branche VMI de la ligne C du RER. 31
- Agrandissement de la salle des billets de la station « Barbès-Rochechouart » — ligne 4. 33
- Lancement de l'opération « Autrement Bus ». 34
- Modifications diverses du réseau d'autobus. 36
- Trafic et service de l'année 1988. 37
- Vues des travaux en cours. 38



NOUVELLES DIVERSES DE FRANCE

- Bayonne : « CRISTOBALD », pour la desserte des zones peu denses. 40
- Rouen : un métro léger en projet. 41



NOUVELLES DIVERSES DE L'ÉTRANGER

- Berlin-Ouest : la M-BAHN en service régulier. 42
- Belgique : essais du GLT. 43
- Milan : un nouveau centre de formation pour le personnel du métro. 44
- Hong Kong : prochaine ouverture du métro léger. 45



LES FACTEURS D'ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION DE CARBURANT DES AUTOBUS

par François Heu, *Inspecteur principal*, avec le concours de Gérard Connat, *Inspecteur*, à la Direction du réseau routier.

LA consommation de gazole des autobus du parc de la RATP, en raison de son importance — 6 % du budget du réseau routier et 24 % du budget du service du matériel roulant et des activités industrielles (RM) — a fait l'objet de diverses études et analyses, ainsi que d'une expertise cofinancée par l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie (AFME) et effectuée par un cabinet d'audit.

L'objet de cet article est de faire le point des divers enseignements acquis depuis plusieurs années dans ce domaine.

La première partie est consacrée à l'étude de la consommation globale du réseau, la deuxième à l'analyse de données fournies par les entités élémentaires de maintenance (dépôts), enfin la dernière porte sur une évaluation chiffrée des actions en faveur des économies d'énergie.

Les quelques chiffres ci-après, considérés au mois de novembre 1986, situent le contexte de cette étude :

- parc de la RATP : 3 814 autobus dont 90 % de type standard SC10, répartis dans 23 dépôts ;
- âge moyen des autobus SC10 : 6 ans ;
- vitesse commerciale des véhicules aux heures de pointe du soir : 12,5 km/h ;
- taux de remplissage moyen des véhicules : 19 % ;
- kilométrage total effectué en



RATP - Ardailon

12 mois : 135 millions de kilomètres ;

— consommation de gazole totale sur 12 mois : 58 millions de litres.

C'est ainsi que 1 % d'économie sur un an représente un gain de 1,45 à 1,74 million de francs sur la base de 2,5 à 3 francs le litre de gazole.

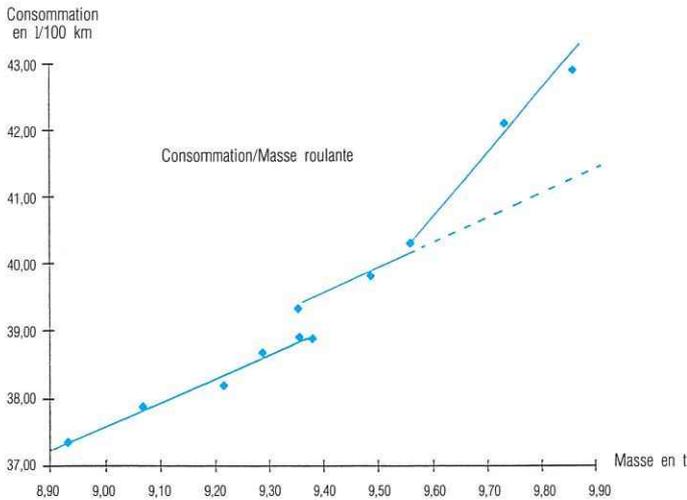
Analyse de l'évolution globale de la consommation

Entre janvier 1975 et octobre 1986, la consommation globale mensuelle, respectivement de 36,8

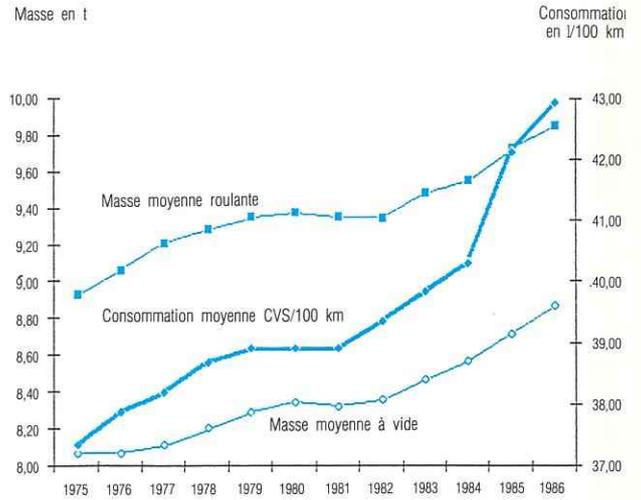
et 42,5 litres/100 km, corrigée des variations saisonnières (CVS), a augmenté de 5,7 litres/100 km, soit de 15,5 %.

Divers facteurs peuvent expliquer partiellement cet accroissement, mais seule l'augmentation de la masse moyenne roulante, résultante de la masse à vide et de la masse moyenne due aux voyageurs, conduit à une bonne corrélation (*graphiques 1 et 2 page suivante*).

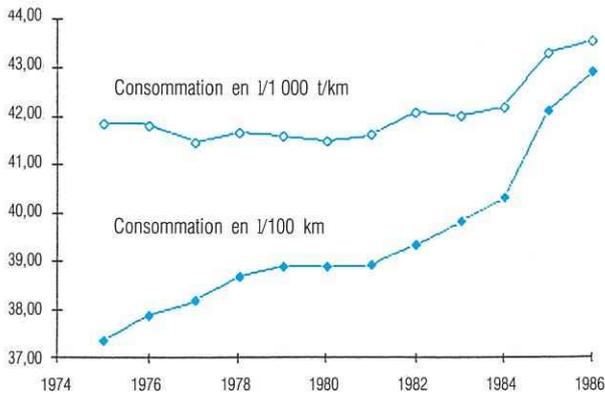
Parmi ces deux composantes de la masse roulante, le facteur masse à vide est prépondérant : en effet, les véhicules mis en service depuis 1980 (SC10 restylé et PR180) sont



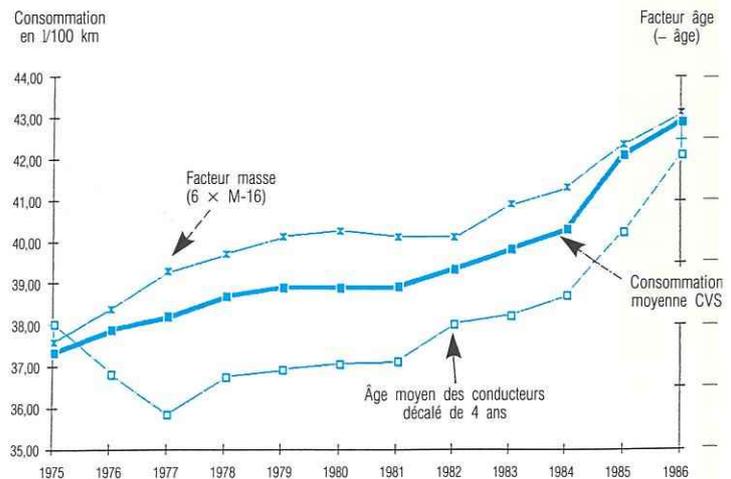
1. Évolution de la consommation en fonction de la masse.



2. Évolution des consommations et des masses dans le temps.



3. Évolutions comparées des consommations annuelles exprimées en l/100 km et en l/1 000 t-km.



4. Évolutions comparées dans le temps :
 — des consommations ;
 — du facteur masse ;
 — du facteur âge moyen machiniste.

plus lourds (voir tableau ci-contre), et la charge moyenne voyageurs n'a que peu varié au cours de la période considérée.

En conséquence, afin de faire apparaître d'éventuels effets secondaires, il a paru intéressant de rapporter la consommation aux 100 km d'une masse de référence (10 t par exemple).

Il s'avère que le nouvel indicateur, exprimé en litres/1 000 t-km (graphique 3), varie peu de 1975 à 1981 et se situe aux environs de 41,7.

A partir de 1981, on constate une croissance régulière de cet indicateur. Cette évolution peut être mise en relation avec celle de l'âge

TYPE	Masse à vide (t)	Nombre de places	Masse(*) moyenne roulante (t)
APVU	8,90	70	9,81
PCMR	8,05	70	8,96
PGR	6,75	45	7,34
SC 10 V	8,36	70	9,27
SC 10 UM	8,36	75	9,34
SCI 10 UO	8,55	78	9,56
SCI 10 R	8,67	78	9,68
PR100	9,80	77	10,80
PR180	15,00	148	16,92
R312	10,60	108	12,00
Minibus	2,50	17	2,72
CBM	7,50	60	8,28

(*) taux de remplissage moyen : 20 %
 masse d'un voyageur : 65 kg

Masse à vide et masse roulante par type de véhicule.

moyen des machinistes (graphique 4) à condition de prendre en compte le temps nécessaire à un conducteur débutant pour adopter une conduite personnelle optimisée (environ 3 à 4 ans).

Pendant la période considérée (75-86), il ne semble pas que la vitesse commerciale ait sensiblement varié. La zone de trafic dense s'est étendue en proche banlieue compensant, a priori, les améliorations réalisées sur certains tronçons (sites propres, couloirs, etc.).

Consommation des Autobus

Sur ces bases, il a été possible d'établir le modèle 1 suivant :

Modèle 1 :

$$C_n = 4,15 M + 0,6 (A4-38,7)$$

où C_n est la consommation globale de l'année n en litres/100 km, M la masse moyenne roulante de l'année n en t, $A4$ l'âge moyen de la population conducteurs de l'année $n-4$.

A noter que l'analyse de la chronique des consommations mensuelles (graphique 5) fait apparaître des variations saisonnières (graphique 6) pouvant être estimées à environ 10 % de la consommation.

Analyse des données de consommation des dépôts

La consommation mensuelle d'un dépôt est obtenue en faisant le ratio :

- des charges totales mensuelles de gazole relevées aux totalisateurs des postes de charge ;
- au total des kilomètres parcourus et lus sur les compteurs totalisateurs des voitures en fin de mois.

Il faut remarquer que la série des données mensuelles de consommation des dépôts est affectée de variations aléatoires dues

à la chaîne de saisie et de transmission des informations.

Les données doivent donc être « moyennées » sur douze mois glissants afin de limiter les écarts parasites. En conséquence, une perturbation (changement de matériel, modification d'itinéraire, de ligne, etc.) ne se répercute complètement sur la consommation examinée que douze mois plus tard.

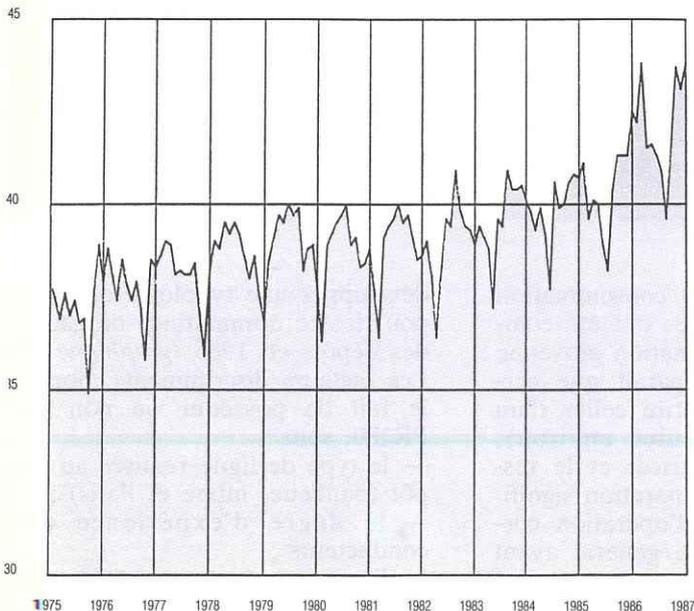


RATP - Ardailon

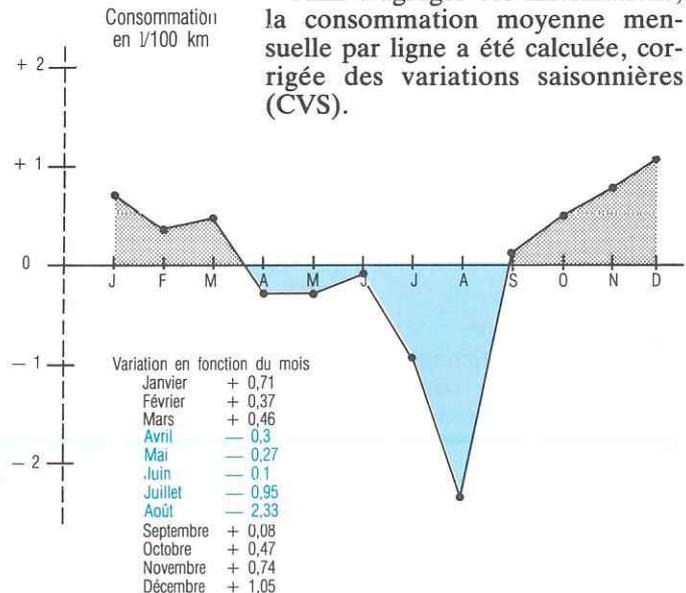
A l'analyse, il semble que la plupart des incidences significatives soient dues à un changement de matériel roulant.

De manière à valider ces hypothèses, quelques dépôts ont fait l'objet d'un suivi journalier semi-informatisé des charges en gazole de chaque véhicule. Compte tenu du travail occasionné, la période de suivi a été limitée à environ un semestre de l'année 1984.

Afin d'agréger ces informations, la consommation moyenne mensuelle par ligne a été calculée, corrigée des variations saisonnières (CVS).



5. Consommation moyenne mensuelle du réseau en l/100 km.



6. Évolution type de la consommation de carburant au cours d'une année (ensemble du réseau).

Ces consommations, en fonction de la vitesse de productivité (1), se répartissent, pour les autobus SC10 suivis, à l'intérieur d'un tube d'allure hyperbolique décroissante (graphique 7).

Afin de compléter ces résultats, des consommations mensuelles de véhicules (PR100, PR180), équipés de compteurs totalisateurs de gazole, ont également été portées sur ce graphique. Il apparaît que les courbes ont des allures identiques et qu'elles sont décalées corrélativement à la masse.

Cette remarque confirme à nouveau l'importance de ce facteur.

L'intégration de ces données a permis de définir un autre modèle, valable pour les autobus ayant une vitesse de productivité comprise entre 8 et 26 km/h :

Modèle 2 :

$$C = M (1,85 + 27/V)$$

où C est la consommation en litres/100 km,

M la masse moyenne roulante en t,

V la vitesse de productivité en km/h.

Le terme entre parenthèses exprime la décroissance hyperbolique en fonction de la vitesse et le facteur M, l'effet « masse » dû aux divers types de véhicules.

Il en résulte que l'influence de la vitesse de productivité est d'autant plus grande que la vitesse est faible, générant de ce fait un nombre plus important d'arrêts par kilomètre, facteur très défavorable pour la consommation d'énergie.

Dans le cas particulier où la vitesse commerciale aux heures de pointe du soir est égale à 12,5 km/h (2), le modèle 2 devient :

Modèle 2 bis :

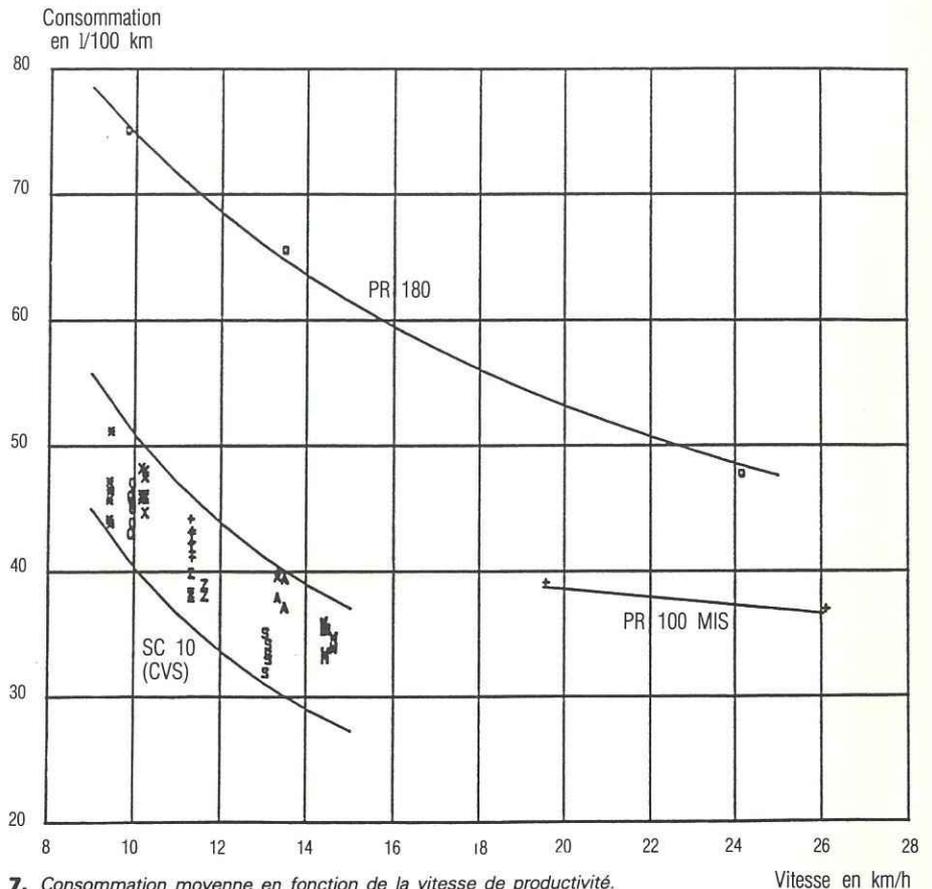
$$C = 4,01 \times M.$$

Ainsi, le coefficient affecté à la masse moyenne roulante de ce modèle est proche de celui du modèle 1.

Par ailleurs, les résultats du sui-

(1) Vitesse de productivité : kilomètres à parcourir/temps total de travail conducteur (battements compris), d'après le tableau de marche.

(2) La vitesse commerciale est considérée dans ce cas comme équivalente à la vitesse de productivité.



7. Consommation moyenne en fonction de la vitesse de productivité.



RATP - Ardailon

vi individuel de la consommation de quelques voitures ont été comparés à la consommation moyenne de la ligne. Il apparaît que certaines voitures, parmi celles d'un dépôt (200 véhicules environ), sont surconsommatrices et le restent jusqu'à une réparation significative ; toutefois, l'opération corrective est faite en général avant que le suivi effectué puisse mettre en évidence ce cas particulier.

Enfin, ces études ont permis de

développer une typologie originale pour les consommations de gazole des dépôts en 1985 (graphique 8). Les facteurs discriminants, hormis le fait de posséder ou non des PR180, sont :

- le type de ligne remise au dépôt (banlieue, mixte et Paris) ;
- le degré d'expérience des conducteurs ;
- l'ancienneté du matériel roulant.

Cette présentation permet de

— celles en relation avec la manière d'utiliser le matériel, indépendantes de celui-ci, incluant aussi bien les améliorations apportées à la circulation que les modes de conduite de ce matériel.

L'application des modèles proposés permet de chiffrer certaines possibilités d'économie d'énergie :

— l'augmentation de la vitesse de productivité de 10 à 11 km/h apporte un gain de consommation de 2,5 à 3 litres/100 km pour une masse roulante de 10 tonnes, soit environ 6 à 7 % d'économie ;

— la diminution de la masse roulante de 100 kg autour de 10 tonnes à la vitesse de 12,5 km/h procure un gain de 0,4 litre/100 km, soit environ 1 % d'économie.

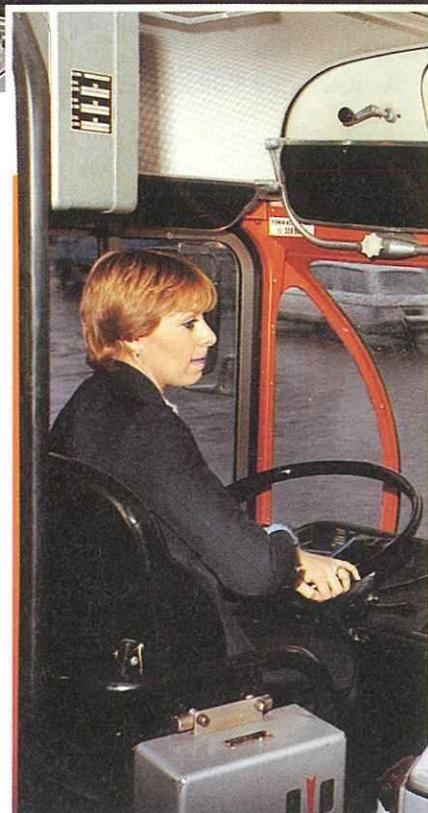
Étant donné les niveaux d'économie réalisables, même si le coût de l'énergie reste à son niveau actuel (de l'ordre de 2,50 francs/litre), il est possible de justifier des surcoûts d'investissement importants (exemple : système de priorité aux feux). Concernant l'autobus, l'investissement supplémentaire peut s'élever actuellement à 4 180 francs (3) pour tout gain de 100 kg de masse à vide.

Il est à noter que le mode de conduite du matériel peut amener des gains importants de consommation (de l'ordre de 7 à 12 %) selon les résultats de diverses expériences pratiquées à Dijon, Besançon, Marseille...

Cependant, la difficulté réside dans le maintien dans le temps de la conduite « économique ».



RATP - Ardailion



RATP - Thibaut

Conclusion

L'augmentation de la consommation de gazole des autobus de la RATP, 15,5 % en 11 ans, s'explique par l'augmentation de la masse à vide des véhicules mis en service après 1980 (SC10 restylé, PR180).

L'âge moyen de la population conducteurs apparaît comme un facteur très secondaire et la vitesse moyenne d'exploitation comme un facteur indispensable à toute comparaison de consommation entre véhicules.

Notons que l'âge moyen du parc est un facteur d'augmentation de la consommation de carburant.

Les éléments chiffrés de cet article devraient permettre de mieux estimer le poste consommation d'énergie dans les budgets futurs et de réaliser des études économiques plus détaillées pour des systèmes réduisant la consommation d'énergie de traction des autobus. ■

(3) Hypothèses :

- taux d'actualisation : 3 % ;
- consommation : 45 litres/100 km ;
- durée de vie : 15 ans ;
- kilométrage annuel : 35 000 km ;
- masse : 10 tonnes ;
- gain : 0,4 litre de gazole pour 100 kg de masse en moins.

SEHPIA ET CHIC CHRONO : DES OUTILS AU SERVICE DES DÉPÔTS

par **Michel Rizzi**, *Inspecteur principal*, et **Edith Froloff**, *Inspecteur*,
à la Direction du réseau routier.

UNE ligne d'autobus est exploitée à partir d'un tableau, c'est-à-dire d'un document indiquant les heures de départ des autobus et les services des agents. Ce tableau de marche est le résultat des opérations de graphicafe et d'habillage.

À la RATP, le graphicafe est réalisé en dépôt sous la responsabilité d'un inspecteur adjoint de lignes.

Dans la construction du graphique, deux paramètres interviennent : l'intervalle entre deux bus qui est choisi par l'inspecteur en fonction de la demande de transport, et le temps de révolution, c'est-à-dire le temps compris entre deux départs du même bus au même terminus.

