

EDITH HEURGON

**Développement actuel des méthodes de construction
automatique des tableaux de service**

*Revue française d'automatique, d'informatique et de recherche
opérationnelle. Recherche opérationnelle*, tome 10, n° V1 (1976),
p. 113-119.

http://www.numdam.org/item?id=RO_1976__10_1_113_0

© AFCET, 1976, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Revue française d'automatique, d'informatique et de recherche opérationnelle. Recherche opérationnelle » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/legal.php>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

DÉVELOPPEMENT ACTUEL DES MÉTHODES DE CONSTRUCTION AUTOMATIQUE DES TABLEAUX DE SERVICE (*)

par Edith HEURGON (1)

La section Transportation Science de la société Operations Research of America a organisé, du 27 au 29 avril 1975, un séminaire sur *Les techniques automatiques de construction des tableaux de services dans les entreprises de transport public urbain*. Ce congrès réunissait 135 congressistes, dont 130 américains ou canadiens et 5 européens.

Plutôt que d'analyser de manière exhaustive les 19 communications présentées à Chicago qui portaient pour la plupart sur les méthodes de construction par ordinateur des tableaux de service (les autres concernant l'élaboration des horaires ou des tableaux de roulements), ce bref compte rendu se propose de faire le point sur le développement actuel des techniques, d'en amorcer une comparaison et de dégager d'une part les difficultés spécifiques du problème, d'autre part les divers facteurs devant intervenir dans le choix d'une procédure de résolution.

Dans une entreprise de transport urbain, construire un tableau de services consiste à découper un horaire, généralement fixé, en différents services, respectant les conditions de travail du personnel, de manière à minimiser le coût total de l'opération et à satisfaire au mieux les souhaits des agents.

Les objectifs de l'automatisation varient peu selon les entreprises. Il s'agit de soulager les bureaux des horaires de travaux manuels coûteux et répétitifs, d'insérer ce projet dans un plus vaste système de gestion informatique du personnel et du matériel visant, notamment, à homogénéiser les méthodes de travail, enfin de tester l'incidence pour l'entreprise et pour le personnel de modifications dans les conditions de travail et les règles d'exploitation.

Deux points essentiels déterminent la nature des problèmes à résoudre et, donc, le choix d'une procédure informatique.

(*) Reçu juillet 1975.

(1) Groupe de recherche opérationnelle de la R.A.T.P.

a) *La taille du réseau à traiter simultanément* (que nous apprécierons par le nombre de tronçons à couvrir, si l'on appelle *tronçon* la tâche élémentaire consistant à conduire un véhicule donné pendant une période de temps continue sans relève possible; l'horaire des voitures peut donc être décomposé en un *ensemble de tronçons*). A la R.A.T.P. l'unité d'exploitation est *la ligne*; dans la plupart des autres entreprises représentées à Chicago, les tableaux de services sont établis *en même temps*, soit pour un dépôt entier, soit pour l'ensemble du réseau (ce qui implique naturellement la possibilité pour les agents de passer d'une ligne à l'autre pendant une même partie de service).

b) *Le caractère plus ou moins « contraignant » des conditions de travail* (l'existence, pour la très grande majorité des compagnies américaines, de deux catégories de personnel — les agents *réguliers* et les *extra* — soumis à des réglementations différentes, rend le nombre des solutions réalisables plus élevé qu'à la R.A.T.P. qui n'emploie pas d'*extra* et où le nombre d'équipes est quasiment connu *a priori*).

Le travail du personnel dans les entreprises de transport public se caractérise par l'existence de fortes pointes du matin et du soir, entraînant des services fractionnés à forte amplitude. Il en résulte un ensemble de règles aussi *complexes* que *nombreuses* [1].

On distingue :

a) *les conditions relatives à des services individuels* : limitation des durées des services, des amplitudes, réglementation des pauses, calcul des compensations, etc.

b) *les conditions agrégées relatives à un ensemble de services* : pourcentage minimal imposé de services d'une seule traite, pourcentage maximal d'agents « *extra* », de services en amplitude, etc. (30 % des systèmes ont de telles contraintes).

