

LA CONCEPTION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR DES HORAIRE DES TRAINS DU MÉTRO À LA RATP CADHOR METRO

2030

Introduction

Les transports jouent un rôle essentiel dans la vie économique et sociale de la région Ile de France.

Les besoins croissants en matière de déplacements et de transport conduisent la Régie Autonome des Transports Parisiens (RATP) à poursuivre une politique d'optimisation rigoureuse dans la gestion de ses moyens.

L'évolution des modes de vie en milieu urbain est importante, elle tend à accroître fortement la mobilité et à renforcer par là-même les demandes et attentes des utilisateurs des transports en commun, notamment en matière de qualité de service.

Cet article vise à décrire les principales étapes du processus d'élaboration des horaires de circulation des trains des lignes du métro et montre avec la mise en œuvre de l'application CADHOR METRO comment les aides de l'application informatique permettent de répondre efficacement à un certain nombre de problèmes rencontrés.

La figure 1 donne la définition des principaux termes utilisés dans la rédaction de cet article.

Qu'est-ce que le réseau métro ?

Le réseau métro couvre Paris et sa très proche banlieue.

Il se compose de 13 lignes principales auxquelles s'ajoutent 2 lignes (3bis et 7bis) de moindre importance qui ont été créées à la suite d'un débranchement des lignes 3 et 7 respectivement le 31 mars 1971 et le 3 décembre 1967, pour être exploitées de manière indépendante.

Il compte 402 kilomètres de voies principales (voies simples), 295 stations nominales qui représentent 370 points d'arrêts (voies doubles), desservies de 5h30 à 1h15 quotidiennement par 560 trains qui parcourent 132000 kilomètres-trains et transportent 4,6 millions de voyageurs.

Objectifs de l'application CADHOR METRO

Besoins

Jusqu'en 1987, la conception des horaires des trains ainsi que tous les



René BERTOCCHI

Responsable de l'Unité Spécialisée Horaires et Trafic Départements METRO et RER.

Serge GRYZ

Etudes Prospectives
Ingénierie Exploitation
Ferroviaire.
Ex-Responsable
conception horaires
des trains.



Jean-François LEMOINE

Responsable de la Modernisation de l'Unité Spécialisée Horaires et Trafic.

documents s'y rapportant étaient réalisés manuellement. De plus l'édition de ces documents était assurée à l'aide de matériels devenus obsolet et demandait un temps de réalisation important.

Par ailleurs, la nécessité d'ajuster encore plus fréquemment l'offre de transport à la demande, suite à l'évolution des modes de vie et des attentes plus fortes des voyageurs, ont conduit la RATP à accélérer le rythme des études de conception et de mise en application de nouveaux horaires. Ainsi, l'obligation de renouveler le matériel utilisé jusqu'alors et de maîtriser une charge de travail sans cesse croissante dans le temps a été à l'origine de la mise en œuvre de moyens matériels de conception et d'édition tournés exclusivement vers l'outil informatique.

Objectifs

Les principaux objectifs de progrès consistaient à :

- accroître la productivité en transférant à l'informatique les tâches répétitives et le traitement de données permettant de réduire les délais de conception et d'édition tout en améliorant la qualité du travail effectué;
- permettre le transfert de la décision au niveau du concepteur, facteur d'implication et de responsabilisation;
- apporter une aide à la décision;
- normaliser rapidement sous forme de graphique l'offre de transport d'une ligne de manière pratique pour l'exploitation;
- permettre une rationalisation de l'offre;
- servir de base à de nombreuses données prévisionnelles tant économiques que quantitatives.

Données de base nécessaires à la conception des horaires

Avant de concevoir tout horaire de circulation des trains, la connaissance de certains paramètres, tels que l'offre de transport, la demande de transport et les caractéristiques techniques des lignes est indispensable.

L'offre de transport

L'offre de transport est le nombre de voyageurs transportables par unité de temps. Pour un même intervalle, l'offre de transport varie en fonction des normes de confort que l'on se donne, ou encore en fonction de la charge des trains que l'on s'autorise (nombre de places assises, nombre de voyageurs debout par m²...).

Pour un intervalle donné on obtient le nombre de places offertes par minute ou flux, qui se traduit par la relation :

$$\phi = \frac{C}{I}$$

ϕ : voyageurs/minutes.

C : capacité du train en fonction des normes de confort choisies.

I : intervalle en minutes.

L'offre de transport est donc proportionnelle au nombre de places

Réseau :	Ensemble des voies desservant une région géographique.
Ligne :	Sous-ensemble cohérent d'un réseau faisant l'objet d'un horaire spécifique.
Noeud :	Point de jonction de 3 parties de ligne, il constitue généralement un point de convergence ou de divergence des voies.
Branche :	Sous-ensemble d'une ligne comptant au moins un noeud.
Course :	Trajet défini par l'ensemble des temps de parcours et des temps de stationnement reliant deux terminus.
Horaire :	C'est une collection de courses présentant entre elles un certain nombre de relations (ordre, chaînage) et des propriétés caractéristiques.
Circulation :	Mouvement de train avec voyageurs ou parcours haut-le-pied.
Marche :	Elle permet de définir la valeur minimale du temps de parcours entre stations et le temps de stationnement d'un train en station. On distingue quatre marches : A, pointe du soir; B, pointe du matin; C, heures creuses de la journée; D, heures de nuit.
Cisaillage :	C'est le temps qui sépare l'heure de départ d'un train de l'heure d'arrivée possible du train suivant dans le même terminus quand les itinéraires sont incompatibles.
Intervalle :	C'est le temps qui s'écoule entre le départ de deux trains successifs d'un même terminus.
Séjour :	C'est le temps qui sépare l'heure d'arrivée de l'heure de départ d'un train dans le même terminus.

▲ Fig. 1. - Principales définitions utilisées dans la conception des horaires. ►

offertes par minute et inversement proportionnelle à l'intervalle réalisé. Elle est représentée par un graphique appelé polygone horaire (J.Fichet, RGCF, décembre 1988).

La demande de transport

L'adaptation de l'offre de transport se fait à partir de l'analyse des flux de voyageurs aux diverses périodes de la journée et pour chaque sens de circulation.

La demande de transport évolue non seulement au cours de la journée mais aussi de la semaine et des saisons. Elle est liée aux modes de vie des voyageurs, à l'urbanisme et à la géographie des lignes et des réseaux. Au cours des années, des changements importants ont affecté la structure de la demande. En milieu urbain, elle est sensible à des variables telles que :

- la conjoncture économique;
- le développement des horaires variables et du travail à temps partiel;

- la diminution hebdomadaire du temps de travail;
- les délocalisations et implantations d'entreprises;
- les modifications des heures d'ouvertures de centres commerciaux importants;
- l'évolution dans la gestion individuelle des congés annuels (pris par périodes de 2 ou 3 semaines).

La création de nouvelles lignes de transport ou de prolongements des lignes existantes, comme ce fut le cas en avril 1992 avec le prolongement de la ligne 1 de Pont de Neuilly à La Grande Arche de la Défense, modifient significativement les déplacements.

Toutes les lignes font l'objet de mesures et d'analyses de la demande de transport, qui permettent d'appréhender l'évolution qui se produit sur chacune d'elles.