Ce temps de révolution se décompose en temps de parcours aller et retour et en temps de battent aux deux terminus.

Temps de parcours et temps de battent varient en fonction :

- du sens ;
- de l'heure de la journée ;
- du jour de la semaine ;
- de l'époque de l'année.

Une bonne adéquation de ces temps alloués aux conditions réelles de circulation est absolument nécessaire pour éviter, d'un côté, un gâchis de moyens (si les temps sont trop longs), et de l'autre, une impossibilité d'assurer le service prévu (si les temps sont trop courts), d'où l'importance d'une bonne connaissance statisti-

que des temps pour les sens et les périodes considérés.

Pendant longtemps, cette connaissance a uniquement résulté de chronométrages manuels effectués par les agents de maîtrise des dépôts ou par les agents de la brigade du service des études d'exploitation et de la promotion du transport (RC) ; mais cette pratique, très coûteuse en temps, ne fournissait, en outre, qu'un nombre d'observations réduit, généralement à la limite de la validité statistique. C'est pourquoi, dès 1980, la RATP a expérimenté et mis en service le système de chronométrages automatiques SEHPIA : « Système d'Enregistre-

ments des Heures de Passage par Identification des Autobus ».

Description du système SEHPIA

SEHPIA est constitué de deux types d'appareils : des identificateurs placés sur les autobus et des balises amovibles placées sur la voirie.

Les identificateurs

Les identificateurs se présentent sous la forme d'un boîtier de 24 × 15 × 6 cm. Ils émettent périodiquement en hyperfréquence un code qui caractérise chacun d'eux.



Émetteur embarqué.



RATP - Chabrol

Balise posée sur la voie publique.

Lors d'une campagne de mesures, chaque autobus de la ligne est équipé d'un identificateur. Le montage se fait en quelques dizaines de secondes.

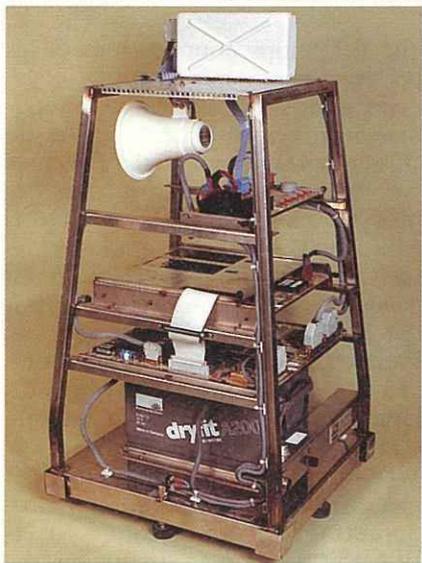
Les balises

Les dimensions et le poids des balises ont été déterminés par un certain nombre de contraintes. La RATP n'a pas voulu installer des supports particuliers (poteaux par exemple) sur la voirie ; elle s'est donc orientée vers la solution de balises posées au sol et non suspendues ou accrochées à un support. Les balises doivent avoir une taille suffisante afin d'être bien visibles et un poids suffisant pour qu'on ne puisse pas les manœuvrer trop facilement. Toutefois, la taille et le poids doivent permettre leur transport car le matériel est amovible et les problèmes de maintenance doivent être réduits.

Les balises mesurent 55 × 50 × 100 cm et pèsent environ 30 kg.

Composition

- Ces balises contiennent :
- une batterie ayant une autonomie d'un mois environ ;
 - un récepteur et sa logique ;
 - un microprocesseur qui transmet à une carte mémoire les données recueillies ;
 - une carte mémoire ;
 - une carte de tests de bon fonctionnement de la balise.



RATP - Ardailon

Intérieur d'une balise.

Fonctionnement

Le code émis par l'autobus est enregistré par la balise, au moment de son passage, ainsi que l'heure correspondante. Ce système permet donc d'obtenir :

- des heures de temps de parcours d'un terminus à l'autre ;
- des mesures de temps de parcours intermédiaires, aux points de régulation ;
- des mesures de temps de stationnement aux terminus.

Emplacement des balises

Les balises sont placées sur la voie publique aux points où l'on désire relever les heures de passage (figures 1 et 2). En général, elles sont attachées par une chaîne autour d'un arbre, d'un feu ou

d'un poteau. L'expérience d'utilisation des balises oblige à fixer certaines règles pour leur implantation :

- on ne doit pas mettre deux balises côte à côte ou face à face car les balises se perturbent mutuellement et fonctionnent mal ou pas du tout, la distance minimum à respecter étant de l'ordre de 50 mètres ;

- il ne faut pas placer les balises aux endroits de stationnement des autobus car la mémoire serait remplie essentiellement avec les messages des autobus en stationnement.

Sur un même tronçon, si l'on détecte les autobus qui sont dans le sens direct, il peut arriver que l'on détecte aussi les autobus dans le sens inverse à cause des phénomènes de réflexion. On annule alors les points aberrants par traitement informatique.

Pour faciliter la mise en place des balises, compte tenu de toutes ces difficultés, un fichier d'implantation a été constitué avec les constatations faites antérieurement.

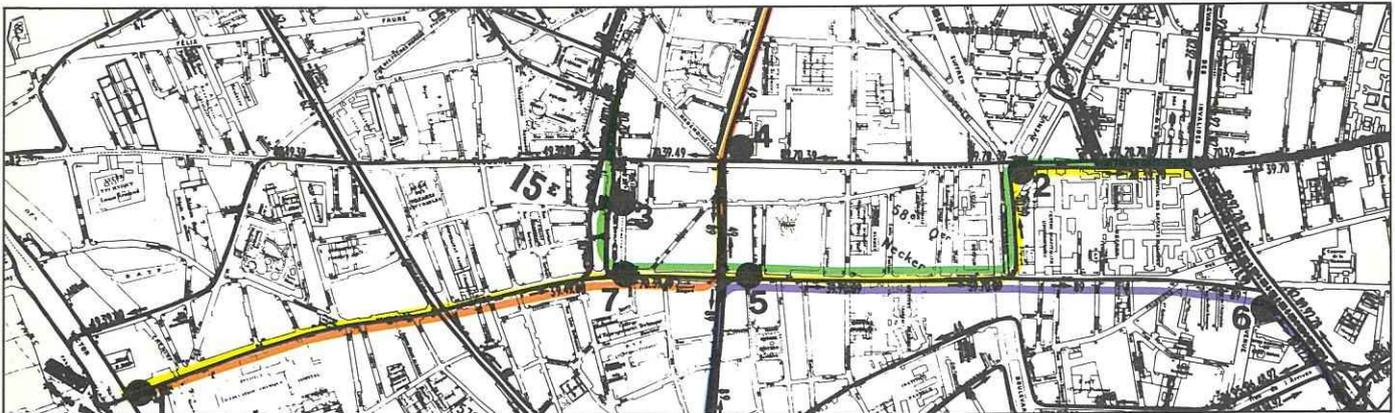
Parc SEHPIA

De novembre 1982 à janvier 1986, le parc SEHPIA se composait de 20 balises et 100 identificateurs. De février 1986 à fin 1986, il était de 40 balises et 200 identificateurs. Depuis janvier 1987, on dispose de 60 balises et 300 identificateurs, ce qui a permis d'accroître le nombre de campagnes de mesures qui peut être de l'ordre de 200 par an.

Déroulement d'une campagne

Le demandeur (inspecteur de lignes du dépôt, chef de division trafic ou cadre d'études) doit remplir une fiche de demande qu'il adresse au service RC.

La durée de la campagne doit être définie par le demandeur en fonction de la fréquence et de l'irrégularité de la ligne. En effet, si la fréquence est forte, on peut diminuer la durée de la campagne car le



1. Campagne rue Lecourbe du 19 au 29 septembre 1986
(secteur de la mairie du 15^e arrondissement/7 balises, 4 ligres) :

- ligne 49 : balises 1, 7, 4
- ligne 39 : balises 1, 7, 5, 2
- ligne 89 : balises 5, 6
- ligne 70 : balises 3, 7, 5, 2



2. Campagne ligne 168 du 23 juillet au 1^{er} août 1985 : 6 balises.

- 2 balises à Saint-Denis (Porte de Paris)
- 2 balises à Pierrefitte (Barrage)
- 2 balises à Sarcelles (Les Lochères)

nombre de mesures sera important. Si l'irrégularité est grande, il faudra augmenter la durée pour avoir des mesures fiables.

D'une étude sur la « durée des campagnes SEPIA et fiabilité des résultats » [cf. *bibliographie (1)*], il ressort qu'en général une durée minimum de quinze jours est nécessaire pour obtenir des résultats significatifs pour les jours ouvrables. Il faudra être très prudent dans l'interprétation des résultats sur les samedis et dimanches où le nombre d'observations est faible.

A la suite de la demande de campagne, le service RC, en accord avec le demandeur, fixe la période pendant laquelle sera effectuée la campagne compte tenu du planning des campagnes à effectuer. S'il s'agit d'une première campagne, l'implantation des balises est décidée par les agents de maîtrise du service RC qui choisissent sur le terrain.

Avant le début de la campagne, plusieurs opérations doivent être réalisées : préparation et initialisation des balises au service RC, rue du Mont-Cenis, puis mise en place sur la voie publique par une équipe spécialisée.

Pendant la campagne, le dépôt concerné est chargé de la vérification du bon fonctionnement des balises.

La campagne terminée, les balises sont retirées et amenées au service RC où l'opération de lecture des balises est réalisée.

L'entretien et la vérification des balises se font à l'atelier du service RC.

Traitement d'une campagne : le logiciel CHIC CHRONO

Jusqu'en 1988, l'ensemble des opérations de traitement des campagnes SEHPA était centralisé au service RC Mont-Cenis, les inspecteurs des dépôts se rendant sur place pour analyser les résultats et définir les temps à allouer.

Il est vite apparu souhaitable de donner à ces agents les moyens techniques d'effectuer ce travail au dépôt même ; c'est pourquoi le service RC a écrit, puis implanté, le logiciel de traitement « CHIC CHRONO ».

CHIC CHRONO fait partie d'un ensemble d'applications écrites pour les exploitants qui comprend également :

- CHIC GRAPHIC, logiciel de graphycage [cf. bibliographie (2)] ;
- CHIC SERVICES, logiciel d'habillage ;
- CHIC COMPTAGE, logiciel d'analyse des comptages de voyageurs.

CHIC CHRONO fonctionne sur les ordinateurs Hewlett-Packard HP 9 000 de la série 300, avec écran haute résolution 19 pouces.

Les limitations concernant les données sont les suivantes : 7 500 observations maximum, durée de la campagne égale au plus à 35 jours et temps de parcours maximal de 4 heures.

Dans l'organisation actuelle, les opérations de lecture des balises SEHPA, de contrôle de validité des données et de création des fichiers de temps demeurent centralisées sur l'ordinateur HP 1 000 de RC Mont-Cenis ; ces fichiers sont ensuite stockés sur disquette 3,5 pouces et expédiés par courrier au dépôt concerné pour analyse. Cependant, il faut noter que, dans l'optique de sa future commercialisation, il est prévu de doter CHIC CHRONO d'un module de lecture et de correction des données permettant de constituer et de modifier des fichiers de temps de par-

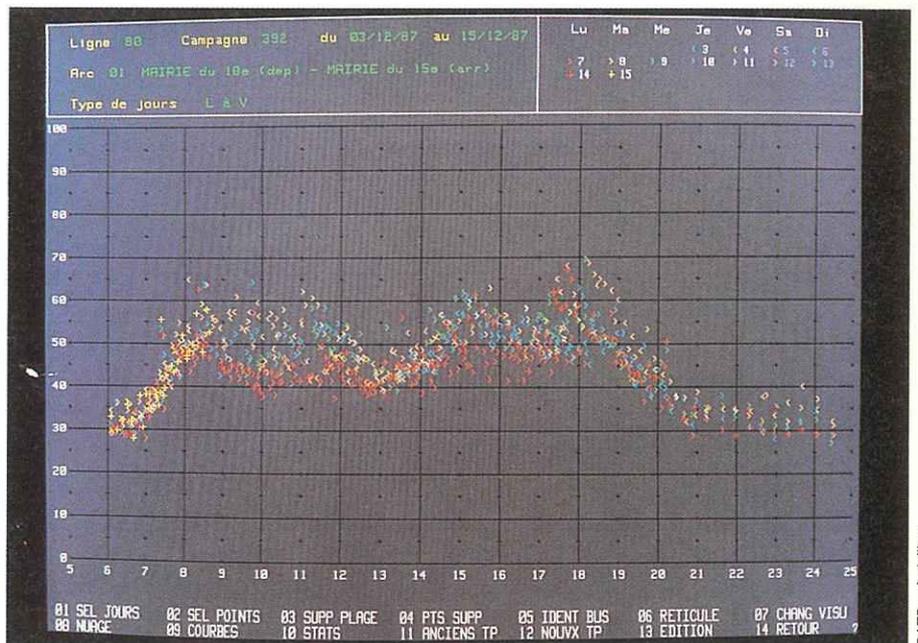
cours ou de temps de stationnement à partir de différents modes de chronométrage : systèmes de balises placées aux points d'arrêt, mais aussi systèmes embarqués à bord des véhicules, chronométrages manuels, etc.

L'utilisateur de CHIC CHRONO a accès à un certain nombre de fonctions. Parmi les principales

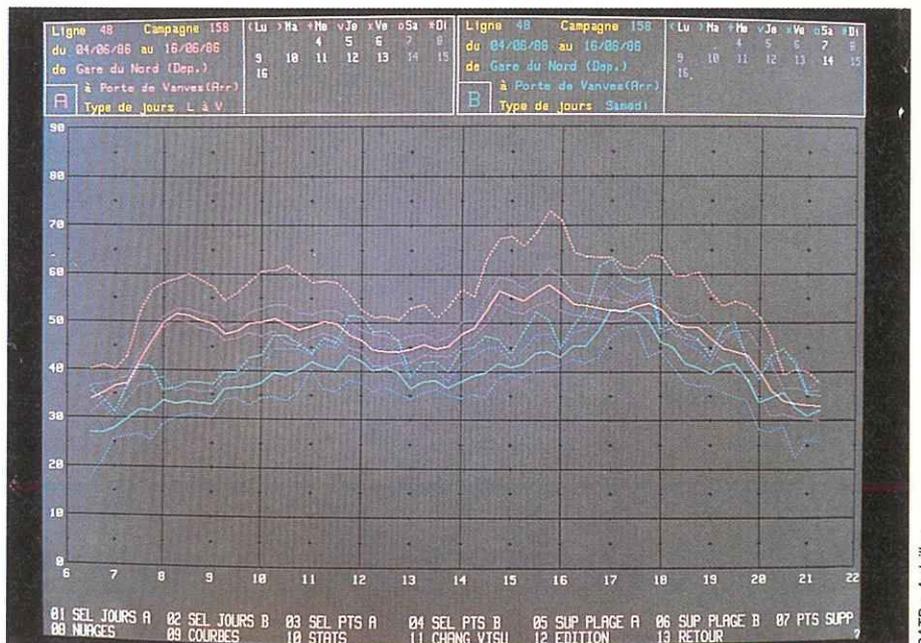
sorties (sous forme d'image graphique ou de sortie papier), il faut citer :

● Le nuage des points

En abscisse, figure l'heure de passage devant la balise et en ordonnée, le temps mis pour aller de la balise origine à la balise destination. On voit nettement, sur l'exemple, l'amplitude de variation



Nuage des points.



Courbes lissées.

des temps de parcours. Chaque jour d'enquête sélectionné est représenté par un sigle différent ; ceci permet de savoir ce qui s'est passé un jour donné et d'éliminer, le cas échéant, des temps dus à des phénomènes exceptionnels. L'examen complet du nuage et son épuration constituent une étape très importante, absolument néces-

saire avant toute utilisation des résultats.

• Les courbes lissées

Ces courbes, calculées à partir des observations sélectionnées, sont des lignes brisées reliant des points calculés tous les quarts d'heure sur la base d'une tranche horaire d'une demi-heure ; ce mode de calcul permet d'obtenir

un certain lissage. Les courbes reproduites sont la valeur moyenne lissée avec son intervalle de confiance à 95 % et la valeur « moyenne des temps + k fois l'écart-type » servant à la définition des battements.

• Le tableau statistique

Les statistiques sont calculées tranche horaire par tranche horaire, celles-ci étant définies par l'utilisateur.

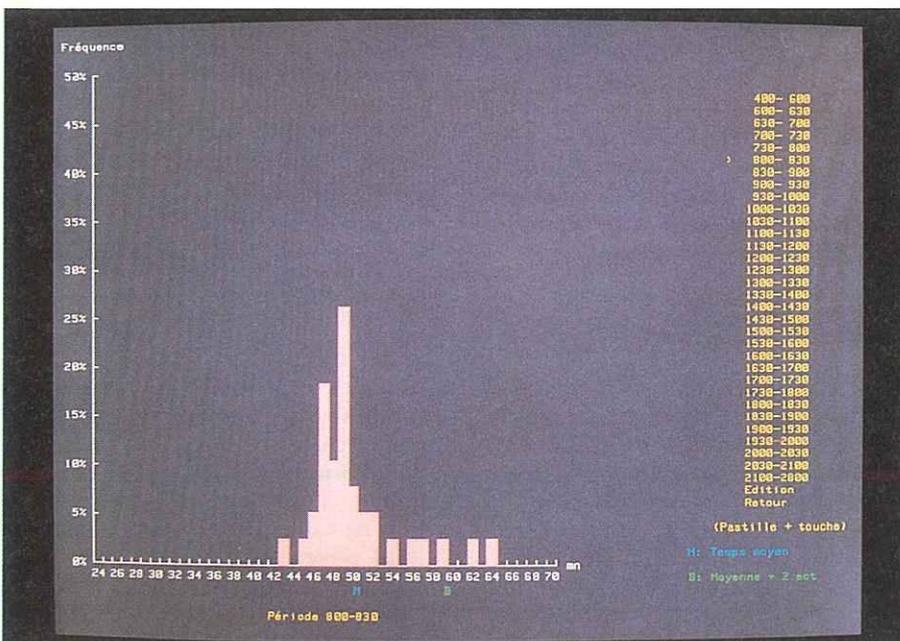
• Les histogrammes

Cette sortie permet de visualiser la concentration des temps autour de la moyenne et l'allure de leur distribution.

SERIE A Ligne 48 Campagne 158				SERIE B Ligne 48 Campagne 158							
du 04/05/86 au 16/05/86 Jours L à V				du 04/05/86 au 16/05/86 Jours Samedi							
Arc Gare du Nord (Dep.) - Porte de Vanves (Arr.)				Arc Gare du Nord (Dep.) - Porte de Vanves (Arr.)							
Tranche horaire	Nbre d'obs	Moyenne		Ecart-type		Temps mini		Temps maxi		(CIB-CIB)	Test
	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	(CIB-CIB)	
480 - 500											
500 - 530											
530 - 560	13	4	35m05s	25m59s	2m56s	3m27s	28m37s	23m25s	37m39s	31m40s	7m11s Diff
560 - 590	24	6	37m13s	29m47s	2m48s	3m26s	32m37s	26m36s	43m39s	35m18s	6m18s Diff
590 - 630	58	5	46m09s	31m33s	5m16s	4m34s	36m15s	25m33s	55m55s	38m06s	16m08s Diff
630 - 660	53	4	51m39s	33m01s	3m42s	1m41s	43m07s	30m34s	58m51s	34m28s	22m48s Diff
660 - 690	29	6	50m20s	33m16s	4m12s	2m07s	43m08s	29m47s	57m28s	35m15s	21m14s Diff
690 - 730	29	5	47m53s	36m10s	3m38s	1m42s	42m14s	33m53s	54m54s	38m27s	15m00s Diff
730 - 760	20	5	49m58s	36m41s	4m16s	2m59s	49m58s	31m49s	57m51s	39m45s	15m47s Diff
760 - 790	15	5	50m58s	39m48s	4m58s	3m51s	44m24s	34m45s	62m01s	45m26s	13m22s Diff
790 - 830	14	4	48m36s	40m06s	5m46s	2m48s	37m59s	36m27s	59m17s	42m45s	14m25s Diff
830 - 860	15	4	50m12s	41m08s	4m13s	2m55s	44m32s	37m02s	57m00s	43m52s	11m49s Diff
860 - 890	13	5	47m38s	43m24s	4m13s	4m02s	41m08s	40m05s	56m26s	49m46s	4m36s Id
890 - 930	7	6	44m07s	40m07s	3m23s	4m01s	41m04s	36m19s	51m01s	45m48s	3m01s Diff
930 - 960	11	5	44m07s	39m58s	3m16s	3m18s	39m52s	36m28s	49m53s	45m22s	4m12s Diff
960 - 990	17	6	45m44s	37m56s	4m05s	2m01s	39m36s	34m44s	54m14s	40m51s	11m51s Diff
990 - 1030	18	8	45m12s	36m40s	4m11s	1m45s	37m30s	34m22s	56m45s	39m30s	13m23s Diff
1030 - 1060	17	3	49m08s	39m14s	3m11s	2m56s	45m04s	35m13s	55m26s	42m14s	10m23s Diff
1060 - 1090	10	3	56m42s	41m52s	5m19s	2m27s	44m52s	39m31s	64m00s	45m16s	20m32s Diff
1090 - 1130	8	8	54m44s	41m41s	5m37s	3m14s	43m00s	38m45s	66m13s	49m22s	17m49s Diff
1130 - 1160	21	6	57m55s	44m16s	7m32s	3m19s	43m31s	40m58s	68m46s	49m12s	22m03s Diff
1160 - 1190	22	5	54m08s	45m24s	5m12s	2m11s	42m07s	43m19s	61m50s	49m04s	14m44s Diff
1190 - 1230	23	5	53m01s	46m37s	5m09s	6m35s	44m05s	42m00s	62m22s	51m55s	1m69s Diff
1230 - 1260	24	0	53m22s	52m42s	4m33s	3m24s	42m58s	48m47s	62m45s	56m35s	2m04s Id
1260 - 1290	27	4	54m14s	50m21s	4m54s	4m28s	45m06s	44m30s	63m28s	54m57s	4m47s Id
1290 - 1330	23	5	50m00s	45m06s	4m55s	3m01s	48m19s	39m57s	57m52s	47m09s	9m49s Diff
1330 - 1360	20	5	49m19s	41m00s	5m32s	2m56s	42m00s	38m16s	61m32s	45m12s	13m30s Diff
1360 - 1390	14	5	44m53s	41m05s	4m18s	3m59s	39m21s	38m13s	53m45s	49m00s	4m25s Diff
1390 - 1430	7	3	43m07s	38m33s	5m05s	1m55s	36m52s	36m35s	51m50s	40m24s	11m15s Diff
1430 - 1460	7	4	36m07s	34m49s	5m23s	4m23s	29m52s	32m10s	44m45s	41m22s	3m18s Id
1460 - 1500	8	3	33m36s	32m30s	3m23s	4m38s	28m36s	28m41s	38m59s	37m34s	1m05s Id
1500 - 1530	5	2	33m08s	32m11s	2m25s	1m28s	29m10s	31m08s	35m38s	33m14s	2m44s Id

Edition ? ('1' pour Oui, '0' pour Non)

Tableau statistique.



Histogramme.

