

STATISTISCHE INFORMATIONEN
INFORMATIONS STATISTIQUES
INFORMAZIONI STATISTICHE
STATISTISCHE MEDEDELINGEN
STATISTICAL INFORMATION

J.-P. ZAHLEN	Description et étude des principes et techniques modernes de traitement des problèmes d'ordonnement
J. KROMPHARDT	Industriezensus 1963 : Fragenprogramm, Durchführung in den Mitgliedstaaten, Veröffentlichung der Ergebnisse
G. VANGREVELINGHE	Etude de l'exhaustivité du dénombrement dans le recensement démographique français de 1962
M. ZUCKER	Die Finanzierungsrechnung im internationalen Vergleich
R. BUYSE	Produktionsprogramme, Input und Erlöse im Steinkohlenbergbau der Gemeinschaft

1965 - N° 1

**STATISTISCHES AMT
DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN**

Anschriften

Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
Brüssel, Avenue de Tervueren 188a — Tel. 71 00 90
Europäische Atomgemeinschaft
Brüssel, rue Belliard 51 — Tel. 13 40 90
Europäische Gemeinschaft für Kohle und Stahl
Luxemburg, Hotel Staar — Tel. 4 08 41

Zuschriften erbeten an:

Statistisches Amt der Europäischen Gemeinschaften
Avenue de Tervueren 188a
Brüssel 15

**OFFICE STATISTIQUE
DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES**

Adresses

Communauté économique européenne
Bruxelles, 188a, avenue de Tervueren — tél. 71 00 90
Communauté européenne de l'énergie atomique
Bruxelles, 51, rue Belliard — tél. 13 40 90
Communauté européenne du charbon et de l'acier
Luxembourg, Hôtel Staar — tél. 4 08 41

**Adresser la correspondance relative
à cette publication:**

Office statistique des Communautés européennes
188a, avenue de Tervueren
Bruxelles 15

**ISTITUTO STATISTICO
DELLE COMUNITA' EUROPEE**

Indirizzi

Comunità Economica Europea
Bruxelles, 188a, avenue de Tervueren — tel. 71 00 90
Comunità Europea dell'Energia Atomica
Bruxelles, 51, rue Belliard — tel. 13 40 90
Comunità Europea del Carbone e dell'Acciaio
Lussemburgo, Hotel Staar — tel. 4 08 41

**Indirizzare la corrispondenza relativa a questa
pubblicazione a:**

Istituto Statistico delle Comunità Europee
188a, avenue de Tervueren
Bruxelles 15

**BUREAU VOOR DE STATISTIEK
DER EUROPESE GEMEENSCHAPPEN**

Adressen

Europese Economische Gemeenschap
Brussel, Tervurenlaan 188a — tel. 71 00 90
Europese Gemeenschap voor Atoomenergie
Brussel, Belliardstraat 51 — tel. 13 40 90
Europese Gemeenschap voor Kolen en Staal
Luxemburg, Hotel Staar — tel. 4 08 41

**Correspondentie betreffende deze publikatie gelieve
men te richten aan het:**

Bureau voor de Statistiek der Europese Gemeenschappen
Tervurenlaan 188a
Brussel 15

**STATISTICAL OFFICE
OF THE EUROPEAN COMMUNITIES**

Addresses

European Economic Community
Brussels, 188a, avenue de Tervueren. — Tel. 71 00 90
European Atomic Energy Community
Brussels, 51, rue Belliard. — Tel. 13 40 90
European Coal and Steel Community
Luxembourg, Hotel Staar. — Tel. 4 08 41

**Correspondence concerning this publication should
be addressed to:**

Statistical Office of the European Communities
188a, avenue de Tervueren
Brussels 15

**STATISTISCHE INFORMATIONEN
INFORMATIONS STATISTIQUES
INFORMAZIONI STATISTICHE
STATISTISCHE MEDEDELINGEN
STATISTICAL INFORMATION**

**Vierteljahreshefte zur wirtschaftlichen
Integration Europas**

**Cahiers trimestriels de l'intégration
économique européenne**

**Quaderni trimestrali sulla integrazione
economica europea**

**Kwartaaluitgave betreffende de Europese
economische integratie**

**Quarterly review of economic
integration in Europe**

1965 — No. 1

Redaktionskomitee :

Prof. R. Wagenführ, Generaldirektor
R. Dumas, Direktor
R. Sannwald, Abteilungsleiter

Manuskripte und Besprechungsexemplare sind zu richten an :

R. Sannwald
Statistisches Amt der Europäischen Gemeinschaften
188a, av. de Tervueren, Brüssel - Tel. 71.00.90

In den gezeichneten Beiträgen äußern die Autoren ausschließlich ihre persönlichen Ansichten.

Inhaltswiedergabe nur mit Quellennachweis gestattet.

Comité de rédaction :

Prof. R. Wagenführ, directeur général
R. Dumas, directeur
R. Sannwald, chef de division

Manuscrits et ouvrages à critiquer doivent être adressés à :

R. Sannwald
Office statistique des Communautés européennes
188a, av. de Tervueren, Bruxelles - Tél. 71.00.90

Les opinions exprimées dans les articles signés reflètent es vues personnelles de leurs auteurs.

La reproduction des articles est subordonnée à l'Indication de la source.

Comitato di redazione :

Prof. R. Wagenführ, Direttore generale
R. Dumas, Direttore
R. Sannwald, Capo divisione

Manoscritti e testi da recensire devono essere indirizzati a :

R. Sannwald
Istituto statistico delle Comunità europee
188a, av. de Tervueren, Bruxelles - Tel. 71.00.90

Le opinioni espresse negli articoli firmati riflettono i punti di vista dei rispettivi autori.

La riproduzione del contenuto è subordinata alla citazione della fonte.

Redactiecommissie :

Prof. R. Wagenführ, Directeur-Generaal
R. Dumas, Directeur
R. Sannwald, Afdelingshoofd

Manuscripten en exemplaren ter bespreking zijn te richten aan :

R. Sannwald
Bureau voor de Statistiek der Europese Gemeenschappen
Tervurenlaan 188a, Brussel - Tel. 71.00.90

De in de onderstaande artikelen geuite meningen komen geheel voor rekening van de schrijvers.

Het overnemen van gegevens is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.

Editorial Board :

Prof. R. Wagenführ, Director General
R. Dumas, Director
R. Sannwald, Head of Division

Manuscripts and review copies should be sent to :

R. Sannwald
Statistical Office of the European Communities
188a, av. de Tervueren, Brussels - Tel. 71.00.90

Views expressed in signed articles are those of the authors only.

Reproduction of the contents of this publication is subject to acknowledgement of the source.

Inhaltsverzeichnis
Sommaire
Sommario
Inhoudsopgave
Summary

		pag.
J.-P. Zahlen	Description et étude des principes et techniques modernes de traitement des problèmes d'ordonnement	5
J. Kromphardt	Industriezensus 1963: Fragenprogramm, Durchführung in den Mitgliedstaaten, Veröffentlichung der Ergebnisse	77
G. Vangrevelinghe	Etude de l'exhaustivité du dénombrement dans le recensement démographique français de 1962	95
M. Zucker	Die Finanzierungsrechnung im internationalen Vergleich	137
R. Buyse	Produktionsprogramme, Input und Erlöse im Steinkohlenbergbau der Gemeinschaft	153

Bei hinreichender Nachfrage werden den Abonnenten der « Statistischen Informationen » auf Wunsch Übersetzungen der Artikel in den übrigen Amtssprachen der Gemeinschaft zur Verfügung gestellt.

Si le nombre de demandes est suffisant, les abonnés des « Informations statistiques » pourront obtenir les traductions des articles dans les autres langues de la Communauté.

Gli abbonati alle « Informazioni Statistiche » potranno ottenere la traduzione degli articoli nelle altre lingue della Comunità, qualora vi sia un numero sufficiente di domande.

Bij voldoende vraag kunnen de abonnees van « Statistische Mededelingen » op aanvraag vertalingen van artikelen in de andere talen van de Gemeenschap verkrijgen.

Articles in « Statistical Information » can be made available in any of the official languages of the Community, if demand from readers is sufficient.

Description et étude des principes et techniques modernes de traitement des problèmes d'ordonnancement

J.-P. ZAHLEN, Differdange, Luxembourg

L'Office statistique des Communautés européennes s'efforce systématiquement de tenir ses lecteurs au courant des progrès réalisés en ce qui concerne la coopération et l'intégration en matière statistique en Europe. De plus, il rend compte occasionnellement des développements les plus récents de la théorie et des méthodes statistiques en général.

L'article ci-dessous traite de l'application de la théorie des graphes aux problèmes d'ordonnancement, une technique encore peu connue dans la plupart des pays de la Communauté. L'auteur, J.-P. ZAHLEN, diplômé de l'Institut de Statistique de l'Université de Paris, est un ancien collaborateur de l'Office, qui travaille depuis déjà longtemps dans la grande industrie luxembourgeoise ce qui lui donne notamment l'expérience concrète de l'utilisation des méthodes statistiques modernes. M. ZAHLEN enseigne également la statistique mathématique au Centre Européen de formation des statisticiens-économistes des pays en voie de développement. Le texte qui suit est tiré d'une conférence faite à l'Université de Heidelberg par M. ZAHLEN le 17 juillet 1964.

R. WAGENFÜHR

Contenu	Pages
I. Introduction générale	7
II. Physionomie des problèmes d'ordonnancement	8
A. Introduction	8
B. Caractéristiques des problèmes sous revue	8
C. Approfondissement des notions de base	9
a) Réalisation d'ensembles complexes: domaines d'application et exemples	9
b) Opérations ou tâches	10
c) Contraintes	10
d) Critères de choix	11
D. Historique	12
a) Représentation usuelle d'un programme temporel	12
b) Bref historique des méthodes et modes de représentation nouveaux	12
III. Présentation de quelques concepts élémentaires de la théorie des graphes	14
A. Introduction	14
B. Rappel de quelques symboles de la théorie des ensembles	15
C. Notions et définitions	15
D. Signification d'un graphe et de sa représentation matérielle	18

	Pages
IV. Application de la théorie des graphes aux problèmes d'ordonnancement	19
A. Détermination d'un programme optimal en cas d'adoption d'un critère temporel	19
a) Représentation d'un programme temporel	19
b) Etude directe d'un programme temporel	21
c) Formulations mathématiques du problème sous revue	23
d) Nature du problème. Résolution à l'aide d'algorithmes	25
e) Suite de l'étude d'un programme temporel: marges opératoires	25
B. Détermination d'un programme optimal en cas d'adoption d'un critère de coût	28
a) Relation entre durée et coût d'une opération	28
b) Programme « normal » et programme « accéléré »	29
c) Coût global d'un programme représenté en fonction de sa durée totale	29
d) Effet des modifications apportées aux durées opératoires	30
V. Description et étude des principales méthodes d'ordonnancement	32
A. Critical Path Method	32
a) Rappel historique	32
b) Optimisation d'un programme temporel avec des contraintes du type « potentiel »	32
c) Optimisation des coûts d'un programme temporel	36
d) Prise en charge de contraintes cumulatives	36
B. Méthode des potentiels de B. Roy	37
a) Introduction	37
b) Enoncé et formulation mathématique des principales contraintes	38
c) Traduction et représentation des contraintes par le graphe	39
d) Problèmes d'ordonnancement	40
C. Least Cost Estimating and Scheduling	44
a) Rappel historique	44
b) Optimisation d'un programme temporel à contraintes du type potentiel	44
c) Introduction de contraintes « cumulatives » et de critères de charge	45
d) Optimisation des fonctions économiques des coûts	45
e) Remarque d'ordre général	50
D. Program Evaluation and Review Technique	50
a) P.E.R.T.-Time	50
b) P.E.R.T.-Cost	58
VI. Rôle général joué par l'ordinateur	60
VII. Nouveaux domaines de recherche	62
A. Optimisation simultanée de plusieurs projets	62
a) Position du problème	62
b) Tentative de solution: le R.A.M.P.S.	62
B. Introduction de contraintes « disjonctives » dans un graphe	62
Position du problème et état actuel des recherches	62
C. Programme de recherches où le déroulement des travaux n'est pas connu à l'avance, mais dépend du résultat de certains événements décisionnels	63
a) Position du problème et tentative de solution	63
b) Exemple	63
c) Entropie relative	64
d) Remarques critiques	64
VIII. Bibliographie	65

A. INTRODUCTION GÉNÉRALE

On connaît l'essor prodigieux qu'a pris la recherche opérationnelle (appelée « Operational Research » en Grande-Bretagne et « Operations Research » aux États-Unis) depuis 1939 d'abord chez les Anglo-Saxons et ensuite chez d'autres. Elle s'est développée au départ notamment grâce au puissant stimulant que constituaient les préoccupations militaires des Alliés (défense anti-aérienne, protection des convois etc.), mais ne tarda pas à être rapidement appliquée après la seconde guerre mondiale à des problèmes industriels (accroissement de la rentabilité, amélioration de la production, des organismes de vente etc.).

Différentes définitions de la R.O. (abréviation consacrée par l'usage) ont été proposées :

- méthode de solution de problèmes complexes à l'aide de modèles mathématiques (Wiezorke [54]);
- méthode d'analyse scientifique des problèmes d'organisation (Faure, Boss, Le Garff [14]);
- application des techniques de préparation scientifique des décisions (cf. même référence que [1], Cahier n° 3, 1962, p. 11);
- ensemble des méthodes qui — après avoir analysé, grâce au recours aux diverses disciplines scientifiques en cause, les relations unissant tous les facteurs d'ordre technique ou psychologique concourant à la formation d'un phénomène économique ou humain — se proposent, en vue de préparer les décisions à prendre, de déterminer rationnellement les solutions les plus efficaces ou les plus économiques, en faisant appel à des procédés dont la mise en œuvre exige parfois l'emploi de machines mécanographiques à débit extrêmement rapide (A.A. Brunet dans sa préface au tome I de Kaufmann [33]) etc.,

et ce malgré la difficulté évidente de délimiter une fois pour toutes un domaine en pleine expansion.

Il serait naturellement plus facile d'en cerner le concept en indiquant les traits caractéristiques de la R.O. Nous dépasserions, toutefois, notre sujet en nous livrant à cette besogne. Nous optons, pour nos besoins, pour la troisième définition due à J. Mothes.

Pour le reste, nous croyons que notre aperçu sur les problèmes d'ordonnancement — quoique consacré seulement à un secteur particulier de la R.O. — permettra au lecteur de mieux se pénétrer de l'esprit de ce jeu de méthodes que ne le ferait une simple étude des mérites comparés des différentes définitions. Nous espérons que l'étude des problèmes d'ordonnancement entreprise ci-après constitue une excellente introduction à la R.O., en ce sens que les traits caractéristiques de cette dernière y apparaissent de façon très nette (développement des méthodes des organisateurs traditionnels, recherche de solutions optima, intervention de méthodes mathématiques, de l'ordinateur etc.).

Bien qu'en R.O. on dispose d'ores et déjà d'instruments variés pour attaquer de nombreux problèmes, de nouvelles techniques puissantes ont été mises au point ces dernières années et ont été adaptées tant à des problèmes anciens, attaqués jusqu'alors par des méthodes moins efficaces, qu'à des problèmes d'un genre entièrement nouveau.

Tel est entre autres le cas pour les problèmes d'ordonnancement que nous nous proposons d'exposer et d'étudier dans le présent article. Le traitement de cette catégorie de problèmes à l'aide de la théorie des graphes s'est, en effet, révélé plus simple et plus efficace que les autres méthodes et modes de représentation et d'étude en vigueur jusqu'alors (diagrammes de Gantt et de Landauer, méthode du «simplex»). D'autre part, des problèmes nouveaux ont apparu qu'on n'avait jamais traités auparavant.

Si nous voulons situer les problèmes sous revue dans le cadre de la R.O., le mieux que nous puissions faire est de les rattacher à une des subdivisions de cette dernière, telles qu'elles sont p. ex. distinguées dans un livre désormais classique (Churchman, Ackoff, Arnoff [10]):

- problèmes de stocks;
- problèmes d'affectation;
- problèmes d'attente;
- problèmes de renouvellement et d'entretien;
- problèmes de concurrence,

une sixième catégorie (assez vaste) ayant trait aux problèmes « combinés », tels que les problèmes « stocks-affectations - files d'attente » p. ex.

Les problèmes d'ordonnement, dont l'analyse mathématique n'a été entreprise qu'assez récemment (en dépit de leur importance capitale dans de nombreux domaines), forment une variété des problèmes d'attente au sens large.

Nous nous proposons de donner ci-après un aperçu des principes et méthodes de traitement de ces problèmes.

A cet effet, nous approfondirons successivement les caractéristiques:

- des problèmes d'ordonnement;
- de leur instrument d'attaque principal (la théorie des graphes);
- des méthodes générales propres à cette dernière;
- des différents systèmes de traitement nouveaux;
- du rôle qu'y joue l'ordinateur;
- des nouveaux domaines de recherche.

Les chapitres correspondants sont intitulés respectivement:

2. Physionomie des problèmes d'ordonnement.
3. Présentation de quelques concepts élémentaires de la théorie des graphes.
4. Application de la théorie des graphes aux problèmes d'ordonnement.
5. Description et étude des principales méthodes d'ordonnement.
6. Rôle général joué par l'ordinateur.
7. Nouveaux domaines de recherche.

Une place importante, finalement, a été réservée à la bibliographie (cf. chapitre VIII). Nous y avons renseigné non seulement les références données dans le texte et les ouvrages que nous avons plus directement consultés, mais également un assez grand nombre de livres et d'articles traitant en profondeur certains sujets particuliers. Nous espérons que cette abondante bibliographie aidera le lecteur désireux d'approfondir tel ou tel aspect des problèmes sous revue.

II. PHYSIONOMIE DES PROBLÈMES D'ORDONNEMENT

A. Introduction

Le présent chapitre a pour but essentiel de préciser la nature des problèmes d'ordonnement et de replacer les différents systèmes de traitement connus à ce jour dans leur contexte historique.

Nous étudierons, à cet effet, successivement les trois sections suivantes:

- caractéristiques des problèmes d'ordonnement;
- approfondissement des notions de base;
- historique.

B. Caractéristiques des problèmes sous revue

Précisons d'abord la portée du terme « problèmes d'ordonnement »:

On entend par là en français (Kaufmann [33], p. 11) à la fois des problèmes « où l'on s'intéresse à l'instant où un événement se produit » et ceux « où l'on se propose de faire succéder des opérations dans un cer-

tain ordre ». Nous nous intéresserons notamment à la première catégorie de problèmes (dont la description s'appelle « scheduling » en anglais), quoique la seconde intervienne incidemment dans la méthode R.A.M.P.S. (cf. VII, A, b) qui pose entre autres un problème de « sequencing ».

Dans un problème de « scheduling », les conditions suivantes sont réunies :

- on a à réaliser un ensemble complexe de travaux, décomposables en « opérations » ou « tâches » ;
- ces tâches sont soumises à un certain nombre de « contraintes » concernant leur réalisation ; contraintes qui expriment par exemple que les durées de certaines tâches ne peuvent pas rester en dessous de certaines durées minima, déterminés par des raisons techniques par exemple, que telle ou telle opération doit être terminée, pour des raisons économiques, au plus tard à une date déterminée ou doit débiter pour des raisons climatiques au plus tôt à une époque déterminée etc. Les contraintes peuvent également avoir trait aux « moyens » requis (main-d'œuvre, machines, crédits etc.) ;
- l'ordre de réalisation des tâches est guidé par un critère de choix qui peut être la durée totale minimale du projet, son coût minimal etc.

Il est souvent possible de formuler ces conditions sous forme analytique et il existe des méthodes mathématiques qui permettent de déterminer l' (ou les) ordonnancement(s) optimal(aux).

Un « ordonnancement » étant un plan d'exécution des tâches, compatible avec les contraintes (supposées connues), on cherche à déterminer les dates de début et de fin de chaque tâche afférente. Ce qui intéresse normalement est la détermination de l'ensemble de ces dates ou « époques » qui sont telles que la durée totale d'exécution des travaux soit minimale, un ordonnancement « minimal » de ce genre étant caractérisé par le fait qu'on ne peut commencer plus tôt la réalisation d'aucune tâche, sans qu'au moins une autre soit retardée.

L'ensemble des époques de début des tâches qu'on s'efforce ainsi de déterminer en les plaçant dans un certain ordre chronologique tributaire des contraintes, est encore souvent appelé un « programme temporel ».

Avant d'approfondir plus loin les notions de base abstraites que nous venons d'introduire, nous esquissons ci-après un cas concret, souvent cité comme exemple : L'ensemble complexe de travaux à réaliser consiste dans la construction d'un immeuble. Une liste non limitative (et non ordonnée) des tâches serait dans ce cas : excavation, maçonnerie, ossature métallique, rideau de façade, câblage électrique, ..., plomberie extérieure et intérieure, plafonnage, ..., charpente du toit, couverture, finissage, nettoyage...

Il existe un grand nombre de contraintes dont nous n'examinerons que quelques-unes : L'excavation se situe au départ. Le rideau de façade ne peut se faire qu'au plus tôt une semaine après l'excavation. Le plafonnage intervient au plus tôt 5 semaines après la plomberie intérieure et le câblage électrique. Le nettoyage présuppose qu'il y a au moins un écart de 6 semaines par rapport au début des travaux de maçonnerie etc., etc.

Ce qu'on veut connaître, ce sont les dates de début de toutes les tâches (le début de l'excavation se plaçant à l'époque 0), la durée totale minimale de l'ensemble des travaux etc. A partir de la connaissance du programme temporel, on obtient ensuite des informations importantes sur les tâches dites « critiques », les marges des opérations non critiques etc. (cf. IV, A).

Dans l'exemple sous revue, on se place donc dans l'hypothèse de l'existence d'un critère temporel.

Toutes ces notions seront soumises à une analyse approfondie avant d'être reprises dans les chapitres suivants.

C. Approfondissement des notions de base

a) Réalisation d'ensembles complexes : domaines d'application et exemples

C'est aux services de production des entreprises que les problèmes d'ordonnancement se sont posés en premier lieu. Ils découlaient tout naturellement du souci permanent des organisateurs de ces services

d'employer « au mieux » — eu égard aux critères de choix retenus — les installations qui leur étaient confiées.

Les méthodes que nous exposerons dans la suite s'appliquent avec le même bonheur à la construction mécanique et au bâtiment. Elles peuvent avoir trait à la

construction de nouvelles installations industrielles comme à l'entretien d'un matériel en état de fonctionnement. On peut, grâce à elles, ordonnancer au mieux un programme de cours dans les universités ou organiser le flux des informations dans les circuits administratifs ou comptables d'un grand organisme d'assurances par exemple etc., le but visé étant dans tous ces cas d'arriver à un emploi optimal du temps, compte tenu des contraintes.

On devine que les cas d'application tombant sous le vocable de réalisation d'ensembles techniques complexes (construction d'un barrage, d'une aciérie, d'un navire, d'un groupe d'immeubles, établissement d'une chaîne de montage d'une fabrication etc.) ou planification d'activités complexes (mise en place de circuits comptables, organisation d'un programme de cours, d'un atelier de montage etc.) sont fort nombreux.

b) Opérations ou tâches

1. Portée de cette notion

L'extension (au sens logique) du terme « opération » ou « tâche » dépasse celle acceptée dans le langage courant. Dans le traitement des problèmes d'ordonnancement, non seulement le montage d'une charpente, mais la formation d'un personnel non qualifié, les délais de livraison de certaines fournitures etc. constituent de véritables « tâches » au sens des nouvelles méthodes.

2. Finesse du découpage des tâches

On conçoit qu'on peut pousser plus ou moins loin la décomposition en « tâches » ou « opérations » d'un ensemble complexe. Dans le cas de la construction d'une maison unifamiliale par exemple, on peut grouper un ensemble de tâches sous le vocable « finissage », mais on peut également y distinguer certaines tâches plus élémentaires.

Même pour un degré de subdivisions donné, la décomposition n'est pas forcément unique.

Le découpage définitif doit souvent faire l'objet d'un examen approfondi. Aussi, la définition des opérations constitutives demande à la fois une certaine expérience des problèmes d'ordonnancement et des connaissances technologiques étendues du secteur d'activité où ils se posent.

La finesse du découpage devra être assez homogène et équilibrée, c'est-à-dire qu'il est souhaitable que les durées des tâches soient du même ordre de grandeur.

3. Continuité

Il conviendra de veiller à ce qu'on ne considère de prime abord que des tâches normalement continues, de façon qu'en ajoutant la durée d'une tâche à la date de son début on arrive à la date de son achèvement. Il faut de toute façon que les dates de début et les durées d'exécution des opérations aient dans chaque cas une signification concrète.

4. Homogénéité des moyens mis en œuvre

On vise, dans la mesure du possible, à distinguer des opérations qui mettent en œuvre les mêmes « moyens » en entendant par là le matériel (outillage, manutention) ou un sous-groupe homogène de l'effectif global ouvrier ou employés (corps de métier, comptables). En pratique, on s'efforce encore de séparer des faits techniquement différents.

5. Stabilité des contraintes

On a également intérêt à ne prendre en considération que des contraintes normalement stables, c'est-à-dire à éviter de grouper en une seule tâche des opérations, pour lesquelles il existe des contraintes différentes vis-à-vis des autres tâches.

6. Emploi de codes « opérations »

Pour un traitement sur ordinateur d'un problème d'ordonnancement, on se servira des codes « opérations » qui sont actuellement disponibles.

Il convient de ne pas sous-estimer la phase de définition et d'analyse des tâches que nous supposons dans la suite réalisée, mais qui, dans chaque cas particulier, exige un certain effort de la part de « l'ordonnateur ».

c) Contraintes

La plupart des opérations ne peuvent pas être effectuées n'importe comment, ni surtout n'importe quand.

1. Exemples concrets

Ainsi, pour des raisons techniques, certaines tâches ne peuvent démarrer que lorsqu'une autre est achevée (séchage du béton par exemple dans le bâtiment).

Certaines fournitures arrivant au plus tôt à une date déterminée, certains travaux ne peuvent commencer qu'après leur arrivée.

Des raisons commerciales imposent l'achèvement de certaines opérations avant un délai déterminé.

On ne peut pas faire des excavations à n'importe quel moment de l'année: le climat peut jouer le rôle d'une contrainte à respecter.

Lorsqu'on ne dispose que d'une main-d'œuvre limitée, ceci se répercute fatalement et sur la durée d'exécution totale et sur celle des différentes tâches.

Dans un ordre d'idées analogue, un matériel rare (grue par exemple) oblige à prendre successivement (et non pas simultanément) en compte certaines tâches.

Ces « limitations » exprimées sous forme analytique sont appelées des « contraintes ».

2. Différents types de contraintes

On peut distinguer avec B. Roy ([48], p. 7) des contraintes du type potentiel qui ont trait aux relations d'ordre: antériorité, postériorité et simultanéité de certaines tâches. Les quatre premiers exemples cités plus haut relèvent de ce type. On distingue deux sous-groupes: les contraintes de « localisation » (qui imposent à une tâche donnée d'être située dans le temps à un certain moment, de ne pas démarrer plus tôt qu'une certaine époque, d'être achevée au plus tard à une époque donnée) et les contraintes dites de « succession » qui limitent la durée qui s'écoule entre les débuts de deux tâches (certaines tâches ne peuvent débuter avant que d'autres aient atteint un degré d'avancement déterminé).

Des contraintes d'un autre type dites « disjonctives » peuvent s'introduire et s'ajouter aux contraintes précitées (cf. plus haut l'exemple de la grue): lorsqu'un moyen rare ne peut être affecté en même temps à deux tâches, ces dernières doivent être exécutées pendant des intervalles de temps « disjoints ».

Finalement, des contraintes « cumulatives » apparaissent en général quand, lors d'un plan d'exécution, on doit tenir compte de la limitation de la main-d'œuvre, ce qui a des répercussions évidentes sur l'importance de son affectation aux différentes tâches au cours du déroulement du programme et, partant, également sur leurs durées.

Si, pour un corps de métier donné, on cumule les besoins en main-d'œuvre sur l'ensemble des tâches (besoins qui sont fonction non seulement de la tâche, du corps de métier et de l'instant où on les évalue, mais également de la date de début et de la durée de la tâche), on trouve ce qu'on appelle la « courbe de charge ». Cette dernière peut être soumise à des contraintes (limite supérieure à ne pas dépasser par exemple).

d) Critères de choix

Nous avons dit plus haut que, dans les problèmes étudiés, on s'efforce de réaliser « au mieux » l'ensemble des tâches considérées.

Ceci ne peut se faire qu'en adoptant un critère de valeur, à la lumière duquel les différentes solutions possibles doivent être appréciées.

1. Différentes catégories

On distingue avec B. Roy les quatre grandes catégories suivantes de critères de choix:

- les critères temporels;
- les critères de coût;
- les critères de charge;
- les critères de production.

Les premiers ont trait aux dates de début et de fin des opérations, ainsi qu'à la durée totale d'exécution. On se propose de rechercher l'ordonnancement permettant de commencer toutes les tâches le plus tôt ou le plus tard possible, compte tenu des contraintes recensées antérieurement.

Les critères de coût partent du fait que les durées des opérations conditionnent normalement leurs coûts (une « accélération » augmente et un « allongement » diminue certains frais des tâches à l'intérieur de certaines limites de temps). On peut alors vouloir connaître, pour différentes dates de réalisation possibles de l'ensemble des travaux, les durées nécessaires des différentes tâches qui minimisent l'ensemble des coûts directs du projet. En englobant dans l'analyse les coûts indirects, pénalisations, primes, on peut ensuite être amené à déterminer dans certains cas la durée globale de réalisation qui correspond à un coût total minimal.

Les critères de production conduisent à la recherche d'une production maximale.

On peut, finalement, viser à établir une répartition optimale de la charge de la main-d'œuvre au cours de la réalisation des travaux. C'est là un critère de charge, la répartition optimale correspondant normalement au meilleur équilibre.

Il existe bien d'autres variétés de critères tels que ceux ayant trait à des immobilisations minimales, à une sécurité maximale etc.

2. Critères complexes

Il existe naturellement des critères difficilement « mathématisables », c'est-à-dire qu'il est malaisé de mettre sous une forme analytique. Il peut même arriver qu'ils ne soient pas mathématisables du tout, parce qu'il

n'existe pas d'indicateurs mesurables ou repérables qui permettent de classer convenablement les ordonnancements.

Il faut se garder de choisir des critères objectifs trop simples, rien que pour aboutir à des calculs relativement simples. D'un autre côté, si l'on veut épouser de trop près la réalité, l'expression analytique d'un critère peut devenir trop compliquée et ne pas se prêter à un traitement efficace.

Abandonnant dans de tels cas l'idée d'optimisation sur le plan mathématique, on peut encore procéder comme suit: établir en quelque sorte un dialogue entre l'ordinateur et l'ordonnateur en restreignant, à partir de l'ensemble des ordonnancements possibles fournis par la machine, successivement le groupe des solutions à considérer en les critiquant sur la base de critères simples.

D. Historique

a) Représentation usuelle d'un programme temporel

1. Diagrammes de Gantt et de Landauer

La nécessité de disposer d'une bonne représentation visuelle des données relatives à la durée de réalisation des différentes opérations d'un programme a conduit très tôt à des procédés graphiques où lesdites opérations étaient représentées par des barres de longueurs proportionnelles convenablement rangées sur un tableau. Sur le bord supérieur ou inférieur de ce tableau figure l'axe du temps, subdivisé en fonction de l'unité de temps choisie.

Le diagramme de Gantt est le plus répandu. Il existe, d'autre part, le système Landauer qui emploie des bandes de carton au lieu de barres et utilise des glissières au lieu du papier de dessin, ce qui présente des avantages pratiques évidents.

2. Désavantages

Ces modes de représentation ont le désavantage de ne pas faire apparaître la structure logique: c'est-à-dire les interdépendances des différentes opérations du programme. Aussi, ils ne sont pas suffisamment souples

pour tenir aisément compte des modifications nombreuses pouvant se présenter en cours de route et ne permettent donc pas un contrôle facile du déroulement des opérations, contrôle qui est toutefois indispensable, si l'on veut pouvoir réagir avec rapidité et efficacité. Il faut, en effet, être à même de connaître rapidement les conséquences d'un retard apporté à une opération, de même que les répercussions de travaux initialement non prévus.

b) Bref historique des méthodes et modes de représentation nouveaux

1. Le système C.P.M.

M. R. Walker de la Société Du Pont de Nemours (département: Integrated Engineering Control Group) a développé vers la fin 1956 en étroite collaboration avec M. J.E. Kelley Junior de la Société Remington Rand un mode de représentation, basé sur l'emploi de réseaux maillés ou graphes. La théorie des graphes remonte à 1936 (Konig [38]) et son application aux circuits électriques par exemple était connue depuis longtemps. Mais, c'est l'application à un domaine nouveau qui revêt un caractère original.

Dans le nouveau système, la succession (et partant les dépendances mutuelles des différentes opérations symbolisées par le graphe) et le programme temporel proprement dit sont séparés, ce qui constitue un net avantage par rapport aux diagrammes précités qui ignorent l'ordre d'enchaînement des opérations. Aussi, l'application de la nouvelle méthode ne nécessite pas d'autres informations de base que les procédés traditionnels. Plus la réalisation de l'ensemble est complexe et plus cet ensemble est grand, plus les avantages du nouveau mode de représentation deviennent apparents. Il s'agissait essentiellement pour ces deux chercheurs de voir quelles nouvelles méthodes exactes pouvaient être mises au point en vue d'une meilleure planification et d'un contrôle plus efficace des travaux à exécuter lors de la réalisation de grands projets de construction et de réparation. Les durées de la majorité des tâches reposaient sur des estimations. Walker et Kelley réussissaient par des calculs simples à trouver les tâches qui sont déterminantes pour la durée totale de l'exécution du projet, c'est-à-dire celles dont un retard éventuel risquait de se répercuter sur la date de réalisation de l'ensemble des tâches. Dans la suite, ces tâches furent qualifiées de « critiques ». La juxtaposition temporelle de ces tâches constitue le « critical path » (chemin critique) et la méthode élaborée reçut le nom de « Critical Path Method » (C.P.M.) ou C.P.S. (« Critical Path Scheduling »). Son efficacité s'est confirmée rapidement dans la pratique et des programmes furent développés, afin d'adapter les calculs à l'utilisation de l'ordinateur pour des projets d'une certaine envergure. Les créateurs du C.P.M. n'en restèrent pas là : connaissant la date de réalisation la plus rapprochée possible de l'ensemble des tâches (date d'achèvement de la dernière tâche critique), ils voulaient connaître les tâches qu'il faut accélérer, pour que le projet soit terminé dans un délai plus court que la « longueur » du chemin critique et ce aux moindres coûts. La solution de ce problème repose sur un algorithme, connu dans la théorie des graphes sous le nom d'algorithme de Fulkerson. Ils appelèrent leur procédé « Minimum Cost Expediting » (nom presque oublié aujourd'hui) et exposèrent les résultats de leurs études fin 1959 à l'occasion de la « Eastern Joint Computer Conference » à Boston (Massachusetts).

2. Le système P.E.R.T.

En 1958, la U.S. Navy s'était proposée, de son côté, d'élaborer une méthode plus perfectionnée que les pro-

cedés traditionnels et destinée à permettre le contrôle de grands programmes de recherche et de développement. W. Fazar du Navy Special Projects Office créa en collaboration avec Booz-Allen & Hamilton et la « Lockheed Missile System Division » un système qu'ils baptisèrent P.E.R.T. (Program-Evaluation Research Task) et qui part également de la représentation du problème sous forme de graphe. Ce qui caractérise les problèmes de développement étudiés, c'est que les durées des tâches sont généralement mal connues. Au lieu d'une estimation pour chaque durée, on en établit 3 : une estimation optimiste, une estimation pessimiste et une estimation qu'on juge refléter la durée la plus probable. Il est dès lors impossible de connaître avec certitude les dates d'achèvement de certaines étapes de réalisation du programme (et notamment celle de l'étape finale). Mais, en partant de certaines hypothèses simples, on peut calculer la probabilité de dépasser une date déterminée, c'est-à-dire la probabilité de non-réalisation pour cette date de l'événement en question. C'est lors de la mise en programme du projet des fusées Polaris que le système P.E.R.T. montra ses qualités : les organisateurs lui attribuent une part essentielle dans la réalisation rapide de ce programme de développement et de recherche et estiment que c'est grâce à lui qu'on a pu réaliser une économie d'une année et demie par rapport aux prévisions initiales. On distingue parfois le P.E.R.T.-Time du P.E.R.T.-Cost lequel se définit d'après des critères de coût.

Notons que la U.S. Air Force élaborera de son côté une variante de P.E.R.T. qu'elle désigna sous le nom de P.E.P. (Program-Evaluation Procedure).

3. La méthode des potentiels de B. Roy

C'est vers 1958 également que la méthode des potentiels fut conçue et développée en France par B. Roy : elle part d'une autre représentation du graphe et associe un sommet à chaque tâche, les longueurs des arcs représentant les contraintes.

Cette méthode présente bien des avantages, par rapport aux systèmes américains, sans être, de l'aveu même de son créateur, « uniformément meilleure ». De nombreuses contributions ont paru dans la *Revue française de Recherche Opérationnelle*, dans *Metra* etc. ou ont été exposées à l'occasion de congrès nationaux ou internationaux de recherche opérationnelle. Il existe actuellement une véritable école française, animée par M. B. Roy et composée d'éminents spécialistes.

4. Le système L.E.S.S.

En 1960, I.B.M. développa le système L.E.S.S. (Least Cost Estimating and Scheduling) qui est basé comme le P.E.P. sur la méthode du chemin critique, mais qui tient en outre compte dans l'analyse du problème de la limitation des « moyens » lequel se pose fréquemment en pratique.

5. Le système R.A.M.P.S.

Signalons encore qu'aux États-Unis, la Société d'Ingé-

nieurs-Conseil (C.E.I.R.) a élaboré le système R.A.M.P.S. (Resource Allocation and Multi-Project Scheduling) qui a trait à la planification optimale de plusieurs projets simultanés, pour lesquels il fournit des programmes temporels et de charge.

Tous ces systèmes C.P.M., L.E.S.S., P.E.R.T., méthode des potentiels etc. ont entretemps évolué et ont été successivement perfectionnés, de telle sorte qu'il est parfois difficile de distinguer certaines variantes modernes du C.P.M. de celles du L.E.S.S. par exemple.

III. PRÉSENTATION DE QUELQUES CONCEPTS ÉLÉMENTAIRES DE LA THÉORIE DES GRAPHS

A. Introduction

La théorie des graphes proprement dite a été créée par le mathématicien allemand D. König qui l'a développée en 1936 dans son livre *Theorie der endlichen und unendlichen Graphen* (cf. Bibliographie [38]). Il s'agit d'une branche de la théorie des ensembles qui fait également appel au calcul matriciel. Elle constitue un nouvel instrument mathématique très commode et extrêmement fécond.

Ses applications couvrent toute la gamme des sciences sociales (psychologie, sociologie, économie) jusqu'aux mathématiques pures elles-mêmes (topologie, théorie des ensembles etc.) en passant par les sciences naturelles (physique, chimie, biologie). Les sciences appliquées ne manquent pas dans ce tableau: la théorie des graphes apporte une aide efficace tant à l'ingénieur qu'à l'organisateur aux prises avec des problèmes concrets et souvent très complexes. Il convient de faire relever, d'autre part, que c'est précisément dans de nouveaux domaines tels que la recherche opérationnelle (problèmes d'ordonnement et de transport, autres problèmes de programmation linéaire, problèmes relevant de la théorie des jeux, de la théorie de l'information) et la cybernétique que cette théorie a révélé son incomparable puissance.

Tout en procédant d'une formalisation assez poussée qui permet une grande économie de la pensée, la théorie des graphes s'appuie sur des concepts qui sont très proches des réalités sous-jacentes aux problèmes qui se posent. Il existe dans cette théorie, de nombreux théorèmes qui peuvent être appliqués à une multitude de situations concrètes. Elle comprend, d'autre part, des algorithmes simples qui présentent l'avantage de pouvoir être programmés en vue du traitement sur ordinateur de certains problèmes.

Relevons que, pour quelques problèmes ressortissant à la programmation linéaire, la théorie représente un mode d'attaque mieux adapté à leur nature intrinsèque et que tel est notamment le cas pour les problèmes d'ordonnement.

Nous n'exposerons ci-après que les quelques concepts fondamentaux dont nous avons absolument besoin dans la suite de l'exposé. Quelques théorèmes et algorithmes propres à la théorie des graphes seront signalés et commentés plus loin.

Terminons en faisant remarquer que l'ouvrage qui fait actuellement autorité en la matière est celui du professeur Claude Berge, intitulé *Théorie des graphes et ses applications* (cf. Bibliographie [5]).

B. Rappel de quelques symboles de la théorie des ensembles

Symbole	Signification
$a \notin A$	L'élément a appartient à l'ensemble A (collection d'objets de nature quelconque appelés éléments ou points);
$a \in A$	L'élément a n'appartient pas à A ;
\emptyset	L'ensemble est vide;
$A \subset B$	L'ensemble A est inclus dans B ;
$A \cup B$	Réunion des 2 ensembles A, B ;
$A \cap B$	Intersection des 2 ensembles A, B .

C. Notions et définitions

a) Sommets et arcs

Soit un ensemble de points que nous pouvons désigner par E_1, E_2, \dots, E_n et dont le nombre sera dans les cas qui nous intéresseront dans la suite toujours fini.

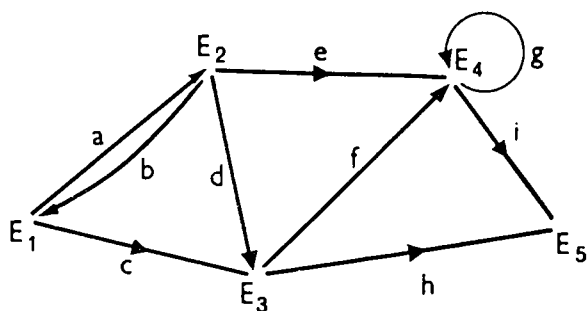
Ces points, appelés aussi « sommets » sont reliés par des branches orientées que l'on appelle « arcs » comme dans le cas de la figure (très simple) ci-après (où $n = 5$).

Le sommet E_3 est relié directement à E_4 par f et à E_5 par h ;

Le sommet E_4 est relié directement à E_4 par g et à E_5 par i ;

Le sommet E_5 n'est relié directement à aucun autre sommet.

Graphique 1



Le sommet E_1 est relié directement à E_2 par l'arc orienté $(E_1, E_2) = a$ et à E_3 par c ;

Le sommet E_2 est relié directement à E_1 par b , à E_3 par d et à E_4 par e ;

b) Graphe

La figure considérée constitue un graphe que nous désignons par G .

Le mathématicien procède comme suit: Il définit d'abord une collection d'objets de nature quelconque mais distincts, c'est-à-dire un ensemble soit ici un ensemble E de 5 objets et note

$$E = \{ E_1, \dots, E_5 \}.$$

A chacun de ces objets, il fait correspondre zéro ou plusieurs éléments du même ensemble.

c) Application d'un ensemble dans lui-même

Un graphe est défini par un ensemble E et sa loi de correspondance Γ (on dit encore par un ensemble E et l'application de E en E). On conçoit qu'une telle notion est très générale et se rencontre dans des structures très diverses.

Dans le cas présent, cette loi est la suivante:

$$\begin{aligned} \Gamma(E_1) &= \{E_2, E_3\} \\ \Gamma(E_2) &= \{E_1, E_3, E_4\} \\ \Gamma(E_3) &= \{E_4, E_5\} \\ \Gamma(E_4) &= \{E_4, E_5\} \\ \Gamma(E_5) &= \emptyset \end{aligned}, \text{ ce dernier symbole désignant l'ensemble vide.}$$

Le graphe peut être désigné par $G = (E, \Gamma)$.

On peut aussi désigner un graphe par E et par l'ensemble \cup de ses arcs:

$$\begin{aligned} \cup &= \left\{ (E_1, E_2); (E_1, E_3); (E_2, E_1); (E_2, E_3); (E_2, E_4); \right. \\ &\quad \left. (E_3, E_4); (E_3, E_5); (E_4, E_4); (E_4, E_5) \right\} \\ &= \{a, c, b, b, d, e, f, h, g, i\} \end{aligned}$$

et écrire $G = (E, \cup)$.

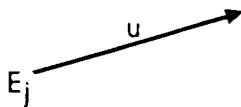
d) Extrémités d'un arc

Dans $a = (E_1, E_2)$ le sommet E_1 est appelé extrémité initiale et E_2 extrémité terminale.

e) Arcs incidents en un sommet

On dit qu'un arc est incident à un sommet E_j vers l'extérieur, si E_j est l'extrémité initiale de u et si l'extrémité terminale de u est différente de E_j .

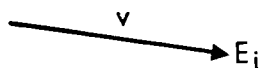
Graphique II



On définit de même un arc incident vers l'intérieur:

1. Exemple

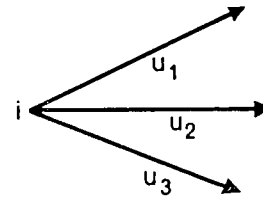
Graphique III



où v est dit incident à E_i vers l'intérieur.

De façon plus générale, l'ensemble des arcs incidents en i et orientés vers l'extérieur

Graphique IV



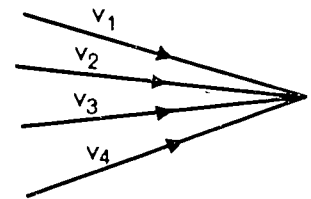
(et qui est un sous-ensemble des arcs du graphe complet) est désigné par

$$\{u_1, u_2, u_3\} = \cup_i^+$$

De même, le sous-ensemble des arcs incidents en j vers l'intérieur:

$$\{v_1, v_2, v_3, v_4\}$$

Graphique V



est désigné par \cup_j^- .

L'ensemble des arcs incidents en k se note

$$\cup_k = \cup_k^+ \cup \cup_k^-$$

2. Généralisation

Les 2 désignations précédentes sont des cas particuliers de la suivante:

Si F est un ensemble de sommets donné, on dit qu'un arc v est incident à F vers l'extérieur si

$$v = (f, s), f \in F, s \notin F.$$

On note encore \cup_F^+ l'ensemble des arcs incidents à l'ensemble F vers l'extérieur et \cup_F^- celui des arcs incidents à F vers l'intérieur.

f) Chemin dans un graphe

On appelle chemin dans un graphe $G = (E, \Gamma)$ une séquence d'arcs (u_1, u_2, \dots) , telle que l'extrémité terminale de chaque arc coïncide avec l'extrémité initiale de l'arc suivant.

Un chemin peut être fini ou infini.

Un chemin est appelé « simple » s'il n'utilise pas deux fois le même arc et « composé » dans le cas contraire.

Un chemin est dit « élémentaire » s'il n'utilise pas deux fois le même sommet, sinon il est appelé « non élémentaire ».

(c, f, i) est élémentaire (et simple).

(a, b, c) est non élémentaire (mais simple).

(a, b, a, e, i) est composé et non élémentaire.

g) Circuit

Un « circuit » est un chemin (u_1, \dots, u_k) fini, dans lequel le sommet initial de u_1 coïncide avec le sommet terminal de u_k .

Si nous avons dans notre graphe, au lieu de $e = (E_2, E_4)$, $e' = (E_4, E_2)$, nous aurions le circuit (d, f, e') [ou, en indiquant les sommets qu'il parcourt: (E_2, E_3, E_4, E_2)].

On dit encore qu'un circuit est élémentaire, si tous les sommets traversés par lui sont distincts, à l'exception du sommet initial et terminal qui coïncident.

h) Longueur

La « longueur » $l(\mu)$ d'un chemin $\mu = (u_1, \dots, u_h)$ est le nombre d'arcs qu'il contient:

$$l(\mu) = h$$

Si le chemin est infini: $l(\mu) = \infty$.

Si, dans un graphe (E, \cup) , nous associons à chaque arc u_i un nombre $l(u_i) \geq 0$, nous appelons $l(u_i)$ longueur de u_i au sens généralisé.

On cherche souvent dans \cup un chemin μ allant d'un sommet E_i à un sommet E_j et tel que la longueur totale

$$\sum_{u \in \mu} l(u)$$

soit « optimale » (c'est-à-dire aussi grande ou aussi petite que possible).

On peut aussi à tout chemin μ faire correspondre une fonction numérique $f(\mu)$ et vouloir trouver le chemin μ pour lequel $f(\mu)$ soit optimal.

i) Boucle

Un circuit constitué par un seul arc a pour longueur l'unité et est par définition une boucle: $g = (E_4, E_4)$ est une boucle.

j) Matrice des valeurs associées à un graphe

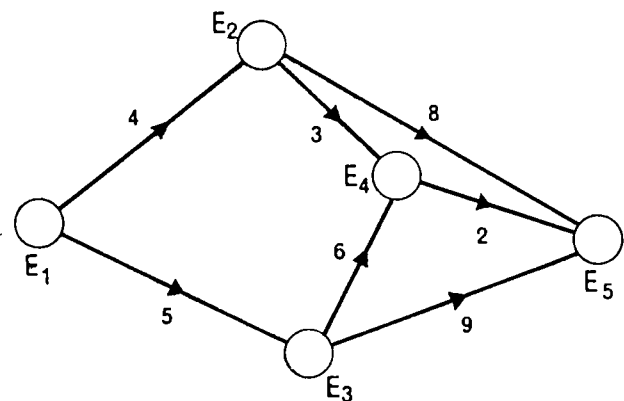
Soit le graphe $G = (E, \cup)$, où E désigne l'ensemble des sommets $\{E_1, \dots, E_n\}$ et \cup l'ensemble des arcs (E_i, E_j) ($i, j = 1, \dots, n$).

Si on symbolise alors par $l(i, j)$ la « longueur » au sens généralisé de l'arc (i, j) , on appelle « matrice des valeurs associées à G » la matrice carrée $L_{nn} = \{l(i, j)\}$.

Exemple

Soient $E = \{E_1, \dots, E_5\}$ et $\cup = \{(E_1, E_2); (E_1, E_3); (E_2, E_4); (E_3, E_4); (E_2, E_5); (E_3, E_5); (E_4, E_5)\}$ avec $(E_1, E_2) = (1, 2) = 4; (1, 3) = 5; (2, 4) = 3; (3, 4) = 6; (2, 5) = 8; (3, 5) = 9$ et $(4, 5) = 2$; d'où le graphe $G = (E, \cup)$:

Graphique VI



et la matrice des valeurs associées à G :

$$L_{5,5} = \begin{pmatrix} 0 & 4 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 8 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Dans le cas étudié, il n'existe aucun arc (i, j) avec $i > j$ et aucune boucle, c'est-à-dire aucun (i, j) avec $i = j$. C'est pourquoi, toutes les valeurs qui se trouvent en dessous de la diagonale principale et celles qui sont situées sur cette dernière sont nulles.

Notons que c'est sous la forme de matrice des valeurs

associées à un graphe qu'on introduira les renseignements de base y relatifs dans l'ordinateur lequel, grâce à un programme ad hoc enregistré, effectuera, dans le cas de graphes d'une certaine taille, tous les calculs nécessaires à la détermination du chemin critique, des battements des événements E_i , des marges opératoires etc. (voir entre autres le chapitre suivant).

D. Signification d'un graphe et de sa représentation matérielle

Il convient d'attirer l'attention sur le fait que le graphe qui n'est que la représentation d'une certaine structure, vue sous un angle déterminé (et non pas cette structure concrète elle-même, laquelle peut posséder une réalité plus riche) est un schéma dans lequel ni la disposition des sommets, ni la forme géométrique et la longueur apparente des arcs n'ont une signification, c'est-à-dire que du moment que le contexte logique est reflété fidèlement, la disposition des éléments du graphe (sommets et arcs) peut être quelconque (et n'est donc pas unique) et est généralement conditionnée par des raisons de clarté du dessin (on évitera par exemple dans la mesure du possible, que les arcs ne se coupent, une telle intersection n'ayant aucune signification et risquant d'être confondue avec un sommet).

Un graphe au sens restreint qui lui a été donné par König et Berge ([33], p. 36) n'est pas doté d'une métrique. Il serait, du reste, dans la plupart des cas, impossible de respecter effectivement les longueurs affectées aux arcs sans introduire de distorsions. Il arrive, toutefois, que, pour des raisons de présentation, on se réfère à une échelle métrique, auquel cas on interprète les « longueurs » des arcs comme étant égales à leurs projections sur ladite échelle.

Avant d'aborder le chapitre suivant, qui a trait à l'application de la théorie des graphes aux problèmes d'ordonnement, il y a lieu d'avertir le lecteur d'une contrainte de présentation, à savoir que les tailles des exemples que nous y traiterons ne sauraient correspondre à celles qu'on rencontre habituellement en pratique et qui ont souvent des tailles très importantes (des centaines ou des milliers de sommets et de contraintes ne sont pas exceptionnels). Ceci ne tire, toutefois, pas à conséquence, car nous n'avons pas besoin de la repré-

sentation matérielle des graphes (cf. III, C, j) pour nous livrer aux calculs numériques qu'exige la détermination des programmes optimaux (cf. IV).

En cas de problèmes d'ordonnement de petite taille, la représentation à l'aide des graphes est plus « parlante » que celle procurée par des diagrammes. A part cela, de petits graphes-exemples rendent plus intuitifs la démonstration de théorèmes et l'exposé d'algorithmes de la théorie des graphes.

Pour des graphes plus importants, on peut se passer de la représentation concrète. Ce qui est essentiel, c'est que du fait qu'on peut ramener les problèmes d'ordonnement à cette théorie, tout un arsenal de théorèmes et d'algorithmes qui lui sont propres est susceptible de s'y appliquer. Comme ces derniers conduisent à des calculs relativement simples et, par ailleurs, faciles à programmer sur ordinateur, on dispose d'un instrument de traitement très puissant des problèmes sous revue.

Dans les méthodes alternatives, soit le mode de la représentation est moins adéquat (diagrammes de Gantt), soit les procédés de calcul sont plus lourds. C'est le cas de la programmation linéaire, applicable à la catégorie des problèmes sous revue. Nous supposons que la méthode du simplexe est connue par le lecteur, car nous ne pouvons nous y appesantir ici. Il n'en sera qu'incidemment question dans la suite.

Signalons, finalement, qu'en cas de traitement des problèmes d'ordonnement sur ordinateur, certains programmes-machine fournissent entre autres comme sous-produits des diagrammes de Gantt.

IV. APPLICATION DE LA THÉORIE DES GRAPHES AUX PROBLÈMES D'ORDONNANCEMENT

A. Détermination d'un programme optimal en cas d'adoption d'un critère temporel

a) Représentation d'un programme temporel

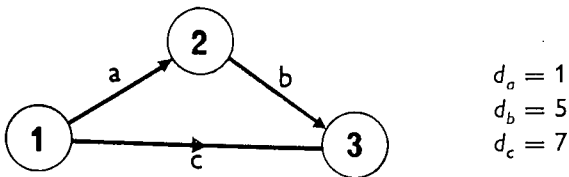
1. Notions de base

Soit un travail T très simple, décomposable en trois opérations ou tâches élémentaires a , b , c de durées au moins égales à d_a , d_b , d_c .

Supposons, d'autre part, que b ne peut commencer que si la tâche a est terminée, mais que c peut être attaquée de front avec a et b , l'accomplissement de toutes les tâches étant, dans le cas présent, assuré lorsque les opérations a , b et c sont terminées.

Si nous symbolisons les débuts des tâches par des sommets et que nous faisons correspondre à chaque opération un arc porteur d'une valeur (d'une longueur au sens généralisé) qui exprime que la durée de la tâche en question est au moins égale à cette valeur, nous voyons que nous pouvons reproduire la structure du schéma précité par le graphe suivant.

Graphique VII



où nous avons numéroté les sommets, de façon à faire correspondre le sommet 1 au début et le sommet 3 à la fin de toutes les tâches.

Nous avons substitué 1, 2, 3 respectivement à E_1 , E_2 , E_3 . Les sommets expriment des contraintes en ce sens que si l'extrémité terminale d'un arc coïncide avec l'extrémité initiale d'un autre cela signifie que l'opération associée au premier doit être terminée, avant que puisse commencer celle associée au second arc.

Les sommets constituent de façon générale des étapes d'achèvement (ou de démarrage) d'une ou de plusieurs

opérations, les « longueurs » (= valeurs) affectées aux arcs traduisant leurs durées.

Au lieu d'étape i (E_i) on dit encore parfois « événement E_i ».

Les opérations a , b , c peuvent encore être symbolisées par O_{12} , O_{23} , O_{13} .

Dans les systèmes américains C.P., L.E.S.S., P.E.R.T. etc., on se sert du mode de représentation précité.

M. B. Roy qui est le créateur de la méthode des potentiels (dite « française ») a recours à une représentation procédant d'une optique différente:

Les opérations sont symbolisées par les sommets, les arcs représentant des relations d'ordre entre différentes opérations et les durées des contraintes temporelles.

Nous reviendrons tout-à-l'heure sur cette représentation.

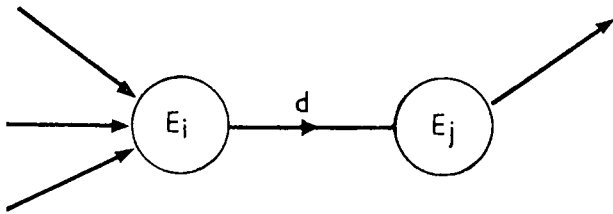
Signalons encore que les graphes correspondant aux programmes d'ordonnancement sous revue sont forcément de dimension finie avec un nombre limité (mais pas forcément petit) de sommets et d'arcs. Les arcs sont censés représenter des durées et il découle de la conception du graphe dans les systèmes américains que l'époque de l'extrémité initiale est antérieure (ou au plus égale) à celle de l'extrémité terminale d'un arc. Les arcs sont orientés dans le sens du temps. Il ne doit y avoir ni circuit (ni boucle) dans un tel graphe, sinon il y a une incohérence. En effet, du moment qu'une étape est dépassée, on ne peut plus jamais y revenir, après qu'un délai non-nul s'est écoulé.

Dans la méthode française (cf. V, B), on peut, par contre, rencontrer certains circuits qui n'impliquent pas d'incompatibilité et des arcs affectés de valeurs négatives qui vont d'une tâche postérieure à une tâche antérieure.

2. Introduction d'opérations virtuelles

La position d'une opération (tâche) dans le graphe est définie de façon univoque par l'indication des deux étapes entre lesquelles elle se trouve placée:

Graphique VIII

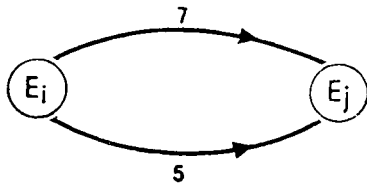


d est définie par $d = (E_i, E_j)$ et c'est pourquoi, du reste, on peut symboliser d par O_{ij} .

Mais, si entre E_i et E_j deux tâches peuvent être effectuées simultanément, il faut introduire une condition supplémentaire:

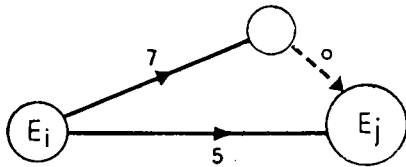
Ainsi au lieu de:

Graphique IX



où à (E_i, E_j) correspondraient deux tâches, il faut opter pour la représentation suivante:

Graphique X

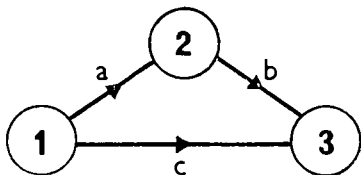


On doit donc introduire une étape supplémentaire et une opération « virtuelle » de durée opératoire nulle qu'on caractérise par un trait en pointillé pour la distinguer des opérations « effectives ».

Toutes sortes de contraintes peuvent être représentées par un graphe potentiels-étapes de ce genre:

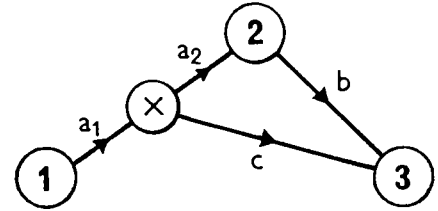
a) Soit le graphe:

Graphique XI



et supposons que c , au lieu de pouvoir débiter simultanément avec a comme dans la représentation ci-dessous, doit être entreprise un certain laps de temps après le démarrage de a . Il vient alors:

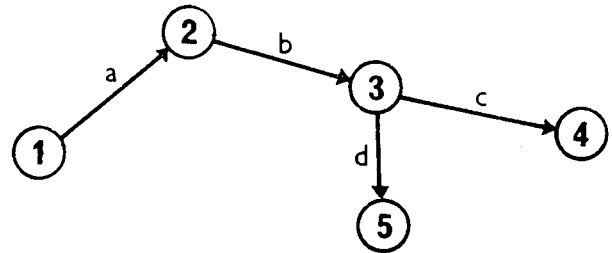
Graphique XII



où a a dû être fractionnée en a_1 et en a_2 avec introduction d'une étape supplémentaire X.

b) Si, dans le graphe qui suit:

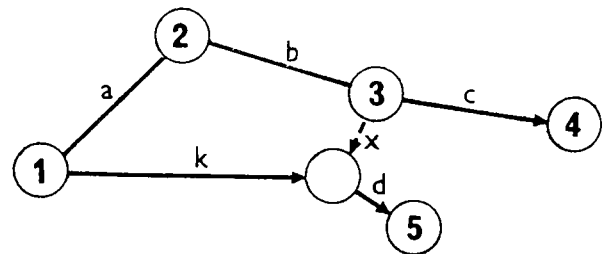
Graphique XIII



on veut exprimer que c et d ne peuvent être prises en charge qu'après une certaine date, c'est-à-dire au bout d'un certain délai k par rapport à la date de démarrage, il suffit de tracer encore l'arc (E_1, E_3) de « longueur » k .

c) Mais si la seule opération $O_{3,5}$ ne peut débiter qu'après cette date, on est obligé d'introduire en dehors de l'arc précité une opération virtuelle X de durée 0 et il vient:

Graphique XIV



Ces exemples pourraient être aisément multipliés.

b) Étude directe d'un programme temporel

1. Recherche du chemin critique

Revenons à notre problème de planification d'un travail complexe.

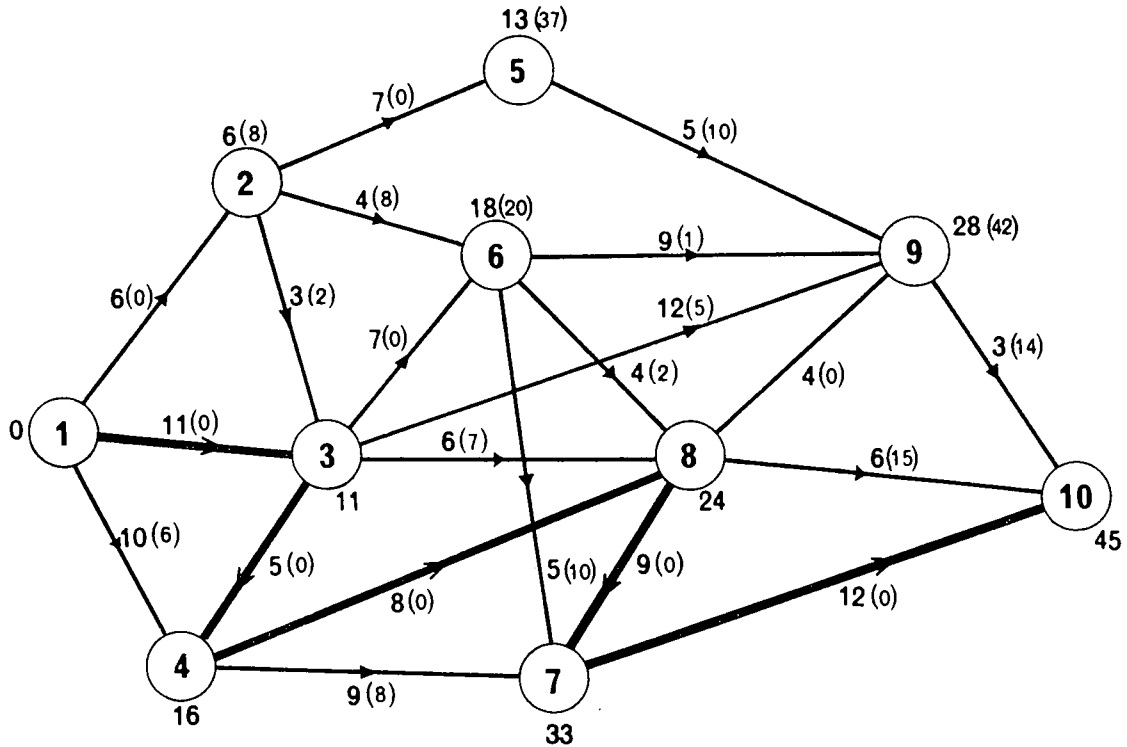
Supposons que :

- nous avons défini les tâches qui en sont les éléments constitutifs ;

— nous avons déterminé en fonction des moyens (main-d'œuvre, machines) à affecter à chacune de ces tâches, les durées d'exécution correspondantes et analysé les relations d'ordre entre les tâches.

Nous pouvons alors représenter ces tâches par exemple par un graphe tel que celui qui suit où nous supposons connaître pour le moment — en dehors de la disposition générale du graphe — les seules valeurs affectées aux arcs (chiffres sans crochets ni parenthèses qui se trouvent à côté des arcs).

Graphique XV



La première question qui se pose à l'ordinateur responsable est la suivante :

Quel est le déroulement chronologique du programme et notamment quelle est la date de réalisation de l'ensemble des travaux ?

Il convient tout d'abord de se fixer la date ou l'époque de E_1 que nous pourrions toujours poser égale à 0, quitte à revenir dans la suite à la date de calendrier effective.

Raisonnons maintenant directement sur le graphe :

Soit l'étape 2 (événement E_2). Elle ne saurait débiter avant la date 6, car il n'y a qu'un seul arc reliant E_1 à E_2 et celui-là est de longueur 6. Si nous notons la durée s'écoulant entre E_i et E_j par $d_{i,j}$ il vient $d_{1,2} = 6$.

On note 6 (sans parenthèses ni crochets) à côté du sommet E_2 .

Pour E_3 , il y a deux arcs incidents et orientés vers l'intérieur : (E_1, E_3) de longueur 11 et (E_2, E_3) de longueur 3.

Ainsi $O_{2,3}$ démarrant à la date 6 peut être terminée au plus tôt à la date $6 + 3 = 9$; mais comme E_3 ne peut, à cause de $O_{1,3}$, débiter avant la date $0 + 11 = 11$, 11 est la date à laquelle E_3 peut être entamée. On dit encore que la « longueur » au sens généralisé du chemin de E_1 à E_3 est 11.

De cette façon, toutes les contraintes sont satisfaites, comme cela doit être le cas, pour que les étapes sous revue puissent être effectivement réalisées.

On trouve de même pour E_4 la date 16 qui constitue le maximum des deux durées 10 et $11 + 5$ correspondant respectivement à (E_1, E_4) et à (E_1, E_3) plus (E_3, E_4) . En effet, si l'on tient compte de la contrainte qui conduit à une date de début maximum, on respecte automatiquement toutes les autres conditions à des dates plus rapprochées du début des opérations. On dit encore que 16 est la date « attendue » de E_4 et on la désigne par t_4 .