Dans une entreprise de transport, au service des voyageurs, ce sont bien évidemment la connaissance de la demande de transport et son évolution qui conduisent au changement des horaires sur chaque ligne.

Séjour minimal :	C'est le temps minimum nécessaire à un train pour effectuer la manoeuvre de changement de voie depuis son arrêt à quai d'arrivée jusqu'à son démarrage du quai de départ. Il dépend du type de manoeuvre utilisé lors du changement de voie. Il existe trois types de manoeuvre : - manoeuvre n° 0 : arrivée et départ des trains sur la même voie; - manoeuvre n° 1 : le conducteur du train effectue seul la manoeuvre de changement de voie de son train en empruntant les itinéraires prévus à cet effet, avec utilisation d'un trottoir de manoeuvre; - manoeuvre n° 2 : le conducteur du train est aidé, pour effectuer la manoeuvre de changement de voie, par un ou plusieurs conducteurs, avec utilisation d'un trottoir de manoeuvre. Dans le cas d'un changement de voie par boucle ce temps est constant.
Battement :	C'est la différence de temps entre le séjour effectif d'un train et le séjour minimal dans le même terminus.
Battement maximal :	C'est le temps qu'il ne faut pas dépasser dans un terminus donné au risque de faire stationner les trains à l'entrée du terminus. Le battement maximal est donné par la relation : $B_{\max} = NI - C$ dans laquelle : - N représente la capacité du terminus c'est à dire le nombre maximal de trains qui peuvent séjourner simultanément sur les itinéraires empruntés pour effectuer la manoeuvre de changement de voie; - I représente l'intervalle entre les trains; - C est une constante caractéristique du terminus établie à partir des temps de déblocage des signaux rencontrés sur l'itinéraire de changement de voie.
Retournement :	Raccordement au niveau d'un terminus de deux courses qui n'appartiennent pas au même sens de circulation.
Circuit :	Ensemble de courses raccordées entre elles.
Période :	Partie d'horaire consistant en une collection de courses identiques dupliquées sur chacune des deux voies.

Les caractéristiques techniques

C'est tout ce qui touche à l'infrastructure, aux équipements, moyens et paramètres autorisant la mise en exploitation d'une ligne, tels que :

- les voies ferrées;
- la signalisation;
- le nombre et les performances des trains dont on dispose;
- l'énergie de traction disponible à un instant donné;
- la configuration des terminus et des diverses possibilités de manoeuvres;
- le plan et le profil des lignes;
- les temps de parcours et de stationnement détaillés ou marches types ⁽¹⁾;
- les postes de manoeuvres (commande des aiguillages);
- l'implantation des zones de garage et des sites d'entretien du matériel roulant;

⁽¹⁾ Les marches types sont élaborées à l'aide d'un logiciel spécifique MATYS.

- les équipements divers (régulation impérative, pilotage automatique, conduite manuelle contrôlée...).



La conception des horaires

Les horaires des trains sont la base de l'organisation des transports et de l'exploitation d'une ligne de métro. La qualité de leur réalisation revêt un intérêt de tout premier ordre car c'est sur elle que repose la qualité du service que l'on offre aux voyageurs. Il s'agit d'une opération fort complexe.

Aussi, la conception des horaires du métro est confiée à des « horairistes » qui ont une connaissance approfondie de l'exploitation des lignes, de leurs contraintes techniques et générales ainsi que des

particularités spécifiques de chacune d'entre elles.

Contraintes de réalisation

La prise en compte des caractéristiques techniques évoquées plus haut donne naissance, lors de la réalisation de l'horaire, à un certain nombre de contraintes. De plus, au niveau des terminus :

- la capacité (quais et itinéraires de changement de voie);
- les temps de parcours et de stationnements élémentaires;
- les temps de réoccupation de chaque position après le départ du train précédent;
- le battement maximal;
- le temps de déblocage des signaux;
- la valeur minimale de l'intervalle;
- le type de manoeuvre utilisée;
- le séjour minimal;

sont autant de paramètres dont les valeurs doivent être vérifiées en permanence et satisfaites simultanément (absence de tout conflit et présentant une souplesse minimale) pour que l'horaire réalisé soit décrété valable pour sa mise en application.

A ces contraintes s'ajoute l'impact de l'aspect commercial (amplitude du service, fréquence des trains et rapidité des déplacements, taux de charge des voitures...).

Différentes étapes de la réalisation d'un horaire

Construction des courses

Selon les heures de la journée, l'intervalle pratiqué diffère pour tenir compte, à chaque instant, de la variation de la demande de transport. C'est dès cette étape initiale que sont pris en compte une partie des paramètres de base de conception des horaires à savoir :

- le sens de circulation;
- l'intervalle qui sépare deux courses successives;
- le type de circulation;
- la marche qui donne les temps de parcours entre stations et les temps de stationnement à retenir en fonction de la période de la journée;
- l'heure de départ ou d'arrivée;
- le temps de déblocage du signal pendule ⁽²⁾ de la ligne.

⁽²⁾ Le temps de déblocage du signal pendule correspond à l'intervalle minimal théorique que l'on peut réaliser sur une ligne donnée.

CADHOR METRO effectue automatiquement un test de cohérence des informations saisies. Les courses théoriques créées sur chaque voie sont représentées graphiquement à l'écran par une succession de segments.

Construction d'une période

Cette étape consiste à réaliser une partie d'horaire construite à l'aide de courses.

Pour une journée donnée, on compte par sens de circulation quatre périodes stables différentes :

- heures d'affluence du matin;
- heures creuses de la journée;
- heures d'affluence du soir;
- heures de nuit.

Au cours de chaque période stable, l'intervalle pratiqué sur les deux voies a généralement la même valeur, seules les heures de début ou de fin de la période considérée sont décalées, cela à cause de l'importance du trafic qui est nettement prépondérant sur l'une des deux voies.

Le concepteur, à l'aide de diverses fonctions, va éliminer les éventuels conflits et vérifier sous la session graphique si la circulation de tous les trains se fait dans le respect strict de la signalisation et des temps théoriques prédéfinis.

Le système interdit par contre toute modification de temps qui serait inférieure à la valeur théorique minimale.

Dans la démarche habituelle on procède en deux temps :

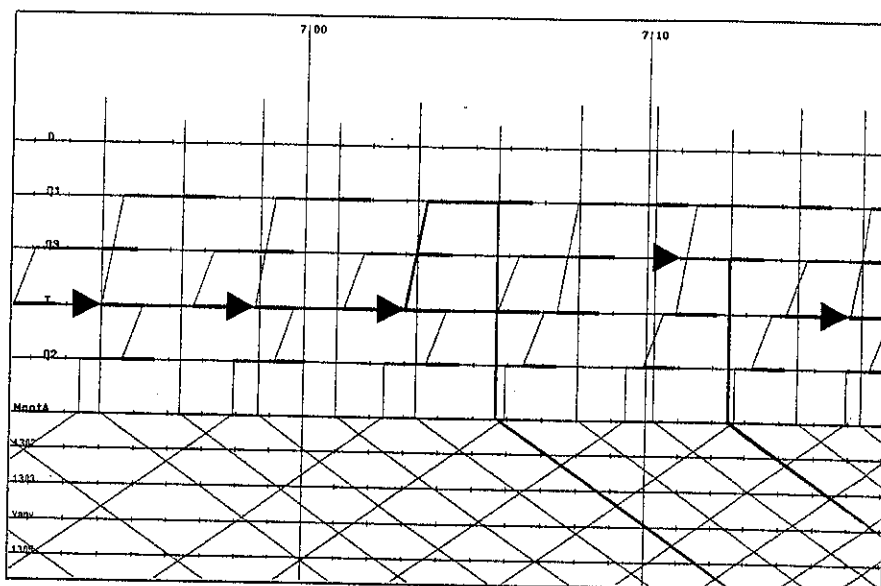


Fig. 2. - Partie de graphique matérialisant des dégarages.