Validité et représentativité d'une campagne

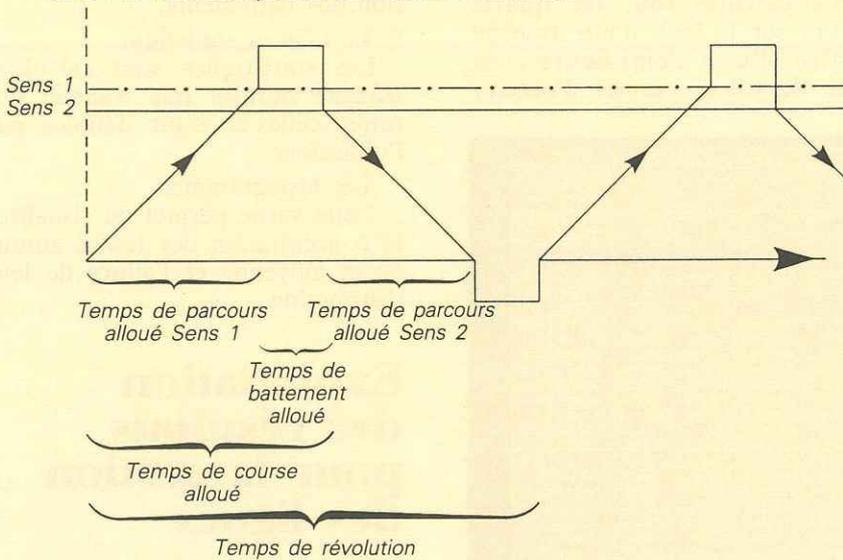
Il lui faut d'abord examiner la validité de la campagne : est-ce que les mesures de la campagne sont en nombre suffisant pour représenter réellement la période ? Cela dépend essentiellement du nombre de mesures fiables par jour et par tranche horaire.

D'autre part, comme il a été indiqué précédemment, la durée d'une campagne est de l'ordre de quinze jours. La question qui se pose est de savoir si les résultats propres à ces quinze jours pourront être représentatifs de la pé-

Encadré 1.

Le graphique

Le graphique représente la progression de chaque autobus tout au long de la journée : il se construit « à pente constante » (abscisse temps et ordonnée temps) et permet de bien tenir compte des variations de temps de parcours suivant le sens et la période d'utilisation des voitures.



riode d'application du tableau de marche et être pris en compte pour la préparation du graphique. En effet, les temps de parcours subissent des variations saisonnières plus ou moins importantes [cf. bibliographie (3)]. Des études sur la variabilité des temps de parcours en fonction de la période sont en cours au service RC pour tenter d'analyser ce phénomène. C'est sur son expérience et sa connaissance de la ligne que l'inspecteur adjoint de lignes doit donc s'appuyer pour déterminer les temps à allouer en fonction des résultats de la campagne.

Quel temps de parcours allouer ?

Le temps de parcours alloué pour chaque tranche horaire sera déterminé à partir de la moyenne des temps de parcours réels. Cette moyenne n'étant connue qu'avec une certaine imprécision, on suggère en général que le temps de parcours alloué se situe dans l'intervalle de confiance de la moyenne.

CHIC CHRONO permet à l'inspecteur adjoint de lignes de comparer sur écran la moyenne des temps recueillis pendant la campagne aux temps alloués au tableau de marche appliqué pendant la période de la campagne. Il analyse les différences puis il définit par digitalisation les nouveaux temps de parcours, tranche horaire par tranche horaire, du futur tableau de marche. Le module d'« aide au tracé des TP », qui permet d'aboutir au tracé définitif des temps de parcours à allouer, constitue une aide appréciable pour les cadres d'exploitation.

Quel battement allouer ?

Le battement est le temps qui s'écoule entre l'arrivée d'un autobus à un terminus et le départ suivant.

Son rôle est primordial dans le bon fonctionnement d'une ligne d'autobus. Il sert tout d'abord à absorber une partie des variations aléatoires des temps de parcours dues essentiellement aux difficultés de circulation. C'est un moyen de

régulation important dont dépend le niveau de fiabilité de l'horaire que l'on veut assurer. On sait ainsi qu'en l'absence de battement suffisant sur une ligne, des phénomènes d'auto-amplification des retards apparaissent avec des groupages de bus et des lacunes importantes.

Le battement permet également au machiniste d'effectuer des opérations de service telles que la visite de l'autobus et l'achat des tickets.

Une étude a été faite sur la recherche du battement optimal [cf. bibliographie (4)] :

— si l'intervalle des départs est inférieur ou égal à 6 minutes, le battement optimal sera égal à deux fois l'écart-type du temps de parcours ;

— si l'intervalle des départs est supérieur à 6 minutes, le battement optimal sera égal à 1,5 fois l'écart-type du temps de parcours.

Ce battement optimal théorique n'a bien sûr qu'une valeur indicative car certaines contraintes de graphichage interviennent, notamment le respect d'un intervalle prévu (défini en fonction de la période horaire et du terminus concerné), l'intercalage entre différents types de courses et le respect de certaines heures de départ ou de passage.

La durée de révolution (temps de parcours alloué + temps de battement alloué dans chaque sens) commande le niveau des moyens nécessaires pour accomplir un service donné.

Comparaison de séries de chronométrages

La nécessité de comparer deux séries de chronométrages est apparue tant pour l'exploitant que pour les services d'études. Le cadre de dépôt peut, notamment, être amené à s'interroger sur la création de tableaux de marche spécifiques pour certains jours (jours de marché, lundi, mercredi...) ou de tableaux de marche particuliers (saison froide, décembre) (3). Il doit aussi pouvoir vérifier l'intérêt

d'une modification du tableau de marche en service.

Pour les services d'études, les comparaisons permettent de mettre en évidence les variations des vitesses commerciales, les variations saisonnières des temps de parcours. Ces constatations peuvent être utiles pour réaliser un bilan suite à un aménagement de voirie, à l'implantation de systèmes nouveaux comme l'installation d'un système de priorité aux feux, à une modification d'itinéraires...

Le module de comparaison de CHIC CHRONO permet de répondre à tous ces besoins, en fournissant des sorties graphiques et des indications statistiques.

La question est la suivante : étant donné deux séries de chronométrages tirées d'une même campagne ou de deux campagnes différentes, peut-on admettre qu'elles sont issues d'une même population ? [cf. bibliographie (5)].

Pour y répondre, CHIC CHRONO utilise le test de comparaison de deux échantillons de « Kolmogorov-Smirnov » (voir encadré 2) qui ne suppose aucune hypothèse sur la distribution des temps de parcours. Si le test donne des résultats positifs, on admet que les deux échantillons sont représentatifs d'une même fonction de répartition.

Encadré 2.

Test de Kolmogorov-Smirnov

Ce test est un test non paramétrique de comparaison de deux échantillons de taille n_1 et n_2 .

Soient $F_{n_1}^*(x)$ et $G_{n_2}^*(x)$, les fonctions de répartition empiriques des deux séries, et $F(x)$ et $G(x)$, les fonctions de répartition théoriques, inconnues correspondantes.

On teste l'hypothèse :

$$(H_0 : F(x) = G(x) ;$$

$$(H_1 : F(x) \neq G(x).$$

On forme $D_{n_1, n_2} = \text{Sup} | F_{n_1}^*(x) - G_{n_2}^*(x) |$.

On compare ensuite cette valeur à la valeur tabulée :

$$d \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} \text{ au seuil de } 5\%.$$

Si $D_{n_1, n_2} \leq d \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}$, on accepte l'hypothèse d'identité des temps de parcours. Sinon, on la rejette.

Conclusion

Jusqu'à un passé récent, les cadres de dépôt et les agents de maîtrise ne disposaient que de deux types de systèmes d'aide à l'exploitation : les Commandes Centralisées de Départ (CCD) permettant de donner l'ordre de départ et de moduler les horaires d'une ligne à partir d'un terminus, et la radiotéléphonie.

De nouveaux systèmes ont vu le jour ces dernières années :

- le système SEMPIA décrit ici ;
- les logiciels CHIC, dont CHIC CHRONO fait partie ;
- les systèmes de gestion des lignes mis en place aux terminus de Gallieni (ligne 76), de Porte de Choisy (ligne 183) et de Pont de Sèvres.

Ces outils, qui sont appelés à se développer, ont été conçus avec le souci d'améliorer les méthodes d'exploitation pour élever la qualité du service public et faciliter le travail des agents. Guidée par cet objectif, la modernisation permet qu'une coopération fructueuse s'instaure entre les exploitants et les services d'études. De même, la RATP peut faire fructifier les compétences ainsi acquises dans le domaine des aides à l'exploitation pour commercialiser auprès des réseaux de province et de l'étranger les produits qu'elle a elle-même conçus, comme l'a déjà montré l'exemple des logiciels CHIC GRAPHIC et CHIC SERVICES. ■

BIBLIOGRAPHIE

- (1) « **Durée des campagnes SEMPIA et fiabilité des résultats.** »
Rapport RATP - RC 21 393 (1985).
- (2) « **Graphicage assisté par ordinateur (GAO).** »
RATP Études/Projets (octobre - novembre - décembre 1984).
- (3) « **Variations de temps de parcours et changements de tableau de marche.** »
Michel Rizzi et Antoine Saporito - Étude sur les lignes 20 et 54 (1985).
- (4) « **Battement alloué - Battement effectif.** »
Georges Amar - RC (1984).
- (5) « **Les temps de parcours d'une ligne d'autobus : méthode de comparaison de deux séries de chronométrages.** »
Rapport RATP - RC 20 069 (1985).

DIMENSIONNEMENT DES ÉQUIPEMENTS FIXES D'ALIMENTATION TRACTION À LA RATP

Le programme MARCADET

Modélisation Appliquée aux Réseaux Continus d'Alimentation et de Distribution de l'Énergie de Traction

par Charles Venard, Ingénieur chef de division, et Patrice Izabel, Inspecteur, à la Direction des équipements électriques.

EN l'espace de vingt ans, la consommation d'énergie électrique de la RATP a doublé du fait de l'extension et de la modernisation de son réseau. Le présent article explicite les méthodes de calcul informatique mises au point par la RATP pour quantifier et localiser les nouveaux besoins énergétiques en vue de déterminer les modifications ou créations à prévoir sur les installations fixes d'alimentation et de distribution du courant de traction. Pour montrer les capacités de ce programme de calcul, les auteurs décrivent l'application qui vient d'en être faite sur la ligne A du RER, la plus chargée et la plus complexe du réseau, dont les prochaines modifications de trafic se traduiront par un accroissement de la puissance moyenne horaire appelée de 50 à 65 Mégawatts.

Introduction

Avec l'extension de ses réseaux et la mise en service de matériels roulants nouveaux, la RATP a dû adapter ses installations d'alimentation en énergie électrique. Entre 1966 et 1986, sa consommation d'énergie électrique annuelle a doublé, elle dépasse actuellement le milliard de kilowattheures. Cette énergie est fournie par le réseau national EDF et le niveau atteint fait de la RATP son plus gros client en région parisienne. Quatre-vingts pour cent de cette énergie sont utilisés pour assurer le mouvement des trains ; le reste permet le fonctionnement des installations fixes principalement pour l'éclairage et les auxiliaires d'exploitation.

Il y a lieu de rappeler que l'alimentation en courant de traction des trains est assurée en courant continu sous 750 volts (sur le métro) ou 1 500 volts (sur le RER) au moyen de postes de redressement eux-mêmes alimentés en moyenne tension (15 kV) par un réseau de câbles de près de 2 000 km de longueur issus de postes haute tension transformant le 63 ou 225 kilovolts en provenance du réseau EDF.

La distribution du courant de traction aux trains est réalisée au moyen d'un troisième rail (métro) ou d'une ligne caténaire (RER), le retour du courant aux postes de redressement s'effectuant par les rails de roulement.

Les appels de courant des trains engendrent dans les circuits de distribution que constituent les rails ou la caténaire des chutes de tension. Les performances cinématiques des trains sont garanties pour une certaine plage de tension aux frotteurs (règles UIC : 500 à 900 V pour le 750 V et 1 000 et 1 800 V pour le 1 500 V).

Sur le plan électrique, les postes de redressement qui fournissent l'énergie aux trains doivent satisfaire deux types de contraintes :

- les contraintes de puissance : chaque poste doit être capable de fournir la puissance appelée par les trains dans l'interposte considéré ;
- les contraintes de tension : la tension délivrée par les postes doit rester dans la plage de fonctionnement admissible par le matériel roulant.

A ces contraintes électriques peuvent s'en ajouter d'autres

concernant par exemple la localisation du poste de redressement et son implantation généralement dans un site urbain très dense.

Pour satisfaire les divers paramètres énoncés précédemment et la décision de création ou de renforcement de postes de redressement devant être prise au moins deux ans avant la mise en service d'une ligne ou d'un nouveau matériel roulant, la RATP a été amenée à mettre en œuvre des méthodes lui permettant, pour une implantation donnée, de procéder par des calculs à la vérification du respect des diverses contraintes et de réitérer les calculs jusqu'à ce qu'une solution satisfaisante soit trouvée. Ces méthodes de prédétermination reposent sur des simulations sur ordinateurs de différents scénarios concernant le mouvement des trains, la localisation des postes de redressement et leurs caractéristiques électriques, les divers constituants des circuits de distribution du courant de traction et les calculs de réseaux électriques correspondants.

Ce programme, dénommé MARCADET, qui signifie « Modélisation Appliquée aux Réseaux Continus d'Alimentation et de Distribution d'Énergie de Traction », est le résultat de près de vingt ans de calculs traction à la RATP. Il a fait l'objet d'un certain nombre d'évolutions en fonction d'une part, des caractéristiques des matériels roulants dont le fonctionnement devait être simulé, et, d'autre part, des moyens informatiques utilisés.

Ce sont ces divers aspects qui vont être développés dans la suite de cet article.

Méthodes de calcul utilisées à la RATP pour le dimensionnement des installations fixes d'alimentation traction

Les premières simulations numériques sur ordinateur du mouvement des trains ont commencé à être appliquées à la RATP en 1966 avec en particulier un modèle de simulation à un train pour la détermination des longueurs des séquences des tapis-programme des systèmes de pilotage automatique et le tracé des marches-types. Ensuite, a été développé un modèle faisant intervenir plusieurs trains sur une ligne afin d'examiner l'influence de certains paramètres caractéristiques de l'exploitation (temps de stationnement, départs programmés, implantation des feux de signalisation...) sur le fonctionnement de l'ensemble d'une ligne et sa capacité de transport.

Ces deux types de simulation du mouvement des trains ont été à l'origine de deux méthodes de dimensionnement des équipements fixe d'alimentation traction.

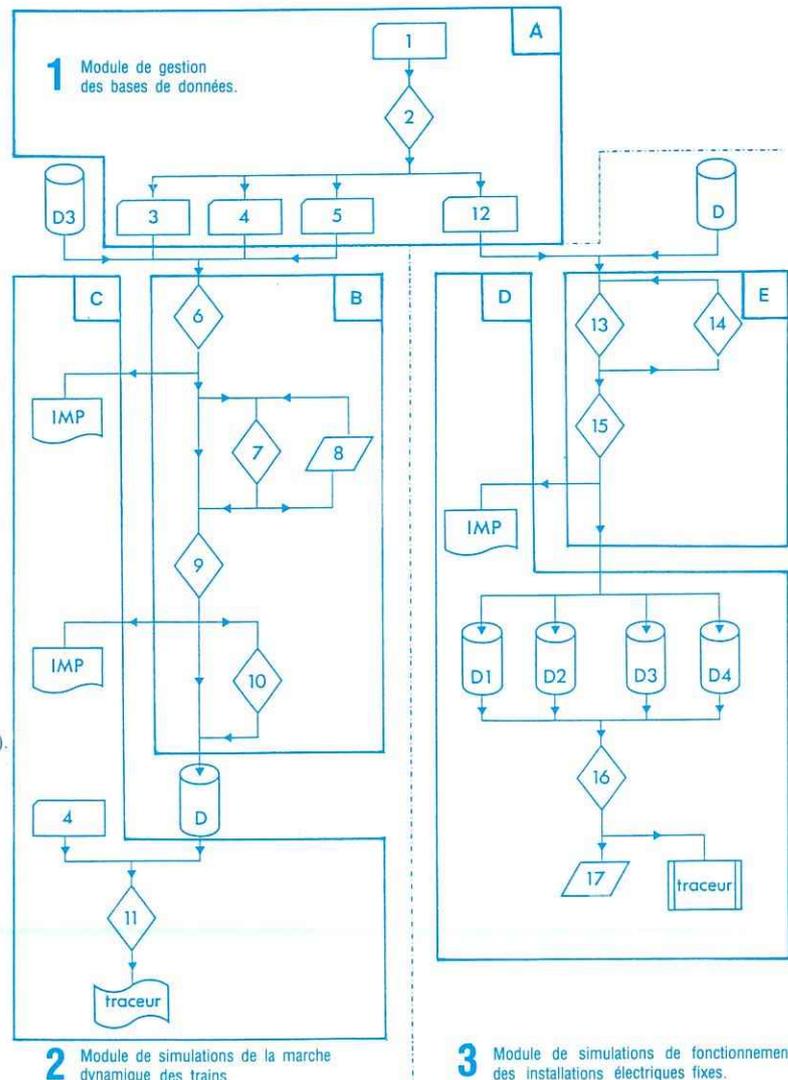
La première méthode qui supposait un appel de puissance uniformément réparti et constant entre deux sous-stations utilisait les résultats de la simulation de la marche d'un train sur chaque voie et totalisait les énergies tout au long du parcours par intégration de la puissance électrique appelée pour chaque pas de calcul.

L'intervalle d'exploitation (intervalle de temps séparant deux départs consécutifs d'un même termi-

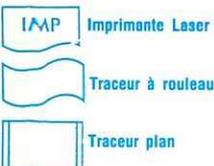
nus) étant fixé, il en était déduit le nombre total de trains en ligne et la puissance moyenne appelée dans chaque interposte. Un programme de calcul relativement simple donnait à partir de ces résultats et de la configuration du réseau d'alimentation une bonne estimation de la charge moyenne des sous-stations aussi bien en situation normale qu'en situation de défaillance (arrêt successif de chaque poste de redressement).

Les tensions moyennes rencontrées par les trains en ligne étaient calculées selon le même principe et une estimation de la tension minimale était faite sur l'hypo-

1. Architecture générale du programme.



- 1**
 1. Saisie des données.
 2. Programme de gestion des bases de données.
 3. Caractéristiques du matériel roulant.
 4. Caractéristiques de la ligne.
 5. Caractéristiques d'exploitation.
 12. Caractéristiques du réseau d'alimentation.
- 2**
 - D 3. Fichier caractéristiques du polygone des tensions moyennes en ligne.
 6. Programme de simulation de la marche tendue.
 7. Programme de simulation graphique interactive de la marche détendue.
 8. Sorties graphiques sur terminal.
 9. Programme de simulation de la marche détendue.
 10. Programme de superposition de différentes missions.
 11. Programme de tracés.
- 3**
 - D. Fichier disque (mémorisation des coordonnées et des puissances des trains).
 13. Programme de gestion d'état des sources et des trains.
 14. Programme de calcul électrique des sources et des trains.
 15. Programme de calcul électrique du réseau de distribution traction.
 - D 1. Fichier enregistrement des courants instantanés.
 - D 2. Fichier enregistrement des courants efficaces.
 - D 3. Fichier enregistrement des tensions aux bornes du train.
 - D 4. Fichier enregistrement des tensions rails/sol en ligne.
 16. Programme des tracés graphiques.
 17. Sorties graphiques sur terminal.



thèse du démarrage d'un train au point le plus défavorable, l'appel de puissance se superposant à la charge de fond, cette règle étant vérifiée par expérience sur le métro de Paris.

Cependant, aucune information n'était donnée concernant les valeurs instantanées, maximales et efficaces, dans les différents nœuds du réseau de distribution d'énergie.

Avec l'introduction des matériels roulants modernes à récupération d'énergie, la méthode de calcul précédente, dite des « valeurs moyennes », s'est avérée insuffisante car elle ne permettait pas de prendre en compte le mouvement de plusieurs trains et donc d'appréhender les divers échanges d'énergie entre trains et sous-stations. Pour procéder à une analyse plus fine des phénomènes électriques, une deuxième méthode, dite des « valeurs instantanées », a été élaborée et mise au point par la RATP, méthode qui est basée sur la simulation du mouvement de l'ensemble des trains d'une même ligne sur la durée d'un intervalle.

Les trains sont injectés en ligne à intervalle constant et donc les échanges d'énergie s'effectuent suivant une certaine périodicité égale à la durée de l'intervalle. A un instant donné, la position et la vitesse des trains sont déterminées à partir de la simulation à plusieurs trains pour l'ensemble de la ligne ; ensuite il est procédé, pour chaque instant constituant l'intervalle, au calcul des grandeurs électriques aux différents nœuds du réseau maillé constitué par les trains, les circuits de liaison et les installations fixes. On obtient ainsi des résultats sous forme de photos « prises toutes les secondes » pendant un intervalle de trafic, avec toutes les intégrations possibles sur cet intervalle : valeurs moyennes, efficaces, mini ou maxi.

L'ensemble de ces divers programmes de calculs — simulation de marche et calculs électriques — constitue le programme MARCADET.

Ce programme se subdivise en trois modules principaux (voir illustration 1 page précédente) :

- partie 1 : bases de données et programme de gestion des bases ;
- partie 2 : simulation de marche des trains ;
- partie 3 : module de calculs électriques.

Description des différents modules

Partie 1 : bases de données et gestion des bases

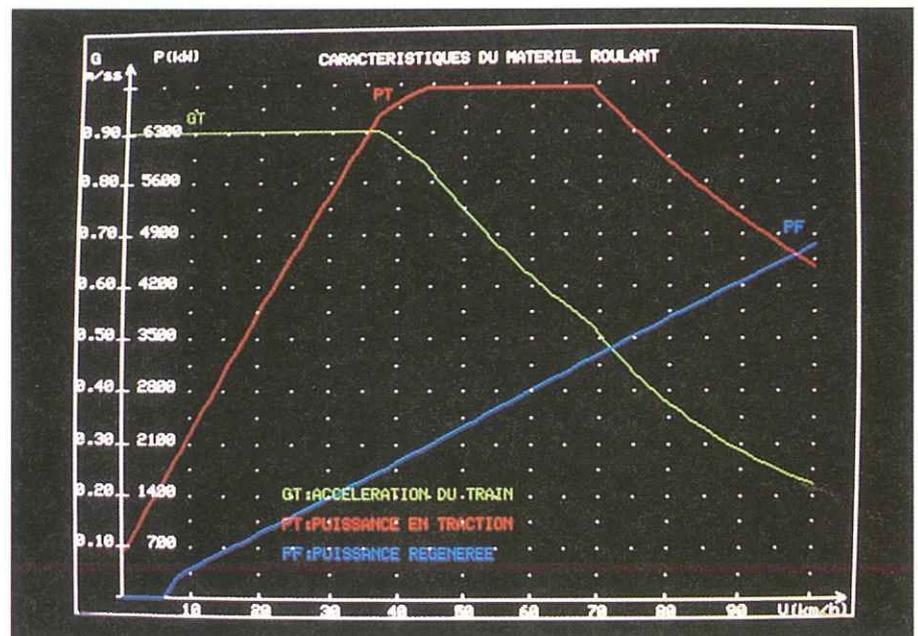
Données pour la simulation de marche

La première base se rapporte aux données relatives au matériel roulant. Ces données, représentatives du comportement cinématique et électrique d'un train, aussi bien en traction qu'en freinage, sont introduites sous forme d'équations donnant les variations des grandeurs mécaniques (accélération ou décélération) et électriques (puissance appelée ou régénérée) en fonction de la vitesse (voir illustration 2).