Si l'on voulait déterminer la date de E_6 avant d'avoir fixé, en dehors de celle de E_2 , celle de E_3 , on verrait que cela n'est pas possible: il faut connaître les dates de début de toutes les opérations immédiatement antérieures à E_6 ou — pour employer la terminologie de la théorie des graphes — les époques de début de tous les arcs incidents en E_6 vers l'intérieur. Cette condition revêt évidemment un caractère général.

On trouve de proche en proche après $t_1 = 0$, $t_2 = 6$, $t_3 = 11$, $t_4 = 16$ les autres dates « attendues » t_i : $t_5 = 13$, $t_6 = 18$, $t_8 = 24$, $t_7 = 33$, $t_9 = 42$ et $t_{10} = 45$.

On appelle les t_i encore des « potentiels » affectés aux sommets du graphe.

La détermination d'un ordonnancement étant essentiellement équivalente à la recherche d'un système de potentiels aux sommets d'un graphe, on appelle la méthode sous revue « méthode des potentiels-étapes » pour la distinguer de celle qui part d'une autre représentation du graphe sous-jacent et qui est appelée « méthode des potentiels-tâches ».

On notera que t_8 se place avant t_7 , ce qui est essentiellement dû à notre numérotation des étapes. Cette numérotation est au fond arbitraire, elle ne dit donc rien quant aux dates de réalisation des différentes étapes.

Si l'on avait dans le cas présent inversé les numéros 7 et 8, on aurait obtenu une numérotation cohérente

telle que $t_i < t_j$ pour $i < j$. Nous reviendrons sur ce point dans la suite.

Il ressort de ce qui précède que la date de réalisation de l'ensemble des opérations est 45. Il n'est donc, en vertu de la signification des contraintes, pas possible que les travaux soient terminés avant cette date de E_{10} . S'il n'y a pas d'accroc, la durée du programme est de 45 unités de temps (semaines par exemple).

On voit que la détermination de E_{10} se ramène à la recherche dans le graphe du chemin de « longueur » (au sens généralisé) maximale. En l'empruntant, on est assuré que toutes les opérations prévues peuvent être effectivement exécutées, en tenant compte de leurs durées réelles minima prévues.

On appelle ce chemin le plus défavorable, ou le plus « long » ou encore chemin critique pour des raisons qui vont apparaître de suite.

On connaît maintenant la longueur du chemin critique, mais pas encore les arcs ou opérations qui le composent et dont la somme des durées doit donner exactement 45.

Or, il est très facile de reconstituer ce chemin dans le cas étudié en partant de la fin et en s'interrogeant pour quel arc (E_i, E_{10}) la différence de potentiel $t_{10} - t_i$ est exactement égale à la durée qui lui est affectée. On trouve $i = 7$ (en effet $t_{10} - t_7 = 45 - 33 = 12$ et la durée affectée à (E_7, E_{10}) est 12). On procède de même à partir de E_7 et l'on trouve de cette façon successivement les arcs (E_8, E_7) , (E_4, E_8) , (E_3, E_4) , (E_1, E_3) .

Le chemin critique est donc

$$\mu = [E_1, E_3, E_4, E_8, E_7, E_{10}].$$

Les opérations qui le composent: $O_{1,3}$; $O_{3,4}$; $O_{4,8}$; $O_{8,7}$; $O_{7,10}$ sont appelées opérations ou tâches « critiques ».

Tout retard apporté à une tâche critique retarde la date de réalisation de l'ensemble des travaux: si E_4 ne débute qu'à la date 19 (au lieu de 16), les travaux ne pourront être terminés avant $45 + 3 = 48$.

On conçoit tout l'intérêt qu'il y a à connaître et à surveiller ces opérations dont dépend la prompte réalisation de l'ensemble des travaux.

Notons que si, dans le cas étudié, le chemin critique est unique, cela n'est pas forcément toujours le cas. On peut fort bien tomber sur plusieurs chemins critiques, mais qui doivent alors être évidemment de même longueur.

2. Dates-limite, intervalles de flottement et battements des événements

Reprenons l'examen de notre graphe-exemple et demandons-nous quand E_i peut démarrer au plus tard sans gêner pour autant la date de réalisation de E_{10} qui doit donc continuer à correspondre à 45.

Nous appellerons les dates correspondantes dates-limite des E_i et les noterons t'_i .

D'après ce qui précède, on a évidemment pour toutes les étapes traversées par le chemin critique

$$t'_i = t_i,$$

c'est-à-dire pour E_1, E_3, E_4, E_8, E_7 et évidemment aussi pour E_{10} .

Pour trouver les dates-limite des autres événements E_2, E_5, E_6 et E_9 , nous allons raisonner directement sur le graphe en remontant de la fin vers le début du graphe:

E_9 est séparé de E_{10} par une durée $d_{9,10} = 3$. L'événement E_9 peut donc commencer au plus tard 3 unités de temps avant la fin et tombe obligatoirement dans l'intervalle $[t_9, t'_9] = [28, 42]$, appelé intervalle de flottement. Il a comme « battement » $42 - 28 = 14$ unités de temps.

On trouve de la même façon directement $t'_5 = t'_9 - d_{5,9}$, soit $t'_5 = 42 - 5 = 37$ et comme intervalle de flottement de E_5 : $[13, 37]$. Si E_5 n'est pas compris dans cet intervalle, les contraintes ne sont pas satisfaites, car si l'événement tombait avant la date 13 les tâches antérieures à E_5 ne pourraient être achevées et s'il se réalisait après la date 42, la réalisation de E_{10} pour la date 45 serait compromise.

Dans les deux cas précédents, la détermination de t'_i était simple, parce que l'on n'avait chaque fois à considérer qu'un arc incident en E_i vers l'extérieur et à déterminer la date-limite inconnue à partir d'une seule date-limite postérieure.

Pour E_6 , par contre, nous avons 3 arcs incidents vers l'extérieur: l'événement E_6 est séparé de E_7, E_8, E_9 respectivement par 5, 4, 9 unités de temps. Il faut donc comparer les dates correspondantes fournies pour E_6 : $33 - 5 = 28$; $24 - 4 = 20$ et $42 - 9 = 33$. Il s'ensuit que t'_6 est égale à 20 (la date la plus rapprochée des trois par rapport à l'origine). En effet, si la date-limite de E_6 dépassait 20, cela se répercuterait directement

sur $t_8 = t'_8 = 24$, c'est-à-dire une étape du chemin critique et la date d'achèvement t_{10} s'en trouverait affectée.

On a donc $[18, 20]$ comme intervalle de flottement de E_6 , ce que nous symboliserons par $I(E_6) = [18, 20]$ la durée ou le « battement » en étant de:

$$d[I(E_6)] = 20 - 18 = 2.$$

On trouve par un raisonnement analogue:

$$I(E_2) = [6, 8]; \quad d[I(E_2)] = 2$$

Les dates-limite t'_i sont renseignées sur le graphe entre parenthèses à côté des t_i (lesquelles figurent à côté des E_i).

On retiendra que des battements nuls caractérisent les seules étapes du chemin critique et que si, au lieu de déterminer ce dernier comme nous l'avons fait plus haut, on calcule successivement tous les t'_i on a un moyen de trouver et toutes les dates-limite et toutes les étapes du chemin critique.

Nous avons réuni les résultats ainsi trouvés dans le tableau II.

c) Formulations mathématiques du problème

1. Première façon

La traduction analytique générale des raisonnements précédents est simplement la suivante:

Soit le graphe $G = (E, \Gamma) = (E, \cup)$, où E désigne l'ensemble des n sommets et \cup l'ensemble des arcs constituant le graphe du programme.

Si l'on symbolise par

(i, j) [au lieu de (E_i, E_j)] l'arc reliant le sommet i au sommet j ;

d_{ij} la durée de l'opération O_{ij} ;

t_i et t'_i les dates « attendue » et « -limite » de l'événement E_i , on voit qu'en posant

$$t_i = 0$$

on a, pour $2 \leq j \leq n$,

$$t_j = \text{Max}_{(i, j) \in \cup_j^-} (t_i + d_{ij})$$

ce qui signifie que, pour j compris entre les limites mentionnées, on doit évaluer t_j au maximum de l'ex-

TABLEAU 2

Événement E_i	Date attendue t_i	Date limite t'_i	Battement de E_i = Durée de l'intervalle de flottement de E_i : $d [I (E_i)] = t'_i - t_i$
E_1	0	0	<u>0</u>
E_2	6	8	2
E_3	11	11	<u>0</u>
E_4	16	16	<u>0</u>
E_5	13	37	24
E_6	18	20	2
E_7	33	33	<u>0</u>
E_8	24	24	<u>0</u>
E_9	28	42	14
E_{10}	45	45	<u>0</u>

Chemin critique: $\mu = [E_1, E_3, E_4, E_8, E_7, E_{10}]$.

pression entre parenthèses et cela pour tous les arcs appartenant à l'ensemble des arcs incidents en j vers l'intérieur.

D'autre part, si nous désignons la date de début de l'ensemble des tâches par t_1 et celle de la fin par t_n , on a :

$$t'_1 = t_1 = 0$$

$$t'_n = t_n,$$

E_1 et E_n se trouvant forcément sur le chemin critique.

Pour $2 \leq i \leq n - 1$, on a alors :

$$t'_i = \text{Min} (t'_j - d_{ij}).$$

$$(i, j) \in \cup_i^+$$

$t'_i - t_i$ fournit ensuite, pour $2 \leq i \leq n - 1$, les « durées » des intervalles de flottement.

Remarques explicatives

1° Pour tout i_k , tel que $t'_i = t_i$ on a une étape du chemin critique (supposé ici unique) et à partir des dates

des étapes rangées dans l'ordre croissant

$$t_1 < t_1 < \dots < t_k < t_n$$

on reconstitue ensuite le chemin critique

$$\mu = [E_1, E_{i_1}, \dots, E_{i_k}, E_n]$$

2° S'il y a plusieurs chemins critiques, on ne peut chaque fois ordonner de la façon précédente que les dates des étapes se trouvent sur un même chemin.

3° Le graphe ne devant pas renfermer de circuit (pour des raisons de cohérence des contraintes), le(s) chemin(s) critique(s), est(ont) forcément simple(s) et élémentaire(s).

2. Deuxième façon

Nous n'avons fait que traduire sous forme mathématique le procédé effectivement appliqué dans l'exemple concret traité plus haut.

Si, au lieu de regarder le pas-à-pas de la détermination des t_j (à partir des dates de début des arcs incidents en E vers l'intérieur), on compare les « longueurs » des différents chemins possibles allant de E_1 à E_j , on voit encore que la date de début de E_j peut être obtenue en sommant les durées des opérations sur le chemin le plus défavorable entre ces 2 étapes.

Si donc μ_j représente l'ensemble de ces chemins, on a encore

$$t_1 = 0$$

et, pour $2 \leq j \leq n$, avec des notations évidentes.

$$t_j = \text{Max}_{\mu \in \mu_j} \left[\sum_{(i,j) \in \mu} t_{i,j} \right].$$

Pour les dates-limite, on a

$$t'_1 = t_1 = 0; t'_n = t_n = 0$$

ainsi que, pour $2 \leq j \leq n - 1$,

$$t'_j = t'_n - \text{Max}_{v \in v_j} \left[\sum_{(i,j) \in v_j} t_{i,j} \right],$$

où v_j représente l'ensemble des chemins possibles allant de E_j à E_n .

Remarque

On comprendra plus facilement ces expressions, si l'on se rend compte que la date « attendue » de E_j est [parmi celles qui sont possibles sur les différents chemins de E_1 à E_j] la plus reculée et que la date-limite (c'est-à-dire la plus tardive possible) du même événement est en quelque sorte la date « attendue » vue de la fin, c'est-à-dire la plus rapprochée possible de E_n .

Les battements des intervalles de flottement sont donnés comme plus haut par

$$t'_j - t_j$$

et les remarques concernant le chemin critique restent les mêmes.

d) Nature du problème. Résolution à l'aide d'algorithmes

On a $t_j - t_i \geq d_{ij}$, avec $t_1 = 0$ et des d_{ij} connues. Il s'agit de déterminer les inconnues (dates « attendues » et les dates-limites).

C'est là un problème de programmation linéaire classique, pour lequel les mathématiciens ont élaboré des méthodes de résolution générales (méthode du « simplexe » par exemple). Elles ont été adaptées à l'ordinateur (programmées) et les machines électroniques usuelles sont capables de fournir les solutions.

Toutefois, la structure particulière des programmes linéaires étudiés est telle que les méthodes intrinsèques de la théorie des graphes se sont avérées beaucoup plus directes et plus rapides. Nous allons voir plus loin quelques algorithmes simples (de Ford, Bellman-Kalaba, Roy), empruntés à cette théorie et qui ont pu être aisément programmés en vue d'un traitement rapide sur ordinateur.

e) Suite de l'étude d'un programme temporel. Marges opératoires

Revenons à notre graphe-exemple et considérons par exemple l'opération $O_{5,9}$ de durée $d_{5,9} = 5$. Comme E_5 démarre au plus tôt à l'époque $t_5 = 13$ et E_9 au plus tôt à l'époque $t_9 = 28$, la date de début de $O_{5,9}$ peut varier dans un certain intervalle sans perturber la date attendue de E_9 . Elle peut, en effet, se placer à cet effet dans l'intervalle $[13, 28 - 5] = [13, 23]$ dont la durée est $23 - 13 = 10$.

1. Marges libres

On appelle cette dernière durée « marge libre ». En resubstituant les lettres, on voit que l'intervalle est délimité par $[t_5, t_9 - d_{5,9}]$ et que la marge est $t_9 - d_{5,9} - t_5$.

De façon générale, la marge libre l_{ij} de l'opération O_{ij} est donnée par

$$l_{ij} = t_j - d_{ij} - t_i.$$

Sur le graphe, nous avons fait figurer entre crochets toutes les marges libres ainsi calculées (et ce à côté des durées des opérations).

Propriétés

1° Pour deux étapes consécutives E_k, E_{k+1} du chemin critique, on a forcément

$$l_{k,k+1} = t_{k+1} - d_{k,k+1} - t_k = 0$$

Inversement, on peut avoir $l_{ij} = 0$, sans que E_i et E_j se trouvent sur le chemin critique. Il suffit, en effet, pour cela que le seul arc incident en j vers l'intérieur soit celui qui relie E_i à E_j . Comme la date t_j est alors forcément égale à $t_i + d_{i,j}$ la marge libre est nulle.

2° On notera la différence entre « battement » (durée de l'intervalle de flottement d'un événement E_i) et marge libre d'une opération $O_{i,j}$:

- la date de début de E_i peut être décalée au plus de $t'_i - t_i$ vers la droite, sans affecter les dates fixes des événements critiques et, en particulier, E_n ;
- la date de début de $O_{i,j}$ peut être décalée au plus de $l_{i,j}$ vers la droite, sans affecter la date attendue de E_j .

Il s'ensuit, en particulier, que tout dépassement de la date t'_i comme date de début de E_i se répercute certainement sur la date d'achèvement des travaux, tandis qu'un dépassement de $t_i + l_{i,j}$ comme date de début $O_{i,j}$ se répercute avec certitude sur la date attendue t_j , mais pas forcément sur la date d'achèvement des travaux.

3° Il est à noter que dans le cas d'une opération non critique $O_{i,j}$, la marge libre correspond à l'allongement maximum (et tel que les dates attendues de E_i et E_j ne soient pas affectées).

— *Exemple*

Si $O_{5,9}$, au lieu de démarrer à $t_5 = 13$, débutait après $t_5 + l_{5,9} = 13 + 10 = 23$, soit à la date 30 par exemple, t_9 serait alors décalée de 28 à $28 + (30 - 23) = 35$, ce qui ne dérangerait pas E_{10} .

Cet exemple montre également à partir de quel moment un dépassement de la marge libre risque d'affecter E_{10} .

Cela se produit, effet, en dès que de cette façon la date-limite $t'_9 = 42$ est dépassée, ce qui nous amène à introduire la notion suivante.

2. *Marge totale de O_{ij}*

Elle est par définition égale à

$$m_{i,j} = t'_j - d_{i,j} - t_i.$$

On peut encore la définir comme la somme de

$$d[l(E_j)] \text{ et } l_{i,j}:$$

en effet :

$$m_{ij} = (t'_j - t_j) + (t_j - d_{ij} - t_i) = t'_j - d_{i,j} - t_i.$$

On la calcule pour tout arc $(E_i, E_j) \in \cup$, mais si elle est absorbée complètement par $O_{i,j}$ toutes les opérations se trouvant sur le chemin de valeur maximale entre E_j et E_n (ici E_{10}) perdent leurs marges libres.

Exemple (voir plus haut)

$$\text{Pour } i = 5, j = 9 \text{ et } t'_9 = 42,$$

$$\text{il vient } m_{5,9} = 42 - 5 - 13 = 24.$$

Si donc $O_{5,9}$ commençait (au lieu de $t_5 = 13$) à la date $13 + 24 = 37$, on atteindrait $t'_9 = 42$ après l'accomplissement de cette opération et la marge libre de $E_{9,10}$ tomberait de 14 à 0.

Si $O_{5,9}$ (au lieu de commencer $m_{5,9}$ unités de temps plus tard) est allongée de $m_{5,9}$ on arrive à la même conclusion que dans l'alinéa précédent.

3. *Marge certaine*

Une dernière notion est celle de marge certaine. Soit une opération $O_{i,j}$ et supposons que E_i commence le plus tard possible (c'est-à-dire à la date-limite t'_i) et E_j le plus tôt possible (c'est-à-dire à la date attendue t_j), alors la marge certaine:

$$c_{i,j} = t_j - d_{i,j} - t'_i$$

ou

$$c_{i,j} = (t_j - d_{i,j} - t_i) - (t'_i - t_i)$$

soit encore

$$c_{i,j} = l_{i,j} - d[l(E_i)].$$

La marge certaine est censée représenter la marge disponible pour $O_{i,j}$ dans le cas le plus défavorable. Comme, d'après la définition précédente, $c_{i,j}$ peut être inférieure à zéro et qu'on ne peut effectivement disposer que d'une marge positive, il est préférable de définir la marge certaine par

$$c'_{i,j} = \text{Max} [t_j - d_{i,j} - t'_i, 0].$$

Exemple

La marge certaine de $O_{2,6}$ est égale à $18 - 4 - 6 = 8$.

Pour $O_{6,9}$ on trouve que

$$c_{6,9} = 28 - 9 - 20 = -1;$$

d'où

$$c'_{6,9} = \text{Max} (-1, 0) = 0.$$

Suivant le cas concret étudié, on peut tirer des conclusions pratiques d'une valeur négative éventuelle de c_{ij} .

4. Application à un graphe

Dans le tableau suivant, les marges opératoires ont été calculées pour tous les $O_{i,j}$. Si l'on substitue c'_{ij} à c_{ij}

pour les opérations $O_{2,5}$, $O_{5,9}$ et $O_{6,9}$, la colonne des c_{ij} reflète les marges certaines de toutes les opérations.

5. Intérêt de connaître les intervalles de flottement et les marges opératoires

Un programme établi au départ reste rarement inchangé en cours de déroulement: il y a des retards

TABLEAU 3

Opération $O_{i,j}$	Durée $t_{i,j}$	Marge libre de $O_{i,j}$ $l_{i,j}$	$c_{i,j}$	Marge totale $m_{i,j}$
$O_{1,2}$	6	$6 - 0 - 6 = 0$	$0 - 0 = 0$	$0 + 2 = 2$
$O_{1,3}$	11	$11 - 0 - 11 = 0$	$0 - 0 = 0$	$0 + 0 = 0$
$O_{1,4}$	10	$16 - 0 - 10 = 6$	$6 - 0 = 6$	$6 + 0 = 6$
$O_{2,3}$	3	$11 - 6 - 3 = 2$	$2 - 2 = 0$	$2 + 0 = 2$
$O_{2,5}$	7	$13 - 6 - 7 = 0$	$0 - 2 = -2$	$0 + 24 = 24$
$O_{2,6}$	4	$18 - 6 - 4 = 8$	$8 - 2 = 6$	$8 + 2 = 10$
$O_{3,4}$	5	$16 - 11 - 5 = 0$	$0 - 0 = 0$	$0 + 0 = 0$
$O_{3,6}$	7	$18 - 11 - 7 = 0$	$0 - 0 = 0$	$0 + 2 = 2$
$O_{3,8}$	6	$24 - 11 - 6 = 7$	$7 - 0 = 7$	$7 + 0 = 7$
$O_{3,9}$	12	$28 - 11 - 12 = 5$	$5 - 0 = 5$	$5 + 14 = 19$
$O_{4,7}$	9	$33 - 16 - 9 = 8$	$8 - 0 = 8$	$8 + 0 = 8$
$O_{4,8}$	8	$24 - 16 - 8 = 0$	$0 - 0 = 0$	$0 + 0 = 0$
$O_{5,9}$	5	$28 - 13 - 5 = 10$	$10 - 24 = -14$	$10 + 14 = 24$
$O_{6,7}$	5	$33 - 18 - 5 = 10$	$10 - 2 = 8$	$10 + 0 = 10$
$O_{6,8}$	4	$24 - 18 - 4 = 2$	$2 - 2 = 0$	$2 + 0 = 2$
$O_{6,9}$	9	$28 - 18 - 9 = 1$	$1 - 2 = -1$	$1 + 14 = 15$
$O_{7,10}$	12	$45 - 33 - 12 = 0$	$0 - 0 = 0$	$0 + 0 = 0$
$O_{8,7}$	9	$33 - 24 - 9 = 0$	$0 - 0 = 0$	$0 + 0 = 0$
$O_{8,9}$	4	$28 - 24 - 4 = 0$	$0 - 0 = 0$	$0 + 14 = 14$
$O_{8,10}$	6	$45 - 24 - 6 = 15$	$15 - 0 = 15$	$15 + 0 = 15$
$O_{9,10}$	3	$45 - 28 - 3 = 14$	$14 - 14 = 0$	$14 + 0 = 14$

imprévus et des avances inespérées. C'est alors que les notions introduites plus haut révèlent leur importance. Dès qu'une date-limite est dépassée, la date d'achèvement des travaux est déplacée. Il convient alors d'agir sur certaines tâches critiques en vue de les réduire. Ceci peut demander une affectation accrue de « moyens » à des tâches qu'il convient alors de retirer, le cas échéant, de certaines opérations non critiques. Pour cela, il faut les allonger et les marges libres nous montrent alors dans quelle mesure cela est possible.

Rappelons que si l'on dispose de programmes adéquats et d'un ordinateur, toutes les indications requises peuvent être rapidement calculées et éditées par lui.

On peut donc prévoir des documents de sortie qui donnent les résultats sous une forme directement utile pour les services intéressés et tels qu'ils soient aisément assimilables par eux. On peut, dans cet ordre d'idées, viser des renseignements chiffrés rangés de façon significative, permettant par exemple de guider la prise en charge par le service des différents travaux.

Ceci permet d'ordonner au mieux l'affectation de la main-d'œuvre.

B. Détermination d'un programme optimal en cas d'adoption d'un critère de coût

a) Relation entre durée et coût d'une opération

Supposons que les temps opératoires des tâches sont connus avec précision et que, pour un coût donné, la durée d_{ij} d'une tâche est bien déterminée.

Cette durée peut généralement varier pour l'opération O_{ij} entre deux limites $t_{ij}^{(0)}$ et $t_{ij}^{(1)}$, avec $t_{ij}^{(0)} \leq d_{ij} \leq t_{ij}^{(1)}$.

$t_{ij}^{(0)}$ correspond à la durée minimale d'exécution en dessous de laquelle toute diminution de la durée devient impossible pour des raisons techniques.

Afin de réaliser $t_{ij}^{(0)}$, il faut consentir un accroissement des dépenses par rapport à toute durée supérieure et au plus égale à $t_{ij}^{(1)}$, de façon que pour $t_{ij}^{(0)}$ le coût $k_{ij}^{(0)} = f(t_{ij}^{(0)})$ de O_{ij} soit maximum. On appelle $t_{ij}^{(0)}$ encore la durée « accélérée » au maximum de O_{ij} .

Il existe, d'un autre côté, une durée $t_{ij}^{(1)}$ dite « normale » qui ne saurait pour des raisons économiques être dépassée, en ce sens que toute durée supérieure conduirait fatalement à un emploi peu rationnel des « moyens » (main-d'œuvre, machines).

On commence, à cet effet, par faire classer par la machine et ce par service impliqué:

- les opérations critiques, ordonnées suivant leur succession dans le temps;
- ensuite les tâches sans marge certaine, mais dont les étapes constitutives présentent des « battements »;
- puis les tâches sans marge libre;
- finalement, les tâches avec des marges certaines.

Cette liste est fonction des durées prévues des tâches. En cas de modification de ces durées, la liste doit généralement être changée. L'ordinateur fournit, à tout moment, le classement souhaité en tablant sur les dernières données chiffrées lues par lui.

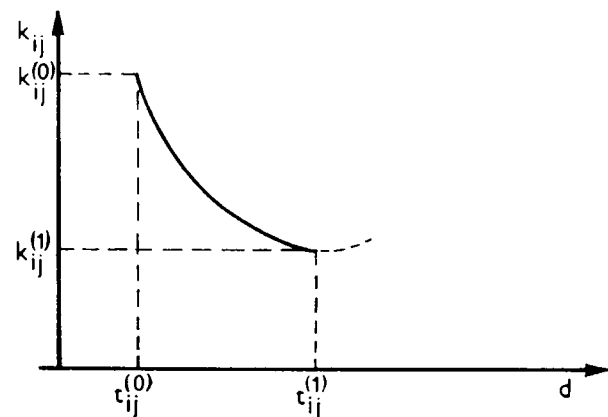
Dans chaque cas concret, des considérations propres au programme à ordonner peuvent évidemment dicter l'établissement de listes supplémentaires éventuelles.

Notons encore que l'ordinateur peut fournir à l'intention des services directement des diagrammes de Gantt (plutôt que des listes), conçus suivant le schéma signalé plus haut et dont l'établissement s'inspire des caractéristiques propres du programme.

La courbe $k_{ij} = f(d_{ij})$ passe en $d_{ij} = t_{ij}^{(1)}$ par un minimum d'ordonnée $k_{ij}^{(1)}$, les coûts pour des durées supérieures à $t_{ij}^{(1)}$ ayant tendance à augmenter à nouveau par suite des conditions anormales de travail.

Le graphique suivant reflète ce lien fonctionnel:

Graphique XVI



Il y a évidemment des tâches qui ne peuvent être accélérées (séchage du béton par exemple).

b) Programme « normal » et programme « accéléré »

Si l'on pose, pour tout $(i, j) \in \cup$, $d_{ij} = t_{ij}^{(1)}$, on a comme durée totale (cf. graphique suivant) :

$$\sum_{(i,j) \in \mu} t_{ij}^{(1)} = t_n^{(1)} = \text{Max}(t_n),$$

où μ désigne un chemin critique déterminé (quel que soit ce chemin, sa longueur est toujours $t_n^{(1)}$).

Le programme correspondant est dit « normal » et sa durée est maximale, aucun temps opératoire ne pouvant être allongé davantage.

On appelle programme accéléré (lisez accéléré au maximum), celui qui est représenté par le graphe \cup et tel que $d_{ij} = t_{ij}^{(0)}$ pour tout $(i, j) \in \cup$. Il a donc une durée totale de :

$$\sum_{(i,j) \in \mu} t_{ij}^{(0)} = t_n^{(0)} = \text{Min}(t_n),$$

aucune durée ne pouvant plus être réduite.

c) Coût global d'un programme représenté en fonction de sa durée totale

1. Cas général

Rappelons, tout d'abord, que la recherche du chemin critique nous a amené à distinguer deux sortes de tâches: les tâches critiques et les tâches non critiques. On conçoit qu'on puisse avoir intérêt à réduire la durée totale d'un programme pour une raison ou une autre et que, à cet effet, on soit obligé à réduire les durées des tâches critiques. On n'aurait, par contre, pas idée d'en faire de même pour les tâches non critiques, car — la durée totale n'étant pas affectée pour autant — ce serait de l'argent dépensé inutilement. Mais elles peuvent être allongées dans les limites imposées par des raisons techniques et économiques. C'est même ce qu'il faut normalement faire, lorsqu'on ne dispose que de moyens limités et qu'une réduction des durées des tâches critiques oblige à retirer au profit de ces dernières, des moyens aux tâches non critiques, allongées en conséquence.

Supposons maintenant qu'on se trouve en présence d'un programme normal et qu'on connaisse $k_{ij} = f(t_{ij})$ pour tout $(i, j) \in \cup$. Nous savons déjà que sa durée totale $t_n^{(1)} = \text{Max}(t_n)$. Il lui correspond un coût global de :

$$K^{(1)} = \sum_{(i,j) \in \cup} k_{ij} = \sum_{(i,j) \in \cup} k_{ij}^{(1)} = \text{Min}(K),$$

les coûts de toutes les tâches étant minima.

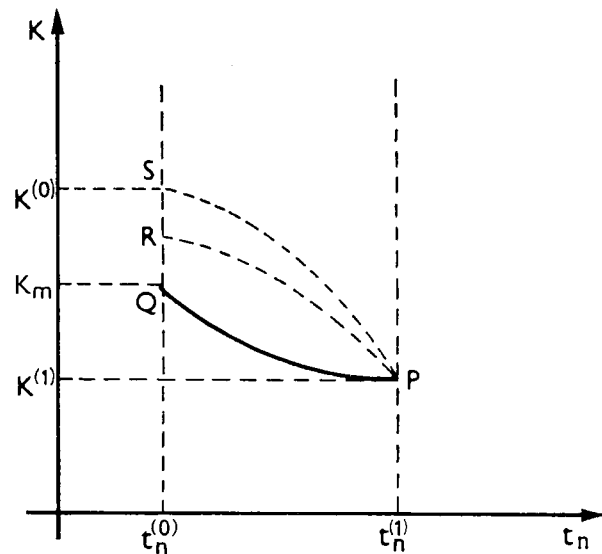
D'autre part, dans le cas d'un programme accéléré, on a $t_n^{(0)} = \text{Max}(t_n)$ et, en vertu de $k_{ij} = k_{ij}^{(0)}$, $(i, j) \in \cup$

encore

$$K^{(0)} = \sum_{(i,j) \in \cup} k_{ij}^{(0)} = \text{Max}(K),$$

aucun coût ne pouvant plus être augmenté par une réduction de tâche.

Graphique XVII



2. Commentaires

Si nous connaissons, pour toute opération O_{ij} , $k_{ij} = f(t_{ij})$, nous savons, d'après ce qui précède, déterminer de suite les deux points

$$P = (t_n^{(1)}, K^{(1)})$$

et

$$S = (t_n^{(0)}, K^{(0)}).$$

Pour déterminer le programme correspondant à Q, il faut partir de celui relatif à S et allonger au maximum

les durées des tâches non critiques: ceci laisse en effet l'abscisse $t_n^{(0)}$ inchangée et l'ordonnée devient:

$$K_m = \sum_{(i,j) \in \cup} k_{ij} = \sum_{(i,j) \in \mu} k_{ij}^{(0)} + \text{Min} \left[\sum_{(i,j) \in \cup'} k_{ij} \right]$$

avec $\text{Min} [f(t_n^{(0)})] = K_m$ et $\cup' = \cup - \mu$ (= complémentaire de μ par rapport à \cup).

En partant, d'autre part, du programme correspondant à P (allongement maximal de toutes les tâches) nous pouvons réduire successivement les opérations critiques. Nous restons à l'intérieur de la zone PRQ. L'aire PRS est le domaine des programmes correspondants, mais pour lesquels les durées des tâches non critiques n'ont pas encore été allongées au maximum

3. Détermination des programmes optima

Il n'existe à l'heure actuelle pas de méthode permettant de déterminer PQ (le lieu des points correspondant aux programmes optima) pour des relations $k_{ij} = f(d_{ij})$ quelconques. Si, en partant de P, nous pouvons choisir à tout moment les réductions des tâches critiques de telle façon qu'elles fournissent la plus forte diminution du coût pour un abaissement donné de la durée totale d'exécution, nous pourrions approcher la construction de PQ. Un traitement (même par voie non manuelle) se heurte rapidement au nombre effarant des combinaisons à essayer dans le cas d'un graphe compliqué. Dès que le nombre des opérations est faible, on peut généralement se tirer d'affaire en examinant les différentes combinaisons.

Il n'existe de méthode générale que lorsque les représentations des coûts en fonction des temps opéra-

toires ont des formes particulières (droites ou courbes convexes, formées de segments de droites).

De par leur nature, les problèmes qu'on rencontre dans ces derniers cas relèvent de la résolution de programmes linéaires paramétrés. La structure particulière de ces derniers permet l'application de méthodes simples de la théorie des graphes (algorithme de Fulkeron, voir plus loin sub L.E.S.S., V, C).

d) Effets de modifications apportées aux durées opératoires

1. Allongement des tâches non critiques

Avant de poursuivre, nous allons traiter encore deux exemples très simples ayant trait respectivement à un allongement des tâches non critiques et à une réduction des tâches critiques. Nous nous proposons de montrer comment on modifie ainsi le coût global d'un programme.

Soit le graphe et le tableau de valeurs suivants:

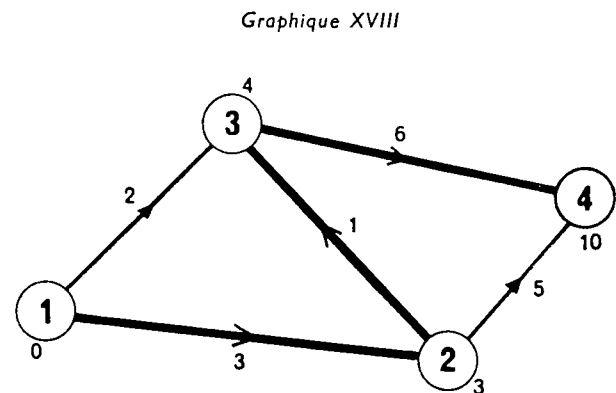


TABLEAU 4

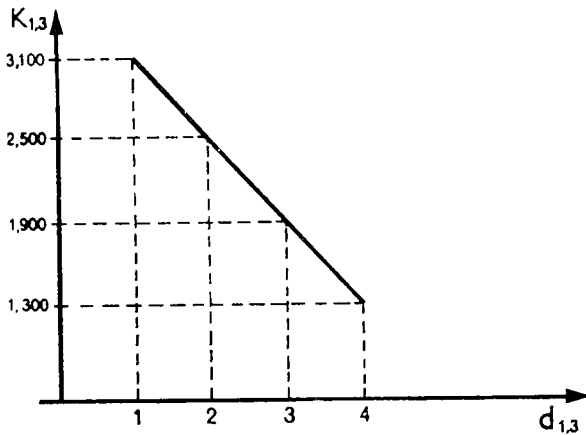
O_{ij}	$t_{ij}^{(0)}$	d_{ij}	$t_{ij}^{(1)}$	l_{ij}	k_{ij}	q_{ij}	d'_{ij}	e_{ij}
$O_{1,2}$	2	3	7	0	8 000	300	3	—
$O_{1,3}$	1	2	4	2	2 500	600	4	$2 \times 600 = 1 200$
$O_{2,3}$	1	1	3	0	4 000	150	1	—
$O_{2,4}$	4	5	6	2	6 500	100	6	$1 \times 100 = 100$
$O_{3,4}$	5	6	8	0	3 000	400	6	—
					24 000			1 300

où q_{ij} est le coût marginal de K_{ij} , fonction linéaire de la durée d_{ij} ; d'_{ij} = les nouvelles durées opératoires après allongement et e_{ij} = les économies (coût marginal x allongement) ainsi réalisées.

Il est évident que les tâches avec marge libre nulle ne seront plus allongées, lors même qu'un tel allongement fût possible. Il ne reste donc plus qu'à examiner $O_{1,3}$ et $O_{2,4}$.

Pour $O_{1,3}$, l'allongement maximal possible est 2 et la marge libre également. On peut donc porter la durée de 2 à 4 et économiser ainsi 1 200 francs. Dans le cas examiné, on a en effet:

Graphique XIX



soit $k_{1,3} = 3\,700 - 600 d_{1,3}$ pour $1 \leq d_{1,3} \leq 4$.

Si donc on passe de $d_{1,3}$ à $d'_{1,3} = d_{1,3} + 2$, on économise $2 \times 600 = 1\,200$ francs (allongement x coût marginal).

Pour $O_{2,4}$ la marge libre est 2, mais l'allongement maximal possible seulement de 1.

L'allongement effectif ne saura donc dépasser une unité de temps et l'économie ainsi réalisée est de 100. Il est donc possible de réduire le coût du programme de 1 300 francs en allongeant le plus les tâches non-critiques. Le coût global devient alors 22 700. On n'a pas forcément atteint ainsi l'optimum pour une durée totale de 10. On ne peut, de façon générale, allonger au delà de $\text{Min}(t_{ij}^{(1)} - d_{ij}, l_{ij}) = \text{Min}(t_{ij}^{(1)}, t_j - t_i) - d_{ij}$.

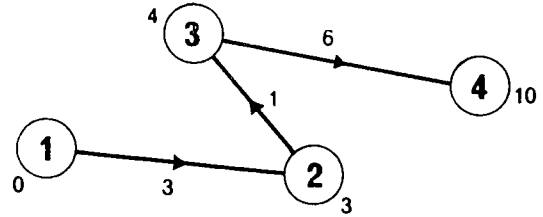
2. Réduction des tâches critiques

— Exemple simple

Partons de l'exemple intentionnellement simplifié suivant où le graphe s'identifie avec son chemin critique,

les durées des tâches critiques indiquées correspondant par hypothèse aux durées normales.

Graphique XX



Soient $t_{1,2}^{(0)} = 1$, $t_{2,3}^{(0)} = 1$, $t_{3,4}^{(0)} = 5$ les durées « accélérées » et supposons que nous devons, pour une raison ou une autre, terminer 2 unités de temps (semaines) plus tôt, c'est-à-dire en 8 semaines. On voit immédiatement qu'on ne peut « accélérer » que la seule opération $O_{1,2}$ de 2 semaines, $O_{2,3}$ ne pouvant pas être accélérée du tout et $O_{3,4}$ seulement d'une semaine. On peut tout aussi bien réduire et la durée de $O_{1,2}$ et celle de $O_{3,4}$ d'une semaine. Pour pouvoir comparer à l'accélération de $O_{1,2}$ de 2 semaines, il faut connaître les augmentations de coût correspondants. Si nous admettons que la relation entre durée et coût est linéaire (dans les limites permises), et que les coûts marginaux sont par exemple les suivants: $q_{1,2} = 300$, $q_{2,3} = 150$, $q_{3,4} = 400$, alors on voit que la seule accélération maximale de $O_{1,2}$ ne coûterait que $300 + 400 = 700$ en plus et l'autre solution $300 + 400 = 700$. On choisirait donc la première voie.

— Cas général

Dans les cas plus compliqués que celui qui vient d'être traité manuellement plus haut, la voie à suivre est la suivante:

Parmi les tâches critiques qu'il faut réduire simultanément pour arriver à une durée totale moins élevée, on choisit celles qui se laissent encore écourter et dont la somme des coûts marginaux est minimale. Si le chemin critique ne peut plus être raccourci, la durée accélérée de programme est trouvée.

Ensuite, on réduit les durées des tâches trouvées plus haut jusqu'à ce qu'un nouveau chemin devient critique ou jusqu'à ce qu'une de ces tâches ne se laisse plus raccourcir.

Ce qui vient d'être exposé ici à l'aide d'un graphe simple, composé uniquement de tâches critiques, est

réalisé par des programmes d'ordinateur pour des graphes quelconques (mais sans circuits, ni boucles). Il est tenu compte de toutes les opérations, c'est-à-dire également des tâches non-critiques, mais qui sont devenues critiques après accélération d'autres tâches critiques. L'hypothèse de la linéarité des coûts en fonction de la durée est essentielle, mais nous verrons plus loin

une extension du procédé à des courbes convexes, composées de segments de droites.

Les programmes d'ordinateur précités reposent sur les algorithmes de Kelley et de Fulkerson. Nous reparlerons plus longement du dernier (L.E.S.S., cf. V, C, d, 6).

V. DESCRIPTION ET ÉTUDE DES PRINCIPALES MÉTHODES D'ORDONNANCEMENT

A. Critical Path Method

a) Rappel historique

Cette première utilisation de la méthode du chemin critique, empruntée à la théorie des graphes remonte à la fin de l'année 1956. Elle est due aux Américains J.E. Kelley (Du Pont de Nemours) et M.R. Walker (Remington Rand) et est parfois appelée également C.P.S. (Critical Path Scheduling), la notion de « méthode du Critical Path » ayant été entretemps étendue jusqu'à indiquer tous les procédés-type, employés dans les différents systèmes pour déterminer la durée totale minimum d'exécution d'un programme, compatible avec les contraintes. Les organisateurs-conseils de la Mauchly Associates ont ensuite contribué à développer la méthode originale.

b) Optimisation d'un programme temporel avec des contraintes du type « potentiel »

1. But

Le but des créateurs du C.P.M. était d'arriver à une meilleure planification et à un meilleur contrôle de grands travaux de construction, d'entretien, de réparation et de transformation. Grâce à l'utilisation de l'ordinateur, il devenait possible de comparer rapidement le déroulement effectif au déroulement attendu des travaux et de modifier la partie restante du programme en fonction des durées réelles constatées.

2. Intervention de l'ordinateur

L'ordinateur fournit pour les programmes importants la date d'achèvement du programme, les dates attendues et les dates-limite des différentes étapes ainsi que les marges opératoires de toutes les tâches (critiques et non-critiques).

3. Utilisation d'algorithmes

Il part, à cet effet, du programme enregistré par l'ordinateur et d'un des algorithmes-type tirés de la théorie des graphes. Soit par exemple le suivant, facile à mécaniser pour les graphes avec de nombreux sommets:

— *Exposé et démonstration de l'algorithme de Ford*

1° Les différentes étapes sont les suivantes:

- a) Marquer chacun des n sommets E_i avec un indice t_i en commençant par poser $t_i = 0$, pour $1 \leq i \leq n$.
- b) Chercher un arc (E_i, E_j) [ou (i, j)], tel que $t_j - t_i < d_{ij}$.

Dans ce dernier cas, t_j est remplacé par $t_i + d_{ij} > t_j$.

Il est à noter que $t_j > 0$, pour $j \neq 1$.

On continue ainsi jusqu'à saturation, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'aucun arc ne permette plus d'augmenter les t_j .

2° On peut maintenant affirmer qu'il existe un sommet E_p , tel que $t_n - t_p = t_p$, n ;

car t_n a augmenté de façon monotone au cours de la procédure E_{p_1} est le dernier sommet qui a été utilisé pour augmenter t_n .

De même, soit E_{p_2} tel que $t_{p_1} - t_{p_2} = t_{p_1 p_2}$ etc.

Comme la séquence $t_n, t_{p_1}, t_{p_2}, \dots$ est strictement décroissante, on aura un certain moment $E_{p_{k+1}} = E_1$.

3° t_n est la valeur du chemin critique le plus long de E_1 à E_n . c'est-à-dire la date de réalisation du programme et

$$\mu = [E_1, E_{p_k}, E_{p_{k-1}}, \dots, E_{p_1}, E_n]$$

est ce chemin de longueur $t_n = l(\mu)$.

En effet, soit

$$\mu' = [E_1, E_{\pi_1}, E_{\pi_2}, \dots, E_{\pi_s}, E_n]$$

un chemin quelconque entre E_1 et E_n de longueur $l(\mu')$.

On a toujours

$$t_{\pi_1} - t_1 \geq t_1, \pi_1$$

$$t_{\pi_2} - t_{\pi_1} \geq t_{\pi_1}, \pi_2$$

$$t_n = t_{\pi_s} \geq t_{\pi_s}, n$$

Or, en faisant la somme des membres à gauche, on voit que, pour tout chemin μ' , on a

$$t_n - t_1 = t_n - 0 = t_n \geq l(\mu').$$

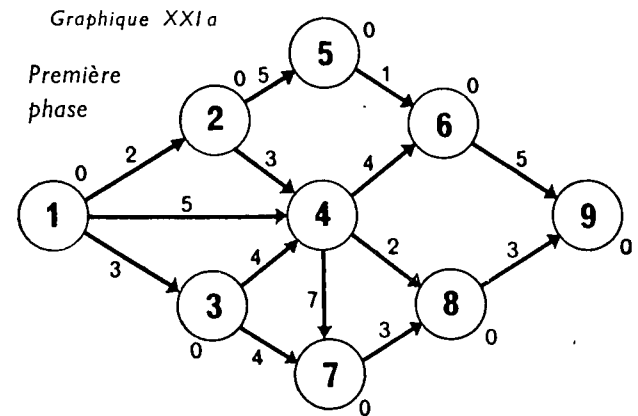
Comme, pour le chemin μ , on a $t_n = l(\mu)$, il vient

$$l(\mu) \geq l(\mu')$$

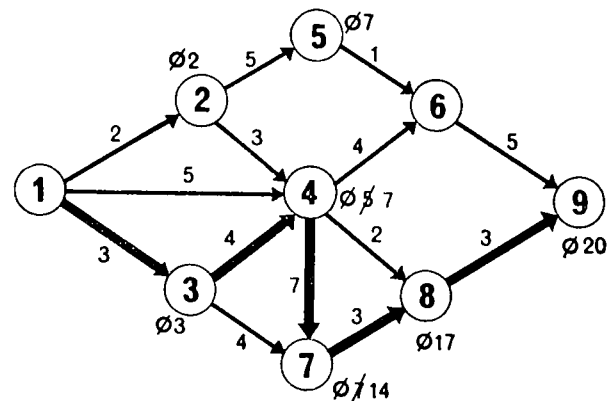
et le chemin μ est donc bien le plus long. C.Q.F.D.

La démonstration qui précède est calquée sur celle, exposée par le professeur Claude Berge dans son excellent livre *Théorie des graphes et ses Applications*, Dunod, Paris, 1958 ([5], p. 68-69), mais qui a trait à l'application de l'algorithme de L.R. Ford au problème du plus court chemin.

Exemple

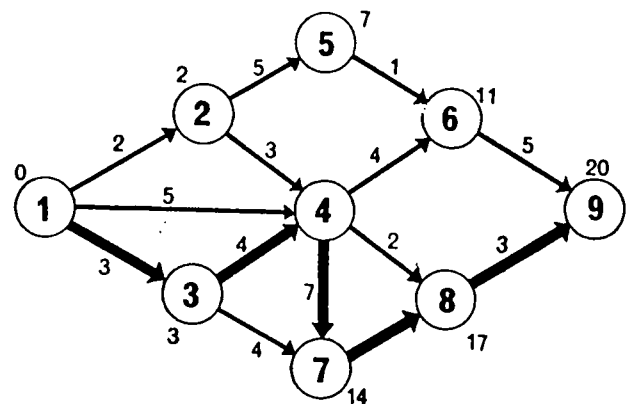


Graphique XXI b
Situation à la fin du procédé itératif



Graphique XXI c
Résultat avec chemin critique

$$\mu = [E_1, E_3, E_4, E_7, E_8, E_9]$$



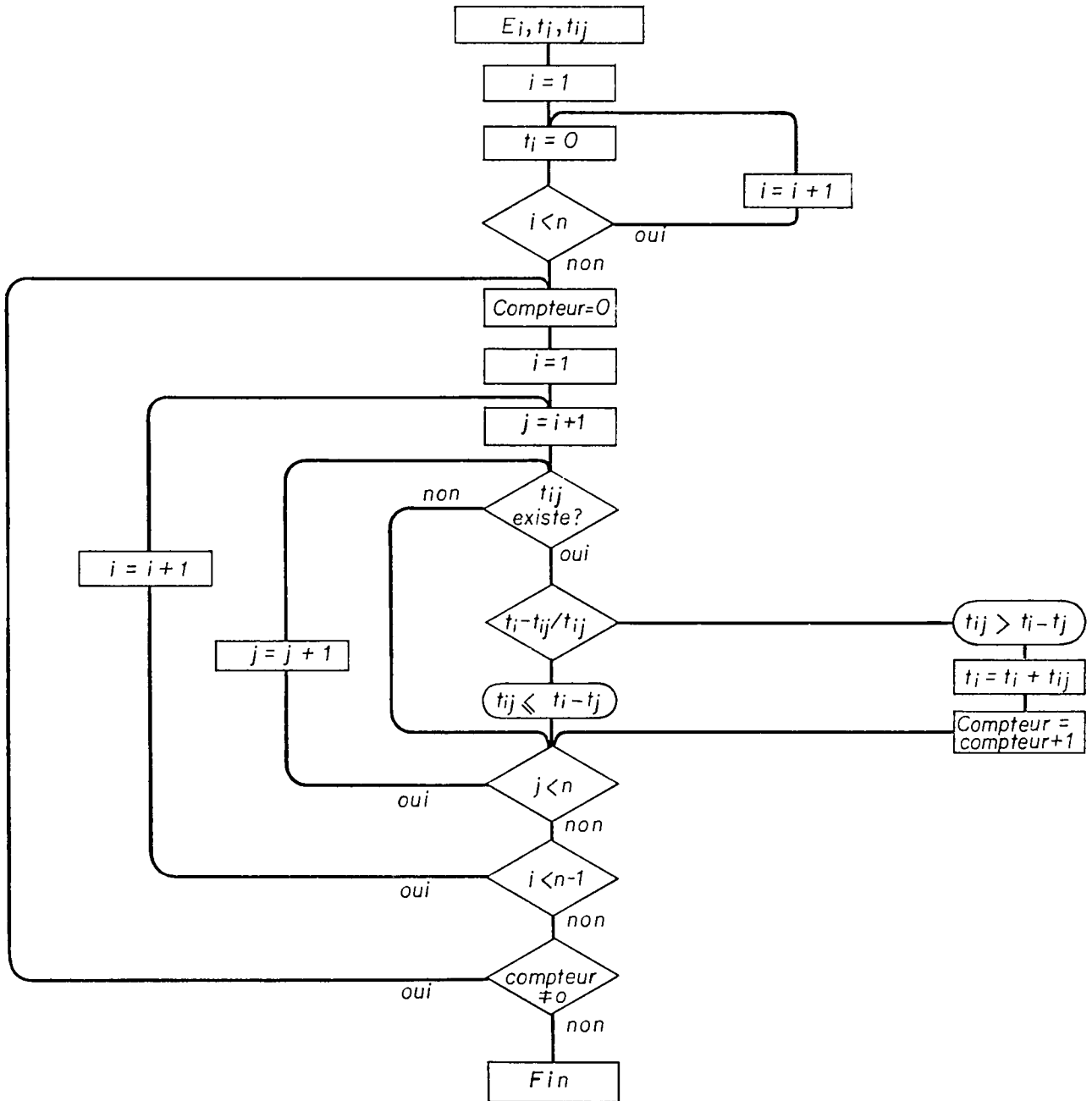
Organigramme de cet algorithme

Il est très facile de programmer cet algorithme en vue du traitement sur ordinateur des problèmes d'ordon-

nancement sous revue. On trouvera ci-après un organigramme établi dans ce but pour nos propres besoins.

Graphique XXII

Algorithme de Ford
Organigramme



4. Remarques d'ordre général

Nous profitons de l'occasion pour ajouter quelques remarques qui, sans s'appliquer au seul C.P.M., y trouvent leur place logique, l'accent ayant été mis notamment dans ce système sur l'optimisation de programmes à contraintes temporelles.

— Numérotage des sommets

Pour l'application des premiers programmes qui furent élaborés, certaines conditions relatives au numérotage des sommets du graphe représentatif devaient être satisfaites.

Ainsi, s'il y en avait n il fallait les numéroter de 1 à n , de façon que si le sommet i était relié par un arc au sommet j , il fallait qu'on eût $i < j$ pour tout sommet.

On conçoit qu'il est difficile de respecter cette condition lors d'un traitement manuel pour des graphes avec de nombreux sommets.

Aussi, des programmes pour ordinateur ont été dressés qui permettent de transformer un numérotage tout à fait arbitraire en un numérotage cohérent dans le sens précité. Le graphe ne représentant généralement pas un ordre total (au sens de la théorie des ensembles), il peut y avoir plusieurs façons d'effectuer cette affectation ordonnée des numéros. Il nous suffira de retenir que l'ordinateur en fournira toujours une qui remplit les conditions (et qu'il se charge, du reste, également d'introduire des opérations « virtuelles » là où elles s'imposent).

— Conversion des époques trouvées en dates du calendrier

Les époques (dates attendues, dates-limite) expriment, dans les unités de temps choisies, les écarts par rapport à la date initiale (nulle) du programme. Il est toujours possible de convertir, à l'aide d'un calendrier, les dates relatives des événements (étapes) en dates effectives. Mais, il existe des programmes d'ordinateur permettant de procéder à ces modifications de façon automatique en tenant compte des informations relatives aux dimanches, jours fériés, repos compensateurs, etc.

Dans certaines éditions plus évoluées des systèmes C.P.M., L.E.S.S. et P.E.R.T., un tel sous-programme est déjà englobé dans le programme général.

— Intérêt de la recherche du chemin critique

La détermination du chemin critique à l'aide de la théorie des graphes présente un grand progrès par rapport aux méthodes de planification habituelles.

Un premier avantage qu'il ne convient pas de sous-estimer est que l'établissement d'un graphe (ou de la matrice des valeurs associées qui en tient lieu) oblige à définir et à évaluer les tâches de façon plus précise et permet de se faire une idée plus claire des méthodes de travail. On parvient de ce fait également à un plan de déroulement des travaux plus précis mettant en évidence l'interdépendance existant entre les différentes phases du planning.

Le contrôle du démarrage des travaux s'en trouve facilité et une affectation rationnelle de la main-d'œuvre, du matériel, etc., devient possible.

Nous avons déjà attiré plus haut l'attention sur l'intérêt qu'il y a à connaître les intervalles de flottement et les marges opératoires. Ajoutons que, avec l'avancement des travaux, le programme subit des modifications auxquelles il est possible de faire face, grâce aux renseignements résultant de la mise à jour périodique du programme temporel et concernant le chemin critique et les « battements » des événements.

En effet, si par exemple on voit qu'il reste de la marge pour l'accomplissement d'une tâche, on ne lui affectera pas de moyens supplémentaires. En cas d'un retard qui risque de rendre un travail critique, on accroîtra les moyens à mettre à sa disposition, etc.

— Limites

La méthode a évidemment ses limites: on ne tient, en effet, pas compte de l'aspect aléatoire des durées. Nous verrons que la méthode P.E.R.T. qui sera discutée plus loin comble cette lacune. Il y a également une grande part d'empirisme dans l'affectation de la main-d'œuvre. Car, généralement, on vise à réaliser une certaine régularité en les affectant de façon prioritaire aux tâches critiques pour jouer ensuite sur les marges libres des opérations non-critiques qu'on recule de façon à arriver à un certain équilibre de la main-d'œuvre. Nous verrons dans la suite de quelle façon ces essais de nivellement se laissent systématiser, voire optimiser. Finalement, toute accélération d'une tâche par rapport à sa durée normale représente une dépense supplémentaire et il est clair qu'on entend procéder à ces accélé-

rations de façon à minimiser les coûts pour une date de réalisation donnée du programme. Cet aspect est effleuré dans le prochain paragraphe et sera examiné de façon plus approfondie, dans la suite.

c) **Optimisation des coûts d'un programme temporel**

Dans la suite, Kelley et Walker s'attaquèrent à un autre problème qui fait intervenir un critère de coûts. Comment minimiser les coûts directs ou l'ensemble des coûts pour une durée d'exécution donnée du programme?

Ou de façon plus précise:

Quelles sont les opérations qu'il convient d'accélérer pour terminer le programme pour une date déterminée avant celle de l'achèvement prévue par le chemin critique et ce avec le minimum de frais supplémentaires?

La méthode employée pour arriver à cette fin repose sur une procédure, bien connue aujourd'hui sous le nom d'algorithme de Fulkerson et qui joue également un rôle éminent dans les autres systèmes. Nous y reviendrons à l'occasion de l'exposé relatif au système L.E.S.S. (cf. V, C, d, 6).

d) **Prise en charge de contraintes cumulatives**

La détermination des programmes optimaux, basée sur des critères temporels et de coût ne tient pas compte de la réalité entière. En effet, les ordonnancements trouvés ne respectent pas la rareté des « moyens » (main-d'œuvre, outils, crédits) disponibles.

On a élaboré des programmes qui font entrer ces contraintes dites « cumulatives » en ligne de compte. Pour pouvoir s'en servir, il faut connaître le nombre d'ouvriers à affecter à chaque tâche. L'estimation des durées ayant permis de fournir le programme temporel optimal (dates attendues et dates-limite, marges totales), on classe les étapes, en premier lieu, dans l'ordre

de leurs dates attendues croissantes et, en second lieu, dans l'ordre de leurs marges totales croissantes sur une liste. L'affectation de « moyens » aux tâches critiques revêt un caractère prioritaire. Une liste d'attente des tâches non-critiques (flottantes) est dressée, dès que pour un service la limite des moyens disponibles est atteinte. Le rang prioritaire d'une opération résulte de ses emplacements sur ces listes. Si l'ordonnancement optimal, trouvé par les méthodes classiques s'avère irréalisable à cause d'un dépassement des moyens disponibles, les dates attendues des tâches et la date de réalisation des travaux sont décalées. La solution compatible avec toutes les contraintes qui est trouvée en définitive n'est pas forcément la meilleure. Elle résulte de critères de priorité simples et d'explorations « intelligentes » des ordonnancements possibles à la lumière de ces critères. Une « optimisation » au sens strict du terme n'est pas réalisable dans le cas général et ce pour des raisons intrinsèques. Lors même qu'on pût rapprocher les courbes de charges (= variations des effectifs nécessaires en fonction du temps) des différentes corporations (menuisiers, maçons, électriciens, etc.) le plus possible des courbes de disponibilité afférentes (établies en respectant les contraintes temporelles), un classement des ordonnancements qui se disputent la priorité s'avère impossible.

Pour ce qui est de cet aspect du problème, le lecteur est invité à se reporter à l'excellent article *Principes d'une méthode d'exploration de certains domaines et application à l'ordonnancement de la construction des grands ensembles*, de MM. Algan, Roy et Simonnard (Cahiers du Centre de mathématique et de statistique appliquées aux sciences sociales, Institut de Sociologie, Université Libre de Bruxelles, cahier N° 3, 1962). Les auteurs y développent entre autres une méthode originale d'exploration rationnelle du domaine des ordonnancements admissibles, appelée « programmation segmentaire » et sur laquelle nous regrettons de ne pas pouvoir nous appesantir davantage ici.

Il est à noter que d'autres systèmes que le C.P.S. partent d'un critère différent, appelé « Manpower Smoothing ». Nous y reviendrons plus loin à l'occasion de la discussion du L.E.S.S.

B. Méthode des potentiels de B. ROY

a) Introduction

1. Mode de représentation

Bien que les systèmes américains C.P.M. et L.E.S.S., P.E.R.T., etc. qui seront exposés plus loin se servent tous du mode de représentation du graphe considéré jusqu'à présent (correspondance arc \longleftrightarrow tâche et sommet \longleftrightarrow étape), il importe d'attirer l'attention du lecteur sur une méthode française qui part d'une représentation essentiellement différente du programme (arc \longleftrightarrow contrainte, sommet \longleftrightarrow tâche) à laquelle nous avons déjà fait allusion dans notre bref aperçu historique. Elle s'appelle « méthode des potentiels » et est due à Bernard Roy.

Sous sa direction et grâce à son éminent concours, un groupe de chercheurs français de la S.E.M.A. (Société d'Économie et de Mathématique Appliquées) a développé dans la suite la méthode et a fait d'intéressantes contributions. Les importants résultats récents ayant trait à la prise en charge de contraintes cumulatives et disjonctives mériteraient qu'on leur consacre un exposé à part. Mais nous devons ici nous limiter à étudier les contraintes du type potentiel. Nous procéderons ensuite à une confrontation des méthodes française et américaine, ce qui contribuera entre autres à faire mieux comprendre les avantages et les limites de cette dernière approche des problèmes d'ordonnancement.

2. But

La méthode des potentiels (qui doit son nom à une méthode de détermination d'un chemin optimal dans la théorie des graphes) a comme but principal de déterminer les dates attendues et les dates-limite de toutes les tâches d'un programme. Elle sert à des fins de planification et de contrôle de programmes temporels.

3. Exemples simples de contraintes

Reprenons l'exemple simple déjà utilisé plus haut (cf. IV, A, a, 1, Graphique VII).

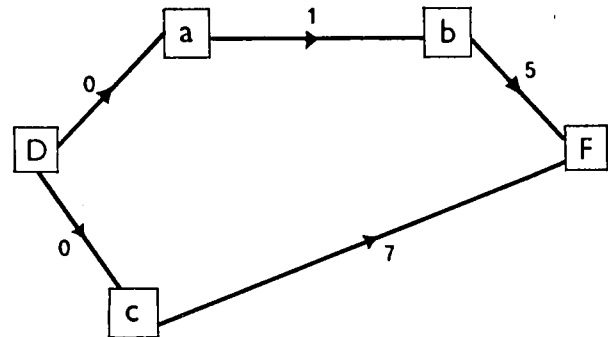
Soit un programme décomposable en trois tâches, a , b , c de durées au moins égales à $d_a = 1$, $d_b = 5$, $d_c = 7$.

Supposons que b ne peut commencer que si a est terminée, mais que c peut être menée simultanément

avec a et b , l'achèvement de toutes les tâches du programme étant assuré, lorsque a , b et c sont clôturées.

Symbolisons les tâches par des sommets et faisons correspondre des arcs aux contraintes. Dans la présente méthode, le graphe représentatif aura l'aspect suivant:

Graphique XXIII



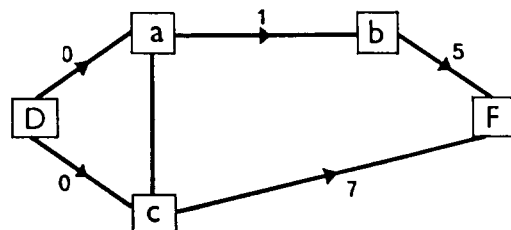
Ainsi, pour que b puisse débiter, il faut que la durée écoulée depuis le début de a soit ≥ 1 .

Pour fermer le graphe, il a fallu introduire deux tâches fictives: une tâche D (= début) et une tâche F (= fin), ainsi que deux contraintes nulles reliant D à a et à c . Ces dernières contraintes signifient que, pour que a et c puissent débiter, il est nécessaire que les durées écoulées depuis le début des opérations D soient au moins égales à zéro. En d'autres termes, ces deux opérations peuvent démarrer immédiatement.

Dans des cas plus compliqués, aucune difficulté nouvelle ne s'introduit, contrairement à ce qui se passe dans la méthode américaine.

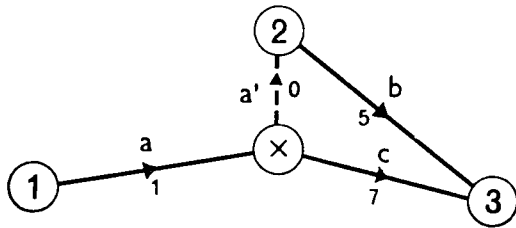
Si a doit être terminée avant que puisse commencer c , on relie a et c par un arc de longueur 1.

Graphique XXIV



Dans la méthode américaine, par contre, il faut introduire une étape supplémentaire x et une tâche fictive a' de durée nulle.

Graphique XXV



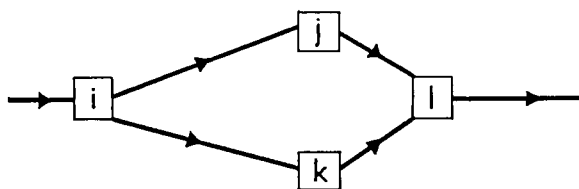
Lorsqu'il y a plusieurs modifications du même genre ou d'autres à introduire (par exemple certaines tâches ne peuvent débuter avant certaines époques déterminées), le graphe construit suivant la méthode américaine se complique rapidement (multiplication d'arcs dont certains sont de durée nulle, introduction d'étapes supplémentaires). La disposition des étapes — et partant celle du graphe — est alors sensiblement altérée, alors que dans la méthode française les changements (volontaires ou imposés) se font par simple adjonction d'arcs sans autre incidence sur la disposition des sommets.

On peut dire que plus un graphe est complexe et que les modifications apportées ultérieurement sont nombreuses, plus le mode de représentation français s'avère simple et souple à manier. Par contre, la méthode américaine peut devenir impraticable à l'échelle industrielle. Il n'y a pas lieu d'introduire d'opération « virtuelle » de durée nulle pour exprimer par exemple le parallélisme de deux opérations:

Exemple

j et k qui débutent après i doivent être terminées avant que l puisse démarrer.

Graphique XXVI



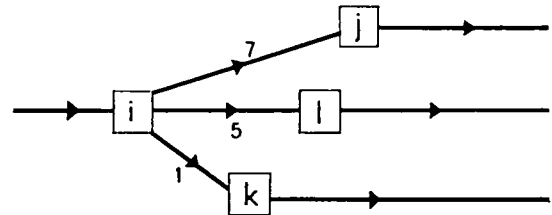
Par contre, l'introduction d'une tâche « virtuelle » est inévitable dans la méthode américaine.

Point n'est besoin non plus de fractionner une tâche déterminée, pour exprimer par exemple que deux autres peuvent être entamées, avant qu'elle ne soit complètement terminée.

Exemple

k et l peuvent être démarrées avant l'accomplissement intégral de i .

Graphique XXVII

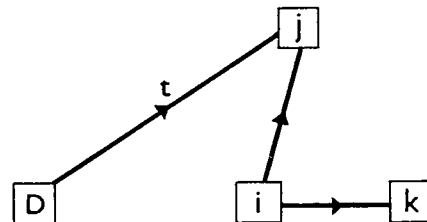


Si une ou plusieurs tâches ne peuvent débuter qu'après un certain délai, compté à partir du début, il suffit de relier le sommet de la tâche « début » au(x) sommet(s) correspondant(s) des tâches en question. Dans certains de ces cas, des opérations « virtuelles » ne pourraient être évitées avec la méthode américaine.

Exemple

j ne peut commencer au plus tôt que t unités de temps après D .

Graphique XXVIII



b) Énoncé et formulation mathématique des principales contraintes

Soit un graphe $G = (E, U)$ représentatif d'un programme temporel et supposons que nous ayons à réaliser les tâches a, b, \dots, i, \dots, n de durées respectives au moins égales à d_a, d_b, \dots, d_n .

Introduisons ensuite les variables $t_a, t_b, \dots, t_i, \dots, t_n$ qui représentent les dates de début des tâches et exami-

nous les différentes variétés de contraintes du type potentiel; à savoir les contraintes dites de « localisation » dans le temps et celles dites de « succession » des tâches.

Les premières imposent à une tâche i :

- de ne pas débiter plus tôt qu'une certaine époque t_i ou d'être achevée au plus tard à une époque déterminée.

Il est toujours possible de les mettre sous l'une des deux formes suivantes: $t_i \geq e_i$ ou $t_i \leq e_i$.