- le premier consiste à construire toutes les courses sur la voie de plus fort trafic;
- le deuxième temps consiste à relier aux courses ainsi construites les courses correspondantes à l'autre voie.

Le concepteur dispose de fonctionnalités telles que :

- duplication, suppression et déplacement de courses;
- mesure des temps de séjour, battement, cisaillement;
- chaînage des courses (retournement).

A ce stade de la conception, les difficultés résident dans le calage des courses d'une voie par rapport à l'autre et dans la vérification de

toutes les contraintes techniques de circulation des trains afin qu'elles soient simultanément toutes satisfaites. Ces contraintes font appel au séjour minimal selon le type de manœuvre et les itinéraires de changement de voie choisis, au battement maximal, aux temps de déblocage des signaux en terminus. Cette opération a pour but également de déterminer le nombre de trains strictement nécessaire circulant à un instant donné.

Construction de l'horaire

Aux quatre périodes stables s'ajoutent les périodes de transition ou « flancs de pointe » qui précèdent (flanc de pointe montant) ou qui font suite (flanc de pointe descendant) aux heures d'affluence du matin et du soir. Il s'agit de périodes dites « instables » car l'intervalle varie fréquemment et chaque circulation doit faire l'objet d'une vérification systématique des valeurs de l'ensemble des paramètres techniques de la ligne et des différents terminus.

On distingue quatre périodes de transition, elles correspondent en général à celles où s'effectuent les dégarages et les garages de trains afin d'obtenir un intervalle plus faible ou plus élevé sur une voie par rapport à l'autre.

Détermination des dégarages

Lorsque tous les raccordements possibles d'un point de vue technique ont été réalisés, chaque origine

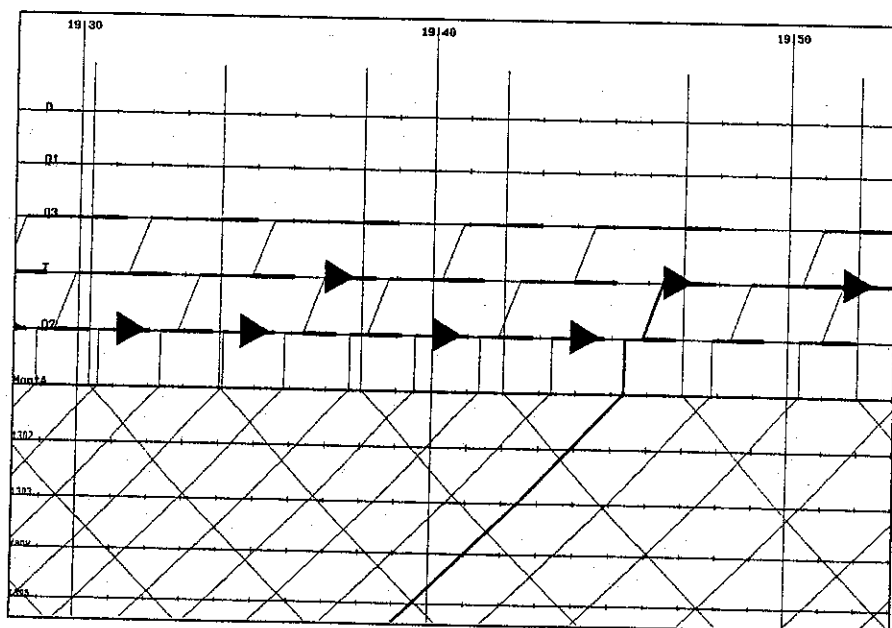


Fig. 3. - Partie de graphique matérialisant des garages.

de course non raccordée constitue un dégarage; il est matérialisé par un triangle. (fig. 2)

A cette étape, il est nécessaire de comparer le nombre de dégarages obtenu au parc de matériels disponibles dans chaque terminus.

Détermination des garages

Si dans un terminus le battement vient à augmenter du fait de l'augmentation de l'intervalle des trains au départ pour atteindre sa valeur maximale (c'est le cas par exemple lorsqu'au niveau d'un terminus les trains arrivent à un intervalle de deux minutes et en repartent à un intervalle de trois minutes), il est alors nécessaire d'opérer des garages de trains. Le concepteur désigne le train à garer de telle manière que le battement résultant ne soit jamais nul de manière à garder une certaine souplesse. Cette souplesse est parfois nécessaire aux exploitants pour résorber de légers retards enregistrés à la fin de l'affluence.

La figure 3 montre une période de transition où des garages de trains sont effectués (présence de triangles).

La construction de ces périodes de transition permet de réaliser l'enchaînement de toutes les périodes horaires déjà construites. La finalité des différentes opérations consiste à figer l'ensemble des circulations définissant la capacité de transport offerte.

La réalisation de l'horaire aux périodes de transition est la phase la plus intéressante pour le concepteur, sollicité en permanence il donne libre cours à son savoir faire et à ses compétences afin de retenir parmi toutes les solutions possibles ou proposées par le système celle qui autorise la plus grande souplesse et par là-même la garantie la plus sûre pour offrir un service de qualité.

L'ultime phase est consacrée à :

- affecter à chaque dégarage et garage une position (exemple : 1-VE);
- numéroté automatiquement toutes les courses de l'horaire. Tout numéro est formé de deux chiffres au plus (exemple : 13) qui indiquent le numéro d'ordre des trains. Un numéro est affecté à chaque circuit, en respectant un ordre croissant.

Modes de représentation d'un horaire

Généralités

Toute réalisation d'un horaire pose le problème de sa représentation: c'est à dire sous quelle forme doit-il être élaboré afin de faciliter son exploitation.

En conception, face aux deux modes courants de représentation que sont les « tableaux horaires » et « graphiques espace-temps », le choix

s'est porté sur ce dernier pour des raisons évidentes quant au nombre et à la pertinence des informations qu'il peut receler; la lecture directe d'un graphique de marche des trains espace-temps contribue à faciliter l'analyse indispensable à toute prise de décision immédiate.

L'amélioration de la qualité des informations recueillies porte principalement sur :

En ligne :

- la desserte des stations (en particulier pour les lignes à branches multiples);
- l'importance de l'offre de transport par la connaissance du nombre de trains en circulation à un instant donné et de l'intervalle entre ceux-ci;
- la valeur des conflits éventuels.

En terminus et pour chaque train :

- le type de manœuvre utilisé (succession de positions occupées ou empruntées entre l'arrivée et le départ);
- la valeur du séjour réel;
- l'importance de la souplesse d'exploitation matérialisée par la présence de battement sur une ou plusieurs positions de l'itinéraire de changement de voie;
- la valeur des conflits éventuels.

