LA RECHERCHE OPÉRATIONELLE À PLUSIEURS ÉCHELLES DANS LA PLANTIFICATION DU TRAFIC DES MASSES URBAINES

par

G. Gyulai

Chaire de la technologie et de l'organisation des transports, Université Technique de Budapest

(Reçu le 5 avril 1975)
Présenté par Prof. Dr. I. Turányi

1. Introduction

1.1. Considération multilatérale des opérations de la planification

1. *L'urbanisation* et la planification du trafic des masses urbaines, se développant d'une allure vigoureuse dans les limites restreintes de ses possibilités, exigent qu'on suive les phases de l'établissement des plans avec les *méthodes mathématiques* les plus modernes. Les unités participant au trafic croissant remplissent les conditions des masses, les effets celles de la probabilité. En conséquent on peut utiliser un nombre croissant de *modèles stochastiques*, avec une exactitude determinée à l'avance, renfermant avec certitude les effets *essentiels*. Il n'est pas légitime et ne suffit pas d'employer des chiffres moyens qui, même complétés par un coefficient de *dispersion*, ne caractérisent qu'insuffisamment l'allure des paramètres de la circulation.

2. En tenant compte des points de vue *de l'efficacité économique*, on peut choisir d'une manière univoque entre les alternatives qui se présentent au cours de l'établissement des plans, le choix se trouvant appuyé de valeurs limites. Il n'est qu' à formuler les effets positifs et négatifs des paramètres d'influence de manière qu'on en puisse tenir compte *globalement* pour décider chaque fois une opération de l'établissement du plan, d'autant plus que les frais des services exigés retombent sur la population. En conclusion des travaux de planification il serait désirable qu'on intègre ces optima partiels par *programmation dynamique* en un optimum complexe.

Ce raisonnement poursuit donc le double but, d'une part, de réunir les opérations de planification au moyen d'une optique économique uniforme, d'autre part, de baser la construction de l'horaire — but final de la planification — sur des paramètres calculés et optimalisés au cours des travaux préparatifs en remplaçant de données admises routinièrement.

3. Les voyages entre le domicile et le lieu de travail — une partie prépondérante du trafic urbain — revêtent dans la théorie des systèmes la forme d'un *service*, d'une demande peu élastique, dont la nécessité se présente à

des moments et lieux déterminés, étant donnée qu'elle est un des accessoires de la vie quotidienne et de la région desservie [1]. C'est puorquoi il faut chercher l'optimum *conjugué* d'une planification économique et de la manière de penser des voyageurs. Pour ce faire, nous avons plusieurs fois pu chiffrer l'évaluation *psychologique* et les exigences sociales des voyageurs, en forme de «facteurs de réduction» des durées de voyage, caractérisant le mieux le déplacement.

Pour les décisions les plus favorables, dont nous venons de parler, il importe à simuler le procès complexe de la circulation par un modèle. C'est par là qu'on arrive à l'emploi de la recherche opérationnelle (RO), à la construction — dans l'esprit de la recherche opérationnelle — de modèles ou à l'utilisation de modèles mathématiques, géometriques ou analogiques existants dans les opérations de planification et, notamment pour les modèles mathématiques, dans une formulation de plus en plus stochastique.

4. À Budapest, on est forcé déjà à varier d'heure en heure les durées de rotation aux heures de pointe: il faut donc tenir compte pour chacune des lignes de 7 durées de rotation différentes par jour. Le plus de 30,000 horaires nécessaires, la multitude des données exigées par les méthodes de la statistique mathématique, les analyses et les décisions de la RO imposent l'emploi de la *calculatrice* électronique, la formulation *algorithmique* des méthodes mathématiques. Durée de rotation d'une ligne c'est le temps entre deux départs successifs de la même voiture du même point dans la même direction ou entre ses deux passages se succédant dans le même point.

Selon ce qui vient d'être dit, l'organisation de la circulation urbaine doit s'effectuer dans l'esprit

des mathématiques modernes,
de l'économie,
de la psychologie,
de la recherche opérationnelle et
de l'emploi des calculatrices électroniques.