Si l'on veut, en effet, exprimer que la tâche i doit être terminée au plus tard à l'époque L_i , on a

$$t_i + d_i \leq L_i \text{ ou } t_i \leq L_i - d_i = e_i$$

Et si l'on veut exprimer qu'elle ne peut commencer qu'après l'époque l_i , il vient

$$t_i + d_i \geq l_i \text{ ou } t_i \geq l_i - d_i = e_i$$

Les contraintes de succession limitent l'intervalle de temps qui peut s'écouler entre les débuts des deux tâches i et j . Elles permettent de traduire les impératifs suivants:

- la tâche j ne peut commencer avant que la tâche i de durée d_i ait atteint un degré d'avancement suffisant de $100 \alpha \%$;
- la tâche j doit démarrer au plus tard quand la tâche i a atteint un degré d'avancement, caractérisé par $100 \beta \%$;

Dans le premier cas, il vient

$$t_j \geq t_i + \alpha d_i$$

ou

$$t_j - t_i \geq \alpha d_i, \text{ avec } 0 < \alpha \leq 1,$$

et, dans le second,

$$t_j \leq t_i + \beta d_i,$$

c'est-à-dire

$$t_j - t_i \leq \beta d_i$$

ou encore

$$t_i - t_j \geq -\beta d_i, \text{ avec } 0 < \beta \leq 1.$$

c) Traduction et représentation des contraintes par le graphe

1. Contraintes de localisation

Les contraintes de localisation peuvent, après introduction de l'époque de début t_0 du programme, être mises soit sous la forme

$$t_i - t_0 \geq e_i \quad (1)$$

(Exemple: Une tâche i ne peut commencer qu'après la date e_i qui correspond par exemple à la livraison des briques dans le cas d'une construction de maison), soit sous la forme

$$t_0 - t_i \geq d_i - f_i \quad (2)$$

si la tâche i de durée d_i doit être achevée avant l'époque f_i .

En effet, dans ce dernier cas, on a

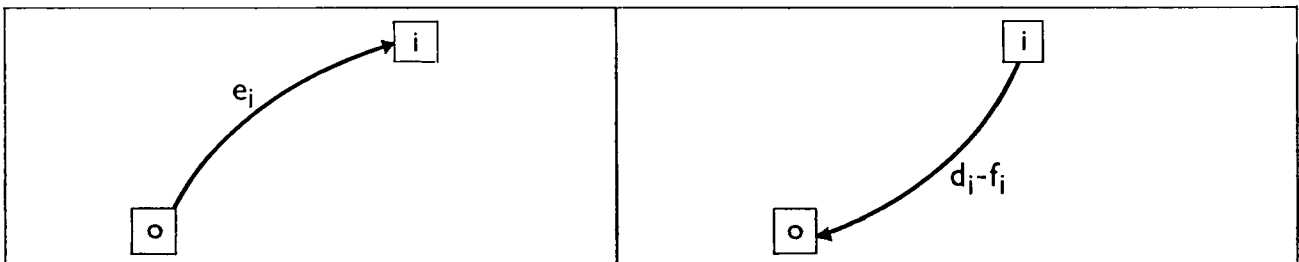
$$t_i \leq f_i - d_i \text{ ou } -t_i \geq d_i - f_i$$

et en introduisant une origine du temps t_0 , il vient

$$t_0 - t_i \geq d_i - f_i.$$

(1) et (2) peuvent être représentées comme suit:

Graphique XXIX



— Remarque

Le mode de représentation américain exige pour (1) une condition accessoire avec un arc reliant le sommet o au sommet i . (2) ne pourrait, de son côté, y être exprimée que de façon détournée.

2. Contraintes de succession

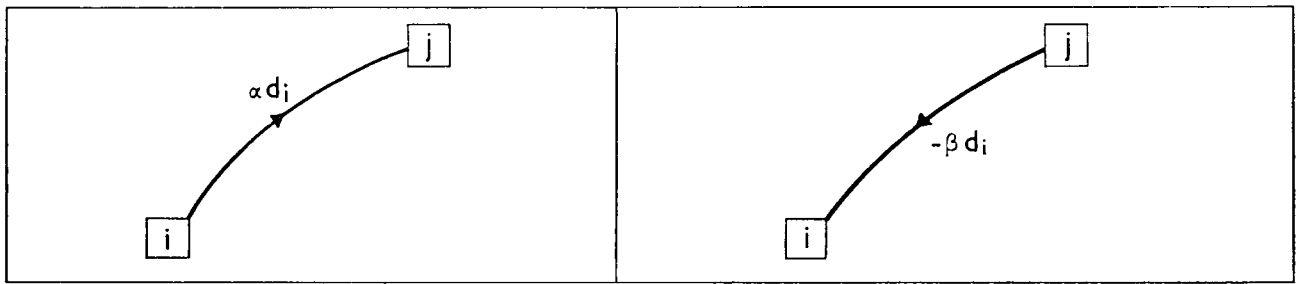
Les contraintes de succession peuvent être mises soit sous la forme

$$t_j - t_i \geq \alpha d_i = \lambda \quad (3)$$

soit sous la forme

$$t_i - t_j \geq -\beta d_i = \mu \quad (4).$$

Graphique XXX



— Remarque

Pour exprimer (3) dans le mode de représentation américain, il faut fractionner la tâche i , ce qui implique l'ajoute d'un nouvel arc dans le graphe.

Quant à (4), il n'est pas possible, dans ce cas, d'intégrer une telle condition. Or, ce dernier type de contrainte permet par exemple de traduire la simultanéité de deux tâches ou leur continuité, etc. et a, par conséquent, une grande importance.

d) Problèmes d'ordonnement

1. Nature du problème

Les contraintes des types (1), (2), (3) et (4) étant connues, il s'agit de trouver les solutions qui conduisent à commencer toutes les tâches soit le plus tôt possible (dates attendues) [soit le plus tard possible (dates-limite)], tout en minimisant la durée globale du programme.

Rappelons que, dans le premier cas, la tâche j ne peut débuter que lorsque les travaux ayant trait à la tâche i ont atteint un degré d'achèvement, caractérisé par le coefficient α (soit un laps de temps λ après le début de i). Dans le second cas, la tâche j ne peut commencer au plus tard, que lorsque les travaux relatifs à i ont atteint un degré d'avancement caractérisé par β . Ici on peut encore dire que, pour que la tâche i puisse être commencée, il faut que la durée qui s'est écoulée depuis le début de la tâche j soit au moins égale à $-\beta d_i$ (soit un laps de temps μ négatif). On s'est ainsi ramené à une terminologie uniforme dans les 2 cas.

Les représentations dans le graphe des contraintes (3) et (4) sont respectivement les suivantes:

Les t_i sont les inconnues à déterminer.

t_0 et t_n sont définies comme le début de la fin de l'ensemble des tâches. On choisit généralement $t_0 = 0$ et il reste donc $n - 1$ inconnues plus grandes que zéro à déterminer en tenant compte des inégalités qu'expriment les différentes contraintes.

C'est un problème qui relève de la programmation linéaire et qui peut être résolu par les méthodes classiques. Mais les méthodes de la théorie des graphes se sont révélées plus rapides et plus pratiques.

Il est à noter que lorsqu'on est, pour t_0 quelconque, en possession d'une solution admissible, on obtient facilement une autre solution par un décalage identique dans le temps de toutes les tâches (et partant une infinité de solutions par variation de ces « translations » dans le temps). Si l'on se fixe l'époque de la tâche « début », il n'existe qu'une seule solution. On choisit habituellement l'époque o comme date de départ quitte à replacer cette époque comme les autres dans la suite dans le cadre d'un calendrier réel qui tienne compte

par exemple des dimanches, jours fériés, jours de repos, etc.

2. Position du problème

La première question qui se pose est de savoir si le problème défini par les systèmes d'inégalités (ou le graphe associé) admet des solutions.

Il se peut, en effet, d'un côté, qu'il y ait eu erreur de transcription ou de perforation des données de base (à part cela cohérentes) au cours de leur traitement. Même si tel n'est pas le cas, il arrive que des contradictions s'introduisent du fait des interdépendances complexes des contraintes, souvent formulées d'ailleurs, par un grand nombre de personnes différentes. Il y a donc dès l'abord un problème de compatibilité à résoudre. Ensuite, s'étant assuré que le problème admet des solutions, on recherche dans la méthode des potentiels les solutions qui permettent d'achever le programme le plus rapidement possible et parmi celles-ci le « minorant universel », c'est-à-dire la solution qui permet de terminer le plus rapidement possible toutes les tâches (compte tenu des contraintes). On peut de la même façon rechercher la solution qui permet de commencer les tâches le plus tard possible. Cette solution extrême s'appelle le majorant universel.

On peut, finalement, être amené, de façon plus générale, à rechercher une solution rendant minimum une forme linéaire des inconnues.

3. Application de la théorie des graphes

Les dates inconnues t_i d'un programme temporel peuvent être regardées comme des potentiels, affectés aux sommets d'un graphe. Pour qu'un programme donné satisfasse aux contraintes, il faut et il suffit que la différence des potentiels affectés aux extrémités terminale et initiale de chaque arc, soit au moins égale à sa « longueur ». Ainsi l'étude des programmes qu'il est possible de réaliser se trouve ramenée à celle des systèmes de potentiels définis sur un graphe.

Or, on montre à l'aide de la théorie des graphes que la condition nécessaire et suffisante, pour qu'il existe des solutions est que le graphe associé au programme temporel ne possède aucun circuit de « longueur » totale strictement positive. Il s'ensuit, en particulier, que si les arcs ne sont porteurs que de longueurs positives le graphe ne doit renfermer aucun circuit, la

longueur totale d'un circuit éventuel étant forcément positive. On voit, d'autre part, qu'il peut y avoir des circuits dans le mode de représentation de B. Roy qui ne correspondent pas à des incompatibilités.

4. Algorithme de Roy

— Nature

Des algorithmes ont été mis au point qui permettent à la fois de vérifier qu'il n'y a pas de circuit gênant et de localiser, dans la négative, le (ou les) circuit(s) éventuel(s), tout en déterminant la solution optimale après élimination des incompatibilités éventuelles des contraintes. L'algorithme suivant, de nature très simple, est dû à B. Roy.

Il consiste à marquer les différents sommets à partir de l'origine ($t_0 = 0$) en affectant à chacun la longueur du chemin le plus long qui permet de l'atteindre. S'il est effectivement possible de procéder à ce marquage, le graphe ne renferme pas de circuit et on a trouvé le minorant universel (ensemble des dates attendues).

Si l'on procède de même en partant de la date de la fin du graphe, on trouve le majorant universel (ensemble des dates-limite). Les tâches pour lesquelles date attendue et date-limite se confondent sont les tâches critiques. Leur différence indique pour les tâches non-critiques (ou flottantes) le « battement ».

— Procédé pratique

Les données sont renseignées dans un tableau dont les colonnes correspondent aux différentes tâches. Dans chaque colonne, on indique les tâches « précédentes », avec leurs durées; c'est-à-dire les tâches qui doivent être exécutées au préalable (totalement ou partiellement).

On ménage également partout une sous-colonne, destinée à faire état des époques de début des tâches précédentes. En bas de chaque colonne, on inscrit les dates attendues.

On commence par choisir, parmi les tâches dont la date de début n'est pas encore déterminée, une dont la sous-colonne est entièrement remplie. Après avoir effectué les sommes des 2 chiffres figurant sur chaque ligne de la colonne en question, on retient le maximum des totaux obtenus qui fournit la date « attendue » de la tâche sous revue. Il faut ensuite inscrire ce maximum

non seulement en bas de la colonne principale, mais dans toutes les sous-colonnes où elle figure. Le mino- rant universel est ainsi progressivement obtenu. Si l'on part ensuite de la fin et que l'on construise un tableau analogue où les tâches « suivantes » figurent dans les sous-colonnes, il est possible de déterminer le majorant universel. A cet effet, on commence par choisir, dans une colonne dont la sous-colonne est remplie complètement, la plus petite différence.

Le programme temporel peut ainsi être établi systématiquement, à moins qu'il n'y ait quelque part une incompatibilité des contraintes. Or, une telle contradiction est dépistée de façon automatique par l'impossibilité de continuer le marquage.

— Exemples

Exemple 1, graphe

Graphique XXXI

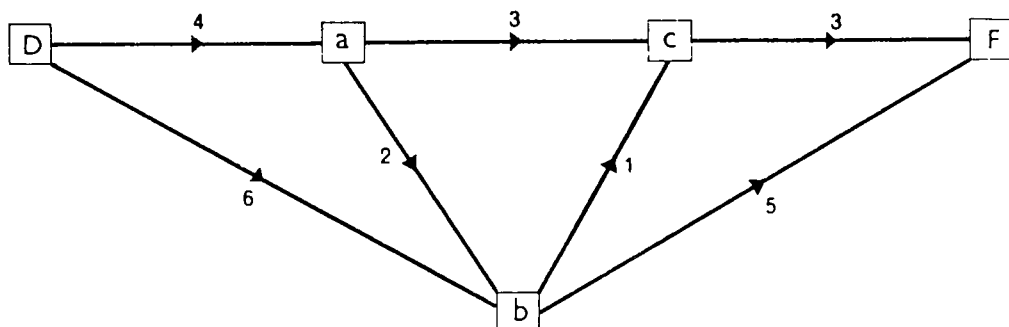


TABLEAU 4

Tâches	D		a		b		c		F	
Tâches précédentes			0	D:4	0	D:1	4	a:3	6	b:5
					4	a:2	6	b:1	7	c:3
Date attendue	<u>0</u>		<u>4</u>		<u>6</u>		7		<u>11</u>	
Tâches « suivantes »	4	a:4	8	c:1	8	c:1	11	F:3		
	6	b:1	6	b:2	11	F:5				
Date-limite	<u>0</u>		<u>4</u>		<u>6</u>		8		<u>11</u>	

Explications

Après avoir inscrit les tâches immédiatement antérieures avec leurs durées, on indique dans les sous-colonnes spécialement aménagées à cette fin les dates qu'on connaît. Au début, on ne connaît que celle de D qui est 0. Ceci donne pour a immédiatement la date attendue $0 + 4 = 4$ que nous inscrivons en bas de la colonne de a et dans les sous-colonnes de b et de c où a figure. La

sous-colonne de b étant complètement remplie, on détermine sa date attendue: $\max(0 + 1; 4 + 2) = 6$ qu'on inscrit en bas de la colonne de b et en face de b dans les sous-colonnes de c et de F. On détermine ensuite la date attendue de c: $\max(4 + 3, 6 + 1) = 7$ qu'on inscrit en colonne c et en face de c dans la sous-colonne de F. Ceci permet de calculer la date d'achèvement du petit programme: $\max(6 + 5; 7 + 3) = 11$.

Dans la partie inférieure du programme, on note les tâches immédiatement postérieures avec leurs durées.

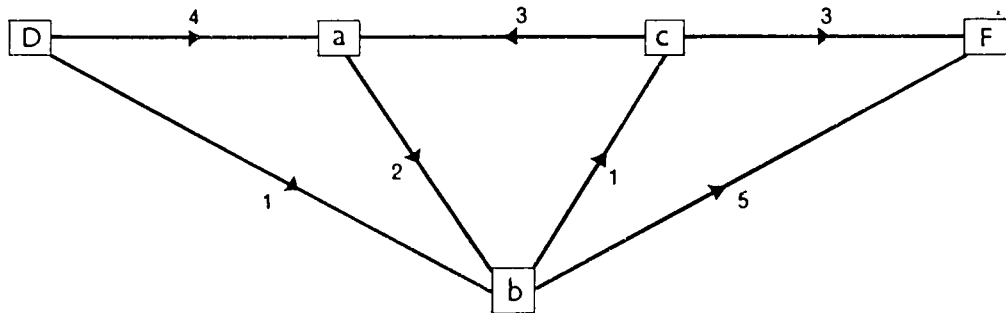
Ensuite, on enregistre la seule date-limite connue, c'est-à-dire celle de F qui est 11. On l'inscrit également en face de F dans les sous-colonnes de b et de c. La sous-colonne de c étant complètement remplie, on choisit la plus petite différence. Il n'y en a qu'une seule: $11 - 3 = 8$, ce qui donne 8 comme date-limite de c. Cette valeur est notée dans les sous-colonnes où figure c, c'est-à-dire dans celles de b et de a. La date-

limite de b peut maintenant être calculée, c'est $\min(8 - 1; 11 - 5) = 6$. Elle est enregistrée en bas de la colonne b et en face de b dans les sous-colonnes de a et de D. On trouve encore successivement les dates-limite de a: $\min(8 - 1; 6 - 2) = 4$ et de D: $\min(4 - 4; 6 - 1) = 0$.

Les dates des tâches critiques ont été soulignées. Le chemin critique passe successivement par les sommets D, a, b et F.

Exemple II, graphe

Graphique XXXII



C'est le même graphe que plus haut, mais on y a changé l'orientation de l'arc (a, c).

TABLEAU 5

Tâches	D	a		b		c		F
Tâches précédentes		0	D:4 c:3	0	D:1 a:2		b:1	b:5 c:3
Date attendue	<u>0</u>							

Explications

On a inscrit les tâches précédentes de a, b, c et F avec leurs durées. La seule date de début connue est celle de D: on la note dans les sous-colonnes de a et de b. En essayant de continuer, on constate que cela n'est pas possible. On ne trouve, en effet, pas en sous-colonne de date de début d'une tâche précédente correspondant à une colonne dotée d'une sous-colonne complètement remplie. Ceci indique la présence d'un circuit. On peut encore le rendre plus intuitif en raisonnant

comme suit: pour remplir la sous-colonne de a, on devrait connaître la date de début de c qui ne peut résulter que de la colonne afférente. Or, il faudrait connaître pour cela la date de début de b, laquelle ne peut résulter que de la colonne b, ce qui présuppose la connaissance de la date de début de a. La colonne de a la fournirait si l'on connaissait la date de début de c. On se trouve ainsi ramené au point de départ. On arriverait au même résultat en voulant déterminer la date de début de a ou de b

— Remarques

Dans les exemples exposés ci-dessus, les arcs sont porteurs de valeurs positives. Si des longueurs négatives sont affectées aux arcs, il convient de prendre certaines précautions.

Dans le dernier cas traité à titre d'illustration plus haut, on a le graphe devant les yeux et point n'est besoin de l'algorithme de Roy pour se rendre compte de l'existence d'un circuit et d'une contradiction manifeste. On conçoit, toutefois, que tel n'est plus le cas si le nombre des sommets et des contraintes est grand (quelques milliers par exemple) et que le graphe ne soit connu que par la matrice des valeurs qui lui sont associées. Dans ce dernier cas, l'algorithme simple de Roy, programmé sur ordinateur, devient indispensable pour révéler et localiser des contraintes incompatibles éventuelles. L'ordinateur exécute rapidement tous les calculs nécessaires à l'établissement du programme temporel (dates attendues, dates-limite, marges opératoires etc.). Grâce à lui, il devient possible de modifier à tout moment le graphe pour l'adapter à une réalité changeante et complexe, de contrôler périodiquement le déroulement d'un programme et de prévoir rapidement les répercussions des changements qui lui ont été apportés en cours de route. Ceci est naturellement

également possible — mais de façon moins directe — dans le cas d'une représentation par un graphe potentiels-étapes.

Par contre, le lien avec le diagramme de Gantt est dans le dernier cas plus direct. Aussi, la présentation — souvent plus concrète — par un graphe nécessite parfois moins de sommets et d'arcs. Ceci ne pèse toutefois pas dans la balance en cas d'un traitement du problème sur ordinateur et ne contrebalance de toute façon pas les autres avantages de la méthode des potentiels.

Signalons que la représentation d'un graphe potentiels-étapes n'est pas unique: il est souvent possible de le schématiser de plusieurs façons tout en respectant les mêmes règles.

Il existe une adaptation de l'algorithme de Roy au cas d'un graphe potentiels-étapes.

Relevons qu'on peut avoir affaire à des programmes où certains paramètres ne sont pas fixés au départ (délais, nombres d'équipes, etc.) et que l'analyse de compatibilité dont il a été question plus haut peut aider le planificateur dans le choix des valeurs à donner à ces paramètres. Dans d'autres cas, elle permet de porter un jugement sur l'intérêt de faire subir des changements structurels au plan.

C. Least Cost Estimating and Scheduling

a) Rappel historique

Après l'établissement des systèmes P.E.R.T.-Time et P.E.R.T.-Cost (cf. V, D, a et V, D, b), commencée en 1958 par la Marine américaine, la Société I.B.M. élabore à partir de 1960 sa propre méthode du chemin critique, basée sur celle du C.P.M., mais qu'elle réussit à développer dans différentes directions. Elle désigna ce système par L.E.S.S. (Least Cost Estimating and Scheduling).

b) Optimisation d'un programme temporel à contraintes du type potentiel

1. But

Le but poursuivi était le même que pour le système C.P.M.: meilleure planification et contrôle de grands travaux de construction et de transformation, de répa-

ration et d'entretien. Ce qui distingue le L.E.S.S. du C.P.M., c'est notamment la prise en compte de critères de charge et, à part cela, certaines nuances dans l'intensité avec laquelle différents buts partiels communs sont poursuivis.

Le L.E.S.S. se propose, comme le C.P.M. de déterminer, en premier lieu, la date de réalisation du programme, les dates attendues et dates-limite de toutes les opérations ainsi que les marges opératoires. A cet effet, il se sert d'une des méthodes-standard, empruntées à la théorie des graphes. Pour varier un peu, nous allons admettre que l'algorithme de Bellman-Kalaba, au sujet duquel nous allons donner quelques indications, est utilisé.

2. Utilisation de l'algorithme de Bellman-Kalaba

Il part d'un principe d'optimalité évident, développé vers 1957 par le mathématicien américain R. Bellman

(cf. *Dynamic programming*, Princeton University Press) et qui peut s'appliquer à notre problème sous la forme transposée suivante: si un chemin avec au plus m arcs est optimal, il est constitué de chemins partiels d'au plus m arcs qui sont également optimaux. Dans notre cas, il s'agit de chemins partiels à valeur maximale.

Cet algorithme qui était destiné à l'origine à permettre la recherche d'un chemin « minimal » s'applique aussi à la recherche d'un chemin de valeur maximale, parce que le graphe du programme n'étant censé contenir ni circuit, ni boucle, la longueur au sens généralisé d'un chemin est forcément finie.

L'algorithme sous revue revient à chercher dans un graphe à n sommets des chemins allant de E_1 à E_n de valeur maximale et successivement de longueur au plus égale à 1, au plus égale à 2, etc. Lorsqu'on arrive à m , tel que pour $1 \leq j \leq n - 1$, les valeurs maximales des chemins avec au plus m arcs sont égales à celles avec au plus $m - 1$ arcs, on a trouvé la solution et on s'arrête.

En d'autres termes, on commence ici par la fin du programme et on cherche des chemins partiels à valeur maximale comprenant un nombre de plus en plus grand d'arcs, jusqu'à ce qu'on trouve le ou les chemins critiques.

c) Introduction de contraintes « cumulatives » et de critères de charge

De même que le C.P.M., le système L.E.S.S. s'intéresse au « Manpower Scheduling » qui épouse de plus près la réalité en ce sens qu'il tient compte des limitations existant du côté de la main-d'œuvre disponible. Les dates attendues et les marges opératoires obtenues par l'algorithme de Bellman-Kalaba par exemple sont révisées et une nouvelle liste est préparée qui englobe les « capacités » restreintes dans l'analyse. Des diagrammes de Gantt peuvent être établis pour les différents services de l'entreprise.

On a également élaboré une variante qui s'inspire d'un autre critère: on vise l'établissement de courbes de charge faisant état d'un besoin de main-d'œuvre aussi constant que possible au cours du déroulement du programme (Manpower Smoothing). On peut par exemple agir sur les tâches non-critiques, afin d'équilibrer davantage les courbes de charge. On conçoit qu'il est malaisé de prendre ce genre de contraintes en charge

du point de vue mathématique. Il est déjà difficile de fixer une limite supérieure à la courbe d'un corps de métier déterminé, car il faut tenir compte des prestations de travail supplémentaires éventuelles, de mutations possibles, etc., Il a été néanmoins possible d'arriver à des résultats intéressants par une exploration itérative systématique des ordonnancements possibles, parmi lesquels les plus satisfaisants sont choisis par l'utilisateur sur la base de critères simples.

1. Remarque

Rappelons qu'en cas d'affectation de moyens rares à certaines tâches, ces dernières ne peuvent être accomplies en même temps et notons que, s'il existe un ordre d'exécution fixé à l'avance, on peut les relier par des contraintes fictives de durée nulle. Ceci n'est plus possible, si l'ordre afférent est arbitraire. En effet, la durée totale d'exécution l'est alors également et de nouveaux chemins critiques peuvent se présenter auquel cas notre plan de charge de main-d'œuvre et de matériel qui table sur une affectation prioritaire aux tâches critiques se trouve modifié.

d) Optimisation de fonctions économiques des coûts

1. But

La durée de chaque tâche du programme peut varier entre une durée « normale » et une durée « accélérée ». L'accélération peut par exemple être réalisée soit par des heures supplémentaires faites par la même main-d'œuvre, soit par des postes effectués par une équipe supplémentaire. En général, les accélérations des tâches vont au détriment de leurs coûts qui s'accroissent généralement. On admet que les coûts directs et l'économie de temps sont proportionnels, c'est-à-dire qu'on a pour chaque opération une relation linéaire entre durée et coûts.

Nous avons vu comment on détermine les dates de réalisation du programme « normal » et du programme « accéléré ».

Si l'on impose maintenant une durée totale d'exécution déterminée et comprise entre ces deux limites, on voudrait connaître les durées de toutes les opérations qui sont telles que l'ensemble des coûts directs de ce programme soit minimum et que la longueur au sens généralisé de tous les chemins critiques soit égale à la durée totale donnée à l'avance.

2. Résultats fournis par l'ordinateur

Les programmes d'ordinateurs nécessitent comme données « d'entrée » les indications suivantes : durée normale et durée accélérée pour chaque tâche ainsi que les coûts directs correspondants. Ils permettent de calculer, pour différentes dates de réalisation du programme des travaux, les durées nécessaires pour les différentes tâches et qui sont donc telles que l'ensemble des coûts directs soit chaque fois minimal. En tenant compte des coûts indirects, pénalités, primes, etc., les responsables de l'exécution du programme peuvent parfois déterminer la durée totale optimale d'exécution des travaux.

3. Nature du problème

On a, pour tout O_{ij} ,

$$K_{ij} = p_{ij} - q_{ij} d_{ij}, \text{ avec } t_{ij}^{(0)} \leq d_{ij} \leq t_{ij}^{(1)}$$

et il s'agit de minimiser le coût global d'un programme des travaux de durée totale t_n (date de réalisation de E_n).

Si donc μ_n indique l'ensemble des chemins du graphe $G = (E, U)$ qui vont de E_1 à E_n , la condition précitée peut être exprimée par le programme linéaire suivant :

$$\begin{cases} t_{ij}^{(0)} \leq d_{ij} \leq t_{ij}^{(1)} \\ \sum_{(i,j) \in \mu} d_{ij} \leq t_n, \text{ pour tout } \mu \in \mu_n \\ \text{Min} \left[\sum_{(i,j) \in U} (p_{ij} - q_{ij} \cdot d_{ij}) \right] \end{cases}$$

Compte tenu du fait que p_{ij} est une constante différente pour tout $(i, j) \in U$, la dernière condition peut être encore mise sous la forme équivalente :

$$\text{Max} \left[\sum_{(i,j) \in U} q_{ij} \cdot d_{ij} \right].$$

Si l'on remplace t_n , c'est-à-dire la durée totale d'exécution des travaux du programme, par le paramètre ζ , on voit qu'on est ramené à la résolution d'un programme linéaire paramétré.

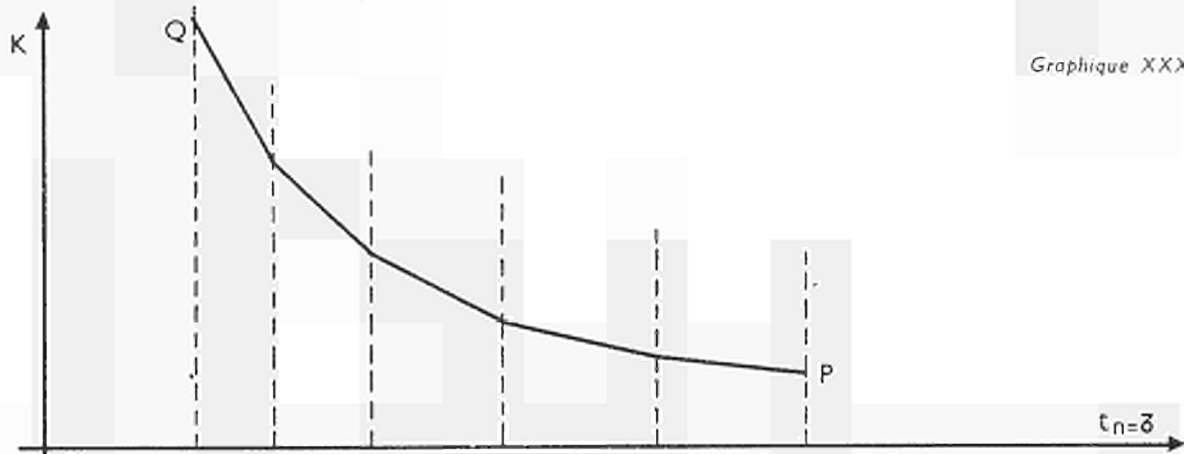
Le problème rentre donc dans cette catégorie de programmes linéaires et peut être résolu par les méthodes ad hoc permettant de déterminer les sommets de la courbe optimale ci-après.

4. Intervention de la théorie des graphes

Mais ainsi que nous l'avons déjà signalé, des algorithmes (de Kelley, de Fulkerson) relevant de la théorie des graphes se sont en l'occurrence avérés plus adaptés et plus puissants. Ces algorithmes partent du dual du programme précédent, ce qui permet de les ramener à un problème de flot maximal, bien connu en théorie des graphes.

Nous ne pouvons pas exposer ici ce théorème (minimum cut-maximum flow) et les détails de l'algorithme de Fulkerson, mais nous allons donner quelques explications relatives à sa portée et à sa nature.

Le lieu des solutions optimales (et qui correspond à la courbe PQ de la figure) se présente comme une courbe convexe, composée de segments de droite. Nous avons fait figurer un exemple ci-après.



Graphique XXXIII

Pour une valeur donnée de ζ , on trouve donc directement le programme optimal correspondant. D'un autre côté, en se fixant le coût global qu'on est disposé à supporter, le graphique permet également de fournir des indications sur la durée totale.

Les sommets qui apparaissent sur la courbe optimale correspondent aux moments après lesquels, par réduction progressive de certaines tâches, de nouvelles tâches deviennent critiques, ce qui augmente les coûts et explique la convexité de la courbe.

L'algorithme de Fulkerson permet, en définitive, de déterminer les coûts directs minima résultant, pour une durée totale visée, de l'accélération des opérations. Il indique les opérations qu'il convient d'accélérer et le nombre d'unités de temps dont il faut les réduire.

Les conditions d'application ont déjà été signalées: il faut que les coûts augmentent avec les réductions des durées et que les coûts marginaux soient constants, ce qui est normalement le cas pour les coûts directs.

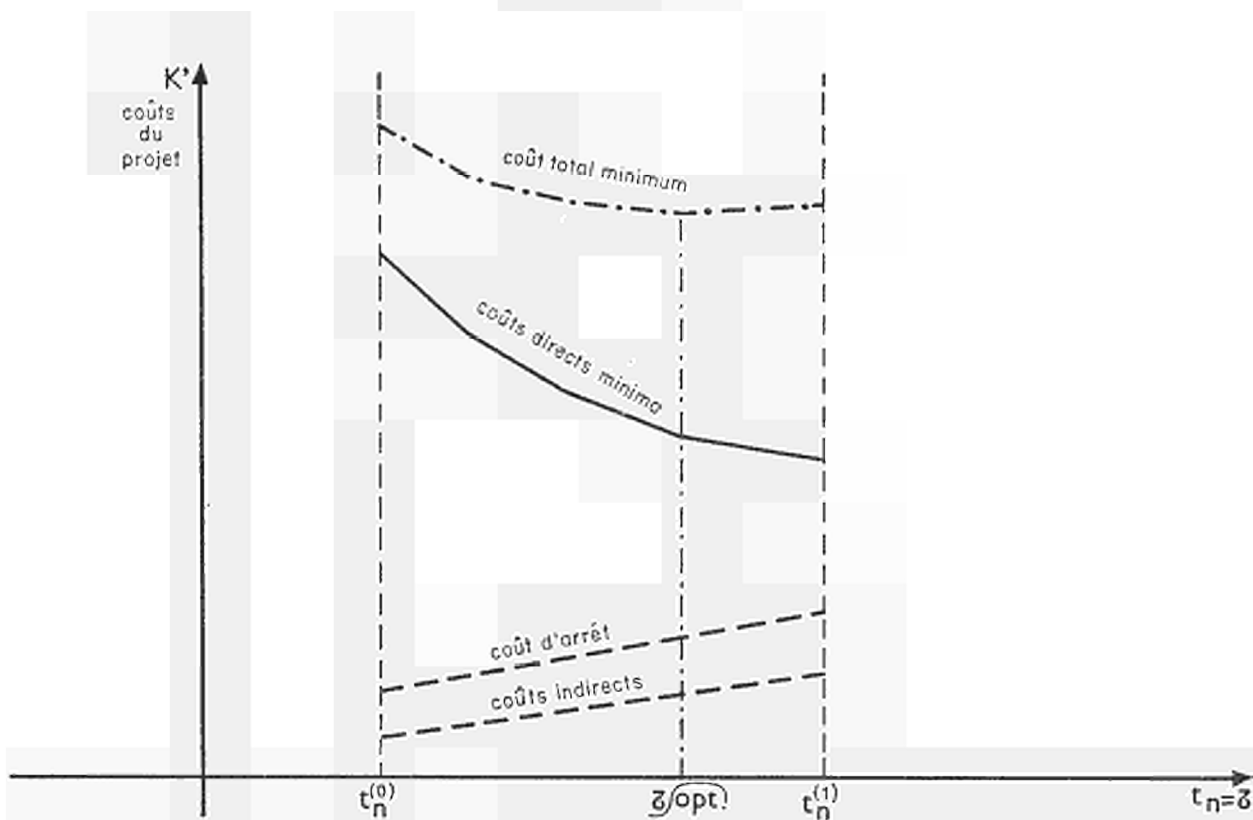
5. Recherche de programmes optimaux sur le plan économique

Si les responsables de la réalisation du programme connaissent par calcul, estimation ou sur la base de données fournies par la comptabilité les coûts directs pour toutes les opérations du programme, les coûts indirects et le manque à gagner éventuel résultant par exemple d'un arrêt des installations (qui dépendent tous les deux en partie de la durée totale des travaux), ils peuvent, à l'aide de la connaissance des coûts directs de certaines tâches (fournis par l'ordinateur), fixer la durée totale en fonction d'un ensemble de coûts donné ou déterminer le coût global minimum pour une durée totale déterminée, voire obtenir la solution optimale sur le plan économique (= programme optimal opt. ζ correspondant au minimum de la courbe).

— Exemples

1. Coûts directs minima, coûts indirects et coût d'arrêt connus

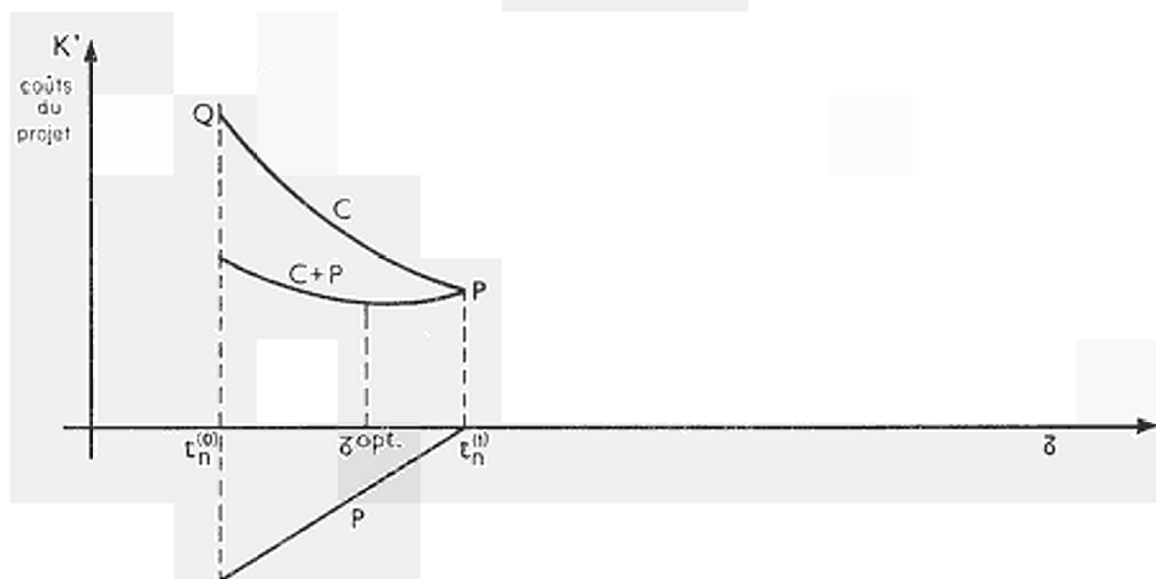
Graphique XXXIV



Dans d'autres cas, le programme optimal sur le plan économique est déterminé par programmation linéaire (si les courbes fonctions des coûts sont des droites ou sont composées de segments de droites) ou, dans des cas plus compliqués, par solution graphique.

2. Coûts directs C et prime P pour achèvement prématuré du programme normal connu

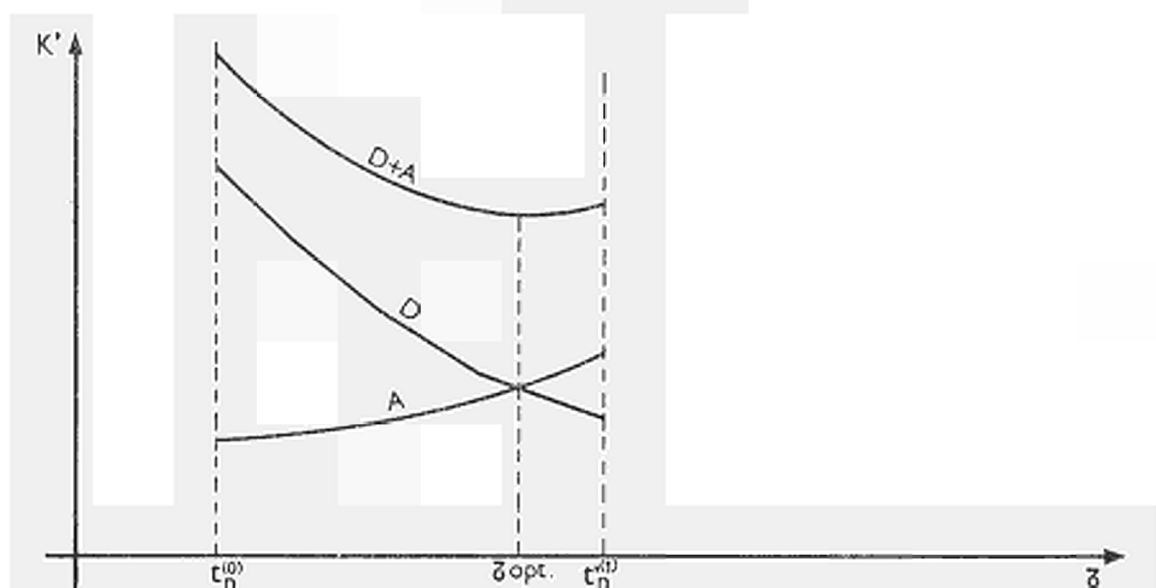
Graphique XXXV



On détermine la courbe C-P dont le minimum correspond à une durée totale optimale.

3. Coûts directs D et manque à gagner A pour arrêt (perte de production) connus

Graphique XXXVI



On obtient graphiquement le minimum de $D + A$ qui fournit le programme optimal.

On peut encore faire intervenir des pénalités pour dépassement d'un certain délai, etc.

6. Nature de l'algorithme de Fulkerson

Nous avons déjà tenté d'indiquer plus haut grosso modo la procédure itérative à suivre pour appliquer l'algorithme de Fulkerson qui table sur un théorème de Ford-Fulkerson appelé aux U.S.A. le théorème du « minimum cut-maximum flow ».

La terminologie employée dans ce théorème de Fulkerson comme dans l'algorithme du même nom devient un peu plus claire, si l'on remonte au problème auquel elle doit son origine. Il s'agissait de déterminer l'énergie électrique transportée (le flow) par un réseau reliant une centrale électrique à une usine. La solution consiste à trouver l'ensemble de lignes du réseau qu'il faut déconnecter pour interrompre tout transfert d'énergie électrique entre centrale et usine. On appelle cet ensemble « coupe » et « capacité » de cette « coupe » la somme des capacités des arcs porteurs (lignes). La « coupe » avec une capacité minimum définit la capacité du réseau ou la valeur maximum du « flow ». Le théorème de Ford-Fulkerson s'énonce en termes abstraits de la théorie des graphes comme suit: Dans un réseau de transport donné, la valeur maximum d'un flow est égale à la capacité minimum d'une coupe (Berge [5], p. 75).

Dans le cas du graphe d'un projet, l'ensemble des tâches critiques qu'on cherche à accélérer simultanément constitue une « coupe ». La somme des coûts marginaux de toutes les tâches appartenant à la « coupe » nous fournit les coûts qu'il faut consentir par unité de temps pour réduire la durée totale du programme. On cherche, dans notre cas, la « coupe » optimale, c'est-à-dire celle qui minimise les coûts d'accélération. Du moment qu'un nouveau chemin critique apparaît, la nouvelle « coupe » doit en tenir compte.

7. Cas de courbes de coûts non-linéaires

Nous avons déjà fait remarquer que l'algorithme de Fulkerson (convenablement programmé en vue de son

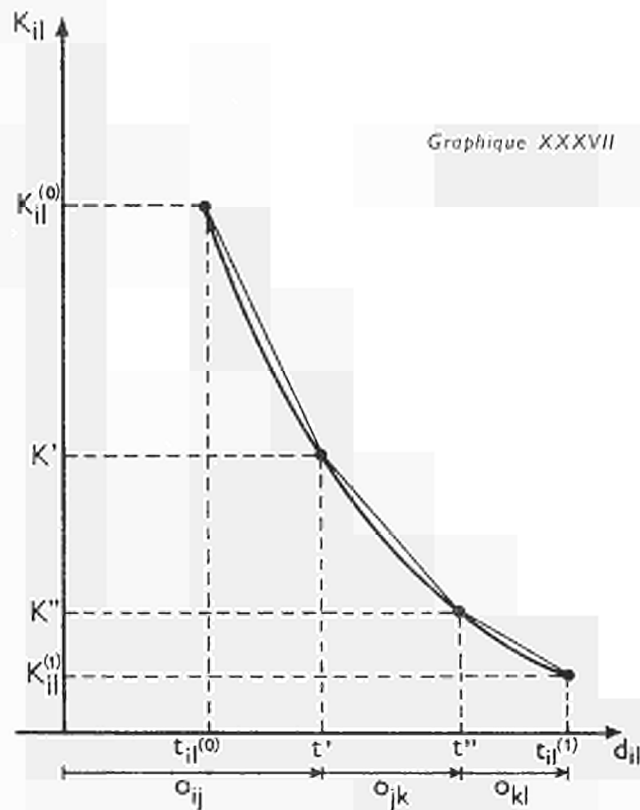
utilisation sur ordinateur), s'applique également à des courbes de coûts convexes, composées de segments de droites entre $t_{ij}^{(0)}$ et $t_{ij}^{(1)}$.

Or, on peut toujours se ramener à ce cas en approchant une courbe quelconque par des segments de droite adjacents, judicieusement choisis.

On constate, en pratique, que les courbes de coûts effectives augmentent de plus en plus rapidement au fur et à mesure qu'on réduit la durée de la tâche. On peut alors soit subdiviser les tâches en conséquence ou tenir compte des modifications des coûts marginaux en cours d'exploitation de l'algorithme par l'ordinateur.

On notera que pour assurer une bonne approximation, il faut souvent introduire des segments de droite qui sont plus petits au début de l'accélération qu'à la fin.

Exemple



On a approché ici la courbe des coûts non-linéaire de l'opération O_{ij} par 3 segments de droite. O_{ij} se trouve ainsi subdivisé, pour les besoins de la cause, en 3 sous-opérations O_{ij} , O_{jk} et O_{kl} avec des courbes de coût linéaires.

On a les relations suivantes:

TABLEAU 6

Opération	Durée normale	Durée accélérée	Coefficient de coût (= coût marginal)
O_{ij}	$t_{ij}^{(1)} = t'$	$t_{ij}^{(0)} = t_{ij}^{(0)}$	$q_{ij} = \frac{K_{ij}^{(0)} - K'}{t' - t_{ij}^{(0)}}$
O_{jk}	$t_{jk}^{(1)} = t'' - t'$	$t_{jk}^{(0)} = 0$	$q_{jk} = \frac{K' - K''}{t'' - t'}$
O_{kl}	$t_{kl}^{(1)} = t_{ij}^{(1)} - t''$	$t_{kl}^{(0)} = 0$	$q_{kl} = \frac{K'' - K_{ij}^{(1)}}{t_{ij}^{(1)} - t''}$
O_{il}	$t_{il}^{(1)}$	$t_{il}^{(0)}$	—

e) **Remarque d'ordre général**

Il convient d'attirer l'attention sur le fait que les courbes de coûts, en fonction des durées ne sont pas tou-

jours connues. Aussi les fonctions étudiées ne sont pas toujours continues et il existe même des cas où elles ne sont pas convexes.

D. Program Evaluation and Review Technique

a) **P.E.R.T.-Time**

1. *Introduction*

Ainsi que nous l'avons signalé dans notre bref historique, le test concluant du système P.E.R.T. (appelé ici P.E.R.T.-Time pour le distinguer du P.E.R.T.-Cost, traité séparément dans la suite) remonte au programme de recherches, développé en 1958 et relatif à la construction des célèbres fusées Polaris.

Dans la suite, cette méthode fut également appliquée avec profit à d'autres grands programmes de développement et de recherches. Aussi, le gouvernement américain prit-il l'habitude d'obliger les fournisseurs de commandes militaires dépassant un million de dol-

lars (50 millions de francs belges) à s'en servir pour la planification et le contrôle. La marine éditait des codes « tâches » et des manuels pour uniformiser et la terminologie et les méthodes, et les grands constructeurs de calculateurs électroniques élaborèrent des programmes de plus en plus perfectionnés. C'est de cette époque que date l'expansion rapide des méthodes de P.P.T. (Project Planning Techniques), basées sur l'application des théorèmes et algorithmes de la théorie des graphes (network-analysis).

Tant aux États-Unis que dans les autres pays leur utilisation se généralisait et est passée du domaine militaire, dans lequel elle s'était confinée à l'origine, dans le domaine industriel au sens large.

2. Optimisation d'un programme temporel en cas de durées aléatoires suivant des lois de probabilité inconnues

Origine du problème

Le propre de certains programmes de recherches est que les durées de diverses tâches sont mal connues à l'avance (nouveaux procédés de fabrication, nouveaux matériaux).

Dans les cas visés, les durées ne sont donc pas connues avec exactitude et on ne connaît pas non plus (sur la base des données historiques par exemple) les lois de probabilité de leurs temps opératoires.

Les distributions objectives n'étant pas connues, on s'en remet (moyennant certaines précautions ayant trait à la collecte des données) aux estimations subjectives des durées, telles qu'elles sont faites par les spécialistes responsables des opérations en cause.

On leur demande de fournir, pour chaque temps opératoire, en partant d'une intensité de travail normale (c'est-à-dire sans accélération ni retard volontaires): une estimation optimiste correspondant au cas le plus favorable, une estimation de la valeur la plus probable, à savoir celle qu'on suppose obtenir le plus souvent si l'on pouvait répéter l'opération et, finalement, une estimation relative à la valeur maximale, dite estimation pessimiste. Pour la dernière estimation, on ne tient pas compte des cas de force majeure.

Buts de la méthode

Le système P.E.R.T. vise l'obtention, pour le projet en question, d'un programme indiquant les dates prévues des différentes étapes (événements). Mais, ceci ne sert que de point de départ pour arriver à se prononcer sur la confiance qu'on peut avoir pour ce qui est de respecter certains délais très importants d'achèvement partiel (ou total) du programme.

Il veut pouvoir fournir à tout moment une confrontation des durées prévues et des durées effectives, ce qui permet de porter un jugement sur le déroulement antérieur du programme. Il se propose, d'autre part, de faire également des prévisions sur le déroulement ultérieur de celui-ci en introduisant les durées réelles connues dans l'ordinateur.

Le système P.E.R.T. entend élaborer des propositions de modification du programme pour le cas où les dates

de réalisation de certaines étapes importantes et notamment de celle de la réalisation des travaux risquent de ne pas être respectées.

Une fois qu'un tel changement est décidé, il faut pouvoir se rendre compte de ses répercussions sur le programme admis jusqu'alors.

Dans les développements récents du P.E.R.T.-Time proprement dit, on s'efforce d'intégrer les programmes partiels émanant de différents fournisseurs dans un programme global. Ceci a conduit à une multitude de programmes d'ordinateur spécialisés. Il n'est pas encore possible à l'heure actuelle d'en fournir une synthèse véritable.

Bases théoriques

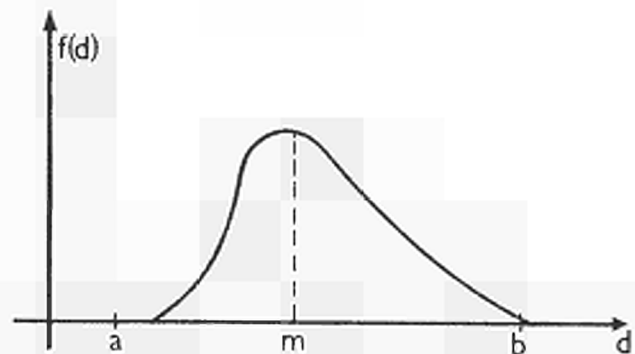
Loi de probabilité des durées opératoires

Il faut se rendre compte qu'on ne connaît absolument rien au sujet de la loi de probabilité des temps opératoires, estimés de la façon indiquée plus haut.

Mais on peut dire que, si elle existe, elle doit en tout cas être bornée (les durées elles-mêmes l'étant) et faire état de probabilités faibles aux limites. Elle devrait, d'autre part, présenter de préférence une asymétrie à gauche (la plupart des distributions de durées effectivement observées ayant cette forme). Elle doit, toutefois, pouvoir prendre toutes sortes de formes et il n'est pas déraisonnable de postuler qu'elle doit être unimodale.

Bien qu'il n'y ait rien d'obligatoire dans ce choix, il faut avouer que la loi β répond bien à tous ces desiderata. Pour une asymétrie à gauche, elle a sensiblement la forme suivante:

Graphique XXXVIII



où d est une variable aléatoire, telle que pour $a > 0$, $b > 0$ on a une densité de probabilité $f(d)$ nulle pour

$$-\infty < d < a \text{ et } b < d < \infty$$

et égale à

$$f(d) = C (d - a)^\alpha (b - d)^\gamma \text{ pour } a \leq d \leq b.$$

La constante C est déterminée par la condition (évidente pour une loi de probabilité):

$$\int_a^b f(t) dt = 1.$$

On en déduit la valeur de la constante

$$C = \frac{(b - a)^{-\alpha - \gamma - 1}}{\beta(\alpha + 1, \gamma + 1)} \\ = \frac{\Gamma(\alpha + \gamma + 2) (b - a)^{-(\alpha + \gamma + 1)}}{\Gamma(\alpha + 1) \Gamma(\gamma + 1)}$$

$$\text{avec } \beta(\alpha + 1, \gamma + 1) = \int_0^1 x^\alpha (1 - x)^\gamma dx$$

(fonction eulérienne de première espèce)

$$\text{et } \Gamma(\alpha + 1) = \int_0^\infty x^\alpha e^{-x} dx$$

(fonction eulérienne de seconde espèce).

Si l'on remplace la variable aléatoire d par la suivante

$$u = \frac{d - a}{b - a},$$

on trouve après transformation une loi de β standardisée, telle que

$$g(u) = 0 \text{ pour } -\infty < u < 0 \text{ et } 1 < u < \infty$$

ainsi que

$$g(u) = \frac{u^\alpha (1 - u)^\gamma}{\beta(\alpha + 1, \gamma + 1)}, \text{ pour } 0 \leq u \leq 1.$$

L'espérance mathématique et la variance en sont respectivement

$$E(u) = \frac{\alpha + 1}{\alpha + \gamma + 2}$$

$$\text{et } \sigma_u^2 = \frac{(\alpha + 1)(\gamma + 1)}{(\alpha + \gamma + 3)(\alpha + \gamma + 2)^2}.$$

En repassant aux expressions correspondantes pour d , on trouve

$$E(d) = a + (b - a) \frac{\alpha + 1}{\alpha + \gamma + 2} = \frac{a + b + a\gamma + b\alpha}{\alpha + \gamma + 2}$$

$$\sigma_d^2 = \frac{(\alpha + 1)(\gamma + 1)(b - a)^2}{(\alpha + \gamma + 3)(\alpha + \gamma + 2)^2}.$$

On trouve le mode en annulant la dérivée $g'(u)$, ce qui fournit

$$u = \frac{\alpha}{\alpha + \gamma}$$

d'où

$$m = a + (b - a) \frac{\alpha}{\alpha + \gamma} = \frac{a\gamma + b\alpha}{\alpha + \gamma}$$

et, après substitution dans $E(d)$,

$$E(d) = \frac{a + b + (\alpha + \gamma)m}{\alpha + \gamma + 2}.$$

Si on veut que σ_d soit sensiblement égal à $\frac{b - a}{6}$ (ce qui

est grossièrement réalisé pour les lois unimodales), on est amené à poser

$$\text{soit } \begin{cases} \alpha = 2 + \sqrt{2} \\ \gamma = 2 - \sqrt{2} \end{cases} \quad \text{soit } \begin{cases} \alpha = 2 - \sqrt{2} \\ \gamma = 2 + \sqrt{2} \end{cases}$$

$$\text{d'où } E(d) = \frac{a + b + 4m}{6}$$

$$\text{et } \sigma_d^2 = \left(\frac{b - a}{6}\right)^2.$$

Estimation des paramètres

Nous avons fixé notre choix en ce qui concerne la loi théorique de base des temps opératoires. Mais la réalité ne nous fournit qu'un échantillon d'estimations subjectives, à partir desquelles on ne peut pas, en toute rigueur, estimer les valeurs inconnues des paramètres a, b, m . On a passé outre à cette difficulté en postulant simplement que les a_{ij}, b_{ij}, m_{ij} , déterminés à partir des estimations subjectives, sont des estimateurs sans distorsion des paramètres en question. Dans cette hypothèse, $1/6 (a_{ij} + 4m_{ij} + b_{ij})$, fonction linéaire

d'estimateurs sans biais, est également un estimateur sans biais de la valeur moyenne inconnue.

Bien que, même dans ce cas $\left(\frac{b_{ij} - a_{ij}}{6}\right)^2$ ne soit pas un estimateur sans distorsion de la variance σ_{ij}^2 (car $\hat{\sigma}_{ij}^2 \neq \sigma_{ij}^2$), on a convenu de considérer $\hat{\sigma}_{ij}^2$ comme étant égale à cette expression. On suppose, en définitive que les estimations \hat{d}_{ij} et $\hat{\sigma}_{ij}^2$ que nous noterons simplement d_{ij} et σ_{ij}^2 sont fournies respectivement par

$$1/6 (a_{ij} + 4 m_{ij} + b_{ij})$$

et

$$\left(\frac{b_{ij} - a_{ij}}{6}\right)^2.$$

Nous pouvons donc déterminer pour chaque tâche, la durée moyenne et la variance empirique. Ce sont des estimateurs (supposés sans biais), fonctions des observations et qui sont, par conséquent, eux-mêmes des variables aléatoires.

Pour déterminer les valeurs moyennes des dates des événements E_i , on se sert du résultat bien connu suivant: « L'espérance mathématique d'une somme de variables aléatoires est égale à la somme des espérances mathématiques de ces variables ». Ceci signifie qu'en traitant les durées moyennes des tâches comme des durées normales certaines, la méthode du chemin critique se généralise et s'applique également au cas de durées aléatoires. On peut donc déterminer les dates attendues, dates-limite, marges opératoires exactement comme dans le premier cas (durées certaines).

Traitement d'un exemple

En représentant un des premiers exemples traités et en partant des 4 premières colonnes du tableau suivant, nous avons déterminé la 5^e comme il est indiqué plus haut. Nous nous servirons dans la suite des valeurs renseignées à la colonne 6. Dans la 3^e colonne, qui renseigne les valeurs les plus probables, on a substitué les anciennes durées certaines (d_{ij}).

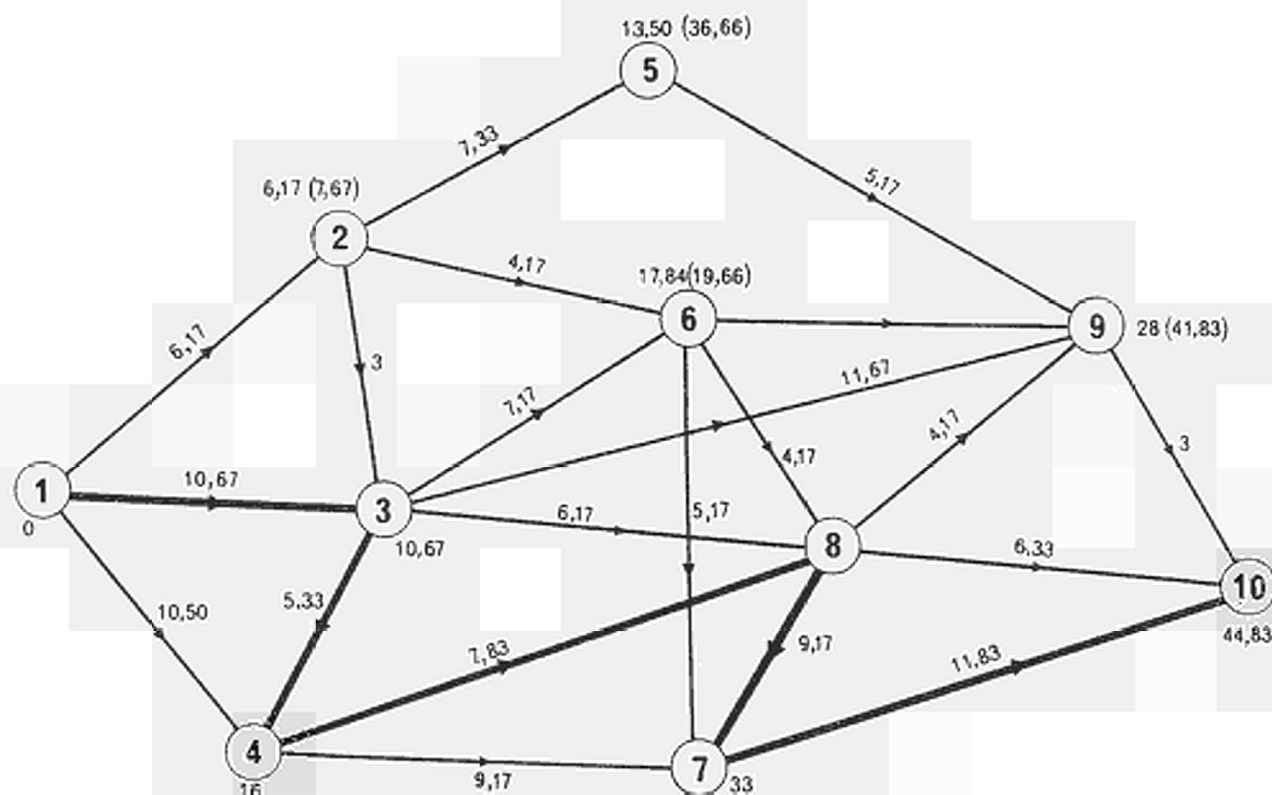
TABLEAU 7

Opération O_{ij}	Estimation optimiste de la durée de O_{ij} a_{ij}	Estimation de la durée la plus probable m_{ij}	Estimation pessimiste b_{ij}	Estimation de la valeur moyenne d_{ij}	Estimation de la variance σ_{ij}^2
$O_{1,2}$	4	6	9	6,17	0,69
$O_{1,3}$	7	11	13	10,67	1
$O_{1,4}$	8	10	15	10,50	1,36
$O_{2,3}$	2	3	4	3	0,11
$O_{2,5}$	4	7	12	7,33	1,78
$O_{2,6}$	3	4	6	4,17	0,25
$O_{3,4}$	4	5	7	5,33	0,25
$O_{3,6}$	6	7	9	7,17	0,25
$O_{3,8}$	3	6	10	6,17	1
$O_{3,9}$	8	12	14	11,67	1
$O_{4,7}$	7	9	12	9,17	0,69
$O_{4,8}$	5	8	10	7,83	0,69
$O_{5,9}$	3	5	8	5,17	0,69
$O_{6,7}$	4	5	7	5,17	0,25
$O_{6,8}$	3	4	6	4,17	0,25
$O_{6,9}$	7	9	13	9,33	1
$O_{7,10}$	8	12	15	11,83	1,36
$O_{8,7}$	7	9	12	9,17	0,69
$O_{8,9}$	2	4	7	4,17	0,69
$O_{8,10}$	4	6	10	6,33	1
$O_{9,10}$	1	3	5	3	0,44

Ces résultats permettent de dresser le graphe suivant où les dates-limite et dates attendues ont été obtenues par un des procédés-standard (algorithmes de Ford ou

de Bellman-Kalaba, ou encore par une adaptation de l'algorithme de Roy au P.E.R.T.).

Graphique XXXIX



On peut encore déterminer les battements des événements et les marges libres moyennes des opérations:

TABLEAU 8

Événements	Durée de l'intervalle de flottement moyen
E ₁	0
E ₂	1,50
E ₃	0
E ₄	0
E ₅	23,16
E ₆	1,82
E ₇	0
E ₈	0
E ₉	13,83
E ₁₀	0

TABLEAU 9

Opération O_{ij}	Durée moyenne t_{ij}	Marge libre « moyenne »
$O_{1,2}$	6,17	$6,17 - 0 - 6,17 = 0$
$O_{1,3}$	10,67	$10,67 - 0 - 10,67 = 0$
$O_{1,4}$	10,50	$16 - 0 - 10,50 = 5,50$
$O_{2,3}$	3	$10,67 - 6,17 - 3 = 1,50$
$O_{2,5}$	7,33	$13,50 - 6,17 - 7,33 = 0$
$O_{2,6}$	4,17	$17,84 - 6,17 - 4,17 = 7,50$
$O_{3,4}$	5,33	$16 - 10,67 - 5,33 = 0$
$O_{3,6}$	7,17	$17,84 - 10,67 - 7,17 = 0$
$O_{3,8}$	6,17	$23,83 - 10,67 - 6,17 = 6,99$
$O_{3,9}$	11,67	$28 - 10,67 - 11,67 = 5,66$
$O_{4,7}$	9,17	$33 - 16 - 9,17 = 7,83$
$O_{4,8}$	7,83	$23,83 - 16 - 7,83 = 0$
$O_{5,9}$	5,17	$28 - 13,50 - 5,17 = 9,33$
$O_{6,7}$	5,17	$33 - 17,84 - 5,17 = 9,99$
$O_{6,8}$	4,17	$23,83 - 17,84 - 4,17 = 1,82$
$O_{6,9}$	9,33	$28 - 17,84 - 9,33 = 0,83$
$O_{7,10}$	11,83	$44,83 - 33 - 11,83 = 0$
$O_{8,7}$	9,17	$33 - 23,83 - 9,17 = 0$
$O_{8,9}$	4,17	$28 - 23,83 - 4,17 = 0$
$O_{8,10}$	6,33	$44,83 - 23,83 - 6,33 = 14,67$
$O_{9,10}$	3	$44,83 - 28 - 3 = 13,83$

Distribution des dates moyennes de réalisation des événements

Dans les applications pratiques, le nombre des opérations composant le chemin critique comme le nombre des opérations en cause sont élevés.

Si nous tenons ceci pour acquis et que nous admettions que les temps opératoires moyens sont des variables

aléatoires indépendantes, nous pouvons nous baser sur le « central limit theorem » pour affirmer qu'une date d'un événement suffisamment éloigné du début du programme suit une loi normale dont la moyenne est la somme des durées moyennes qui ont permis de la fixer et la variance est la somme des variances de ces variables.

Bien que cela ne soit pas permis dans le cas concret étudié (n étant trop petit), nous admettrons, à des fins d'illustration, que le théorème s'applique. En nous servant des valeurs des variances empiriques reproduites dans le tableau précédent, nous trouvons

$$\begin{aligned} \text{var}(t_{10}) &= \\ \text{var}(t_{1,3}) + \text{var}(t_{3,4}) + \text{var}(t_{4,8}) + \text{var}(t_{8,7}) + \text{var}(t_{7,10}) &= \\ &= 3,99, \end{aligned}$$

la date moyenne attendue étant 44,83.

Si nous voulons par exemple connaître la probabilité pour E_{10} de dépasser la date 50, nous n'avons qu'à déterminer à l'aide d'une table de la loi normale réduite

$$N(0,1): P\left(x \geq \frac{50 - 44,83}{\sqrt{3,99}}\right) = P(x \geq 2,58).$$

On trouve approximativement $P = 0,01$, ce qui signifie qu'il n'y a que 1 chance sur 100 qu'une telle éventualité se produise. La probabilité de dépasser la date moyenne 44,83 est $P(x \geq 0) = 1/2$.

Utilisation de ces résultats

Nous pouvons ainsi partir de dates (imposées pour une raison ou une autre) et calculer leurs probabilités de dépassement, soit nous fixer un seuil de probabilité (par exemple 0,01) et déterminer les dates correspondantes.

Supposons maintenant que, dans le premier cas, la probabilité d'un dépassement de la date d'achèvement d'une partie importante du programme (par exemple celle du programme lui-même, fixée par contrat) est très faible. Il n'y a alors aucune raison d'accepter des dépenses supplémentaires pour accélérer les travaux. Si, par contre, cette probabilité est grande, il convient, le cas échéant, de s'efforcer de réduire les tâches critiques au détriment de leurs coûts.

A supposer que cette accélération ne soit plus possible, on tiendra compte des pénalisations éventuelles pour dépassement d'échéance, avant de prendre une décision quant à l'acceptation ou au refus du contrat en question.

Dans l'avant-dernier cas, avant de réduire certaines tâches, on aura essayé de modifier le graphe en s'efforçant de rendre parallèles le déroulement du maximum

d'opérations possible. Si des raisons techniques s'y opposent, l'accélération de certaines tâches devient indispensable. Compte tenu de la date (plus rapprochée) d'achèvement du programme à respecter, l'ordinateur peut fournir les nouvelles dates des événements. On constatera alors que différentes marges totales sont devenues négatives. Il conviendra donc d'accélérer les tâches qui ramèneront ces marges à zéro. Il y a en général plusieurs moyens d'y arriver et il faut fixer son choix, après avoir examiné quelles tâches peuvent être accélérées et de combien.