Il est clair que ces diverses règles influent directement sur la taille et la complexité du problème à résoudre et donc sur le choix d'une procédure de résolution.

LES PROCÉDURES DE RÉOLUTION

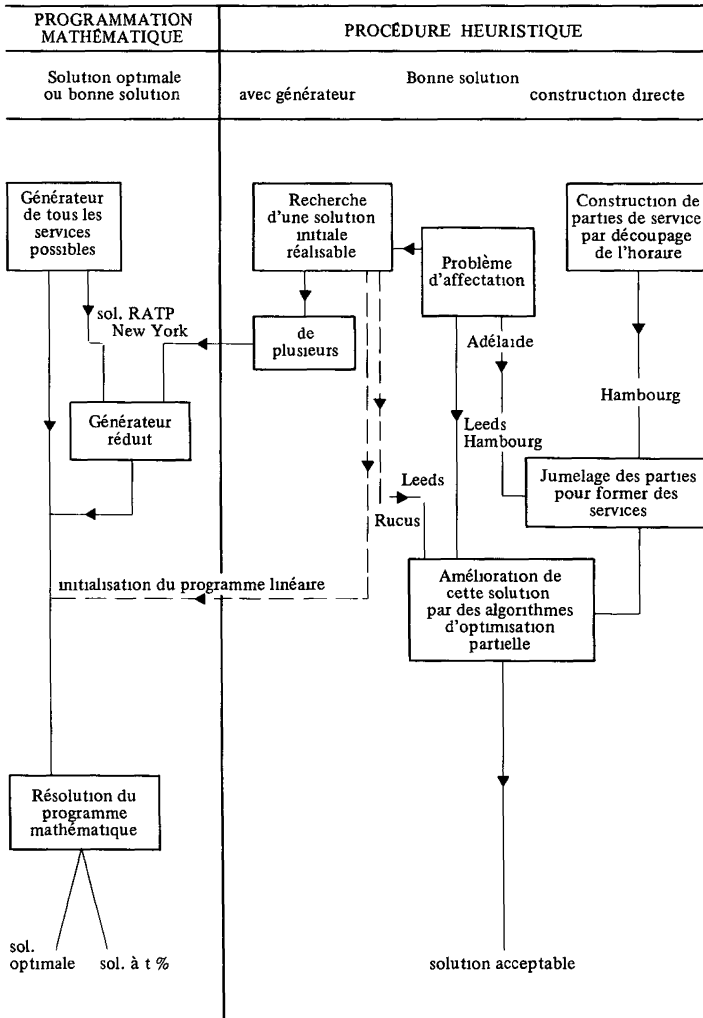
On peut distinguer deux types principaux de méthodes, séparés par toute une gamme de solutions intermédiaires (*cf.* tableau ci-dessous).

A. Programmation mathématique avec génération et évaluation préalables de services

Cette formulation consiste à :

a) *engendrer* systématiquement à partir de l'horaire des voitures tous les services possibles qui satisfont aux conditions de travail (lorsqu'ils se chevauchent, ils sont naturellement incompatibles entre eux);

- b) *calculer*, pour chacun d'eux, un coût en permettant l'évaluation;
- c) *sélectionner* un sous-ensemble de services de coût minimal tel que chaque tronçon soit couvert une fois et une seule.



Ce problème consiste en la résolution d'un programme linéaire en variables entières 0 ou 1, dit encore, plus précisément, *problème de recouvrement exact*.

Dans une telle formulation, les contraintes individuelles sont prises en compte *implicitement* par le générateur. En revanche, s'il existe des contraintes agrégées, elles doivent être introduites *explicitement* dans le programme

mathématique sous la forme d'inégalités portant sur l'ensemble des variables (ce peut être, par exemple, une contrainte de cardinalité fixant le nombre d'équipes).

Générateurs

Si l'on pouvait engendrer effectivement *tous* les services possibles, cette méthode conduirait toujours, étant donné un système de coûts précisément défini et un algorithme de résolution exacte, à la *solution optimale* du problème (dans le cas où elle existe), ou à la preuve qu'il n'en existe aucune.