Le premier mode de représentation (« tableau horaire ») n'a quant à lui pas été écarté pour autant; il correspond à la meilleure façon de présenter les résultats de la conception sous forme de documents destinés aux exploitants principalement, pour mise en œuvre de l'horaire, mais également pour donner une information correcte aux voyageurs lors de situations où le service est perturbé.

Représentation graphique

Avant la mise en place d'aides informatiques, et bien qu'axées sur une même utilisation du diagramme « espace-temps », deux représentations ont été retenues et développées pour tenir compte des spécificités d'exploitation et de topologie de chaque ligne du métro.

La première sous forme de « grille horaire » (abandonnée aujourd'hui) était appliquée aux lignes dites simples (1 à 6, 7b, 9, 11 et 12) comportant deux terminus extrêmes sans utilisation de terminus intermédiaires pour le retournement des trains en service normal.

La deuxième sous forme de « graphique horaire » utilisée pour les

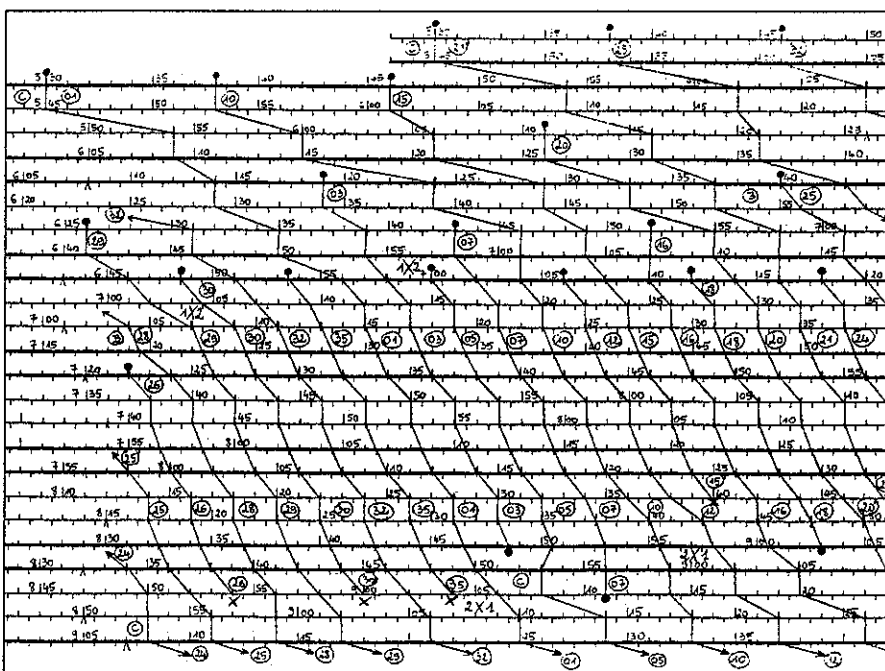


Fig. 4. - Représentation partielle d'une grille horaire.

autres lignes (7, 8, 10 et 13) dites complexes en raison de l'exploitation de ces lignes comportant des branches et des retournements de trains dans des terminus intermédiaires.

La grille horaire

D'une manière générale, une grille horaire (fig. 4) était construite pour chaque ligne de métro, cette grille couvrait pour une journée donnée l'amplitude du service (5h00 à 1h30) et permettait de représenter l'ensemble des opérations constitutives de l'horaire sous un format de 1m 20 par 1mètre dont l'utilisation était malgré tout aisée pour le concepteur d'horaires.

Cette grille était constituée d'un nombre important de lignes horizontales graduées et décalées entre elles, un ensemble de quatre lignes formant une grille élémentaire (fig. 5).

Celle-ci est composée de deux groupes de deux axes de temps décalés entre eux d'une valeur donnée; chaque graduation correspond à une minute.

Les deux axes en trait gras représentent le quai d'arrivée et le quai de départ du terminus principal. Le décalage de 4 minutes est égal au temps nécessaire pour effectuer la manœuvre de changement de voie en manœuvre 1 dans ce terminus.

Les deux axes en traits fins représentent le quai d'arrivée et le quai de départ du terminus secondaire. Le décalage de 3 minutes est égal au temps nécessaire pour effectuer la manœuvre de changement de voie en manœuvre 1 dans ce terminus.

Les décalages des axes départ terminus principal - arrivée terminus

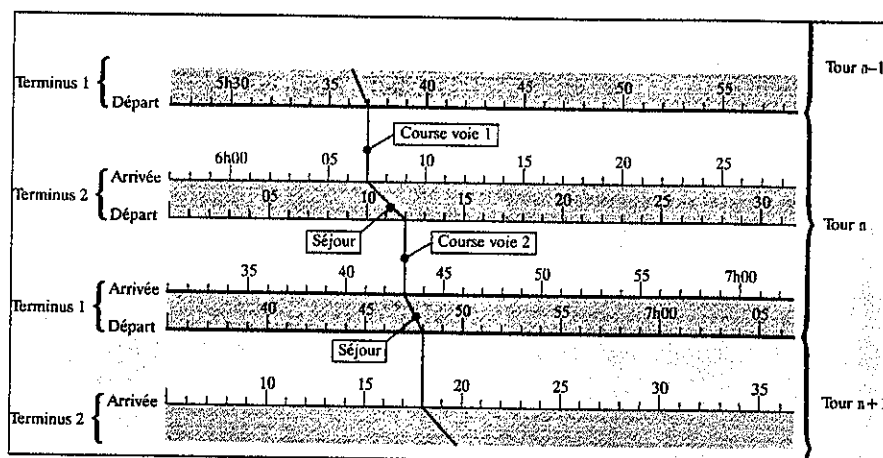


Fig. 5. - Représentation partielle de la grille élémentaire.

secondaire et des axes départ terminus secondaire - arrivée terminus principal représentent respectivement les temps de parcours voie 1 et voie 2 en marche C; la circulation d'un train est matérialisée par une droite verticale.

La somme des différents temps donne la durée théorique nécessaire à un train pour effectuer un tour complet.

La grille élémentaire avait pour objectif de visualiser par simple lecture :

- la présence et la valeur du battement (segment oblique vers la droite) dans les terminus. La figure 5 montre que le battement est de 1 minute dans le terminus principal et de 2 minutes dans le terminus secondaire.
- l'utilisation d'une marche-type différente de la marche C est matérialisée par une oblique vers la droite pour les marches A (pointe du soir) et B (pointe du matin), vers la gauche pour la marche D (heures de nuit).

Le graphique horaire

Ce mode de représentation basé sur le diagramme espace-temps est le plus approprié pour la conception des horaires des lignes du métro avec des outils informatiques.

L'axe horizontal ou axe des temps est représenté en continu; ceci explique d'ailleurs la longueur du document qui peut atteindre plusieurs mètres.

Sur l'axe vertical et afin de faciliter la lecture du graphique, sont placés les stations ou terminus. Dans le cas de lignes complexes, les branches sont rejetées de part et d'autre de la ligne choisie comme ligne principale. En terminus, les raccordements de courses sont réalisés au moyen de cavaliers qui permettent d'établir la continuité des circuits matériels de l'horaire. Les figures 6 et 7 représentent respectivement une partie de graphique réalisé manuellement et avec CADHOR METRO. Dans ce dernier cas, on constate dans le terminus que toute circulation des trains est représentée systématiquement de manière détaillée.