Distributions des dates-limites des événements

Les dates-limites moyennes \bar{t}_i de E_i sont obtenues de la même façon que dans le cas d'un avenir certain: elles correspondent au chemin de valeur maximale de E_i à E_n et il suffira donc de retrancher la somme des durées moyennes, calculées sur le chemin le plus long entre E_i et E_n , de la date moyenne d'achèvement du programme \bar{t}_n .

Pour pouvoir appliquer le « central limit theorem » à une date-limite de E_i , il faut qu'elle ne soit pas trop proche de la fin du programme. Si elle s'en trouve suffisamment éloignée, on peut encore affirmer que la durée moyenne nécessaire pour réaliser les tâches E_i et E_n suit une loi normale dont la moyenne est égale à la somme des temps moyens des opérations composant le chemin de E_i à E_n et la variance à la somme des variances correspondantes.

Distribution des « battements »

Le P.E.R.T. se propose de dépister, à l'aide du calcul des probabilités, les étapes du programme dont on n'est pas sûr de pouvoir respecter les dates moyennes prévues. Il part, à cet effet, du fait que tant \bar{t}_i que \bar{t}_j suivent des lois normales et que, par conséquent, la variable transformée

$$\frac{\bar{t}_i - \bar{t}_j}{\sqrt{\sigma^2(\bar{t}_i) + \sigma^2(\bar{t}_j)}}$$

suit également une loi normale réduite $N(0,1)$ de moyenne nulle et d'écart-type unité.

Pour pouvoir porter un jugement sur la confiance qu'on peut accorder à la date moyenne prévue pour une étape E_j , le P.E.R.T. part de la probabilité $P(\bar{t}_j \leq \bar{t}_i)$, un battement négatif impliquant qu'un retard correspondant sera apporté au programme.

Pour les étapes du chemin critique, il vient

$$P(\bar{t}_i - t_i \leq 0) = 0,50. \quad \text{et}$$

on ne peut avoir $P(\bar{t}_i - \bar{t}_i \leq 0) < 0,50$ que pour des étapes « non critiques »

Il est clair que si l'ordinateur fournit ces résultats non seulement au départ, mais à tout moment voulu au cours de l'exécution du programme, on peut prendre ses décisions en connaissance de cause.

— *Intérêt de connaître et de suivre ces résultats*

On se rend compte de l'intérêt qu'il y a à suivre le déroulement d'un programme et à intercaler des contrôles périodiques (chaque semaine ou tous les quinze jours par exemple). On confronte les dates effectives avec les dates prévues. En cas d'écart, on peut déterminer les répercussions sur l'ensemble du projet: les dates attendues, les dates-limites et les battements des tâches non achevées peuvent avoir changé. De nouveaux chemins critiques peuvent avoir apparu. Un retard qui s'annonce déclenchera immédiatement des mesures de compensation. Il se peut même qu'un fait imprévu oblige à modifier complètement une partie du graphe etc.

Du fait de la prise en charge du programme P.E.R.T. par l'ordinateur, les responsables de l'exécution d'un programme d'ordonnement ont en mains un instrument de contrôle extrêmement utile.

3. *Optimisation dans le cas où les lois de probabilité des temps opératoires sont connues*

Il arrive que, pour des programmes industriels de développement, on connaisse les lois de probabilité des durées des opérations (variables aléatoires). On peut alors déterminer pour chacune d'elles l'espérance mathématique et la variance. Le théorème « central limit » s'applique encore à condition que le nombre des variables aléatoires soit élevé.

Cas-limite de durées certaines

On peut se servir du programme P.E.R.T. pour déterminer, même en cas d'un avenir certain, les dates attendues, dates-limites, marges opératoires etc. Il suffit pour cela de poser

$$a_{ij} = b_{ij} = m_{ij} = d_{ij}$$

En effet, dans ce cas, la valeur moyenne s'identifie avec la durée certaine

$$\frac{a_{ij} + 4m_{ij} + b_{ij}}{6} = d_{ij}$$

et la variance s'annule.

4. *Critique du système*

Ce n'est qu'au prix de simplifications assez poussées qu'on est arrivé aux résultats exposés plus haut.

L'hypothèse d'une indépendance des temps opératoires est la plus criticable. En général, en effet, les moyens sont limités et leur affectation à une tâche peut fort bien dépendre de leur répartition sur les autres. Ainsi, un manque de moyens peut ralentir l'ensemble des travaux.

Le choix de la loi β est arbitraire, mais heureux. Par contre, la détermination des paramètres n'est fondée que sur des raisons de commodité et est à part cela complètement injustifiée. L'estimateur sans biais adopté pour la variance d'un temps opératoire n'est pas cohérent avec celui de sa valeur moyenne.

Un autre point qu'il importe de relever est le suivant: la probabilité de dépassement de la date d'un événement a été déterminée à l'aide des seules durées des tâches qui se trouvent sur le chemin le plus long de E_1 à E_j . Il se peut qu'un autre chemin de « longueur » sensiblement égale et aboutissant également en E_j fournisse une probabilité plus élevée. On risque donc d'arriver, le cas échéant, à des conclusions trop optimistes relatives au déroulement du programme, si l'on se base uniquement sur le premier chemin.

Dans un ordre d'idées analogue, la date-limite de l'événement non critique E_j , c'est-à-dire \bar{t}_j est déterminée dans le P.E.R.T. à partir du chemin le plus long entre E_1 et E_n . Si l'on avançait cette date dans l'intervalle $[\bar{t}_j, \bar{t}_j^*]$ en prenant comme date-limite \bar{t}_j^* avec $\bar{t}_j < \bar{t}_j^* < \bar{t}_j$, la probabilité que la date \bar{t}_n soit influencée par les durées des tâches sur le chemin le plus long de E_1 à E_n serait plus faible. On serait alors plus fondé d'admettre que la date attendue de E_n dépend plus des tâches du chemin critique entre E_1 et E_n que de celles entre E_1 et E_n .

Or, la méthode P.E.R.T. table sur \bar{t}_j au lieu de $\bar{t}_j^* \dots$

b) P.E.R.T.-Cost

1. Origine

Le système P.E.R.T.-Cost constitue une extension du système décrit plus haut. Il résulte des investigations faites par une équipe de chercheurs du Ministère américain de la Défense et de la N.A.S.A. et présuppose l'utilisation d'un programme P.E.R.T.-Time.

2. Buts et développements récents

Le P.E.R.T.-Cost a pour but de fournir aux responsables de l'exécution d'un ensemble complexe de travaux la possibilité de contrôler les coûts, en partant, à cet effet, de coûts de référence estimés au départ et enregistrés par l'ordinateur. Les coûts effectifs sont également transmis à l'ordinateur qui procède à des comparaisons et fournit des décomptes partiels pour les parties du programme déjà réalisées et des coûts prévisionnels pour les étapes restantes.

Le système sous revue vise également à fournir des indications permettant un meilleur ordonnancement de la main-d'œuvre. A partir de données relatives aux moyens nécessaires pour chaque opération et aux moyens disponibles pour chaque service etc., il détermine les courbes de charge afférentes et peut même éditer des graphiques et diagrammes de Gantt.

L'ordinateur permet de procurer rapidement un aperçu des faits saillants concernant l'achèvement d'étapes partielles importantes du programme. Il est à noter qu'il peut, à cet effet, également tenir compte des coûts entraînés par des modifications apportées à la répartition des moyens et des pénalisations pour achèvement tardif (ou primes pour achèvement prématuré) de l'ensemble des travaux.

Un développement récent (Resource Allocation Supplement) tient compte des coûts résultant de l'affectation des moyens (main-d'œuvre, machines etc.) aux différentes opérations, des coûts d'accélération et des modifications des courbes de charge et se sert de l'algorithme de Fulkerson pour déterminer la planification optimale des moyens pour une durée d'exécution totale donnée.

D'autres recherches ont abouti à l'élaboration du Time-Cost Option Supplement qui permet d'arriver à un choix judicieux en fournissant pour une gamme de

programmes à la fois les dates moyennes d'exécution, les coûts et les risques de dépassement de ces dates pour différents seuils de probabilité.

Cette extension tient compte du fait que les coûts d'une opération ont une incidence sur sa durée moyenne et que, pour un coût donné, la durée peut varier dans certaines limites (lien stochastique et non pas fonctionnel entre coûts et temps opératoires). Il est raisonnable d'admettre que plus on alloue de moyens à une tâche, non seulement sa durée moyenne diminue, mais également la variance de cette durée. Ce résultat intuitif peut, du reste, être démontré dans des cas particuliers en partant d'hypothèses simples (constance des coefficients de variation des tâches par exemple etc.).

Si, dans un tel cas, nous admettons pour toute opération d'un programme une relation linéaire (connue) entre durée et coût, nous pouvons nous servir de l'algorithme de Fulkerson pour déterminer la courbe des solutions optimales, composée de segments de droite. D'un autre côté, les variances des temps opératoires des tâches sur le chemin le plus long permettent de déterminer directement la variance de la date de réalisation du programme (en cas d'indépendance des opérations sous-jacentes, elle est en effet égale à leur somme). Les sommets de la courbe des solutions optimales fournissent différents programmes que nous pouvons ordonner par coûts croissants, c'est-à-dire par durées moyennes (et variances de ces durées) décroissantes.

Nous disposons alors de toutes les données nécessaires pour calculer, pour plusieurs seuils de probabilité fixés à l'avance et pour chacun des programmes optimaux, les durées moyennes que nous risquons d'atteindre ou de dépasser.

Nous sommes, en effet, dans ce dernier cas, en présence d'un problème classique de calcul des probabilités:

Connaissant, pour une loi normale (= loi de Laplace-Gauss), la moyenne m et l'écart-type σ , on demande de déterminer pour un seuil de probabilité (de sécurité) donné de $100p\%$, la durée t (= la date t pour une époque de début égale à zéro), telle que la probabilité d'atteindre ou de dépasser cette valeur (= probabilité de non-réalisation du programme à la date t) soit égale à p .

Or, ceci revient à trouver pour la loi normale réduite (de moyenne nulle et d'écart-type unité), la valeur de t pour laquelle

$$P\left(\frac{t-m}{\sigma} \geq \lambda_p\right) = p.$$

λ_p figure dans une table qui donne λ_p en fonction de p , à partir de

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\lambda_p}^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} dx = p,$$

avec $x = \frac{t-m}{\sigma}$.

On a $\lambda_{0,05} = 1,96$ pour un seuil de sécurité de 5 %

On a $\lambda_{0,01} = 2,5758 \sim 2,58$ pour un seuil de sécurité de 1 %

On a $\lambda_{0,001} = 3,2905$ pour un seuil de sécurité de 0,1 %

On a $\lambda_{0,0001} = 3,8906$ pour un seuil de sécurité de 0,01 % (1 chance sur 10 000 d'atteindre ou de dépasser 3,89).

Il en résulte par exemple directement que, pour $p = 0,05$, t est au moins égal à $1,96 \sigma + m$ (où σ et m sont connus).

Nous pouvons encore déterminer pour chaque programme la durée totale que nous ne risquons guère de dépasser. On peut, en effet, toujours choisir le seuil de façon telle qu'on soit quasi-certain qu'un dépassement ne se produira pas.

On prend dans ce cas généralement $p \leq 0,01$ et par exemple $p = 0,0001$ pour pouvoir tabler presque certainement sur le fait qu'on ne risque guère de dépasser la durée totale $T \geq 3,8906 \sigma + m$, où m et σ sont connus et fixent, par conséquent, la valeur de T recherchée. La probabilité de non-réalisation du programme à la date T peut être choisie aussi petite que l'on veut ou encore la probabilité de réaliser le programme au plus tard à cette date peut être rendue aussi grande que l'on veut. On a ici 9999 chances sur 10 000 de ne pas dépasser T .

Si, d'autre part, la durée moyenne d'exécution du programme est fixée, il y a un choix à faire entre le risque de dépassement et les coûts à supporter. S'il faut aller à coup sûr, pour une raison ou une autre, le risque de dépassement doit être choisi très faible et les dépenses qu'il faudra consentir seront d'autant plus élevées. Si,

par contre, on peut se permettre une certaine latitude, on choisira un programme moins coûteux lequel présente, pour la même durée totale, un risque de dépassement plus élevé, mais qui reste raisonnable.

Pour être guidé dans le choix du programme, on se sert d'un tableau dont la i ème colonne renferme les renseignements suivants:

P_i = programme correspondant au i ème sommet de la courbe des solutions optimales à n sommets (on compte de droite à gauche à partir du premier sommet qui a trait à P_1);

$\bar{D}_i = \bar{D}_i(P_i)$ = durée moyenne de réalisation de P_i ;
= somme des durées opératoires sur le chemin le plus long afférent;

$\sigma_i^2 = \sigma_i^2(P_i)$ = somme des variances des durées opératoires sur le chemin le plus long (ces variances étant décroissantes pour des coûts croissants comme nous l'avons vu plus haut);

$C_i = C_i(P_i)$ = coût global minimum de P_i , fourni par la courbe optimale = ordonnée du i ème sommet.

Après s'être fixé différents seuils de probabilité p_1, p_2, \dots, p_s (avec $p_1 > p_2 > \dots > p_s$), on détermine les durées de P_i aux seuils de $100 p_1 \%$, ..., $100 p_s \%$:

$$t_i(P_i, p_1), \dots, t_i(P_i, p_k), \dots, t_i(P_i, p_s)$$

à l'aide d'une table de la loi normale.

Soit alors une date de réalisation T qui est fixée de façon formelle.

Quel programme convient-il de choisir?

On cherche à situer T par rapport à la « grille » des n s durées $t_i(P_i, p_k)$, où $1 \leq i \leq n, 1 \leq k \leq s$.

Or, il est évident que $t_i(P_i, p_1) < \dots < t_i(P_i, p_k)$.

D'autre part, du fait de la décroissance des durées moyennes et des variances pour des coûts croissants, il vient encore généralement:

$$t_1(P_1, p_k) > t_2(P_2, p_k) > \dots > t_n(P_n, p_k).$$

Il s'ensuit que si par exemple $T \sim t_i(P_i, p_k) \sim t_j(P_j, p_r)$ avec $i < j$, on a forcément $p_k > p_r$, mais $C_j > C_i$.

A moins donc que le seuil de $100 p_k \%$ ne paraisse déjà offrir suffisamment de garanties, on optera, pour P_j , en dépit du fait que $C_j > C_i$.

Il se peut que, dans d'autres cas, C_j paraisse exorbitant. On gardera alors P_i , si on juge que le risque de $100 p_k \%$ est encore acceptable.

Dans le cas général, il y a souvent plusieurs solutions possibles. Quel que soit le choix définitif, on pourra

chiffrer, grâce à la connaissance des solutions alternatives fournies par le tableau, les coûts à supporter pour avoir une sécurité plus grande ou les économies qu'on peut faire en prenant des risques plus élevés.

Si la durée de réalisation T ne correspond qu'à une moyenne avancée à titre indicatif, on choisira simplement — s'il existe — le programme P_h pour lequel $T \sim \bar{D}_h$. On a alors 50 chances sur 100 de respecter cette durée.

VI. ROLE GÉNÉRAL JOUÉ PAR L'ORDINATEUR

Il a été à plusieurs reprises déjà, question de l'utilité de l'intervention d'un ordinateur en vue du traitement de grands programmes temporels, composés de centaines ou de milliers d'opérations, liées entre elles par une multitude de contraintes.

Nous nous proposons de rassembler ici quelques remarques d'ordre général, valables pour tout traitement de problèmes d'ordonnancement sur ordinateur et partant indépendantes des différents types de système.

Dès qu'un programme temporel atteint une certaine taille, l'exploitation des multiples données de base est grandement facilitée par le recours à l'ordinateur. Son intervention s'imposerait dans ce cas, même si le déroulement effectif d'un programme temporel ne faisait apparaître aucun écart par rapport aux estimations initiales des temps opératoires et par rapport à la nature des tâches et des contraintes.

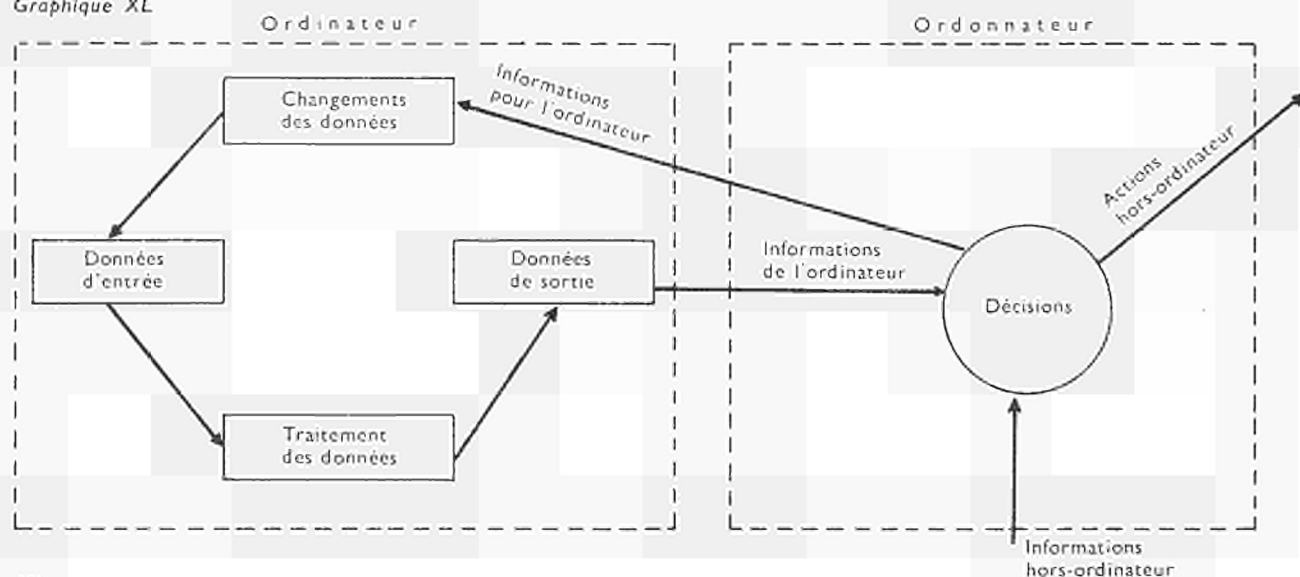
Or, il faut, en réalité, pouvoir à tout moment tenir compte de phénomènes imprévus d'ordre humain, technique et climatique etc. dont l'incidence sur le programme initial est telle que le programme réel s'en écarte de plus en plus, au fur et à mesure qu'il s'accomplit. Les prévisions initiales en subissent le contre-coup et doivent également être révisées à tout moment.

L'ordinateur prend en compte les modifications apportées aux données de base et permet d'évaluer rapidement les répercussions sur la dernière évaluation du programme temporel.

Il en ressort que l'ordinateur assume à la fois des fonctions de calcul, de contrôle et de prévision.

Un flux permanent d'informations, modifié sans cesse, circule — une fois que le processus est mis en marche — entre homme (ordonnateur) et machine (ordinateur) [soit à l'intérieur du système homme-machine]. Il peut être grossièrement schématisé comme suit :

Graphique XL



Ainsi, une information « hors-ordinateur » est par exemple un changement climatique qui s'annonce et qui risque de retarder certains travaux. Par action hors-ordinateur on entend par exemple l'ordre lancé à un service de faire faire des heures supplémentaires immédiatement. La dernière liste imprimée des tâches critiques constitue une information de l'ordinateur, l'accélération projetée de certaines opérations une information nouvelle pour l'ordinateur qui modifie ensuite certaines données de base.

Notons que c'est à dessein que nous avons simplifié le schéma ci-dessus qui n'est censé refléter que l'essentiel du phénomène. Il est évident qu'il s'intercale, en général, entre ordinateur et ordonnateur le personnel du centre de l'ordinateur et d'autres intermédiaires. Ceci est normalement le cas tant pour l'apport des informations que pour la transmission des actions hors-ordinateur.

Des programmes-machine enregistrés permettent d'obtenir rapidement, en connexion avec les données d'entrée, les renseignements voulus sous la forme désirée. Des calculs périodiques permettent de tenir compte des dernières informations et garantissent ainsi une réaction optimale à toute modification volontaire ou aléatoire.

Nous avons déjà mis l'accent sur le fait que certains algorithmes (de Bellman-Kalaba, Ford, Fulkerson, Kelley, Roy), empruntés à la théorie des graphes ont pu être aisément adaptés à l'ordinateur. On peut ainsi effectuer des calculs qu'il serait, dans certains cas, impossible de réaliser autrement (c'est-à-dire sans ordinateur ou même avec un ordinateur, mais par une méthode différente).

Point n'est besoin d'insister sur les résultats qu'il est possible d'obtenir en l'occurrence grâce à l'ordinateur : toutes les caractéristiques importantes d'un programme temporel peuvent être fournies par lui et chacune des méthodes exposées a été adaptée à l'un ou l'autre d'entre eux. Les programmes-machine édités jusqu'à ce jour sont en général fonction du type particulier d'ordinateur auquel ils sont destinés et tous ne fournissent évidemment pas les mêmes résultats.

On obtient toujours par eux les dates attendues et les dates-limites des événements ainsi que certaines marges opératoires, le(s) chemin(s) critique(s) etc.

Ainsi que nous l'avons signalé en traitant du C.P.S. (cf. V, A), certains programmes réalisent, à partir d'une numérotation arbitraire des sommets, une numérotation cohérente (c'est-à-dire telle que $i < j$, pour $t_i < t_j$).

D'autres permettent de passer de l'ensemble des époques des tâches, comptées à partir d'une époque de début nulle et exprimées dans une unité de temps déterminée (jour, semaine ou mois) à un ensemble de dates se situant dans un calendrier réel (prise en charge de jours fériés etc.).

Des programmes particuliers ayant trait au Manpower Scheduling par exemple mettent le planificateur en mesure de respecter certaines limites de capacité des moyens, généralement exprimées à l'aide de contraintes cumulatives (cf. II, C, c, 2). D'autres programmes-machine permettent d'obtenir l'optimisation de l'ensemble des coûts directs pour une durée totale déterminée de programme et à partir de là souvent une optimisation de l'ensemble des coûts en jeu (cf. IV, B, c, 3.).

Il ne saurait être question d'énumérer, voire de discuter ici les nombreux programmes-machine qui ont vu le jour jusqu'à présent et qui ont trait à différents types d'ordinateurs comme à différentes catégories de problèmes.

Signalons que les nombres des arcs et des sommets d'un graphe qu'un tel programme-machine peut prendre en charge varie suivant le type d'ordinateur, le nombre des mémoires, l'importance des éléments périphériques etc. et est évidemment fonction de la nature du programme-machine. Il y en a pour lesquels on ne peut guère dépasser une centaine ou un millier de tâches et de contraintes. Il existe ainsi toute une gamme de programmes : un d'entre eux permet de traiter un programme à 100 000 sommets, à condition que pour tout arc (i, j) on ait $j - i \leq 499$.

Les langages de programmation les plus employés sont le « Symbolic Programm Language » (S.P.S.), l'Auto-coder et le Fortran.

VII. NOUVEAUX DOMAINES DE RECHERCHE

A. Optimisation simultanée entre plusieurs projets

a) Position du problème

Dans la pratique industrielle, il s'agit souvent d'ordonner au mieux non pas un seul programme de travaux, mais plusieurs qui ont des dates de début et de fin différentes, mais qui font appel à un ensemble de moyens limités. La date de réalisation d'un programme déterminé dépend dans ce cas de l'ordre dans lequel les différents services impliqués affectent leurs moyens aux différents programmes en présence. La recherche d'un programme temporel optimal par exemple se heurte à ce problème d'ordonnement optimal qui est d'un genre différent de ceux déjà traités dans notre exposé. Il a trait à un ordre optimal (il s'agit de « sequencing » et non plus de « scheduling »). A l'heure actuelle, il n'existe des solutions rigoureuses que dans des cas particuliers relativement simples.

b) Tentative de solution: le R.A.M.P.S.

On peut songer à intégrer en l'occurrence les graphes partiels représentatifs des différents projets dans un graphe unique en introduisant des tâches fictives de façon que le graphe résultant ait un seul sommet initial et un seul sommet terminal. Le nombre des sommets du graphe devient généralement très élevé, de telle

sorte que seul un grand ordinateur peut prendre un tel problème en charge.

Le R.A.M.P.S. (Resource Allocation Multiproject Scheduling), conçu et développé par les organisateurs-conseil de la société américaine C.E.I.R. est une méthode de planification visant à fournir, pour l'ensemble des programmes, des prévisions de délais et d'affectation de main-d'œuvre tout en minimisant les coûts. On peut, suivant les cas, viser à atteindre une utilisation maximale des moyens, un nombre maximum de tâches simultanées, une distribution ininterrompue des ressources etc. Après avoir déterminé le chemin critique, il y a moyen d'équilibrer « au mieux » la main-d'œuvre disponible en accordant une priorité aux tâches critiques. Dans certains cas, il est tenu compte d'intensités différentes du taux de ressources, de contraintes de pénalités de délai etc. Il existe des programmes utilisables sur I.B.M. 7090 ou 7094.

La méthode employée (réalisation des contraintes, puis optimisation) fait partie des procédures de modification « intelligentes » d'un programme à partir de critères heuristiques de priorité. Dans le calcul des priorités, une pondération variable peut être introduite, qui est fonction des préférences estimées par l'utilisateur. La solution définitive ne constitue pas forcément un optimum. L'optimum au sens strict ne se laisse même pas formuler sur le plan mathématique.

B. Introduction de contraintes «disjonctives » dans un graphe

Position du problème et état actuel des recherches

Du fait de leur limitation, les moyens ne peuvent pas toujours être affectés simultanément à des tâches différentes (une équipe de spécialistes n'est disponible que pour une seule tâche à la fois, un bulldozer ne peut pas servir au déblaiement en 2 endroits en même temps etc.). Les temps d'exécution de 2 tâches ne peuvent dans ce dernier cas pas se recouvrir, ce qu'on exprime encore en disant que les intervalles de temps correspondant à leurs durées d'exécution sont disjoints.

La main-d'œuvre limitée peut être affectée, soit d'abord à une tâche i et ensuite à une tâche j , soit inversement. S'il y a beaucoup de telles contraintes de disjonction, le nombre des ordonnancements possibles augmente rapidement. On est alors ramené à un problème combinatoire qui consiste à rechercher un ordre optimal. Des chercheurs américains Giffler, Thompson, Heller, Mitten se sont penchés sur ce problème. Dans le cadre de la Société Française de Recherche Opérationnelle, Nghiem, Roy, Sandier et Simon ont fait des contributions théoriques importantes en vue d'arriver à un algorithme utilisable par l'ordinateur. Ces recherches se poursuivent à l'heure actuelle.

C. Programme de recherches où le déroulement des travaux n'est pas connu à l'avance, mais dépend du résultat de certains événements décisionnels

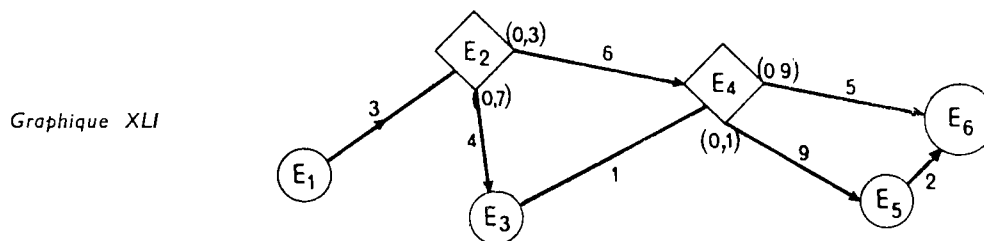
a) Position du problème et tentative de solution

Lors de la planification d'un grand programme de recherches chimiques par exemple, la direction ultérieure des travaux peut dépendre des résultats de certaines expériences qui ne peuvent être faites qu'à un moment déterminé et qui sont donc inconnues lors de l'établissement du programme. Dans une intéressante contribution (cf. *A generalized network approach to the planning and scheduling of a research program*, Operations Research, Volume 1, N° 1, 1962), Howard Eisner suggère d'intégrer, à partir de ces événements dits « décisionnels », les alternatives (il est toujours possible de se ramener à des alternatives) dans le graphe et d'affecter des probabilités a priori objectives ou subjectives (c'est-à-dire avancées par exemple par des spécialistes du domaine en question) à chacune de ces alternatives. Il devient alors possible de déterminer les dates moyennes, les différents chemins critiques possibles et les probabilités de réaliser les différentes dates d'achève-

ment possibles (en effet, tous les événements finaux ne sont pas toujours possibles). Ces dernières probabilités sont des probabilités composées (probabilité d'emprunter un chemin déterminé x , probabilité de le terminer à une date donnée). Les sommets correspondant aux événements décisionnels peuvent être caractérisés dans le graphe par un losange (au lieu d'un cercle ou d'un point). Le graphe résultant est appelé stochastique. Des calculs simples relevant de la logique symbolique permettent de déterminer dans des cas plus compliqués les événements finaux réalisables. Un classement de leurs probabilités de réalisation fournit des indications utiles. On peut se servir de la notion d'entropie relative pour mesurer le degré auquel certains événements sont plus probables que d'autres.

b) Exemple

Considérons le graphe extrêmement simple suivant, où E_2 et E_4 sont les seuls événements décisionnels :



Les probabilités a priori figurent entre parenthèses et ne sont pas à confondre avec des dates-limites.

On trouve directement les 4 chemins critiques qui correspondent aux 4 alternatives :

$\mu_1 = [E_1, E_2, E_3, E_4, E_6]$, avec $l(\mu_1) = 13$
et une probabilité de réalisation de cette date de $0,7 \times 0,9 = 0,63$;

$\mu_2 = [E_1, E_2, E_4, E_6]$, avec $l(\mu_2) = 17$
et une probabilité de réalisation de cette date de $0,3 \times 0,9 = 0,27$;

$\mu_3 = [E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6]$, avec $l(\mu_3) = 19$
et une probabilité de réalisation de cette date de $0,7 \times 0,1 = 0,07$;

$\mu_4 = [E_1, E_2, E_4, E_5, E_6]$, avec $l(\mu_4) = 20$
et une probabilité de réalisation de cette date de $0,3 \times 0,1 = 0,03$.

La somme des 4 probabilités redonne évidemment l'unité.

Il se fait ici que les dates plus reculées sont systématiquement les moins probables, ce qui n'a rien d'obligatoire.

On peut retenir que la date 13 et μ_1 qui y conduit sont les plus probables.

c) Entropie relative

Ce cas est trop simple, pour qu'il vaille la peine de se livrer à une étude plus approfondie. Signalons, toutefois, que pour un graphe plus important avec un grand nombre d'événements décisionnels, on aurait intérêt à calculer l'entropie « relative » du système sous revue. Elle est définie par le rapport

$$E = \frac{- \sum_{i=1}^n p_i \log p_i}{\log n},$$

où n désigne le nombre des événements terminaux et p_i la probabilité a priori du i ème événement final (= la date de réalisation du programme, obtenue sur le chemin critique qui y conduit).

On n'a pas besoin de préciser la base des logarithmes, car il est évident que quelle que soit cette base le rapport E n'en sera pas affecté.

Le dénominateur correspond à la valeur maximale que peut prendre le numérateur, lequel correspond — soit dit en passant — à la fonction « entropie », connue par les physiciens. Cette valeur maximale est obtenue en cas d'équiprobabilité des événements terminaux. En effet, dans ce cas

$$p_i = \frac{1}{n}, \text{ pour } i = 1, 2, \dots, n$$

et il vient

$$- \sum_{i=1}^n p_i \log p_i = - \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \log \frac{1}{n} =$$

$$\left(-\frac{1}{n}\right) \left(-n \log n\right) = \log n.$$

Dans ce dernier cas, où l'incertitude relative à l'événement terminal est la plus grande : $E = 1$.

Si, d'autre part, un événement final i est certain, on a $E = 0$, le numérateur s'annulant. On voit donc que $0 \leq E \leq 1$ et qu'on peut se servir de E comme mesure de l'incertitude relative.

Dans le cas de l'exemple simple traité plus haut, on obtiendrait

$$E \approx 0,06 \text{ proche de } 0,$$

ce qui confirme l'idée que nous nous sommes faite sur les fortes chances de voir se réaliser l'événement final à la date 13 sur le chemin μ_1 .

d) Remarques critiques

Il s'agit-là d'une tentative intéressante de prise en charge d'un ordre de succession aléatoire des tâches. Mais l'origine des probabilités a priori n'est pas claire et leur détermination est sujette à caution. En l'absence de probabilités objectives, on est, en général, obligé de s'en remettre aux évaluations subjectives des spécialistes de cette partie du programme.

D'autre part, l'interprétation des probabilités de réalisation des événements terminaux est délicate. En effet, les dates correspondantes ne sont pas à proprement parler des variables aléatoires, mais des dates fixes possibles malheureusement inconnues.

C'est pourquoi, les valeurs absolues des différentes probabilités de réalisation du programme nous paraissent reposer sur une base peu solide. On peut concéder tout au plus à l'auteur de cette méthode que les rangs détenus par les différentes probabilités dans une liste qui les renseigne dans l'ordre décroissant (ou croissant) sont susceptibles de fournir certaines indications intéressantes, quoique grossières.

Or, avec la longueur d'un graphe et le nombre croissant des événements décisionnels, les probabilités des événements finaux décroissent en général. Abandonnant alors tout classement des probabilités absolues, on peut encore, comme nous l'avons signalé plus haut, se servir de l'entropie relative comme mesure de la relative incertitude dans le graphe stochastique (Kaufmann et Desbazeille [34]) et en tirer des conclusions utiles.

VIII. BIBLIOGRAPHIE

- [1] ALGAN M., ROY B. et SIMONNARD M. « Principe d'une méthode d'exploration de certains domaines et application à l'ordonnancement de la construction des grands ensembles. » *Cahiers du Centre de Mathématique et de Statistique appliquées aux Sciences Sociales*. Editions Institut Solvay, Bruxelles, N° 3, 1962.
- [2] ALGAN M. « Reihenfolgeprobleme und Graphentheorie ». 1^{er} Congrès Allemand de Recherche Opérationnelle, Bonn, Octobre 1962, METRA, Vol. II, N° 1, mars 1963.
- [3] BACKER F., BARKSON A.W., FRISHBERG M.C. « Least Cost Estimating and Scheduling. » *The Oil and Gas Journal*, November 13, 1961.
- [4] BECKWITH R.E. « A Cost Control Extension of the P.E.R.T. System. » *Aeronutronic Division Ford Motor Company*, May 1961 (Revised October 1961).
- [5] BELLMAN R. « The Theory of dynamic programming », *BULL. A.M.S.* 60, 1954.
- [6] BERGE C. « Théorie des Graphes et ses applications » Dunod - 1958.
- [7] BERGE C., GHOUILA, HOURI. « Programmes, jeux et réseaux de transport » - Dunod - 1962.
- [8] BIGELOW C.G. « Bibliography on Project Planning and Control by Network Analysis 1959-1961. » *Operations Research*, Vol. 10, N° 5.
- [9] BILDSON R.A., GILLEPSIE J.R. « Critical Path Planning - PERT Integration », *Operations Research*, Vol. 10. N° 6, 1962, 909-912, Letters to the Editor.
- [10] CHURCHMAN C.W., ACKOFF R.L., ARNOFF E.L. « Eléments de Recherche Opérationnelle » (traduit et adapté par LAVAUULT Jean), DUNOD, Paris, 1961.
- [11] CLARK Charles E. « The Optimum Allocation of Resources among the Activities of a Network ». *Journal of Ind. Eng. (U.S.)*, Vol. XII, N° 1, 1961, 11-17.
- [12] CLARK Charles E. « The PERT model for distribution of an activity time ». *Operations Research*. Volume 10, N° 3.
- [13] EISNER H. « A Generalized Network Approach to the Planning and Scheduling of a Research Project ». *Operations Research*, Vol. 10, N° 1, 1962, 728-731.
- [14] FAURE R., BOSS J.P., LE GARFF A. « La recherche opérationnelle - Presses universitaires de France ». *Edition : Que sais-je ?*, N° 941.
- [15] FORD L.R. « Network Flow Theory ». *Rand Corporation paper* p. 923, 1956.
- [16] FORD L.R. et FULKERSON D.R. « Maximal Flow through a Network ». *Canadian Journal of Mathematics*, 8, 1956, p. 399.
- [17] FORD L.R. et FULKERSON D.R. « Dynamic Network Flow ». *Rand Corporation paper*, p. 967, 1956.
- [18] FORD L.R. et FULKERSON D.R. « A primal-dual Algorithm for the Capacited Hitchcock Problem ». *Rand Report* p. 827, 1956.
- [19] FRISHBERG M.C. « LESS tells you how Project is doing ». *Hydrocarbon Processing and Petroleum REFINER*, February 1962, Vol. 41, N° 2, 130-138.
- [20] FUCHS C. « Une méthode d'analyse et d'évaluation des programmes, le PERT », *Chefs d'entreprise*, Juillet/août 1962.
- [21] FULKERSON D.R. « A Network Flow Computation for Project Cost Curves », *Management Science* Vol. 7, N° 2, January 1961, 167-178.
- [22] FULKERSON D.R. « Expected Critical Path Lengths in PERT Networks », *Operations Research*, Vol. 10, N° 6, 1962, 808-817.
- [23] GALE D. « A theorem on flows in networks », *Pacific Journal of Mathematics*, 7. 1957, p. 1073.
- [24] GHOUILA, HOURI. « Recherche du flot maximum dans certains réseaux, lorsqu'on impose une condition de bouclage ». *Proceedings of the Second International Conference of Operation Research*, London, p. 156, 1960.
- [25] GIFFLER B., THOMPSON G. « Algorithms for Solving Production Scheduling Problems », *Journal Op. Research America*, vol. 8, N° 4, p. 487, 1960.
- [26] GRUBBS Fr. E. « Attempts to Validate Certain PERT Statistics or « Picking on PERT ». *Operations Research*, Vol. 10, N° 6, 1962, 912-915, Letters to the Editor.
- [27] HEAVY Th.L. « Activity Subdivision and PERT probability statements », *Operations Research*, Volume 9, N° 3.
- [28] HELLER J. « An Algorithm for the Construction and Evaluation of feasible Schedules ». *Management Science*, Vol. 8, N° 2, January 1962.
- [29] KALABA R. « On some Communication Network Problems, Proc. Symp. in Applied Math. » *Combinatorial Analysis*, p. 261, 1960.
- [30] KAST W.G. « Critical Path Method Ideal Towl for Plant Construction. » *Hydrocarbure Processing and Petroleum REFINER*, February 1962, Vol. 41, N° 2, 123, 130.
- [31] KATTWINKEL W., WILD H.J. « IBM-Programme für Projektplanung und -überwachung mit Hilfe der Netzwerktechnik (Verfahren des kritischen Weges) » - IBM Deutschland.
- [32] KATTWINKEL W. « Neue Methoden zur Projektplanung und -überwachung », IBM Deutschland, August 1962.
- [33] KAUFMANN A. « Méthodes et Modèles de la Recherche Opérationnelle », Tome II, dunod, 1963.

- [34] KAUFMANN A. et DESBAZEILLE G. « Ordonnement et programmes (système PERT) », *Informations Scientifiques BULL.*
- [35] KAUFMANN A. et DESBAZEILLE G. « La méthode du Chemin Critique » - Dunod, 1964.
- [36] KELLEY J.E. « Critical Path Planning und Scheduling : Mathematical Basis », *Operations Research*, Vol. 9, 1961, 296-320.
- [37] KLASS Ph.J. « PERT/PEP Management Tool Use Grows, Aviation Week and Space Technology », November 28, 1960.
- [38] KÖNIG D. « Theorie der Endlichen und Unendlichen Graphen ». Leipzig 1936 (Akad. Verlag M.B.H.) et New York 1950 (Chelsea).
- [39] MALCOLM D.G., ROSEBOON J.H., CLARK C.E. et FAZAR W.H. « Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation », *Journal of the Operations Research Society of America*, Vol. 7, sept.-oct. 1959, p. 646-669.
- [40] MAUCHLY J.W. « Critical Path Scheduling », *Chemical Engineering*, April 16, 1962, 139-154.
- [41] MURRAY J.E. « Considération of PERT Assumptions, Conductor Corporation Ann Arbor », Michigan, April 25, 1962.
- [42] ROY B. « Contribution de la Théorie des Graphes à l'étude de certains problèmes linéaires » - *C.R. Académie des Sciences*, Tome 248, p. 2437, séance du 27 avril 1959.
- [43] ROY B. « Contribution de la Théorie des Graphes à l'étude des problèmes d'ordonnement. » II^e Conférence Internationale sur la Recherche Opérationnelle - Aix-en-Provence (Sept. 1960).
- [44] ROY B. « Cheminement et convexité dans les graphes. Application aux problèmes d'ordonnement », *METRA*, Série spéciale, N° 1, mars 1962.
- [45] ROY B. et SIMONNARD M. « Nouvelle Méthode permettant d'explorer un ensemble de possibilités et de déterminer un optimum », *Revue Française de Recherche Opérationnelle*, N° 18.
- [46] ROY B. « Physionomie et traitement des problèmes d'ordonnement ». (*Gestion*, N° spécial, avril 1963).
- [47] ROY B. « Programmation mathématique et description segmentée », *METRA*, Vol. II, décembre 1963.
- [48] ROY B. « Les problèmes d'ordonnement. » Applications et méthodes, par un groupe de spécialistes animé par B. ROY, *Monographies de Recherche Opérationnelle 2*, Dunod, Paris, 1964.
- [49] SAINTE-LAGUÉ. « Les réseaux (ou graphes) », *Mémoires des Sciences Math.*, Paris, 1926.
- [50] VENTURA H. « La Recherche Opérationnelle aux U.S.A. », *Revue Française de Recherche Opérationnelle*, N° 25, 4^e trimestre 1962.
- [51] WAGNER W. « An Integer linear-programming model machine scheduling », *Naval Research Logistic Quarterly*, Vol., N° 2, p. 131, 1959.
- [52] WIEZORKE B. « Lineare Programme, ein Modelltyp im Operational Research », *Archiv für das Eisenhüttenwesen*, 34. Jahrgang, Heft 3, März 1963, S. 217.

Zusammenfassung

Beschreibung und Studium der bei der Behandlung von Planungsproblemen angewandten Prinzipien und modernen Verfahren.

Unternehmerische Entscheidungen werden mit wachsendem Erfolg und in immer größerem Umfange mit Hilfe neuartiger wissenschaftlicher Methoden getroffen, die im Wesentlichen darauf abzielen, innerhalb einer Vielfalt von a priori möglichen Lösungen diejenige zu bestimmen, welche im Hinblick auf ein vorgegebenes Auswahlkriterium in ihren Auswirkungen als „optimal“ anzusehen ist.

Diese neuen Verfahren bezeichnet man als Mittel moderner Unternehmungsführung (Operations Research). Eine allseits befriedigende Begriffsbestimmung dieser sich rasch weiterentwickelnden Methodik liegt zur Zeit nicht vor und es erscheint auch als verfrüht, nach einer solchen zu suchen.

Seit Ende des Jahres 1956 wurden — hauptsächlich in Amerika — neue Methoden zur besseren Planung und Kontrolle komplexer Projekte (Bau-, Umstellungs-, Instandsetzungs- und Instandhaltungsvorhaben) entwickelt und mit großem Erfolg in der Praxis eingesetzt. Ihr Anwendungsbereich umfaßt sowohl bekannte Fertigungs- als auch neue Forschungsprojekte und wird durch immer wirklichkeitsnähere Modelle, die sich alle auf die sogenannte Pfeildiagramm- oder Netzwerkplananalyse stützen, ständig erweitert.

Dabei handelte es sich ursprünglich um Planungsaufgaben, bei denen die Zeitpunkte interessierten, an denen gewisse, zeitlichen Beschränkungen unterworfenen Arbeitsgänge (oder Tätigkeiten im weitesten Sinne) eines Gesamtprojektes abgeschlossen werden konnten. Im einfachsten Falle sind die Zeitdauer der Tätigkeiten sowie ihr logischer Ablauf bekannt.

Bei Vorgabe des Startdatums und der Annahme jederzeit unbeschränkt zur Verfügung stehender Mittel stellt sich eine Reihe von Fragen, unter denen einige herausgegriffen seien:

- Welches ist der frühestmögliche Abschlußtermin des Projektes?
- Welches sind Start- und Endtermine der einzelnen Tätigkeiten?
- Innerhalb welcher zulässiger Grenzen können diese Termine schwanken, ohne die darauffolgenden Tätigkeiten zu verzögern oder ohne den frühesten Abschlußtermin sämtlicher Tätigkeiten in Frage zu stellen?

Alle diese Fragen lassen sich unter Zuhilfenahme der Graphen- bzw. Netzplantheorie beantworten. Zu diesem Zwecke werden anschauliche Begriffe wie kritischer Weg, Schwankungsintervalle der Etappen, Pufferzeiten der Tätigkeiten usw. entwickelt.

Führt man außer Zeit- auch Kostenbetrachtungen mit in die Analyse ein, so gelangt man zwar zu schwierigeren, aber — unter gewissen allgemeinen Bedingungen — noch immer mit dem gleichen — wenn auch verfeinerten — Rüstzeug lösbarer Problemen wie z.B.:

- Auf welche Weise läßt sich das Minimum der direkten Kosten bei vorgegebener (und technisch realisierbarer) Projektdauer erreichen?
- Welches ist die optimale Lösung, wenn sämtliche Kostenelemente (direkte und indirekte Kosten, Prämien, Konventionalstrafen usw.) mit berücksichtigt werden?
- Welche Tätigkeiten sind in diesem Falle zu beschleunigen oder zu verzögern und um welche Zeitbeträge?

Läßt man die unrealistische Annahme unbeschränkt zur Verfügung stehender Kapazitäten (Arbeiter, Maschinen, Kredite) fallen, so stellt sich die Frage, an welchen Terminen die Arbeitsgänge unter Berücksichtigung der tatsächlich verfügbaren Mittel ausgeführt werden können.

Ist die Dauer der Tätigkeiten unbekannt, so muß man in gewissen Fällen (und zwar vor allem bei Entwicklungs- und Forschungsprojekten) von subjektiven Schätzungen ausgehen. Es sind Rechenverfahren entwickelt worden, die sogar in diesen Fällen Aufschluß darüber geben, an welchen erwarteten frühesten Zeitpunkte z.B. Abschlüsse wichtiger Teilprojekte beendet sein können und wie stark die Streuung der gefundenen Werte ist. Es läßt sich weiterhin bestimmen, welches die erwarteten spätesten Daten sind, an denen sie beendet sein müssen, damit der erwartete Gesamtabschlußtermin des Vorhabens nicht verzögert wird, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, gewisse wichtige Etappenziele einzuhalten, und dergleichen mehr.

Mit diesen Untersuchungen lassen sich weiterhin Kostenplanung und -kontrolle verbinden. Hierbei können bei Kenntnis gewisser Eingangsdaten nicht nur Kostenabrechnungen und Sollwertvergleiche für den bereits ausgeführten Abschnitt des Projektes, sondern angesichts der Geschwindigkeit elektronischer Datenverarbeitungsanlagen auch periodisch Prognosen für den zukünftigen Arbeitsablauf gegeben werden. Außerdem können Belastungspläne für die verschiedenen am Projekt beteiligten Dienststellen ausgeworfen sowie kostengünstigste Kapazitätenpläne berechnet werden.

Für die Beziehungen zwischen den Kosten und der Dauer der Arbeitsgänge sind Methoden ausgearbeitet worden, die einen nützlichen Vergleich verschiedener Alternativlösungen erlauben, wobei durchschnittliche Gesamtausführungszeiten und deren Kosten einerseits und Terminüberschreitungsrisiken andererseits gegeneinander abzuwägen sind.

Im Artikel wird nach einer kurzen allgemeinen Einführung (I. Kapitel) ein Überblick über Prinzipien und Methoden der Behandlung von Planungsproblemen gegeben. Besprochen wird zunächst die Struktur der zu lösenden Planungsaufgaben (II. Kapitel). Im Vordergrund stehen dabei die genaue Beschreibung der Natur dieser Probleme, die Vertiefung gewisser Grundbegriffe (Verwirklichung komplexer Projekte; Tätigkeiten, Beschränkungen, Auswahlkriterien) sowie die historische Entwicklung der verschiedenen Methoden.

Das Kapitel III bringt einen Exkurs über einige elementare Begriffe aus der Graphentheorie. Nach einer kurzen Würdigung der großen wissenschaftlichen Tragweite dieser 1936 von

D. KOENIG entwickelten Theorie werden Elemente eines Graphen (Knoten, gerichtete Strecken usw.) sowie später verwendete Begriffe wie Weg, Länge, Schleife, assoziierte Matrix usw. eingeführt. Einige allgemeine Bemerkungen über die Bedeutung der materiellen Darstellung eines Netzplanes beschließen diesen Abschnitt.

Kapitel IV zeigt, welche Rolle die Netzplantechnik allgemein (d.h. unabhängig von den verschiedenen später erörterten Planungssystemen) zu spielen berufen ist. Das wird zunächst bei der Bestimmung des zeitgünstigsten und dann bei derjenigen eines kostengünstigsten Projektes aufgewiesen. Anhand der Darstellung eines äußerst einfachen Zeitplanes werden dann Grundbegriffe wie Arbeitsgang, Etappe, Scheintätigkeit usw. eingeführt. Die Bestimmung des sogenannten kritischen Weges erfolgt ebenfalls an einem kleinen, übersichtlichen Netzplanbeispiel. Hierbei werden frühest- und spätestmögliche Eintreffdaten der Ereignisse sowie deren Schwankungsintervalle und Spielräume beschrieben. Die mathematische Formulierung und Lösung des allgemeinen Problems mit Hilfe von Algorithmen wird erörtert. Es folgen eine beschreibende Analyse unterschiedlicher Arten von Pufferzeiten sowie Ausführungen über die Bedeutung dieser Begriffe bei der Überwachung eines Projektes. Zur Einführung in die Problematik kostenoptimaler Projektabläufe werden Beziehungen zwischen Gesamtdauer und Gesamtkosten eines Vorhabens untersucht und die Auswirkung von Veränderungen der Arbeitsdauer auf die Kosten beschrieben.

In Kapitel V („Beschreibung und Studium der hauptsächlichsten Planungssysteme“) werden Zielsetzung, neuere Entwicklungen und kritische Wertung der folgenden Methoden einer näheren Betrachtung unterzogen:

- Critical Path Method (C.P.M.)
- Potentialmethode von ROY
- Least Cost Estimating and Scheduling (LESS)
- Program Evaluation and Review Technique (PERT).

Bei der Beschreibung der Critical Path Method werden insbesondere der Algorithmus von FORD dargestellt und, im Hinblick auf den Einsatz einer Datenverarbeitungsanlage, das entsprechende Flußdiagramm entwickelt. Hinzuweisen ist außerdem auf die allgemeinen Ausführungen über Knotennumerierung und Umwandlung der Relativ- in Kalenderdaten.

Die von dem Franzosen B. ROY entwickelte Potentialmethode geht von grundsätzlich anderen Zuordnungen aus: Arbeitsgang \longleftrightarrow Knoten, zeitliche Beschränkung \longleftarrow Pfeil. Sie führt hiermit zu einem anderen Pfeildiagramm, das gewisse Vorzüge gegenüber den amerikanischen Netzdarstellungen aufweist.

Bei „Least Cost Estimating and Scheduling“ wird nach einer kurzen Beschreibung des BELLMANN-KALABA-Algorithmus u.a. die Art und Weise der Einführung von „kumulativen Beschränkungen“ und Belastungskriterien diskutiert. Auch wird auf die Natur des wichtigen Algorithmus von FULKERSON näher eingegangen, wobei eine Näherungslösung im Falle nichtlinearer Kostenkurven angedeutet wird. Im An-

schluß an allgemeine Betrachtungen über die Kostenfunktionen, werden mehrere graphische Lösungsbeispiele mit kostenoptimaler Projektdauer dargestellt.

Die bei bedeutenden Forschungsprojekten eingesetzten PERT-Methoden (PERT-time und PERT-Cost) sind ziemlich ausführlich behandelt worden, und zwar u.a. auch in wahrheitstheoretischer Hinsicht. Darüber hinaus sind auch bedeutende neuere Weiterentwicklungen in der Frage der Alternativpläne für das Projekt mit Gegenüberstellung von Zeit, Kosten und Risiko sowie die Berechnung des kostenminimalen Kapazitätsplanes bei gegebener Projektdauer dargestellt worden.

Der Bedeutung elektronischer Rechenanlagen ist ein besonderes Kapitel VI gewidmet. Dabei wird hauptsächlich die leichte Programmierbarkeit gewisser Algorithmen der Graphentheorie unterstrichen und auf die Besonderheiten der verfügbaren Programme eingegangen.

Im Kapitel VII steht zunächst die Frage der Planung und kostengünstigsten Lösung im Falle simultaner Behandlung mehrerer Projekte zur Diskussion. Weiterhin wird dem Problem der Einführung „disjunktiver“ Restriktionen Beachtung geschenkt, welche immer dann auftreten, wenn nur beschränkte Hilfsmittel zur Verfügung stehen, die nicht gleichzeitig an verschiedenen Stellen eingesetzt werden können. Wenn dabei die zu wählende Reihenfolge offen steht, gelangt man zu kombinatorischen Problemen, nämlich zur Bestimmung optimaler Ordnungen. Schließlich wird die Verwendung „stochastischer“ Netzpläne kommentiert. Letztere wurden zur Darstellung von Forschungsprojekten eingeführt, bei denen bei Startbeginn noch nicht eindeutig festliegt, welche Arbeitsgänge schließlich auszuführen sind. Unter gewissen Bedingungen lassen sich Wahrscheinlichkeitsaussagen über die verschiedenen möglichen Abschlußtermine machen.

Résumé

Description et étude des principes et techniques modernes de traitement des problèmes d'ordonnement.

De plus en plus les décisions des entrepreneurs sont prises avec succès grâce à des méthodes scientifiques modernes qui ont pour but de découvrir parmi une multitude de solutions possibles celle qui est optimale au regard d'un critère donné.

Cet ensemble de procédés constitue ce qu'on appelle la recherche opérationnelle (Operations Research). Une définition de ce jeu de méthodes qui satisfierait tout le monde n'existe pas pour le moment et il semble, du reste, prématuré d'en établir une.

C'est à partir de la fin de l'année 1956 que de nouvelles méthodes permettant d'arriver à une planification meilleure et à un contrôle plus efficace d'entreprises importantes (construction, transformation, réparation, entretien) ont été mises en application. Ceci a particulièrement été vrai aux Etats-Unis

et les applications pratiques en ont eu beaucoup de succès. Ces méthodes ne s'appliquent d'ailleurs pas seulement aux problèmes de la production mais également à ceux que pose la recherche. Elles s'efforcent, avec succès d'approcher de plus en plus la réalité et se fondent essentiellement sur la théorie des graphes ou des réseaux.

A l'origine, il s'agissait d'établir un plan caractérisé par certains délais de réalisation de tâches affectées de contraintes chronologiques conditionnant un programme d'ensemble. Supposant par exemple que la date de début est fixée et qu'il n'existe aucune contrainte en ce qui regarde les facteurs, on peut se poser les questions suivantes :

- Quelle est la date la plus proche possible pour l'achèvement du projet?
- Quelles sont les dates de début et d'achèvement des diverses tâches élémentaires?
- Dans quelle mesure ces dates peuvent-elles varier sans mettre en cause l'accomplissement des tâches subséquentes ou la date limite la plus proche fixée pour l'achèvement de l'ensemble de l'entreprise?

Toutes ces questions peuvent être résolues à l'aide de la théorie des graphes. On introduit à cet effet des concepts relativement concrets tels que le chemin critique, l'intervalle de battement, l'intervalle de flottement et le battement des événements, les marges opératoires des tâches, etc.

Il est évidemment possible d'introduire des critères d'optimisation relatifs aux coûts et non seulement aux délais. La solution du problème devient plus difficile, mais reste, sous certaines conditions, possible en utilisant les mêmes principes tout en élaborant mieux leur mise en œuvre.

On citera par exemple les problèmes suivants :

- Comment minimiser le total des coûts directs pour une durée donnée (techniquement réalisable) de la tâche?
- Quelle est la solution optimale en tenant compte de l'ensemble des coûts (directs, indirects, primes, amendes conventionnelles, etc.)?
- Dans ce but, quelles sont les activités à décaler et de combien?

Abandonnant alors l'hypothèse peu réaliste de facteurs (hommes, machines, crédits) disponibles en quantité illimitée, on se trouve confronté avec le problème des délais possibles, étant donné ces limitations.

Par ailleurs, si la durée exacte des tâches n'est pas connue on devra se baser sur des estimations subjectives. Ceci est particulièrement vrai dans le cas des travaux de recherche et de développement. On a mis au point des procédés de calcul qui permettent de déterminer, par exemple, la date la plus rapprochée d'achèvement de tâches partielles importantes et la variabilité de cette estimation. On peut également déterminer la date la plus éloignée à laquelle ces tâches partielles doivent être terminées pour ne pas compromettre l'achèvement de l'ensemble du projet dans les délais prévus, ainsi que la probabilité de pouvoir respecter ces conditions, etc.

On peut encore faire entrer dans ces analyses l'étude et le contrôle des coûts. On peut ainsi, au vu de l'évolution réelle observée, exercer une surveillance efficace de l'avancement des travaux et des coûts et également, grâce à la vitesse de travail des ordinateurs électroniques, faire périodiquement des prévisions quant au déroulement futur des travaux.

En ce qui concerne les relations qui existent entre les coûts et la durée du travail on a mis au point des méthodes qui permettent de comparer utilement les diverses solutions possibles en mettant en balance, d'une part, les durées moyennes d'achèvement prévues et les coûts correspondants et, d'autre part, les risques de dépassement.

L'article comprend, après une brève introduction, un aperçu des principes et méthodes du traitement des problèmes d'ordonnement (Chapitre I). On discute alors (Chapitre II) la structure des tâches à planifier. On insiste particulièrement à cette occasion sur la nécessité d'une description précise de ces tâches, pour approfondir ensuite quelques concepts de base (réalisation d'ensembles complexes, tâches, contraintes, critère de décision) et rappeler enfin l'historique de ces méthodes.

Le troisième chapitre donne un exposé de quelques concepts élémentaires de la théorie des graphes. Après un bref rappel de l'importance scientifique de cette théorie développée par D. KOENIG en 1936, on introduit les différents éléments d'un graphe (sommets, arcs orientés) ainsi que des notions utilisées plus tard telles que le chemin, la longueur, le circuit, la matrice associée, etc. Quelques remarques générales à propos de la signification de la représentation matérielle d'un graphe complètent cet exposé.

Le Chapitre IV montre le rôle de la technique des réseaux indépendamment de la planification. Ceci se fait dans le cadre de l'optimisation de projets d'abord en terme de durée, ensuite en terme de coûts. L'examen d'un plan chronologique très simple donne l'occasion de définir quelques concepts tels que opération, étape, opération virtuelle, etc. Il en est de même pour la définition du chemin critique. On en déduit les dates attendues et les dates limites ainsi que les intervalles de flottement et de battement des événements. On discute alors la formulation et la solution mathématique du problème général à l'aide d'algorithmes. On trouvera ensuite une analyse descriptive des différentes espèces de marges opératoires ainsi que des indications sur la signification de ces concepts en ce qui concerne la surveillance d'un ensemble de tâches. Le problème de l'optimisation en termes de coûts est introduit par le biais des relations entre la durée et le prix de revient aussi bien pour les tâches élémentaires que pour l'opération prise dans son ensemble. On est alors amené à examiner l'influence des variations de durée sur les coûts.

Le Chapitre V (Description et étude des principales méthodes d'ordonnement) comporte une analyse critique des méthodes suivantes :

- Critical Path Method (CPM)
 - Méthodes des potentiels de Roy
 - Least Cost Estimating and Scheduling (LESS)
 - Program Evaluation and Review Technique (PERT).
- dont les buts et développements récents sont décrits.

A l'occasion de la description du CPM, on présente l'algorithme de FORD et on développe en vue du traitement sur ordinateur l'organigramme correspondant. On notera également les remarques de caractère général sur la numérotation des sommets et la conversion des époques trouvées en dates de calendrier. La méthode des potentiels développée en France par B. Roy est fondée sur des correspondances tout à fait différentes: Opération $\langle \longrightarrow \rangle$ sommet, contrainte temporelle $\langle \longrightarrow \rangle$ arc. On arrive ainsi à un graphe différent qui présente quelques avantages par rapport à la représentation américaine.

A l'occasion de l'étude du « Least Cost Estimating and Scheduling », on expose l'algorithme de BELLMANN-KALABA et on discute entre autres le mode d'introduction des contraintes cumulatives et des critères de charge. On examine aussi l'important algorithme de FULKERSON et parle brièvement de la solution approchée du cas des courbes de coûts non linéaires. Après quelques remarques générales sur les fonctions de coûts, on donne quelques exemples de solutions graphiques du problème de la durée du travail dans le cas d'optimisation du prix de revient.

L'examen de la méthode PERT appliquée aux grands projets de recherche (PERT-time et PERT-cost) est traité de manière plus approfondie et ce notamment du point de vue probabiliste. On a examiné encore certains développements récents qui concernent le choix entre différentes solutions tenant compte à la fois de la durée, du coût et du risque, ainsi que le calcul de l'organisation des capacités les moins coûteuses dans le cas où la durée de l'ensemble du travail est fixée.

L'utilisation du calcul électronique fait l'objet du sixième chapitre, consacré surtout à quelques algorithmes de la théorie de graphes particulièrement faciles à programmer et aux particularités des programmes disponibles. Le chapitre VII traite de problèmes nouveaux attaqués récemment et notamment de l'ordonnancement et de l'optimisation des coûts dans le cadre de la réalisation simultanée de plusieurs activités. On traite également le cas des contraintes disjonctives qui apparaissent lorsque certains facteurs ne sont disponibles qu'en quantité limitée et ne peuvent être utilisés simultanément en différents endroits. Lorsque l'ordre de successions est libre, le problème devient combinatoire et se réduit à la détermination d'un ordre optimal. On commente enfin les applications des graphes stochastiques, utiles dans le cas des projets de recherche à propos desquels les différents travaux à accomplir ne peuvent pas être déterminés de façon précise au début de l'opération. Dans certaines conditions, il est alors possible d'arriver à des conclusions probabilistes relatives aux différentes dates d'achèvement possibles.

Riassunto

Descrizione e studio dei principi e dei procedimenti moderni relativi ai problemi di pianificazione.

Gli imprenditori usano, con crescente successo, prendere le decisioni servendosi di moderni metodi scientifici che permettono di stabilire quale tra diverse soluzioni possibili, tenuto conto di un criterio determinato, è la migliore.

Questi nuovi procedimenti costituiscono ciò che si definisce la ricerca operativa (operations research). Non esiste una definizione più soddisfacente di tale procedimento e non sembra per ora possibile stabilirne una.

Dalla fine del 1956 sono stati messi a punto — soprattutto negli Stati Uniti in cui le applicazioni pratiche hanno avuto finora un grande successo — nuovi metodi i quali permettono di giungere ad una migliore pianificazione e ad un controllo più efficace di complessi progetti (costruzione, trasformazioni, riparazioni, manutenzione). È da aggiungere che tali metodi non si applicano solamente ai problemi della produzione ma anche a quelli che pone la ricerca. Essi hanno come obiettivo di avvicinarsi sempre più alla realtà e si basano essenzialmente sulla teoria dei grafi o delle reti.

In origine si trattava di stabilire un piano che regolasse un programma d'insieme che comporta compiti la cui realizzazione dev'esser contenuta entro limiti di tempo ben precisi. Supposto, ad esempio, che sia fissata la data d'inizio e che non esista alcuna limitazione per quanto riguarda i fattori, ci si possono porre le seguenti domande:

- Qualè la data più vicina per ultimare il compito?
- Quali sono le date d'inizio e di ultimazione dei compiti parziali?
- In quale misura tali date possono variare senza compromettere la realizzazione dei compiti successivi o la data limite più vicina fissata per l'ultimazione dell'intero progetto?

A tutte queste domande si può dare una risposta con la teoria dei grafi. Per far ciò si introducono, concetti relativamente concreti quali la via critica e diversi tipi di periodi liberi.

È possibile, naturalmente, trovare alcuni criteri che migliorino non solo i tempi ma anche i costi. In tal caso sorgono problemi più difficili che tuttavia, in determinate condizioni, si possono risolvere utilizzando gli stessi principi ma elaborati in maniera migliore.

Citeremo, come esempio, i problemi seguenti:

- Fissata una certa durata (tecnicamente possibile) per la realizzazione del compito, come ridurre al minimo l'insieme dei costi diretti?
- Se si tien conto dell'insieme dei costi (diretti, indiretti, premi, ammende convenzionali, ecc.) qualè la migliore soluzione?
- Quali sono, in tal caso, le attività da accelerare o ritardare e di quanto?

Se si abbandona l'ipotesi poco realistica che si possa disporre di fattori (uomini, macchine, crediti) in quantità illimitata, ci si trova di fronte al problema di accordare i tempi con i mezzi effettivamente disponibili.

È da rilevare inoltre che, se non si conosce la durata esatta, ci si dovrà basare su stime soggettive in particolare nel caso

di lavori di ricerca e di sviluppo. Sono stati, ad esempio, messi a punto procedimenti di calcolo che permettono di stabilire sia la data più vicina per l'ultimazione di compiti parziali importanti che la variabilità di tale stima. Si può egualmente stabilire la data più lontana entro cui tali compiti parziali devono essere ultimati per non compromettere la realizzazione dell'insieme del progetto nello spazio di tempo previsto, nonché stimare le probabilità che si hanno di poter rispettare tali condizioni, ecc.

Quest'analisi può estendersi ancora allo studio e al controllo dei costi. Si può inoltre, tenendo conto dell'evoluzione reale registrata, esercitare un'efficace sorveglianza sull'avanzamento dei lavori e sui costi e, data la rapidità degli ordinatori elettronici, procedere a previsioni periodiche riguardo al futuro svolgimento dei lavori.

Per quanto concerne le relazioni che esistono fra i costi e la durata del lavoro sono stati elaborati metodi che permettono di confrontare utilmente le diverse soluzioni possibili prendendo in considerazione, da una parte, i tempi medi di ultimazione previsti e i relativi costi, e, dall'altra, i rischi di oltrepassarli.

L'articolo presenta, dopo una breve introduzione un quadro di insieme dei principi e dei metodi relativi ai problemi di pianificazione (capitolo I). Successivamente si analizza la struttura dei compiti da pianificare (capitolo II). A questo riguardo viene particolarmente rilevata la necessità di una precisa descrizione di tali compiti, si approfondiscono alcuni concetti di base (realizzazione di progetti complessi, compiti, costrizioni, criteri di decisione) e si descrivono gli sviluppi nel tempo dei metodi in questione. Nel terzo capitolo sono esposti alcuni concetti elementari della teoria dei grafi. Dopo aver ricordato brevemente l'importanza scientifica di tale teoria sviluppata da D. KOENIG nel 1936 vengono descritti i diversi elementi di un grafo (vertici, archi orientati) e chiarite le nozioni utilizzate in seguito quali la via, la lunghezza, il circuito, la matrice associata, ecc. Completano tale esposizione alcune osservazioni generali in merito al significato della rappresentazione materiale di un grafo. Nel capitolo IV si precisa il ruolo della tecnica delle reti, indipendentemente dalla pianificazione, nel quadro della determinazione della soluzione migliore dal punto di vista dei tempi e dei costi. Durante l'esame di un piano molto semplice che interessa i tempi vengono chiariti alcuni concetti fondamentali quali l'operazione, la tappa, l'operazione virtuale, ecc. Lo stesso avviene per il concetto della via critica. Si deducono le date sperate e le date limite nonché periodi liberi degli avvenimenti e si discute quindi la formulazione e la soluzione matematica del problema generale mediante l'uso di algoritmi.