D'autres paramètres caractéristiques du matériel roulant sont également pris en compte tels que : résistance à l'avancement, masse d'inertie, masse statique, longueur du train...

Cette base contient non seulement les caractéristiques des divers matériels en service à la RATP, mais également ceux étudiés pour les métros étrangers dans le cadre des activités de coopération technique pour la filiale SOFRETU de la RATP. Au total, près de quarante types de matériels sont ainsi mémorisés.

La deuxième base, quant à elle, concerne les caractéristiques des lignes sur lesquelles circulent les matériels roulants à simuler. Sont ainsi introduites les données relatives au profil en long (points kilométriques des ruptures de pente, dénivelées et longueurs des pentes ou rampes) et aux modalités d'exploitation (points kilométriques des limitations de vitesse, points d'arrêt stations et terminus, intervalle entre trains, temps de stationnement, de retournement en terminus, de parcours imposés...). Cette base contient ac-



2. Caractéristiques du matériel roulant.

Pour la simulation dynamique de la marche des trains, les caractéristiques du matériel roulant sont rentrées sous forme de courbes :

- puissance consommée en traction ou régénérée en freinage = f (vitesse) ;
- accélération = f (vitesse).

tuellement les données relatives à près de 700 kilomètres de voies doubles dont 300 kilomètres pour le réseau parisien.

Données pour la simulation du fonctionnement des installations fixes d'alimentation et de distribution du courant de traction

Dans cette base, sont regroupées les informations concernant les divers constituants des parties fixes du réseau électrique ainsi que les paramètres permettant la modélisation de leur fonctionnement. On y trouve (voir exemple en illustration 3) :

- la position et les caractéristiques électriques (impédance interne et tension à vide) des sources (postes redresseur ou onduleur) ;
- la résistance linéique des circuits de distribution négatif (rail de roulement) et positif (rail de courant ou caténaire) ;
- l'implantation des liaisons équipotentielles positives et négatives ;
- la résistance linéique des feeders de renfort, s'il y en a ;
- le schéma de raccordement des sources à la ligne (alimentation en T ou en sectionnement).

Gestion des bases de données

Un programme conversationnel permet de gérer l'ensemble de ces bases de données (saisie, modification, etc.).

Partie 2 : simulation de marche des trains sur une ligne

Ce programme permet à partir des données explicitées précédemment et d'un modèle numérique du calcul de la marche des trains de simuler la cinématique des trains sur l'ensemble d'une ligne. Outre les résultats intéressant la cinématique (abscisse, vitesse, accélération), il génère un « fichier de charges » où sont enregistrées la position de tous les trains, les puissances appelées ou éventuelle-

-RER-LA * ST GERMAIN - NATION * STR/10MN VOIE 1 & STR/10MN VOIE 2 *
-PR "LA DEFENSE" EST EN SERVICE * FICHER CREE LE 1/AVRIL/1987 *

NOMBRE DE POSTES DE REDRESSEMENT : 16

I	PR	I	P.K.	I	PENTE	I	DEFAILLANCE	I	TYPE	I	MAX(A)	I	NOM DU PR	I
I	PR 1	I	1290.0	I	0.0310	I	0	I	0	I	10000.0	I	ST-GERMAIN	I
I	PR 2	I	3800.0	I	0.0310	I	0	I	0	I	10000.0	I	VESINET	I
I	PR 3	I	6596.0	I	0.0330	I	0	I	1	I	10000.0	I	CHATOU	I
I	PR 4	I	9442.0	I	0.0350	I	0	I	0	I	10000.0	I	MALMAISON	I
I	PR 5	I	12308.0	I	0.0460	I	0	I	1	I	10000.0	I	NANTERRE	I
I	PR 6	I	13874.0	I	0.0470	I	0	I	0	I	10000.0	I	LA DEFENSE	I
I	PR 7	I	15492.0	I	0.0480	I	0	I	0	I	10000.0	I	NEUILLY	I
I	PR 8	I	18254.0	I	0.0330	I	0	I	1	I	10000.0	I	ETOILE	I
I	PR 9	I	20748.0	I	0.0320	I	0	I	0	I	10000.0	I	OPERA	I
I	PR10	I	22594.0	I	0.0340	I	0	I	0	I	10000.0	I	CHATELET OUE	I
I	PR11	I	22910.0	I	0.0360	I	0	I	0	I	10000.0	I	CHATELET EST	I
I	PR12	I	25482.0	I	0.0370	I	0	I	0	I	10000.0	I	GARE DE LYON	I
I	PR13	I	27565.0	I	0.0020	I	0	I	1	I	10000.0	I	NATION	I
I	PR14	I	29474.0	I	0.0600	I	0	I	1	I	10000.0	I	ST MANDE	I
I	PR15	I	30474.0	I	0.0100	I	0	I	1	I	10000.0	I	0000000000	I
I	PR16	I	34000.0	I	0.0100	I	0	I	1	I	10000.0	I	NATION	I

REMARQUE: TYPE 1= EN SECTIONNEMENT
TYPE 0= EN T

TENSION A VIDE DES POSTES DE REDRESSEMENT: 1560.0 VOLTS

NOMBRE D'ONDULEURS: 0

I	OND.	I	P.K.	I	PENTE	I	OND.	I	P.K.	I	PENTE	I
I	ON 1	I	0.	I	0.	I	ON 2	I	0.	I	0.	I

TENSION A VIDE DES ONDULEURS: 0. VOLTS

NOMBRE DE LIAISONS EQUIPOTENTIELLES POSITIVES: 1

I	P.K.	I	TYPE	I	P.K.	I	TYPE	I	P.K.	I	TYPE	I
I	12706.0	I	0	I	0.	I	0	I	0.	I	0	I

NOMBRE DE RESISTANCES LINEIQUES POSITIVES: 3

I	RESISTANCE	I	P.K.	I	RESISTANCE	I	P.K.	I	RESISTANCE	I	P.K.	I
I	0.0000299	I	11620.0	I	0.0000240	I	29500.0	I	0.0000299	I	50000.0	I

NOMBRE DE RESISTANCES DU FEEDER POSITIF: 0

I	RESISTANCE	I	N# EQUIP	I	RESISTANCE	I	N# EQUIP	I	RESISTANCE	I	N# EQUIP	I
I	0.	I	0	I	0.	I	0	I	0.	I	0	I

3. Bases de données « caractéristiques des installations fixes d'alimentation en énergie traction » (extraits).

ment régénérées par ceux-ci pendant un intervalle d'exploitation, la discrétisation étant faite au pas de 1 seconde.

Description du programme

Pendant la durée d'un intervalle de trafic, il est procédé à l'enregistrement dans le fichier de charges des coordonnées de tous les trains à chaque seconde et des puissances correspondantes.

La détermination des variations de vitesse, d'espace et de temps de chaque train, assimilé à une masse ponctuelle ramenée en son centre de gravité, est effectuée au pas de calcul temporel de 0,1 seconde. Pour chaque pas de calcul, l'équation fondamentale de la dynamique est intégrée, à savoir :

$$M \cdot \gamma = \Sigma F_m - \Sigma F_r \text{ avec}$$

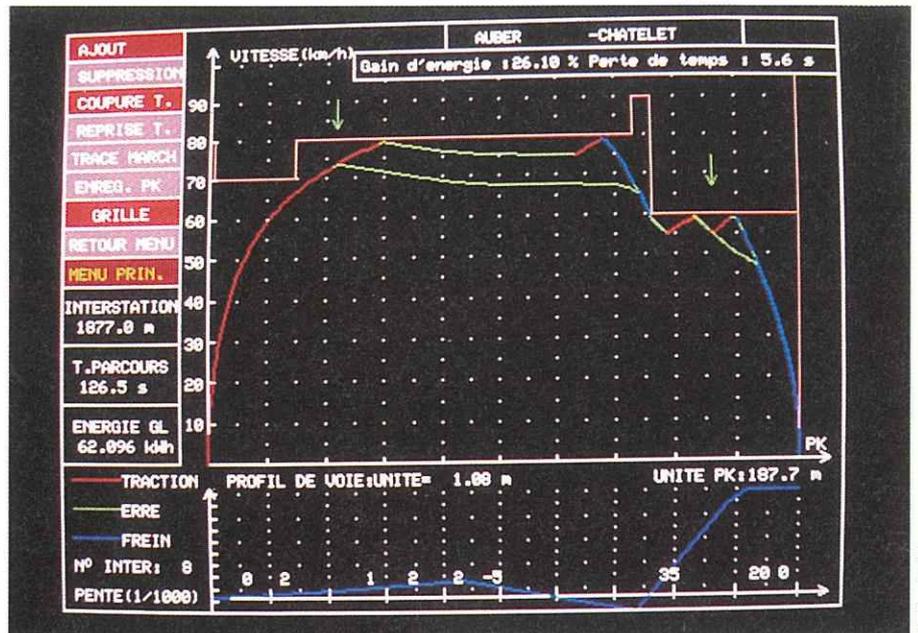
- M : masse du train ;
- γ : accélération ou décélération résultante ;
- F_m : forces motrices (moteur, pente) ;
- F_r : forces résistives (freins, rampe, roulement, air).

La vitesse du train est ainsi déterminé et, à partir des caractéristiques électriques de ce dernier [courbe puissance électrique = f (vitesse)], il en est déduit l'énergie élémentaire pour le pas de calcul considéré. Un algorithme décide de la commande à appliquer pour chaque train (traction, course sur l'erre, régulation en vitesse, freinage) en fonction des différentes contraintes locales (polygone de vitesses limites, arrêt en station, etc.).

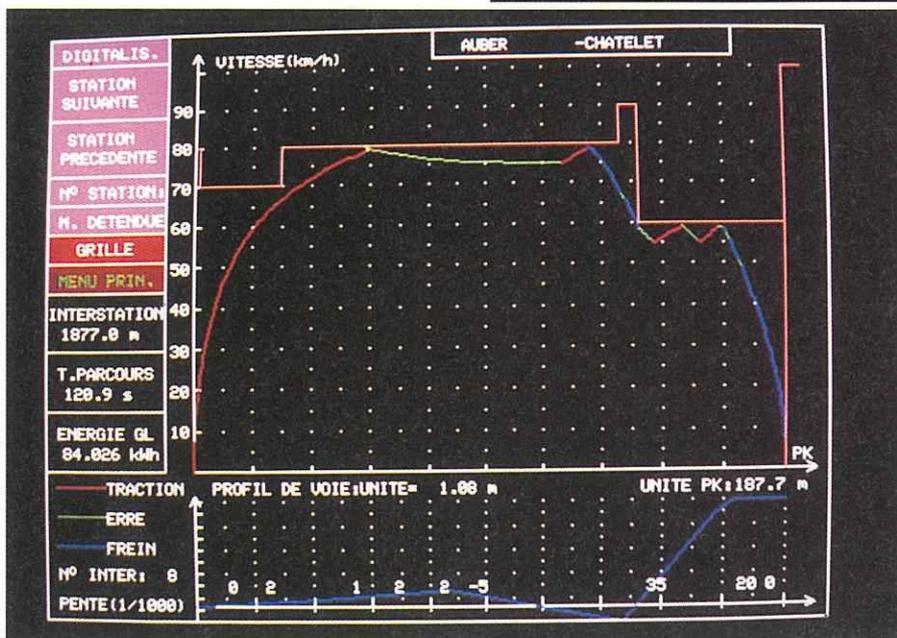
Le maintien en vitesse se fait selon deux modes possibles, l'un représentatif du comportement du matériel équipé de hacheur de courant à commande continue d'effort, l'autre concernant le matériel à commande rhéostatique JH où celle-ci s'effectue par crans, le train passant successivement de la traction à la course sur l'erre pour se maintenir à une vitesse moyenne constante.

Choix du type de marche : incidence de la « détente de marche »

Il importe que la marche simulée soit la plus réaliste possible car de sa précision dépend la validité des calculs électriques entrepris par la suite.



RATP - Ardailion



RATP - Ardailion

4. Marche tendue sur l'interstation « Auber-Châtelet ».

Les différentes phases traction, erre et freinage figurent en couleurs différentes.

Sont indiqués également :

- courbe vitesse du train = f (abscisse) ;
- profil de voie ;
- le polygone de vitesse limite du train ;
- la longueur de l'interstation ;
- le temps de parcours ;
- l'énergie globale (consommée par un train).

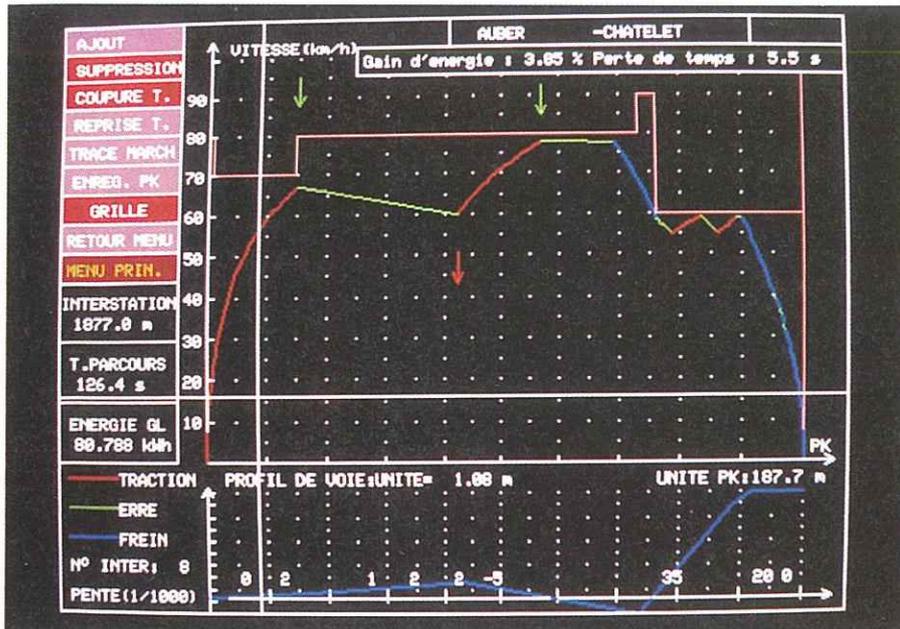
Dans un premier temps, il est procédé à la détermination de la marche la plus tendue, c'est-à-dire en utilisant au maximum les performances des trains, ce qui conduit au temps de parcours minimal. Ensuite, il est effectué une détente de marche de façon à retrouver le temps de parcours correspondant à la grille horaire. Mais la seule connaissance du temps de parcours n'est pas suffisante pour déterminer le type de

5. Marche détendue.

Les flèches indiquent les endroits où l'opérateur a effectué des « coupures traction » (passage en course sur l'erre du train) ou des reprises traction. En haut, est indiqué le gain d'énergie pour cette marche-type par rapport à la marche tendue (figure 4) et la perte de temps correspondante. La recherche d'une marche optimum consiste, à perte de temps donnée (réserve de temps), à avoir un gain d'énergie maximum.

marche et en particulier la durée des différentes phases de marche : traction, erre, freinage sur une interstation, conduisant à la solution optimale. On se base alors sur le calcul de la consommation spécifique en la comparant à la valeur théorique souhaitée, si ce paramètre est connu, ou par comparaison à des résultats obtenus en exploitation dans des conditions similaires.

C'est dans l'exécution de cette tâche que l'opérateur apprécie l'intérêt de disposer d'un système interactif qui lui permet d'ajuster les marches en fonction des paramètres énoncés précédemment. Sur l'écran de son terminal graphique (voir illustrations 4, 5 et 6), il visualise, pour chaque interstation, dans le repère vitesse-espace, la courbe d'évolution du train en différenciant les différentes phases de marche : traction, erre, freinage. A l'aide d'un curseur mobile, il



RATP - Ardailion

6. Marche détendue avec une perte de temps identique à celle de la figure 5.

On remarque que la reprise traction effectuée à mi-parcours coûte « cher » en énergie. Le gain d'énergie sur cette marche n'est plus que de 3,8 % à comparer avec les 26 % obtenus précédemment. Cette marche n'est pas optimisée.

peut choisir les points de « coupure traction » de façon à déterminer la marche dite optimum en fonction des contraintes de temps de parcours et de consommation spécifique.

La différence entre le temps de parcours de la marche tendue et la marche optimale constitue ce qu'on appelle la réserve de temps. Sur l'illustration 5, on voit que, pour une perte de temps de cinq secondes par rapport à la marche tendue, le gain en énergie consommée sur l'interstation peut atteindre 26,5 %.

Dans le cas du réseau de Paris, le dimensionnement est effectué sur la base de la marche détendue car l'expérience montre qu'elle constitue la marche la plus probable susceptible d'être rencontrée en ligne.

Cas des lignes où circulent des matériels roulants de caractéristiques distinctes avec des dessertes différentes

Il arrive parfois que sur une même ligne circulent des matériels roulants de performances différentes, par exemple des matériels à commande continue d'effort (à hacheur) ou à commande par crans (rhéostatique) avec ou sans récupération, ou bien de compo-

sitions différentes : rames à deux ou trois éléments. Par ailleurs, sur les lignes de métro pénétrant en grande banlieue ou sur les lignes RER, les trains ne s'arrêtent pas à toutes les stations ou bien les lignes comportent des ramifications. Pour traiter ces différents types de dessertes, on applique le principe de superposition.

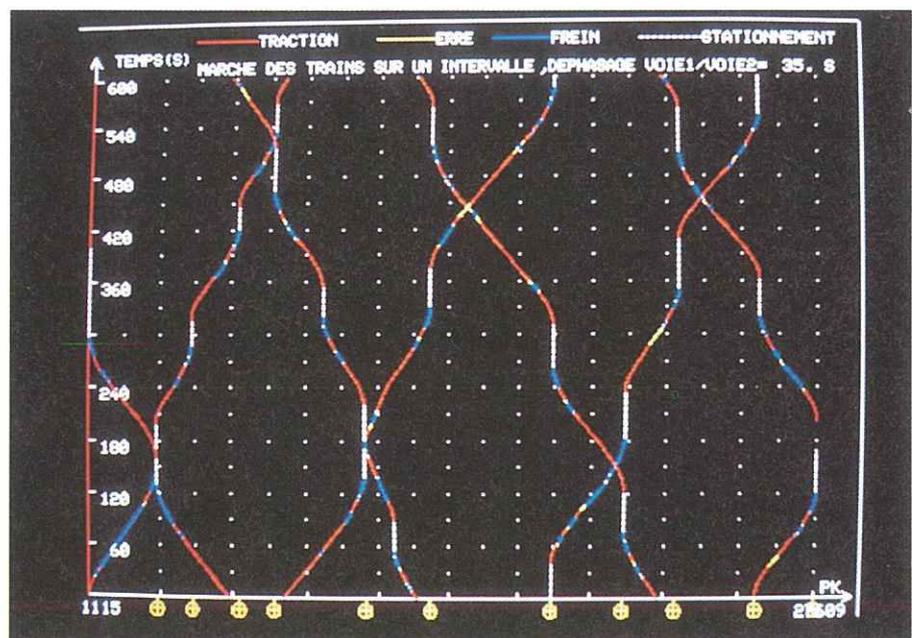
Il est procédé à une simulation de marche pour chaque mission

correspondant à un matériel et une desserte donnée en tenant compte des différents horaires de passage des trains. Les fichiers de charges, représentatifs de la charge de la ligne pour les différentes missions qui sont générées ainsi, sont ensuite fusionnés par un programme de superposition pour ne former qu'un seul fichier image de la charge réelle de la ligne pour l'exploitation envisagée.

Résultats des simulations de marche

A partir de la simulation de marche, est établi le « fichier de charges » qui servira par la suite aux calculs électriques.

L'opérateur peut, s'il le désire, procéder à la recopie de toutes les informations portées sur l'écran de son terminal au moyen du traceur couleur associé. En particulier, le programme permet le tracé graphique de marche de l'ensemble des trains sur une ligne (voir illustration 7). L'examen de ce graphe permet de localiser immédiatement les zones où se produisent



RATP - Ardailion

7. Graphique de marche des trains.

Sont représentées sur ce graphique la marche des trains sur les deux voies avec les stations, les différentes phases de la marche (traction, erre, freinage et stationnement). Un des paramètres de ce graphique est le phase temporel entre les deux voies.

des simultanités de démarrage sur les deux voies ou de freinage avec récupération et donc d'apprécier la sensibilité d'un déphasage de temps entre les deux voies, soit sur les chutes de tension, soit sur les phénomènes de résonance électrique (phénomène de synchronisme entre trains en traction et trains en freinage).

L'analyse de ce graphe est également très utile dans le cas particulier d'exploitation à voie unique

(cas de la coopération technique) pour l'adaptation aux stations de croisement des temps de stationnement.

Un certain nombre de résultats peuvent être édités :

- bilan d'exploitation (temps de parcours, vitesse commerciale...);
- bilan énergétique au niveau d'un train (énergie consommée en phase traction, énergie régénérable, consommation spécifique);
- tableau récapitulatif pour cha-

que station et interstation des temps de parcours, temps de stationnement, consommation.

L'illustration 8 donne un exemple illustrant les différents résultats obtenus.

Partie 3 : programme de calculs électriques

Ce programme a pour objet de traiter les diverses données contenues dans le fichier de charges et relatives à la situation des trains en ligne et des puissances qu'ils appellent ou peuvent restituer, en y associant le fonctionnement des équipements fixes (base de données des installations fixes).

Ce programme détermine à chaque instant, correspondant à chacune des photos du fichier de charges, les valeurs instantanées des courants et tensions aux différents nœuds du réseau maillé constitué par les sources fixes que sont les postes de redressement (ou onduleurs s'il y en a), les résistances des circuits de distribution (caténaire ou troisième rail, rails de roulement), les liaisons équipotentielles positives et négatives, enfin les trains qui sont à considérer en récepteur en phase traction ou en générateur en cas de freinage à récupération. Le schéma d'un tel réseau est représenté sur l'illustration 9. Le traitement se fait sur un intervalle de temps égal à celui qui sépare deux départs consécutifs d'un terminus ce qui correspond à la période du processus. Il y a autant de configurations étudiées (instantané de la charge de la ligne) que l'intervalle comprend de secondes.

Calculs électriques

La complexité de la résolution d'un tel réseau vient du fait que ce dernier comporte des éléments (trains et sources) qui peuvent présenter plusieurs états électriques de caractéristiques distinctes, ce qui conduit à un problème non linéaire (blocage des redresseurs, caractéristiques tension/courant d'un train en traction ou en récupération).