Graphicage

En réalisation manuelle, les deux modes de conception et de représentation de l'horaire décrits ci-dessus étaient complétés par une opération de vérification et de validation de l'horaire. Cette opération baptisée « graphicage » consistait à simuler la circulation des trains dans les terminus pendant les périodes de transition, c'est à dire lorsque l'intervalle

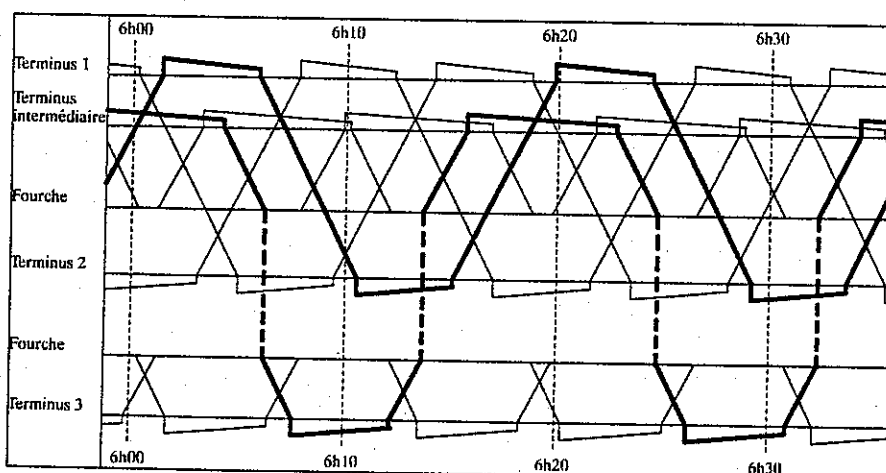


Fig. 6. - Principe du graphique horaire.

L'exploitation des résultats

CADHOR METRO permet d'assurer l'édition automatique de tous les documents horaires sur imprimantes laser.

Renseignements caractéristiques de l'horaire

A tout instant, CADHOR METRO fournit les informations caractéristiques de l'horaire :

- liste des courses;
- liste des circuits;
- heures d'arrivées et de départs des terminus pour toutes les courses;
- liste des opérations (dégarages, garages) pour chaque terminus;
- temps des séjours;
- les types et le nombre de manœuvres utilisées pour effectuer les opérations de changement de voie;
- l'intervalle entre les trains;
- la répartition du battement entre les terminus.

En fin de conception, tous les éléments statistiques peuvent être obtenus (fig. 10).

Ces éléments concernent les kilomètres-trains, les kilomètres-voitures, les trains-heures, la vitesse commerciale moyenne de la journée considérée, le nombre d'opérations de dégarages et de garages, le nombre de raccordements avec le

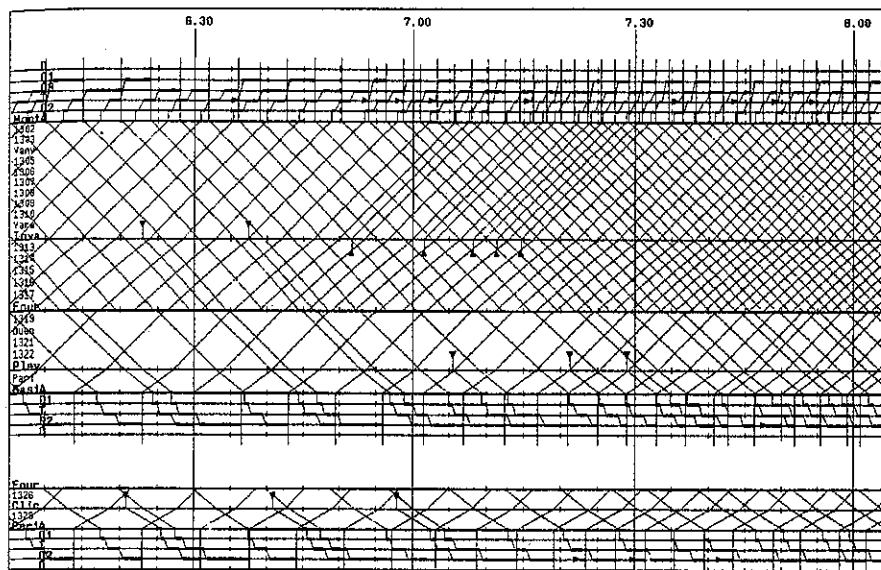


Fig. 7. - Partie de graphique réalisée avec CADHOR METRO.

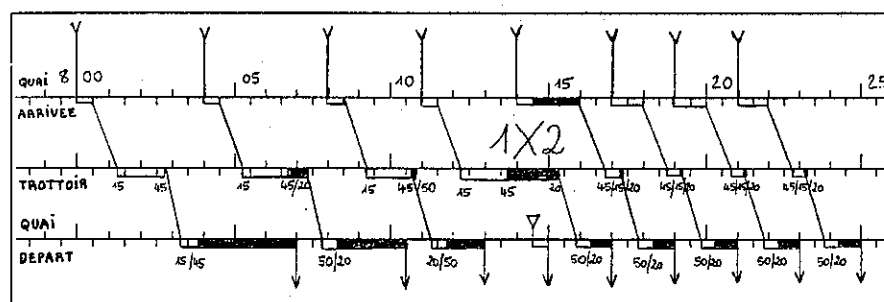


Fig. 8. - Représentation partielle d'un graphiquage manuel.

entre les trains vient à varier de façon discontinue en diminution ou en augmentation, pour vérifier qu'elle se faisait bien en respectant toutes les contraintes techniques des terminus.

La figure 8 représente un exemple de graphiquage manuel entre l'arrivée et le départ d'un terminus. La circulation d'un train est matérialisée par une succession de temps de stationnement (TS : sur position) et de temps de parcours (TP : inter-positions); chaque position libérée par un train, ne pouvant être réutilisée immédiatement par un autre, se voit attribuée d'une valeur en secondes correspondant à un temps de réoccupation (TR).

Les éventuels conflits entre deux itinéraires incompatibles sont également vérifiés.

Le mode de représentation adopté pour la réalisation des horaires de circulation des trains à l'aide de CADHOR METRO et pour l'ensemble des lignes du métro a donc été le mode graphique avec un graphiquage automa-

tique de la circulation des trains dans les terminus.

La figure 9 montre sous la loupe le graphiquage automatique.

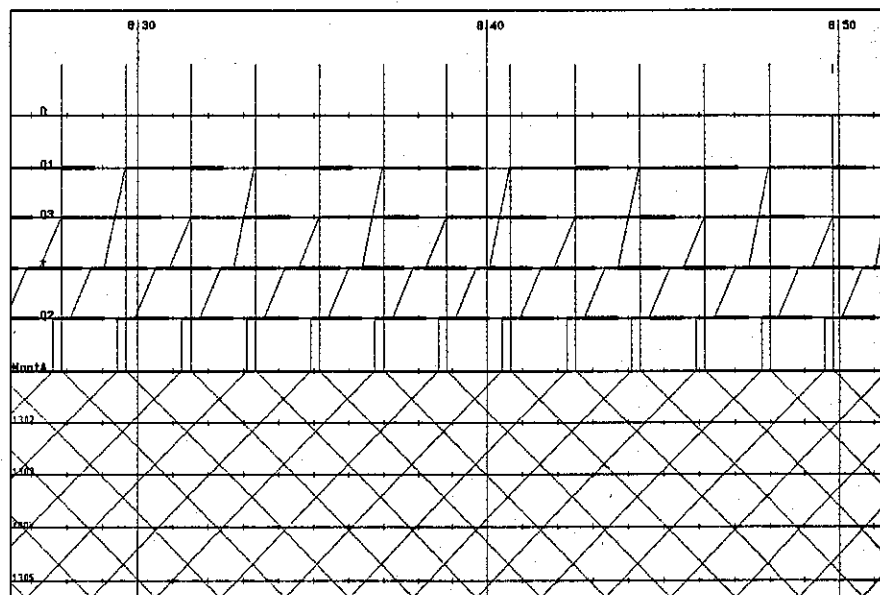


Fig. 9. - Représentation partielle d'un graphiquage automatique.

temps total consacré à cette opération et le nombre de places-kilomètres offertes.