Troviamo in seguito un'analisi descrittiva dei margini operatori e precisazioni sul significato di tali concetti per quanto riguarda la sorveglianza di un assieme di compiti. Il problema di stabilire i costi più convenienti viene trattato esaminando la relazione tra durata e costo, sia per i compiti elementari che per l'insieme del progetto, e successivamente l'influenza delle variazioni della durata sui costi.

Il capitolo V (descrizione e studio dei principali metodi di pianificazione) contiene un'analisi critica dei metodi seguenti :

— Critical Path Method (C.P.M.)

— Metodo dei potenziali di ROY

— Least Cost Estimating and Scheduling (LESS)

— Program Evaluation and Review Technique (PERT), i cui fini e gli sviluppi recenti vengono precisati.

Durante la descrizione del CPM viene presentato l'algoritmo di FORD e sviluppato, per il trattamento su ordinatore, il corrispondente organigramma. Seguono osservazioni di carattere generale sulla numerazione dei vertici e la conversione dei tempi stabiliti in date di calendario. Il metodo dei potenziali sviluppato in Francia da B. ROY, è fondato su rapporti del tutto diversi: operazione $\langle \text{---} \rangle$ vertice, costrizione temporale $\langle \text{---} \rangle$ arco. Si ottiene così un grafico diverso che presenta alcuni vantaggi in confronto alle rappresentazioni americane.

In occasione dello studio del Least Cost Estimating and Scheduling viene descritta l'algoritmo di BELLMAN-KALABA e discusso il modo di introduzione delle « costrizioni cumulative » e dei criteri del grado di utilizzazione dei fattori. Si passa poi all'importante algoritmo di FULKERSON insieme al quale si tratta brevemente la soluzione approssimata nel caso delle curve e dei costi non lineari. Dopo alcune osservazioni generali sulle funzioni di costo si riportano alcuni esempi di soluzioni grafiche del problema della durata del lavoro nel caso di determinazione del prezzo di costo migliore.

L'esame del metodo PERT, applicato ai grandi progetti di ricerca (PERT-time e PERT-cost) viene trattato in maniera più approfondita e particolarmente da un punto di vista probabilistico. Vengono esaminati anche alcuni sviluppi recenti riguardanti la scelta fra diverse soluzioni, tenendo conto al tempo stesso della durata, del costo e del rischio, nonché il calcolo dell'organizzazione delle capacità meno costose nel caso in cui sia fissata la durata del progetto.

L'impiego del calcolo elettronico forma l'oggetto del capitolo VI dedicato soprattutto ad alcuni algoritmi della teoria dei grafi particolarmente facili da programmare ed alle particolarità dei programmi disponibili. Il capitolo VII si occupa di problemi nuovi studiati recentemente e soprattutto della pianificazione e della ricerca della miglior soluzione per quanto riguarda i costi nel quadro della realizzazione simultanea di diverse attività. Viene esaminato egualmente il caso delle Costrizioni « disgiuntive » che appaiono quando alcuni fattori non sono disponibili che in quantità limitata e non possono essere utilizzati simultaneamente in più punti. Quando l'ordine di successione è libero il problema diventa combinatorio e si riduce alla necessità di dover determinare il miglior ordine. Sono commentate infine le applicazioni delle reti stocastiche utilizzabili nel caso dei progetti di ricerca per i quali i vari lavori da effettuare non possono essere determinati in maniera precisa fin dall'inizio. In determinate condizioni si può giungere a conclusioni probabilistiche relative alle varie possibili date di ultimazione.

Samenvatting

Beschrijving en kritische bespreking van de principiële benaderingswijze van planningsvraagstukken en van de moderne projectplanningmethodes.

Bij het nemen van beslissingen maakt men in het bedrijfsleven in toenemende mate en met steeds meer succes gebruik van nieuwe wetenschappelijke methodes. Al deze methodes hebben één kenmerk gemeen: Aan de hand van een gegeven criterium wordt bepaald, welke van de vele a priori mogelijke oplossingen optimaal is.

Het geheel van nieuwe methoden met deze algemene doelstelling wordt aangeduid als besliskunde (operations research). Er is nog geen in alle opzichten bevredigende definitie voor deze zich snel ontwikkelende methodiek gevonden en het is ook nog te vroeg om daartoe een poging te doen.

Sedert einde 1956 werden (voornamelijk in Amerika) nieuwe methodes voor een betere planning en controle van samengestelde projecten (bouwprojecten, omschakelingsprojecten, installatieprojecten, uitvoering van produktieprocessen) ontwikkeld en met groot succes in de praktijk gebracht. Zij worden zowel voor reeds in gebruik zijnde industriële processen als voor het onderzoek van nieuwe processen toegepast. De gebruiksmogelijkheden nemen voortdurend toe omdat de modellen de werkelijkheid steeds beter benaderen. Alle modellen berusten op een grafentheoretische of een netwerkanalytische benadering van het probleem.

Bij de in aanmerking komende planningvraagstukken gaat het om de bepaling van de tijdstippen waarop bepaalde onderdelen van een bepaald project (in het algemeen: «activiteiten»), die aan tijdslijnen zijn gebonden, kunnen worden voltooid. In het eenvoudigste geval weet men nauwkeurig hoe lang elk der voor de uitvoering van het project benodigde activiteiten duurt en kent men tevens hun logische opeenvolging (orderingsrelaties).

Wanneer de aanvangsdatum van het project bekend is en verondersteld wordt dat alle middelen steeds onbepaald beschikbaar zijn, kan een reeks van vragen worden gesteld, zoals

- Op welk tijdstip kan het project op zijn vroegst voltooid zijn?
- Op welk tijdstip («mijlpaal») wordt elke activiteit begonnen en beëindigd?
- Binnen welke grenzen kunnen deze mijlpalen schommelen zonder de uitvoering van latere activiteiten te vertragen, respectievelijk zonder de vroegst mogelijke datum van voltooiing van het gehele project onzeker te maken?

Al deze vraagstukken kunnen met behulp van de grafentheorie of de theorie van de netwerkplanning gemakkelijk worden beantwoord. Hiertoe voert men aanschouwelijke begrippen in, zoals het kritieke pad, variabiliteit van de activiteitsduur en speelruimte.

Beschouwt men niet alleen de tijd, doch ook de kosten als variabele, dan worden de problemen weliswaar ingewikkelder, doch onder bepaalde algemene voorwaarden blijven zij met hetzelfde instrumentarium — dat dan wel verder verfijnd

moet worden — oplosbaar. De te stellen vragen luiden dan bij voorbeeld:

- Hoeveel bedragen de directe kosten minimaal bij een gegeven (en uiteraard technisch uitvoerbare) duur van het project?
- Bij welke oplossing zijn de totale kosten minimaal wanneer ook alle overige kosten (indirecte kosten, premies, contractuele boetes e.d.) in de analyse worden betrokken?
- Welke activiteiten moeten in het laatste geval worden versneld en in welke mate?

Wanneer men de weinig realistische veronderstelling van onbepaalde beschikbaarheid der capaciteiten (mankracht, machines, krediet) laat vallen, rijst de vraag op welke tijdstippen de activiteiten met behulp van de feitelijk beschikbare middelen kunnen worden verricht.

Wanneer de activiteitsduren niet nauwkeurig bekend zijn, zal men in bepaalde gevallen van subjectieve ramingen van bedrijfszijde moeten uitgaan. Dit komt met name bij ontwikkelings- en researchprojecten vaak voor. Men heeft methodes uitgewerkt waarmee zelfs in dergelijke gevallen kan worden bepaald op welk tijdstip bijv. de voltooiing van belangrijke onderdelen van het project verwacht kan worden en hoe groot de spreiding van de aldus gevonden waarden is. Verder kan worden berekend op welk tijdstip deze onderdelen uiterlijk voltooid dienen te zijn opdat de meest waarschijnlijke voltooiingsdatum voor het gehele project kan worden aangehouden, met welke mate van waarschijnlijkheid bepaalde tussenliggende mijlpalen tijdig kunnen worden bereikt e.d.

Deze analyses kunnen worden uitgebreid met een planning en een controle van de kosten. Wanneer bepaalde basisgegevens bekend zijn, kunnen met behulp van een elektronische rekenmachine niet alleen kostenstaten en budgetvergelijkingen voor het reeds voltooide gedeelte van het project worden opgesteld, doch ook het toekomstige verloop worden geraamd. In andere gevallen kunnen bovendien bezettingsplannen voor de bij de uitvoering van het project betrokken afdelingen worden vervaardigd (desgewenst zelfs in de vorm van histogrammen). Verder kan men bij gegeven duur van het project vaak berekenen bij welke capaciteitsplannen de kosten minimaal zijn.

Wanneer de relatie tussen kosten en duur van de activiteiten van stochastische aard is, kan men met behulp van voor dit geval uitgewerkte methodes bepalen welke van de diverse alternatieve oplossingen optimaal is. Voor elke oplossing stelt men dan de gemiddelde totale duur van uitvoering en de kosten tegenover de bijbehorende risico's van termijnoverschrijding.

Het artikel begint met een beknopte algemene inleiding (hoofdstuk I) en geeft vervolgens een overzicht van de principiële benaderingswijze en de methodiek voor het oplossen van planningsvraagstukken. Eerst wordt de structuur van dit soort problemen behandeld (hoofdstuk II). Grote aandacht wordt besteed aan hun exacte karakterisering en aan bepaalde grondbegrippen (uitvoering van samengestelde projecten, activiteiten, restricties, criteria); daarna volgt een korte wordingsgeschiedenis van de besliskunde.

In het derde hoofdstuk wordt over enkele grondbegrippen van de grafentheorie uitgeweid. Na een korte bespreking van de grote wetenschappelijke betekenis van deze in 1936 door D. KOENIG ontwikkelde theorie worden op beknopte wijze enkele elementen van de graaf (knooppunt, georiënteerd lijnstuk e.d.) en diverse later te gebruiken begrippen (weg, lengte, lus, geassocieerde matrix e.d.) ingevoerd. Het hoofdstuk wordt besloten met enkele belangrijke opmerkingen van algemene strekking over het nut van de fysische voorstelling van een netwerkplan.

In hoofdstuk IV wordt getracht een beeld te geven van de toekomstige gebruiksmogelijkheden van de techniek der netwerkplanning in het algemeen, dus afgezien van de verderop te behandelen planningsystemen. Ter demonstratie wordt een beschrijving gegeven van de wijze waarop de duur, respectievelijk de kosten van een project worden geminimaliseerd. Aan de hand van een uiterst simpel tijdschema worden grondbegrippen als karwei, mijlpaal en hypothetische activiteit e.d. ingevoerd. Ook de bepaling van het kritieke pad wordt met behulp van een klein overzichtelijk netwerkplan gedemonstreerd. Bij deze gelegenheid wordt nader ingegaan op de begrippen « earliest and latest event time » en de bijbehorende toleranties en speelruimten. Mathematische formulering en oplossing van het algemene probleem door middel van algoritmen worden uiteengezet. Daarna volgt een descriptieve analyse van de verschillende soorten speelruimten en een aantal opmerkingen over de betekenis van deze operationele begrippen voor de voortgangscontrole. De problematiek van het minimaliseren der projectkosten wordt ingeleid met een onderzoek naar de betrekkingen tussen benodigde tijd en kosten, zowel per afzonderlijke activiteit als voor het gehele project, gevolgd door een aanschouwelijke beschrijving van het functionele verband tussen activiteitsduur en -kosten.

Hoofdstuk V is getiteld « Beschrijving en discussie van de meest gebruikte planningsystemen ». Van de volgende methoden worden de doelstelling en de jongste resultaten beschreven en een kritische beoordeling gegeven :

- Critical Path Method (C.P.M.)
- Potentialenmethode volgens Roy
- Least Cost Estimating and Scheduling (LESS)
- Program Evaluation and Review Technique (PERT).

Bij de beschrijving van de C.P.M. wordt veel aandacht besteed aan het bewijs van de FORD-algorithme; tevens wordt het blokdiagram voor de computer uitgewerkt. Van veel belang zijn ook de opmerkingen (van algemene strekking) over de nummering der knooppunten en over de transformatie van relatieve tijdstippen in kalenderdata.

De potentialenmethode van de Fransman B. Roy gaat van een geheel ander begrippenstelsel uit, namelijk activiteit $\langle \text{---} \rangle$ knooppunt naast tijdslijm $\langle \text{---} \rangle$. pjl. Langs deze weg ontstaat een geheel ander pijldiagram dat bepaalde voordelen bezit ten opzichte van de Amerikaanse methodes waarbij de gegevens in de vorm van een netwerk worden afgebeeld.

Bij de behandeling van de « Least Cost Estimating and Scheduling » wordt een korte beschrijving van de BELLMANN-KALABA-algorithme gegeven en de wijze van invoering van zgn. cumulatieve restricties en bezettingscriteria kritisch besproken. Verder wordt nader op het karakter van de belangrijke FULKERSON-algorithme ingegaan. Men vindt hier een schematische aanduiding van een methode voor het vinden van een benaderende oplossing bij niet-lineair kostenverloop. Bij de algemene behandeling van de kostenfuncties worden enkele voorbeelden gegeven van de wijze waarop de projectduur bij minimale kosten grafisch kan worden bepaald.

De PERT-methodes (PERT-time en PERT-cost), die bij omvangrijke onderzoekprojecten worden toegepast, worden uitvoerig behandeld en onder meer vanuit het oogpunt van de waarschijnlijkheidstheorie beschouwd. Daarenboven wordt een beschrijving gegeven van belangrijke recente ontwikkelingen in verband met de problematiek van de alternatieve plannen (met als variabelen : tijd, kosten en risico) en van de bepaling van het capaciteitsplan met de laagste kosten bij gegeven projectduur.

Hoofdstuk VI is geheel aan de betekenis van het gebruik van elektronische rekenmachines gewijd. De schrijver wijst erop dat bepaalde algoritmen uit de grafentheorie zeer eenvoudig te programmeren zijn en geeft een karakteristiek van de beschikbare programma's.

Hoofdstuk VII bevat enkele originele bijdragen tot de problematiek van de besliskunde. In de eerste plaats de bijzondere aspecten van planning en kostenminimalisatie bij gelijktijdige analyse van meerdere projecten. Verder de invoering van zgn. « disjunctieve » beperkingen, d.w.z. restricties die steeds optreden wanneer men slechts de beschikking heeft over beperkte middelen die niet gelijktijdig op meer dan één plaats kunnen worden aangewend. Wanneer in een dergelijk geval de volgorde vrij gekozen kan worden, rijzen combinatorische problemen, i.c. de bepaling van de optimale ordening. Als laatste onderwerp wordt het gebruik van « stochastische » netwerkplannen behandeld. Deze dienen ter afbeelding van onderzoekprojecten waarvan bij de aanvang nog niet met zekerheid vaststaat welke activiteiten nodig zullen zijn. Onder bepaalde voorwaarden kunnen waarschijnlijkheidsuitspraken over de diverse mogelijke eindmijlpalen worden gedaan.

Summary

Description and study of the principles and modern procedures applied to planning problems

With increasing success, more and more management decisions are being taken with the aid of novel scientific methods whose main purpose is to help to determine, among a number of *a priori* possible solutions, the one which is optimal in its effects in relation to a given selection criterion.

These new procedures, to all of which the general objective mentioned above is common, are described as the instruments of operations research. There is as yet no entirely satisfactory

definition of this rapidly developing discipline, and there is at the moment no point in searching for one.

Since the end of 1956 new methods have been developed, chiefly in America, to improve planning and control of complex projects (construction, transformation, repair and maintenance), and these have met with considerable success in practice. They can be applied to both recognized manufacturing and new research projects, and their scope is constantly being extended by means of increasingly realistic models, which are all based on graph or network analysis.

These methods are used to solve problems of planning where it is necessary to know just when it will be possible to complete certain operations (or activities in the widest sense) that form part of an overall project and are subject to certain time constraints. In the simplest case the exact duration of these separate activities is known, as is their logical sequence.

Given a starting date, and assuming continual and unlimited availability of the necessary facilities, a series of questions arises from which the following may be selected:

- What is the earliest possible completion date of the project?
- What are the starting and completion dates for the separate activities?
- What are the permissible limits within which these dates can be varied without delaying the subsequent activities or affecting the earliest date at which all activities link up?

All these questions can easily be answered by means of graph or network theory. To this end, concepts such as critical path, tolerance intervals and cushion periods are introduced.

Where, however, considerations of cost as well as the time factor are included in the analysis, we come up against more difficult problems, but under certain general conditions these can still be solved with the same, though perhaps more refined, instruments. For instance:

- What are the minimum direct costs with a given (and technically feasible) duration of project?
- What is the optimal solution with reference to total costs where other cost factors (indirect costs, rewards and penalties, etc.) are taken into account?
- What activities should be speeded up in this last case, and how much?

If we abandon the unrealistic assumption of unlimited availability of facilities (labour, machines, credits), we need to know the times by which the various operations can in fact be carried out with the facilities available.

If the exact duration of the various activities is unknown, we must in some cases (mainly in development and research projects) rely on subjective management estimates. Formulas have been elaborated which even here can indicate how soon completion of the major steps can be expected and how wide the scatter of values is. It is also possible to ascertain the latest target date by which these various steps must be completed if the target date for final completion of the

project is not to be delayed, how likely it is that certain important interim dates will be maintained, and so on.

Cost planning and control can also be linked with these investigations. If certain inputs are known, forecasts can be produced periodically on an electronic data-processing machine, as well as cost calculations and reference-value comparisons for the part of the project already completed. In other cases it is also possible to assess load programmes for the various departments engaged in the project (in the form of bar charts if so desired). Lastly, with a given project duration, cost-optimal capacity plans can often be calculated.

Where there is a stochastic relation between costs and the duration of the operations, methods have been worked out which permit a useful comparison of various alternative solutions, in which average total completion times and costs on the one hand and the risk of failure to meet deadlines on the other have to be weighed against each other before final selection.

After a short general introduction (Chapter I) this article outlines the principles and methods applied to planning problems. Chapter II then deals with the structure of the planning tasks that have to be solved. Here the essentials are an exact description of the nature of the problems, closer examination of certain basic concepts (realization of complex projects, activities, constraints, selection criteria) and the historical background.

Chapter III is a digression on some of the elementary concepts of graph theory. After a short evaluation of the major scientific significance of this theory—put forward by D. KOENIG in 1936—elements of a graph such as vertices, vectors and so on are introduced briefly, together with more advanced concepts such as path, length, circular path and associated matrix. This Chapter concludes with some general remarks on the importance of the material presentation of a network.

Chapter IV shows the part to be played by network technique in general (i.e. apart from the various planning systems described later). This is demonstrated in the determination first of a time-optimal project and then of a cost-optimal project. Basic concepts such as operation, step and virtual operation are then introduced by a description of a simple schedule. The critical path is also determined by means of a small, precise example. The earliest and latest possible dates at which events can occur are described, together with tolerance intervals and cushion periods. The mathematical formulation and solution of the general problem by means of algorithms is discussed. This is followed by a descriptive analysis of various kinds of cushion period and details of the significance of these operational concepts in controlling a project. As an introduction to the problems of cost-optimal project sequences, the relations between the duration and cost of an operation and between the total duration and total cost of the project are investigated, and an account is given of the effects of changes in working time on costs.

Chapter V, on the description and study of the principal planning systems, discusses the objectives and results of

recent developments in the following methods, and makes a critical assessment:

- (a) Critical Path Method (CPM)
- (b) Roy's Potential Method
- (c) Least Cost Estimating and Scheduling (LESS)
- (d) Program Evaluation and Review Technique (PERT).

In the description of the Critical Path Method, FORD's algorithm is proved and, with a view to the utilization of a data-processing system, the corresponding flow diagram is worked out. We may also draw attention to the generally valid remarks on vertex enumeration and conversion of relative dates into calendar dates.

The Potential Method developed by the Frenchman B. Roy is based on correspondances of quite a different kind: operation-vertices, time constraint-vector. This leads to another graph, which has certain advantages over the American network system.

In Least Cost Estimating and Scheduling, the method of introducing cumulative constraints and load criteria is discussed after a short description of the BELLMANN-KALABA algorithm. Details are also given on the important FULKERSON algorithm, and an approximate solution is offered in the case of nonlinear cost curves. With reference to general considerations on cost functions, the author demonstrates various solutions with a cost-optimal project duration.

The Program Evaluation and Review Techniques employed in important research projects (PERT-Time and PERT-Cost) are dealt with at length, especially from the point of view of the calculus of probabilities. Significant further developments as regards alternative programmes for the project with comparison of time, costs and risk, and the calculation of the lowest-cost capacity programme with a given project duration are also described.

A special chapter (Chapter VI) is devoted to electronic computers. This concentrates on emphasizing how easily certain algorithms in the graph theory can be programmed and on the peculiarities of the programmes available.

A new field of research is entered in Chapter VII, in which the question of planning and cost-optimal solution is discussed in the case of simultaneous processing of several projects. And attention is also given to the problem of introducing "disjunctive" constraints, which always arise when only limited facilities are available that cannot be utilized in different places at the same time. If the choice of sequence is completely open, problems of combination arise, particularly in determining optimal sequence. Finally, the utilization of "stochastic" networks is commented upon. These were introduced to demonstrate research projects on which it is not yet quite settled at the outset what operations are finally to be carried through. In certain circumstances statements of probability can be made on the various possible completion dates.

Industriezensus 1963 : Fragenprogramm, Durchführung in den Mitgliedstaaten, Veröffentlichung der Ergebnisse

J. KROMPHARDT,
Statistisches Amt der Europäischen Gemeinschaften

Überblick über die erfragten Tatbestände • Ihre Ermittlung und Aufbereitung in den Mitgliedstaaten •
Veröffentlichungsplan des SAEG

Vorbemerkung

Im Heft 4-1962 dieser „Statistischen Informationen“ gab F. GROTIUS einen Überblick über die Aufgaben, den Inhalt und die Methoden des Zensus von 1963 im produzierenden Gewerbe (im folgenden kürzer als Industriezensus bezeichnet) und die Entstehung des gemeinsamen EWG-Programms für diesen Zensus ⁽¹⁾.

Im Industriezensus wurden im Laufe des Jahres 1963 erstmalig auf gemeinschaftlicher Ebene die wichtigsten Angaben über die Struktur und die Tätigkeit von Industrie und Handwerk im Jahre 1962 ermittelt; die komplizierten Methoden einer solchen Großzählung und die Erfordernisse der internationalen Vergleichbarkeit haben es jedoch mit sich gebracht, daß Ergebnisse des Zensus bisher nicht veröffentlicht werden konnten.

Nach einem Überblick über die erfragten Tatbestände soll im folgenden dargelegt werden, in welcher Form

der Industriezensus in den einzelnen Mitgliedstaaten durchgeführt wird und welche Schwierigkeiten bei der Zusammenfassung der Ergebnisse und der Umrechnung auf die „Systematik der Zweige des produzierenden Gewerbes in den Europäischen Gemeinschaften“ (NICE) ⁽²⁾ zu überwinden sind. Zum Abschluß wird beschrieben, wie die Fülle von Daten, die der Industriezensus vermitteln wird, in möglichst übersichtlicher Weise geordnet und veröffentlicht werden soll.

Der systematischen Veröffentlichung der endgültigen Ergebnisse wird die Veröffentlichung vorläufiger, unvollständiger Ergebnisse vorausgehen. Das SAEG wird die nach und nach eintreffenden Teilergebnisse jeweils alsbald publizieren.

I. Überblick über die im Industriezensus 1963 erfragten Tatbestände

Der Industriezensus 1963 umfaßt mehrere in sich zusammenhängende Fragengruppen, die in den Mitgliedstaaten häufig in getrennten Erhebungen ermittelt werden. Es sind dies:

a) Einfache *Grundzahlen* über die Gesamtheit aller Einheiten des produzierenden Gewerbes (Zahl der Unternehmen oder Betriebe, Zahl der Beschäftig-

ten, Höhe der gezahlten Löhne und Gehälter u.ä.), die meistens in allgemeinen Arbeitsstättenzählungen erhoben werden.

b) Angaben über den Wert der Produktion, des Materialverbrauchs, der Bestandsänderungen usw.; diese Angaben ermöglichen die Berechnung des Brutto- und Nettoproduktionswertes.

⁽¹⁾ F. GROTIUS: „Aufgaben und Methoden des Welt-Industriezensus 1963 in den Mitgliedstaaten der EWG“, *Statistische Informationen*, SAEG, Heft 4-1962.

⁽²⁾ Es ist vorgesehen, die Ergebnisse des Zensus nach 115 (dreistelligen) NICE-Gruppen und rund 20 Untergruppen aufzugliedern.

- c) Angaben über die getätigten *Investitionen*.
- d) *Mengenmäßige* Angaben über den Verbrauch an Energieträgern und wichtigen Grundstoffen sowie über die Produktion wichtiger Erzeugnisse.

Die Zusammenfassung aller dieser Fragengruppen zu einem einzigen Zensus machte es erforderlich, die Befragung nach dem Schwierigkeitsgrad der Fragen zu differenzieren; das führte vor allem zu einer unterschiedlichen Fragenliste für kleine Unternehmen und Betriebe (1 bis 9 Beschäftigte) einerseits, große und mittlere Unternehmen und Betriebe (10 oder mehr Beschäftigte) andererseits.

Im Anhang I wird für die verschiedenen Gruppen von befragten Einheiten eine Übersicht über die zu ermittelnden Tatbestände gegeben. Dabei wurden 7 grosse Fragengruppen unterschieden:

1. Merkmale der meldenden Einheit

Haupttätigkeit, Rechtsform, weitere Tätigkeiten. Die Angaben erlauben die Zuordnung der Einheiten zu den in Frage kommenden NICE-Gruppen und eine Gliederung der Unternehmen nach der Rechtsform. Die Angabe der neben den Haupttätigkeiten ausgeübten Tätigkeiten soll dazu dienen, eine Spezialtabelle aufzustellen, die interessante Aufschlüsse über die Verflechtungen ergeben wird.

2. Beschäftigte am 31.12.1962

Hier ist die Gesamtzahl der Beschäftigten anzugeben, gegliedert nach der Stellung im Betrieb (Inhaber, Angestellter, Arbeiter usw.). Die Heimarbeiter auf der Lohnliste werden nicht in die Beschäftigten einbezogen, da ein Heimarbeiter bei mehreren Betrieben auf der Lohnliste stehen kann, wodurch sich Doppelzählungen ergäben.

3. Zahl der Arbeitnehmer im Jahresverlauf und geleistete Arbeitsstunden

Die in einigen Industriezweigen stark ausgeprägten saisonalen Schwankungen der Beschäftigung machen es erforderlich, die Zahl der Arbeitnehmer nicht nur an einem einzigen Stichtag des Jahres, sondern möglichst monatlich, mindestens aber vierteljährlich (wie hier im Zensus) zu erfragen.

(¹) Von der an sich erforderlichen Ausschaltung der Vorleistungen abgesehen.

Nur in der Energie- und Wasserwirtschaft, wo diese Schwankungen nicht bestehen, konnte auf diese Frage verzichtet werden. Die geleisteten Arbeitsstunden hingegen wurden auch in diesem Wirtschaftsbereich erfaßt.

4. Bruttolohn- und -gehaltssumme

Bei den Kleinbetrieben mußte auf die Unterteilung in Lohnsumme und Gehaltssumme verzichtet werden.

5. Umsatz, Bruttoproduktionswert, Materialverbrauch, Nettoproduktionswert

Dieser Abschnitt bildet das Kernstück des Zensus und erlaubt die Berechnung — ausgehend von Umsatz und Materialverbrauch — des Nettoproduktionswertes jedes Industriezweiges und damit seines Beitrages zum Bruttosozialprodukt (¹).

Der Nettoproduktionswert ergibt sich wie folgt:

$$\begin{aligned}
 & \text{Umsatz (einschl. Handelsware)} \\
 & + \text{selbsterstellte Anlagen} \\
 & \pm \text{Bestandsänderungen an Fertigerzeugnissen und Halbfabrikation} \\
 & \hline
 & = \text{Bruttoproduktionswert (einschl. Handelsware)} \\
 & - \text{Materialverbrauch} \left\{ \begin{array}{l} = \text{Materialeingang (einschl. Einkäufe von Handelsware und Wert der vergebene Lohnarbeiten)} \\ \pm \text{Bestandsänderungen an Materialien und Handelswaren} \end{array} \right. \\
 & \hline
 & = \text{Nettoproduktionswert (einschl. Saldo aus: Verkaufswert minus Einstandswert der verkauften Handelsware)}
 \end{aligned}$$

Um den Nettoproduktionswert aus produzierender Tätigkeit zu erhalten, ist außerdem folgende Berechnung vorgesehen:

$$\begin{aligned}
 & \text{Bruttoproduktionswert ohne Handelsware} \\
 & - \text{Materialverbrauch} \left\{ \begin{array}{l} = \text{Materialeingang (außer Handelsware) einschl. vergebene Lohnarbeit} \\ \pm \text{Bestandsänderungen an Materialien} \end{array} \right. \\
 & \hline
 & = \text{Nettoproduktionswert aus produzierender Tätigkeit}
 \end{aligned}$$

Die einzelnen Elemente dieser Berechnung lassen sich nicht alle bei sämtlichen Einheiten ermitteln, da sie ausführliche buchhalterische Unterlagen bei den Befragten voraussetzen. Dies gilt vor allem für die Angaben über die Bestände und die Bestandsänderungen, die weder bei den kleinen Unternehmen und Betrieben der Industrie noch bei den Unternehmen des Baugewerbes erfragt werden können. Für diese Einheiten sind — unter Berücksichtigung aller sonstigen verfügbaren Informationen — die Bestandsänderungen entweder zu vernachlässigen oder von den nationalen statistischen Ämtern zu schätzen.

Ähnliche Probleme stellen sich für die selbsterstellten Anlagen.

Die einzelnen Elemente der Berechnung des Nettoproduktionswertes sind natürlich auch für sich allein von großem Interesse. Dies gilt vor allem für den Umsatz, der in den laufenden Statistiken im allgemeinen nur bei Unternehmen oder Betrieben von einer bestimmten Mindestgröße an erfragt wird. Die im Zensus erhobenen Gesamtzahlen für die einzelnen Industriezweige können daher zur Kontrolle und Hochrechnung der laufenden Teilergebnisse verwendet werden.

Auch die Relationen zwischen den einzelnen Elementen — wie Materialverbrauch zu Umsatz, Nettoproduktionswert zu Bruttonproduktionswert — sind von großer Aussagekraft für eine Analyse der Industriestruktur.

6. Investitionen

Die Angaben — unterteilt einerseits in neue und gebrauchte Sachanlagen, andererseits in Maschinen und Einrichtungen, Fahrzeuge, Bauten und Grundstücke — werden in diesem Zensus erstmalig für das gesamte produzierende Gewerbe der Gemeinschaft erhoben; sie umfassen kleine, mittlere und große Unternehmen und Betriebe.

Sie werden nicht nur ein Bild der Investitionstätigkeit in den einzelnen Bereichen ergeben, sondern auch eine Kontrolle oder Hochrechnung der Angaben aus laufenden jährlichen Investitionserhebungen ermöglichen.

7. Mengenmäßige Angaben

Unter dieser Rubrik sind drei Gruppen von Daten zusammengefaßt:

a) Angaben über den Energieverbrauch: Hier soll der Verbrauch der einzelnen Industriezweige an verschiedenen Energieträgern ermittelt werden sowie ihre Erzeugung von Elektrizität. Für die wichtigsten Energieerzeuger und -verbraucher (Stahlindustrie, Kohlenbergbau usw.) ist auch die Eigenerzeugung anzugeben; außerdem ist der Verbrauch der einzelnen Energieträger nach der Art der Verwendung zu untergliedern in:

- a) Verbrauch zur Erzeugung anderer Energieträger;
- b) Eigenverbrauch und Verluste;
- c) andere Verwendung.

b) Angaben über den Verbrauch von rund 50 wichtigen Grundstoffen: Der Verbrauch dieser Grundstoffe wird bei allen Industriezweigen erfragt, weil „...damit erstmalig auch strukturelle Größenordnungen gewonnen werden, die den Grundstock für analytische Beschreibungen der wichtigsten Warenmärkte und Absatzströme bilden können“ (1). Diese Angaben liefern „...die wichtigsten Größenvorstellungen, die für die einzelnen Warenmärkte charakteristisch sind, wie z.B. die Bedeutung der einzelnen Verbraucherbereiche für die Warenmärkte oder der Anteil, der gemessen an der Gesamtverfügbarkeit einer Ware oder Warengruppe marktmäßig überhaupt in Erscheinung tritt“. (1)

c) Produktion von 350 Erzeugnissen: Diese Angaben werden für jedes Erzeugnis nach Herstellerbereich gegliedert; es handelt sich also nicht nur um eine einfache Produktionsstatistik, sondern sie wird um den Nachweis ergänzt, welche Industriezweige zur Gesamterzeugung jedes der 350 ausgewählten Erzeugnisse beigetragen haben.

(1) F. GROTIUS, a.a.O., S. 397;

II. Die Ermittlung und Aufbereitung der zu erfragenden Tatbestände in den Mitgliedstaaten

1. Der Aufbau des Industriezensus in den Mitgliedstaaten

Wie in dem Aufsatz von GROTIUS dargelegt, „mußte bei diesem erstmaligen Zensus auf Gemeinschaftsebene auf eine nach allen Richtungen hin optimale Koordinierung verzichtet werden. Vor allem mußte den Mitgliedstaaten die Wahl der bei der Sammlung der statistischen Elemente anzuwendenden Methoden und Informationsmittel freigestellt werden“⁽¹⁾.

Die Freiheit in der Wahl der Methoden veranlaßte die Mitgliedstaaten, soweit wie möglich an die bereits laufenden oder vorgesehenen Statistiken anzuknüpfen. Ein solches Anknüpfen an bestehende und den Befragten bereits gewohnte Erhebungen erschwert zwar die Zusammenstellung international vergleichbarer Angaben, sie verbessert aber die Qualität der Antworten, denn je ungewohnter die Fragestellung für die Befragten ist, desto größer ist die Gefahr einer falschen Beantwortung.

Die Zahl und Art der Erhebungen, aus denen die von der EWG erbetenen Ergebnisse zusammengefügt werden müssen, ist in den einzelnen Mitgliedstaaten sehr unterschiedlich.

Grob gesehen, lassen sich die Mitgliedstaaten in drei Gruppen einteilen, wenn man den Aufbau des Industriezensus in der EWG charakterisieren will:

a) *die Niederlande, Belgien und Italien* benutzen auf der einen Seite die Arbeitsstättenzählungen, die alle produzierenden Einheiten erfassen und für diese einige Grunddaten erhoben haben, und auf der anderen Seite die „Jahresstatistiken“ in der Industrie, in denen — meist nur für große Unternehmen (ab 25 oder 50 Beschäftigten) — die Angaben über Umsätze, Investitionen, Materialverbrauch usw. ermittelt werden. Stichprobenerhebungen bei den kleinen Einheiten ergänzen die Jahresstatistiken, so daß schließlich mit Hilfe der Arbeitsstättenzählungsergebnisse auch die Strömungsdaten auf das gesamte produzierende Gewerbe hochgerechnet werden können;

b) *in Deutschland (BR)* wird die Arbeitsstättenzählung von 1961 nicht zugrundegelegt, da in der Industrie jährlich eine Totalerhebung aller Industriebetriebe erfolgt und im Handwerk über das Jahr 1962 eine vollständige Handwerkszählung durchgeführt wird.

Aus diesen beiden Zählungen ist die Gesamtzahl der Unternehmen des produzierenden Gewerbes bekannt sowie deren wichtigste Grunddaten. Auf dieser Grundlage baut der eigentliche Zensus auf, der die Strömungsdaten in geeigneter Form (d.h. als Totalerhebung bei den Unternehmen oder Betrieben mit 10 oder mehr Beschäftigten und als Stichprobe bei den kleineren Einheiten) ermittelt.

c) *Frankreich und Luxemburg* schließlich schöpfen alle Angaben im wesentlichen aus einer einzigen Quelle, nämlich den „Recensement industriel“ bzw. der „Enquête sur la production luxembourgeoise en 1962“, deren umfangreiche Programme es erlauben, die im EWG-Programm erbetenen Angaben zusammenzustellen.

Im einzelnen ist der Aufbau des Industriezensus in den Mitgliedstaaten der folgende:

NIEDERLANDE:

A. *Arbeitsstättenzählung* am 15. Oktober 1963 (ein einziger Fragebogen für alle örtlichen Einheiten); gefragt wird nach: Rechtsform der Unternehmen, Mehrbetriebsunternehmen oder nicht, Tätigkeit, Beschäftigte, Umsatz des Unternehmens.

B. *Industriezensus*

1. Bei den Unternehmen mit 10 und mehr Beschäftigten:

- a) jährliche Investitionserhebung;
- b) jährliche „Produktionsstatistiken“ in 40 Zweigen;
- c) neue Produktionsstatistiken in den übrigen Bereichen;
- d) zusätzliche Erhebung für die in (a) bis (c) nicht ermittelten Angaben; es sind dies vor allem:

⁽¹⁾ F. GROTIUS, a.a.O., S. 399.

da) bei den mittleren Unternehmen (10—49 Beschäftigte): Rechtsform; ausgeübte Tätigkeiten, Löhne und Gehälter, Materialzugang, -bestände, -verbrauch (Verbrauch auch in Mengen); dann Zahl der Betriebe, deren Tätigkeit, Beschäftigte und Gesamtproduktion;

db) bei den großen Unternehmen (50 oder mehr Beschäftigte): Rechtsform, Zahl der Betriebe, deren Tätigkeit, Beschäftigtenzahl und Gesamtproduktion.

2. Bei den Unternehmen mit weniger als 10 Beschäftigten: eine Auswahl von rund 20 000 Unternehmen, deren Zahl und Tätigkeit aus der Unfallversicherungsstatistik annähernd bekannt sind, wird in einer Stichprobe befragt. Erfragt werden: Rechtsform, Beschäftigte, Investitionen, Materialeingänge, Energieverbrauch sowie Zahl, Tätigkeit und Beschäftigte der Betriebe.

Die Auswahl der Stichprobe erfolgt nach der Unfallversicherungskartei, die Hochrechnung jedoch entsprechend der Arbeitsstättenzählung vom 15. Oktober 1963.

BELGIEN:

A. *Arbeitsstättenzählung am 31. Dezember 1961* (ein einziger Fragebogen für jede Arbeitsstätte; die Arbeitsstätten ohne Arbeitnehmer erhalten einen vereinfachten Fragebogen, da eine Reihe von Fragen entfallen); erfragt wird: Rechtsform des Unternehmens, Mehrbetriebsunternehmen oder nicht, ausgeübte Tätigkeiten, Beschäftigte nach ihrer Stellung im Betrieb, Umsätze, Investitionen, Löhne und Gehälter, wöchentliche Arbeitszeit, installierte Motoren, Kraftwagenpark. Die Angaben über die Löhne und Gehälter und die Arbeitszeit sind von den Arbeitsstätten mit Arbeitnehmern nach fachlichen Betriebsteilen aufzugliedern.

B. *Jährliche Industriestatistiken*: Die jährlichen Industriestatistiken, die regelmäßig in fast allen Bereichen des produzierenden Gewerbes durchgeführt werden und die — je nach Industriezweig — alle Betriebe mit 5, 10 oder ausnahmsweise 50 Arbeitern erfassen, werden in zwei Richtungen ergänzt:

a) zu den üblichen Fragebogen tritt ein zusätzliches Formular für die im EWG-Programm erbetenen Fragen hinzu, die in den üblichen Fragebogen nicht enthalten sind;

b) in die Industriestatistiken werden 1963 auch die sonst nicht erfaßten Industriezweige einbezogen.

Die jährlichen Industriestatistiken basieren auf den fachlichen Betriebsteilen. Diese müssen zu Betrieben und anschließend zu Unternehmen zusammengesetzt werden.

C. *Stichprobenerhebung bei kleinen Betrieben*: Bei den Betrieben mit weniger als 5 bzw. 10 oder 50 Arbeitern erfolgte eine Stichprobenerhebung. Die Hochrechnung erfolgt für die Betriebe mit Arbeitnehmern an Hand der Kartei des „Nationalen Amtes für Soziale Sicherheit“, für die übrigen Betriebe (d.h. jene ohne Arbeitnehmer) nach den Ergebnissen der Arbeitsstättenzählung.

ITALIEN:

A. *Arbeitsstättenzählung am 16. Oktober 1961*: Je ein Fragebogen für die Arbeitsstätten und für die Unternehmen: Der Unternehmenfragebogen fragt nach der Rechtsform und der Zahl, Lage, Tätigkeit und Belegschaft der Arbeitsstätten; im Fragebogen für die Arbeitsstätten sind die Rechtsform, die Zahl der Beschäftigten nach der Stellung im Betrieb, die geleisteten und die bezahlten Arbeiterstunden, die gezahlten Löhne und Gehälter, die installierten Motoren und der Kraftfahrzeugbestand anzugeben.

B. *Erweiterte „Jahreserhebung über die Wertschöpfung“*. Diese Erhebung, die im wesentlichen alle im EWG-Programm erbetenen Tatbestände für große Unternehmen und (soweit diese für genügend wichtig erachtet werden) deren Betriebe ⁽¹⁾ ermittelt, wird durch Stichprobenerhebung bei den kleinen und mittleren Unternehmen ergänzt, um zu feiner nach Branchen aufteilbaren Ergebnissen zu gelangen ⁽²⁾. Die Stichprobenauswahl und die Hochrechnung erfolgen entsprechend den Ergebnissen der Arbeitsstättenzählung von 1961.

C. *„Jährliche Produktionsstatistiken“*. Aus dieser Erhebung werden die erwünschten Angaben über produzierte und verbrauchte Mengen entnommen werden.

⁽¹⁾ Dabei werden allerdings mehrere Betriebe mit gleicher Haupttätigkeit als eine Einheit angesehen.

⁽²⁾ Die Ergebnisse der laufenden „Jahreserhebung über die Wertschöpfung werden nur für den Bergbau, das Verarbeitende Gewerbe insgesamt, das Baugewerbe und die Energiewirtschaft veröffentlicht.

DEUTSCHLAND (BR):

A. *Industriezensus* (einschl. Bauindustrie) mit getrennten Fragebogen für Einbetriebsunternehmen, Mehrbetriebsunternehmen und deren Betriebe. Der Industriezensus wird durchgeführt:

1. bei den Betrieben mit 10 und mehr Beschäftigten: vollständige Erhebung über alle im EWG-Programm erbetenen Angaben außer dem Grundstoffverbrauch;
2. bei den Betrieben mit weniger als 10 Beschäftigten:
 - a) vollständige Befragung aller Betriebe über Beschäftigte und Umsätze;
 - b) Stichprobenerhebung bei rund 1/10 der Betriebe über alle im EWG-Programm erbetenen Angaben.

B. *Handwerkszählung und -zensus* (einschl. Bauhandwerk)

1. Handwerkszählung: Totalerhebung sämtlicher Handwerksbetriebe über Beschäftigte und Umsätze;
2. Ergänzungserhebung: vollständige Erfassung der Betriebe mit 10 und mehr Beschäftigten, geschichtete Stichprobe bei den kleinen Unternehmen (insgesamt erfaßt werden 150 000 Betriebe) über die im EWG-Programm vorgesehenen Fragen.

C. *Zensus in der Energieversorgung*: Die Erhebung erfaßt alle Unternehmen; diese müssen ihre Angaben nach fachlichen Bereichen aufspalten.

D. *Vierteljährliche Produktionsstatistik* für die Ermittlung der mengenmäßigen Produktionsangaben.

FRANKREICH:

Einzige Quelle: „*Recensement industriel de 1963*“:

1. Totalerhebung der Unternehmen mit mehr als 20 Arbeitnehmern über sämtliche Fragen des EWG-Programms;
2. Totalerhebung der Unternehmen mit 6—20 Arbeitnehmern, jedoch fehlt die Frage nach den geleisteten Arbeiterstunden; außerdem werden viele Tatbestände nur global, ohne die gewünschten Detaillierungen erfaßt. Die fehlenden Daten werden geschätzt mit Hilfe der Angaben, die von den Unternehmen mit 20—49 Arbeitnehmern gemacht worden sind.

3. Stichprobenerhebung bei den Unternehmen von 0 bis 5 Arbeitnehmern; erfaßt werden: Rechtsform, Beschäftigte, Lohn- und Gehaltssumme, Investitionen, Umsätze und Materialeinkäufe sowie der Bestand an Kraftfahrzeugen.

Die Ergebnisse dieser Stichprobenerhebung werden an Hand der Beschäftigtenzahlen in der „Betriebskartei“ (*fichier des établissements*) hochgerechnet.

LUXEMBURG:

Da die letzte Arbeitsstättenzählung in Luxemburg bereits am 31. Dezember 1958 erfolgte, können ihre Ergebnisse für den Industriezensus nicht herangezogen werden; die jährliche Industriestatistik wird daher für das Jahr 1963 auf alle Betriebe des produzierenden Gewerbes ausgedehnt.

2. Die Zusammenfügung der Ergebnisse und ihre Einordnung in den Rahmen der NICE ⁽¹⁾

Sobald die Mitgliedstaaten über die Ergebnisse aus den einzelnen Erhebungen verfügen, besteht ihre nächste Aufgabe darin, die Angaben für einzelne Teilbereiche zusammenzufügen und in die NICE einzugliedern. Die Zusammenfügung der einzelnen Teilbereiche ist dann besonders schwierig, wenn unterschiedliche Systematiken der Wirtschaftszweige verwendet werden oder wenn Stichprobenergebnisse mit Hilfe früherer Totalerhebungen hochgerechnet werden sollen, die selbst erst wieder auf den neuesten Stand gebracht oder neuen Abgrenzungen oder Definitionen angepaßt werden müssen.

Die Eingliederung in den Rahmen der NICE erfordert in vielen Fällen eine nochmalige Zuordnung der einzelnen Betriebe oder Unternehmen zu den Wirtschaftszweigen, wenn nämlich die Definitionen der NICE von jenen der nationalen Systematiken so stark abweichen, daß man die NICE-Gruppen nicht durch einfache Umgruppierung von Industriezweigen gemäß der nationalen Systematik zusammensetzen kann.

Ein Blick in den zweiten Teil der „Systematik der Zweige des Produzierenden Gewerbes in den Europäischen Gemeinschaften“ (NICE), in der eine Gegenüberstellung der nationalen Systematiken und der

(¹) Systematik der Zweige des Produzierenden Gewerbes in den Europäischen Gemeinschaften.

(dreistelligen) NICE-Gruppen vorgenommen wurde, zeigt deutlich, in wie vielen Fällen letzteres der Fall ist.

Diese Detailarbeit, die zur korrekten Erstellung der EWG-Zensus-Ergebnisse unerlässlich ist, nimmt naturgemäß viel Zeit in Anspruch und verzögert dadurch die Weitergabe des Grundmaterials an die (elektronischen) Großrechenanlagen.

3. Maschinelle Aufbereitung der Angaben in den (elektronischen) Großrechenanlagen

Nachdem die Angaben der einzelnen Fragebogen geprüft und kodifiziert sind, werden sie durch Großrechenanlagen der verschiedensten Art maschinell aufbereitet und in Tabellenform wiedergegeben.

Es sei am Rande vermerkt, daß nach der bisherigen Erfahrung die großen Vorteile, die der Einsatz moderner Datenverarbeitungsanlagen durch die Erleichterung der Kopier-, Schreib- und Rechenarbeit für die

statistische Arbeit mit sich bringt, häufig nicht zugleich mit einer Zeitersparnis verbunden sind. Die auf der einen Seite gewonnene Zeit wird durch andere Arbeiten kompensiert.

Es bleibt den Mitgliedstaaten freigestellt, in welcher Anordnung und Reihenfolge sie die Ergebnisse des Industriezensus für ihre eigenen Zwecke zusammenstellen.

Für die Übermittlung der Ergebnisse des Zensus 1963 an das Statistische Amt der Europäischen Gemeinschaften wurde jedoch im August 1962 ein Tabellenprogramm ausgearbeitet, das eine gleichförmige Anordnung der Ergebnisse in Tabellen und Tabellengruppen sicherstellt.

Auf diese Weise wird dem SAEG die Aufgabe erleichtert, nun seinerseits die Daten für die Mitgliedstaaten zu Angaben für die Gemeinschaft zusammenzufassen und die Ergebnisse des Zensus für die Gemeinschaft und ihre Mitgliedstaaten in vergleichbarer Form zu veröffentlichen.

III. Veröffentlichungsplan für die endgültigen Ergebnisse des Industriezensus (1)

Der im folgenden beschriebene Veröffentlichungsplan gibt die Form wieder, in der das Statistische Amt der Europäischen Gemeinschaften die endgültigen und vollständigen Ergebnisse des Zensus publizieren wird; es ist außerdem vorgesehen, vorläufige oder unvollständige Ergebnisse — auch wenn diese sich nicht auf alle Mitgliedstaaten oder alle Zweige des produzierenden Gewerbes erstrecken — möglichst bald nach Vorliegen in zwangloser Reihenfolge zu veröffentlichen.

Der Plan der Veröffentlichung muß der Vielfalt der darzustellenden Angaben Rechnung tragen und versuchen, sie systematisch zu gliedern; dabei ergibt sich diese Gliederung teilweise aus dem Aufbau der Erhebung.

Für den Veröffentlichungsplan sind die folgenden Merkmale des Zensus zu berücksichtigen:

a) Fast alle Tatbestände werden einerseits von Unternehmen und andererseits von Betrieben erhoben

— jedoch in unterschiedlicher Detaillierung oder Zusammenfassung.

Sowohl die Daten für Unternehmen als auch für Betriebe bestehen wiederum aus je zwei Gruppen, da für die Unternehmen und Betriebe mit 10 oder mehr Beschäftigten aus dem Industriezensus mehr Angaben als für die Kleinbetriebe und -unternehmen zur Verfügung stehen.

b) Jeder — entweder auf Unternehmensbasis oder auf Betriebsbasis — ermittelte Tatbestand (z.B. Zahl der Beschäftigten in der EWG) ist nach mehreren Merkmalen untergliedert, nämlich

aa) nach Mitgliedstaaten;

bb) nach Industriezweigen;

cc) nach Unterkategorien (z.B. Arbeiter — Angestellte — Inhaber).

Eine Reihe von Tatbeständen ist außerdem gegliedert:

dd) nach der Größe des Unternehmens oder Betriebes, in dem die Beschäftigten tätig sind.

(1) Dieser Veröffentlichungsplan wurde von der Direktion „Industrie- und Handwerksstatistik“ entwickelt; er enthält noch nicht die Modifikationen, die sich aufgrund der vorgeschriebenen Geheimhaltung individueller Angaben in vielen Fällen als nötig erweisen werden.

Diese beiden Grundzüge des Zensus legen es nahe, dem Beispiel aller Mitgliedstaaten folgend eine Zweiteilung der Ergebnisse vorzunehmen in:

- a) Daten für Unternehmen
- b) Daten für Betriebe

für die jeweils eine gesonderte Tabellengruppe vorzusehen ist, die wiederum zu unterteilen sind in Daten für alle Unternehmen bzw. Betriebe und in Daten für große und mittlere Unternehmen bzw. Betriebe. Viele Tatbestände (z.B. Beschäftigte im Maschinenbau) wird man in beiden Tabellengruppen finden; das eine Mal handelt es sich jedoch um die Beschäftigten in den *Unternehmen* des Maschinenbaus (d.h. in den Unternehmen, deren wirtschaftlicher Schwerpunkt beim Maschinenbau liegt), das andere Mal dagegen um die Beschäftigten in den *Betrieben* (örtliche Einheiten), deren Schwerpunkt im Maschinenbau liegt. Diese beiden Angaben weichen voneinander ab, da die Unternehmensdaten für einen bestimmten Wirtschaftszweig einerseits Betriebe umfassen, die anderen Wirtschaftszweigen angehören (wenn diese Betriebe nach ihrem eigenen Schwerpunkt zugeordnet werden); auf der anderen Seite „fehlen“ die Betriebe mit einem Schwerpunkt in diesem bestimmten Wirtschaftszweig, die zu Unternehmen anderer Wirtschaftszweige gehören. Je nachdem, welche der beiden Abweichungen stärker ist, können für den betreffenden Wirtschaftszweig die Unternehmens- oder die Betriebsdaten höher liegen.

Es hängt von der Fragestellung ab, welche der beiden Datengruppen für eine Untersuchung besser geeignet sind.

Die Ergebnisse werden also in vier Haupttabellengruppen dargestellt:

- a) Daten für alle Unternehmen;
- b) Daten für große und mittlere Unternehmen;
- c) Daten für alle Betriebe;
- d) Daten für große und mittlere Betriebe.

Um nunmehr den unter *aa)* bis *dd)* genannten Gliederungen Rechnung zu tragen, wird innerhalb der vier Haupttabellengruppen eine Zweiteilung vorgenommen in die sogenannten „Grundtabellen“ und die Tabellen, in denen die Angaben nach Größenklassen gegliedert sind.

In den Grundtabellen sind die Tatbestände noch nach den drei ersten Merkmalen *aa*, *bb* und *cc* der obigen Aufzählung gegliedert.

Für diese Grundtabellen war eine Tabellenform zu wählen, in der sich diese drei Gliederungen übersichtlich und anschaulich darstellen ließen. Am meisten schien das Tabellenschema im Anhang II dieser Bedingung zu entsprechen, das man schließlich auswählte.

Für die Produktion wichtiger Erzeugnisse und den Verbrauch von rund 50 Grundstoffen wurden gesonderte Tabellen vorgesehen, ebenso für einige Sonder tabellen.

Ferner stellt sich noch eine mehr praktisch-technische Frage: Soll man alle Angaben (die sich über mehr als 1 500 Seiten erstrecken) in einem Band vereinigen oder in sinnvoller Weise auf mehrere Bände aufteilen?

Es wird sich empfehlen, einen allgemeinen Band vorzusehen, in dem eine Übersicht über das gesamte produzierende Gewerbe mit einer Untergliederung nach großen Industriegruppen (zweistelligen Klassen in der NICE, z.B. Maschinenbau, Nahrungsmittelgewerbe, Baugewerbe) sowie die Beschreibung der Methoden und eine Kommentierung der Ergebnisse gegeben werden.

Die detaillierte Darstellung nach Industriegruppen, -untergruppen und -unterpositionen wird auf zehn Bände aufgeteilt, die jeweils einem großen Wirtschaftsbereich gewidmet sind, nämlich:

- I : Bergbau, Gewinnung und Verarbeitung von Steinen und Erden (NICE I und 33);
- II : Nahrungs- und Genußmittelgewerbe (NICE 20—22);
- III : Textilindustrie (NICE 23);
- IV : Bekleidungs- und Lederindustrie (NICE 24 und 29);
- V : Holz- und Papiererzeugung und -verarbeitung (NICE 25—28);
- VI : Chemische und verwandte Industrien (NICE 30—32);
- VII : Metallerzeugung und -verarbeitung (NICE 34—38);
- VIII : Sonstige Zweige des verarbeitenden Gewerbes (NICE 39);
- IX : Baugewerbe (NICE 4);
- X : Energie- und Wasserwirtschaft (NICE 5).

Schließlich ist vorgesehen, die folgenden Angaben in gesonderten Bänden zu veröffentlichen:

- XI : Erzeugung und Verbrauch wichtiger Erzeugnisse, gegliedert nach Hersteller- und Verbraucherbereichen;
- XII : Energieerzeugung und -verbrauch in wichtigen Industriezweigen;
- XIII : Sondertabellen über die Streuung der Tätigkeiten und über fachlich reine Betriebe.

Die Numerierung der Bände entspricht nicht der zeitlichen Reihenfolge ihrer Veröffentlichung.

Auf die Probleme, die sich bei der Ausfüllung der vorgesehenen Tabellen in systematischer Hinsicht vor allem aus der notwendigen Geheimhaltung individueller Angaben ergeben, soll hier nicht näher eingegangen werden.

Innerhalb der einzelnen Tabellengruppen folgt die Gliederung dem Aufbau der Übersicht in Anhang I, mit der Ausnahme, daß die Lohn- und Gehaltssumme möglichst zusammen mit dem Nettoproduktionswert ausgewiesen wird, dessen größten Bestandteil sie bildet.

Die wichtigsten und am häufigsten benutzten Quotienten oder Quoten sollen sogleich bei der Aufstellung der Tabellen maschinell errechnet werden. Dafür sind vorgesehen:

1. bei den Unternehmensdaten:

- a) die Investitionen
der Umsatz
der Nettoproduktionswert } je Beschäftigten
- b) die Investitionen
die Bezüge
die Lohn- und Gehaltssumme } in % des Umsatzes
- c) die Lohn- und Gehaltssumme
die Investitionen } in % des Nettoproduktionswertes
- d) der Nettoproduktionswert } in % des Bruttoproduktionswertes

2. bei den Betriebsdaten:

- a) die Investitionen
der Umsatz
der Nettoproduktionswert } je Beschäftigten
- b) die Investitionen
der Energieverbrauch
der Nettoproduktionswert } je Arbeiter
- c) die Investitionen
die Lohn- und Gehaltssumme } in % des Nettoproduktionswertes
- d) der Nettoproduktionswert } in % des Bruttoproduktionswertes

Übersicht über die zu ermittelnden Tatbestände

Industriezensus 1963

Tatbestand	Bergbau und verarbeitendes Gewerbe				Baugewerbe		Energie- und Wasserwirtschaft
	Unternehmen		Betriebe		Unternehmen		Unternehmen und fachliche Unternehmens-teile
	alle	große und mittlere	alle	große und mittlere	alle	große und mittlere	
I. Merkmale der meldenden Einheit							
1. Art der Haupttätigkeit (Industriegruppe der NICE)	x	x	x	x	x	x	x
2. Art der neben der Haupttätigkeit ausgeübten Tätigkeiten	x	x	x	x	x	x	x
3. Rechtsform							
II. Zahl der Beschäftigten am Jahresende 1962							
1. Mitarbeitende Inhaber	x	x	x	x	x	x	—
2. Nichtbezahlte mithelfende Familienangehörige	x	x	x	x	x	x	—
3. Angestellte							
a) Männer				x		x	x (a)
b) Frauen				x		x	x
c) insgesamt	x	x	x	x	x	x	x
d) darunter: kaufmännische und technische Lehrlinge	x	x	x	x	x	x	x
4. Arbeiter							
a) Männer				x		x	x
b) Frauen				x		x	x
c) insgesamt	x	x	x	x	x	x	x
d) darunter: gewerbliche Lehrlinge	x	x	x	x	x	x	x
5. Beschäftigte, insgesamt (Summe 1—4)	x	x	x	x	x	x	x
6. Außerdem: Heimarbeiter auf der Lohnliste	x	x	x	x	—	—	—
III. Zahl der Arbeitnehmer im Jahresverlauf und geleistete Arbeiterstunden							
A. Zahl der Arbeitnehmer am Jahresende 1961 und am Ende jeden Vierteljahres 1962							
1. Angestellte (einschl. kaufmännische und technische Lehrlinge)				x		x	
a) Männer				x		x	
b) Frauen				x		x	
2. Arbeiter (einschl. gewerbliche Lehrlinge)				x		x	
a) Männer				x		x	
b) Frauen				x		x	
B. Geleistete Arbeiterstunden				x		x	x (b)
IV. Bruttolohn- und -gehaltssumme (vor Abzug der direkten Steuern und der Arbeitnehmerbeiträge zur Sozialversicherung und zu Pensionskassen)							
1. Löhne der Arbeiter (sowie der gewerblichen Lehrlinge)	x	x	x	x	x	x	x
2. Löhne der Heimarbeiter auf der Lohnliste				x		x	—
3. Gehälter der Angestellten (sowie der technischen und kaufmännischen Lehrlinge)				x		x	x (c)
V. Umsatz, Bruttoproduktionswert, Materialverbrauch, Nettoproduktionswert							
A. Umsatz							
1. Wert der gelieferten Erzeugnisse		x		x		x	x
a) Lieferungen an Betriebe des gleichen Unternehmens		—		x		—	—
b) Lieferungen an andere Unternehmen und Sonstige		—		x		—	—
2. Erhaltene Entgelte für geleistete gewerbliche Arbeiten oder Dienste (Lohnarbeiten, Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten)	x	x	x	x	x	x	x
a) geleistet für andere Betriebe des gleichen Unternehmens		—		x		—	—
b) geleistet für andere Unternehmen und Sonstige		—		x		—	—
3. Wert der Verkäufe an Handelsware	x	x	x	x	x	x	x

- (a) Einschl. Beamte.
- (b) Nicht in der Wasserversorgung.
- (c) Einschl. Bezüge der Beamten.

Zeichenerklärung: x = ermittelte Tatbestände.
— = gegenstandslos.

Tatbestand	Bergbau und verarbeitendes Gewerbe				Baugewerbe		Energie- und Wasserwirtschaft
	Unternehmen		Betriebe		Unternehmen		Unternehmen und fachliche Unternehmens-teile
	alle	große und mittlere	alle	große und mittlere	alle	große und mittlere	
B. Bestandsänderung an Halbfertig- und Fertigerzeugnissen							
1. Bestand am Anfang 1962							
a) Halbfertigerzeugnisse		x		x			x
b) Fertigerzeugnisse		x		x			x
2. Bestand Ende 1962							
a) Halbfertigerzeugnisse		x		x			x
b) Fertigerzeugnisse		x		x			x
C. Bruttoproduktionswert	x	x	x	x	x	x	x
D. Wert der Materialeingänge							
1. Wert der bezogenen Materialien	x	x	x	x	x	x	x
2. Wert der vergebenen Lohnarbeiten (einschl. der an Zwischenmeister für Heimarbeiter gezahlten Beträge)	x	x	x	x	x	x	x
3. Einstandswert der eingekauften Handelsware	x	x	x	x	x	x	x
E. Bestandsänderung an Materialien und Handelswaren							
1. Bestand am Anfang 1962							
a) Energie				x			
b) Roh-, Betriebs- und Hilfsstoffe, Einbauteile				x			
c) Materialien, insgesamt		x		x			x
d) Handelsware		x		x			x
2. Bestand am Ende 1962							
a) Energie				x			
b) Roh-, Betriebs- und Hilfsstoffe, Einbauteile				x			
c) Materialien, insgesamt		x		x			x
d) Handelsware		x		x			x
F. Wert des Materialverbrauchs							
1. Wert des Verbrauchs an bezogenen Materialien							
a) Energie				x			
b) Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, Einbauteile				x			
c) insgesamt		x		x			x
ca) von anderen Betrieben des gleichen Unternehmens bezogen		—		x			—
cb) von anderen Unternehmen bezogen		—		x			—
2. Wert der vergebenen Lohnarbeiten (einschl. der an Zwischenmeister für Heimarbeiten gezahlten Beträge)		—		x			x
a) an andere Betriebe des gleichen Unternehmens vergeben		—		x			—
b) an andere Unternehmen vergeben		—		x			—
3. Einstandswert der verkauften Handelsware		x		x			x
G. Nettoproduktionswert	x	x	x	x	x	x	x
VI. Investitionen							
A. Wert der neuen Sachanlagen (bezogen oder selbsterstellt)							
1. Maschinen und Einrichtungen	x	x	x	x	x	x	x
a) bezogen		x		x		x	x
b) selbsterstellt		x		x		x	x
2. Transportmittel für den Verkehr von und nach außerhalb	x	x	x	x	x	x	x
3. Gebäude, Erschließung von Grundstücken, andere Bauarbeiten	x	x	x	x	x	x	x
a) bezogen		x		x		x	x
b) selbsterstellt		x		x		x	x
B. Wert der Ankäufe von gebrauchten Sachanlagen (neuwertig oder nicht) und von Grundstücken							
1. Maschinen und Einrichtungen	x	x	x	x	x	x	} in VI A enthalten x
2. Transportmittel für den Verkehr von und nach außerhalb	x	x	x	x	x	x	
3. Gebäude, andere Bauten, bebaute Grundstücke	x	x	x	x	x	x	
4. Unbebaute Grundstücke	x	x	x	x	x	x	

ANHANG I (Fortsetzung)

Tatbestand	Bergbau und verarbeitendes Gewerbe				Baugewerbe		Energie- und Wasserwirtschaft
	Unternehmen		Betriebe		Unternehmen		Unternehmen und fachliche Unternehmens-teile
	alle	große und mittlere	alle	große und mittlere	alle	große und mittlere	
C. Wert der Verkäufe von Sachanlagen und von Grundstücken							
1. Maschinen und andere Einrichtungen		x		x		x	x
2. Transportmittel für Transporte von und nach außerhalb		x		x		x	x
3. Gebäude, andere Bauten, bebaute Grundstücke		x		x		x	x
4. Unbebaute Grundstücke		x		x		x	x
D. Wert der Bezüge von Sachgütern für soziale Einrichtungen (fakultativ)		x		x		x	x
VII. Mengenmäßige Angaben							
A. Erzeugung und Verbrauch an Brennstoffen und Elektrizität (in Mengen) (a)							(b)
1. Erzeugung und Verbrauch von Elektrizität (in kWh)							
a) bezogene Menge				x			x
b) selbsterzeugte Menge				x			x
c) abgegebene Menge				x			x
d) verbrauchte Menge (a + b + c)	x	x	x	x	x	x	x
2. Verbrauch von Brennstoffen (wenn möglich, unterteilt in Verbrauch für die Erzeugung von Gas und Elektrizität für andere Zwecke), und zwar von:							
a) Steinkohle- und Steinkohlenbriketts				x			x
b) Braunkohle				x			x
c) Braunkohlenbriketts und -schwelkoks				x			x
d) Steinkohlenkoks und -schwelkoks				x			x
e) Benzin				x		x	x
f) Dieselöl				x		x	x
g) Heizöl				x		x	x
h) Flüssiggas				x			x
i) Steinkohlengas aus Kokereien und Gaswerken				x			x
j) Erdgas und Methangas				x			x
k) Hochofengas				x			x
3. Mengenmäßiger Verbrauch von selbsterzeugtem Generatorgas (fakultativ)				x			x
B. Mengenmäßiger Verbrauch von 50 wichtigen Grundstoffen							
1. Verbrauch, insgesamt				x			x
2. darunter: Verbrauch selbsterzeugter Grundstoffe				x			x
C. Produktion von 350 wichtigen Erzeugnissen				x			x

(a) Für die wichtigsten energieerzeugenden Sektoren des produzierenden Gewerbes sind zusätzlich Sonderfragebogen vorgesehen, in denen der Verbrauch an einzelnen Energieträgern nach der Art der Verwendung zu gliedern ist in: Verbrauch zur Erzeugung anderer Energieträger, Eigenverbrauch und Verluste, andere Verwendung.

(b) In der Wasserversorgung wird nur der Verbrauch an Elektrizität, Heizöl und Dieselöl erfragt.