1.2. Les 8 opérations de la planification de la circulation dans l'ordre technologique

Nous employons d'une manière étendue la technique des réseaux — basées sur les lois de graphes — et nous l'utilisons d'une manière démonstrative sur le *réseau isomorphe* au graphe — dans les premières 3 opérations —, de l'établissement du plan jusqu'à la tracé directe de la ligne, à savoir:

Opération I: Recherche entre chacun des couples de points du réseau de courants demandant la dépense minime (de temps) (condition d'économie désignée par É1) selon le principe de Vandorf et selon les courants évalues d'avance.

Opération II: Distribution des courants de voyageurs U autours du trajet optimal, le plus pratiquement suivant le 2e postulat (du cercle) de la théorie des graphes, à l'aide du modèle analogique de Kirchhoff, tout en tenant compte de l'influence des circonstances différentes. Mais dans le dénominateur du modèle on tiendra compte de l'indice de dépense t au moins à la 6e puissance puisque — selon l'expérience — les rapports ainsi obtenus des courants de voyageurs des différents parcours, correspondent le mieux au choix fait par les voyageurs.

$$U_i = U \frac{\frac{1}{t_i} 6}{\sum \left(\frac{1}{t_i}\right)^6}.$$

Opération III: Après avoir élucidé les principes communs de la planification du réseau et de celle des lignes — si le courant de voyageurs donné le justifie — établissement d'une ligne directe, limitée par la longueur de la ligne optimale (É2).

Cela fait, la ligne établie est pourvue de terminus et de véhicules — un problème complexe, demandant l'application d'une grande variété des modèles de la RO.

Opération IV: Allocation de terminus exigeant la moindre marche à pied (É3), puis détermination de sa capacité optimale (pour le tramway du nombre des voies, pour l'autobus des places de stationnement) (É4).

Opération V: Équipement de véhicules des lignes: en se servant de la théorie des jeux (É5) et du modèle de remplacement des voitures mises en rebut (É7), en pourvoyant à assurer les véhicules de réserve nécessaires et en tenant compte de la capacité optimale (É6) des voitures.

A partir de ces données on calcule l'horaire et ses annexes pour la ligne en question:

Opération VI: Calcul à l'aide de la *statistique matématique* de la durée de rotation, base d'un horaire mobilisant, mais en même temps réel (É8) et du nombre optimal des véhicules de reserve, nécessaires au trafic (É9).

Opération VII: Affectation de voitures et du personnel (É10) aux garages (dépôts) et au terminus.

Opération VIII: Synthèse des optimums partiels É1—É10, autant que possible, en se servant d'une programmation dynamique.

2. Le rôle de la recherche opérationelle dans la planification de la circulation

Le problème de la systématisation technologique de la circulation consiste à passer en revue les operations citées de la planification du trafic des masses urbaines. Il faut étudier chaque fois les possibilités de se servir dans les recherches les considérations de la RO et du raisonnement économique, à tenter de synthétiser dans un optimum *complexe* les optimums partiels, marqués de É, toujours en se servant de l'exemple des projets de la nouvelle cité d'habitation à Rákospalota.

2.1. Emploi de la technique des réseaux basée sur les lois de graphes

A I. Étant donné que les lignes de circulation forment eux mêmes des réseaux géographiques, topographiques, il est facile à comprendre qu'on y applique d'une façon étendue les modèles de la technique des réseaux à l'aide d'un graphe isomorphe du réseau de circulation.

Comparaison de notions sur des réseaux isomorphes

Graphe:	Réseau de circulation:
pointes, événements	noeuds
arrêtes, activités	tronçons de ligne
chemin	trajet optimal
point de racine	but commun
arbre	trajets optimals vers un but commun
écoulement	courant, etc.