* STATIONS	I	TEMPS (SECONDES)			I	ENERGIES (KILOWATTHEURES)				*
	I	TS	HD	TP	I	ETT	ERT	EXT	EGT	*

* ST-GERMAIN	I	0.	0.		I			0.		*
* LE-PECK	I	50.	205.	54.81	I	22.66	0.	12.90	35.56	*
* LE-VESINET-C	I	26.	325.	93.71	I	60.05	0.	7.81	67.86	*
* CHATOU	I	25.	460.	110.11	I	83.89	0.	2.19	93.07	*
* RUEIL	I	33.	585.	91.91	I	63.19	0.	2.08	70.85	*
* NANTERRE-U	I	33.	802.	183.71	I	85.48	0.	15.31	100.79	*
* LA-DEFENSE	I	41.	1007.	163.71	I	77.65	0.	2.74	91.29	*
* ETOILE	I	52.	1297.	238.21	I	89.94	0.	3.44	109.79	*
* AUBER	I	51.	1507.	159.31	I	30.16	0.	4.34	43.43	*
* CHATELET	I	55.	1687.	125.41	I	64.91	0.	4.22	75.36	*
* GARE-DE-LYON	I	47.	1892.	158.21	I	86.79	0.	10.45	99.97	*
* NATION	I	46.	2062.	124.51	I	81.17	0.	3.91	91.54	*
* VINCENNES	I	22.	2250.	166.01	I	140.01	0.	3.79	153.85	*

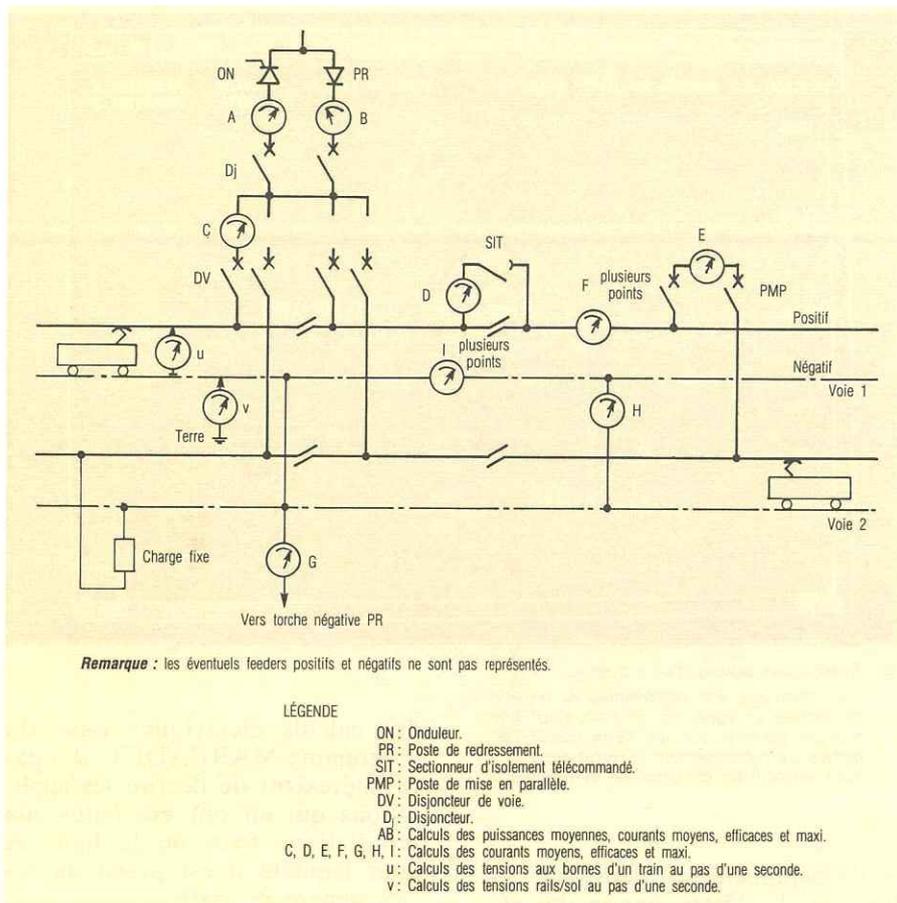
* TOTAL VOIE 1	I	481.	++++	1769.51	I	885.90	0.	187.50	1073.40	*

LEGENDE TS : TEMPS DE STATIONNEMENT ETT : ENERGIE CONSOMMEE EN TRACTION
 HD : HORAIRE AU DEPART ERT : ENERGIE REGENERABLE AU FREINAGE
 TP : TEMPS DE PARCOURS EXT : ENERGIE CONSOMMEE PAR LES AUX.
 EGT : ENERGIE GLOBALE DU TRAIN

BILAN EXPLOITATION

* STATIONS TERMINUS - VOIE 1	:	ST-GERMAIN - VINCENNES
* - VOIE 2	:	VINCENNES - ST-GERMAIN
* LONGUEUR DE LIGNE SIMULEE VOIE 1 + VOIE 2	:	58896.00 METRES
* DONT - ENTRE AXES DE TERMINUS	:	58896.00 METRES
* - TRAJETS EN TERMINUS	:	0. METRES
* NOMBRE DE STATIONS DESSERVIES V1 + V2	:	25
* INTERSTATION MOYENNE	:	2454.00 METRES
* RESERVE DE TEMPS APPLIQUEE	:	0. SEC./KM
* TEMPS DE PARCOURS V1 + V2 HORS TERMINUS	:	4447.78 SEC.
* TEMPS DE SEJOUR EN TERMINUS	:	122.08 SEC.
* VITESSE COMMERCIALE	:	13.24 M/S
* DUREE TOTALE DES PHASES TRACTION	TPT :	47.67 KM/H
* " " " FREINAGE	TPF :	1258.40 SEC.
* " " " SUR L'ERRE	TPE :	637.69 SEC.
* INTERVALLE MOYEN ENTRE TRAINS EN SECONDES	:	1656.33 SEC.
* INTERVALLE MOYEN ENTRE TRAINS EN METRES	:	600.00
* INTERVALLE MAXIMAL ENTRE TRAINS EN METRES	:	7944.99
* INTERVALLE MINIMAL ENTRE TRAINS EN METRES	:	9836.11
	:	5788.00

8. Détails des énergies par interstation et bilan d'exploitation.



9. Grandeurs électriques fournies par le programme de calculs.

Le programme comprend quatre parties :

- lecture et mise en forme des données – initialisation ;
- détermination de l'état de fonctionnement de chaque source et de chaque train ;
- calcul des courants et tensions à chaque nœud du réseau électrique pour des états fixés des trains et des sources ;
- synthèses des résultats – éditions des sorties.

Pour chaque seconde correspondant à une photo, un instantané du fichier de charges, le programme prend connaissance de la situation des trains et détermine l'état de fonctionnement de chaque source et de chaque train. Ainsi, un poste de redressement sera considéré comme bloqué lorsque la tension à ses bornes dépasse la tension à vide et dans l'état contraire si sa tension est

inférieure. En ce qui concerne les trains à régénération, en phase de freinage, il est tenu compte du fait qu'ils disposent de systèmes de régulation leur permettant d'adapter leur puissance de façon à maintenir la tension au frotteur à une valeur inférieure à la valeur maximale autorisée (entre 850 et 900 V pour une tension nominale de 750 V).

Les calculs de réseau électrique reposent sur l'application du principe de superposition et sur l'utilisation des lois d'Ohm et de Kirchhoff pour la détermination des courants et des tensions dans les branches et les nœuds du réseau maillé que constituent le réseau d'énergie avec les trains.

Le principe de superposition est appliqué de la façon suivante en effectuant dans un premier temps le calcul en ne tenant pas compte des trains. A leurs emplacements,

sont déterminées les caractéristiques tension et courant du générateur de Thévenin équivalent à la ligne considérée à vide et ne tenant compte que des sources fixes. Ensuite, sont considérés les différents trains avec leur puissance électrique issue du fichier de charges. De la tension de Thévenin déterminée précédemment au point kilométrique correspondant, il en est déduit le courant appelé par le train qui est comparé au courant fourni par le générateur de Thévenin équivalent à la ligne et les calculs sont réitérés jusqu'à ce qu'il y ait convergence des résultats laquelle est généralement obtenue au bout de trois itérations. Ce processus est appliqué pour la première photo, il en est de même pour les photos suivantes, la seule différence résidant dans le fait que, pour procéder plus rapidement, les calculs d'itération sont initialisés sur la photo antérieure.

De la même manière le principe de superposition est utilisé pour traiter le cas d'une ligne avec un embranchement, en lui substituant le générateur de Thévenin équivalent.

Résultats des calculs électriques

Les résultats se présentent sous forme de bilan caractérisant le comportement de la ligne et sous forme de grandeurs caractéristiques propres à certains éléments.

Bilan sur l'ensemble de la ligne

Le programme peut éditer les résultats suivants :

- l'énergie fournie par les postes redresseurs ;
- l'énergie consommée par les trains ;
- l'énergie récupérée, effectivement renvoyée par les trains ;
- l'énergie perdue en ligne par effet Joule.

Caractéristiques propres à certains éléments

Le programme peut éditer :
— pour chaque source : la puissance moyenne, les valeurs moyenne, efficace et maximale des courants ;

— pour les trains : les valeurs moyennes de la tension de tous les trains, les valeurs minimale et maximale de la tension et les points kilométriques correspondants ;

— pour les connexions équipotentielles positives et négatives : les valeurs moyenne, efficace et maximale des courants.

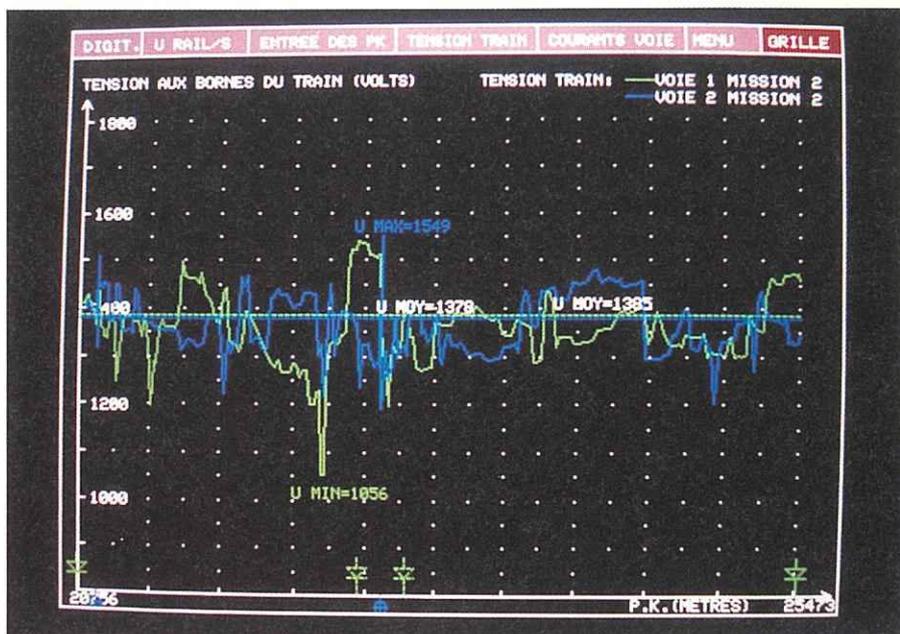
Analyse des résultats

Le but des calculs électriques est de s'assurer que les installations fixes présentent les caractéristiques dimensionnelles suffisantes leur permettant de satisfaire les contraintes de puissance et de tension imposées par la circulation des matériels roulants. Ces vérifications doivent être effectuées non seulement pour les configurations dites « normales » d'alimentation mais également pour les situations de défaillance d'alimentation les plus probables. A la RATP, compte tenu de la qualité de service recherchée, les installations électriques sont conçues suivant le principe de la réserve « active » c'est-à-dire qu'en situation « normale » d'alimentation, toutes les installations sont sollicitées et débitent sur le réseau. En ce qui concerne les situations de défaillance les plus probables et prises en compte pour le dimensionnement du réseau, il n'est considéré que la première défaillance qui doit être sans incidence sur le trafic et ne nécessiter aucune manœuvre sur le réseau d'énergie qui grâce à la réserve « active » est capable de reprendre instantanément la charge.

Dans le cas d'une double défaillance qui n'est pas prise en compte et pour éviter l'écroulement du réseau d'énergie, il est nécessaire de procéder à une réduction du trafic.

Les calculs des grandeurs électriques sont donc réalisés pour les trois types de configuration d'alimentation :

- normale pour la définition des caractéristiques nominales des équipements ;
- de défaillance du premier ordre pour la définition des capacités de surcharge des équipements ;



10. Tension aux bornes d'un « train ».

Sur cette vue, est représentée la tension rencontrée en ligne par un train, pour une mission donnée, sur les deux voies. Les postes de redressement à l'arrêt sont indiqués en pointillé (situation de défaillance).

— de défaillance du deuxième ordre pour la détermination des réductions de trafic à prévoir.

Le réseau d'énergie est dimensionné pour la période la plus chargée, c'est-à-dire correspondant à l'intervalle minimal et qui dure environ pendant deux heures.

Suivant la nature de l'installation fixe à dimensionner et compte tenu de l'évolution du trafic au cours de la journée, les calculs électriques sont effectués pour les diverses configurations d'alimentation mais les paramètres électriques qui caractérisent un équipement dépendent essentiellement de sa tenue thermique et donc de sa constante de temps thermique.

C'est ainsi que le transformateur de puissance d'un groupe redresseur sera dimensionné pour sa capacité de surcharge pendant deux heures ; il en sera de même pour son câble d'alimentation moyenne tension ; par contre le bloc redresseur sera défini pour la capacité de surcharge d'une minute.

Pour montrer comment peuvent être exploités les divers résultats

des calculs électriques issus du programme MARCADET, il a paru intéressant de décrire les applications qui en ont été faites aux installations fixes de la ligne A pour laquelle il est prévu un accroissement de trafic.

Application de « MARCADET » au renforcement traction de la ligne A du RER

Avec ses 63 kilomètres de voies doubles et son débranchement vers Marne-la-Vallée, ses 25 postes de redressement, ses deux types de matériel roulant assurant diverses missions, la ligne A du RER constitue le cas le plus complexe d'application.

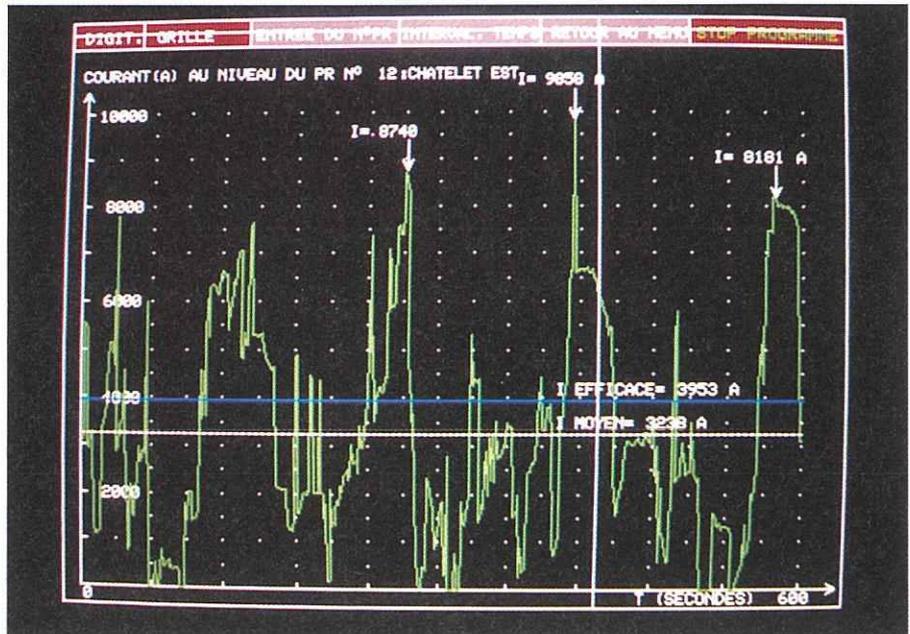
L'interconnexion avec le réseau SNCF à Nanterre-Préfecture et l'accroissement de trafic sur le tronçon central (entre les gares de Vincennes et de La Défense) ont en effet nécessité des études pour déterminer les modifications à prévoir sur les installations fixes d'alimentation et de distribution du courant de traction.

Les simulations de marche cor-



RATP - Ardillon

11. Répartition de la charge en courant maximum et efficace dans les Postes de Redressement sur la ligne.
Cet histogramme correspond au cas de la double défaillance des PR Châtelet Est et Ouest.



RATP - Ardillon

12. Courant instantané dans un poste de redressement.
On remarquera les zones où le redresseur est bloqué (courant nul) correspondant à la présence d'un ou de plusieurs trains en freinage par récupération proche du PR.

respondent à des rafales de cinq trains en dix minutes sur le tronçon central (au lieu des quatre auparavant) avec les missions suivantes sur chacune des voies :

Saint-Germain - Boissy
avec du MS61

9 voitures (sans récupération) ;

Le Pecq - La Varenne
avec du MS61

9 voitures (sans récupération) ;

La Défense - Noisy
avec du MS61

9 voitures (sans récupération) ;

Nanterre - Noisy
avec du MI84

8 voitures (avec récupération) ;

Nanterre - Torcy
avec du MI84

8 voitures (avec récupération).

Le fichier de charges de la ligne est constituée par la superposition de ces cinq missions.

En ce qui concerne les calculs électriques, ils ont été effectués sur la durée de la rafale, soit dix minutes, qui correspond à la périodicité du processus.

Toutefois, la ligne A comportant deux embranchements, l'un à l'ouest vers le réseau SNCF après la gare de Nanterre-Préfecture, l'autre à l'est vers Marne-la-Vallée après la gare de Vincennes, les calculs ont été effectués en deux parties :

— l'une concernant le côté ouest jusqu'à Vincennes ;

— l'autre concernant le côté est jusqu'à La Défense.

La zone de recouvrement se situait aux alentours de la gare de Châtelet.

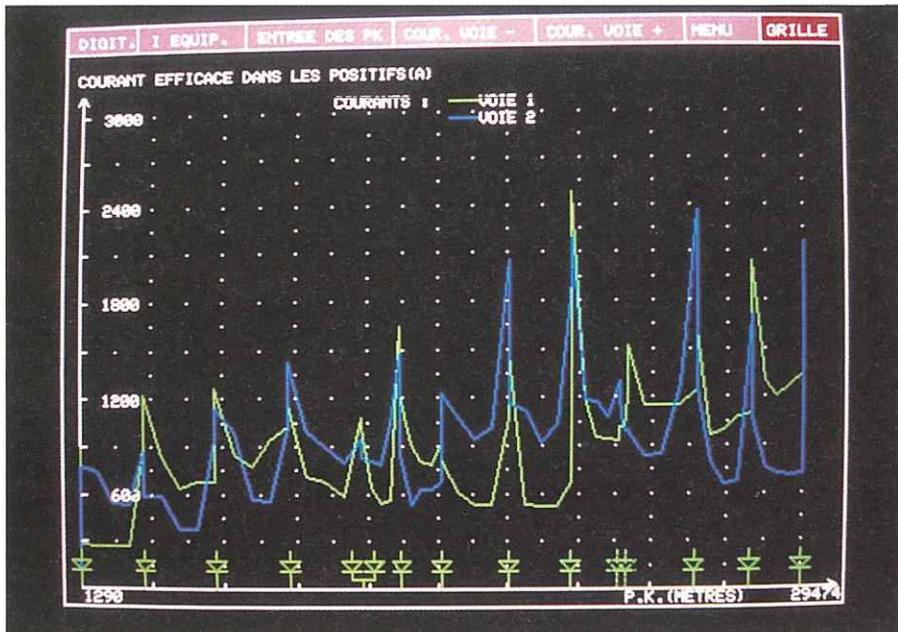
Le calcul de la tension instantanée aux frotteurs d'un train (voir illustration 10), pour les différentes configurations de première défaillance des sous-stations, a permis de localiser les zones où celle-ci était inférieure à 1 000 volts. C'est ainsi qu'à proximité de la gare de La Défense, il a été mis en évidence la nécessité d'un poste de redressement supplémentaire. Les calculs des courants, en tenant compte de la création de ce poste, ont conduit à dresser un histo-

gramme des valeurs maximales des courants efficaces et instantanés appelés sur les postes de redressement de façon à en déduire les caractéristiques nominales du nouveau poste de La Défense et à s'assurer que les installations déjà en service étaient à même de satisfaire les nouveaux appels de puissance (voir illustration 11).

Pour examiner d'une manière plus fine l'impact de la charge d'un

poste sur son réseau moyenne tension d'alimentation, le programme peut produire un tracé du courant instantané débité par le poste (étude des phénomènes de flicker, voir illustration 12).

Afin de ne pas provoquer la rupture de la caténaire, il y a lieu de vérifier que la densité du courant qui la traverse ne dépasse pas un certain seuil. L'examen des courants efficaces transitant dans les circuits positifs de chacune des voies permet de procéder à une telle vérification (voir illustration 13 page suivante). Ce même graphique est également utilisé pour le choix du calibre des appareils de coupure en continuité avec la caténaire (sectionneurs en ligne).



13. Répartition des courants efficaces dans les circuits positifs (caténaire pour le RER ou 3^e rail pour le métro).

Conclusion

Au fil des ans, la RATP a su se doter d'un outil de calcul qu'elle a adapté à ses besoins et qui lui permet de dimensionner non seulement ses propres installations mais également celles de réseaux de province ou étrangers dans le cadre des activités de sa filiale SO-FRETU. C'est ainsi que, outre les nombreuses applications au métro et au RER de Paris, le programme MARCADET a été utilisé pour les études :

- des lignes suburbaines du Caire, de Djakarta ;
- des métros urbains de Lyon, Mexico, Santiago, Caracas, Singapour, Téhéran, Alger, Lagos et dernièrement Pékin ;
- de la ligne 1 du Val à Lille ;
- des tramways de Nantes, Marseille, Casablanca, Rabat.

Il permet d'examiner la faisabilité de différentes variantes et ensuite de choisir la solution la plus économique.

La question que l'on peut se poser à propos de ce programme est celle de sa validité. L'avantage de la RATP par rapport à d'autres sociétés d'ingénierie est qu'elle est à la fois conceptrice et exploitante

De la même manière est établie la courbe du courant efficace transitant dans les circuits négatifs pour le calibrage des connexions inductives (voir illustration 14). Les caisses des matériels roulants étant au même potentiel que les rails de roulement, il y a lieu de s'assurer que les tensions rail-sol sont inférieures au seuil limite imposé pour la sécurité des personnes (voir illustration 15).

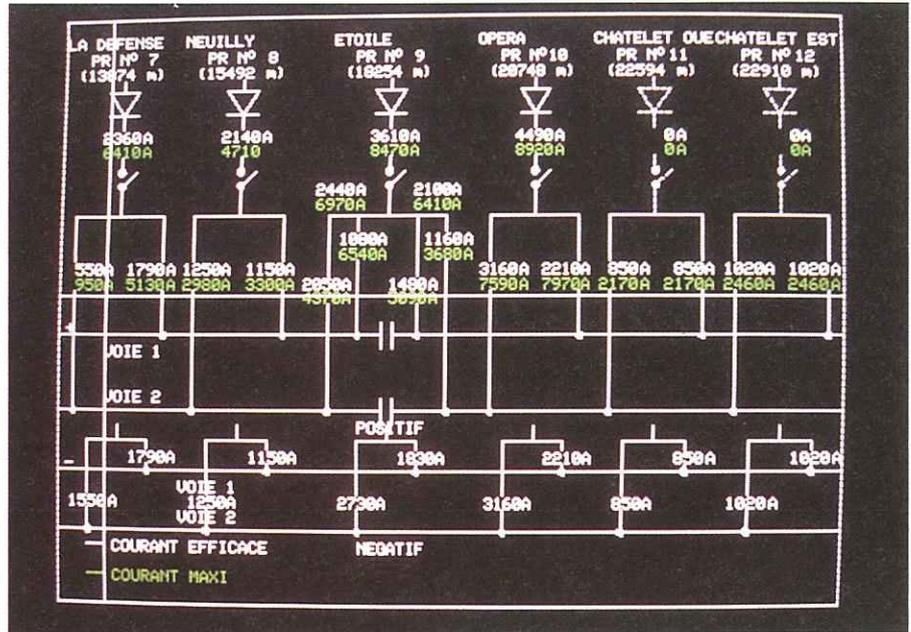
Enfin, le graphique de l'illustration 16 donne les valeurs enveloppes des courants efficaces et maximaux transitant dans les différentes liaisons entre les postes de redressement et chacune des voies, aussi bien côté positif que côté négatif, ce qui permet d'en déduire, en fonction de la température maximale admissible par les câbles de liaison et leur mode de pose, le nombre de câbles à prévoir et le calibre des disjoncteurs ultrarapides insérés dans ces liaisons, ainsi que le seuil de déclenchement en I_{max} afin de limiter le nombre de disjonctions intempestives.