Documents destinés aux exploitants

Parmi les plus importants, nous citerons :

- les programmes des dégarages et garages des trains, à raison de un par terminus, ils indiquent pour chaque train les heures de mise en circulation (ou de retrait) et les positions qui leur sont affectées (fig. 11);
- les garde-temps indiquent, pour chaque terminus, les heures de départ des trains, les marches et les manœuvres prévues au cours de la journée (fig. 12);
- la marche-type pratiquée en service normal donne pour chaque voie les temps cumulés au départ des stations pour les quatre marches utilisées au cours de la journée (fig. 13);
- pour les lignes présentant des branches, un tableau donnant les heures de passage à la divergence et à la convergence est édité;
- des bandes perforées, destinées à alimenter les machines départ implantées au niveau des terminus comme outils d'aide, sont confectionnées,

* STATISTIQUES des MISSIONS VOY et/ou HLP *

Missions VOY Voie 1 Gdep --> Garr Numero	Distance en km	Nom bre	KT	KV	TH
Mont --> Basi (101)	16,859	182	3068,338	15341,690	114h 55.25
Mont --> Basi (102)	16,859	26	438,334	2191,670	15h 32.24
Mont --> Peri (103)	14,760	155	2267,900	11439,000	85h 3. 0
Mont --> Peri (104)	14,760	26	383,760	1918,800	13h 35.29
Inva --> Basi (107)	10,165	4	40,660	203,300	1h 25.28
Inva --> Peri (109)	8,066	1	8,066	40,330	0h 16.57
Clic --> Peri (113)	2,853	3	8,559	42,795	0h 13.54
Play --> Basi (114)	2,371	10	23,710	118,550	0h 38.36
TOTAUX -->		407	6259,227	31296,195	232h 41.13

Missions VOY Voie 2 Gdep --> Garr Numero	Distance en km	Nom bre	KT	KV	TH
Basi --> Mont (201)	16,854	187	3151,698	15758,490	121h 9. 0
Basi --> Mont (202)	16,854	24	404,496	2022,480	14h 34.29
Basi --> Inva (204)	10,162	1	10,162	50,810	0h 22.31
Peri --> Mont (208)	14,796	156	2308,176	11540,880	89h 9.45
Peri --> Mont (209)	14,796	24	355,104	1775,520	12h 46.29
Peri --> Inva (211)	6,104	1	6,104	40,520	0h 18. 1
Inva --> Mont (213)	6,692	10	66,920	334,600	2h 37.10
TOTAUX -->		403	6304,660	31523,300	240h 57.25

TOTAL des MISSIONS VOYAGEURS Voies 1 et 2	Nom bre	KT	KV	TH	VITESSE COMMERCIALE
	810	12563,887	62819,435	473h 38.38	26,526 km/h

Fig. 10. - Éléments statistiques d'un horaire.

DEPARTEMENT METRO
U.S. Horaires et Trafic
Tél : 41580

modifs aux positions pour travaux voie F

PROGRAMME DES GARAGES ET DEGARAGES

HORAIRES : JO 49 A 405

PERIODE : hiver

A DATER DU : 1er septembre 1992

LIGNE : 13 GARE : Châtillon - Montrouge
Porte de Vanves

NOMBRE DE MATERIELS : 19

DEGARAGES DU MATIN			GARAGES DU MATIN			DEGARAGES DU SOIR			GARAGES DU SOIR		
Heure de Départ Train	N° du Train	Position	Heure d' Arrivée Train	N° du Train	Position	Heure de Départ Train	N° du Train	Position	Heure d' Arrivée Train	N° du Train	Position
05.30	20 Q3		09.18	34 5-C	L	13.40	37 3-A		18.09	20 3-C	(2) 2
05.35	21 T		09.49	28 7-A		14.20	38 4-A		18.44	7 7-A	2
05.40	22 Q2		09.56	74 6-A		15.54	39 5-A		18.54	63 4-C	(2) 2
05.45	23 1-A		10.02	25 5-A		16.03	40 8-A		19.21	12 5-C	2
05.50	24 1-C		10.13	70 4-A		16.12	41 7-A		19.24	14 5-B	2
05.55	25 2-C		10.17	50 3-A		16.16	42 1-C		19.28	54 6-A	2
			10.26	51 5-B	L	16.21	43 2-C		19.31	45 5-A	2
06.05	26 3-C					16.24	44 5-C		19.35	58 4-A	2
06.39	27 4-C					16.49	45 5-B		19.36	3 3-A	2
06.58	28 1-C (1)								19.40	59 4-B	2
07.01	29 1-B								19.44	82 3-B	2
07.05	30 2-C (1)								19.48	30 2-B	2
07.18	31 3-A								19.51	31 2-C	2
07.38	32 4-A								19.57	61 1-C	2
07.45	33 5-A								20.13	73 1-B	2
07.51	34 8-A										
07.56	35 7-A								00.55	13 1-A	2
08.11	38 1-C (1)								00.59	35 Q3	2
									01.13	80 T	2
									01.15	56 Q2	2

Fig. 11. - Programme des dégarages et garages des trains.

elles contiennent des informations concernant l'horaire (numéros des trains, heures de départ, marches).

Evolutions en cours

Les bandes perforées sont progressivement remplacées par la fourniture de fichiers informatiques disponibles dans un serveur horaires qui permet de stocker les horaires de circulation des trains réalisés. Ce serveur permet aux exploitants, par une simple procédure au niveau de la machine départ, de recevoir via le réseau téléphonique RATP toutes les informations concernant un horaire donné.

Le serveur télématique 3615 RATP sera également alimenté par des informations issues de la conception et disponibles sur supports informatiques.