Dans le domaine de la circulation on utilise les *ensembles de problèmes* suivants de la théorie des graphes [2]:

— recherche de l'écoulement à la dépense minimum,
— application à cet écoulement de modèles analogiques, sur la base de postulats,
— recherche du courant maximum dans le réseau,
— modèles d'allocation,
— solution de problèmes de partition de moindre étendue.

Il faut souligner qu'on emploie la technique des réseaux non seulement à chercher *le chemin critique* ou à résoudre son problème de dualité: c.-à-d. à chercher le trajet optimal dans la circulation, mais aussi à déterminer le tracé des lignes, à organiser le transport des marchandises, à solutionner des questions qui peuvent être formulées dans le modèle du «probléme de transport».

Pour concentrer l'étude aux opérations de la planification du trajet optimal, on doit préciser que ce qu'on désigne dans la littérature par «trajet optimal» est, à proprement parler, le trajet exigeant le minimum de dépense de temps. Il ne sera optimal dans le plus juste sens du terme que si l'on formule un optimum d'ensemble des équivalents des temps de voyage, des amortissements des véhicules (et de la voie) et des frais d'exploitation, dans tous les cas où le trajet de déviation à moindre durée de parcours est plus longue. Pour déterminer le *trajet à dépense de temps minimum*, la plupart des méthodes — à l'exception des algorithmes de Sollin et Hasse [3] —, en s'appuyant du principe de la programmation dynamique, se basent sur la loi de la théorie des graphes aux termes de laquelle: le chemin à la longueur minimum ne peut se composer que des chemins partiels de longueurs minima.

Nous avons préparé pour ce qui vient d'être dit le *programme pour calculatrice électronique* en langage de programmation Algol, en supposant que le trajet optimal est le *duel* du chemin critique. Dans la détermination de la séquence des noeuds nous avons inséré en même temps les conditions aux limites selon Bényei et Nebelung, et celles des frais, ainsi que les limites de capacité. Ces conditions concernent le nombre des changements de voiture et l'acceptation d'un itinéraire plus long dans l'intérêt de la durée de parcours plus courte. La *fonction-but* est la durée du parcours minimal, multipliée par le nombre des voyageurs [4]. Ce procédé a l'avantage que — en première ligne par l'inversion des signes de relation — le programme se prête aussi à l'organisation des travaux de construction des bâtiments pour les transports et des travaux dans les ateliers de réparation. Il se prête aussi à l'étude de l'extension des périodes de pointe, en particulier sur les lignes de liaison.

Dans le diagramme par blocs de la fig. 1: d est la somme des dépenses de temps jusqu'au noeud j, c est le temps nécessaire pour continuer jusqu'au noeud k, i est l'indice du point d'arrivée et n celui du point terminal d'où on analyse le trajet optimal. Enfin d indique, en continuant, la correction nécessaire.

En déterminant les caractéristiques de dépense des différents tronçons, on pouvait tenir compte — en forme de multiplicateurs de réduction, approchés par calcul de corrélation — des facteurs *psychologiques* qui favorisent le choix d'un certain intinéraire ou exercent un effet détournant. On voulait obtenir de cette façon, en tenant compte des exigences des voyageurs, un optimum complexe revêtant pour les services de chaque jour une importance de *politique des masses* [6].

A II. Si l'on charge un tronçon des nombres de voyageurs provenant de la totalité des communications, on trouvera dans un cas favorable que la *capacité* du tronçon n'est pas dépassée. Où elle serait dépassée, on ne pourra charger ce tronçon que du nombre de voyageurs conforme à sa capacité, ensuite — ce tronçon écarté — on répartira l'excédent des voyageurs encore une fois sur le réseau [5].

L'algorithme de Ford-Fulkerson est le modèle technique, servant à déterminer le nombre total des voyageurs (des voitures) qu'on peut laisser passer sur le réseau total entre deux points terminaux.