L'ensemble de ces nombreux tracés graphiques donne une vision synthétique des résultats de calculs souvent complexes et permet de vérifier aisément si les objectifs de dimensionnement des installations traction ont été atteints.



14. Répartition des courants efficaces dans les voies sur la ligne.

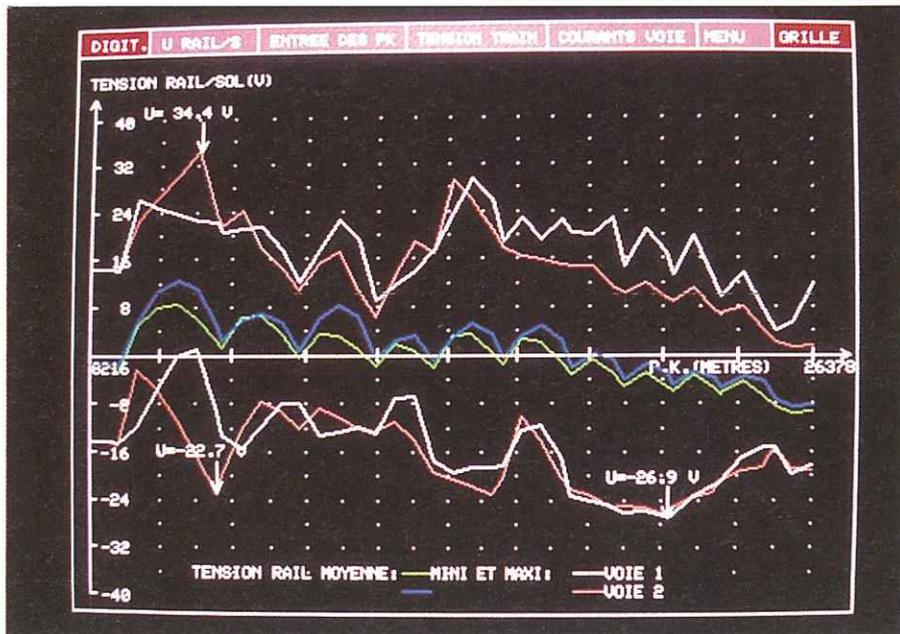
de son réseau d'énergie. Cette double activité lui permet donc de vérifier le bien-fondé du dimensionnement qu'elle préconise. Grâce à son poste de commande d'énergie, elle peut procéder à un suivi en temps réel de son réseau d'énergie. Chaque année durant la période la plus chargée de l'année (généralement en janvier) sont effectuées des mesures permettant de corréliser les appels d'énergie avec les modalités d'exploitation des trains et ainsi de vérifier leurs adéquations aux capacités des installations fixes. L'analyse des mesures montre un écart, par rapport aux prévisions, inférieur à 10 % dont une bonne partie est due aux aléas d'exploitation (non-respect des intervalles théoriques, fluctua-



RATP - Ardailion

16. Schéma traction simplifié (extrait).

Ce tracé graphique regroupe les principales caractéristiques servant au dimensionnement des circuits de distribution traction.



RATP - Ardailion

15. Tension rails/sol en ligne.

Ces courbes représentent les valeurs moyennes et instantanées du potentiel des rails par rapport au sol moyennant l'hypothèse d'une résistance d'isolement uniforme des voies.

tions de la charge des trains, incidents...).

Une autre cause d'imprécision des calculs peut être attribuée au fait que les simulations de marche sont réalisées sur la base des performances des trains correspondant à la tension nominale. En réalité la tension en ligne fluctue et, en toute rigueur, il y aurait lieu de rectifier la dynamique des trains en conséquence. Les études de sensibilité effectuées en tenant

compte de ce problème ont montré que le gain de précision était inférieur à 5 % au prix d'importantes complications de programme nécessitant un enchaînement entre les programmes de calculs électriques et ceux de simulation de marche. ■



Couloir de correspondance VMI/métra de Neuilly-Porte Maillot.

NOUVELLES DE LA RATP

MISE EN SERVICE DE CORRESPONDANCES MÉTRO AVEC LA BRANCHE VMI DE LA LIGNE C DU RER

LE 25 septembre 1988, la SNCF a mis en service la branche nord-ouest de la ligne C du RER : « Versailles-Rive gauche/Saint-Quentin-en-Yvelines/Argenteuil/Montigny-Beauchamp - Massy-Palaiseau/Dourdan/Étampes » via Paris.

Cette branche, appelée liaison « Vallée de Montmorency - Invalides » ou VMI, a pour terminus en banlieue Argenteuil et Montigny-Beauchamp, et se raccorde dans la capitale à la ligne C préexistante au niveau de la gare de « Champ-de-Mars - Tour Eiffel ».

Longue de 32 kilomètres et comprenant 17 gares, dont 6 dans la partie ouest de Paris intra-muros, la liaison VMI est, avec des correspondances métro en trois points du réseau (aux stations « Péreire » de la ligne 3, « Porte-Maillot » de la ligne 1 et « La Muette » de la ligne 9) bien intégrée à l'ensemble des transports parisiens.

Ces nouvelles correspondances viennent s'ajouter à celles qu'offrait déjà la ligne C avec les lignes 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12 et 13 du métro, ainsi qu'avec la ligne B du RER à la gare « Saint-Michel - Notre-Dame » ouverte récemment.

Par ailleurs, de nouvelles installations facilitant les échanges de voyageurs entre la gare de « Champ-de-Mars » et la station « Bir-Hakeim » de la ligne 6 du métro, ont également été mises en service, le 6 octobre.

La RATP a participé activement à la construction des nouvelles infrastructures puisque la SNCF lui a confié, d'une part, la réalisation du tunnel destiné à livrer passage aux voies VMI à la traversée de l'avenue de Clichy dans le 17^e arrondissement, sous les deux souterrains de la ligne 13 du métro et sous le collecteur de Clichy, et, d'autre part, celle des ouvrages permettant les correspondances précitées.

Passage sous la ligne 13 du métro

Le tunnel mentionné précédemment se développe sur une longueur de 47 mètres à l'ouest du tympan de la nouvelle gare SNCF de « Porte de Clichy ». Il comprend une section voû-



RATP - Dumax



RATP - Dumax

tée de 8,70 mètres d'ouverture et 7,50 mètres de hauteur à la clé sous le collecteur de Clichy, encadrée de deux sections cadres de 8,70 mètres d'ouverture et 6,55 mètres de hauteur. Il a été construit entre mars 1984 et juillet 1986.

Correspondances avec le métro

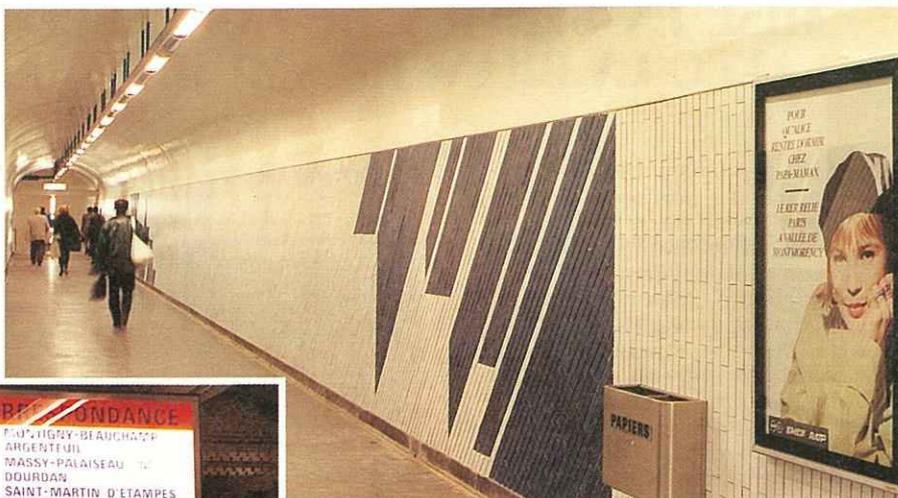
Les travaux de gros œuvre réalisés par la RATP se décomposent comme suit :

- **Gare de « Péreire - Levallois »/station « Péreire », ligne 3 :** construction d'une salle des billets sous la rue Ampère et des couloirs reliant celle-ci à la gare SNCF ainsi qu'à la station du métro située sous l'avenue de Villiers (les ouvrages s'étendent sur 120 mètres environ).

- **Gare de « Neuilly - Porte Maillot »/station « Porte Maillot », ligne 1 :** construction des couloirs en tréfonds de la voie publique, sous le boulevard Péreire nord et sous le boulevard Gouvion-Saint-Cyr, mettant

en relation la gare SNCF et la liaison existante entre le Palais des Congrès et la station du métro (les ouvrages se développent sur 26 mètres environ).

• **Gare de « Boulainvilliers »/station « La Muette », ligne 9 :** construction des ouvrages (salles, couloirs...) situés de part et d'autre de la gare SNCF, à l'exception de la portion de couloir située sous le tunnel SNCF, laquelle a été réalisée par celle-ci.



RATP - Dumax



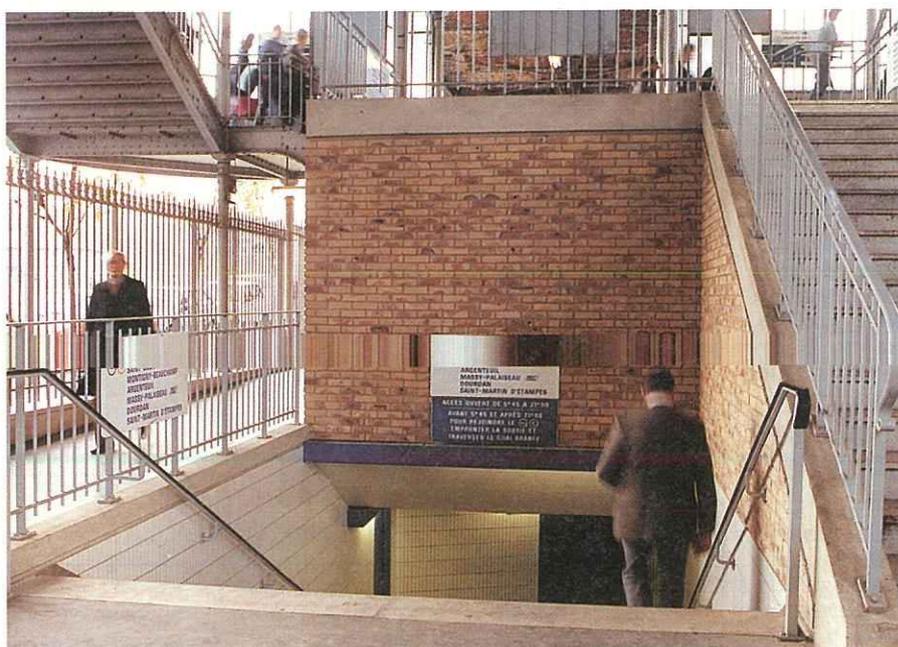
RATP - Dumax

• **Gare de « Champ-de-Mars - Tour Eiffel »/station « Bir-Hakeim », ligne 6 :** construction des ouvrages de correspondance entre les emprises SNCF, matérialisées par le nu extérieur du mur existant dans la gare de « Champ-de-Mars », et la station du métro (les ouvrages se développent sur 65 mètres).

Ces travaux ont été exécutés de juin 1985 à novembre 1987 et ont été suivis de travaux de second œuvre, qui ont consisté en l'aménagement et l'équipement des ouvrages réalisés.

**

L'ensemble des dépenses relatives aux travaux réalisés par la RATP a été pris en charge par la SNCF qui a bénéficié, notamment pour l'opération « Champ-de-Mars/Bir-Hakeim », de subventions de la Région Ile-de-France et du Syndicat des transports parisiens. ■



RATP - Dumax

AGRANDISSEMENT DE LA SALLE DES BILLETS DE LA STATION « BARBÈS-ROCHECHOUART », LIGNE 4



RATP - N/Audiovisuel

Entreprise fin mars 1987, la construction de l'ouvrage a été effectuée à l'abri d'une paroi berlinoise, dans les remblais d'anciennes exploitations de gypse, avec d'énormes contraintes dues au site : emprises de chantier exiguës, hauteur libre réduite par le viaduc de la ligne 2, gêne occasionnée par les appuis du viaduc et de nombreux arbres dont cinq ont été déplacés temporairement, présence de canalisations dont certaines étaient à conserver en place impérativement.

Pendant la durée des travaux, l'accès côté ligne 4 a été totalement fermé au public, les entrées et sorties se faisant alors sur le terre-plein du boulevard de la Chapelle, par l'accès



RATP - N/Audiovisuel

La station « Barbès-Rochecrouart », située sur les lignes 2 et 4 du métro, est, avec un nombre total d'entrants journaliers de l'ordre de 35 000 personnes en moyenne, une station du réseau très fréquentée.

Côté ligne 4, où le nombre d'entrants est d'environ 20 000 personnes, les conditions de circulation étaient devenues très difficiles du fait de l'obligation d'emprunter, pour rejoindre le bureau de station, les trois passages d'entrée et les deux portillons de sortie, d'abord un escalier fixe puis un couloir de 6 mètres de long.

Il a donc été décidé, pour améliorer de ce côté l'accès des usagers et augmenter la capacité d'accueil de la station, d'agrandir la salle des billets existante, en portant sa surface de 30 à 70 m².

**

La nouvelle salle des billets, entièrement souterraine, se développe sur 19,50 mètres de long sous le terre-plein central du boulevard de Rochecrouart à l'angle des boulevards de Magenta et Barbès. Sa dalle de couverture, posée en appui sur les murs extérieurs et sur deux voiles longitudi-

naux, offre une hauteur sous plafond allant de 2,50 mètres à 2,60 mètres.

L'ouvrage possède deux trémies d'accès qui débouchent chacune au niveau du sol par un escalier fixe d'une volée de 24 marches côté nord et de 23 marches côté sud. Le bureau de vente-information est implanté côté ouest de la salle qui comporte également, le long des piédroits nord et sud, des locaux annexes, sociaux et techniques (vestiaires, sanitaires, archives, resserre...).

Les nombres des passages d'entrée et des portillons de sortie, tous de type antifraude, ont été portés respectivement à cinq et trois.

**

situé sous la salle des billets de la ligne 2 remanié provisoirement pour l'occasion.

**

Les nouvelles installations ont été ouvertes aux voyageurs le 5 septembre 1988.

Le coût de leur réalisation s'établit à 14,3 millions de francs hors taxes, financés pour une moitié par la RATP, et pour l'autre par subvention de la Région Ile de France. ■

EXPLOITATION DU RÉSEAU D'AUTOBUS

Lancement de l'opération « Autrement Bus »

La RATP a mis en œuvre, le 1^{er} octobre 1988, un ensemble d'actions concernant les autobus dans un secteur pilote des Hauts-de-Seine sud formé de cinq communes : Bagneux, Châtillon, Clarmart, Fontenay-aux-Roses et Le Plessis-Robinson, regroupant 160 000 habitants qui effectuent 520 000 déplacements quotidiens.

L'objectif de cette opération, appelée « Autrement Bus », est d'augmenter le trafic sur les quatorze lignes d'autobus du secteur, et ceci par une adaptation du service offert aux besoins de déplacements et un effort d'information envers le public et le personnel (voir dans notre précédent numéro, p. 12).

Par une plus grande intégration entre les lignes d'autobus et les transports ferroviaires, par une simplification du réseau pour les voyageurs et par une meilleure organisation des correspondances au niveau de « points-clés », il s'agit de rendre plus facile l'utilisation du bus.

La mise en œuvre d'« Autrement Bus » dans le secteur s'est traduite par une importante restructuration des lignes (voir encadré).

De plus, cinq points-clés sont programmés dans lesquels on change de bus comme on change de métro. Ce sont Châtillon - Général de Gaulle, Clarmart - Marché, Clarmart - Fontenay - Division Leclerc, Clarmart - Georges Pompidou, Le Plessis-Robinson - Résistance. Des abribus, des espaces d'information, des boutiques, tels sont les éléments des points qui seront installés à partir de la fin 1988.

Autre élément novateur : la RATP a porté une attention particulière à l'information du public. Aux points-clés, un système indique au voyageur le temps écoulé depuis le dernier passage d'un bus ainsi que l'intervalle théorique entre deux passages. Des bornes SITU seront installées à cinq arrêts importants : elles donneront tous renseignements nécessaires sur le meilleur itinéraire pour se rendre à un endroit donné. De plus, l'information est améliorée aux points d'arrêt et trois lignes sont équipées d'annonce sonore des arrêts...

La mise en place d'« Autrement Bus » s'est accompagnée depuis juin

Faire un réseau bien ficelé, c'est tout à fait dans nos cordes!



LE 1^{er} OCTOBRE. DÉCOUVREZ AUTREMENT BUS



RATP - Chabrol

Modifications intervenues dans le cadre du projet « Autrement Bus »

- La ligne 188, qui comportait trois antennes A, B et N et présentait globalement une certaine complexité, a été largement simplifiée, tout d'abord par la fusion des antennes A et B aboutissant à la création d'une ligne 188 « Porte d'Orléans - Bagneux (Square Rosemberg) » fonctionnant tous les jours, passant par l'ancien terminus de « Sceaux (Les Blagis) » et reprenant intégralement l'itinéraire de l'antenne A entre Porte d'Orléans et Sceaux, puis par le prolongement de l'antenne N de Bagneux (Port Galand) à la gare RER de Bourg-la-Reine, créant ainsi une nouvelle ligne d'indice 388 « Châtillon-Montrouge - Bourg-la-Reine (RER) », exploitée du lundi au samedi toute la journée (alors que le 188 N ne circulait qu'aux heures de pointe).

- Une correspondance supplémentaire avec une ligne ferroviaire a été créée par le prolongement de la ligne 162 de Clarmart (hôpital Sainte-Émilie) à la gare de Meudon-Val Fleury (RER, ligne C).

- La ligne 190, qui était sans doute la plus complexe du secteur car elle comportait une antenne A et une antenne B exploitées selon des régimes différents suivant les périodes de la journée (omnibus aux heures creuses, semi-directes aux heures de pointe avec un itinéraire différent) ainsi qu'une exploitation en boucle en soirée, a également été simplifiée : elle se limite désor-

mais à l'ancienne antenne A, assurant la liaison entre Mairie d'Issy (métro) et le Rond-Point du Petit-Clarmart, avec un itinéraire intégralement maintenu, à l'exception d'une déviation par la place de la Division-Leclerc à Clarmart où sont assurées des correspondances avec la ligne 195 A.



1988 d'une démarche commerciale vis-à-vis des différentes populations concernées : entreprises, communes, habitants du secteur, voyageurs. Ainsi, une lettre et un journal par commune ont été distribués en 73 000 exemplaires dans les boîtes aux lettres des foyers du secteur.

Le succès d'« Autrement Bus » implique également la participation active des agents concernés de la RATP. Les préoccupations de nature commerciale prennent une importance aussi grande que les activités traditionnelles d'exploitation et d'entretien ; ce n'est pas l'aspect le moins novateur de l'opération. Un important effort de communication se poursuit depuis 1987. Cette attitude s'inscrit dans le nouveau management de l'entreprise.

Globalement, « Autrement Bus », c'est la remise à plat et la réorganisation d'un réseau de bus représentant l'équivalent d'une ville comme Metz ou Limoges. La RATP attend de cette opération une plus grande satisfaction des utilisateurs mais aussi un accrois-

sement de 8 % du nombre de voyages. De son succès dépendra l'avenir ; mais deux nouveaux secteurs pilotes sont déjà envisagés : l'un autour de Montreuil et l'autre autour de Créteil :

Le coût global de la présente opération est de 49 millions de francs, dont 43 pris en charge par le Syndicat des transports parisiens (50 %) et la Région Ile-de-France (50 %).



RATP - Aradillon

- Pour remplacer les dessertes qui ont été abandonnées par la ligne 190 dans sa configuration nouvelle, des solutions de substitution ont été mises en place. Ainsi, la ligne 189 (« Issy-les-Moulineaux - Corentin Cellon - Clamart-Place Hunebelle ») a été prolongée jusqu'à Clamart-Georges Pompidou (à la limite de Meudon-la-Forêt), par un itinéraire reprenant celui du 190 B semi-direct dans le Bois de Clamart. Ce prolongement maintient donc une correspondance avec la ligne 12 du métro et permet d'établir une liaison directe entre les quartiers haut et bas de Clamart. Corrélativement, la ligne 191 (Porte de Vanves - Clamart - Place du Garde) a été limitée, côté banlieue, à la Place Hunebelle, le tronçon « Place Hunebelle - Place du Garde » étant repris par la ligne 189 prolongée. En relation, également, avec la suppression du 190 B semi-direct, la ligne 169 a été légèrement déviée dans Issy-les-Moulineaux, pour maintenir la desserte du Cimetière d'Issy, point de charge important en direction de Mairie d'Issy.

- Une ligne nouvelle, d'indice 295, a été créée entre Vélizy 2 (Centre commercial) et Châtillon-Montreuil (Métro, ligne 13). Cette ligne reprend l'itinéraire de l'ex 190 B dans Vélizy et Meudon-la-Forêt, puis rejoint la RN 306 à Clamart - Pavé Blanc. Elle est exploitée toute la journée, y compris en soirée. Elle assure la liaison entre Vélizy et

Meudon-la-Forêt, d'une part, et le métro, d'autre part, liaison qui l'était auparavant par le 190 B semi-direct aux heures de pointe.

- La ligne 295 a permis de supprimer l'antenne B de la ligne 195 (« Vélizy-Hôtel de Ville - Porte d'Orléans ») qui ne fonctionnait qu'aux heures de pointe avec une fréquence très peu attractive (18 à 20 mn entre deux voitures alors que l'intervalle pratiqué sur la ligne 295 est de 7 mn aux pointes). Dans ces conditions, la ligne 195 se limite à son ex-antenne A (« Châtenay-Malabry - Butte Rouge/Cité Jardins - Porte d'Orléans »), de loin la plus importante, et sur laquelle le niveau de service, assuré tous les jours, a été maintenu. L'itinéraire du 195 A a été conservé, à l'exception d'une déviation permettant de supprimer l'antenne 198 N.

- La ligne 194 a été maintenue dans sa configuration, l'itinéraire dans Châtillon ayant cependant été légèrement modifié pour améliorer les correspondances 194 162, et le service de soirée les dimanches et fêtes partiellement supprimé.