Tabellenschema für die Grundtabellen

Land	Beschäftigte					Insgesamt
	Inhaber	Mithelfende Familienangehörige	Arbeitnehmer			
			Arbeiter	Angestellte	Insgesamt	
11 Kohlenbergbau						
Deutschland						
Frankreich						
Italien						
Niederlande						
Belgien						
Luxemburg						
EWG						
12 Erzbergbau						
Deutschland						
Frankreich						
Italien						
Niederlande						
Belgien						
Luxemburg						
EWG						
13 Erdöl- und Erdgasgewinnung						
Deutschland						
Frankreich						
Italien						
Niederlande						
Belgien						
Luxemburg						
EWG						
14 Gewinnung von Baumaterial und feuerfesten und keramischen Erden						
Deutschland						
Frankreich						
Italien						
Niederlande						
Belgien						
Luxemburg						
EWG						

Zusammenfassung

Industriezensus 1963:

Fragenprogramm; Durchführung in den Mitgliedstaaten; Veröffentlichung der Ergebnisse

Der Artikel schließt sich an eine Beschreibung der Aufgaben und Methoden des Industriezensus 1963 von F. GROTIUS in den Statistischen Informationen Nr. 4/1962 an.

In diesem Zensus wurden während des Jahres 1963 zum ersten Male auf Gemeinschaftsebene die wichtigsten Angaben über Struktur und Tätigkeit von Industrie und Handwerk im Jahre 1962 ermittelt.

Der Artikel gibt zunächst einen Überblick über die ermittelten Informationen, die sich in folgende 4 Kategorien zusammenfassen lassen:

- a) Grundzahlen über die Gesamtheit der Unternehmen und Betriebe in Industrie und Handwerk (Zahl der Einheiten, Beschäftigtenzahl, Höhe der gezahlten Löhne und Gehälter usw.), die gewöhnlich in Totalerhebungen erfaßt werden.
- b) Angaben über den Wert von Produktion, Materialeinkauf und -verkauf, Bestandsveränderungen usw., anhand deren der Brutto- und Nettoproduktionswert berechnet werden kann.
- c) Angaben über die getätigten Investitionen.
- d) Mengenangaben über den Energieverbrauch und die hauptsächlichsten Grundstoffe sowie über die Produktion der 350 wichtigsten Industrieerzeugnisse.

Die Zusammenfassung aller dieser Fragen zu einem einzigen Industriezensus machte eine Unterscheidung zwischen kleinen Unternehmen (und Betrieben) einerseits und größeren und mittleren andererseits erforderlich, da ein Fragebogen mit allen aufgezählten Fragen für ein kleines Unternehmen zu umfangreich wäre.

Im zweiten Teil des Artikels werden die in den Mitgliedsländern angewandten Methoden beschrieben. Es blieb nämlich den einzelnen Ländern überlassen, ihre Methode zur Erfassung der Angaben selbst zu wählen, sofern das Ergebnis den Definitionen des EWG-Erhebungsprogramms entspricht.

Die meisten Mitgliedsländer versuchten, dabei soweit wie möglich an bereits vorhandene Statistiken anzuknüpfen. Daher legen die Niederlande, Belgien und Italien bei dem Zensus einmal die Arbeitsstättenzählungen zugrunde und zum anderen die Jahresstatistiken der Produktion, die erweitert wurden, um dem EWG-Programm zu entsprechen.

In Deutschland verwendet der Zensus die allgemeinen Informationen aus der laufenden Industriestatistik und aus der vollständigen Handwerkszählung, die alle 7 Jahre stattfindet; der Zensus wird durch eine Sonderermittlung über den Wert von Verbrauch, Lieferungen und Investitionen ergänzt.

In Luxemburg wird bereits seit langem jährlich die « Enquête sur la production luxembourgeoise » durchgeführt, die eine Beantwortung der Fragen des EWG-Programms ermöglicht.

Lediglich in Frankreich konnte man beim Industriezensus nicht von laufenden Statistiken ausgehen; alle im EWG-Programm verlangten Angaben liefert die bereits vor dessen Ausarbeitung für 1962 vorgesehene französische Industriezählung.

Die Einzelheiten dieser nationalen Erhebungen werden anschliessend beschrieben, ebenso die bei ihrer Zusammenfassung im Rahmen der NICE auftretenden Schwierigkeiten.

Der dritte Teil beschäftigt sich mit dem Veröffentlichungsplan für die endgültigen Ergebnisse des Zensus.

Résumé

Enquête industrielle 1963:

Données recensées; exécution dans les Etats membres; publication des résultats

L'article fait suite à une description des méthodes et des buts de l'enquête industrielle de 1963, donnée par M. GROTIUS dans les « Informations statistiques », 1962 n° 4.

Dans cette enquête, on a recensé au cours de l'année 1963, pour la première fois au niveau communautaire, les données les plus importantes sur la structure et l'activité de l'industrie et de l'artisanat durant l'année 1962.

L'article donne tout d'abord un aperçu des informations recueillies qui peuvent être groupées en 4 catégories:

- a) données de base relatives à l'ensemble des entreprises et établissements de l'industrie et de l'artisanat (nombre d'unités, effectifs, masse salariale, etc.) qui sont recensées habituellement dans des recensements généraux;
- b) données sur la valeur de la production, des achats et de la consommation de matières, des variations des stocks, etc.; ces données permettent le calcul des valeurs brute et nette de la production;
- c) données sur les investissements effectués;
- d) données quantitatives sur la consommation des différentes sources d'énergie et des principales matières de base ainsi que la production des 350 produits industriels les plus importants.

En raison du regroupement de toutes ces questions dans une seule enquête industrielle, il s'est avéré nécessaire de distinguer entre petites entreprises (et établissements) d'un côté, et grandes et moyennes de l'autre, parce qu'un questionnaire contenant toutes les questions énumérées ci-dessus serait trop chargé pour une petite entreprise.

Dans la deuxième partie de l'article, on donne une description des méthodes utilisées dans les pays membres. Ceux-ci étaient en effet libres de choisir eux-mêmes leur méthode de collecte des données, pour autant que le résultat corresponde aux définitions du programme commun pour l'enquête.

La plupart des pays membres ont essayé de relier, dans la mesure du possible, l'enquête aux statistiques déjà existantes. C'est ainsi que les Pays-Bas, la Belgique et l'Italie basent l'enquête, d'une part, sur le recensement général et, de l'autre, sur les statistiques annuelles de la production qui ont été élargies pour pouvoir répondre au programme commun.

En Allemagne, l'enquête utilise les informations générales tirées de la statistique industrielle courante et du recensement exhaustif de l'artisanat exécuté tous les 7 ans; une investigation spéciale sur la valeur des consommations et livraisons ainsi que des investissements complète l'enquête.

Au Luxembourg, on effectue depuis longtemps déjà annuellement « l'enquête sur la production luxembourgeoise » qui permet de répondre aux questions du programme commun.

En France seulement, l'enquête industrielle n'a pu être fondée sur des statistiques courantes; c'est le « recensement industriel » français, qui était déjà prévu pour l'année 1962 avant l'élaboration du programme commun, qui fournira toutes les données exigées dans ce programme.

Les détails de ces enquêtes nationales sont décrits plus bas ainsi que les difficultés qui se posent lors de leur regroupement dans le cadre de la N.I.C.E.

La troisième partie est consacrée au plan de publication des résultats définitifs de l'enquête.

Riassunto

Rilevazione industriale del 1963 : Dati censiti ; esecuzione negli Stati membri ; pubblicazione dei risultati

L'articolo fa seguito ad una descrizione dei metodi e degli obiettivi della rilevazione industriale 1963, redatta dal sig. GROTIUS e pubblicata nelle « Informazioni statistiche » (1962/n° 4).

In tale rilevazione sono stati censiti per la prima volta a livello comunitario i dati più importanti sulla struttura e sull'attività dell'industria e dell'artigianato; l'anno di riferimento è il 1962.

L'articolo presenta dapprima un quadro dei dati raccolti raggruppandoli in 4 categorie :

- a) Dati di base riguardanti l'insieme delle imprese e degli stabilimenti dell'industria e dell'artigianato (numero di unità, effettivi, massa salariale, ecc.) abitualmente censiti nelle rilevazioni generali;
- b) Dati sul valore della produzione, degli acquisti e del consumo di materie, delle variazioni degli stock, ecc.; tali dati permettono il calcolo dei valori lordi netti della produzione;
- c) Dati sugli investimenti effettuati;

- d) Dati quantitativi sul consumo delle diverse fonti di energia e delle principali materie di base nonché sulla produzione dei 350 prodotti industriali più importanti.

Dato il raggruppamento di tutti questi dati in una sola indagine industriale è stato necessario distinguere le piccole imprese (e stabilimenti) dalle grandi e dalle medie, poichè un questionario contenente tutte le domande relative ai dati suelencati sarebbe stato troppo vasto per una piccola impresa.

Nella seconda parte dell'articolo sono descritti i metodi applicati dai diversi paesi membri. Ciascun paese era infatti libero di scegliere un proprio metodo per la raccolta dei dati a condizione che il risultato fosse conforme alle definizioni del programma comune stabilito per la rilevazione.

La maggior parte dei paesi membri si è riferita, dov'era possibile, alle statistiche già esistenti. Così i Paesi Bassi, il Belgio e l'Italia basano la rilevazione sul censimento generale e sulle statistiche annuali della produzione che sono state ampliate affinché rispondessero al programma comune.

In Germania sono state utilizzate le informazioni generali della statistica industriale corrente e del censimento generale dell'artigianato effettuato ogni sette anni; una inchiesta speciale sul valore dei consumi e delle consegne e sul valore investimenti completa l'indagine.

Il Lussemburgo effettua già da lungo tempo un'indagine annuale sulla produzione lussemburghese che permette di rispondere alle domande del programma comune.

Soltanto in Francia l'indagine industriale non ha potuto basarsi su statistiche correnti; il censimento industriale francese, che era previsto per il 1962 già prima dell'elaborazione del programma comune, fornirà i dati richiesti.

I particolari di tali indagini nazionali sono esposti in seguito unitamente alla difficoltà che presenta il loro raggruppamento nel quadro della NICE.

La terza parte è dedicata al piano delle pubblicazioni dei risultati definitivi dell'indagine.

Samenvatting

Industrietelling van 1963 : Verzamelde gegevens ; uitvoering in de lid-staten ; publicatie van de resultaten

Dit artikel sluit aan bij een beschrijving van de methodes en de doelstellingen van de industrietelling van 1963, welke door de heer GROTIUS in de « Statistische Mededelingen », n° 4/1962 werd gegeven.

Bij deze telling heeft men gedurende het jaar 1963 voor de eerste maal op Gemeenschapsniveau de voornaamste gegevens op het gebied van de structuur en de activiteit van de industrie en het ambacht over 1962 bijeengebracht.

Het artikel geeft in de eerste plaats een overzicht van de verzamelde gegevens, welke kunnen worden verdeeld in vier categorieën :

- a) basisgegevens met betrekking tot alle ondernemingen en vestigingen van industrie en ambacht (aantal eenheden, personeelssterkte, loonsom, enz.) welke gewoonlijk in de algemene bedrijfstellingen worden verzameld;
- b) gegevens over produktiewaarde, aankoop en verbruik van grondstoffen, voorraadsveranderingen, enz.; met deze gegevens is het mogelijk de bruto- en nettoproduktiewaarde te berekenen;
- c) gegevens over de investeringen;
- d) kwantitatieve gegevens over het verbruik van de verschillende energiebronnen en de voornaamste grondstoffen alsmede over de produktie van de 350 voornaamste industrieproducten.

Aangezien al deze vraagstukken in één enkele industrietelling moesten worden samengevat is het noodzakelijk gebleken een onderscheid te maken tussen kleine ondernemingen (en vestigingen) enerzijds, en grote en middelgrote anderzijds, daar het beantwoorden van een vragenlijst met alle hierboven vermelde vragen van een kleine onderneming te veel geveerd zou zijn.

In het tweede gedeelte van het artikel wordt een beschrijving gegeven van de verschillende methodes welke in de lid-staten worden gebruikt. Aan de lid-staten was namelijk de vrije keus gelaten ten aanzien van de bij het verzamelen van de gegevens toe te passen methodes, op voorwaarde dat de resultaten in overeenstemming zouden zijn met de definities van het gemeenschappelijk programma voor de telling.

De meeste lid-staten hebben getracht voorzover mogelijk de telling te koppelen aan reeds bestaande statistieken. Zo hebben Nederland, België en Italië de telling gebaseerd op de algemene bedrijfstellingen enerzijds en op de jaarlijkse produktiestatistieken welke zijn uitgebreid ten einde in overeenstemming te zijn met het gemeenschappelijk programma anderzijds.

In Duitsland wordt voor de telling gebruik gemaakt van de algemene gegevens uit de lopende industriestatistiek en de uitgebreide ambachtstelling welke om de 7 jaar wordt gehouden; een speciaal onderzoek over de waarde van het verbruik en de leveringen, alsmede over de investeringen zal de enquête aanvullen.

In Luxemburg wordt sedert lange tijd reeds ieder jaar een enquête inzake de Luxemburgse produktie gehouden, welke het mogelijk maakt de vragen van het gemeenschappelijk programma te beantwoorden.

Alleen in Frankrijk kon de industrietelling niet op lopende statistieken worden gebaseerd; hier moet de Franse industrietelling welke reeds voor 1962 was voorzien, voordat het gemeenschappelijk programma was opgesteld, alle in dit programma verlangde gegevens verschaffen.

De bijzonderheden van deze nationale enquêtes worden in de volgende bladzijden gegeven, evenals de moeilijkheden welke zich voordoen bij het hergroeperen hiervan in het kader van de NICE.

Het derde gedeelte is gewijd aan het publikatieprogramma voor de definitieve resultaten van de telling.

Summary

1963 Industrial Survey : Data collected; surveys in the Member States; publication of results

The article follows on one by M. GROTIUS in "Informations Statistiques" No. 4/1962 describing the aims and methods of the industrial survey carried out in 1963.

In this survey the essential data were collected on the structure and activities of industry and crafts during 1962. This was the first time that this had been done at Community level.

The article starts with a general review of the information assembled, which can be classified under four headings :

- a) basic data, recorded regularly in general returns, relating to all industrial and craft enterprises and establishments (number of enterprises and establishments, numbers employed, wage-bill, etc.);
- b) data on the value of output, purchase and consumption of materials, variations in stocks, etc., from which the gross and net values of output can be calculated;
- c) data concerning investment;
- d) quantitative data on consumption of the different types of energy and of the principal raw materials, and on production of the 350 most important industrial products.

As all these data were combined in a single survey, a distinction had to be made between small enterprises (and establishments) and those of large or medium size, because a questionnaire on all the above would be too elaborate for a small firm.

The second part of the article describes the methods employed by the Member States. They were free to decide for themselves how they would assemble the data, provided the result was in accordance with the definitions given in the joint programme for the survey.

Most of the Member States tried to link the survey as far as possible to the statistics already available. Thus the Netherlands, Belgium and Italy proceeded on the basis of general returns and of annual production statistics extended to conform to the joint programme.

In Germany, use was made of the general information obtained from current industrial statistics and from the exhaustive returns relating to crafts and small industry compiled every

seven years; operations were completed by a special inquiry into the value of consumption and deliveries and of investments.

In Luxembourg, the questions in the joint programme could be answered from the survey of production (enquête sur la production luxembourgeoise) which has been carried out there annually for a long time past.

Only in France was it not possible to base the work on current statistics: the information required was furnished by

the French industrial census (recensement général) that had already been planned for 1962 before the joint programme was drawn up.

The article goes on to consider these national surveys in detail, and the difficulties that arise in rearranging the data according to the Nomenclature of Industries in the European Communities.

The third part deals with the plan for publishing the final results of the survey.

Etude de l'exhaustivité du dénombrement dans le recensement démographique français de 1962

G. VANGREVELINGHE

Institut National de la Statistique
et des Études Économiques
Paris

Le progrès général des méthodes de collecte des données statistiques, l'utilisation chaque jour plus étendue qui est faite des résultats des recensements, tant pour eux-mêmes que pour fournir la base de nouvelles études (par exemple, dans les multiples enquêtes par sondage), conduisent à accorder une attention croissante au problème de la qualité des données recueillies dans un recensement général de la population.

Comme cela a été fait dans de nombreux pays au cours de ces dernières années ⁽¹⁾, en France, à l'occasion du recensement démographique de 1962, l'I.N.S.E.E. a mis au point pour la première fois un programme de contrôle systématique de la qualité des opérations du recensement de la population. L'enquête, dont les méthodes et les résultats sont présentés ici, s'inscrit, avec d'autres études actuellement en cours, dans le cadre de ce programme.

Position du problème

L'organisation d'un recensement démographique est une opération administrative d'une ampleur considérable. Elle implique la mise en œuvre de millions de documents et nécessite, à l'échelon local, régional ou national, la collaboration de milliers de personnes. En France, la collecte elle-même a été confiée à quelque 80 000 agents recenseurs qui disposaient d'un mois pour faire l'inventaire des immeubles et des logements, distribuer les feuilles de logement et les bulletins individuels, puis les collecter, une fois remplis, en les contrôlant. Par ailleurs, le soin de remplir les formulaires du recensement était dans la plupart des cas laissé aux intéressés eux-mêmes, sous la responsabilité des agents recenseurs.

Dans ces conditions, il est inévitable, quelque soin que l'on ait pris dans la préparation du recensement et dans le contrôle aux divers stades de l'exécution des opérations, que des erreurs aient été commises. Quelles que soient les précautions prises, certains ménages, certaines personnes difficiles à joindre ont pu être omis, d'autres au contraire, ont pu se trouver dans des positions qui les ont conduits à être comptés deux fois; d'autres encore ont pu être recensés dans des conditions incorrectes. Aussi on conçoit aisément qu'il soit nécessaire de s'assurer de la qualité du travail effectué.

Les objectifs à atteindre

Le contrôle de la qualité de la collecte doit permettre :

- 1) d'estimer l'importance de l'erreur commise dans le dénombrement
 - des immeubles,
 - des logements,
 - des personnes.

Ces erreurs peuvent être, soit des omissions, soit des doubles comptes (élèves internes recensés dans leur famille et dans leur établissement scolaire, ménages ayant deux résidences et recensés à chacune d'elles), soit — mais cela est moins grave — des erreurs commises dans l'application des définitions (établissement de plusieurs bordereaux de maisons ou feuilles de

(1) Voir références bibliographiques en annexe.

logement là où il aurait fallu remplir un seul imprimé...) soit, enfin, des erreurs de classement (qui peuvent correspondre à une application incorrecte des définitions : personne recensée à un endroit où elle n'aurait pas dû l'être, ou à une erreur matérielle : déclasser des documents).

2) d'estimer l'importance des erreurs commises dans l'observation des caractères :

- des immeubles : ex : date de la construction,
- des logements : ex : nombre de pièces,

— des personnes : ex : âge, profession.

3) de rechercher la *nature exacte et la cause des erreurs* commises. Il est ainsi possible, pour les principales catégories particulières de population distinguées dans le recensement, d'étudier l'efficacité de la procédure adoptée pour les recenser, ce qui permettra, dans certaines situations où l'on constate un pourcentage élevé de doubles comptes ou d'omissions, de rechercher s'il existe pour l'avenir des règles de recensement mieux adaptées ⁽¹⁾.

Estimation des erreurs de dénombrement

Dans l'étude présentée ici, on s'intéresse essentiellement au contrôle *quantitatif* de la précision du recensement, c'est-à-dire à une estimation des doubles comptes, omissions,...; cet aspect étant déjà fort complexe, l'étude de la qualité, de la précision des renseignements recueillis sur les immeubles, logements, personnes recensées, qui peut être réalisée selon les méthodes habituelles d'enquête par sondage en prenant comme base de sondage le Fichier du Recensement lui-même, ne sera pas envisagée ici.

La recherche des omissions, doubles comptes (et aussi en certaines occasions, créations abusives), d'immeubles, de logements, de personnes, est très difficile à réaliser; en effet :

a) on peut espérer que les erreurs de dénombrement sont rares, de l'ordre de 1 à 2 %; l'estimation de cette faible proportion risque, si l'on ne prend pas de très grandes précautions, d'être affectée d'une variabilité aléatoire considérable, ceci d'autant plus que les erreurs de dénombrement sont souvent concentrées géographiquement.

b) les erreurs se produisent surtout dans les cas difficiles : immeubles isolés ou difficiles à repérer, logements vacants ou secondaires, personnes en déplacement, ou disposant de plusieurs résidences...

Dans la plupart des enquêtes ces cas difficiles sont un peu négligés comme ne pouvant entraîner que des erreurs du second ordre, ici ils doivent être traités avec un soin tout particulier comme constituant l'objet même de l'étude.

Malheureusement, quelle que soit la vigueur de l'effort entrepris, le danger est grand que les enquêteurs commettent les mêmes erreurs que les agents recenseurs, ce qui est un risque d'une sous-estimation importante des erreurs de dénombrement ⁽²⁾.

En revanche, certaines défaillances dans l'exécution des contrôles quantitatifs risquent d'apparaître à tort, dans certains cas, comme des erreurs au recensement.

⁽¹⁾ Ainsi le contrôle des doubles comptes réalisé lors du recensement de 1954 a permis, en suggérant de nouvelles méthodes de recensement, de réduire considérablement en 1962 le pourcentage de doubles comptes de personnes résidant en institutions (internats, hôpitaux,...).

⁽²⁾ Cf. par exemple pour le recensement de 1950 aux États-Unis, Carter, *Tests of completeness of enumeration*, U.S. Department of the census.

L'insuccès relatif de certaines enquêtes de contrôle est sans doute imputable pour une part au fait que les omissions du recensement se sont traduites souvent par de nouvelles et semblables omissions lors de l'enquête dont le but était précisément de les déceler.

Principes généraux de l'étude des « erreurs de mesure »

Toute observation statistique, qu'il s'agisse d'une enquête par sondage ou d'un recensement, comporte des « erreurs de mesure » souvent très graves. Si les résultats des recensements ne comprennent pas d'élément de variabilité d'échantillonnage, présent dans les enquêtes par sondage (imputable au fait que les observations n'ont été faites que sur un échantillon prélevé dans l'univers étudié), ils comportent généralement des erreurs d'observation plus importantes, dues au fait qu'on ne peut accorder à la collecte le soin qu'il est possible de prendre sur des échantillons d'effectif limité.

Les erreurs d'observation sont, nous le savons, la résultante d'un « biais » ou erreur systématique et d'une erreur aléatoire.

Dans un recensement, les erreurs de collecte proviennent principalement de *cas difficiles* qui, suivant leur nature, pourront conduire soit à des omissions, soit à des doubles comptes. Sans précautions particulières, le risque d'erreur systématique subsisterait intégralement dans toute enquête contrôlée, et ces erreurs resteraient indécélées. Or les erreurs systématiques l'emportent vraisemblablement de beaucoup sur les erreurs accidentelles (qui résultent de ce que les agents recenseurs peuvent adopter des interprétations différentes des règles du recensement en présence de certains cas particuliers, sous l'hypothèse supplémentaire, peu vrai-

semblable, que les variations dans l'interprétation de ces règles sont distribuées de manière aléatoire).

La solution qui aurait consisté à étudier seulement la variabilité des observations, en répétant sur un échantillon les opérations du recensement, a été écartée sans aucune hésitation. Cette méthode est beaucoup moins riche d'enseignements du fait notamment de l'importance primordiale des erreurs systématiques. De surcroît elle est impraticable : l'hypothèse qu'il est possible de réaliser à bref intervalle un nouveau recensement dans des conditions identiques et en même temps indépendantes est peu réaliste. On ne peut non plus considérer les enquêteurs qui seraient utilisés comme un échantillon aléatoire des agents recenseurs.

On a également éliminé la solution qui aurait consisté à donner deux estimations statistiques : celle du recensement lui-même, et une autre supposée plus exacte, obtenue sans rechercher individuellement pour chaque personne enquêtée ce qu'était sa situation à l'égard du recensement. Cette méthode d'estimation (évaluation par différence sans appariement des unités individuelles) est beaucoup moins précise et sûre; elle ne permet pas de surcroît d'analyser sur chaque cas la nature et la cause des erreurs qui auraient pu être commises.

La méthode retenue en définitive a été de rechercher directement, au niveau individuel, les cas d'omissions ou de doubles comptes.

Diverses méthodes de contrôle possibles

Parmi les modalités possibles de ce genre de contrôle, on peut distinguer les *contrôles internes* à un recensement (c'est-à-dire par rapprochement entre eux de documents du recensement) et les *contrôles externes* (confrontation avec les résultats d'enquêtes effectuées sur le terrain, avec les données de fichiers administratifs existants, comme le fichier électoral, le fichier des Contributions Directes, le fichier de la Sécurité Sociale, avec d'autres sources statistiques : Etat-civil,...).

Les doubles comptes peuvent être étudiés directement dans les documents des recensements. Il est toutefois

nécessaire, lorsque l'étude n'est faite que sur un échantillon, de recourir à un mode de prélèvement particulier; en effet, dans le cas d'un échantillon prélevé au hasard dans l'ensemble des documents, la probabilité pour que les deux bulletins correspondent à un double compte se retrouvent *simultanément* dans l'échantillon est égale au carré du taux de sondage, elle est donc très faible. La solution adoptée dans la pratique consiste à retenir, au lieu d'un échantillon aléatoire au sens strict, toute une « section » de la population. Ainsi dans le recensement de 1962 procède-t-on à un contrôle par interclassement de tous les bulletins concernant les personnes nées un 1, 2, 3, ou 4 Mai. L'esti-

mation de la fréquence des doubles comptes et leur analyse par ce procédé ne peuvent toutefois intervenir avant la fin des opérations de chiffrement des documents. (Les résultats de cette étude seront sans doute publiés à la fin de l'année 1965).

Dans ce procédé d'estimation des doubles comptes, deux types d'erreurs peuvent se présenter : soit qu'un bulletin n'ait pas été retenu, à tort, dans la « section » prise comme échantillon soit qu'une erreur dans les caractéristiques d'identification fasse apparaître comme normal un couple de cartes correspondant en fait à un double compte.

Ceci conduit à une sous estimation du nombre de doubles comptes, mais un rapide calcul montre que cette source de biais n'est pas considérable. Ainsi à supposer qu'il y ait deux chances sur cent qu'un bulletin appartenant à la « section » soit oublié, il en résultera une sous estimation de 4 % du nombre des doubles comptes, ce qui reste parfaitement acceptable.

Dans le même ordre d'idées, il paraissait tentant, pour l'étude des *omissions* de retenir toute une section d'un fichier existant par ailleurs (supposé tenu à jour au préalable) : liste électorale par exemple, et de rechercher les bulletins des individus ainsi désignés dans les documents du recensement.

Un inconvénient majeur de cette méthode est que toute erreur dans le fichier, ou dans le rapprochement des documents, apparaîtrait à tort comme une omission, puisqu'il aurait été impossible d'apparier les cartes correspondantes. Un tel contrôle aurait mis autant en évidence la fréquence des erreurs dans le rapprochement des documents que le véritable taux d'omission et les difficultés systématiques que posait la mise en œuvre d'une telle étude rendaient illusoire toute estimation du taux d'omission de cette manière.

Ainsi, dans la recherche des omissions, il pouvait difficilement être envisagé d'utiliser comme base de sondage le recensement lui-même; nous venons de voir que le recours à *d'autres fichiers* comme bases de sondages était également la source de nombreuses difficultés.

Il restait une méthode plus satisfaisante, qui était de reprendre complètement le recensement, non bien sûr dans tout le territoire, mais dans un certain nombre de zones géographiques échantillons : c'est le contrôle par sondage aréolaire (*area sampling*). Les deux opérations de dénombrement étant très rapprochées dans le temps et dans l'espace, il devenait beaucoup plus facile de confronter leurs résultats et de distinguer ce qui était une véritable omission. Comme on le verra plus loin, de multiples précautions ont cependant dues être prises pour éliminer de nombreuses sources d'indétermination.

Constitution de l'échantillon aréolaire

Nous venons de voir que la méthode d'enquête retenue avait été de faire procéder par les enquêteurs à un contrôle complet au niveau d'« aires » échantillons, constituées par des secteurs géographiques compacts, délimités avec précision sur le terrain.

Pour être efficace, cette méthode d'échantillonnage exige que *les aires soient nombreuses, donc petites, et de taille approximativement égale*. La nécessité de disposer d'un grand nombre d'aires échantillons s'impose d'autant plus que la qualité du recensement dépend dans une large mesure des mairies et des agents recenseurs; une aire donnée, dont le recensement aura généralement été réalisé par un seul agent recenseur sous la direction d'une mairie donnée, sera caractérisée de ce fait presque toujours par un travail de qualité homogène.

Toutefois, si l'on veut disposer d'aires nombreuses, la petitesse de chacune d'elles ne doit pas être telle que sa délimitation sur le terrain devienne difficile et que l'enquêteur risque de ne pouvoir l'identifier exactement, au risque de voir apparaître des erreurs d'inclusion dans le champ couvert comme autant d'erreurs au recensement.

Le succès de la méthode exige donc que l'accent soit mis sur la possibilité d'une identification précise des aires sur le terrain, ce qui exige que l'on ne retienne que des limites en fait facilement repérables, à l'aide d'une documentation cartographique aussi précise que possible.

La mise en place de la base de sondage aréolaire à l'échelon national est donc une opération lourde,

coûteuse et minutieuse. Pour toutes ces raisons, la taille moyenne retenue pour la définition des aires a été de 50 logements, soit, pour un échantillon total de 20 000 logements, environ 400 aires.

Pour des raisons de commodité la désignation des aires échantillon a été faite dans un tirage en plusieurs phases, équivalent à un *tirage à un seul degré et à probabilités égales*.

Dans le cadre de l'échantillon maître de cantons utilisé à la date du recensement par l'I.N.S.E.E. (désignés par tirage au sort après stratification par régions et catégories d'habitat), auxquels venaient s'ajouter les agglomérations importantes retenues d'office dans l'échantillon, on a procédé à un *tirage au hasard de districts de recensement*.

Les modalités du tirage sont les suivantes : tirage de cantons avec probabilités proportionnelles au nombre de logements (c'est-à-dire au nombre d'aires, puisque une aire comprend 50 logements), dans les cantons échantillons, tirage de communes avec probabilités proportionnelles au nombre de logements; dans chaque commune, tirage de districts avec probabilités égales (les tailles des districts étant peu variables).

Dans chaque district une seule aire échantillon a été retenue. Le tirage au hasard des communes et des districts échantillon a été faite quelques mois avant le recensement et, bien entendu, tenue secrète. La désignation des aires elles-mêmes n'est intervenue qu'au moment de l'enquête sur le terrain.

Elle a été faite de la manière suivante : pour chaque district on a, utilisant les limites des parcelles ou des immeubles figurant sur les plans disponibles (ou photos aériennes) procédé à un découpage exhaustif en aires. A chaque aire étaient rattachés tous les documents qui lui correspondaient au recensement. Plus précisément, de manière générale, *il était indispensable que d'une part tout point du territoire, d'autre part tout document du recensement, puissent être rattachés à une aire et à une seule*.

Unique dans son principe, le mode de découpage était en pratique très différent suivant la configuration des lieux, les structures de l'habitat étant très différentes à la campagne, au centre des agglomérations ou dans les zones suburbaines. Les documents cartographiques disponibles étaient également très divers : cadastre, plans des communes, cartes à grande échelle de l'Institut Géographique National ou du Ministère de la Construction, photos aériennes, voire même dans certains cas, en l'absence de toute autre documentation, un simple plan tracé à main levée.

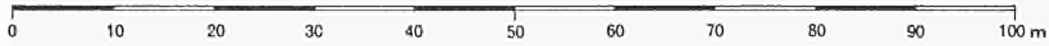
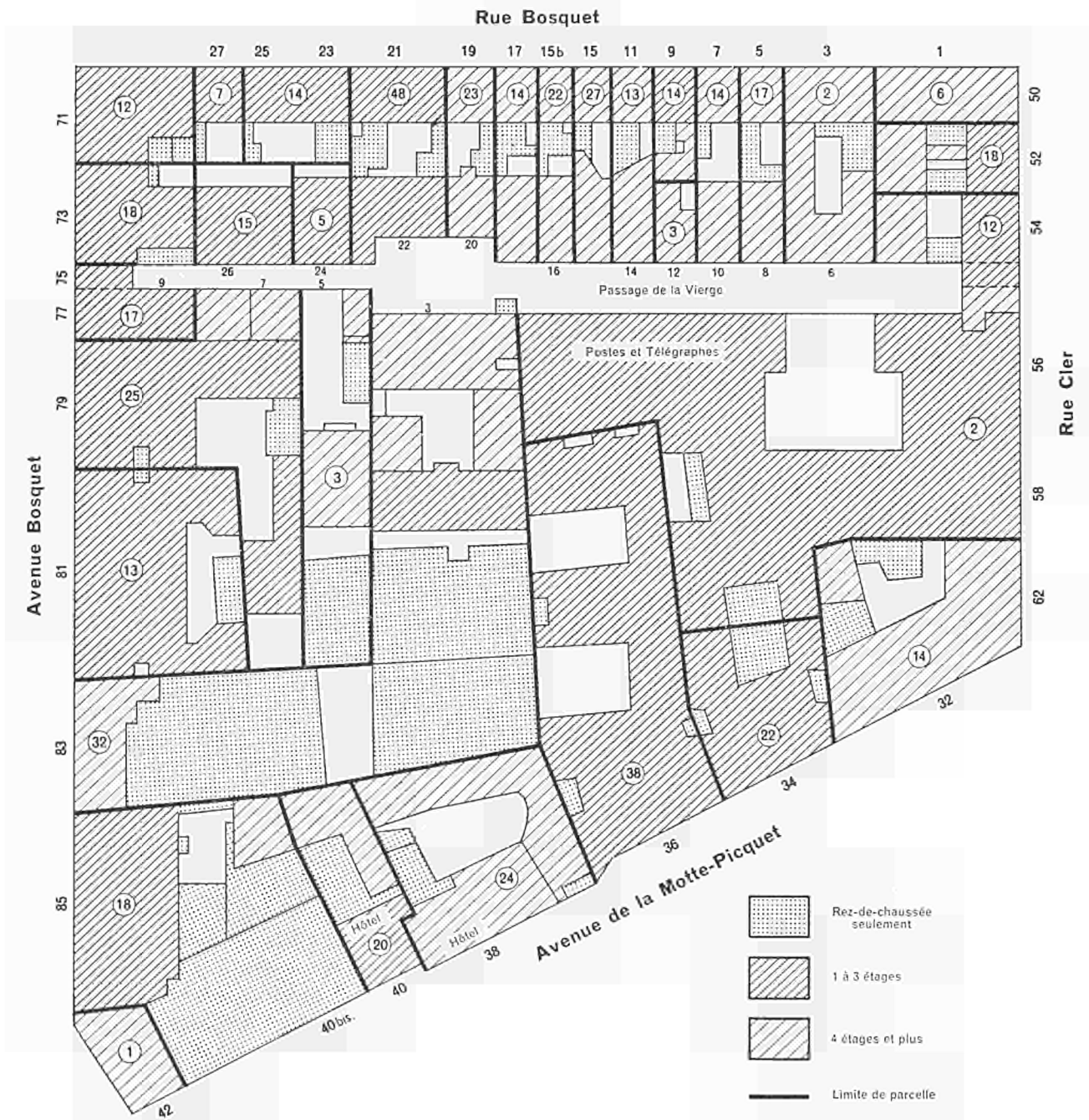
Nous donnons ci-joint divers exemples concrets de découpages de districts en aires. Une fois le découpage réalisé, on désignait au hasard une aire échantillon. Celle-ci se trouvait définie de manière précise par ses limites topographiques bien définies et l'ensemble des documents du recensement qui lui correspondent.

Exécution de l'enquête sur le terrain

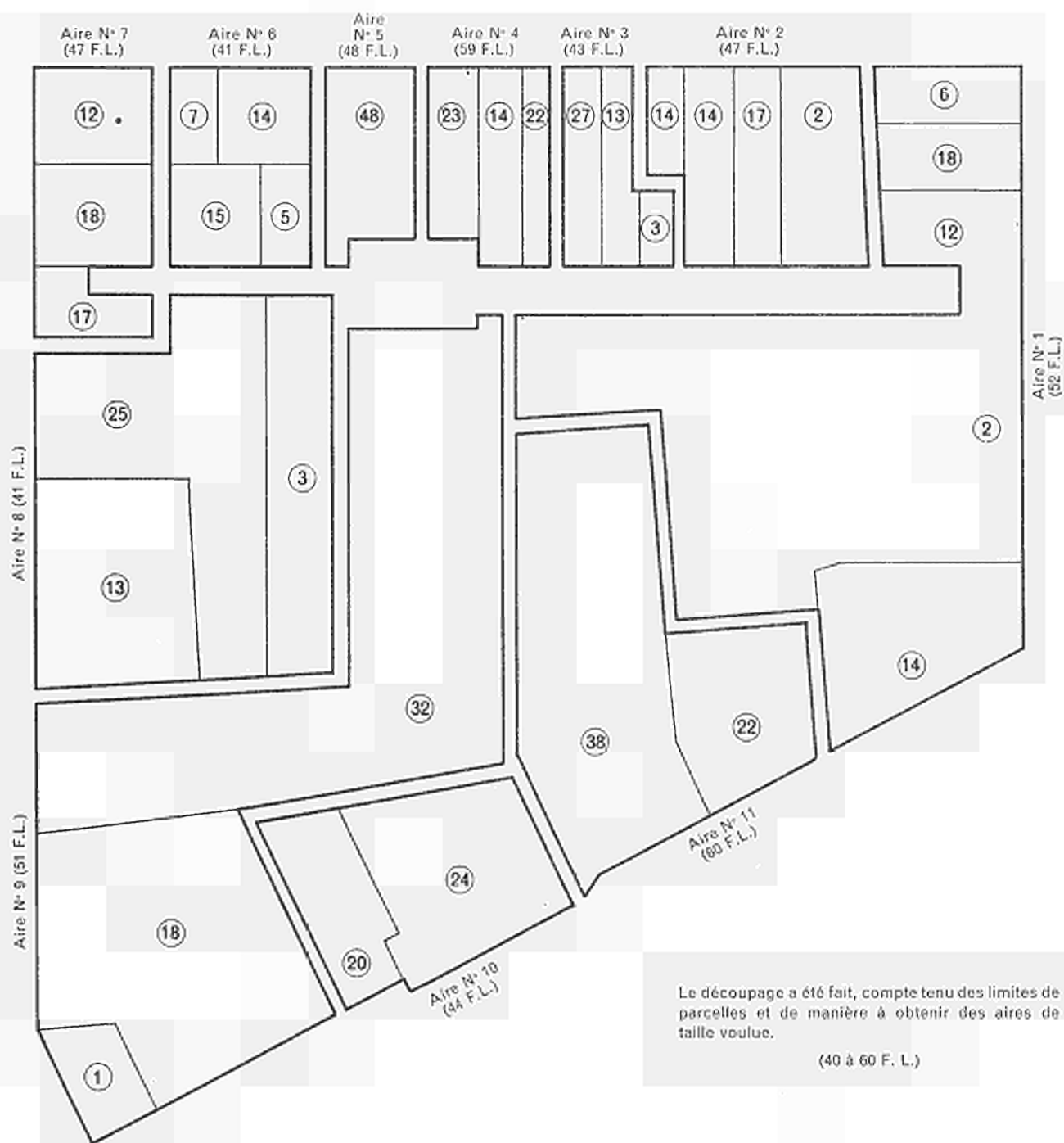
La méthode à priori la plus naturelle aurait consisté à reprendre exactement les concepts et définitions du recensement, à se replacer par la pensée à la date de celui-ci et à comparer, aire par aire, les résultats du recensement à ceux supposés (presque) toujours exacts de l'enquête contrôle. Cependant, dans la collecte du recensement, de nombreuses omissions ou doubles comptes résultent d'erreurs commises dans l'application souvent délicate de règles générales à des cas particuliers difficiles. La méthode d'enquête envisagée aurait comporté les *mêmes causes d'erreur* que le recensement, aggravées encore par la nécessité de se replacer par la pensée à une date antérieure. On n'a donc pas tenté de rétablir, aire par aire, ce qui

aurait dû être le résultat d'un recensement correct (ne comportant par conséquent ni omission ni double compte *ni erreur de localisation des individus recensés*). Les concepts retenus dans la définition des modalités de recensement ont souvent pour origine le caractère légal de cette opération; de là vient en particulier en France le souci d'une domiciliation géographique précise des individus. Dans une enquête contrôle, dont le seul but est de savoir pour tout individu s'il a été recensé une fois ou omis ou compté deux fois, il est possible pour rechercher ces erreurs avec le maximum de sécurité, de s'affranchir de ces concepts et d'élaborer à la fois un questionnaire plus direct et plus complet.

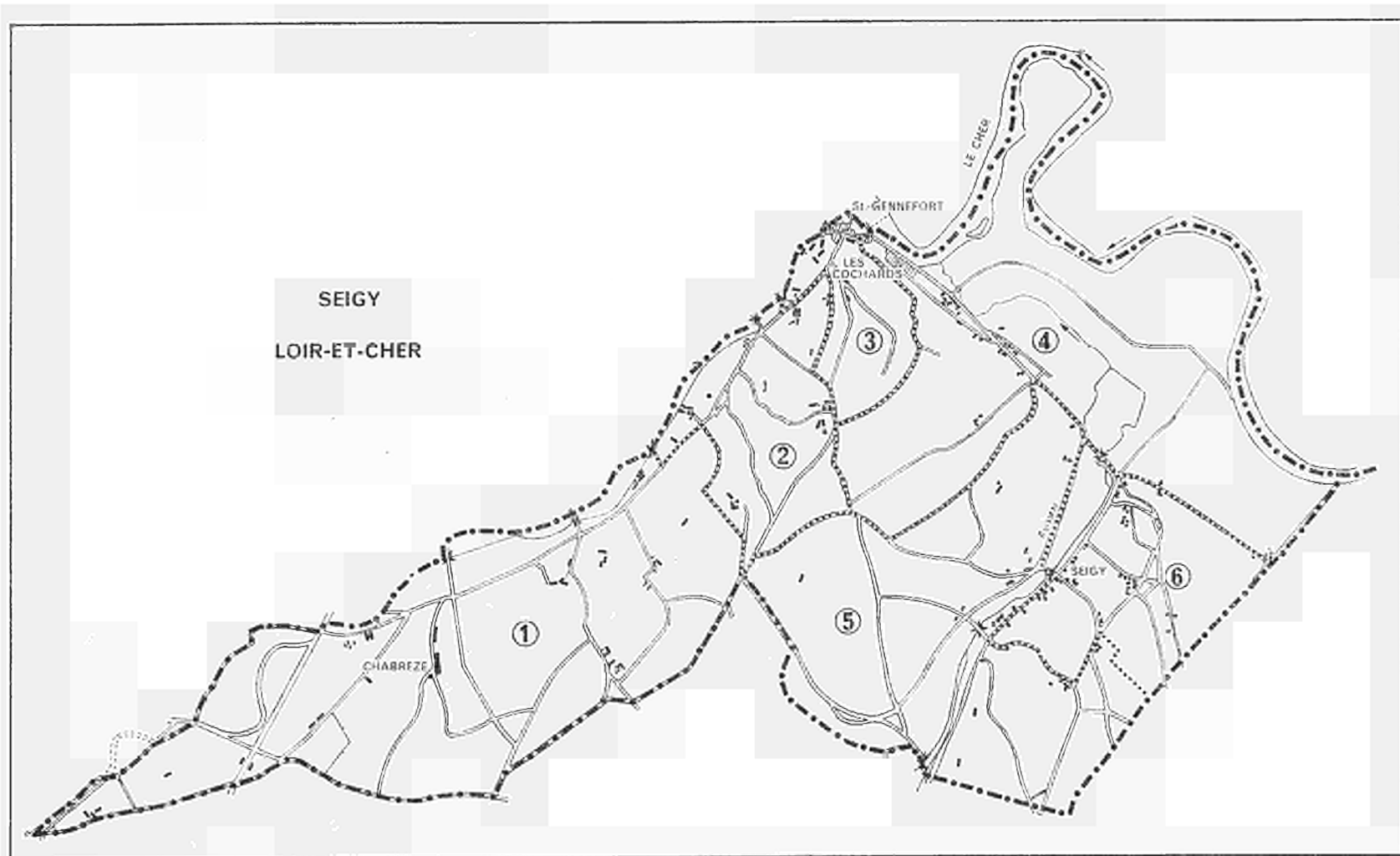
EXEMPLE DE DECOUPAGE D'UN ILOT EN AIRES



EXEMPLE DE DECOUPAGE D'UN ILOT EN AIRES



0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 m



C'est pour cette raison que les enquêteurs ont reçu pour consigne de dénombrer dans l'enquête contrôle toutes les personnes ayant une attache à un titre quelconque avec un logement de l'aire qui leur était confiée (« root sampling »), de rechercher pour ces personnes toutes les adresses où elles auraient pu être recensées, en même temps qu'ils notaient les principales caractéristiques socio-démographiques de chacune.

L'enquêteur devait ainsi recenser non seulement toutes les personnes qui avaient ou auraient dû être recensées dans l'aire, mais aussi toutes celles qui auraient pu l'être à un titre quelconque. Cette précaution est absolument indispensable pour éviter le risque qu'une omission au recensement ait une forte probabilité d'être commise à nouveau lors de l'enquête, ce qui serait fâcheux.

La question s'est posée de savoir si pour effectuer ce travail les enquêteurs devaient disposer ou non des documents du recensement relatifs à l'aire qu'ils devaient contrôler. Après de longues hésitations, il a été décidé de les leur confier. Bien sûr, *il était prescrit aux enquêteurs de commencer par effectuer leur enquête sur le terrain de manière totalement indépendante du recensement*. Mais, après avoir effectué son propre travail, l'enquêteur était à même d'en confronter les résultats avec ceux du recensement et ainsi de rechercher sur le champ l'explication des divergences constatées; procédant autrement, il aurait été nécessaire pour toute divergence de faire effectuer une contre-enquête par une troisième personne, ce qui, avec de nouveaux délais, aurait été lourd et très coûteux. Sur le terrain, la tâche de l'enquêteur a donc été, après avoir identifié exactement les limites de l'aire à contrôler, de faire un inventaire absolument systématique de tous les immeubles qui y étaient situés, quelles qu'en soient la nature et la destination. Dans chaque immeuble, l'enquêteur devait faire un inventaire de tous les locaux, qu'ils soient à usage d'habitation ou non, puis, dans chaque local, relever les identités de toutes les personnes qui pouvaient y

avoir une attache. Ce recensement était systématique; ce n'était pas à l'enquêteur de décider si telle ou telle personne devait ou non être comptée là où il la rencontrait; il avait simplement à recueillir sur chacune d'elles le maximum de renseignements, de façon que, à l'exploitation, on puisse connaître sans ambiguïté dans quelles conditions elle avait été dénombrée.

Parmi les renseignements que devait recueillir l'enquêteur figurait en premier lieu, pour chaque personne, l'énumération de toutes les adresses où elle aurait pu être recensée. Ces adresses devaient être relevées de manière précise, de façon à permettre ultérieurement la recherche des documents correspondants du recensement. Pour faciliter cette recherche, on notait pour chaque individu l'âge, le sexe, la profession et le lien de parenté avec le chef de ménage.

Le cas de loin le plus fréquent est celui des personnes qui se trouvaient comptées à la fois à l'enquête et au recensement (près de 97 % des personnes dans le champ de l'enquête). Le seul problème qui se posait alors était de faire noter par l'enquêteur toutes les adresses où la personne aurait pu être recensée, de telle sorte qu'on puisse ensuite à l'exploitation rechercher si elle avait été recensée ou non.

Les cas de personnes énumérées à l'enquête mais non recensées dans l'aire correspondent pour partie à des personnes recensées ailleurs (à tort ou à raison), pour partie à des omissions, pour partie aussi à des enfants non recensés parce que nés après le 7 mars, date retenue pour référence dans le recensement. Il est évidemment important que l'enquêteur note alors toutes les autres adresses où la personne aurait pu être recensée.

Lors de la confrontation des documents du recensement avec ceux de l'enquête, il arrivait aussi de se trouver en présence de personnes recensées dans l'aire mais non énumérées par l'enquêteur. Celui-ci devait alors rechercher l'explication de la situation (personnes décédées depuis le recensement, ou ayant déménagé...).

Exploitation des résultats

La préoccupation constante dans la collecte d'assurer dans toute la mesure du possible l'exhaustivité du dénombrement fait par l'enquêteur, en définissant de la

manière la plus large (et d'application la plus facile) l'ensemble des personnes que l'enquêteur devait considérer comme ayant une attache avec l'aire, et par suite

dénombrer, est la source de la principale difficulté d'ordre méthodologique que présente l'exploitation de l'enquête.

Un même individu était susceptible d'être énuméré dans l'enquête en autant d'endroits qu'il avait d'attaches différentes; il fallait en tenir compte et affecter à chaque observation individuelle une pondération en conséquence.

Une première solution aurait été, partant des informations recueillies par l'enquêteur, de rechercher pour chaque individu s'il aurait dû, au recensement, être compté ou non dans l'aire et de comparer le résultat obtenu à ce qui avait été fait réellement au recensement. Cette méthode aurait été peu sûre, puisqu'elle aurait soulevé au stade du chiffrage des difficultés que l'on avait déjà voulu éviter au stade de la collecte. De plus, le personnel de chiffrage se trouvait dans des conditions plus défavorables que les enquêteurs pour les résoudre, car il n'était pas sur place.

Il était également possible de rattacher à chacune des aires l'ensemble des individus qui se trouvent y avoir été dénombrés par l'enquêteur, indépendamment de leur situation réelle vis-à-vis du recensement, dans l'aire envisagée. C'est ce qui a été fait; mais, plutôt que de chercher à définir la probabilité qu'avait un individu d'être dénombré en un endroit déterminé, on a convenu de règles définissant l'endroit où il devait être compté au titre de l'enquête. Ces règles, dites d'affectation, sont dans une large mesure indépendantes des règles adoptées pour le décompte de la population dans le recensement et, par là même, indé-

pendantes d'un grand nombre de causes d'erreurs commises au recensement.

Des règles précises indiquaient dans chaque cas les modalités d'affectation à retenir. De façon générale, toute personne se trouve affectée à une aire et à une seule, en fonction bien évidemment de chaque situation particulière: aussi les personnes qui avaient une seule résidence principale habituelle se trouvaient affectées à cette résidence, même si à la date du recensement elles se trouvaient séjourner temporairement ailleurs. Les instructions données pour l'exploitation précisaient quelles décisions d'affectation il convenait de prendre dans chaque cas: ainsi les élèves internes étaient comptés à leur domicile habituel (résidence de leurs parents), de même les militaires du contingent étaient comptés à leur résidence civile habituelle.

Dans certains cas, il y avait double affectation: ainsi lorsqu'un ménage déclarait disposer d'une résidence principale et d'une résidence secondaire, on convenait de le dénombrer, suivant le cas qui se présentait, dans l'une et dans l'autre; bien évidemment les observations individuelles correspondantes ont été pondérées par un demi.

Ces diverses conventions d'affectation, dans le détail desquelles nous ne rentrerons pas ici, permettaient d'assurer une représentation correcte de la population, tout en ne rentrant pas dans le cadre des règles du recensement, dont les difficultés d'application sur le terrain sont précisément souvent la cause des omissions ou des doubles comptes.

Les résultats

Indépendamment des règles d'affectation prises dans chaque cas, il suffisait ensuite de rechercher pour chaque personne, à *chacune des adresses relevées par l'enquêteur* si elle avait été recensée ou non.

On a constaté que le plus souvent il était possible d'arriver à une conclusion certaine; on parlera, alors, dans la présentation des résultats, d'omissions ou de doubles comptes caractérisés. Toutefois, deux types de situations, particulièrement importantes dans l'étude

des omissions, ont fait l'objet d'une attention spéciale:

a) la première a trait aux adresses relevées par l'enquêteur et pour lesquelles on n'a retrouvé au recensement aucun document correspondant au nom des personnes qui devaient y avoir une résidence. Le plus souvent, il s'agit effectivement d'une omission, mais il est également possible que l'adresse soit fautive, ou ait été transcrite de manière erronée par l'enquêteur ou encore que les documents aient été déclassés lors

de l'archivage des imprimés du recensement ⁽¹⁾. Pour les personnes concernées, on dira par la suite qu'il s'agit d'omissions probables si aucun bulletin n'a été rempli pour elles à une autre adresse ou de personnes probablement recensées une seule fois ⁽²⁾ si on a retrouvé un bulletin rempli pour elles à une autre adresse.

b) Le deuxième type de situation correspond aux personnes rattachées à plusieurs domiciles dont on a eu connaissance sans pouvoir obtenir chacune des adresses ⁽³⁾ : il s'agit par exemple de personnes qui ont déménagé depuis le recensement et dont les successeurs n'ont pu indiquer la nouvelle adresse; il peut encore s'agir du cas de résidences secondaires situées dans une aire, lorsque l'enquêteur n'a pu connaître l'adresse de la résidence habituelle des personnes qui en disposent. En règle générale, on a décidé de ne pas trancher ces cas, qui ont été classés séparément dans la présentation des résultats.

Il est malheureusement vrai que les situations des types précédents sont une source d'incertitudes et ris-

queraient rapidement d'entacher la validité des résultats de l'étude entreprise si elles se révélaient trop fréquentes par rapport au nombre total d'erreurs décelées (omissions ou doubles comptes). On constatera plus loin qu'elles restent suffisamment rares et qu'elles affectent autant les omissions que les doubles comptes. En particulier, elles ne représentent guère plus du dixième des omissions décelées, ce qui, eu égard à la difficulté particulière de l'étude entreprise, peut être considéré comme relativement satisfaisant.

On a également classé à part le cas des militaires stationnés en Algérie. Un assez grand nombre de bulletins du recensement remplis aux Armées ayant été, du fait des événements, perdus lors de leurs transferts en métropole, il a été décidé, pour pallier cette source d'omission évidente, de créer d'office dans le recensement un bulletin individuel chaque fois que sur une feuille de logement du recensement on trouvait la mention d'un militaire en Algérie dans la liste des personnes absentes de longue durée du logement.

Champ couvert et exhaustivité de l'enquête

Avant de passer à la présentation proprement dite des résultats, diverses remarques supplémentaires s'imposent :

a) le champ couvert ne s'étend pas à l'ensemble de la population française. Les établissements de population comptée à part, les communautés n'ont pas été compris dans le champ de l'enquête, l'importance de ces établissements risquant d'introduire sans avantage supplémentaire un élément de variabilité aléatoire considérable dans un échantillon qui ne comprenait que 400 aires. Seuls sont donc représentés dans cette enquête les personnes vivant dans ces établissements ou communautés qui, ayant gardé des liens avec un ménage ordinaire, ont pu être rattachées à un logement ordinaire. Au total 760 000 personnes, soit 30 % des personnes vivant en communauté, n'étaient pas comprises dans le champ de l'enquête.

b) Une des difficultés des enquêtes de contrôle des omissions dans un recensement est d'assurer l'exhaustivité de la collecte par les enquêteurs, qui lorsqu'elle n'est pas réalisée, a pour conséquence qu'une part souvent importante des omissions reste non décelée dans l'enquête. Là réside la cause de beaucoup d'échecs partiels de ce type d'enquête. Il est important d'essayer d'obtenir une mesure du degré d'exhaustivité atteint dans l'enquête si l'on veut savoir quel degré de confiance on peut accorder à l'estimation de l'ampleur des omissions.

La technique employée permet de se faire une idée sur ce point : certaines catégories de population comptée à part (militaires du contingent, élèves internes, malades en hôpital ou préventorium) ont gardé le plus souvent des attaches avec leur famille et peuvent être normalement rattachées à un logement ordinaire.

⁽¹⁾ Une erreur de classement des documents apparaît à tort comme une omission, mais il est évident que l'enquête faite permet d'obtenir une estimation de l'ampleur de ce terme et par conséquent de l'éliminer lors de l'estimation générale du nombre d'omissions. Il suffit en effet de dénombrer les documents classés à tort dans les aires qui constituent l'échantillon. Il est apparu que leur nombre était négligeable.

⁽²⁾ Certainement pas omises, mais il n'est pas toujours exclu qu'elles aient été recensées deux fois.

⁽³⁾ On ne peut donc savoir si les personnes qui disposent de cette adresse y ont été recensées ou non.

Ces personnes ont été recensées selon des modalités particulières dans les internats, hôpitaux ou préventorium ou aux armées. Le fait que l'enquête aréolaire permette par une voie indirecte et une approche totalement différente de celle du recensement, de retrouver, à la variabilité aléatoire près, les effectifs de ces catégories de population (1) est un gage tout à fait satisfaisant de l'exhaustivité de la collecte réalisée. On peut penser que le dénombrement effectué par les enquêteurs dans les logements qu'ils ont visité est correct et que les 450 000 omissions qu'ils ont décelé ainsi sont une estimation satisfaisante du nom-

bre réel d'omission dans ces conditions. Mais par ailleurs, nous verrons que 270 000 omissions correspondent à des omissions de logements ou d'immeubles entiers. Le caractère absolument systématique imposé au dénombrement des immeubles et des locaux dans chaque aire est la seule garantie possible de son exhaustivité.

De surcroît, les structures de la population de l'échantillon par sexe, âge, taille du ménage, catégorie socio-professionnelle, habitat et revenu ont été comparées sur leur partie commune, avec celles du recensement. Les résultats sont tout à fait satisfaisants.

Position de la population vis-à-vis du recensement

La première analyse à laquelle on procédera concerne la position de la population vis-à-vis du recensement : omissions, doubles comptes et personnes recensées une seule fois. Il convient de rappeler ici que la présente enquête, de par la manière dont la collecte des renseignements a été organisée, peut ne pas avoir saisi l'ensemble des doubles comptes et qu'une autre enquête, mieux adaptée à leur étude, donnera des renseignements plus précis sur ce sujet.

Signalons aussi que, au delà de la population qui aurait dû être recensée, l'enquête a permis d'estimer que, du fait de l'étalement des opérations du recen-

sement dans le temps, environ 20 000 enfants nés après la date de référence du 7 mars 1962 avaient été néanmoins recensés. Par ailleurs le nombre de bulletins créés de toutes pièces découverts dans l'enquête correspond à une estimation de 15 000 à 20 000 cas pour l'ensemble de la France métropolitaine. Mais l'enquête n'est pas bien adaptée à l'étude de ces cas, que des contrôles systématiques faits en certaines occasions permettent de découvrir et de corriger beaucoup plus efficacement.

Compte tenu de ces remarques, les résultats globaux sont les suivants :

	Nombre estimé	Répartition (en %)
Omissions caractérisées	720 000	1,56
Omissions probables	60 000	0,12
Non tranché (omission possible)	90 000	0,20
Militaires apparemment non recensés	90 000	0,20
Recensés une seule fois	45 120 000	97,33
Recensés probablement une seule fois	30 000	0,06
Non tranché (double compte possible)	60 000	0,12
Doubles comptes caractérisés	190 000	0,41
Ensemble du champ de l'enquête	46 360 000	100,00

(1) Voir tableau page 111.

Compte tenu de la population hors champ d'enquête (760 000), la population totale au recensement s'élèverait à environ 47 120 000 personnes, alors que la population recensée est de 46 520 000 personnes soit une différence nette de 600 000 ou 1,4 %. Compte tenu de l'incertitude affectant probablement l'estimation des doubles comptes, le résultat principal est que selon l'enquête, le nombre d'omissions serait compris entre 720 000 (minimum effectivement caractérisé dans l'enquête) et 870 000 personnes.

On pouvait craindre à priori que souvent l'enquête ne permette pas de trancher dans les situations complexes responsables d'une large fraction des omissions et des doubles comptes. Naturellement, les cas d'erreurs probables, mais non caractérisés et les cas où il a été impossible de trancher ont été classés à part. On peut constater que ces cas sont relativement peu nombreux; en particulier leur répercussion sur l'estimation du nombre des omissions reste faible, de l'ordre de 10 %.

L'analyse de la structure des omissions et des doubles comptes doit être faite dans ses différentes composantes :

a) répartition des erreurs au recensement en fonction de la structure démographique de la population (répartition par sexe et par âge, par type d'habitat ou par région).

b) nature des erreurs et influence des modalités adoptées pour le recensement de catégories particulières de population.

1. Analyse de la précision du recensement par sexe et par âge.

La première série de tableaux montre comment varie la précision du recensement suivant le sexe et l'âge de la population étudiée.

	Sexe masculin	Sexe féminin	Les deux sexes
Omissions caractérisées	1,71	1,42	1,56
Omissions probables	0,14	0,11	0,12
Non tranché (omission possible)	0,26	0,14	0,20
Militaires apparemment non recensés	0,41	—	0,20
Recensés une seule fois	96,86	97,77	97,33
Recensés probablement une seule fois	0,06	0,05	0,06
Non tranché (double compte possible)	0,13	0,11	0,12
Doubles comptes caractérisés	0,43	0,40	0,41
Ensemble du champ de l'enquête	100,00	100,00	100,00

On constate que :

- le taux d'omission est assez nettement plus élevé pour le sexe masculin que pour le sexe féminin,
- le taux d'omission varie assez fortement suivant l'âge. Il est particulièrement fort entre dix et trente ans. Il diminue ensuite légèrement, mais redevient élevé chez les personnes très âgées.

On remarquera aussi le taux relativement élevé d'omission chez les jeunes enfants.

La mobilité qu'implique souvent la poursuite des études et l'installation dans la vie active est sans doute la cause principale du taux élevé d'omission constaté chez les adolescents et les jeunes adultes, particulièrement pour le sexe masculin.

Précision du recensement - Structure par âge

	Année de naissance											
	En-semble	1960 à 1962	1950 à 1959	1940 à 1949	1930 à 1939	1920 à 1929	1910 à 1919	1900 à 1909	1890 à 1899	1880 à 1889	1870 à 1879	Avant 1870
Omissions caractérisées	1,56	1,4	1,0	2,2	2,4	1,3	1,1	1,1	0,9	1,2	2,9	ε
Omissions probables	0,12	ε	ε	0,3	0,1	ε	ε	0,1	ε	0,1	0,1	—
Non tranché (omission possible)	0,20	0,4	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	ε	0,1	0,1	0,2	—
Militaires apparemment non recensés	0,20	—	—	0,9	0,4	0,1	ε	—	—	—	—	—
Recensés une seule fois	97,33	97,6	98,5	95,5	96,0	98,1	98,4	98,4	98,6	97,7	96,0	100,0
Recensés probablement une seule fois	0,06	0,1	0,1	0,1	0,1	ε	ε	ε	ε	0,1	ε	—
Non tranché (double compte possible)	0,12	0,1	ε	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	—
Doubles comptes caractérisés	0,41	0,4	0,3	0,8	0,7	0,3	0,3	0,3	0,2	0,6	0,5	ε
	100,00	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Répartition selon l'enquête (*)	100,0	3,8	17,4	14,5	12,8	14,1	10,6	12,4	8,4	4,8	1,1	0,1
Répartition selon le recensement	100,0	3,9	17,6	14,5	13,0	14,2	10,3	12,1	8,5	4,7	1,2	ε

Omissions caractérisées suivant le sexe et l'année de naissance :

Sexe masculin	1,7	1,6	0,6	2,5	3,0	1,4	1,2	1,2	1,0	1,2	1,5	ε
Sexe féminin	1,4	1,3	1,1	1,9	1,8	1,3	1,0	0,9	0,8	1,2	3,5	ε

(*) De la population recensée.

Le tableau qui précède donne la possibilité de construire une nouvelle pyramide des âges, compte tenu des omissions et des doubles comptes. Les résultats obtenus permettent en effet de calculer les taux de correction qu'il conviendrait d'appliquer aux effectifs dénombrés au recensement dans les différentes branches d'âge, tels qu'ils ont été publiés par ailleurs.

Parallèlement à la présentation de l'importance des omissions dans les différentes tranches d'âge, il est également intéressant de présenter directement le nombre d'omissions (caractérisées et probables) dans les différentes générations (ci-contre).

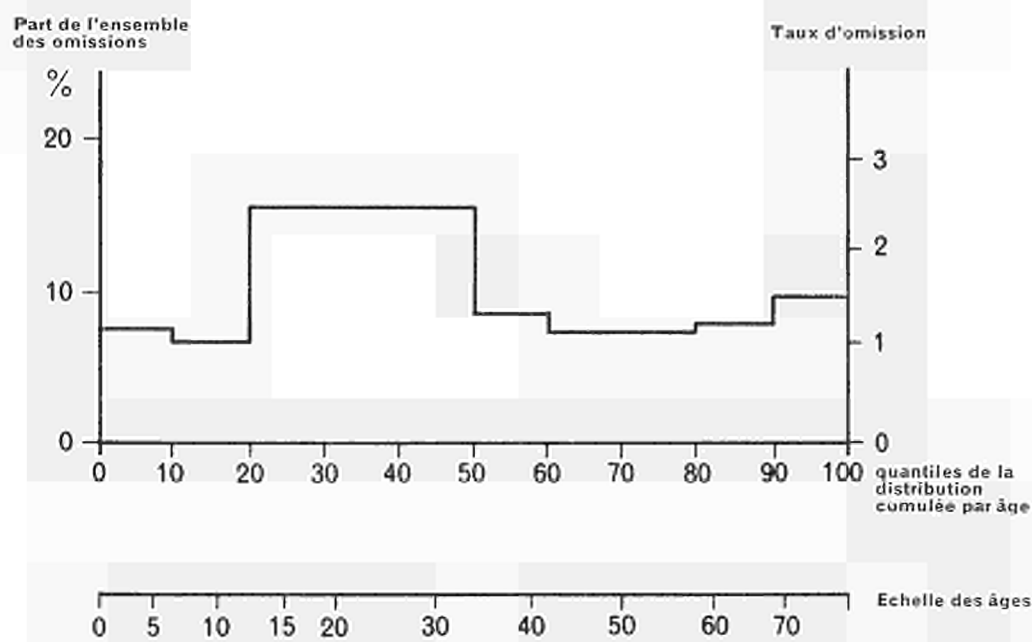
Nous avons également présenté ces résultats sous la forme d'un diagramme de concentration qui indique la part que représentent dans l'ensemble des omissions les diverses générations, compte tenu de leur importance dans l'ensemble de la population. On peut ainsi constater que les générations nées entre 1930 et 1949, qui avaient au recensement entre 12 et 32 ans,

représentent environ 30 % de la population totale, mais près de la moitié des omissions décelées dans l'enquête.

Année de naissance	Nombre d'omissions (caractérisées et probables) (*)
1960 et après	30 000
1950 — 1959	90 000
1940 — 1949	180 000
1930 — 1939	165 000
1920 — 1929	90 000
1910 — 1919	60 000
1900 — 1909	75 000
1890 — 1899	40 000
1880 — 1889	30 000
1879 ou avant	20 000
	780 000

(*) Estimations arrondies.

Diagramme de concentration des omissions* par âge



* Omissions caractérisées et omissions probables

2. Analyse de la nature exacte des omissions et de leurs sources probables.

Un des aspects intéressants d'une enquête sur la précision du dénombrement est de permettre l'étude du degré d'exhaustivité obtenu pour certaines catégories de population dont on sait que le recensement correct est difficile : domestiques ou apprentis logés, enfants placés en nourrice, malades effectuant un séjour temporaire en clinique ou hôpital, personnes en déplacement à l'époque du recensement, personnes séjournant temporairement chez des parents ou amis.