A III. Pour déterminer le *tracé de la ligne* on se guidait sur le raisonnement économique suivant:

— la limitation de la longueur optimale de ligne, en tenant compte du rapport

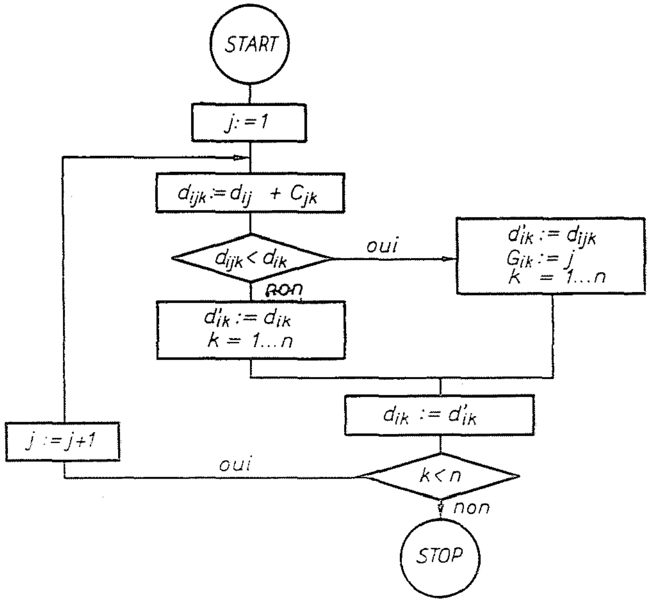

Fig. 1

entre l'équivalent de l'attente des voyageurs en conséquent de l'influence défavorable d'une ligne prolongée et des frais d'une voiture de réserve, d'une part, et entre les effets défavorables d'un changement de voiture (et de la construction de la station terminus) d'autre part;

— ensuite, l'analyse de la capacité optimale des rames et de la densité de circulation partant du fait qu'une circulation moins dense exige moins de dépenses pour les salaires du personnel, etc. mais au contraire elle a pour effet des durées d'attente prolongées pour les voyageurs;
— c'est ici qu'on a inséré la question des navettes, et de la suppression à cause de dépeuplement.

Autres principes servant de base pour la conception de lignes:

— elles doivent suivre les directions principales d'écoulement, mais elles doivent avoir aussi des lignes de décharge;
— un réseau clair, logique et économique;
— une coopération verticale favorable entre les différents moyens de transports;
— une communication directe vers le centre de ville mais aussi vers la banlieue;
— des lignes peu nombreuses — et pas trop longues — sur le même tronçon, typisation des véhicules.

La recherche du trajet optimal est précédée par la génération des nombres de voyageurs dans chacun des noeuds, par la prévision logistique de ces nombres (en tenant compte d'une évolution prolongée), ou plus simplement à l'aide de trends logarithmiques et exponentiels et par le raccordement des points d'aboutissement des courants à l'aide de modèles de probabilité ou de modèles «d'attraction» unifiées. [7].

Dans le modèle $U_{ij} = kf(M_i)f(M_j)t_{ij}^{-x}$ i est la dépendance de probabilité des courants emis à destination j qu'on obtient pratiquement p.e. du nombre M des lieux de travail. k est la caractéristique de motif de voyage, l'exposant $x = 1{,}1 - 3$ caractérise les circonstances de la structure de ville et t est une caractéristique de dépense: par exemple de temps de voyage.

2.2. Emploi d'autres modèles de la recherche opérationnelle dans le trafic des masses urbaines

A IV. Après avoir établi à l'aide du trajet optimal *les tracés des lignes, il faut les équiper* de stations terminus, de voitures et de personnel, enfin, en se basant sur ces données, d'un horaire.

L'implantation des terminus est un probléme d'allocation qu'on résout à l'aide de l'analogie trigonométrique ou mécanique VIAL d'après Föppl [3], tout en cherchant à minimiser d'une manière pondérée la durée de la marche à pied supplémentaire. Pour considérer le problème de la capacité, on pourra se servir du procédé itératif, déduit du *modèle des queues d'attente* au nombre de «canaux» S, nommé par Kaufmann «fonction globale des frais» [8], dans laquelle: il oppose l'occupation de terrain, et surtout l'amortissement de la construction (c'est le lieu à desservir) à l'amortissement des voitures attendantes. Nous avons utilisé ce procédé pour l'étude du projet du terminus de la ligne de tramway 69 dans la nouvelle cité d'habitation.