Comme tel n'est malheureusement pas le cas (compte tenu du développement des algorithmes de programmation mathématique et des possibilités actuelles des ordinateurs), la tâche essentielle consiste à élaborer un *générateur de services réduit* qui, sans comporter un nombre d'éléments excessif, soit néanmoins porteur de bonnes solutions. Il est clair que plus les contraintes individuelles sont fortes, plus la taille du générateur peut être réduite.

Une solution *réalisable* doit d'une part être composée de services statutaires (relativement aux conditions de travail), d'autre part réaliser la couverture de l'horaire. Pour obtenir un *générateur de services réduit*, on peut donc envisager diverses procédures :

1. Sans tenir compte de la couverture de l'horaire, *génération systématique des services* (comme pour l'ensemble de tous les services possibles), mais en tentant de réduire la taille du problème (introduction de contraintes plus fortes, suppression de certaines heures de relève, fixation de divers services *a priori*, etc.).
2. A partir d'un générateur systématique, recherche, par des critères combinatoires ou économiques, d'un sous-ensemble satisfaisant.
3. Élaboration d'un *ensemble de solutions réalisables* quant à la couverture de l'horaire. Les services contenus dans ces solutions constituent alors les éléments du générateur cherché [2, 3].

Résolution

On peut résoudre, aujourd'hui, en un temps de calcul raisonnable (1 à 10 minutes) des problèmes de recouvrement comportant 2 à 3 000 variables (les services) et 100 à 200 contraintes (les tronçons). (A cet égard, deux programmes ont été mis au point à la R.A.T.P. ces dernières années : après une première phase de programmation linéaire, l'un procède par énumération implicite, l'autre introduit une série de troncatures). Nul doute que la présence de contraintes agrégées n'accroisse sensiblement les temps de calcul.

Dès que les dimensions du problème à résoudre dépassent ces limites, et surtout le nombre des contraintes, il n'est pas douteux qu'il faille soit recourir à une autre méthode, soit tenter une décomposition du problème.

A la R.A.T.P. [3]

C'est une méthode de ce type qui a été mise au point avec succès pour les *lignes d'autobus*. Le générateur est construit par la première procédure mentionnée plus haut. Deux contraintes agrégées ont dû être introduites.

Une procédure de même nature est à l'étude pour la construction des tableaux de présence du *réseau ferré*; mais la taille du problème est si importante (environ 800 tronçons), et le nombre des solutions si limité qu'une *décomposition* (matin, après-midi) a été jugée nécessaire.

Au métro de New York [4]

La méthode envisagée comporte deux phases et considère *une seule* ligne de métro à la fois :

- une *procédure heuristique*, qui construit plusieurs tableaux de services acceptables (il s'agit d'un générateur du type 3 mentionné plus haut);
- un *algorithme de programmation mathématique*, qui choisit un sous-ensemble de services de coût minimal.

Les solutions obtenues sont très fortement dépendantes du choix du tronçon initial, et sont en général moins bonnes que celles obtenues à la main. Cela ne nous étonne guère car le générateur utilisé est d'une taille trop limitée pour qu'on puisse espérer trouver des solutions satisfaisantes.

B. Procédures heuristiques combinatoires par construction directe

Ce sont les plus courantes. Très diverses, elles peuvent être efficaces sur des problèmes dont la taille exclut l'application d'une méthode mathématique globale, et pour lesquels on peut déterminer, sans trop de difficultés, *une première solution réalisable* (lorsque les conditions de travail ne sont pas « serrées »), puis *l'améliorer pas à pas*, à l'aide d'algorithmes d'optimisation partielle, jusqu'à ce que soit obtenu un tableau de services satisfaisant.

A l'Université de Leeds [5]

La méthode de construction automatique, élaborée à Leeds depuis 1967 pour une série d'entreprises de transport urbain anglaises, comporte deux phases principales :

- a) construction d'une solution initiale respectant les conditions de travail;
- b) amélioration de cette solution par des algorithmes d'optimisation partielle.