La même étude permet de voir dans quelle mesure les modalités particulières adoptées pour le recensement de certaines catégories particulières de population vivant en communautés ont été efficaces (sous la réserve déjà mentionnée que le champ de l'enquête ne recouvre pas l'ensemble de ces personnes).

Enfin, pour les personnes qui n'appartiennent à aucune de ces deux catégories particulières (qui constituent la majorité de l'ensemble de la population : 94 %) on pourra rechercher plus précisément la cause de l'erreur : omissions isolées, omissions de logements

ou immeubles entiers, omissions de personnes dans un logement recensé, mais considéré à tort comme vacant.

a) L'analyse portera d'abord sur les diverses catégories qui ont été distinguées dans la population résidant en *ménages ordinaires*, tenant compte de ce que leur situation particulière rendait souvent leur recensement difficile et pouvait être à l'origine de nombreuses erreurs. Les personnes ainsi distinguées dans la population ordinaire des ménages sont au nombre de 1 035 000, alors que selon le recensement, elles seraient au nombre de 995 000 soit une erreur nette par défaut de 40 000 personnes (— 4 %). Mais en fait, il intervient une compensation partielle entre les omissions et les doubles comptes : selon l'enquête, il y aurait 95 000 omissions caractérisées, 15 000 omissions probables et 60 000 doubles comptes. L'ensemble de ces catégories de population, qui représentent 2,2 % de la population totale, correspondent à 14 % du total des omissions et à 30 % des doubles comptes caractérisés (rappelons à nouveau qu'il est probable que l'enquête ne donne pas une image fidèle des doubles comptes).

Le tableau qui suit indique les pourcentages d'erreurs de dénombrement qui ont été relevés pour chacune des

principales catégories distinguées dans la population ordinaire. En plus des doubles comptes et omissions caractérisées, on a mentionné le cas des personnes qui

ont été recensées une seule fois, mais dans des conditions incorrectes, c'est-à-dire à une autre adresse que celle où elles auraient dû l'être.

Catégories de population	Erreurs de dénombrement caractérisées (en %)		
	Omissions	Doubles comptes	Recensé une seule fois mais de manière incorrecte
Personnes en déplacement	31	5	2,5
Personnes en vacances	15	—	15
Personnes ayant un pied-à-terre de travail	6	11	1
Domestiques logés	8	7	5,5
Apprentis logés	13	10	6
Personnes séjournant temporairement chez des parents ou amis :			
— ayant un domicile personnel	8	7	15
— sans domicile personnel	12	3	8
Enfants placés en nourrice	14	6	9
Malades en séjour temporaire en hôpital clinique	19	6	—

b) L'enquête apporte également des informations sur la manière dont la population vivant en communautés a été saisie par le recensement. L'ensemble des communautés et établissements étant exclus du champ de l'enquête, les personnes vivant en communautés n'apparaissent dans l'enquête, nous l'avons déjà vu, que dans la mesure où elles ont gardé des attaches avec des ménages habitant des résidences ordinaires. Nous sa-

vons que ceci est pratiquement toujours le cas des élèves internes, des militaires du contingent et des malades en sanatorium ou préventorium. Nous avons déjà mentionné que le fait que l'enquête aréolaire permettait par une approche totalement différente de celle du recensement, de retrouver les effectifs recensés de ces catégories était un témoignage de l'exhaustivité de la collecte réalisée par les enquêteurs.

Population vivant en communauté	Recensement	Enquête (*)
Militaires en casernes et en camps :		
Contingent	547 000	560 000
Militaires de carrière	182 000	76 000
Elèves internes	702 000	750 000
Malades en sanatorium, préventorium, aérium	88 000	85 000
Ouvriers en chantiers temporaires	17 000	4 000
Détenus	56 000	5 000
Hôpitaux psychiatriques	112 000	26 000
Communautés religieuses	115 000	—
Hospices de vieillards	230 000	96 000
Autres ménages collectifs	376 000	68 000
	2 459 000	1 670 000

(*) Population recensée selon l'enquête.

Au total donc, le champ de l'enquête recouvre 69 % de la population vivant en communautés. Etant donnée la définition du champ, les pourcentages de couverture obtenus pour les différentes catégories de population comptée à part ou de ménages collectifs apparaissent vraisemblables, dans la mesure où il est possible à partir du recensement d'obtenir des indications sur la fraction de ces catégories de population qui appartient au champ de l'enquête.

L'enquête aréolaire a eu lieu avant que n'ait commencé la réintégration des bulletins de recensement des militaires alors stationnés en Algérie; elle n'apporte donc en fait aucun élément d'information sur la précision de leur recensement. Toujours selon l'enquête 4 % à 5 % des élèves internes auraient été omis, alors que 2 % étaient recensés deux fois. Pour ce qui est des

personnes en traitement dans les sanatorium, préventorium et aérium, les omissions et les doubles comptes seraient à peu près en proportions égales, représentant chacune 6 à 8 % de l'ensemble de ces personnes.

Les résultats relatifs aux autres catégories de population comptée à part et de ménages collectifs ont un moindre intérêt, puisqu'ils ne portent que sur une partie de celles-ci. On constate cependant ainsi que, parmi les vieillards en hospice qui ont gardé des attaches en dehors, 6 % auraient été omis et 2 % recensés deux fois. Pour les autres catégories mentionnées ci-dessus, les résultats mettent également en évidence des taux d'erreurs de dénombrement élevés, de l'ordre de 10 % pour les omissions, mais les effectifs correspondants de l'échantillon sont trop réduits pour qu'ils soient significatifs et puissent être mentionnés ici.

Erreurs au recensement (en % de la population correspondante)

Catégorie de population	Omissions caractérisées	Omissions probables	Doubles comptes caractérisés
Elèves internes	4,0	1,1	1,8
Malades en sanatorium	6,3	1,9	6,9
Hospices de vieillards*	6,1	0,5	1,6
Hôpitaux psychiatriques*	12,8	5,3	9,6
Personnel d'encadrement des établissements*	5,5	ε	23
Etudiants en cité universitaire ou foyer d'étudiants* (1)	12,2	8,4	18,8

* Le champ de l'enquête ne recouvre qu'une partie de la population vivant dans ces communautés.

(1) Les étudiants pensionnaires chez des particuliers semblent être encore plus mal recensés : on dénombre parmi eux près de 20 % d'omissions caractérisées.

Pour la population vivant en communautés et entrant dans le champ de l'enquête, le risque de double compte résultait de ce que ces personnes pouvaient être recensées dans la communauté où elles résidaient et dans la résidence ordinaire où elles avaient gardé des attaches : élèves internes recensés dans leur établissement et dans leur famille,...

A la suite des forts taux de doubles comptes constatés en 1954 pour ces catégories de population, il avait été décidé de procéder en 1962 à un rapprochement systématique : le bulletin de recensement rempli dans l'établissement comprenait un volet détachable qui était expédié à la mairie de la résidence personnelle, qui devait le reclasser dans la feuille de logement

correspondante (à la résidence principale ordinaire) et détruire éventuellement tout bulletin normal de recensement qui aurait été rempli à tort pour la même personne. Par suite de quelques erreurs matérielles, le rapprochement n'a pu toujours être mené à bien; il subsiste de ce fait encore la possibilité de doubles comptes. Cependant cette nouvelle procédure de recensement a été très efficace, comme on peut en juger : en 1954, on avait pu estimer à 60 000 (12,4 %) les doubles comptes d'élèves internes, à 23 000 (23,4 %) ceux des malades en sanatorium; en 1962, ces résultats sont estimés respectivement à 13 000 (1,8 %) et à 6 000 (6,9 %) (estimations provisoires). Il semble donc que la nouvelle procédure ait entraîné une réduction des trois quarts de ces doubles comptes.

Les diverses catégories de population sur lesquelles vient de porter l'analyse (population vivant en communautés qui est dans le champ de l'enquête et autres catégories de population distinguées à priori) représentent environ 2 750 000 personnes soit 6 % de la population totale, mais elles sont à l'origine d'environ 30 % du total des omissions mises en évidence dans le recensement (avec un taux d'omissions moyen de 6 à 8 %). Malgré cela, il ne leur correspond que 175 000 omissions (ou 215 000 en y ajoutant les omissions probables) sur un total de 720 000 (ou 780 000) omissions décelées; c'est-à-dire que plus de deux omissions sur trois sont imputables à des personnes qui n'appartiennent à aucune des catégories de population distinguées jusqu'à présent.

c) Personnes ayant plus d'une résidence

Il est légitime de penser que lorsqu'une personne dispose de plusieurs résidences à la date du recensement, le risque d'une erreur dans le dénombrement est considérablement accru : elle peut être omise aux deux

adresses, ou au contraire recensée deux fois ou encore recensée dans des conditions incorrectes.

L'ensemble des catégories distinguées précédemment ne comprend pas l'ensemble des personnes ayant plus d'une résidence à la date du recensement; il y manque en particulier une partie importante des personnes disposant d'une résidence secondaire.

L'ensemble des personnes ayant plus d'une résidence à la date du recensement peut se décomposer de la manière suivante :

Personnes vivant en communautés	1 035 000
Catégories retenues à priori	1 720 000
Autres (ayant résidence secondaire...)	1 885 000
Ensemble	4 640 000

Ces personnes représentent donc 10 % de la population totale comprise dans le champ de l'enquête.

Comme on peut le constater, la fréquence des erreurs de dénombrement en ce qui les concerne est très élevée :

		Omissions caractérisées	Omissions probables	Non tranché (omissions possibles)	Militaires apparemment non recensés	Recensés 1 seule fois (*)	Recensés probablement 1 seule fois (*)	Non tranché (DC possible)	Doubles comptes caractérisés
Population totale	100	1,56	0,12	0,20	0,20	97,33	0,06	0,12	0,41
dont :									
ayant une seule résidence	90	100	0,80	—	—	99,20	—	—	—
ayant plus d'une résidence	10	100	8,5	1,2	1,8	80,9	0,5	1,2	4,1

(*) On a déjà vu que l'enquête ne permettait pas de conclure avec une absolue certitude que les personnes pour lesquelles on n'a pu retrouver qu'un seul bulletin n'ont pas été comptées deux fois; mais il est certain qu'elles ne sont pas omises.

Pour les personnes ayant plus d'une résidence, la répartition des erreurs de dénombrement est la suivante :

	Omissions caractérisées	Omissions probables	Doubles comptes caractérisés	Effectif total
Personnes vivant en communautés	80 000	25 000	35 000	1 035 000
Catégories retenues à priori	95 000	15 000	60 000	1 720 000
Autres catégories	200 000	20 000	95 000	1 885 000
Ensemble	375 000	60 000	190 000	4 640 000

On constate ainsi que plus de la moitié des 720 000 omissions caractérisées sont imputables à des personnes ayant plus d'une résidence au recensement; si l'on tient compte des omissions probables, ce sont presque les deux tiers des omissions qui leur sont imputables. Bien évidemment, il leur correspond aussi l'ensemble des doubles comptes qui ont pu être décelés.

Toutefois, en ce qui concerne les personnes ayant une seule résidence au recensement, pourtant plus faciles à recenser correctement, on constate que la proportion des omissions reste importante : 0,8 % soit 345 000 omissions (45 % des omissions caractérisées).

d) *Omissions de personnes isolées, omissions de logements, omissions d'immeubles*

L'analyse qui vient d'être donnée de la nature des omissions commises au recensement reste insuffisante; les différentes catégories de population qui ont été distinguées (population comptée à part, ménages collectifs, personnes en déplacement, domestiques et salariés logés, et autres catégories de population isolées à priori) ne représentent en effet que 175 000 omissions certaines et 40 000 omissions probables.

Pour ces catégories de population, il s'agit de personnes qui se trouvent en général *omis isolément*.

Dans tous les autres cas, qui ne correspondent pas à des situations individuelles particulières, il convient de rechercher la nature exacte de l'omission; s'agit-il d'omissions de personnes isolément, d'omissions de tout un logement, ou de tout un immeuble (de un ou plusieurs logements).

Bien que le concept de logement tel qu'il est défini dans le recensement n'ait pas été introduit directement dans l'enquête, le passage du concept purement topographique de « local » retenu pour le dénombrement dans l'enquête ⁽¹⁾ à celui de logement au sens du recensement est possible. On a ainsi pu chiffrer à 170 000 le nombre de logements résidences principales omis (soit 1,1 % des 14 600 000 résidences principales recensées), dont 120 000 logements omis dans un immeuble recensé, et 50 000 logements omis avec l'immeuble qui les contient.

(1) De manière à en faciliter l'exhaustivité, un local était défini comme toute pièce ou ensemble de pièces d'un immeuble desservi par une entrée commune donnant sur l'extérieur ou sur les parties communes de l'immeuble. Une pièce indépendante est ainsi toujours un local, alors qu'au recensement elle ne constituait pas toujours un logement. Tout local sans exception devait être recensé à l'enquête.

	Omissions caractérisées	Omissions probables
Personnes vivant en communautés	80 000	25 000
Catégories retenues à priori	95 000	15 000
Autres	545 000	20 000
	720 000	60 000

La répartition des 565 000 omissions de personnes n'appartenant pas à l'une des deux catégories particulières de population définies précédemment en fonction de la nature de l'omission est la suivante :

Personnes omises isolément	Omission de tout un logement	Omission de tout un immeuble
250 000	200 000	115 000

Aux 170 000 logements résidences principales omises on voit qu'il correspond ainsi 270 000 omissions de personnes (il faut en effet tenir compte de ce que 45 000 personnes ont été omises parce que leur logement a été au recensement considéré à tort comme vacant); la taille moyenne des ménages omis est nettement plus faible que celle de la moyenne des ménages (1,6 contre 3,1). Les omissions de ménages entiers sont d'autant plus rares que la taille du ménage est élevée, et ceci se comprend bien; 45 % des ménages omis en totalité sont des ménages de une personne, et 23 % des ménages de deux personnes (alors que ceux-ci ne représentent respectivement que 19 % et 30 % du nombre total des ménages).

Une analyse plus détaillée a montré que les omissions de logements ou d'immeubles entiers sont les plus fréquentes dans les agglomérations : elles sont très rares dans les communes rurales ou les petites villes où les omissions de personnes isolément représentent 90 % du total des omissions de personnes.

La structure complexe de l'habitat dans les villes explique que les omissions de logements ou d'immeubles entiers y soient plus fréquentes.

Les omissions de personnes isolément restent cependant nombreuses, pour des personnes dont on n'avait pourtant pas pensé à priori que leur situation particulière, par les risques d'omission qu'elle entraînait, méritait d'être étudiée de manière particulière.

Dans l'analyse des catégories de population retenues à priori, nous avons déjà constaté un fort taux d'omission pour les domestiques et salariés logés, les personnes en déplacement, les enfants placés en nourrice, (taux d'omission en moyenne de l'ordre de 10 à 20 %). Il aurait sans doute fallu aller plus loin : une analyse détaillée qu'il a été possible de faire en fonction du lien avec le chef de ménage conduit aux taux d'omission suivants :

Chef de ménage	1,3 %
Conjoint	1,4 %
Enfants	2,0 %
Ascendants	3 %
Autres parents	6 %
Amis	10 %
Domestiques et salariés logés	8 %
Pensionnaires et sous locataires	10 %
Personnes en chambre indépendante	10 %

Il semble donc que les taux d'omission croissent nettement dès que les personnes concernées n'appartiennent pas à ce que l'on pourrait appeler la « famille biologique ».

3. Analyse de la répartition des omissions par catégories d'habitat et régions.

Les constatations précédentes donnent à penser que les erreurs de dénombrement peuvent également être

dues à certaines *caractéristiques locales plus générales*; ainsi il est presque évident intuitivement que la bonne exécution du recensement présente beaucoup plus de difficultés dans les villes que dans les campagnes : la structure de l'habitat, la plus grande mobilité de la population, sa densité, l'absence d'intégration sociale, tout concourt à rendre difficile la tâche de l'agent recenseur dans les villes. Dans les campagnes, où la population est à la fois moins dense et plus stable, il est en général facile à un secrétaire de mairie d'effectuer le recensement des ressortissants de sa commune. A ces différences qui tiennent à la *structure* de l'habitat, il vient s'en superposer qui ont un *caractère régional*; ces deux facteurs ne sont pas indépendants : la région parisienne a un caractère essentiellement urbain; le sud ouest de la France a un caractère plus rural que le midi méditerranéen et ceci suffit à expliquer en partie que la qualité du recensement y soit meilleure.

a) *Le type d'habitat* a été caractérisé dans l'enquête par la catégorie de canton, définie en fonction de la taille de la commune la plus importante à l'intérieur de celui-ci (mais on peut y trouver des communes de moindre importance) (selon les définitions du recensement de 1954, qui ont été utilisées lors du tirage de l'échantillon de l'enquête, antérieur de quelques mois au recensement de 1962 lui-même).

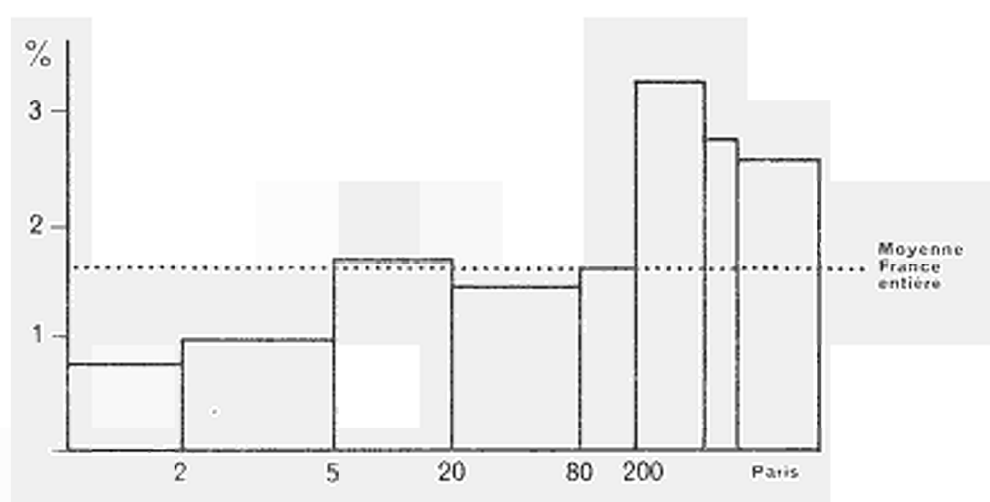
Le tableau qui suit montre clairement que la qualité du recensement est nettement meilleure dans les campagnes que dans les villes, dans les petites agglomérations que dans les grandes.

Nous ne donnons ici que les taux d'omissions (omissions caractérisées et omissions probables); une autre enquête, plus adaptée à l'étude des doubles comptes, devra permettre d'obtenir des données plus détaillées sur ceux-ci à la fin de 1965.

Pour schématiser les résultats mis en évidence par le tableau suivant, nous pouvons représenter sur un graphique la part que représentent proportionnellement dans l'ensemble des omissions les diverses catégories de canton rangées par ordre de taille croissante (les ordonnées sont bien évidemment proportionnelles à ce taux d'omission et les abscisses à la part que représente chaque catégorie dans la population totale).

Structure des omissions

Catégorie de canton	Taux (en %)	Nombre
Entièrement ruraux	0,8	55 000
Avec ville de moins de 5 000 habitants	1,0	95 000
Avec ville de 5 000 à moins de 20 000 habitants	1,7	125 000
Avec ville de 20 000 à moins de 80 000 habitants	1,5	120 000
Avec ville de 80 000 à moins de 200 000 habitants	1,6	45 000
Avec ville ou agglomération de 200 000 habitants ou plus	3,3	160 000
Zone suburbaine de Paris	2,8	50 000
Agglomération de Paris	2,6	130 000
Ensemble	1,65	780 000



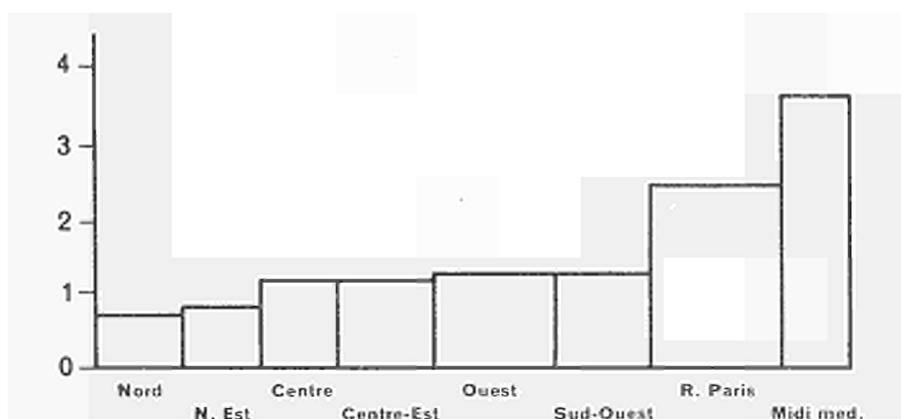
L'analyse des omissions par région met également en évidence des différences dans la qualité du recensement qui sont assez marquées; certes, ces différences ne sont pas assez indépendantes de celles déjà constatées entre les catégories d'habitat, car elles sont liées au caractère plus ou moins rural ou urbain de la région. Il semble cependant qu'il y ait des variations purement régionales dans la qualité du recensement, qui se traduisent par un taux d'omission assez faible dans le Nord et le Nord-Est et un taux relativement très élevé dans la région parisienne ou le Midi Méditerranéen (Corse non comprise), comme le montre le tableau ci-contre :

Structure des omissions

	Taux (en %)	Nombre
Région parisienne	2,7	215 000
Nord	0,8	40 000
Ouest	1,4	105 000
Nord-Est	0,9	45 000
Centre	1,3	55 000
Centre-Est	1,3	80 000
Midi-Méditerranéen	3,9	165 000
Sud-Ouest	1,4	75 000
Ensemble	1,65	780 000

Compte tenu des différences de population entre les différentes régions, la structure des omissions peut être représentée graphiquement de la manière sui-

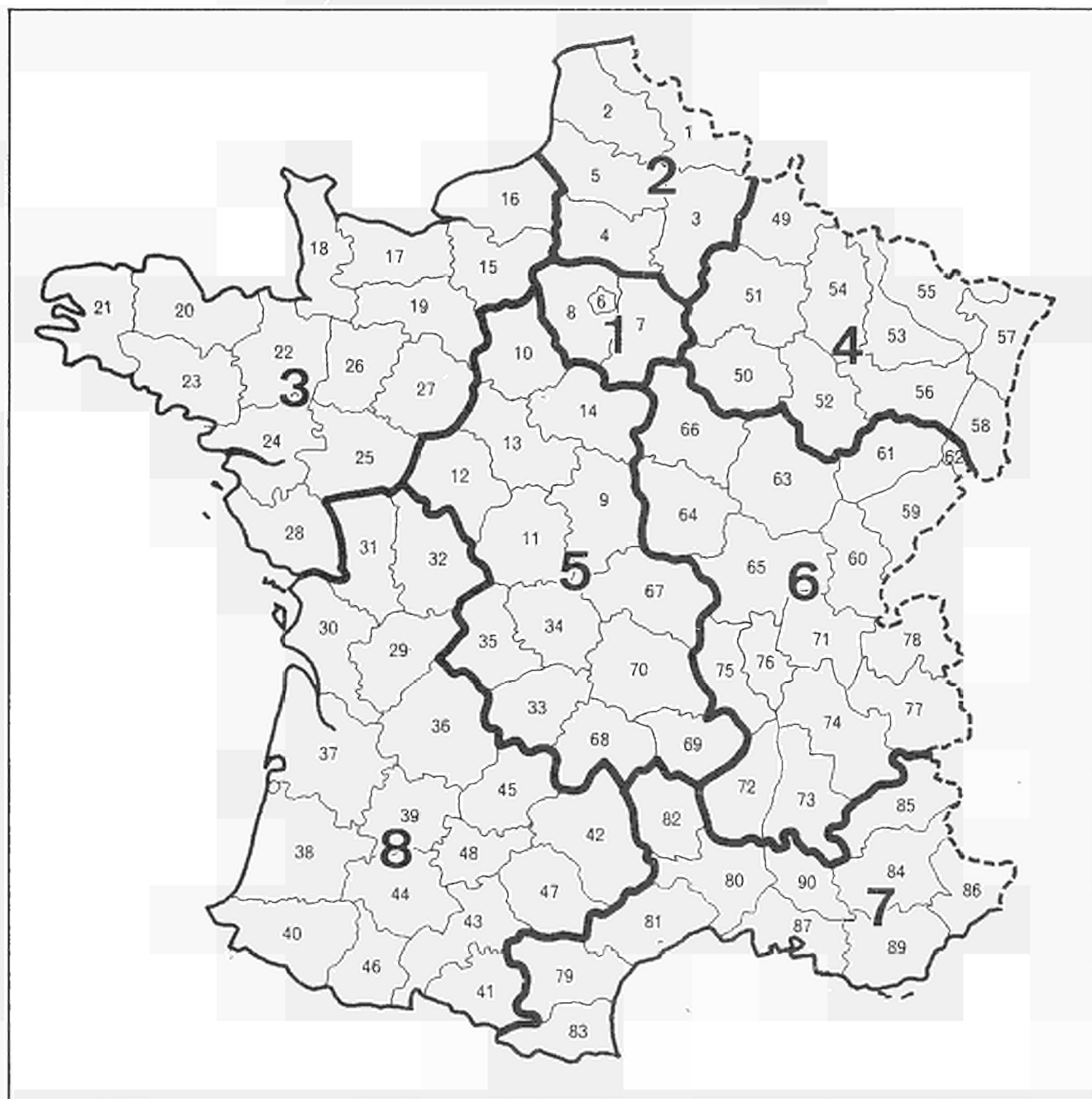
vante (en classant de gauche à droite les régions par taux d'omission croissant).



La région parisienne et le Midi-Méditerranéen, qui représentent 26 % de la population totale, représen-

tent 380 000 omissions, soit près de la moitié du total de celles-ci.

LES HUIT REGIONS DE SONDAGE (octobre 1960)



<p>1 - Région parisienne</p> <p>2 - Nord</p> <p>3 - Ouest</p> <p>4 - Nord-Est</p> <p>5 - Centre</p> <p>6 - Centre-Est</p> <p>7 - Midi Méditerranéen</p> <p>8 - Sud-Ouest</p>	<p>France «Dessèlements»</p> <p>1 Nord</p> <p>2 Pas-de-Calais</p> <p>3 Aisne</p> <p>4 Oise</p> <p>5 Somme</p> <p>6 Seine</p> <p>7 Seine-et-Marne</p> <p>8 Seine-et-Oise</p> <p>9 Cher</p> <p>10 Eure-et-Loir</p> <p>11 Indre</p> <p>12 Indre-et-Loire</p> <p>13 Loir-et-Cher</p>	<p>14 Loiret</p> <p>15 Eure</p> <p>16 Seine-Maritime</p> <p>17 Calvados</p> <p>18 Manche</p> <p>19 Orne</p> <p>20 Côtes-du-Nord</p> <p>21 Finistère</p> <p>22 Ille-et-Vilaine</p> <p>23 Morbihan</p> <p>24 Loire-Atlantique</p> <p>25 Maine-et-Loire</p> <p>26 Mayenne</p> <p>27 Sarthe</p> <p>28 Vendée</p> <p>29 Charente</p>	<p>30 Charente-Maritime</p> <p>31 Sévres (Deux)</p> <p>32 Vienne</p> <p>33 Corrèze</p> <p>34 Creuse</p> <p>35 Vienne (Haute-)</p> <p>36 Dordogne</p> <p>37 Gironde</p> <p>38 Landes</p> <p>39 Lot-et-Garonne</p> <p>40 Pyrénées (Basses-)</p> <p>41 Ariège</p> <p>42 Aveyron</p> <p>43 Garonne (Haute-)</p> <p>44 Gers</p> <p>45 Lot</p>	<p>46 Pyrénées (Hautes-)</p> <p>47 Tarn</p> <p>48 Tarn-et-Garonne</p> <p>49 Ardennes</p> <p>50 Aube</p> <p>51 Marne</p> <p>52 Marne (Haute-)</p> <p>53 Meurthe-et-Moselle</p> <p>54 Meuse</p> <p>55 Moselle</p> <p>56 Vosges</p> <p>57 Rhin (Bas-)</p> <p>58 Rhin (Haut-)</p> <p>59 Doubs</p> <p>60 Jura</p>	<p>61 Saône (Haute-)</p> <p>62 Territoire de Belfort</p> <p>63 Côte-d'Or</p> <p>64 Nièvre</p> <p>65 Saône-et-Loire</p> <p>66 Yonne</p> <p>67 Allier</p> <p>68 Cantal</p> <p>69 Loire (Haute-)</p> <p>70 Puy-de-Dôme</p> <p>71 Ain</p> <p>72 Ardèche</p> <p>73 Drôme</p> <p>74 Isère</p> <p>75 Loire</p>	<p>76 Rhône</p> <p>77 Savoie</p> <p>78 Savoie (Haute)</p> <p>79 Aude</p> <p>80 Gard</p> <p>81 Hérault</p> <p>82 Lozère</p> <p>83 Pyrénées-Orientales</p> <p>84 Basses-Alpes</p> <p>85 Alpes (Hautes-)</p> <p>86 Alpes-Maritimes</p> <p>87 Bouches-du-Rhône</p> <p>88 Corse</p> <p>89 Var</p> <p>90 Vaucluse</p>
--	---	---	--	--	---	---

RECENSEMENT DE 1962 - PRECISION DU DENOMBREMENT

Département : _____
Commune : _____
N° district : _____
Nom de l'Enquêteur : _____

Imprimé
A

ETAT DESCRIPTIF DE L'AIRE DE CONTROLE

ENUMERATION DES IMMEUBLES

En principe, une ligne par immeuble

Toutefois, certains immeubles doivent être décomposés en «corps de bâtiment» ou en «escalier», on utilisera dans ce cas une ligne pour chacun des corps de bâtiment ou escalier - On tracera un trait plus épais pour séparer deux immeubles (voir l'instruction aux enquêteurs).

RECENSEMENT DE 1962 - PRECISION DU DENOMBREMENT

Département : _____
Commune : _____
N° district : _____
Nom de l'Enquêteur : _____

Imprimé
B

ETAT DESCRIPTIF D'IMMEUBLE

(On remplira un état pour chaque immeuble - sans exception - faisant partie de l'aire de contrôle)

Référence : Numéro de la (ou des) ligne de l'Etat descriptif de l'aire de contrôle attribué
à l'immeuble (et figurant à la colonne 1 de l'imprimé A) : N°(s) _____

N.B. : Lorsque l'immeuble se décompose en plusieurs corps de bâtiment (plusieurs lignes sur l'état descriptif de l'aire), on ne remplira qu'un seul état descriptif d'immeuble.

Chaque immeuble sera détaillé par LOCAL (et pour chaque corps de bâtiment s'il y a lieu)

on utilisera une ligne par local quel que soit son usage

non) UTILISES (en tout ou en partie) A DES USAGES AUTRES QUE L'HABITATION			CONTROLE
1 chambre de bonne mixte..., bureaux,	<u>ACTIVITE - PROFESSION EXERCEE</u> (Ex: Artisanat de....., Profession d'Avocat....., commerce de demi-gros de....., atelier de fabric. de réparation de.....etc... siège social d'une entreprise dont l'activité est.....) (6)	<u>DENOMINATION EXACTE DE L'UTILISATEUR</u> 1 Indiquer par ex: Docteur X, Société Z, Cabinet R... Entreprise S.... (et le cas échéant l'adresse du siège social ou de la maison mère)	Numéro de la ou des FL attribuée au local, au recensement de la Population Mention NEANT si n'existe pas (8)
		2 Numéro d'identification de l'établissement à la Sécurité Sociale (et non le numéro personnel de l'utilisateur) (7)	
		1	
		2 N°	
		1	
		2 N°	
		1	
		2 N°	
		1	
		2 N°	
		1	
		2 N°	
		1	
		2 N°	
		1	
		2 N°	
		1	
		2 N°	
		1	
		2 N°	
		1	
		2 N°	

OBSERVATIONS SUR LE CONTENU DE LA COLONNE CONTROLE

RECENSEMENT DE 1962 - PRECISION DU DENOMBREMENT

Département : _____
 Commune : _____
 N° district : _____
 Nom de l'Enquêteur : _____

FEUILLE DESCRIPTIVE D'UN LOCAL A USAGE D'HABITATION
 (présentement habité ou non)

Inprimé
C

Numéro de la feuille de local A B	Logement occupé par _____ Adresse très précise _____
--	---

CATEGORIE DE LOCAL D'HABITATION (cocher la case appropriée)

- 0 logement ordinaire
- Pièces indépendantes dont le titulaire occupe aussi un autre logement dans l'immeuble
 Cette (ou ces) pièce est utilisée pour son usage personnel comme chambre, débarras, etc...
 ou pour loger un membre de sa famille, un domestique ou un salarié logé
- 1 Cette (ou ces) pièce est louée ou sous-louée à des tiers ou à des pensionnaires
- 2 logement constitué par une pièce indépendante non rattachée à un logement ordinaire (ex : ancienne chambre de bonne dissociée de l'appartement auquel elle était rattachée)
- 3 chambre(s) meublée(s) dans un hôtel ou une maison meublée (garni)
- 4 construction provisoire à usage d'habitation
- 5 habitation de fortune (Préciser) _____
- 6 logement vacant (sans occupants, disponible ou non pour la vente ou la location)
- 7 résidence secondaire (et logement loué ou à louer pour des séjours touristiques)
- 8 roulotte ou autre habitation mobile
- 9 ménage collectif (Indiquer sa nature) _____

Numéro de la feuille de local du logement ordinaire auquel elle(s) se rattache(nt)

 A B

Décrivez ici les cas que vous hésitez à classer dans la liste ci-dessus _____

SITUATION DANS L'IMMEUBLE (Bâtiment..... - escalier.....)

- au sous-sol
- au rez-de-chaussée
- à un étage courant (Préciser: Numéro de l'étage et situation - ex: 3e Gauche) _____
- au dernier étage lorsque celui-ci n'est pas du type de l'étage courant
- occupe l'immeuble ou la maison en entier

Existe-t-il des pièces indépendantes du logement, mais qui lui soient rattachées (exemple : chambres de bonnes ou de domestiques, etc...) quel que soit leur usage ? Qui les occupe ou à quoi servent-elles ? _____	OUI - NON _____ A B
--	--------------------------------

Le logement est-il également utilisé - en tout ou partie - et même accessoirement - pour l'exercice d'une profession ou d'une activité artisanale, commerciale, industrielle, agricole ou autre ?

OUI NON

Si OUI, indiquez de manière précise, sur l'Etat descriptif d'immeuble, en le contrôlant, la nature de ces activités et la dénomination exacte de l'utilisateur

LISTE DES

- Ⓐ 1) Quelles sont les personnes qui habitent dans ce logement ? (même si elles sont temporairement absentes)
 2) Y a-t-il d'autres personnes qui logent ici actuellement ? (même temporairement)

NOM de FAMILLE et PRENOM (1)	SEXE (2)	PARENTE ou relation avec le chef de ménage (3)	DATE de naissance (4)	Cette personne loge-t-elle parfois AILLEURS	
				Réponse (5)	Caractère de cette (ou ces) Résidence principale, ou de lieu à la mer, à la campagne, Cité etc.. (6)
1				OUI - NON	
2				OUI - NON	
3				OUI - NON	
4				OUI - NON	
5				OUI - NON	
6				OUI - NON	
7				OUI - NON	
8				OUI - NON	
9				OUI - NON	
10				OUI - NON	
11				OUI - NON	
12				OUI - NON	

Avez-vous un (ou des) domestique(s), gens de maison (bonnes....etc.) logé(s) chez vous ? OUI - NON
 Avez-vous un (ou des) apprenti(s) ou salarié(s) à votre service et que vous logez ? OUI - NON

Pour toute réponse OUI à l'une des 4 questions, vérifiez que la

Ⓑ Porter, dans le tableau suivant les personnes qui ont été recensées dans ce logement en mars 1962 (cf. : F.L.)

NOM de FAMILLE et PRENOM	SEXE	PARENTE ou relation avec le chef de ménage	DATE de naissance	Indiquez

Ⓒ En outre, considérez-vous que certaines personnes (membres de la famille, salariés logés ou autres) auraient

NOM de FAMILLE et PRENOM	SEXE	PARENTE ou relation avec le chef de ménage	DATE de naissance	PRECISER leur CAS (militaire, étudiant,

CONTROLE

S'assurer auprès de chaque ménage, de la réponse à chacun des points suivants :

L'une des personnes de votre (ménage) famille est-elle :

	OUI	NON
1 - En voyage d'affaires (voyageurs de commerce ou en déplacement de travail par ex.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 - En voyage d'agrément (congé, vacances.....)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 - En séjour dans un hôpital, une clinique, une maternité, ou même en ville d'eaux (cure)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 - Malade en sanatorium, préventorium, aérium	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 - Militaire du contingent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 - Militaire de carrière en garnison dans une autre ville (Métropole ou hors Métropole)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7 - Elève interne ou en pension - Etudiant logé ailleurs (Cité Universitaire, hôtels, chez l'habitant)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8 - Enfant placé en nourrice	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9 - Enfant placé (comme apprenti, salarié ou gens de maison) et logé par son employeur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10 - Vieillard, infirme, aliéné placé dans un hospice, une maison de retraite, un asile....etc...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11 - Autre personne en absence de longue durée (Préciser _____)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Une réponse OUI à l'une des 11 questions précédentes indique à l'enquêteur qu'il y a lieu d'INSCRIRE CES PERSONNES dans le tableau C (si elles n'ont pas déjà été inscrites dans l'un quelconque des tableaux A, B, C).

CONTROLE DE LA CATEGORIE DE LOGEMENT

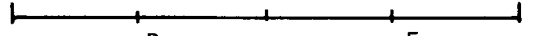
L'enquêteur se servira du tableau suivant pour comparer :

- la catégorie de local d'habitation observée à l'enquête (Page 1 de la présente feuille) = CLE
- et - la catégorie de logement indiquée à la 1ère page de la feuille de logement au recensement = CLR

CLE =	CLR =
<i>Quand CLE est différent de CLR, précisez ce qui, à votre avis, justifie cette (ou ces) différence :</i>	
TRES IMPORTANT : lorsqu'une feuille de CLE correspond à plusieurs feuilles de logement au recensement, en indiquer les raisons (voir instruction aux enquêteurs)	

PLAN

ECHELLE



	A	B	C	D	E
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Annexe Méthodologique

Nous nous proposons de décrire ici les principales conventions qui ont été utilisées dans le traitement au niveau individuel des données recueillies dans l'enquête contrôle.

L'explication de ces conventions permettra de mieux appréhender concrètement les principes retenus pour l'exploitation de l'enquête.

A. Pondération de l'aire.

Dans la constitution des aires, la primauté a été accordée à la possibilité d'une identification sans ambiguïté sur le terrain. De ce fait la taille théorique exacte de chacune des aires n'a pas toujours été strictement respectée. Sur chaque bulletin individuel, la taille théorique de l'aire et la taille effective ont été mentionnées de manière à permettre une estimation par le quotient.

Par ailleurs, les aires étaient réparties en 3 strates différentes, en fonction des probabilités de tirage qui avaient été retenues : le taux de sondage général retenu était de 1/1 000, sauf pour les unités urbaines de plus de 80 000 habitants, où le taux de sondage retenu était de 1/500; un taux de sondage de 1/250 a été retenu pour les agglomérations les plus importantes, en général sièges d'une Direction Régionale de l'I.N.S.E.E., à l'exception de celles de Paris, Lyon, Marseille et Lille, où le taux de sondage était de 1/500. On voit que les taux de sondage retenus étaient les plus élevés là où précisément les erreurs de recensement sont les plus fréquentes. Au niveau individuel, les pondérations 1, 2 ou 4 ont bien évidemment été introduites pour que l'échantillon final soit représentatif.

L'enquête contrôle du recensement était partie intégrante des opérations du recensement : par définition il ne pouvait y avoir de refus de répondre à l'enquête, ce qui enlevait toute nécessité de redressement des non-réponses.

B. Affectation à l'aire.

Un individu déterminé devait être compté dans l'enquête, ou encore « affecté à l'aire » à une certaine date si à cette date il pouvait être rattaché à une résidence principale ou secondaire située dans cette aire.

C. Date de référence.

Du fait de la mobilité des individus, on a été amené à retenir deux dates de référence : celle du recensement (7 mars 1962) et celle de la date effective de l'enquête. Du fait de la difficulté de reconstituer dans un certain nombre de cas douteux, avec erreurs possibles ou probables, la situation exacte à la date du recensement, la date de référence retenue a été celle de l'enquête.

Un individu pouvait être affecté à une aire déterminée :

- aux deux dates;
- à celle du recensement seulement (déménagement ou décès depuis);
- à celle de l'enquête seulement (emménagement ou naissance);
- voire, dans certains cas, à aucune de ces deux dates.

D. Pondération individuelle.

Un individu déterminé pouvait être compté dans l'enquête autant de fois qu'il était possible de le rattacher à une résidence principale ou secondaire en un endroit quelconque, c'est-à-dire de l'affecter à une aire. Pour que la représentation soit correcte, il fallait compter le nombre d'affectations possibles, afin de pondérer les observations correspondantes par 1, 1/2, 1/3,... suivant le cas. Le nombre de fois où un individu pouvait être affecté à une aire quelconque a donc été enregistré.

E. Nombre de résidences.

Le nombre d'adresses où un individu a pu être recensé va au delà de celles auxquelles il a pu être affecté. Ceci est le cas notamment de toutes les personnes qui se trouvent résider dans un établissement de population comptée à part ou en communauté.

Indépendamment de toutes les règles retenues pour l'affectation des individus, on notait chacune de toutes les adresses possibles où un individu avait pu être recensé, on recherchait s'il y avait été recensé ou non, s'il fallait qu'il y soit ou non recensé.

Références bibliographiques

INTERNATIONAL

S. Nair : Population census Post Enumeration survey, ECAFE Bangkok, septembre 1960, Field checks on accuracy of population and vital statistics, UN Economic Commission for Africa, Seminar on population problems in Africa, Le Caire 1962.

MIDZUNO : On the post enumeration survey. Bulletin de l'Institut international de Statistique, 1960.

MURTHY : Assessment and control of non-sampling errors in censuses and surveys. SANKHYA, Décembre 1963.

ALLEMAGNE

Das Program der Volks und Berufszählung 1961. *Wirtschaft und Statistik* 4, 1961.

H. Schubnell — Das Kontrollsystem bei der Volks- und Berufszählung 1961 — Statistisches Bundesamt.

ETATS-UNIS

Hansen, Hurwitz et Bershad — Measurement of Errors in censuses and surveys — *Bulletin de l'Institut International de Statistique* — 1961.

Elis Marks, WP Maudlin, H. Ninelson — The post enumeration survey of the 1950 Census *Journal of the American Statistical Association* — Juin 1953.

Carter — Tests of completeness of enumeration, *Foreign census research memorandum n° 58-1* US Department of the Census.

The post enumeration survey 1950 — An evaluation of the 1950 Census of population and housing — *Technical paper n° 4* — US Bureau of the Census — 1960.

FRANCE

G. Vangrevelinghe — Recensement démographique de 1962 — Etude de l'exhaustivité du dénombrement — *Etudes statistiques n° 4* — octobre-décembre 1963.

GRANDE-BRETAGNE

B. Benjamin — Statistical problems connected with the 1961 Population Census *Journal of the Royal Statistical Society*, series A, volume 123, Part 4, 1960.

INDE

Mahalanobis et Lahiri — Analysis of errors in censuses and surveys with special reference to experience in India — *Bulletin de l'Institut International de Statistique* 1961 et *Sankhya* 1961.

YUGOSLAVIE

S.S. Zarkovic — Sampling methods in the Yugoslav 1953 Census of population *Journal of the American Statistical Association* — septembre 1955.

Macura et Balaban — Yugoslavian experience in evaluation of population censuses and sampling — *Bulletin de l'Institut International de Statistique* 38-2 — 1961.

M. Pirocanac — Kontrola potpunosti popisa stanovitsa 31 — III — 1961. *Statistika Revija* — Août 1962.

Zusammenfassung

Untersuchung über die Vollständigkeit der Volkszählung in Frankreich 1962

Anlässlich der 1962 in Frankreich durchgeführten Volkszählung hat das Nationale Institut für Statistik und Wirtschaftsuntersuchungen (INSEE) zum ersten Male ein Programm für eine systematische Qualitätskontrolle der Volkszählung aufgestellt. Die Untersuchungen, deren Methoden und Ergebnisse hier dargelegt werden, fallen mit anderen zur Zeit laufenden Studien in den Rahmen dieses Programms.

Die Bedeutung, die der Untersuchung über Genauigkeit und Vollständigkeit der Volkszählungen zukommt, wird in zahlreichen Ländern anerkannt, und die Ergebnisse der französischen Studien können nutzbringend mit den Resultaten ähnlicher Untersuchungen in den Vereinigten Staaten, Deutschland, Großbritannien usw. verglichen werden.

Hauptzweck der Probeerhebung (die beinahe unmittelbar nach Beendigung der Zählungsaktionen durchgeführt wurde) war es, einen Überblick über Umfang und Art der bei der Registrierung begangenen Fehler (hauptsächlich Auslassungen) zu gewinnen.

Die Durchführung von Ermittlungen dieser Art ist mit spezifischen Schwierigkeiten verbunden; tatsächlich ist zu befürchten, daß für viele Auslassungen und Überschneidungen systematische Gründe maßgebend sind, die auch bei den Kontrollerhebungen in Erscheinung treten und dadurch zu einer erheblichen Unterschätzung der Zahl der Fälle führen können. Die Hauptschwierigkeit liegt somit in der Anwendung einer Methode, die eine möglichst vollständige Erfassung der zu zählenden Bevölkerung erlaubt, und demnach in der Aufstellung einer Formel für die korrekte Extrapolation der Ergebnisse.

Die Lösung bestand darin, nach Regeln, die von denen der Zählung unabhängig waren, eine neue Registrierung in einer repräsentativen Auswahl von Gebieten des französischen Mutterlandes vorzunehmen.

Die Ergebnisse ermöglichten eine Schätzung des Umfangs der Auslassungen bei der Volkszählung 1962 auf etwa 750 000 Personen = 1,6 % der gezählten Personen. Die durch die Ermittlungen festgestellten Überschneidungen belaufen sich auf etwa 200 000, aber die Flächenerhebung war zweifellos nicht für ihre korrekte Analyse geeignet. Eine unmittelbare Analyse der Zählungsunterlagen wird in dieser Frage bald bessere Ergebnisse zeitigen.

Es war außerdem möglich, Art und Quelle der festgestellten Fehler nach den wesentlichen soziologisch-demographischen Merkmalen (Alter und Geschlecht der Einzelpersonen, Größe des Haushalts, Wohnungsart, Wohngegend) oder nach den Situationen zu analysieren, die — wie man a priori glaubte — den Fehlern zugrunde liegen konnten, wie Vorhandensein mehrerer Wohnsitze, Zugehörigkeit zu einigen besonderen Bevölkerungskategorien, Bündelung bei den Fehlern. Auf diese Weise ließ sich die Zahl der bei der Zählung ausgelassenen Hauptwohnsitze mit 170 000 angeben.

Es liegt auf der Hand, daß die Lehren, die sich aus dieser detaillierten Analyse ziehen lassen, bei der Ausarbeitung der Modalitäten für die nächsten Volkszählungen wertvolle Dienste leisten werden.

Résumé

Étude de l'exhaustivité du recensement démographique de la France en 1962

A l'occasion du recensement démographique effectué en France en 1962, l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) a mis au point pour la première fois un programme de contrôle systématique de la qualité des opérations du recensement de la population. L'enquête dont les méthodes et les résultats sont exposés ici s'inscrit, avec d'autres études actuellement en cours, dans le cadre de ce programme.

L'intérêt porté à l'étude de la précision et de l'exhaustivité des recensements démographiques est du reste partagé par de nombreux pays, et les résultats obtenus dans les études menées en France pourront utilement être confrontés à ceux d'études analogues effectuées aux Etats-Unis, en Allemagne, en Grande-Bretagne, en Yougoslavie.

L'objectif essentiel de l'enquête (qui a été réalisée presque immédiatement après la fin des opérations de collecte du recensement) était d'obtenir une estimation de l'ampleur et de la nature des erreurs commises au dénombrement (essentiellement des omissions).

L'exécution d'une enquête de ce type présente des difficultés qui lui sont propres; on peut craindre en effet qu'une grande partie des omissions et des doubles comptes n'aient des causes systématiques, lesquelles continueraient de jouer lors de l'enquête, conduisant ainsi à une sous-estimation importante de leur nombre. La principale difficulté est ainsi apparue résider dans la mise en œuvre d'une méthode de couverture aussi complète que possible de la population à recenser et, partant, dans la construction d'une formule d'extrapolation correcte des résultats obtenus.

La solution retenue a été de procéder, selon des règles indépendantes de celles du Recensement, à un nouveau dénombrement dans un échantillon d'aires représentatif de la France métropolitaine.

Les résultats obtenus ont permis d'estimer à près de 750 000 personnes, soit 1,6 % des personnes recensées, l'ampleur des omissions dans le recensement de la population de 1962. Les doubles comptes décelés par l'enquête sont au nombre de 200 000 environ, mais l'enquête aérolaire n'était sans doute pas adaptée à leur étude correcte. Une étude directe sur les documents du recensement donnera prochainement de meilleurs résultats sur ce point.

Il a également été possible d'analyser la nature et la source des erreurs décelées, en fonction des principales caractéristiques socio-démographiques (âge et sexe des individus, lien, taille du ménage, type d'habitat, région de résidence) ou encore des situations qui, pensait-on à priori, pouvaient être la cause d'erreurs: existence de plusieurs résidences, appartenance à certaines catégories particulières de la population, effets de grappes dans les erreurs: il a ainsi été possible de chiffrer à 170 000 le nombre des résidences principales omises dans le recensement.

Les enseignements qu'il est possible de tirer de cette analyse détaillée seront, on le conçoit aisément, très précieux lors de la mise au point des modalités des prochains recensements de la population.

Riassunto

Studio sulla completezza del censimento demografico della Francia nel 1962

In occasione del censimento demografico effettuato in Francia nel 1962 l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) ha stabilito per la prima volta un programma di controllo sistematico della qualità delle operazioni del censimento. L'indagine — i cui metodi e risultati sono esposti in questo testo — rientra con altri studi attualmente in corso, nel quadro di tale programma.

L'interesse rivolto allo studio della precisione e della completezza dei censimenti demografici è del resto condiviso da numerosi paesi e i risultati degli studi della Francia potranno essere utilmente raffrontati con quelli di studi analoghi svolti negli Stati Uniti, in Germania, in Gran Bretagna, in Jugoslavia, ecc.

L'obiettivo principale dell'indagine (condotta quasi subito dopo la fine delle operazioni di raccolta del censimento) era di ottenere una stima del volume e della natura degli errori commessi nel computo (con particolare riguardo alle omissioni).

L'esecuzione di una indagine di tal genere presenta le sue difficoltà specifiche; è da temere, infatti, che una gran parte delle omissioni e dei doppi conteggi abbiano cause sistematiche che continuerebbero ad esser risentite nel corso dell'indagine, portando ad una sottovalutazione importante del loro numero. La principale difficoltà sembrava quindi consistere nell'adozione di un metodo che coprisse in maniera completa la popolazione da rilevare e, conseguentemente, nella creazione di una formula di estrapolazione corretta dei risultati ottenuti.

Si è infine scelta la soluzione di procedere, seguendo norme indipendenti da quelle del censimento, ad un nuovo computo in un campione di zone rappresentativo della Francia metropolitana.

I risultati ottenuti hanno permesso di stimare a circa 750 000 persone, (ossia l'1,6 % delle persone censite) il numero delle

omissioni nel censimento demografico del 1962. I doppi conteggi individuati dall'indagine sono circa 200 000, ma l'indagine per zone non era senza dubbio adatta ad un loro studio corretto. Uno studio diretto dei documenti del censimento fornirà prossimamente migliori risultati su questo punto.

È stato inoltre possibile analizzare la natura e la fonte degli errori individuati in funzione delle principali caratteristiche sociodemografiche (età e sesso degli individui, legame, numero dei membri della famiglia, tipo di abitato, regione di residenza) nonché delle situazioni che già a priori si riteneva che potessero esser causa di errori: esistenza di più di una residenza, appartenenza a talune categorie particolari di popolazione, errori a catena. Si è così potuto a 170 000 il numero delle residenze principali omesse nel censimento.

Gli insegnamenti che si possono trarre da tale analisi dettagliata saranno, com'è facile comprendere, molto preziosi per la futura elaborazione delle modalità dei censimenti della popolazione.

Samenvatting

Onderzoek naar de volledigheid van de Franse volkstelling van 1962

Ter gelegenheid van de in 1962 in Frankrijk gehouden volkstelling heeft het Nationaal Instituut voor de Statistiek en Economische Studies (INSEE) voor de eerste maal een programma voor de systematische controle van de kwaliteit van de volkstelling opgesteld. De enquête waarvan de methodes en de resultaten hier worden uiteengezet, kan tezamen met enige andere momenteel nog lopende studies in het kader van dit programma worden gerangschikt.

Het belang dat aan het onderzoek naar de nauwkeurigheid en de volledigheid van de volkstellingen wordt gehecht, wordt overigens gedeeld door talrijke landen, en de resultaten van de in Frankrijk verrichte studies zouden nuttig kunnen worden, vergeleken met de resultaten van soortgelijke studies welke in de Verenigde Staten, Duitsland, Groot-Brittannië, Joegoslavië, enz. zijn verricht.

Het voornaamste doel van de enquête (welke vrijwel onmiddellijk na het beëindigen van de tellingswerkzaamheden is gehouden) was het verkrijgen van een beeld van de omvang en de aard van de bij het tellen begane vergissingen (voornamelijk weglatingen).

Aan het uitvoeren van een enquête van deze soort zijn specifieke moeilijkheden verbonden; gevreesd mag worden dat een groot deel van de weglatingen en dubbelstellingen systematische oorzaken hebben, welke ook bij het controle-onderzoek zouden blijven optreden, zodat hun aantal belangrijk zou worden onderschat. De voornaamste moeilijkheid bleek dus te liggen in het uitwerken van een methode welke de te tellen bevolking zo volledig mogelijk dekt, en — uitgaande van deze methode — in het opstellen van een formule voor de juiste extrapolatie van de verkregen resultaten.

De aangehouden oplossing bestond daarin dat er volgens regels onafhankelijk van die van de telling zou worden overgegaan tot een nieuwe telling in een representatieve steekproef van gebieden van het Franse moederland.

Met de verkregen resultaten was het mogelijk de omvang van de weglatingen in de volkstelling van 1962 op ongeveer 750 000 personen, d.w.z. 1,6 % van de getelde personen te ramen. De met deze enquête aangetoonde gevallen van dubbel tellen bedragen ongeveer 200 000, maar deze areaalenquête was zonder twijfel niet geschikt voor een juiste analyse. Een rechtstreekse studie van de tellingsdocumentatie zal binnenkort betere resultaten op dit punt verschaffen.

Bovendien was het mogelijk de aard en de oorsprong van de vastgestelde fouten te analyseren volgens de voornaamste sociologisch-demografische kenmerken (leeftijd en geslacht, grootte van het gezin, soort woning, gebied van de woonplaats) ofwel volgens situaties welke — naar men a priori meende — de oorzaak van de vergissingen konden zijn nl. het bestaan van verscheidene woonplaatsen, het behoren tot bepaalde bijzondere bevolkingscategorieën, het effect van bundeling bij de vergissingen : op deze wijze was het mogelijk het aantal in de telling weggelaten voornaamste woonplaatsen op 170 000 vast te stellen.

De leringen welke uit deze gedetailleerde analyse kunnen worden getrokken zullen, zoals men gemakkelijk kan begrijpen, zeer waardevol zijn bij het uitwerken van de methodes voor de komende volkstellingen.

Summary

Inquiry into the completeness of the French population census of 1962

At the time of the French population census of 1962, the Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) worked out for the first time a systematic programme for checking the efficacy of the operation. The programme includes several studies, some of them still in hand; the methods and results of one of these are the subject of this article.

Many countries are interested in studying the accuracy and completeness of population censuses, and the results of the studies carried out in France could usefully be compared with those of similar studies in the United States, Germany, Great Britain, Yugoslavia, etc.

The principal purpose of the inquiry (which was carried out almost as soon as the work of collecting the census data was complete) was to assess the scope and the nature of the errors made in taking the census (mainly omissions).

An inquiry of this type presents practical difficulties of its own; there is a risk that many of the cases of omission and double counting are due to causes inherent in the system employed and that these will affect the inquiry as well as the census, with the results that the number of such cases will be greatly underestimated. The chief difficulty, then, has been to find a method of covering as completely as possible the population of which a census is being taken, and a correct formula for extrapolation of the results obtained.

The solution adopted was to carry out a new count, based on rules independent of those used for the main census, for a representative sample of areas in metropolitan France.

From the results it was possible to estimate the number of persons omitted from the 1962 population census at 750 000, or 1.6 % of the persons included. Cases of double-counting brought to light numbered about 200 000, but the inquiry into sample areas was probably hardly such as to allow of accurate study on this point; direct study of the census documents will soon produce better results.

It was also possible to analyse the nature and source of the errors revealed, according to the main socio-demographic characteristics (age and sex of individuals, family relationship, size of household, type of dwelling, region of residence) or according to the factors which it was assumed would be likely causes of error : more than one place of residence, membership of certain particular population categories, effects of clusters on errors. In this way it was possible to put the figure of main places of residence omitted in the census at 170 000.

The lessons that can be learnt from this detailed study will obviously be very useful when the time comes to decide on the methods to be adopted in future population censuses.

Die Finanzierungsrechnung im internationalen Vergleich

M. ZUCKER,
Statistisches Amt der Europäischen Gemeinschaften

Entstehung und Ziele der Finanzierungsrechnung • Die Finanzierungsrechnung als Teil der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung • Der Aufbau der Finanzierungsrechnung • Fragen der Verbuchung in der Finanzierungsrechnung • Formen der Darstellung der Finanzierungsrechnung

Vorbemerkung

Im Gegensatz zu der laufenden Berichterstattung über die wirtschaftlichen Konten der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung ⁽¹⁾ ist in den Veröffentlichungen des Statistischen Amtes der Europäischen Gemeinschaften von ihrer Ergänzung durch die Konten der Veränderung der finanziellen Aktiva und Passiva, der sog. Finanzierungsrechnung, bisher noch nicht die Rede gewesen. Dies hängt damit zusammen, daß auf diesem Teilgebiet der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung auf europäischer und internationaler Ebene die Arbeiten erheblich weniger weit fortgeschritten sind. Das SAEG hat den Entwurf eines Finanzierungskontenschemas mit den dazugehörigen Definitionen usw. ausgearbeitet, der gegenwärtig im Rahmen der dafür zuständigen Arbeitsgruppe von den Sachverständigen der Länder der Gemeinschaft diskutiert und in eine endgültige Fassung gebracht wird; konkrete

Zahlenangaben werden erst in einem späteren Stadium verfügbar sein.

Die vorliegende Studie soll nicht einen Bericht über den gegenwärtigen Stand der Diskussionsergebnisse in der Arbeitsgruppe geben, sondern ganz unabhängig davon einige wesentliche Fragen aufzeigen, die sich bei der Aufstellung einer Finanzierungsrechnung insbesondere im Vergleich zwischen verschiedenen Ländern stellen. Der vorliegende Artikel ist die überarbeitete Fassung eines Vortrages, den der Verfasser am 4. Januar 1965 auf einem vom Österreichischen Gewerkschaftsbund organisierten Seminar über „Das Währungs- und Kreditwesen in Österreich“ in Annental bei Hainfeld/N.Ö. gehalten hat. Die Vorschläge von A. Vanoli für ein Gemeinschaftssystem Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen ⁽²⁾ sind darin noch nicht berücksichtigt.

I. Entstehung und Ziele der Finanzierungsrechnung

Die Ziele, die mit der Aufstellung einer Finanzierungsrechnung erreicht werden sollten, haben meistens bei ihrer Entstehung Pate gestanden und ihren Ausgangspunkt bestimmt. Es scheint daher angebracht, diese beiden Gesichtspunkte gemeinsam zu behandeln.

Im wesentlichen lassen sich folgende Konzepte der Finanzierungsrechnung feststellen:

a) Die „Geldstromrechnung“. In ihrer reinen, ursprünglichen Form, wie sie in den Vereinigten Staaten

entwickelt wurde, umfaßt sie die Darstellung aller Transaktionen in Zahlungsmitteln, ohne Rücksicht darauf, ob sie laufend oder einmalig erfolgen, ob sie dem Verbrauch oder der Kapitalanlage dienen, ob es sich um Ströme neugeschaffenen oder umverteilten Einkommens oder aber um Transaktionen in bestehenden Gütern handelt. — Die gegenwärtige „flow of funds-Rechnung“ der USA ist in diesem Sinne keine reine Geldstromrechnung mehr, der Zusammenhang mit der auf Einkommensströme abgestellten Volks-

⁽¹⁾ Vgl. Nr. 11/1964 des „Allgemeinen Statistischen Bulletins“ und frühere Ausgaben.

⁽²⁾ Vgl. Statistische Informationen Nr. 4/1964.

wirtschaftlichen Gesamtrechnung im „herkömmlichen“ Sinne ist hergestellt, aber Elemente der Geldstromrechnung sind doch insoweit erkennbar, als Transaktionen in bestehenden Vermögen nicht ausgeschlossen sind und die gesamte Ersparnis „brutto“, d.h. einschließlich der Abschreibungen und ihrer Finanzierung, aufgeführt wird.

b) Die „Monetäre Analyse“, d.h. die Darstellung der Komponenten und der Bestimmungsgründe des „Geldvolumens“ (nach dessen jeweiliger Definition) in einem bestimmten Zeitraum. Aus ihr heraus ist die Finanzierungsrechnung z.B. der Niederlande entstanden und aufgebaut. Dies macht sich darin bemerkbar, daß in die Rechnung viele Begriffe und Definitionen aus der monetären Analyse übernommen worden sind, die hier gewissermaßen Fremdkörper darstellen, die sich jedenfalls in der Finanzierungsrechnung des üblichen Typs nicht wiederfinden.

c) Die „Gesamtwirtschaftliche Vermögensbildung und ihre Finanzierung“. Derartige Untersuchungen, nach Sektoren aufgegliedert, bildeten den Ausgangspunkt der Finanzierungskontensysteme der Deutschen Bundesbank und der Nationalbank von Belgien. Das letztgenannte umfaßt darüber hinaus eine Darstellung der Geldvermögensbestände.

d) „Kreditveränderungskonten“ („Geldvermögensveränderungskonten“). Sie schließen unmittelbar an die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung an, aus der sie hervorgehen, ja sie bilden einen mehr oder weniger integrierten Teil des gesamten Zahlenwerkes. Das Kreditveränderungskonto ist darin gewissermaßen die finanzielle Ergänzung des Vermögensveränderungskontos (nähere Ausführungen dazu werden im folgenden Abschnitt gegeben). Auf dieser Grundlage sind die Finanzierungsrechnungen der meisten europäischen Länder aufgebaut, soweit sie bisher existieren oder in Vorbereitung sind (im einzelnen Frankreich, Italien, Deutschland - Statistisches Bundesamt, in gewisser Hinsicht auch das System der Deutschen Bundesbank). Auch in den internationalen Gremien, die sich mit der Aufstellung gemeinsamer Finanzierungskontensysteme beschäftigen⁽¹⁾, wird dieses Konzept verfolgt. Aus diesem Grunde soll von hier ab nur noch von der Finanzierungsrechnung als Gegenstück zu den

herkömmlichen „wirtschaftlichen“ Konten der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung die Rede sein.

Von diesem Ausgangspunkt aus ergibt sich auch der Zweck der Finanzierungsrechnung: sie soll die finanzielle Seite, das finanzielle Gegenstück der Vermögensveränderungskontos darstellen. Sie soll Antwort geben auf die Frage: In welcher Form erfolgt die Geldvermögensbildung und die Schuldaufnahme der einzelnen Sektoren der Volkswirtschaft? Aus welchen Elementen — Forderungen und Verbindlichkeiten — setzt sich ihr Finanzierungssaldo (Finanzierungsüberschuß bzw. -defizit) zusammen? (Im einzelnen wird darauf noch in den folgenden Abschnitten eingegangen).

Die Ausrichtung auf dieses eine Ziel schließt nicht aus, daß die Finanzierungsrechnung auch noch andere Zwecke zu erfüllen imstande ist. Sie kann zugleich eine Rechnung des finanziellen Vermögens der einzelnen Sektoren sein, sie kann die Feststellung der volkswirtschaftlichen Geldströme — wenn auch nicht aller — ermöglichen, und sie kann der monetären Analyse dienen.

In einem weiteren Sinne kann aber auch der „Zweck“ der Finanzierungsrechnung als Hilfsmittel der Wirtschaftspolitik gesehen werden. Eine Feststellung, Registrierung und Analyse der gesamtwirtschaftlichen Geldvermögensbildungs- und Verschuldungsvorgänge vermag z.B. Antwort auf die Frage zu geben, wie sich bei einer gegebenen Erhöhung von Einkommen und Ersparnis die Zunahme des gesamtwirtschaftlichen Reichtums ihrem Betrag und ihrer Struktur nach auf die einzelnen Sektoren und/oder sozio-professionellen Bevölkerungsgruppen verteilt. Darüber hinaus kann dann die Finanzierungsrechnung für die Zwecke der Wirtschaftsplanung in ihren verschiedenen Formen — von mehr oder weniger unverbindlichen Rahmenempfehlungen bis zu strikt obligatorischen Einzelvorschriften — eingesetzt werden und in diesem Zusammenhang auch in einem vorausschauenden Nationalbudget ihren Platz finden; dies gilt für sie im übrigen ebenso wie für die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung in ihrer herkömmlichen Form, für die Input-output-Rechnung usw.

⁽¹⁾ Hier sind an erster Stelle zu nennen die Genfer UN/ECE-Arbeitsgruppe für die Statistik der finanziellen Aktiva und Passiva sowie das Statistische Amt der Europäischen Gemeinschaften in Brüssel.