Soit dit en passant qu'on rencontre ici une analogie intéressante avec le cas du modèle du stockage de matériaux «frais des besoins variables, de manque ou d'emmagasinage»; en effet, au besoin correspond ici le nombre n des unités dans l'événement, tandis que le stock c'est ici le nombre S des canaux.

Par ailleurs, par l'inversion du raisonnement on peut rechercher la *capacité optimale*: pour un nombre S des canaux quel est le nombre m des clients (véhicules) à expedier, pour lequel ce nombre de canaux résulte comme minimum? Enfin, l'idée économique d'une station terminus à deux voies est pareille à la justification d'une *coopération horizontale* sur deux traces parallèles ou entre deux branches d'exploitation.

D'ailleurs, la théorie des queues d'attente s'applique à l'étude prospective à moyenne terme d'un grand nombre de problèmes de la circulation, en particulier à

— la détermination du nombre des voies d'arrivée dans les gares de triage
— aux arrivées, aux arrêts et aux guichets,
— à la détermination du nombre des fosses de réparation et des postes à essence,

— des places de chargement,
— au dimensionnement des centraux téléphoniques.

A V. L'équipement de véhicules est un problème *complexe* qui donne lieu à l'application d'un grand nombre de modèles de la recherche opérationnelle [9], dont les composants sont les suivants:

a) recherche du type de véhicule économique en se servant de la matrice de rentabilité des jeux stratégiques, dont les colonnes contiennent les facteurs d'influence comme le nombre des voyageurs, les prix d'énergie, le tarif, etc., tandis que les opérations de la programmation sont les suivantes [4]:

— détermination du col de la stratégie pure (simple)
— avec la prise en considération de la probabilité des facteurs d'influence,
— à défaut de col, élimination des dominances
— contrôle de la matrice carrée,
— résolution d'un système d'équations linéaires (c'est de cette façon que nous avons décidé de prolonger la ligne d'autobus 96 jusqu'à la nouvelle cité d'habitation);

b) on trouvera la capacité optimale du type de véhicule déterminé en effectuant un calcul différentiel entre l'économie peu satisfaisante des véhicules de petites dimensions et l'équivalent de la durée d'attente des voyageurs, en se servant des méthodes *d'approximation de l'analyse numérique*;

c) le nombre de voitures de réserve, nécessaire pour assurer le trafic donné, résultera du calcul de la durée de rotation, mais on augmentera la valeur obtenue du nombre des voitures remplaçant les voitures non propres à circuler. Évidemment, les véhicules destinés à la réparation générale ne peuvent et ne doivent pas être classés d'après la *moyenne* de la course annuelle, car — comme on a plusieurs fois réussi à établir par le contrôle chi^2 — tant le kilométrage parcouru entre deux réparations générales que la course jounalière montrent une *distribution normale*. De cette façon on obtient le nombre des véhicules qui devront être soumis périodiquement à une réparation générale, par la superposition des deux distributions, en se servant de la *simulation* Monte-Carlo (qu'on peut qualifier de modèle «secondaire»);

d) en cas de pannes survenues en route — nécessitant une réparation en atelier — il faut également remplacer la voiture tombée en panne; on conclue au nombre de ce matériel de remplacement à l'aide d'une équation de *regression* (corrélation) linéaire [4];

(Par exemple, le nombre présumé des pannes de moteur sera égal à $Y = 133 + 0{,}82x$, où x est la durée de service moyenne du type de véhicule, exprimée en 1000 km.)

e) on obtient le moment *optimal du remplacement* de ce nombre total de véhicules, en déterminant la date à laquelle le matériel doit se mettre en vente pour que la dépense totale, rapportée sur l'unité de temps, soit minimale.