Structure informatique du système

Le matériel (fig. 14)

Le système informatique se compose essentiellement de quatre sta-

Tour numéro 1					Tour numéro 2					Tour numéro 3					Tour numéro 4				
S.-T.	Services	Train	Heure	Heure	S.-T.	Services	Train	Heure	Heure	S.-T.	Services	Train	Heure	Heure	S.-T.	Services	Train	Heure	Heure
Arriv. ré.	prévus	réprévus	réprévus	réelle ou Obs.	Arriv. ré.	prévus	réprévus	réprévus	réelle ou Obs.	Arriv. ré.	prévus	réprévus	réprévus	réelle ou Obs.	Arriv. ré.	prévus	réprévus	réprévus	réelle ou Obs.
	AI	01	521 ¹⁵	(C)		3I / A5C	03	646 ³⁰			A5C / BP	03	805 ⁵⁰			AP / AG	53	928 ⁰⁰	
				(V)							A4C / AP	53	0740 [*]			A4C / AG	54	280 ⁰⁰	
	BI	03	2515 [*]	(V)		A1 / 2P	01	5015 [*]			XBC / A2C	78	0930 [*]			A0C / B5	73	3040 [*]	
						2C / A6C	21	5400 [*]			AG	36	1120 [*]			AG / A0C	36		
	AC	20	3000 [*]			A3C	28	5820 [*]			X21 / A5C	55	1310 [*]			BP / AP	03	3420 [*]	
						AC / A7C	20	5840 [*]			A6C / A4C	21	1500 [*]						
	2C	21	3500 [*]			BP	29	70100 [*]			2P / BC	01	1650 [*]			BC / BP	01		
						SC / 3C	23	0320 [*]			3P / 2I	29	1840 [*]			A2C / AG	78	3800 [*]	
	4C	22	4000 [*]			4G	30	0540 [*]			X10P / AGC	56	2030 [*]			A5C / A2C	55		
						4C	22	0800 [*]			A3C / 3P	28	2410 [*]			A6C / BC	56	4140 [*]	
	5C	23	4500 [*]			X5G / 2C / AP	74	1015 [*]	(M2)		A7C / A0P	20	2600 [*]			A4C / A6C	21		
											4G / A0G	30	2750 [*]			10P / A5C	20	4520 [*]	
	4E	04	4730 [*]	(V)		X3I / 2C	07	1230 [*]			3C / A3C	23	2940 [*]			2I / A0P	29		
						4I / 5G	04	1430 [*]			2C / A7C	07	3130 [*]			2P / A4C	79	4900 [*]	
	6C	24	5000 [*]			3C / 20C	25	1620 [*]			XAP / 4G	57	3320 [*]			A3C / 2I	23	5130 [*]	
											4C / A9C	22	3510 [*]			5P	28		
	7C	25	5500 [*]			A8C	31	1810 [*]			20C / 2C	25	3700 [*]			A9C / 2P	22	5400 [*]	
				(M1)		6C / A4C	24	2000 [*]			4P / AAP	74	3850 [*]			10G / A4C	30	5630 [*]	
	X 2I	02	6000 ⁰⁰			XBI / 4C / 3I	08	2150 [*]			3I / 4C	08	4040 [*]			A7C / A8C	07	5900 [*]	
						8G / 3C	26	2340 [*]			5G / 3C	04	4230 [*]			AAP	74		
	8C	26	0500 [*]			BP / AC	02	2530 [*]			A8C / 4P	31	4420 [*]			4G / A0G	57	100130 [*]	
						X7G / 6C	09	2720 [*]			AC / 3I	02	4510 [*]			3C / 3I	04	0400 [*]	
						X5P / 8G	75	2910 [*]			5C / 5G	24	4800 [*]						
	5I	05	0730 [*]	(V)		X9I / BP	10	3100 [*]			BP / A8C	10	4950 [*]						
	X AG	70	1000 [*]			3I / 7G	05	3250 [*]			4C / AC	26	5140 [*]			2C	25		

Fig. 12. - Garde-temps.

tions de travail autonomes qui peuvent dialoguer entre-elles au moyen d'un réseau local de type ETHERNET.

Le réseau permet :

- l'utilisation de données théoriques de références communes et spécifiques aux lignes;
- l'archivage des produits de la conception des horaires;
- la sortie de documents sur les différentes imprimantes dont dispose l'unité.

Chaque station de travail est de type SPARC station IPX, équipée d'une unité centrale avec microprocesseur architecture RISC de 32 bits ainsi que d'une mémoire centrale de 16 M.octets. Elle dispose en outre d'un disque dur de 200 Mo et d'unités de sauvegarde par streamer et disquette 3 1/2. Le processeur graphique alimente un moniteur couleur haute résolution de 19 pouces avec une définition de 1152 x 900 pixels.

L'application CADHOR METRO

Les logiciels ont été dévelop-

pés ⁽³⁾ en langage C, sous le système d'exploitation UNIX, ils reprennent partiellement les techniques traditionnelles de conception des horaires et ont été réalisés en étroite collaboration avec les concepteurs afin que leur savoir-

⁽³⁾ Les marches types sont élaborées à l'aide d'un logiciel spécifique MATYS.

faire soit pris complètement en charge par les informaticiens. Aussi le produit obtenu est autrement plus performant et plus convivial que la méthode manuelle utilisée jusqu'alors.

L'édition d'un graphique de marche des trains fait l'objet d'un logiciel spécifique qui s'appuie sur l'environnement OPEN LOOK.

MARCHE A		STATIONS		MARCHE B		MARCHE C		MARCHE C*		STATIONS		MARCHE D	
voie 1	voie 2			voie 1	voie 2	voie 1	voie 2	voie 1	voie 2			voie 1	voie 2
00 00	34 50	Châtillon-Montrouge		00 00	34 50	00 00	33 20	00 00	32 45	Châtillon-Montrouge		00 00	31 50
01 28	33 27	Malakoff-Rue Etienne Dolei		01 28	33 32	01 23	31 57	01 23	31 22	Malakoff-Rue Etienne Dolei		01 22	30 27
03 21	31 45	Malakoff-Plateau de Vanves		03 22	31 51	03 14	30 16	03 14	29 43	Malakoff-Plateau de Vanves		03 12	28 50
05 03	30 09	Porte de Vanves		05 05	30 16	04 52	28 45	04 52	28 10	Porte de Vanves		04 48	27 19
06 25	28 32	Plaisance		06 28	28 38	06 13	27 13	06 13	26 38	Plaisance		06 06	25 49
07 37	27 14	Pernety		07 41	27 23	07 22	25 58	07 22	25 23	Pernety		07 16	24 36
09 00	25 38	Gallé		09 04	25 48	08 44	24 25	08 44	23 50	Gallé		08 37	23 05
10 40	24 22	Montparnasse-Bienvenue		10 45	24 32	10 16	23 09	10 16	22 34	Montparnasse-Bienvenue		10 07	21 51
12 15	22 35	Duroc		12 21	22 47	11 49	21 29	11 49	20 54	Duroc		11 37	20 14
13 29	21 25	Saint-François-Xavier		13 34	21 38	13 01	20 21	13 01	19 46	Saint-François-Xavier		12 48	19 08
14 46	20 05	Varenne		14 51	20 18	14 18	19 04	14 18	18 29	Varenne		14 02	17 53
16 04	18 51	Invalides		16 10	19 02	15 33	17 52	15 33	17 17	Invalides		15 14	16 43
17 52	16 59	Champs-Élysées-Clémenceau		17 59	17 11	17 13	16 06	17 13	15 31	Champs-Élysées-Clémenceau		16 33	15 02
19 39	15 06	Miromesnil		19 45	15 17	16 52	14 19	16 52	13 44	Miromesnil		16 28	13 19
22 04	12 46	Saint-Lazare		22 05	12 56	21 01	12 04	21 01	11 29	Saint-Lazare		20 33	11 09
23 25	10 40	Liège		23 25	10 46	22 19	10 09	Station fermée		Liège		20 33	10 09
24 59	08 19	Place de Clichy		24 55	09 27	23 42	08 49	23 22	08 49	Place de Clichy		22 52	08 31
26 06	07 55	La Fourche		26 00	08 01	24 43	07 34	24 23	07 34	La Fourche		23 49	07 19
27 59	06 16	Brochant		27 49	06 23	26 29	06 03	26 09	06 03	Brochant		25 30	05 50
29 46	04 43	Porte de Clichy		29 33	04 49	28 10	04 35	27 50	04 35	Porte de Clichy		27 04	04 25
31 47	02 44	Mairie de Clichy		31 32	02 49	30 02	02 42	29 42	02 42	Mairie de Clichy		28 52	02 35
34 15	00 00	Gabriel Péri (1)		34 00	00 00	32 39	00 00	32 10	00 00	Gabriel Péri (1)		31 20	00 00

Fig. 13. - Marche-type pratiquée en service normal. (Ligne n° 13. Notice technique n° 13-501 L. Temps cumulés au départ des stations.)