- Enfin, la restructuration du réseau dans le secteur pilote a comporté la création de

la ligne 395 qui relie Clamart (Georges Pompidou) à Antony (RER) et qui permet de desservir la zone industrielle et le centre du Plessis-Robinson, la gare RER de Robinson, la mairie de Sceaux et les secteurs est de Châtenay-Malabry. Cette ligne de rocade, qui fonctionne de lundi au samedi, a entraîné la suppression des antennes B, C et N de la ligne 198, ces antennes étant reprises par la nouvelle ligne, avec création de services partiels.

- La ligne 198, de structure et d'organisation complexes, se réduit donc maintenant à la 198 A (double circulaire entre la gare de Robinson à Sceaux et La Butte Rouge/Cité Jardins à Châtenay-Malabry par le Plessis-Robinson).

- Enfin, la desserte de la ZIPEC (zone industrielle du Plessis-Robinson) par la ligne 136, assurée du lundi au vendredi aux heures creuses, a été supprimée et, sur la ligne 179, l'antenne desservant le Plessis-Robinson a été prolongée de « Cité Jardins/Place des Alliés » à « Résistance ».

- Les autres lignes concernées par l'opération, c'est-à-dire les lignes 128, 323 et 390, n'ont subi aucune modification.



RATP - Dumax

Modifications diverses du réseau d'autobus

Restructuration en proche banlieue nord-ouest

Le 26 septembre 1988, par suite de la mise en service, la veille, de la liaison SNCF « Vallée de Montmorency - Invalides » (VMI), d'importantes modifications ont été apportées au réseau d'autobus de la proche banlieue nord-ouest desservie par les nouvelles infrastructures.

Outre diverses déviations d'itinéraire ou adaptations du service opérées sur certaines lignes (lignes 154, 166, 178 et 268), les principaux aménagements se résument à :

- la création d'une ligne d'indice 378 reliant, du lundi au samedi toute la journée, la gare RER de La Défense (ligne A) à la gare de Gennevilliers ;
- la création d'une antenne B sur la ligne 354 desservant, du lundi au vendredi aux heures de pointe, la gare d'Épinay à partir de Saint-Denis (Général Leclerc) ;
- le prolongement de la ligne 161 jusqu'à la même gare d'Épinay, via la gare d'Argenteuil ;
- la réorganisation de la ligne 138 avec, notamment, le prolongement de son antenne A jusqu'à la gare de Saint-Gratien.

Par ailleurs, à la même date, a été supprimée la navette d'indice 923 « Pont-Cardinet - Auteuil-Boulogne », exploitée par la RATP pour le compte de la SNCF depuis début 1985, pendant la durée des travaux relatifs à la liaison VMI.

Création de lignes à Cergy-Pontoise

Depuis le 5 septembre 1988, deux nouvelles lignes sont en service dans le secteur de Cergy-Pontoise :

- la ligne 436 : « Pontoise (SNCF) - Cergy (Parc Saint-Christophe) » ;
- et la ligne 450 : « Pontoise (Les Louvrais) - Cergy (Saint-Christophe SNCF) ».

La ligne 436 est exploitée du lundi au vendredi uniquement aux heures de pointe ; la ligne 450, quant à elle, fonctionne du lundi au samedi toute la journée.

Prolongement des lignes 32 et 147

Depuis le 26 septembre 1988, la ligne 32 est prolongée, du lundi au samedi, de la Porte de Passy à la Porte d'Auteuil par le boulevard Suquet.

Quant à la ligne 147, son itinéraire est, depuis le 1^{er} octobre, étendu toute la semaine dans Sevran, de « Butte Montceuleux » à « Avenue Ronsard ».

Aménagements réservés à la circulation des autobus

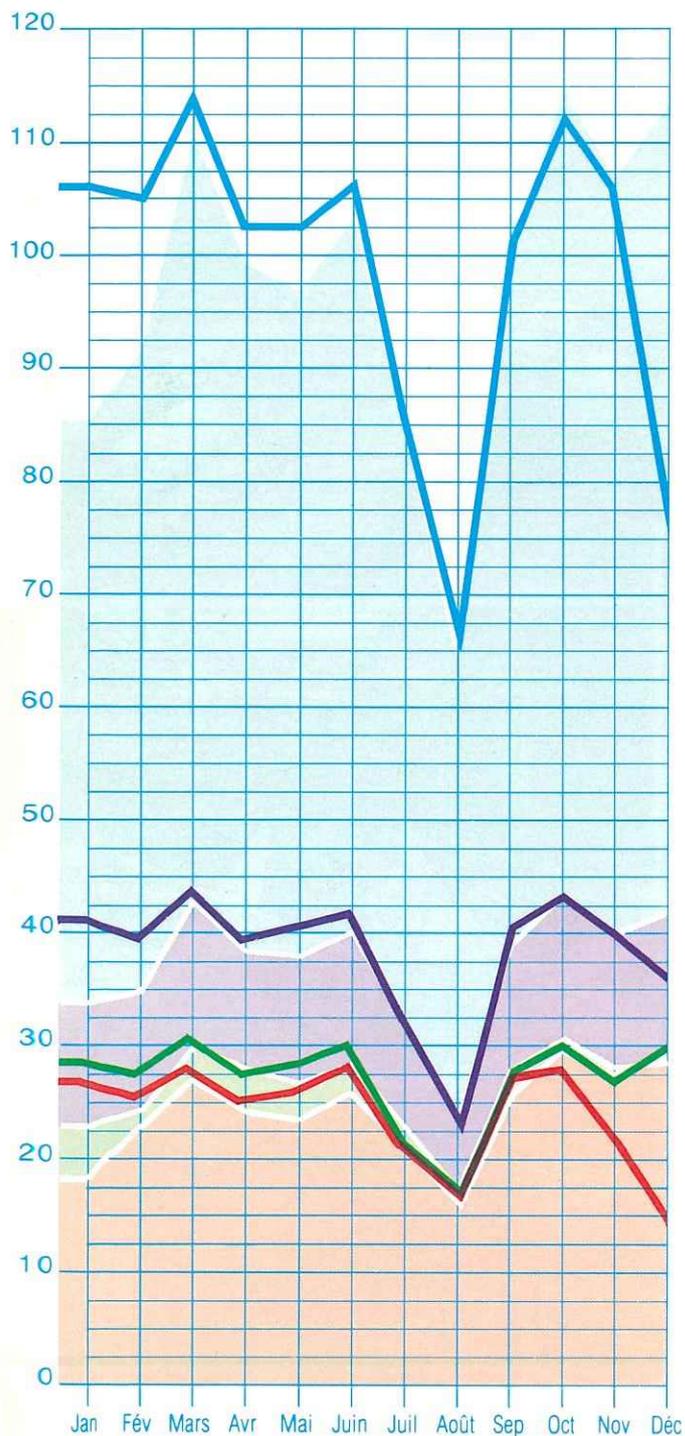
Les 7 juillet et 22 août 1988, ont été créés respectivement dans Paris :

- un couloir à contresens de la circulation générale de 60 mètres de longueur rue Perrault côté impair, dans le 1^{er} arrondissement, sur l'itinéraire de la ligne 76 ;
- deux couloirs dans le sens de la circulation générale avenue Paul Doumer dans le 16^e arrondissement, l'un de 50 mètres (côté pair), l'autre de 20 mètres (côté impair), sur le parcours des lignes 22 et 32.

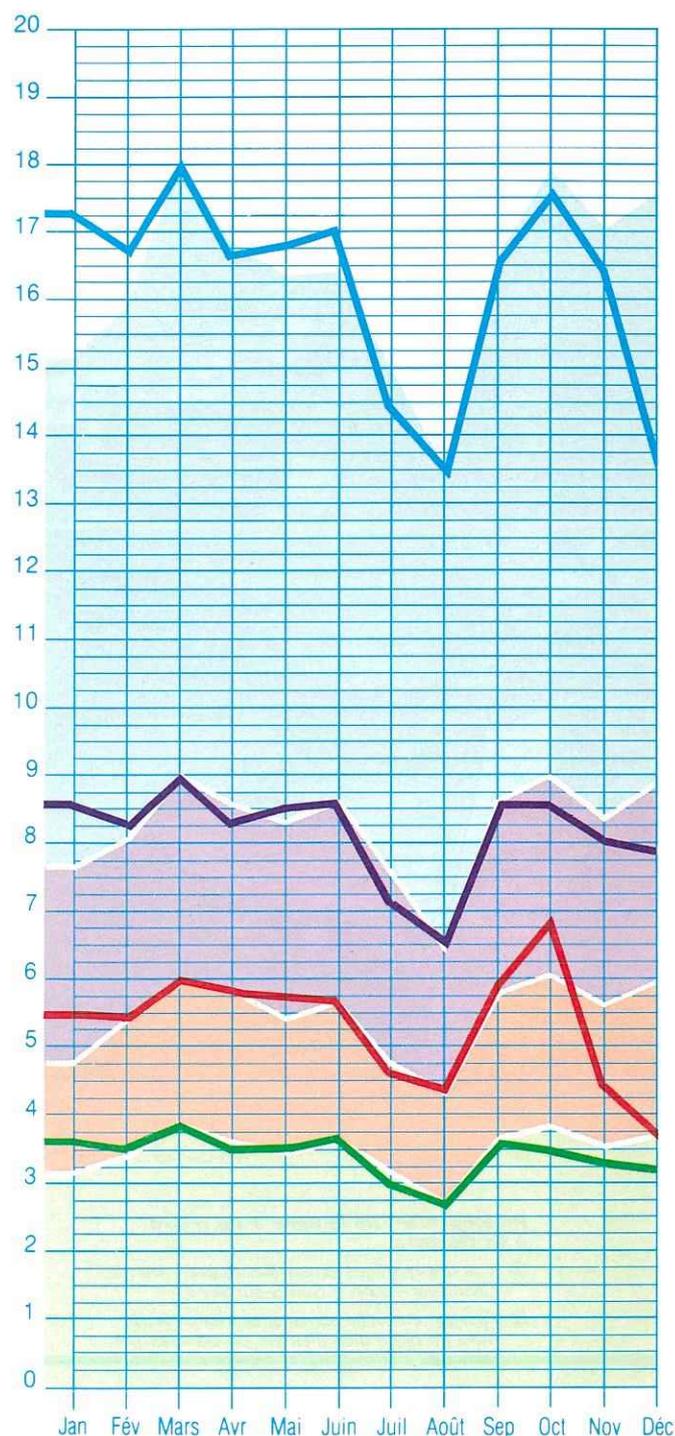
En banlieue, le 4 août 1988, un site propre unidirectionnel long de 12 mètres a été mis en service boulevard des Alliés à Choisy-le-Roi (Val-de-Marne), sur le trajet de la ligne 120. ■

TRAFIC ET SERVICE DE L'ANNÉE 1988

Millions de voyages effectués



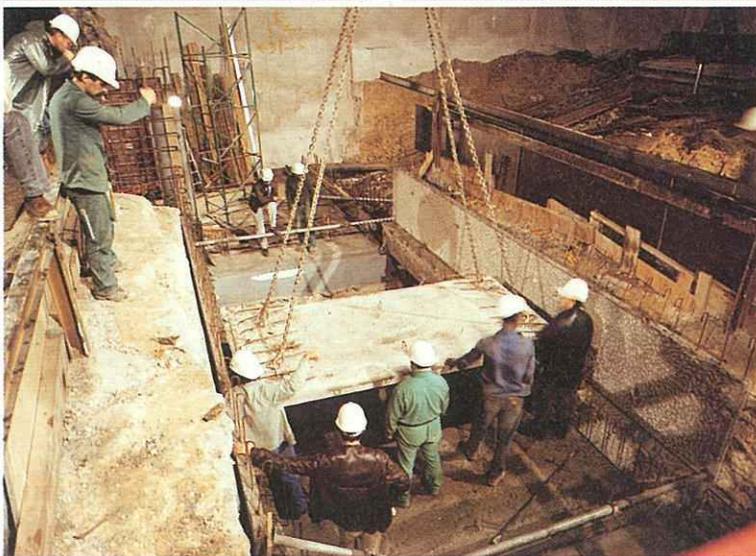
Millions de km-voitures



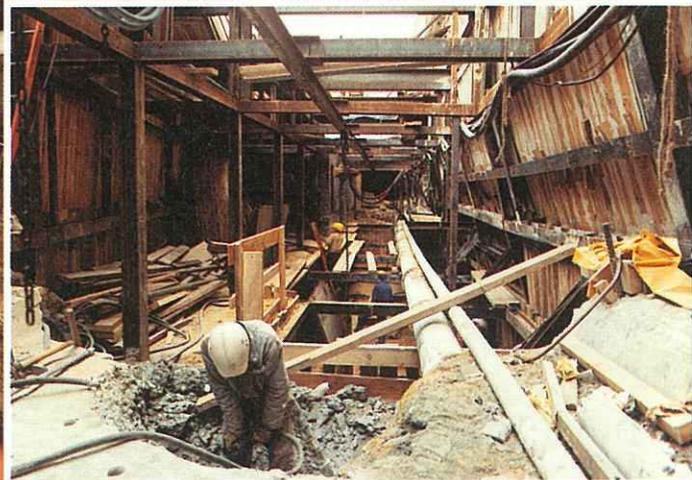
- Métro
- Autobus de banlieue
- Autobus urbains
- RER

Les courbes en demi-teintes indiquent les résultats des mêmes mois de l'année précédente.

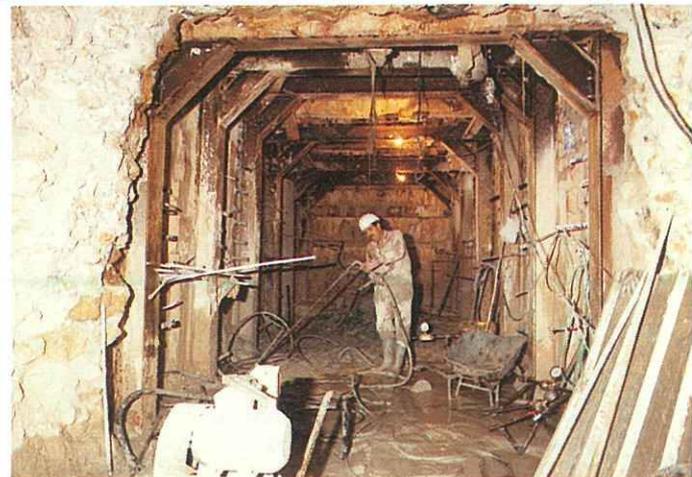
①



②



③



④

Prolongement de la ligne 1 du métro à La Défense.

- ① Vue des ouvrages souterrains réalisés avenue Charles-de-Gaulle à Neuilly-sur-Seine.
- ② Passage en bache sur la ligne 1 dans Neuilly : mise en place d'un élément de plancher préfabriqué.

Divers :

- ③ Construction d'un accès supplémentaire mécanisé à « Opéra », ligne 7 : ensemble de la fouille.
- ④ Création d'un couloir débouchant quai 1 de la station « Saint-Lazare », ligne 13 : traitement de terrain.

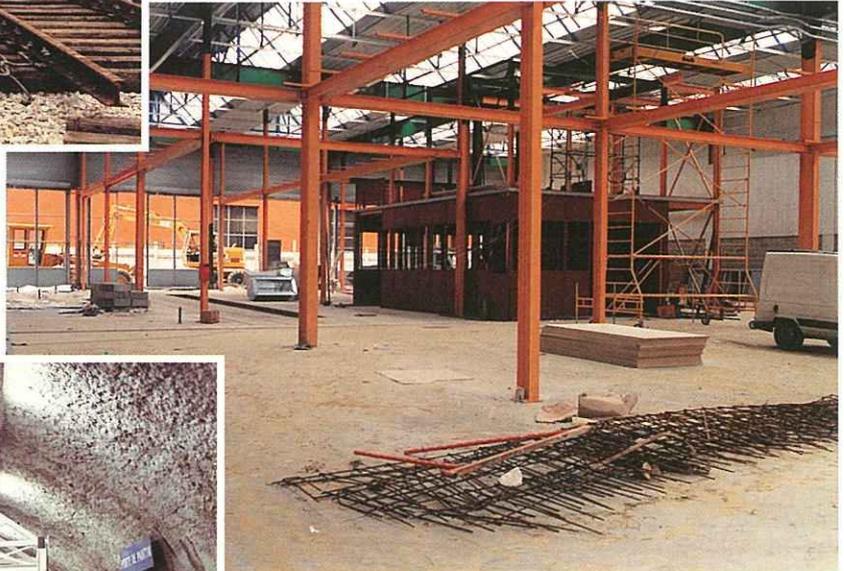
5



6



7



VUES DES TRAVAUX EN COURS

8



9



- 5 Aménagement du terminal bus de Porte d'Italie : structures du PCL.
- 6 Travaux de pose des voies de desserte du bâtiment du vérin en fosse aux ateliers de Boissy-Saint-Léger.
- 7 Intérieur du bâtiment R en cours de reconstruction sur le site de Championnet.
- 8 Réfection de la station « Porte de Pantin », ligne 5 : mise en place de deux portiques pour le bouchardage de la voûte.
- 9 Réalisation d'un parking d'intérêt régional à la gare RER de « Saint-Maur - Créteil », ligne A : vue d'ensemble du chantier (à droite, les travaux de perforation pour mise en place des tirants de la paroi moulée contre le mur de la gare RER).

NOUVELLES DE FRANCE

BAYONNE

« CRISTOBALD », pour la desserte des zones peu denses

Lancé en juin 1987 sur trois nouvelles lignes situées dans des quartiers qui n'étaient jusque-là pas desservis, CRISTOBALD, exploité par la Société des Transports de l'Agglomération de Bayonne (STAB), compte aujourd'hui 280 abonnés. Conçu par les sociétés Cris et Codra avec la collaboration d'Urba 2000 et mis en place par le district de Bayonne-Anglet-Biarritz, CRISTOBALD est un système de transport collectif pour la desserte des zones peu denses. Pour adapter l'offre à la demande, il s'appuie sur le concept de « ligne de transport virtuelle » et sur une gestion par un système de télématique vocale.

Une ligne de transport virtuelle a toutes les caractéristiques d'une ligne régulière : trajets fixes, arrêts matérialisés, horaires préétablis et fixes. Sa singularité réside dans le fait qu'un moyen de transport ne parcourt cette ligne que si une demande a été exprimée par un usager au moins.

Quant à la gestion de CRISTOBALD par un système télématique vocal, cela permet de collecter la demande des utilisateurs passée par téléphone

le plus souvent depuis leur domicile, de l'organiser, d'offrir en permanence à l'exploitant une aide à la décision sur l'offre la mieux adaptée à la demande exprimée, d'informer les utilisateurs sur le service de transport offert, de collecter les remarques et d'instaurer un dialogue direct avec l'exploitant.

Techniquement, la télématique vocale repose sur, d'une part, un équipement qui stocke la parole codée et gère la signalisation téléphonique ainsi que les commandes effectuées depuis le clavier du poste téléphonique de l'utilisateur, et, d'autre part, un micro-ordinateur qui réalise les traitements. L'ensemble est raccordé directement au réseau téléphonique. Un dialogue s'instaure. Il est vocal dans le sens du système vers l'utilisateur qui lui répond à l'aide des touches de son poste téléphonique à clavier (fréquence vocale). Par l'énoncé de phrases courtes, en langage simple et naturel, le système guide l'utilisateur dans ses réponses. Le système propose alors l'information recherchée, enregistre la réservation ou donne accès à la messagerie vocale.

CRISTOBALD offre à l'exploitation une aide effective par la gestion d'informations qui lui permettent de choisir au mieux le véhicule à affecter au transport. L'exploitant dispose éga-

lement de toutes les données nécessaires au suivi de l'exploitation.

Facteur de nombreuses économies (remplacement de bus standard par des taxis ou des minibus, meilleure utilisation du parc), CRISTOBALD est une solution souple et évolutive, estiment ses responsables. En effet, il peut permettre :

- la mutation de lignes régulières existantes, à faible fréquentation, vers des lignes virtuelles partielles, soit dans le temps (en heures creuses, par exemple), soit dans l'espace (lignes ou sections de lignes) ;
- l'utilisation au choix de l'exploitant d'un seul type de véhicule ou de plusieurs ;
- dans le cadre d'un couplage avec un système d'aide à l'exploitation, l'information en temps réel et à domicile des usagers sur les horaires ; à ce titre, il est un complément aux outils déjà existants (Minitel, informations aux points d'arrêt, etc.). ■

(Transport Public, juin 1988.)



Photo Transport Public

Minibus à la demande « CRISTOBALD ».

ROUEN

Un métro léger en projet

Il y a quatorze ans, Rouen figurait parmi les agglomérations à qui il avait été proposé d'étudier la création d'un réseau de tramway dans le cadre du « concours Cavaillé ». Après avoir longuement hésité, et même envisagé la création d'un réseau de transport en site propre fondé sur un mode non conventionnel, il semble que, dorénavant, les autorités de l'agglomération veuillent mettre les bouchées doubles pour se doter d'un métro léger.

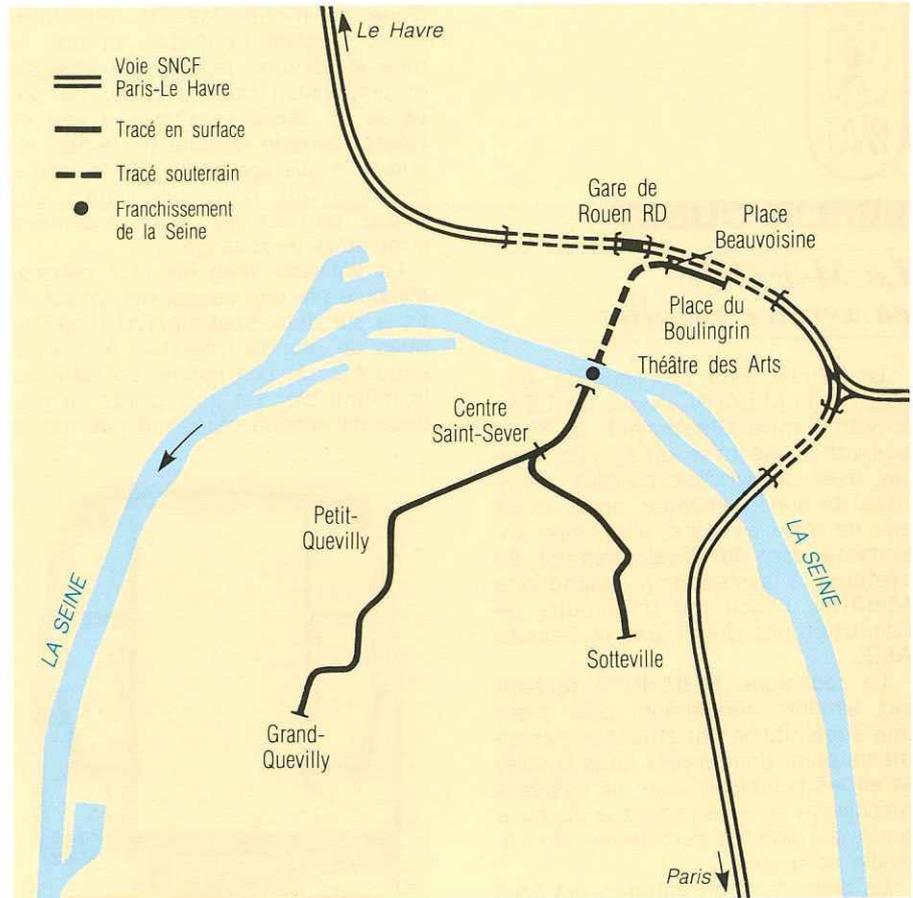
Avant même que l'étude d'avant-projet sommaire, commencée à l'automne 1987, ne soit complètement terminée, le Syndicat intercommunal de l'agglomération rouennaise vient de lancer une importante campagne de sensibilisation du public sur son projet de métro léger. Démarrée depuis la mi-juin, elle se poursuivra jusqu'à la mi-septembre, au moment où ce projet sera adopté et les études d'avant-projet détaillé lancées.