Cette dépense totale se compose des frais d'acquisition, de mise en exploitation, de réparation et d'entretien, réduction faite de la valeur du matériel mis en rebut, tout en *prenant l'escompte* des dépenses qui se présenteront dans les années suivantes.

Les programmes en langue Algol de ces opérations sont établis ou ils sont disponibles en forme de sous-programmes; il convient donc de synthétiser — en passant — déjà en cet endroit, ces optima partiels en un optimum commun, en forme d'une opération intermédiaire de l'optimisation.

2.3. *Application de la statistique mathématique*

A VI. Les disciplines de *la statistique mathématique* entrent en ligne de compte surtout pour optimaliser *la durée de rotation et le nombre des voitures de réserve*, car — d'après leur composants et selon le théorème de la distribution limite centrale de Liapounoff —

— la vitesse et la durée de parcours sont de distribution normale (fig. 2);
— les durées d'arrêt sont de distribution logarithmique normale;
— les arrivés et les passages sont de distribution de Poisson (si le diagramme présente un coude, ce fait signale un désordre sur la route à examiner) (fig. 3 [7]);
— les intervalles de temps entre deux véhicules sont de distribution exponentielle, et se déduisent de la distribution de Poisson.

La distribution normale constitue d'ailleurs la base du prélèvement d'échantillons représentatifs lors du comptage des voyageurs.

Après la vérification de la distribution, on pourra déterminer la probabilité de la situation des valeurs de la variable au voisinage de la valeur moyenne ainsi que — d'une manière analogue à la théorie des erreurs — les écarts de la moyenne: c.-à-d. la probabilité d'un *retard* — dépassant cette valeur. En connaissance de la *distribution normale de la durée de parcours* on pose le retard Δ en forme du produit du «coefficient d'authenticité» t, caractéristique de la probabilité cumulative, par la dispersion.

En posant comme retard la fréquence des départs, on peut calculer la *probabilité de la suppression totale d'un parcours et la limite optimale de la mise en service d'une voiture de réserve.*

Par exemple, si la moyenne de la durée de rotation effective de la ligne d'autobus 39 est égale à 46 min, la dispersion σ est égale à 5,12 et la fréquence des départs, fixée dans l'horaire, à 3 min, alors:

$$y = \frac{1}{5{,}12\sqrt{2\pi}} e^{\frac{(x-46)^2}{2\cdot 5{,}12^2}}$$

$$\Delta = t \cdot \sigma\,, \quad t = \frac{3}{5{,}12} = 0{,}587\,.$$

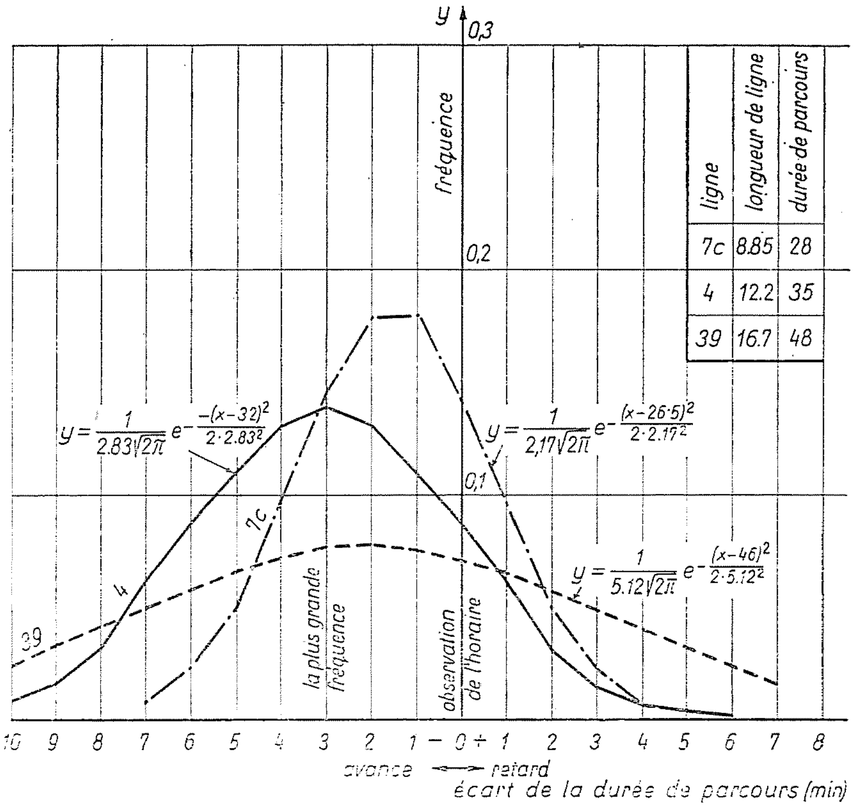

Fig. 2

De la fonction de distribution cumulative on obtient une probabilité de $t = 0{,}587$ pour un retard inférieur à 3 min et un niveau de significance unilatérale: 72,12% (unilatérale, puisqu'il ne s'agit que de retard); la probabilité d'un retard plus grand sera donc 100 — 72,12 = 27,88%.

Mais la mise en service d'une voiture de réserve pour limiter le retard n'est pas une question de la demande. En continuant le calcul de l'optimum il faut mettre en balance l'équivalent de la durée d'attente des voyageurs et les frais d'amortissement du véhicule; d'ailleurs, dans le programme on a calculé également, dans quelle mesure il sera profitable d'augmenter la durée de rotation en but d'éliminer la voiture de réserve [4]. La densité de circulation, calculée de la durée de rotation et de la capacité optimale, fournit les renseignements nécessaires pour établir l'horaire et, quasi comme supplément, on obtient également l'affectation du personnel.

A VII. Dans le modèle du problème de transport, l'affectation du personnel avec le minimum de kilomètres à vide, est un problème à deux échelles, parce que: premièrement, il faut adjoindre les travailleurs en fonction des

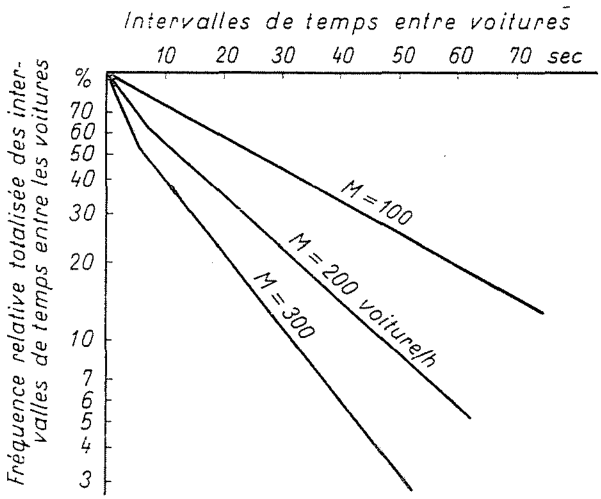

Fig. 3

domiciles à certains dépôts ou garages, ensuite ils seront distribués avec leurs voitures aux terminus. Mais en raison des proportions des frais il s' d'agitabord d'assigner des voitures aux stations terminus (tout en répétant l'opération autant de fois qu'il y a de types de voiture) et puis on équipera les dépôts et garages de l'effectif de personnel ainsi obtenu.

3. Détermination de l'optimum complexe avec la méthode de la programmation dynamique

A VIII. On doit faire la tentative de réunir les optima partiels — autant que la complexité des opérations le permet — dans un optimum complexe, pour éviter qu'un optimum calculé dans une des opérations de la planification ne produise un préjudice plus grand une opération postérieure. Conformément à la méthode de la programmation dynamique [10], l'ordre technique suivi jusqu'ici se modifie, les directions U_m entrent dans *l'ordre de dépendance* des paramètres x_k et les indices k seront identiques aux indices des optima partiels, marqués d'É. Au cours de l'étude des paramètres on trouvera

- des directions ne se rattachant pas aux autres: celles-ci devront être réunies dans une opération spéciale:
- il se rencontre même des paramètres indépendant de toute opération,
- il y a dans le raisonnement des dérivations,
- enfin des effets de réaction qui peuvent — malheureusement — nécessiter une itération.