CADHOR METRO constitue en réalité un ensemble de programmes ou « d'utilitaires », les logiciels réalisés sont ouverts et offrent une très grande souplesse d'utilisation. De multiples fonctions permettent la prise en compte de la grande diversité des configurations, des modes d'exploitation et des contraintes techniques que présente le réseau métro. La structure informatique adoptée réalise à tout instant une modélisation de la circulation des trains en terminus, détecte et signale tout conflit, donne des informations sur la valeur et la répartition du battement dans chaque terminus.

Une modification des fichiers de base des données théoriques en amont de la conception et l'utilisation d'une seule fonction sous la conception permettent d'obtenir un nouvel horaire à partir d'un horaire déjà conçu.

CADHOR METRO peut prendre en compte, sans avoir recours à une modification du programme, toute évolution de la topologie d'une ligne, telle que :

- prolongement;
- création de stations nouvelles;
- création ou suppression de branches.

La maintenance informatique des applications développées est assurée par l'Unité « Horaires et Trafic » qui se charge également de faire évoluer ces applications en vue d'améliorer l'efficacité d'ensemble.

Aspect conversationnel

Les interfaces homme-machine ont été étudiées avec le souci constant d'apporter aux concepteurs la plus grande facilité d'utilisation. Aucune connaissance particulière en informatique n'est requise pour utiliser ces logiciels, néanmoins chaque concepteur a bénéficié d'une formation afin de se familiariser avec le contexte multi-fenêtres (gestion des fenêtres, menus déroulants, boutons...).

Les dispositifs de communication, aujourd'hui classiques, tels que le clavier QWERTY, la souris avec tablette graphique, permettent au concepteur de transmettre au système tous les ordres à exécuter que prévoit la fonction qu'il a sélectionnée (création, destruction, copie ou raccordement de courses...); le système renvoie en retour le concepteur par des messages sur l'état d'avancement de la réalisation.

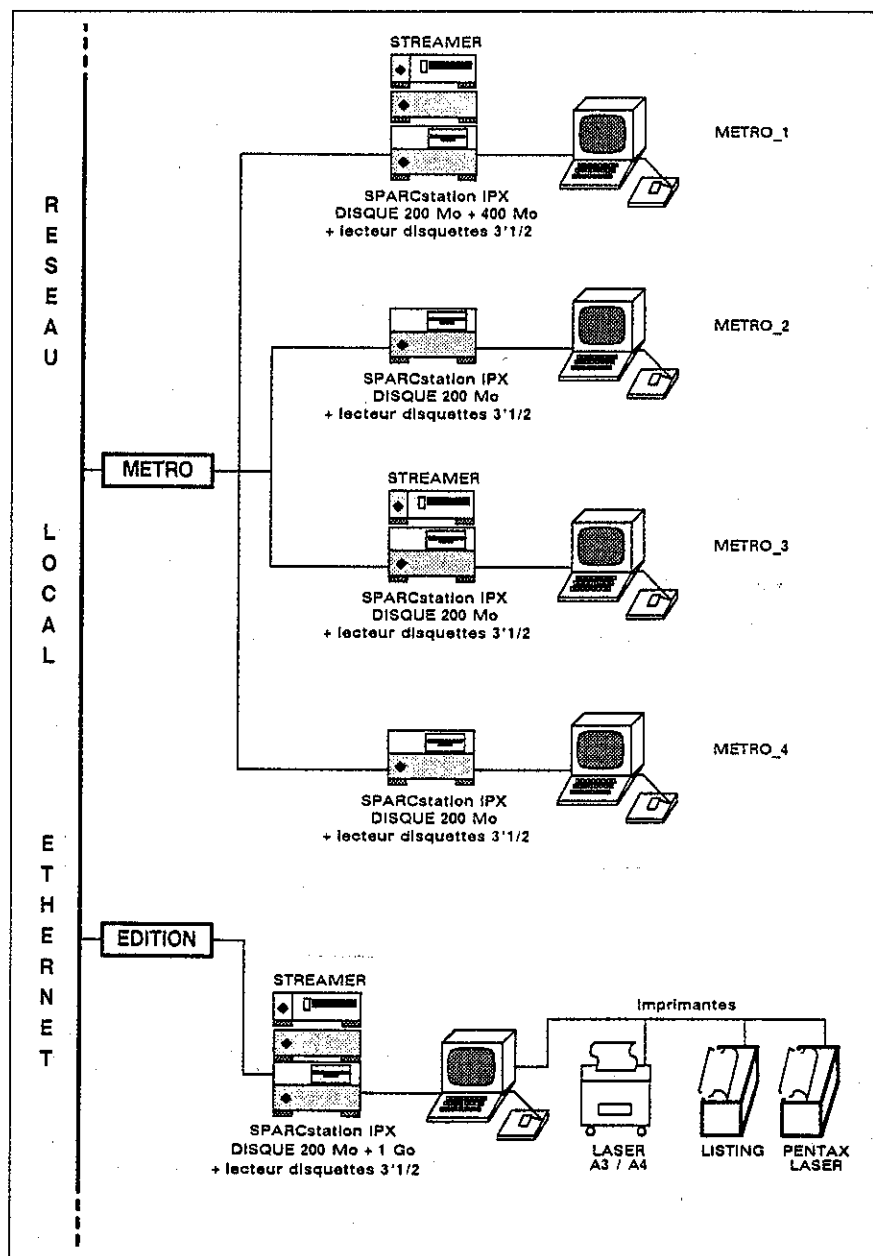


Fig. 14. - Structure informatique du système.

Chaque utilisateur peut personnaliser les couleurs des différents objets (courses, raccordements...) qui sont présents sous la session graphique dans la vue globale comme dans la loupe.

Le système guide le concepteur (messages affichés, propositions de solutions), mais celui-ci reste maître à tout instant de la solution à retenir et de la conduite de l'enchaînement des différentes étapes de conception des horaires.

Le haut niveau d'interactivité qu'offre CADHOR METRO, sans se substituer à l'homme, permet d'obtenir des résultats plus efficaces et de meilleure qualité.

Conclusion

CADHOR METRO est un ensemble moderne de logiciels conviviaux et souples; il constitue un puissant outil d'études, de conception et de traitements des horaires de circulation des trains. Pour une ligne donnée, il permet d'optimiser les capacités d'exploitation offertes par l'infrastructure et le parc de matériel roulant, et renseigne par les nombreuses informations fournies s'il est nécessaire d'ajuster le niveau des investissements et des services.