Cette campagne est destinée à présenter au grand public les principales caractéristiques du projet de métro léger retenu pour l'agglomération et à le convaincre du bien-fondé des choix effectués par les autorités représentatives.

Il est prévu de réaliser deux lignes : la première venant de Sotteville, la seconde de Grand-Quevilly. Ces deux lignes convergeront à hauteur du centre Saint-Sever, puis traverseront la Seine avant de remonter la rue Jeanne d'Arc, de rejoindre la gare rive droite et la place du Boulingrin, qui sera leur terminus commun. Des extensions sont envisagées sur Saint-Étienne-du-Rouvray et Rouen - La Grande Mare.

Le métro léger circulera en souterrain entre le Théâtre des Arts et la Place Beauvoisine, et en surface sur le reste du parcours, en site protégé. Deux hypothèses sont envisagées concernant les franchissements de la Seine : passage sur le pont Jeanne d'Arc ou traversée sous-fluviale.

La longueur des lignes dépassera légèrement les dix kilomètres, avec 8,5 km en surface et 1,9 km en souterrain. Le nombre de stations envisagé est de vingt, dont quatre souterraines. C'est un matériel identique au tramway de Grenoble, avec plancher bas situé à 34,5 centimètres du sol,



Le projet de réseau de métro léger de Rouen.

qui parcourra ce réseau ; 22 rames sont prévues au parc.

La vitesse du métro léger sera de l'ordre de 20 à 22 km/h. Sur les axes qu'il desservira, la vitesse commerciale des autobus est, actuellement, de l'ordre de 8,5 km/h à l'heure de pointe, voire sur certains tronçons égale ou inférieure à 6 km/h, la vitesse de déplacement d'un piéton.

Il est prévu de réorganiser le réseau de bus traditionnels en complémentarité avec les deux lignes du métro léger, ce qui permettra de désengorger le centre de l'agglomération et de faire gagner aux habitués des transports en commun près de 1,9 million d'heures par an et également aux automobilistes environ 2 millions d'heures.

Le coût du projet est estimé à 1 600 millions de francs, dont 1 318 millions de francs pour les infrastructures et 282 millions de francs pour le matériel roulant. La réalisation de ce projet suppose le financement conjoint par l'État, la Région, le Département et le Syndicat

intercommunal. Selon les études actuelles, il est prévu une participation financière de l'État de 30 % du montant du projet, hors matériel roulant ; la Région et le Département financeraient, quant à eux, 12 % du montant total, le solde étant à la charge du syndicat.

C'est vers le milieu du mois de septembre prochain que les élus du syndicat vont se prononcer sur l'avant-projet sommaire et décider de lancer l'étude d'avant-projet détaillé. C'est également à cette date qu'ils soumettront leur projet au Ministère des transports afin d'obtenir le financement adéquat. Selon le planning prévu actuellement, la mise en service du métro léger devrait avoir lieu à la fin de 1994. ■

(La Vie du Rail, 11 août 1988.)

Ndlr : l'avant-projet sommaire a effectivement été voté le 18 septembre 1988. (Connaissance du Rail, novembre 1988.)

NOUVELLES DE L'ÉTRANGER



BERLIN-OUEST

La M-BAHN en service régulier

Le 23 juin 1988, la « ligne de référence » de M-BAHN, longue de 1,6 kilomètre, entre Gleisdreieck et Kemperplatz, a été mise en service régulier, avec deux rames doubles. Cette mise en service marque, après treize ans de mise au point, une étape importante dans le développement du système à sustentation magnétique M-BAHN, conçu par un groupe de constructeurs dirigé par la société AEG.

La technique M-BAHN a recours aux aimants permanents pour créer une sustentation par attraction (les aimants étant donc placés sous la voie) et en les combinant avec un système mécanique à roues réglant la distance entre les aimants permanents du véhicule et la voie.

Le tirant d'air, ou entrefer, est ainsi ajusté entre les deux valeurs extrêmes de 14 et 25 mm, de manière à obtenir une attraction magnétique correspondant en gros à 95 % du poids du véhicule (les 5 % non compensés chargeant les roues) : l'entrefer est réduit (attraction maximale) pour un véhicule en charge, et augmenté pour un véhicule à vide.

Le schéma de ce dispositif de réglage ne montre que la roue inférieure, réglant l'entrefer, et non la roue supérieure, légèrement chargée et empêchant que l'entrefer ne dépasse sa valeur maximale. L'une et l'autre, comme le galet horizontal assurant le guidage latéral, de la même manière que dans les rames sur pneus parisiennes, sont baptisées « roulettes de guidage ».

Le véhicule, long de 11,7 mètres, s'appuie par une suspension pneumatique sur deux bogies/patins magnétiques de grande longueur. A chaque extrémité de ces patins, on retrouve le même bloc de trois galets de guidage de chaque côté, soit pas moins

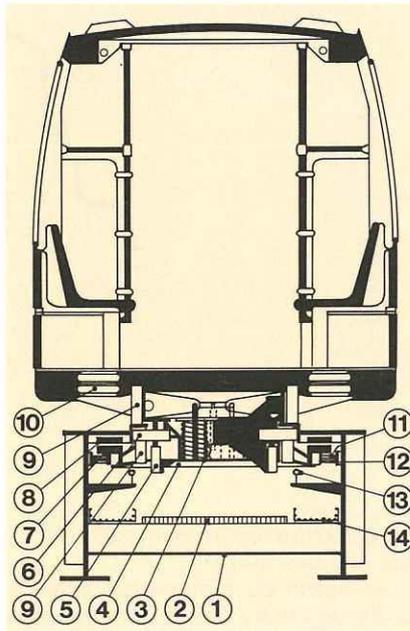
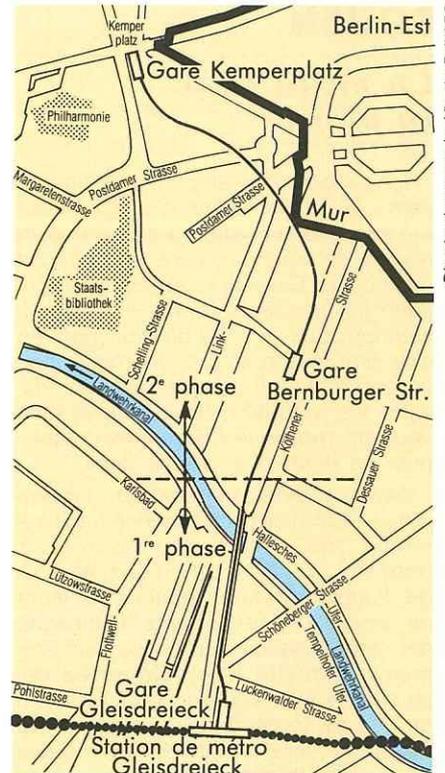


Schéma du système M-BAHN.



Tracé de la ligne M-BAHN de Berlin-Ouest.

1. Caisson de voie.
2. Caillebotis.
3. Suspension primaire.
4. Structure du bogie-patin.
5. Galets de guidage dans les aiguillages.
6. Galets de guidage horizontal.
7. Aimants permanents.
8. Stator long dans la voie.
9. Galets de guidage vertical.
10. Suspension caisse patin.
11. Prise de courant.
12. Alimentation auxiliaire (220 V).
13. Guide d'ondes.
14. Gaine de câbles.

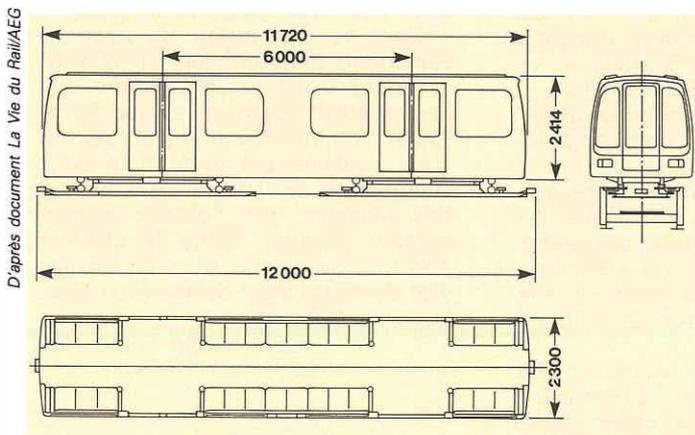


Diagramme d'une voiture de M-BAHN.



Vue extérieure d'une voiture de M-BAHN.

D'après document La Vie du Rail/AEG

D'après document La Vie du Rail/AEG

D'après document La Vie du Rail/AEG

Photo La Vie du Rail/AEG

de 12 galets par bogie et 24 par véhicule, auxquels il faut encore ajouter les autres galets ou roues assurant le guidage dans les aiguillages.

C'est la voie qui est motrice, grâce à un enroulement triphasé alimenté à fréquence variable (100 Hz maximum) et générant un champ glissant entraînant les aimants permanents de sustentation du véhicule. Malgré l'entrefer assez important, la poussée est suffisante pour permettre d'envisager une vitesse maximale de 80 km/h et des rampes atteignant 15 %. Les aimants permanents et la faible vitesse de la M-BAHN ne se prêtent pas à une génération électrique : il faut donc avoir recours à une prise de courant conventionnelle, par frotteur, en 220 V, pour assurer éclairage, chauffage et ventilation.

Tant pour limiter les déperditions d'énergie que pour permettre la circulation de plusieurs véhicules, le parcours est divisé en « blocs d'alimentation » alimentés chacun par un onduleur propre (à une fréquence déterminant la vitesse du véhicule qui s'y trouve en circulation). Leur longueur varie entre 50 et 300 mètres, en fonction et du « programme » prévu sur la section de ligne (accélération, maintien de vitesse), et de la fréquence des circulations, deux véhicules ne pouvant se trouver sur le même bloc (sauf s'ils sont couplés en une rame). En pratique, un espacement des rames à soixante secondes est donné comme réalisable.

Cette motorisation par la voie impose un système complexe de contrôle de la commutation des blocs qui doit connaître très précisément la position des véhicules. En contrepartie de cette complexité, les automatismes installés se prêtent tout naturellement à une exploitation automatisée : la ligne est ainsi exploitée sans conducteur ni agent à bord des véhicules.

Malgré la multiplication des roues, roulettes et galets, le véhicule se réduit à une caisse et à deux longs bogies/patins magnétiques assez légers. Sa masse, grâce à un large recours à l'aluminium, peut donc être réduite à moins de 10 tonnes (9,5 tonnes pour les éléments en service à Berlin, dont les dimensions, avec 11,72 mètres de long et 2,30 mètres de large, sont voisines de celles des voitures à petit gabarit du métro), et ce pour une capacité de 80 voyageurs (dont 28 assis). Cette valeur de tare de 120 kg par voyageur est déjà très favorable, mais surtout elle va de pair

avec une répartition de l'appui sur la voie (plus exactement sous celle-ci) sur une longueur totale dépassant 75 % de celle du véhicule.

Cette répartition linéaire permet l'emploi d'une poutre-voie légère constituée de deux poutrelles en acier reliées par des entretoises de manière à former un « U » à moitié fermé où s'engage le bogie-patin. Quant aux piliers, et toujours du fait du bilan favorable de masses et de forces, point n'est besoin de les réaliser en béton ; même pour une double voie, un assemblage de poutrelles ou de tubes d'acier peut être envisagé.

Le développement de cette nouvelle technologie aura été assez long, puisque la première expérimentation sur une piste de 1 400 mètres, installée à l'université de Brunswick et où plus de 400 000 km de parcours ont été effectués, remonte à 1976. Il est permis de penser que les graves difficultés financières rencontrées par AEG, peu après son entrée dans le groupe des promoteurs, n'ont pas été étrangères à la lenteur de la mise au point des systèmes d'alimentation et des automatismes. Quant aux six ans qui se sont écoulés entre la décision de construire la « ligne de référence » à Berlin et l'inauguration, ils s'expliquent par les lenteurs de la procédure allemande en matière de déclaration d'utilité publique, par la prudence proverbiale des différents organismes chargés de vérifier la conformité technique et de formuler les règlements d'exploitation, ainsi que par un acte de malveillance survenu en 1987, qui eut pour conséquence la destruction totale de deux véhicules. Toutefois, dès fin 1984, l'expérimentation sans voyageurs avait pu débuter sur une première section de 600 mètres.

L'exploitation de l'intégralité des 1 600 mètres par les transports en commun berlinois (BVG) permettra de vérifier la fiabilité de cette technique, ses bilans énergétiques, estimés 40 % plus favorables que pour des systèmes classiques du type métro léger, et les taux de nuisance, en particulier acoustique, qu'AEG pense pouvoir limiter à 60 dB à 25 mètres de distance, un niveau quatre fois plus faible qu'avec des techniques conventionnelles. Si la réalité est conforme aux espérances, il apparaît probable que les BVG retiendront la même technique M-BAHN pour moderniser une partie de leurs lignes de métro à petit gabarit. ■

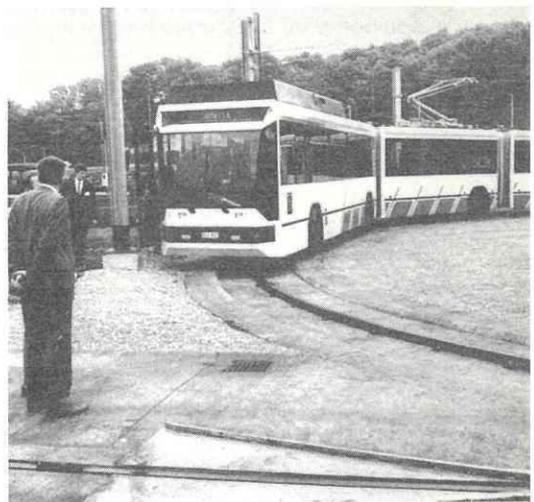
(La Vie du Rail, 25 août 1988.)

BELGIQUE

Essais du GLT

Tous les jours, jusqu'au 15 septembre, et le week-end, jusqu'au 2 octobre, le GLT (Guided Light Transit) relie les localités namuroises de Jemelle et Lessive. Construit par BN, ce véhicule révolutionnaire est guidé par un rail central entre Jemelle et Rochefort. Il se transforme ensuite en autobus, propulsé par un moteur diesel, qui conduit les voyageurs de Rochefort à Lessive.

La première présentation du GLT avait eu lieu en mai 1985, à Bruxelles. Continuant d'investir, BN n'a cessé, depuis lors, de perfectionner cet intéressant mode de transport. Grâce à la région wallonne, un itinéraire a été aménagé à l'emplacement de l'ancienne voie de chemin de fer Jemelle-Houyet construite en 1886 et désaffectée depuis de nombreuses années. Le GLT y est guidé par un rail et approvisionné en énergie par une ligne aérienne.



Le GLT en site propre.

Après la saison touristique, BN procédera à des essais de circulation de voitures accouplées et examinera les possibilités d'un système de conduite automatique. Seul l'avenir nous dira si le GLT prendra place à grande échelle aux côtés des modes de transport classiques, tels le métro, le bus, le tram et le train. Selon BN, chaque kilomètre d'infrastructure en site propre coûte 22 millions de francs belges (*). Le constructeur estime que la du-

(*) 1 franc belge = 0,16 FF.

rée de vie d'un GLT est de trente ans. Le prix unitaire d'un véhicule avoisine les 35 millions de francs belges.

La longueur du GLT est de 25,3 mètres, la largeur de 2,5 mètres et la hauteur de 3,57 mètres. La vitesse maximale est de 70 km/h. Le véhicule offre deux cents places, dont cinquante-cinq assises. Il est équipé de deux moteurs électriques d'une puissance de 360 kW et, pour la circulation sur route, d'un moteur diesel de 260 kW. Le passage de la conduite manuelle à la conduite guidée se fait aisément et automatiquement, grâce à un système de guidage par galets qui se posent sur le rail central. Chaque essieu est équipé d'un dispositif de guidage agissant sur les bielles de direction. Ce système impose à l'essieu la trajectoire définie par un rail unique. Quitter le site propre ou y entrer ne pose aucun problème. Signalons encore que sa puissance et l'adhérence des roues permettent au GLT de gravir des pentes de 15 %. BN affirme également que les performances d'accélération et de freinage sont nettement supérieures à celles d'un tram. Chaque roue est équipée d'un système antienrayage et antipatinage. ■

(Les Vicinaux Plus, juillet 1988.)



MILAN

Un nouveau centre de formation pour le personnel du métro

L'ATM (Azienda Trasporti Municipali), qui exploite les transports urbains de Milan, a récemment inauguré un centre de formation pour le personnel du métro, école professionnelle moderne comportant deux équipements d'avant-garde.

L'école est installée dans la mezzanine de la station « Cadorna » (correspondance des lignes 1 et 2 du métro et du réseau du « Nord Milan ») sur 500 m², avec notamment deux salles de cours équipées de mini-ordinateurs pour les cours théoriques, plus une salle de signalisation et une autre abritant un simulateur de conduite.

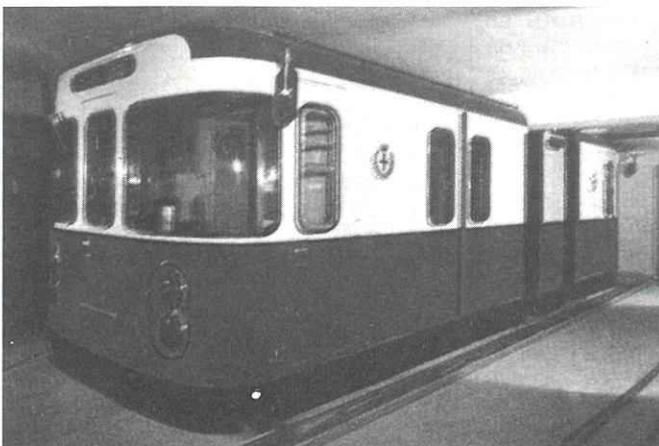
La première salle reproduit fidèlement un poste ACEI (poste tout relais) du même type que ceux équipant les stations du métro. L'élève se trouve ainsi dans l'exacte situation d'un poste de manœuvre, l'instructeur disposant d'une console informatique pour « créer » le mouvement des trains et leurs incidents éventuels, à l'aide des logiciels appropriés. Pour l'instruction des équipes de maintenance des installations de sécurité, le poste dispose d'une salle de relais semblable à celles existant sur le ré-

seau : là aussi, l'instructeur peut provoquer des dérangements « à la demande » pour tester les élèves.

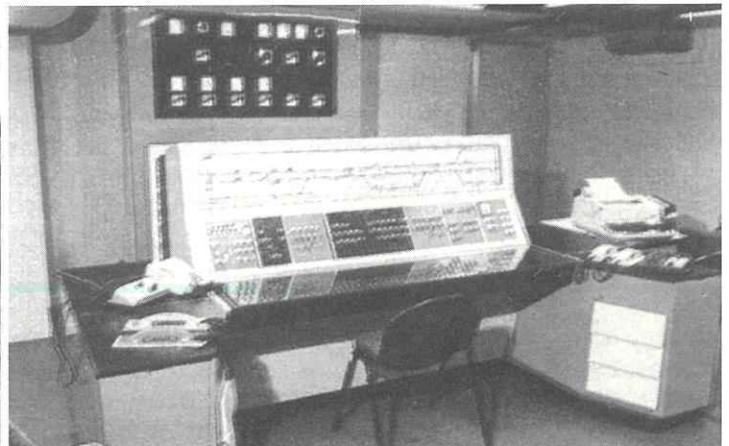
La seconde salle contient... une rame de métro milanais ! En effet, on a reconstitué sous forme de maquette grandeur nature, mais sans bogies toutefois, deux cabines de conduite, dans les caisses d'une rame de la ligne « rouge » du métro. Cette double maquette reproduit fidèlement l'environnement du conducteur de métro, y compris les sons. Le « paysage » de la ligne est obtenu à l'aide d'un vidéodisque laser : un écran est installé face à la cabine. L'instructeur dirige la projection des images, l'intensité et la coordination des sons, et manœuvre à sa guise les signaux. Il dispose de cent soixante-quatre cas de figures, ce nombre devant être augmenté par la suite. Il peut, en outre, comme au PCC de la ligne, communiquer par téléphone avec le conducteur. Enfin, le « banc de commande » comporte une imprimante enregistreur et reproduisant les résultats de l'élève : un véritable contrôle continu des connaissances !

Le centre est destiné à l'instruction des employés ATM du secteur ferroviaire (métro/tram). Il peut former ou recycler annuellement près de 500 agents dont 50 à 60 conducteurs et 80 à 100 agents de station. La nécessité d'un tel centre s'est affirmée pour l'ATM qui, d'année en année, étend son réseau (actuellement 57 km et 66 stations) : une troisième ligne est en construction, la ligne « jaune », qui comportera 11 km et 15 stations à l'horizon 1990. ■

(La Vie du Rail, 8 septembre 1988.)



Maquette grandeur nature d'une motrice du métro milanais.



Poste-pilote ACEI (tout relais).

HONG KONG

Prochaine ouverture du métro léger

La première tranche du réseau de métro léger qui desservira la ville nouvelle de Tuen Mun, située dans la partie nord-ouest du territoire de Hong Kong, sera mise en service en septembre 1988, soit trois ans après la signature d'un contrat « clés en main » avec un groupe industriel australien. Le coût de cette première tranche, comprenant sept lignes d'une longueur totale de 23 kilomètres, avec 41 stations, 3 terminus-gares d'échanges et un dépôt, s'élève à environ 127,6 millions de \$ US (*). Le trafic journalier devrait s'élever à 250 000/300 000 voyageurs en 1989.

Les soixante-dix voitures à caisse en acier inoxydable, avec commande à hacheurs de courant et thyristors GTO, climatisées, ont une vitesse maximale de 80 km/h. Chaque voiture, d'une capacité de 130 voyageurs, dont 60 assis, a trois portes

(*) 1 \$ US ≈ 6,10 FF.



Photo International Railway Journal

Voitures de métro léger effectuant des essais sur une voie en site propre à Tuen Mun.

sur un seul côté seulement et une seule cabine de conduite, étant donné que les terminus sont équipés de boucles de retournement.

La plupart des 41 stations ont au moins deux quais, d'une hauteur de

91 centimètres, ce qui facilite l'accès des voyageurs aux voitures. Des rampes et des escaliers permettent d'accéder aux quais, équipés de marquises protégeant les voyageurs de la pluie et du soleil.

Les rames, constituées de deux voitures, auront une fréquence de passage de cinq à dix minutes, les intervalles étant réduits sur les tronçons desservis par plusieurs lignes.

Les lignes sont presque intégralement établies en site propre le long des axes routiers, sur voie ballastée, à l'exception des carrefours et des passages pour piétons, où la voie est posée sur béton. Aux carrefours, les feux de signalisation accordent la priorité aux rames du métro léger.

La KCRC (Kowloon-Canton Railway Corporation), qui exploitera le métro léger, a déjà commencé les études pour l'extension du réseau et prévoit l'acquisition de cinquante voitures supplémentaires. ■

(International Railway Journal, août 1988.)



Photo Railway Gazette International

Station à quais hauts du métro léger de Tuen Mun.