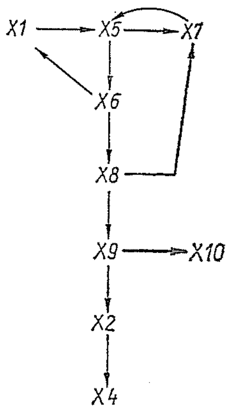

Fig. 4

Il s'impose de commencer *l'opération principale* par la décision sur le type de véhicule (É5 et $x5$) en se servant de la théorie des jeux, en détachant le paramètre $x3$ concernant l'allocation du terminus, tout en considérant le tarif comme constant.

Les directions U de l'opération principale de la programmation dynamique sont les suivantes (Fig. 4)

START type de véhicule DÉVIATION pour le trajet opt. $x1$

U_1......

leur substitution optimale $x7$

U_2......

retour: type de véhicule $x5$

U_3......

leur capactié optimale $x6$ DÉV. pour le trajet opt. $x1$

U_4......

durée de rotation $x8$ DÉV. voiture en réparation, rebut $x7$

U_5......

réserve optimale $x9$ Déviation: dispositions $x10$

U_6......

décision concernant la longueur de ligne $x2$

U_7......

nombre des voies en station terminus $x4$.

Le modèle de l'opération la plus longue de la programmation dynamique est le suivant:

$$W_{\text{opt.}} = W\big(U_1 - U_7(x_5 x_7 x_5 x_6 x_8 x_9 x_2 x_4)\big) \rightarrow \min.$$

Résumé

La planification du trafic des masses urbaines, se développant d'une allure vigoureuse dans ses limites restreintes, ainsi que le choix optimal des paramètres nécessaires pour l'établissement de l'horaire — comme but final — exigent l'emploi des instruments modernes mathématiques et celui des calculatrices électroniques. Partant du caractère de service des transports et de leur caractère de phénomène de masse aléatoire, la planification conduit en huit opérations à l'utilisation de modèles — le plus souvent stochastiques — de la recherche opérationnelle. Enfin l'article synthétise, au moins partiellement à l'aide de la programmation dynamique — les optima partiels des opérations de planification. Il souligne surtout la formulation des modèles tout en renvoyant à l'exposé détaillé et à l'application pratique de ces derniers.

Bibliographie

1. SAROV, Sz.: L'économie de l'administration communale* Tervgazdasági Kiadó, Budapest, 1952.
2. BUSACKER, R.—SAATY, T.: Graphes et réseaux finis*. Műszaki Kiadó, Budapest, 1969.
3. POTTHOFF, G.: Verkehrsströmmungslehre »3«. Transpress, Berlin, 1965.
4. GYULAI, G.: Közlekedéstudományi Szemle, *22*, 428, 1972.
5. JÁNDY, G.: La recherche opérationnelle dans les transports et dans l'implantation*. Műszaki Kiadó, Budapest, 1966.
6. GYULAI, G.: Éléments psychologiques dans la planification du trafic de masse urbain.* Városi Közlekedés, *11*. 239, 1971.
7. KÁDAS, K.: Économie des transports.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1972.
8. KAUFMANN, A.: Méthodes et modèles de la recherche opérationnelle. Dunod, Paris, 1962.
9. GYULAI, G.: Periodica Polytechnica Transport *2*, 31, 1974.
10. VENTCEL, E.: Les éléments de la programmation dynamique.* Közgazdasági Kiadó Budapest, 1969.

* En langue hongroise.

Dr. Géza GYULAI, 1117 Budapest, Schönherz Zoltán u. 25