Au départ, des méthodes très simples ont été envisagées pour la première phase, supposant que des heuristiques suffisantes pourraient être développées qui permettraient d'obtenir, à partir d'une solution médiocre, un tableau final satisfaisant. Comme ces techniques d'optimisation se sont révélées en

fin de compte insuffisantes, l'effort s'est porté, dans un second temps, sur la mise au point d'un bon algorithme d'initialisation. Il est intéressant de noter que, dans cette recherche, plusieurs tentatives ont été rejetées et qu'on est passé progressivement d'une position où l'on comptait davantage sur la grande puissance des ordinateurs que sur l'expérience des spécialistes manuels, à une position qui, sans reproduire de manière identique les techniques utilisées à la main, s'en inspire très largement.

Cette méthode a été testée pour 7 entreprises, admettant des conditions de travail très diverses. Ces différences sont prises en compte par le programme au moyen d'un jeu de paramètres, mais aussi de certains sous-programmes spéciaux assurant la validité pour l'entreprise considérée des services construits. Dans six cas, les résultats obtenus par ordinateur sont comparables, quant à leur qualité, aux résultats manuels. Dans le 7^e, le cas du London Transport, où les lignes sont « habillées » indépendamment, il semble que le problème soit trop contraint (nécessité, par exemple, de retoucher l'horaire) pour admettre une solution par ce type de procédure.

Le code américain RUCUS [6]

Trois communications ont été consacrées à la description de ce code que la Mitre Corporation a visiblement pour objectif de commercialiser à travers toute l'Amérique du Nord. Fondée sur une procédure heuristique très voisine au plan théorique de celle de Leeds, le programme nous paraît, à première vue, moins intéressant, et, en toute occurrence, tout à fait inadapté aux problèmes européens.

A partir d'une solution initiale (qui peut comporter quelques tronçons non couverts appelés « trippers »), diverses techniques d'optimisation sont successivement appliquées afin, d'une part, de réduire le nombre des « trippers », d'autre part de diminuer le coût global du tableau obtenu. Certains services ne respectant *pas strictement* les conditions de travail peuvent en résulter.

A Hambourg [7]

Fondé également sur une procédure heuristique, le programme comporte deux phases principales :

— *découpage de l'horaire des voitures* d'un dépôt entier (celui-ci ayant été construit en tenant compte, dans une large mesure, des contraintes d'habillage) et construction de parties de services;

— *combinaison des parties de services* par divers algorithmes d'affectation modifiés, introduits dans un processus itératif.

Des tests de grande taille ont été exécutés sur des données réelles et paraissent satisfaisants.

CONCLUSION

Il apparaît donc clairement qu'il n'existe pas de méthode universelle pour la construction automatique des tableaux de services. Selon les entreprises de transport, les problèmes peuvent être très différents. Ils varient d'une part avec la taille du réseau à traiter simultanément, d'autre part avec le caractère plus ou moins contraignant des conditions de travail. Certaines techniques, mathématiques ou empiriques, se retrouvent néanmoins dans la plupart des procédures : il s'agit, par exemple, de la programmation mathématique, ou du problème d'affectation (qui permet de jumeler, de manière optimale, des parties de services ou des tronçons, et qui peut être utilisé soit pour la recherche d'une solution initiale, soit pour la combinaison optimale de parties préalablement découpées).

REFERENCES

(Il s'agit des communications présentées au Séminaire)

1. G. P. SHARP, *Constraints for Scheduling Operators for Urban Public Transit Systems*, Atlanta, U.S.A.
2. L. BODIN, A. KYDES and D. ROSENFELD, *Approximation Techniques for Automated Manpower Scheduling*.
3. E. HEURGON, *Preparing Duty Rosters for Bus Routes by Computer*, R.A.T.P., France.
4. T. JENKINS, *An Automated Technique for Scheduling Motormen and Conductors for the New York City Subways*, New York, U.S.A.
5. B. MANINGTON and A. WREN, *A General Computer Method for Bus Crew Scheduling*, Leeds, England.
6. E. WILHELM, *Overview of the RUCUS Package Driver Run Cutting Program (RUNS)*, the Mitre Corporation, U.S.A.
7. H. KREGELOH, *Automated Formation of Staff Schedules and Duty Rosters*, H.H.A., Hambourg, West Germany.