II. Die Finanzierungsrechnung als Teil der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung

Zusammenhang zwischen wirtschaftlichen Konten und Finanzierungskonten

Wie bereits ausgeführt, erfolgt der Anschluß, die Anknüpfung der Finanzierungsrechnung an die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung im herkömmlichen

Sinne (die sogenannten wirtschaftlichen Konten) auf der Ebene des Vermögensveränderungskontos ⁽¹⁾. Als Beispiel sei hier das Vermögensveränderungskonto des Sektors „Unternehmen“ nach einem Entwurf des Statistischen Amtes der Europäischen Gemeinschaften (vorläufige Arbeitsunterlage) gewählt:

Selbsterstellte Anlagen der Unternehmen Käufe von Investitionsgütern von Unternehmen Käufe von Land und gebrauchten Anlagen vom Staat Vorratsveränderung Geleistete Vermögensübertragungen: an Private Haushalte und Private Organisationen ohne Erwerbscharakter an den Staat an die übrige Welt	Netto-Ersparnis der Unternehmen mit eigener Rechtspersönlichkeit Finanzierung der Bruttoinvestitionen durch Einzelunternehmer u.ä. Abschreibungen der Unternehmen mit eigener Rechtspersönlichkeit Verkäufe von gebrauchten Anlagen an Private Haushalte und Private Organisationen ohne Erwerbscharakter Verkäufe von Land und gebrauchten Anlagen an den Staat Anlageschrott u.ä. Empfangene Vermögensübertragungen: vom Staat von der übrigen Welt
(Summe)	(Summe)

Netto-Kreditaufnahme von den übrigen Sektoren (Saldo)

Dieser gleiche Saldo (Finanzierungssaldo) erscheint auch im Kreditveränderungskonto (Finanzierungskonto), nur auf der anderen Seite:

Veränderung der Forderungen: A. B. . .	Veränderung der Verbindlichkeiten: A. B. . .
(Summe)	(Summe)

(Saldo: Nettoverschuldung gegenüber anderen Sektoren)

Das Vermögensveränderungskonto gibt an, in welcher Form der jeweilige Sektor ⁽²⁾ im jeweiligen Zeitraum Vermögensbestandteile erworben und einmalige, ver-

mögenswirksame Zahlungen geleistet hat. Es gibt auf der anderen Seite die Finanzierung dieser Vermögensbildung durch eigene Ersparnis (Überschuß auf

⁽¹⁾ Vgl. dazu A. Vanoli, Statistische Informationen 4/64, Statistisches Amt der Europäischen Gemeinschaften.
⁽²⁾ Auf die Probleme der Sektorenbildung wird an anderer Stelle (im Abschnitt III. 1) eingegangen.

den laufenden Konten) und durch Vermögensübertragungen anderer Sektoren an. Der Saldo des Kontos, der sogenannte Finanzierungssaldo, kann positiv (Finanzierungsüberschuß) oder negativ (Finanzierungsdefizit) sein. In dem gewählten Beispiel für den Sektor „Unternehmen“ ist er in der Regel negativ.

Das Finanzierungs- oder Kreditveränderungskonto gibt an, wie dieser Saldo — der dort ebenfalls erscheint — finanziert wird: welche Form die erworbenen Forderungen und die aufgenommenen Schulden annehmen. Für beide Konten gilt, daß sie jedes für sich eine verschiedene Aktiv- und Passivseite aufweisen; nur eben den Saldo haben sie gemeinsam. Der Saldo des Finanzierungskontos liegt aber nicht von vornherein vom Vermögensveränderungskonto her vor, er ergibt sich aus der Summe der Forderungen und der Summe der Verbindlichkeiten. Aus statistischen Gründen kann und wird dieser Saldo vom Finanzierungssaldo (des Vermögensveränderungskontos) mehr oder weniger abweichen. Daher wird in den Ländern, die ihre Finanzierungsrechnung als Teil oder im Zusammenhang mit der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung aufgebaut haben, dort eine Art Ausgleichsposten zwischengeschaltet; er heißt in Frankreich und Belgien „ajustement“, in Deutschland (Statistisches Bundesamt) „Statistische Differenz“, in Italien „discrepanza“, in USA „Sector discrepancies“. Teilweise wird dieser Posten jedoch mit dem Saldo des Finanzierungskontos zusammengefaßt oder ist in einer der Positionen des Schemas (Arten von Forderungen und Verbindlichkeiten) enthalten. Nach Meinung des Verfassers ist diese Darstellung nicht glück-

lich, weil sie zu Verwechslungen und Mißverständnissen Anlaß gibt.

Ein besonderes Problem stellt sich für den Posten „Finanzierung der Investitionen der Einzelunternehmer“. In dem hier dargestellten Schema, das auf den Richtlinien der UN und der OECD aufbaut, ist er auf dem Vermögensveränderungskonto als eine Art Vermögensübertragung der Privaten Haushalte an die Unternehmen verbucht; dies entspricht der Tatsache, daß die gesamten Einkommen = Gewinne (verteilte und unverteilte) der Unternehmen ohne eigene Rechtspersönlichkeit vorher auf dem Einkommensverteilungskonto als an die Privaten Haushalte geflossen dargestellt werden. Der Strom „Finanzierung der Bruttoinvestitionen der Einzelunternehmer“ (in Gestalt der nicht verteilten Gewinne dieser Unternehmen) erscheint also nicht als Bestandteil des Finanzierungssaldos. Nach Ansicht der Genfer Arbeitsgruppe, der sich die Niederlande in ihrer eigenen Rechnung anschließen, handelt es sich jedoch dabei nicht um einen Strom, der auf dem Vermögensveränderungskonto zu erfassen ist, sondern der in den Finanzierungssaldo eingeht und damit Gegenstand der Kreditveränderungskonten (Finanzierungskonten) ist: dort bildet er eine besondere Position. — Eine dritte Möglichkeit besteht noch darin, von vornherein auf dem Einkommensverteilungskonto nur den effektiv ausbezahlten Teil der Gewinne der Einzelunternehmer (die sogenannten Privatentnahmen der Selbständigen) zu verbuchen; die nicht verteilten Gewinne verbleiben dann auf allen Ebenen im Unternehmenssektor (Italien, Deutsche Bundesbank).

III. Der Aufbau der Finanzierungsrechnung

1. Bildung und Einteilung der Sektoren

Alle Forderungen und Verbindlichkeiten bestehen zwischen verschiedenen Wirtschaftseinheiten. Es hat aber wenig Sinn, die Verschuldungsbeziehungen zwischen sämtlichen Wirtschaftseinheiten untereinander darzustellen. Aus diesem Grunde werden die Wirtschaftseinheiten nach ihrer Funktion gruppiert und zu Sektoren zusammengefaßt. Je mehr Einheiten man zusammenfaßt, um so mehr Transaktionen fallen dabei

heraus, sie heben sich auf der Aktiv- und der Passivseite desselben Kontos gegenseitig auf. Schließlich bleiben nur die Beziehungen einer Volkswirtschaft zum Ausland (Übrige Welt) übrig; falls auch dieses als Sektor aufgefaßt und mit den anderen Sektoren konsolidiert wird, gar nichts mehr. Für eine sinnvolle Finanzierungsrechnung ist es also wesentlich, die Wirtschaftseinheiten zu einer gewissen Mindestanzahl von Sektoren zusammenzufassen, deren Auswahl und Abgrenzung von verschiedenen Faktoren abhängen.

Bei der Untersuchung der Sektoren der Wirtschaft, die im Finanzierungskontenschema aufgeführt werden sollen, gilt es eine wesentliche Frage vorab zu klären, nämlich die der *institutionellen* oder *funktionellen* Auffassung der Wirtschaftseinheiten und der Sektoren, zu denen sie gehören. Je nach der Anwendung des entsprechenden Kriteriums spricht man von der institutionellen oder der funktionellen statistischen Einheit. Auf dem Gebiet der Finanzierungsrechnung ist die institutionelle Einheit die kleinste wirtschaftliche Zelle, die eine selbständige finanzielle Entscheidungsgewalt besitzt; sie entspricht normalerweise dem wirtschaftlichen Element mit eigener Rechtspersönlichkeit, nämlich der Unternehmung. Die funktionelle statistische Einheit ist die kleinste Zelle, die eine wirtschaftliche Funktion hat. In den Produktionskonten entspricht sie in der Regel dem Betrieb.

Im finanziellen Bereich kommt es nun darauf an, diejenigen statistischen Einheiten in Betracht zu ziehen und zu Sektoren zu aggregieren, die zu selbständigen finanziellen Entscheidungen in der Lage sind und für die Bilanzen oder Vermögensaufstellungen vorliegen. Infolgedessen ist die in den Finanzierungskontensystemen der einzelnen Länder und internationalen Organisationen zugrundegelegte statistische Einheit grundsätzlich institutioneller und nicht funktioneller Art. Dagegen geht man in den wirtschaftlichen Konten im allgemeinen von der funktionellen statistischen Einheit aus.

Aus der Annahme der institutionellen statistischen Einheit folgt normalerweise die Wahl der Sektoren nach dem institutionellen Kriterium. Das bedeutet: Die so gebildeten Sektoren fassen die statistischen Einheiten zusammen, deren Haupttätigkeit jeweils ein analoges finanzielles Verhalten aufweist. Ihre Transaktionen werden vollständig aufgenommen, ohne daß bei ihnen nach den tatsächlich ausgeübten Funktionen unterschieden wird. Unter der Voraussetzung, daß dieser Grundsatz strenge Anwendung findet, werden also in keinem Falle die Forderungen und Verbindlichkeiten ein und derselben wirtschaftlichen Einheit auf mehrere Sektoren aufgeteilt. Das institutionelle Kriterium läuft mithin darauf hinaus, für jeden gewählten Sektor sämtliche Umsätze der statistischen Einheiten, die er umfaßt, aufzuführen. Dagegen würde man nach dem funktionellen Prinzip für jeden Sektor die Gesamtheit der Transaktionen verbuchen, die der

für den betreffenden Sektor charakteristischen Funktion entsprechen.

Natürlich wird die Wahl der Sektoren in allen Fällen auf Grund der wichtigsten finanziellen Funktionen vorgenommen. Aber bei Anwendung des institutionellen Kriteriums ist die ausschlaggebende Funktion nicht immer charakteristisch für sämtliche Tätigkeiten der wirtschaftlichen Einheiten, die der Sektor umfaßt. Dies mag in einzelnen Fällen dazu führen, von dem angenommenen Grundsatz des institutionellen Kriteriums Ausnahmen funktionellen Charakters zuzulassen. So sollen beispielsweise nach dem Vorschlag der Genfer Arbeitsgruppe für die Statistik der finanziellen Aktiva und Passiva die vom Staat ausgegebenen Zahlungsmittel im Teilsektor Zentralbank ausgewiesen werden. Andererseits sind im französischen, vom SEEF erstellten Finanzierungskontenschema die finanziellen Forderungen und Verbindlichkeiten des Postscheckdienstes im Staatssektor (Schatzamt) enthalten, obwohl die Post als eine Einheit des Unternehmenssektors angesehen wird. Die Arbeitsgruppe „Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung“ des SAEG hat sich gleichwohl für eine möglichst strenge Anwendung des institutionellen Kriteriums ausgesprochen, nicht zuletzt deshalb, weil funktionelle Ausnahmen auf dem Gebiet der Finanzierungsrechnung beim Anschluß an die wirtschaftlichen Konten, die ihrerseits gewisse Zurechnungen funktioneller Art vorsehen, die Ursache zusätzlicher Schwierigkeiten sein können.

In der Praxis hat sich in den wirtschaftlichen Konten der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung folgende Sektoreneinteilung herausgebildet:

1. Private Haushalte (und private Organisationen ohne Erwerbscharakter);
2. Unternehmen;
3. Staat;
- (4. Ausland).

In der Finanzierungsrechnung muß der Unternehmenssektor aufgespalten werden in nichtfinanzielle und finanzielle Unternehmen, um die überragende Bedeutung der letzteren als „finanzielle Mittler“ zwischen den übrigen Sektoren richtig zur Geltung zu bringen. Dazu ist erforderlich, daß auch das Vermögensveränderungskonto entsprechend untergegliedert und für finanzielle und nichtfinanzielle Unternehmen je ein getrennter Finanzierungssaldo ausgewiesen wird. Am

besten würden bereits alle wirtschaftlichen Konten, vom Produktionskonto angefangen, diese Untergliederung aufweisen.

Die finanziellen Unternehmen (Finanzielle Institutionen) sollten ihrerseits in der Finanzierungsrechnung weiter unterteilt werden. Grundsätzlich lassen sich, soweit eine entsprechende funktionale Trennung erkennbar ist, folgende 4 Teilsektoren isolieren: Zentralbank, Geschäftsbanken, Versicherungsunternehmen, „Sonstige finanzielle Institutionen“⁽¹⁾. Die letztere, recht heterogene Gruppe umfaßt dabei im wesentlichen solche Finanzierungsinstitute, die nicht im eigentlichen Sinne „Banken“ sind, d.h. bei denen das langfristige Geschäft weitgehend überwiegt. Dabei erhebt sich nun aber sofort die Frage, was unter „langfristigem Geschäft“ zu verstehen ist und ferner — selbst wenn diese Frage geklärt ist —, ob es dabei auf die Aktiv- oder die Passivseite oder etwa auf beide ankommt. In einem Land, in dem alle Kreditinstitute mehr oder weniger alle Arten von Geschäften betreiben dürfen und tatsächlich betreiben („Universalbanken“), wie z.B. in Deutschland, ist diese Unterscheidung praktisch nicht möglich — entweder werden alle Banken als solche im Teilsektor „Geschäftsbanken“ aufgeführt und in den „sonstigen finanziellen Institutionen“ erscheinen praktisch nur die Bausparkassen, oder aber man faßt diese beiden Teilsektoren in einem (Teil-)Sektor zusammen. Andere Länder begegnen dieser Schwierigkeit durch eine funktionale Aufsplitterung der Institutionen und eine entsprechende Zurechnung der kurz- und langfristigen, „geldschöpfenden“ und „nicht geldschöpfenden“ Aktivitäten auf verschiedene Teilsektoren (Niederlande, Belgien).

Auch der Staatssektor sollte in drei Bestandteile aufgegliedert werden, deren finanzielles Verhalten große Unterschiede aufweist: Zentralstaat, Sozialversicherung, lokale Gebietskörperschaften und sonstige öffentliche Stellen. In Ländern mit föderalistischer Staatstruktur, wie z.B. der Bundesrepublik Deutschland, stellt sich dabei die Frage, wie eng oder wie weit der „Zentralstaat“ abgegrenzt werden soll. Zweifellos haben die Bundesländer weitgehendere Kompetenzen — und ein dementsprechendes finanzielles Verhalten —, als daß sie einfach als „lokale Gebietskörperschaften“ betrachtet werden könnten. Bei der Sozial-

versicherung besteht das wichtigste Abgrenzungsproblem darin, ob die beispielsweise für Angehörige bestimmter Berufe oder Unternehmenszweige geschaffenen allgemeinverbindlichen Pensionskassen in diesen Teilsektor einbezogen oder zu den Versicherungsunternehmen als Teil der Finanziellen Institutionen gerechnet werden sollen. Die Abgrenzung des Begriffes „Sozialversicherung“ ist von Land zu Land verschieden; dem Statistischen Amt der Europäischen Gemeinschaften ist es bei seinen Bemühungen um die Harmonisierung der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen der Mitgliedsländer, von der Definition des Internationalen Arbeitsamtes ausgehend, bisher nicht gelungen, eine einheitliche Abgrenzung der Sozialversicherung zu erreichen.

Beim Sektor „Ausland“ handelt es sich im strengen Sinne nicht um einen Sektor: Es werden dort nur Transaktionen eingestellt, die zwischen inländischen Sektoren und der „Übrigen Welt“ erfolgen. Die „Übrige Welt“ erscheint darin gewissermaßen in ihrer Projektion auf die jeweilige Volkswirtschaft. Der Inhalt des Auslandssektors stellt eine Art umgekehrte Zahlungsbilanz dar, nämlich vom Ausland und nicht vom jeweiligen Inland aus betrachtet; dem Auslandssektor in der Finanzierungsrechnung entspricht der Teil der Zahlungsbilanz, in dem die kurz- und langfristigen Kapitaleleistungen registriert sind.

Abgrenzungsschwierigkeiten bestehen schließlich in der Finanzierungsrechnung zwischen den Privaten Haushalten und den nichtfinanziellen Unternehmen. Von ihrer Funktion her sind beide Sektoren eindeutig definiert: die Unternehmen produzieren, die Privaten Haushalte konsumieren. Eine solche funktionale Abgrenzung ist leicht durchführbar in den wirtschaftlichen Konten, wo klar bestimmte Ströme, die diesen Funktionen entsprechen, die Beziehungen zwischen diesen Sektoren und von ihnen zu anderen Sektoren beschreiben. In der Finanzierungsrechnung besteht aber keine Gewißheit über die Persönlichkeit dessen, der eine bestimmte Transaktion durchführt; beispielsweise kann die Einlage bei einer Bank oder der Kauf eines Wertpapiers durch einen selbständigen Einzelunternehmer ihn sowohl als Haushalt als auch als Unternehmen betreffen. Diese Unterscheidung kann im Rahmen der Finanzierungskonten getroffen wer-

⁽¹⁾ Die beiden erstgenannten können auch zu einem Teilsektor „Bankensystem“ zusammengefaßt werden. So wird in den Finanzierungskontensystemen Frankreichs, der Deutschen Bundesbank und des SAEG verfahren.

den und wird manchmal getroffen, aber von den statistischen Ausgangsdaten her gesehen ist es im allgemeinen schwierig, eine befriedigende Lösung zu finden. Insbesondere was die geldwerten Forderungen (Bargeld, Einlagen) anbetrifft, ist es sehr mißlich zu entscheiden, ob ihre Veränderungen der Tätigkeit des Unternehmers als Leiter der Unternehmung oder als Mitglied des Haushalts zuzuschreiben sind. In der Praxis gründet sich die Zurechnung der Forderungen und Verbindlichkeiten — außer in den Fällen, in denen sehr ins einzelne gehende statistische Informationen vorliegen, wie z.B. in Deutschland — auf bestimmte Hypothesen, die für jede Aktiv- und Passivposition angestellt werden. Diejenigen Länder bzw. Institutionen, die solche Hypothesen nicht mit hinreichender Zuverlässigkeit aufstellen können, sind gezwungen, einen Sektor für Unternehmen mit eigener Rechtspersönlichkeit und einen gemeinsamen Sektor für Private Haushalte und Unternehmen ohne eigene Rechtspersönlichkeit zu bilden (Genfer Arbeitsgruppe, 2. Variante; Niederlande) oder aber nichtfinanzielle Unternehmen und Private Haushalte in einem Sektor zusammenzufassen (Belgien).

2. Die finanziellen Kategorien: Arten von Forderungen und Verbindlichkeiten

Anders als in den wirtschaftlichen Konten, wo nahezu jeder Strom zwischen zwei Sektoren eine individuelle Bedeutung hat, treten in der Finanzierungsrechnung immer wieder dieselben Kategorien von Schuldverhältnissen in der Beziehung zwischen den verschiedensten Sektoren auf. Nur wenige Arten von Forderungen und Verbindlichkeiten sind auf einen bestimmten Schuldner zugeschnitten und kommen in der Beziehung zu anderen Sektoren nicht vor. Aus diesem Grunde beruht eine Gliederung der Forderungen und Verbindlichkeiten nach der Persönlichkeit des Schuldners, wie sie zuweilen vorgeschlagen wird, nicht auf einem glücklichen Unterscheidungskriterium: dieser Gesichtspunkt kommt schon im Parameter der Sektoreinteilung (auf der Aktiv- und Passivseite) zum Ausdruck.

Bei der Aufstellung des Finanzierungskontenschemas durch das Statistische Amt der Europäischen Gemeinschaften wurde als wichtigstes Kriterium für die Gliederung der finanziellen Forderungen und Verbindlichkeiten das der Liquidität und daneben — nach dem

Vorbild der französischen Finanzierungsrechnung — die Eigenschaft, Instrumente der Finanzierung (d.s. Forderungen, die jeweils nur einen bestimmten Gläubiger und einen bestimmten Schuldner betreffen) oder der Kapitalanlage (Forderungen, die auf dem Markt begeben werden und für eine Vielzahl möglicher Gläubiger bestimmt sind) darzustellen, gewählt. Nur in zwei Ausnahmen wurde das Kriterium der Schuldnerpersönlichkeit verwandt.

In den Finanzierungskontensystemen der einzelnen Länder finden sich eine unterschiedliche Anzahl und unterschiedliche Bezeichnungen der Arten finanzieller Forderungen und Verbindlichkeiten. Überall aber gibt es deren mehr als im Schema des SAEG, wo man sich bemüht hat, mit einem Minimum von 9 Kategorien auszukommen (von denen einige allerdings in Teilpositionen untergliedert sind):

- A. Bargeld und Sichteinlagen
- B. Sonstige Einlagen
- C. Gold und Devisen
 - C₁. Gold und Devisen zentraler Stellen
- D. Geldmarktpapiere
- E. Festverzinsliche Wertpapiere
- F. Aktien und sonstige Beteiligungen
 - F₁. Aktien
 - F₂. Sonstige Beteiligungen
- G. Kurzfristige Kredite
 - G₁. Konsumentenkredite
- H. Mittel- und langfristige Kredite
 - H₁. Mobilisierbare mittelfristige Kredite
- J. Forderungen und Verbindlichkeiten aus Versicherungsverträgen
 - J₁. Deckungsrückstellungen und Verbindlichkeiten für Gewinnbeteiligung der Versicherten
 - J₂. Sonstige Rückstellungen (Beitragsüberträge und Schadensrückstellungen).

Auf die Definition und die charakteristischen Merkmale der einzelnen Rubriken soll hier — mit Ausnahme zweier von ihnen — nicht weiter eingegangen werden.

C. *Gold und Devisen*. Diese Kategorie stellt die wichtigste Position in der Beziehung der inländischen Sektoren zur Übrigen Welt dar; sie kommt nur für

Forderungen und Verbindlichkeiten zwischen Gebietsansässigen und Gebietsfremden in Betracht. Es sind nun zwei extreme Möglichkeiten denkbar, die Beziehungen mit dem Ausland zu verbuchen: Entweder erscheinen alle Auslandstransaktionen in einer Position (C.) — dann wird der Sektor Ausland im Schema überflüssig, da seine finanziellen Transaktionen bereits aus den in der betreffenden Rubrik verbuchten Aktiva und Passiva der übrigen (inländischen) Sektoren ersichtlich sind; oder aber alle Auslandstransaktionen werden je nach ihren Eigenschaften in die betreffenden spezifischen Kategorien unter dem Sektor Ausland eingeordnet — dann bleibt die Kategorie C. unausgefüllt. Im Schema des SAEG ist ein mittlerer Weg gewählt worden: die Kategorie C. soll Gold ⁽¹⁾ und kurzfristige Auslandsforderungen und -verbindlichkeiten aller Sektoren mit Ausnahme der Währungsbehörden ⁽²⁾ umfassen, für die Währungsbehörden (zusätzlich getrennt ausgewiesen als Teilposition C₁.) die Gesamtheit der offiziellen Devisenreserven einschließlich der Netto-Reserveposition gegenüber dem IWF.

J. *Forderungen und Verbindlichkeiten aus Versicherungsverträgen.* Es handelt sich um eine auf die Ver-

sicherungsunternehmen (als Schuldner) beschränkte Forderung und praktisch deren einzige finanzielle Verbindlichkeit. Diese Kategorie umfaßt hauptsächlich die Deckungsrückstellungen der Lebensversicherung, daneben auch noch zahlenmäßig weniger bedeutende Elemente wie Gewinnbeteiligungsreserven, Beitragsüberträge und Schadensrückstellungen. Daß diese Bilanzpositionen der Versicherungsgesellschaften überhaupt als finanzielle Forderungen (der Versicherten) aufgeführt werden können, beruht auf ihrer Auffassung als sogenannte „kollektive Forderungen“: d.h. solche, die der Gesamtheit der Gläubiger (Versicherten) zur gesamten Hand zustehen, auf die aber der einzelne Versicherte keinen anteilmäßigen Anspruch hat. In Frankreich gibt es diesen Begriff der kollektiven Forderungen bzw. Verbindlichkeiten nicht, und die Versichertenrückstellungen werden nicht als finanzielles Element in den Finanzierungskonten verbucht; andererseits gelten sie in Deutschland (zum größten Teil wenigstens) als „individuelle“ Forderungen, da dort der konkrete, realisierbare Anspruch des einzelnen Versicherten (der sog. Rückkaufswert der Lebensversicherung) mit seinem Anteil an den gesamten Deckungsrückstellungen weitgehend identisch ist.

IV. Fragen der Verbuchung in der Finanzierungsrechnung

1. Herkunft und Verwendung der Mittel - Veränderung der Forderungen und Verbindlichkeiten

Die Verbuchung auf den einzelnen Positionen der Finanzierungsrechnung, bei denen gleichzeitig Aktiv- und Passivbestandteile auftreten, kann nach zwei verschiedenen Kriterien, „Mittelherkunft und -verwendung“ bzw. „Veränderung der Forderungen und Verbindlichkeiten“ erfolgen, die hier am Beispiel der Position E. Festverzinsliche Wertpapiere, bei der sie am meisten von Bedeutung sind, kurz erläutert werden sollen. Im Falle der Anwendung des Kriteriums „Veränderung der Forderungen und Verbindlichkeiten“ wird auf der Aktivseite eines beliebigen Sektors der Erwerb von festverzinslichen Wertpapieren durch Wirtschaftseinheiten, die diesem Sektor angehören,

vermindert um die Verkäufe von solchen Titeln durch diese Einheiten sowie um die im gegebenen Zeitraum auf die Wertpapierbestände dieser Einheiten entfallenden Tilgungen gebucht. Dieser Betrag entspricht der Nettoveränderung der Forderungen des Sektors in der in Betracht gezogenen Kategorie (Festverzinsliche Wertpapiere). Auf der Passivseite wird die Nettoveränderung der Verbindlichkeiten von Einheiten dieses Sektors in der gleichen Kategorie aufgeführt, nämlich die von ihnen im gegebenen Zeitraum begebenen Schuldverschreibungen abzüglich der Tilgungen und Rückkäufe eigener Emissionen.

Nach dem Kriterium „Mittelherkunft und -verwendung“ würden dagegen auf der Aktivseite des betreffenden Sektors die Käufe von festverzinslichen Wertpapieren (fremder Emittenten) sowie die Tilgungen

⁽¹⁾ D.h. das sogenannte „Geldgold“: Gold in Form von Barren oder Münzen, die an den offiziellen Goldmärkten gehandelt werden, im Besitz *aller* Sektoren (nicht nur der Währungsbehörden).

⁽²⁾ Zentralbank, ggf. Devisenausgleichsfonds sowie Schatzamt, soweit zur Haltung der zentralen Währungsreserven bestimmt.

und Rückkäufe eigener Schuldverschreibungen erscheinen, auf der Passivseite die Emission von festverzinslichen Wertpapieren durch Einheiten des Sektors und die Verminderung ihrer Bestände an Schuldverschreibungen durch Verkäufe oder Tilgungen. Die „Mittelverwendung“ entspricht also einem Zugang an Forderungen und/oder einer Verringerung von Verbindlichkeiten; umgekehrt umfaßt die „Mittelherkunft“ sowohl eine Erhöhung der Verpflichtungen als auch eine Verminderung der Forderungen. Die Summe der Herkunft der finanziellen Mittel weicht daher grundsätzlich von der gesamten Veränderung der Verbindlichkeiten ab, und die Gesamtheit der Mittelverwendung entspricht nicht der gesamten Veränderung der Forderungen; nur der jeweilige Saldo der Aktiv- und Passivseite stimmt überein.

Da es im allgemeinen aufschlußreicher ist, für jeden Sektor die Nettoverschuldung oder -kreditgewährung zu ermitteln, wenden die in Frage kommenden Institutionen in der Finanzierungsrechnung praktisch durchweg das Kriterium „Veränderung der Forderungen und Verbindlichkeiten“ an.

2. Brutto- oder Nettoverbuchung

Die Veränderungen der Forderungen und Verbindlichkeiten können brutto oder netto ausgewiesen werden. Im allgemeinen bietet die getrennte Verbuchung der Zu- und Abgänge kein besonderes Interesse, mit Ausnahme vielleicht bei den längerfristigen Krediten und bei den festverzinslichen Wertpapieren, bei denen man, wenn diese Größen festgehalten werden sollen, für jeden Sektor getrennt den Bruttoerwerb (bzw. die Bruttoemission) und die Tilgungsbeträge ausweisen könnte. Ein solches Verfahren ist jedoch bisher nur im französischen Finanzierungskontenschema vorgesehen.

3. Konten finanzieller Transaktionen oder Bilanzveränderungskonten

Die Werte, zu denen die einzelnen Aktiv- und Passivpositionen in der Finanzierungsrechnung verbucht sind, unterscheiden sich nicht unwesentlich je nach der Methode, nach der sie bestimmt werden. Es kann sich dabei entweder um die Feststellung der Veränderungen der entsprechenden finanziellen Bilanzpositionen

von einem Zeitpunkt zum anderen oder aber um die Aufzeichnung sämtlicher finanzieller Transaktionen, die in dem betreffenden Zeitraum erfolgen, zu den dabei tatsächlich erzielten Preisen handeln. In der Praxis hat die Wahl der einen oder der anderen dieser beiden Methoden größere Bedeutung nur für die auf dem Markt begebenen Forderungen, die zu variablen Preisen den Gläubiger wechseln, vor allem also die Wertpapiere.

Die Methode der Erfassung der finanziellen Transaktionen hat zur Folge, daß in den Konten des Gläubigers und des Schuldners die betreffenden Forderungen bzw. Verbindlichkeiten zwangsläufig immer zum gleichen Wert, nämlich dem bei der Transaktion tatsächlich erzielten Preis, aufgeführt sind. Zugleich werden bei diesem Verfahren nur die tatsächlich realisierten Gewinne und Verluste gebucht. Dadurch ist eine bessere Übereinstimmung zwischen den Finanzierungskonten und den wirtschaftlichen Konten gesichert, in denen — namentlich im vom SAEG übernommenen Standardsystem der OECD — die wirtschaftlichen Transaktionen grundsätzlich zu den Preisen verbucht sind, zu denen sie tatsächlich erfolgen.

Demgegenüber liegen der Methode der Bilanzveränderungen diejenigen Werte zugrunde, zu denen die verschiedenen Forderungen und Verbindlichkeiten in den Bilanzen verbucht sind. Entsprechend der von Land zu Land, von einem Sektor zum anderen stark unterschiedlichen und in einem gewissen Ausmaß willkürlichen Verbuchungspraxis der Wirtschaftseinheiten, welche die Bilanzen aufstellen, sind diese Bilanzwerte nicht miteinander vergleichbar; ihre Veränderungen von einem Bilanzierungszeitpunkt zum anderen enthalten zudem Buchgewinne und -verluste, die von den tatsächlichen — realisierten oder nicht realisierten — Gewinnen und Verlusten abweichen. Im einzelnen werden in Anwendung des hierbei geltenden Niederstwertprinzips Aktivbestandteile in der Regel zum Anschaffungspreis oder zum (niedrigeren) Tageskurs, Passivposten dagegen zum Rückzahlungskurs aufgeführt; außerdem spielen dabei noch steuerliche Gesichtspunkte eine Rolle. Besonders unangenehm wirken sich solche Bewertungsdifferenzen auf die Konten derjenigen Sektoren aus, deren Angaben nicht aus eigenen Bilanzaufstellungen entnommen werden können, sondern als Rest ermittelt sind (Nichtfinanzielle Unternehmen, Private Haushalte): Zu der generellen Ungenauigkeit dieser Differenzrechnung tritt das ku-

multierte Ergebnis der Bewertungsunterschiede bei den übrigen Sektoren hinzu.

Wenn trotz dieser theoretisch-methodischen Unzulänglichkeiten die Finanzierungsrechnungen der Länder und internationalen Institutionen in erheblichem Umfang auf Bilanzveränderungskonten zurückgreifen, so liegt das daran, daß für viele Sektoren, vor allem die finanziellen Sektoren, Bilanzen oder Vermögensaufstellungen die einzige verfügbare Dokumentationsquelle darstellen. Es ist schlechterdings nicht möglich, die finanziellen Transaktionen als solche in ihrer Gesamtheit festzuhalten und aufzuzeichnen. Was die Länder der EWG betrifft, stützen sich besonders die Finanzierungskontensysteme Deutschlands, Belgiens und Italiens auf die Methode der Bilanzveränderungen, aber auch die Länder, deren Rechnung die Methode der finanziellen Transaktionen zugrundeliegt (Frankreich, Niederlande), müssen teilweise Angaben aus Bilanzveränderungen heranziehen.

4. Die Konsolidierung von Forderungen und Verbindlichkeiten

Wie oben im Abschnitt III.1 bereits ausgeführt wurde, ist es weder sinnvoll noch möglich, in der Finanzierungsrechnung die Transaktionen jeder Wirtschaftseinheit mit jeder anderen darzustellen. Aus diesem Grunde werden die einzelnen Einheiten zu Sektoren zusammengefaßt. Transaktionen zwischen Einheiten desselben Sektors können dabei entweder mit ihrem vollen Betrag auf der Aktiv- und Passivseite des be-

treffenden Sektors aufgeführt oder gegeneinander aufgerechnet (konsolidiert) werden. Im Falle der Konsolidierung bedeutet das für ein Schema, in dem bestimmte Sektoren weiter in Teilsektoren untergliedert sind, daß Forderungen und Verbindlichkeiten zwischen Einheiten, die verschiedenen Teilsektoren desselben Hauptsektors angehören, bei der Zusammenfassung der Zahlen auf der Ebene der Hauptsektoren eliminiert werden. So sind z.B. im Finanzierungskontenschema der Deutschen Bundesbank finanzielle Transaktionen zwischen Gebietskörperschaften und Sozialversicherungen einerseits und zwischen Geschäftsbanken und der Bundesbank andererseits als „Innersektorale Forderungen bzw. Verpflichtungen“ ausgewiesen und in der Summe der Aktiva und Passiva der Hauptsektoren „Öffentliche Haushalte“ bzw. „Banken“ nicht enthalten.

Die einzelnen Länder haben in der Frage der Konsolidierung unterschiedliche Lösungen getroffen. Während beispielsweise im französischen und belgischen Schema grundsätzlich nicht konsolidiert wird, ist dies im Schema der Deutschen Bundesbank für alle Forderungen und Verbindlichkeiten mit Ausnahme der Wertpapiere der Fall (die wichtige Gesamtgröße des Absatzes inländischer Wertpapiere errechnet sich ja nur aus den nichtkonsolidierten Angaben). Im vorgesehenen Schema des SAEG sollen für jede Position die nichtkonsolidierten Zahlen und darunter in Klammern jeweils die Beträge angegeben werden, die bei einer Konsolidierung übriggeblieben (intersektorale Ströme).

V. Formen der Darstellung der Finanzierungsrechnung

Für die Darstellung der Transaktionen auf den wirtschaftlichen Konten wird in der Regel die Form des buchhaltungsmäßigen Kontos gewählt (vgl. das Schema in Abschnitt II, Seite 139). Für die Finanzierungsrechnung, in der, wie bereits dargetan, immer wieder die gleichen Kategorien von Forderungen und Verbindlichkeiten in der Beziehung zwischen den verschiedensten Sektoren auftreten, eignet sich dagegen gut die Darstellung in Form einer Tabelle oder Matrix. Sie wird auch fast durchweg von den Ländern bzw. Institutionen angewandt. Das Schema des Statisti-

schen Amtes der Europäischen Gemeinschaften ist in Kontenform konzipiert, aber seine endgültige Darstellung in tabellarischer Gestalt ist damit keineswegs ausgeschlossen.

Man spricht von einem sogenannten Rahmenschema, wenn für jeden Sektor in der jeweiligen Kategorie von Forderungen und Verbindlichkeiten auf der Aktiv- und Passivseite nur ein globaler Betrag angegeben ist, der dem Forderungserwerb bzw. der Schuldaufnahme in der Beziehung zu allen anderen Sektoren entspricht. Diese Gestalt haben die Finanzierungskonten-

systeme Deutschlands, Italiens und der Niederlande. In einem sogenannten „ausführlichen Schema“, wie es für Frankreich und Belgien vorliegt und in einer späteren Etappe auch vom SAEG vorgesehen ist, ist jede Forderung eines bestimmten Sektors gleichzeitig nach dem Schuldner aufgegliedert. In diesem Fall gibt es 3 Parameter, nämlich Gläubiger, Schuldner und Art

des Schuldverhältnisses, die in einem zweidimensionalen Darstellungssystem auf folgende Art und Weise zum Ausdruck gebracht werden können ⁽¹⁾:

a) Gläubiger-/Forderungenmatrix mit Aufgliederung der Forderungen nach dem Schuldner in zusätzlichen Zeilen für jede Forderungsrubrik (Frankreich)

Veränderung der Forderungen					Art der Transaktion	Veränderung der Verbindlichkeiten				
Private Haushalte	Nicht-finanzielle Unternehmen	Bankensystem	...	insgesamt		Private Haushalte	Nicht-finanzielle Unternehmen	Bankensystem	...	insgesamt
●	○	○		○	Kurzfristige Kredite an: Private Haushalte Nichtfinanzielle Unternehmen	○	×	×		○
—	●	○		○		×	○	×		○
.
.
○	○	○		⊕	Kurzfristige Kredite insgesamt	○	○	○		⊕
⊗	⊕	⊕	...	⊕	Nettoveränderung der Forderungen	⊕	⊕	⊕	...	⊕
⊕	×	⊕	...	⊕	Saldo der Forderungen und Verbindlichkeiten (+)	×	⊕	×	...	⊕

Der Nachteil des französischen Systems liegt darin, daß für alle Kategorien von Forderungen und Verbind-

lichkeiten zusammen die Beziehungen zwischen den Sektoren nicht zum Ausdruck kommen.

(¹) Die verwandten Symbole haben folgende Bedeutung:

- : Zahlenangaben grundsätzlich möglich (zwischensektorale Forderungen und Verbindlichkeiten)
- : Zahlenangaben grundsätzlich möglich in einem nichtkonsolidierten Schema (innersektorale Forderungen und Verbindlichkeiten)
- ×
- : Zahlenangaben kommen nicht vor
- ⊕ : Zwischensummen (Sektor- oder Forderungentotale)
- ⊗ : Gesamtsumme aller Forderungen bzw. Verbindlichkeiten.

b) Gläubiger-/Schuldnermatrix („from - whom - to - whom - Matrix“) mit Aufgliederung nach Art der

Forderung in zusätzlichen Zeilen bei jedem Schuldner (Belgien)

Gläubigersektoren	Unternehmen und Private Haushalte	Staat	...	Geldinstitute	...	Summe der Verbindlichkeiten
Schuldnersektoren						
Unternehmen und Private Haushalte						
Schuldverschreibungen	●	○		○		○
Langfristige Kredite	●	○		○		○
·	·	·		·		·
·	·	·		·		·
(Insgesamt)	●	○		○		⊕
Staat						
Schuldverschreibungen	○	●		○		○
Langfristige Kredite	—	●		○		○
·	·	·		·		·
·	·	·		·		·
(Insgesamt)	○	●		○		⊕
Geldinstitute						
Schuldverschreibungen	○	○		●		○
Langfristige Kredite	—	○		●		○
·	·	·		·		·
·	·	·		·		·
(Insgesamt)	○	○		●		⊕
Summe der Forderungen	⊕	⊕		⊕		⊕
Summe der Verbindlichkeiten	⊕	⊕		⊕		⊕
Saldo der Forderungen und Verbindlichkeiten (±)	⊕	⊕		⊕		×

Diese Darstellungsform hat den Nachteil, daß der Gesamtbetrag jeder einzelnen Kategorie von Forderungen und Verbindlichkeiten nicht ersichtlich ist.

c) Für jede einzelne Kategorie sowie für die Gesamtheit der Forderungen und Verbindlichkeiten eine besondere Gläubiger-/Schuldnermatrix („from - whom - to - whom - Matrix“) (Vorschlag des Verfassers)

H. Mittel- und langfristige Kredite

Schuldnersektoren	Gläubigersektoren	Private Haushalte	Nicht-finanzielle Unternehmen	Finanzielle Institutionen	...	Summe der Verbindlichkeiten
Private Haushalte		●	○	○		○
Nichtfinanzielle Unternehmen		—	●	○		○
Finanzielle Institutionen		—	—	●		○
.	
.	
.	
Summe der Forderungen		○	○	○	...	⊕

Alle Forderungen und Verbindlichkeiten

Schuldnersektoren	Gläubigersektoren	Private Haushalte	Nicht-finanzielle Unternehmen	Finanzielle Institutionen	...	Summe der Verbindlichkeiten
Private Haushalte		●	○	○		⊕
Nichtfinanzielle Unternehmen		○	●	○		⊕
Finanzielle Institutionen		○	○	●		⊕
.	
.	
.	
Summe der Forderungen		⊕	⊕	⊕	...	⊕
Saldo der Forderungen und Verbindlichkeiten (±)		⊕	⊕	⊕	...	×

Diese Form der Darstellung gestattet es, neben den einzelnen intersektoralen Kreditbeziehungen sowohl die Summe der Forderungen und Verbindlichkeiten in

jeder einzelnen Kategorie (obere Tabelle) als auch die Gesamtheit aller Kreditbeziehungen zwischen den einzelnen Sektoren (untere Tabelle) nachzuweisen.

Zusammenfassung

Die Finanzierungsrechnung im internationalen Vergleich

Die Entstehung der Finanzierungsrechnung läßt sich am besten im Zusammenhang mit den Zielen, die mit der Aufstellung der Rechnung verfolgt werden sollen, darstellen. Im wesentlichen kann man dabei folgende Konzepte festhalten: die Geldstromrechnung, die Monetäre Analyse, die Gesamtwirtschaftliche Vermögensbildung und ihre Finanzierung und die Kreditveränderungskonten. Das letztgenannte Konzept wird im weiteren Verlauf der Untersuchung ausschließlich zugrundegelegt. Die Finanzierungsrechnung ist in dieser Sicht das finanzielle Gegenstück zu den wirtschaftlichen Konten der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung, insbesondere dem Vermögensveränderungskonto; der Zusammenhang der beiden Kontengruppen wird im einzelnen dargelegt.

Die wichtigsten Gliederungsgesichtspunkte der finanziellen Gesamtrechnung bilden einerseits die Sektoren und andererseits die Kategorien von Forderungen und Verbindlichkeiten. Die Bildung und Abgrenzung der Sektoren erfolgt grundsätzlich nach dem institutionellen und nicht nach dem funktionellen Kriterium. Im übrigen entspricht die Sektoreinteilung derjenigen der wirtschaftlichen Konten; jedoch wird der Unternehmenssektor in nichtfinanzielle Unternehmen und finanzielle Institutionen aufgespalten, die letzteren ihrerseits in 4 Teilsektoren (Zentralbank, Geschäftsbanken, Versicherungsunternehmen, „sonstige finanzielle Institutionen“) untergegliedert. Was die Kategorien finanzieller Forderungen und Verbindlichkeiten betrifft, weist das vom SAEG vorgeschlagene Schema 9 Positionen (A. bis J.) auf, von denen einige noch weiter in Teilpositionen aufgegliedert sind.

Von den Fragen der Verbuchung in der Finanzierungsrechnung sind vor allem folgende von Bedeutung: die Kriterien „Mittelherkunft und -verwendung“ bzw. „Veränderung der Forderungen und Verbindlichkeiten“, Brutto- oder Nettoverbuchung, Konten finanzieller Transaktionen oder Bilanzveränderungskonten sowie die Konsolidierung von Forderungen und Verbindlichkeiten. Schließlich ergeben sich in einem sogenannten „ausführlichen Schema“ (Aufgliederung jeder Forderung eines bestimmten Sektors nach dem Schuldner) Probleme der formalen Darstellung, für die einige Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

Résumé

Les comptes financiers dans l'optique internationale

La façon la plus adéquate de décrire l'origine des comptes financiers est de considérer les objectifs que l'on cherche à atteindre en partant de leur élaboration. A cet égard, on peut essentiellement retenir les concepts suivants : les comptes de flux monétaires (« flows of funds »), l'analyse monétaire, la formation du patrimoine national et son financement et, enfin, les comptes des variations des actifs et passifs financiers. Ce

dernier concept est le seul à servir dans la suite. Les comptes financiers se présentent à cet égard comme le pendant financier des comptes économiques de la comptabilité nationale et en particulier du compte des opérations en capital; la relation entre les deux groupes de comptes est exposée en détail.

Les principaux critères de ventilation des comptes financiers sont, d'une part, les secteurs et, d'autre part, les catégories de créances et d'engagements. En principe, les secteurs sont formés et délimités selon le critère institutionnel et non selon le critère fonctionnel. Au reste, la répartition des secteurs correspond à celle des comptes économiques, le secteur des entreprises étant toutefois scindé en entreprises non financières et institutions financières, ces dernières se décomposant en quatre sous-secteurs (banque centrale, banques commerciales, compagnies d'assurances et « autres institutions financières »). En ce qui concerne les catégories de créances et d'engagements, le schéma proposé par l'OSCE comporte neuf postes (A. à J.) dont certains sont encore subdivisés en sous-rubriques.

Parmi les problèmes relatifs à la comptabilisation dans les comptes financiers, ceux qui présentent un intérêt primordial sont notamment: les critères « emplois et ressources » ou « variations des créances et engagements », la comptabilisation en brut ou net, les comptes de transactions financières ou comptes de variations de bilan ainsi que la consolidation des créances et engagements. Enfin, dans un schéma dit « détaillé » (ventilation de chaque créance d'un secteur déterminé selon le débiteur) il se pose des problèmes de présentation pour lesquels quelques solutions sont proposées.

Riassunto

I conti finanziari in un contesto internazionale

Il modo più adatto per descrivere l'origine dei conti finanziari è di metterli in rapporto con gli obiettivi a cui si tende con la loro elaborazione. In questo caso si possono prendere essenzialmente in considerazione i seguenti concetti : i conti dei flussi monetari, l'analisi monetaria, la formazione del patrimonio nazionale e il suo finanziamento, i conti delle variazioni degli attivi e dei passivi finanziari. Quest'ultimo concetto è quello che è stato infine prescelto per la presente analisi. I conti finanziari si presentano in tal quadro come la contropartita dei conti economici della contabilità nazionale ed in particolare del conto delle operazioni in capitale; la relazione fra i due gruppi di conti viene qui esaminata nei dettagli.

I principali criteri di ripartizione dei conti finanziari sono, da un lato, i settori, e dall'altro, le categorie di crediti e debiti. In linea di massima i settori sono formati e delimitati secondo il criterio istituzionale e non secondo il criterio funzionale. La ripartizione dei settori corrisponde del resto a quella dei conti economici con la particolarità che il settore delle imprese è suddiviso in imprese non finanziarie e istitu-

zioni finanziarie. Quest'ultime sono, a loro volta, ripartite in 4 subsettori (banca centrale, banche commerciali, compagnie di assicurazione «altre istituzioni finanziarie»). Per quanto concerne le categorie di crediti e impegni finanziari lo schema proposto dall'ISCE comporta 9 voci (da A a J) alcune delle quali sono suddivise in sottovoci.

Fra i problemi relativi alle registrazioni nei conti finanziari sono particolarmente importanti quelli riguardanti: i criteri «impieghi e risorse» o «variazione dei crediti e dei debiti», la contabilizzazione lorda o netta, i conti delle transazioni finanziarie o conti di variazioni di bilancio, il consolidamento dei crediti e dei debiti. Infine, in uno schema detto «dettagliato» (ripartizione di ciascun credito di un dato settore secondo il debitore) esistono problemi di presentazione per i quali si propongono alcune soluzioni.

Samenvatting

De financiële rekening in internationaal verband

Het ontstaan van de financiële rekening kan het best worden uiteengezet aan de hand van de doelstellingen welke met het opstellen van deze rekening worden nagestreefd. Daarbij kunnen in hoofdzaak de volgende concepten worden aangehouden: de «flow of funds»-rekening, de monetaire analyse, de nationale kapitaalvorming en de financiering daarvan en de rekening van de veranderingen van vorderingen en schulden. Laatstgenoemd concept wordt in het verdere verloop van het onderzoek uitsluitend als uitgangspunt genomen. De financiële rekening is in dit opzicht de financiële tegenhanger van de economische rekeningen van de nationale rekening, in het bijzonder van de kapitaalrekening: het verband tussen deze beide groepen van rekeningen wordt in bijzonderheden aangetoond.

De voornaamste indelingscriteria van de nationale financiële rekening zijn enerzijds de sectoren en anderzijds de categorieën van vorderingen en verplichtingen. De samenstelling en afbakening van de sectoren geschiedt in principe volgens het institutionele en niet volgens het functionele criterium. Verder stemt de indeling in sectoren overeen met die van de nationale rekeningen: de ondernemingssector wordt echter gesplitst in niet-financiële ondernemingen en financiële instellingen, terwijl deze laatste dan weer in 4 subsectoren worden onderverdeeld (centrale banken, handelsbanken, verzekeringsmaatschappijen en overige financiële instellingen). Wat de categorieën van financiële vorderingen en verplichtingen betreft omvat het door het Bureau voor de Statistiek voorgestelde schema 9 posten (A tot J), waarvan er sommige nog zijn gesplitst in deelrubrieken.

Van de vraagstukken op het gebied van de boeking in de financiële rekening zijn vooral de volgende van belang: «Herkomst en besteding van de middelen» en «Veranderingen in de vorderingen en verplichtingen», bruto- of nettoboeking, rekeningen van de financiële transacties of van de balansveranderingen, alsmede de consolidatie van vorderingen en verplichtingen. Tenslotte rijzen er in een zogenaamd «uitvoerig schema» (verdeling van alle vorderingen van een bepaalde sector volgens de schuldenaar) vraagstukken op het gebied van de formele indeling, waarvoor enige mogelijke oplossingen worden voorgesteld.

Summary

Financial accounts considered at an international level

The ways which led to the establishment of financial accounts can best be described by reference to the purposes they were intended to serve. Here the essential concepts are: flow of funds-accounts, monetary analysis, overall wealth formation and its financing, and the financial assets and liabilities accounts. In the subsequent course of the analysis this last concept alone is used as a working basis. In this respect financial accounts are the financial counterparts to the economic accounts in national accounting, particularly to the capital transactions account; the interrelationship between the two groups of accounts is shown in detail.

The most important breakdown criterias in the financial accounts are formed by the sectors and the classes of assets and liabilities. Normally the sectors are formed and defined by reference to the institutional and not the functional criterion. Otherwise the sector classification corresponds to that of the economic accounts; however, the enterprise sector is divided into non-financial enterprises and financial institutions, and the latter into four sub-categories (central bank, commercial banks, insurance companies and «other financial institutions»). As for the classes of financial assets and liabilities, the system proposed by the SOEC provides 9 headings (A to H and J), some of which are further sub-divided.

As regards accounting theory and technique, mainly the following problems are of importance: criteria «sources and uses of funds» versus «changes in assets and liabilities»; choice between gross or net accounting; between accounts of financial operations and balance-sheet accounts; and the degree of consolidation of assets and liabilities. Lastly, problems of formal presentation arise in a «detailed system» (breakdown of each asset in a given sector by debtor), and for these problems a number of solutions are proposed.

Produktionsprogramme, Input und Erlöse im Steinkohlenbergbau der Gemeinschaft

R. BUYSE, Luxemburg

In dem im Jahre 1963 veröffentlichten Zehnjahresbericht ⁽¹⁾ wurden unter anderem eine ganze Reihe von Unterlagen über den Steinkohlenbergbau der Gemeinschaft veröffentlicht, die sich mit den Produktionsprogrammen, mit den Arbeitskosten im besonderen und mit einigen Angaben über Kohlenpreise und Durchschnittserlöse im Steinkohlenbergbau beschäftigten. Von vielen Seiten ist der Wunsch an die Hohe Behörde herangetragen worden, diese Unterlagen auf den neuesten Stand zu bringen. Das ist das Ziel dieses Aufsatzes.

1. Entwicklung der Produktionsprogramme

Die Beurteilung der Entwicklung der Produktionsprogramme ist im Rahmen des Kohlenbergbaus von besonderer Bedeutung. Bekanntlich durchläuft der einzelne Wirtschaftszweig jeweils mehrere Entwicklungsphasen. Er beginnt in der Regel mit relativ einfachen Fertigungen einer einzelnen Erzeugungs- oder Verarbeitungsstufe, und im weiteren Verlauf versucht er dann andere Fertigungen anzuschließen, ohne aber die Produktionskette auf höhere Stufen der Verarbeitung hin weiterzutragen.

In dem genannten Bericht waren unter anderem Umsatzzahlen der Staatsmijnen in Limburg angeführt

worden, die zeigten, daß, gemessen am Gesamtumsatz, Steinkohlen, Koks und Briketts zusammen im Jahre 1952 noch mit ungefähr 59 % beteiligt gewesen waren; 1961 waren es nur noch 53 % und 1963 sind es etwa 50 %, obwohl in der Zwischenzeit die Durchschnittspreise im Kohlensektor nicht unerheblich heraufgesetzt worden sind. Düngemittel, Kunststoffe und andere chemische Produkte haben gegenüber 1952 weiter an Bedeutung gewonnen. Zu Gas und Elektrizität — etwa im gleichen Umfang wie damals im Gesamtumsatz vertreten — sind weitere Erzeugnisse getreten, die im einzelnen hier nicht weiter aufgliedert zu werden brauchen.

⁽¹⁾ EGKS 1952-1962, Ergebnisse, Grenzen, Perspektiven.

TABELLE 1

Umsatzstruktur der Staatsmijnen in Limburg (a) (b)

	1952	1962	1963	1952	1962	1963
	in Millionen hfl.			in %		
Gesamtumsatz	431	610	764	100,0	100,0	100,0
<i>davon:</i>						
Steinkohlen und Briketts	131	183	221	30,4	26,5	28,9
Koks	124	158	166	28,8	22,9	21,7
Düngemittel	} 149	146	150	} 34,6	21,2	19,6
Kunststoffe und andere chemische Produkte		139	157		20,1	20,5
Gas und Elektrizität	26	39	40	6,0	5,6	5,2
Verschiedenes	—	25	30	—	3,6	3,9

(a) Vgl. Jaarverslag 1952 und 1962-1963.

(b) Bericht „EGKS 1952-1962, Ergebnisse, Grenzen, Perspektiven“, S. 223. Die Originaltabelle wurde um die Jahre 1962 und 1963 ergänzt.

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den Charbonnages de France, die ihre Nettoverkaufseinnahmen aus festen Brennstoffen und anderen Erzeugnissen geben.

Auch hier zeigt sich ein relativer Rückgang der Nettoverkaufseinnahmen so weit es sich um feste Brennstoffe handelt.

TABELLE 2

Nettoverkaufseinnahmen der Charbonnages de France (a) (d)

	1952	1962	1963	1952	1962	1963
	in Millionen ffrs			in %		
Verkauf (insgesamt)	2 858	4 518	4 430	100,0	100,0	100,0
<i>davon:</i>						
Feste Brennstoffe	2 411	3 503	3 391	84,4	77,5	76,5
Strom, Gas und andere Nebenprodukte der Karbonisierung	239	692	662	8,4	15,3	14,9
Synthese- und chemische Erzeugnisse	—	270	300	—	6,0	6,8
Verschiedene Tätigkeiten	105	191	200	3,7	4,2	4,5
Sonstiges	103	138(b)	123(c)	3,6	— 3,0	— 2,7

(a) Charbonnages de France, Rapport de gestion, 1962, S. 102.

Charbonnages de France, Rapport de gestion, 1963, S. 88.

(b) Saldo aus Finanzhilfe für Lagerhaltung und Lagerveränderung.

(c) Saldo aus Lagerveränderung.

(d) Bericht „EGKS 1952-1962, Ergebnisse, Grenzen, Perspektiven“, S. 224. Die Originaltabelle wurde um die Jahre 1962 und 1963 ergänzt.

2. Der Input im Steinkohlenbergbau

Über den Input im Steinkohlenbergbau finden wir Angaben vor allem für Frankreich, für die Niederlande und für Belgien. Die in dem genannten Bericht veröffentlichten Angaben über die Kostenstruktur des deutschen Steinkohlenbergbaus stehen nur einmal, nämlich für den Herbst 1959, zur Verfügung.

Die Gliederung der Kosten im französischen Steinkohlenbergbau, wie sie sich aus den Jahresberichten

der Charbonnages de France ergibt, zeigt zunächst das bekannte Bild, daß der Anteil der Arbeitskosten außerordentlich hoch ist. 1952 betrug er rund 60 %, 1963 bereits 67 %, im Laufe der letzten Zeit ist er ständig weiter gestiegen. Der Anteil der Materialkosten geht demgegenüber relativ zurück. Die Bedeutung der allgemeinen Kosten und der Abschreibungen ist nicht durch größere Veränderungen gekennzeichnet.

TABELLE 3

Gliederung der Kosten der französischen Steinkohlenförderung (a) (b)

	1952	1962	1963	1963 (1952 = 100)	
	In ffrs je t verwertbarer Förderung				
Arbeitskosten	30,62	52,08	59,61	170	194
Materialkosten	12,07	14,36	15,92	118	131
Allgemeine Kosten und finanzielle Lasten	2,84	4,71	5,39	165	189
Abschreibungen	5,01	7,88	8,33	157	166
<i>Zusammen</i>	50,54	79,03	89,25	156	176
	in % der Kostensumme				
Arbeitskosten	60,59	65,90	66,79		
Materialkosten	23,88	18,17	17,84		
Allgemeine Kosten und finanzielle Lasten	5,62	5,96	6,04		
Abschreibungen	9,91	9,97	9,33		
<i>Zusammen</i>	100,00	100,00	100,00	—	—

(a) Charbonnages de France, Rapport de gestion, 1963, S. 47.

(b) Bericht „EGKS 1952-1962, Ergebnisse, Grenzen, Perspektiven“, S. 233. Die Originaltabelle wurde um die Jahre 1962 und 1963 ergänzt.

Festzuhalten bleibt, daß die Zunahme der Arbeitskosten ein relativ starkes Tempo gehabt hat. Entsprechend den Untersuchungen des Statistischen Amtes der Europäischen Gemeinschaften kann man davon ausgehen, daß sich die Arbeitskosten je Tonne ver-

wertbarer Förderung von 1952 bis 1963 fast verdoppelt haben.

In Belgien hat sich der Anteil der Arbeitskosten an den Ausgaben des belgischen Steinkohlenbergbaus von

1952 bis 1962 ebenfalls, wenn auch nur unwesentlich, erhöht (1952 betrug der Anteil 60 %, 1962 62 %). Dies dürfte unter anderem damit zusammenhängen, daß die Lohnkosten je t im belgischen Steinkohlen-

bergbau schon 1952 relativ hoch waren, und ferner damit, daß die Absatzschwierigkeiten in den letzten Jahren einer starken Zunahme der Lohnkosten nicht günstig waren.

TABELLE 4

Gliederung der Ausgaben im belgischen Steinkohlenbergbau (a) (b)

	1952	1961	1962	1960 (1952 = 100)	1961	1962
	Ausgaben je t in bfrs					
Arbeitskosten	455	462	486	105	101,5	107
Übrige Ausgaben	305	296	298	95	97	98
Zusammen	760	758	784	101	99,7	103
Anteil der Arbeitskosten in %	60,0	60,9	62	—	—	—

(a) Nach Annales des mines de Belgique : März 1956, S. 309; März 1963, S. 323; Oktober 1964, S. 1266.

(b) Bericht „EGKS 1952-1962, Ergebnisse, Grenzen, Perspektiven“, S. 235. Die Originaltabelle wurde um die Jahre 1961 und 1962 ergänzt.

In der Bundesrepublik Deutschland ist der Anteil der Löhne und Gehälter, soweit man nur den Grubenbetrieb betrachtet, ungefähr auf 62,5 % (1963) gestiegen gegenüber 58 % im Jahre 1952. Auch hier hat

man also, ähnlich wie in Frankreich, mit einer Zunahme des Anteils der Löhne und Gehälter an den Gesamtkosten beziehungsweise an den Gesamteinnahmen zu rechnen.

TABELLE 5

Anteil der Arbeitskosten am Bruttoproduktionswert im deutschen Steinkohlenbergbau (a) (b)

Jahr	Anteil der Arbeitskosten	
	Grubenbetrieb einschl. Hilfsbetriebe	Förderung und Weiterverarbeitung
1952	57,6	56,1
1958	59,9	57,0
1961	62,4	59,6
1962	63,5	60,4
1963	62,5	59,7

(a) Die Kohlenwirtschaft der Bundesrepublik, 1963, Essen, 1964, S. 30.

(b) Bericht „EGKS 1952-1962, Ergebnisse, Grenzen, Perspektiven“, S. 236. Die Originaltabelle wurde um die Jahre 1962 und 1963 ergänzt.

Diese Darstellung ist freilich noch in einer bestimmten Weise, die mit der Tatsache der gerade im ersten Abschnitt geschilderten Diversifizierung der Produktionsprogramme zusammenhängt, zu modifizieren. Die Charbonnages de France geben unter anderem neben den Kosten der französischen Steinkohlenförderung im engeren Sinne auch eine Gliederung der Ausgaben ihrer Unternehmung im ganzen, wobei also nunmehr die einzelnen Kostenarten nicht nur für den eigent-

lichen Steinkohlenbetrieb aufgenommen worden sind, sondern für die gesamte Unternehmung, indem auch alle übrigen Fertigungen in die Berechnungen einbezogen wurden. Es zeigt sich, daß dadurch eine leichte Herabdrückung der Lohnkosten erzielt werden konnte. Jedenfalls ist auch gegenüber 1952 die Zunahme des Anteils der Personalkosten bei weitem nicht so groß wie im reinen Grubenbetrieb.

TABELLE 6
Gliederung der Ausgaben der Charbonnages de France (b)

	1952	1962 (a)	1963	1952	1962	1963
	in Millionen ffrs			in %		
Personalkosten und damit zusammenhängende Kosten	1 643	2 950	3 103	63,1	66,9	65,9
Aufwand für gekaufte Brennstoffe	} 721	70	150	} 27,7	1,6	3,2
Materialien		1 015	1 052		23,0	22,3
Gemeinkosten	64	166	186	2,5	3,7	3,9
Finanzielle Kosten	93	211	222	3,6	4,8	4,7
Sonstiges	82	—	—	3,1	—	—
Zusammen	2 603	4 412	4 713	100,0	100,0	100,0

(a) Charbonnages de France, Rapport de gestion (1963), S. 88.

(b) Bericht „EGKS 1952-1962, Ergebnisse, Grenzen, Perspektiven“, S. 234. Die Originaltabelle wurde um die Jahre 1962 und 1963 ergänzt.

Ähnliche Feststellungen kann man für die Bundesrepublik Deutschland machen. Die Tabelle auf Seite 236 des Zehnjahresberichts, ergänzt für die Jahre 1962 und 1963, zeigt sogar, daß von 1962 auf 1963 diese Quote geringfügig zurückgegangen ist. Sie ist jedenfalls gegenüber 1952 auf alle Fälle nicht so stark gestiegen wie die Arbeitskostenquote im eigentlichen Gruben-

betrieb einschließlich Hilfsbetrieb (vgl. dazu Tab. V). Die entsprechenden Unterlagen für die Staatsmijnen in Limburg bestätigen diese Entwicklung ebenfalls. Allerdings hat sich der Anteil der Lohnkosten an der gesamten Aufwandsrechnung 1963 gegenüber dem Vorjahr leicht vermindert.

TABELLE 7
Aufwandsrechnung der Staatsmijnen in Limburg (a)

	1962	1963	1962	1963	1962	1963
	in Millionen hfl.		in %		in %	
Lohnkosten	376	399,5	57	56	54	52
Materialien, Grund- und Hilfsstoffe, Dienste und verschiedene Kosten	217,2	243,3	33	34	31	32
Abschreibungen	66,8	69,6	10	10	10	9
<i>Zusammen</i>	660	712,4	100	100	95	93
Umsatz (ohne Umsätze innerhalb der Staatsmijnen)	690	764			100	100

(a) Bericht „EGKS 1952-1962, Ergebnisse, Grenzen, Perspektiven“, S. 234. Die Originaltabelle wurde um die Jahre 1962 und 1963 ergänzt.

3. Erlöse

Die Entwicklung dieser Aufwandszahlen, auch wenn sie lückenhaft sein mögen, ist weiter interessant, wenn man sie in Beziehung setzt zu den Durchschnittserlösen und schließlich noch die Entwicklung der Preise im einzelnen untersucht.

Über die Durchschnittserlöse Aussagen zu machen, begegnet verhältnismäßig großen Schwierigkeiten. Es gibt zwei Wege für den Statistiker. Einerseits kann er die Durchschnittserlöse je Tonne verwertbarer Förderung ermitteln. Entsprechende Angaben stehen

für drei Länder der Gemeinschaft, nämlich für Belgien, die Bundesrepublik Deutschland und Frankreich zur Verfügung. Er kann zweitens Angaben über Durchschnittserlöse machen, wie sie sich aus den Außenhandelszahlen der Gemeinschaft für Kohle, Koks und Briketts herausstellen. Was zunächst die Durchschnittserlöse je Tonne verwertbarer Förderung betrifft, so gibt die Tabelle auf Seite 303 des Zehnjahresberichts für die Jahre 1962 und 1963 folgende Hinweise:

TABELLE 8
Durchschnittserlöse je t verwertbarer Förderung (a) (b) (1952 = 100)

Jahr	Belgien	Deutschland (BR) ohne Saarland			Frankreich		
		L	U	Zusammen	L	U	Zusammen
1952	100	100	100	100	100	100	100
1953	98	107	107	107	98	98	98
1954	95	106	106	106	97	97	97
1955	94	112	112	112	95	95	95
1956	101	120	120	120	100	100	100
1957	120	127	127	127	109	90**	108
1958	123	132	132	132	122	87	121
1959	105	127	127	127	132	94	130
1960	100	128	133	130	132	94	130
1961	99	128	134*	131	135	96	133
1962	103	129	135	132	138	98	136
1963	111	132	137	135	143	102	139

(a) L = in Landeswährung; U = in Dollar; Zusammen = gewogener Durchschnitt.

(b) Bericht „EGKS 1952-1962, Ergebnisse, Grenzen, Perspektiven“, S. 303. Die Originaltabelle wurde um die Jahre 1962 und 1963 ergänzt.

(*) Aufwertung der DM am 5. Mai 1961.

(**) Abwertung des Ffr am 11. August 1957.

Die Zunahme der Erlöse in Belgien ist verhältnismäßig gering gewesen. — 1963 lagen die Erlöse nur 11 % über 1952. In der Bundesrepublik sind sie wieder auf den relativ hohen Stand des Jahres 1958 (32 % über dem Stand von 1952) gestiegen — von 1952-1963 132 % —, während die französischen Durchschnittserlöse sich ununterbrochen erhöht haben und 1963 etwa 43 % über dem Stand von 1952 liegen.

Solche Betrachtung muß allerdings mit gewisser Vorsicht durchgeführt werden. Es kommt nicht nur auf die prozentuale Veränderung gegenüber dem Jahre 1952, sondern daneben auch auf die Entwicklung der absoluten Zahlen, beispielsweise in Dollar je Tonne, an. Hierüber gibt die folgende Tabelle Auskunft.

TABELLE 9

Wert der verwertbaren Förderung oder Erzeugung je t in Dollar

	Belgien	Deutschland (BR) ohne Saarland	Frankreich
1961	14,413	15,647	13,273
1962	15,050	15,809	13,542
1963	16,160	16,196	14,081

Für Deutschland und Frankreich kann man außerdem entsprechende Erlösindizes bilden, indem man die gesamten Durchschnittserlöse der Unternehmung auf die Tonne verwertbare Kohlenförderung bezieht.

Dann liegen die Verhältnisse in beiden Ländern wesentlich günstiger. So betrachtet, hätte sich in Deutschland der Durchschnittserlös von 1952-1963 um 37 %, in Frankreich sogar um 78 % erhöht.

TABELLE 10

**Durchschnittserlöse je t verwertbarer Förderung
(Grubenbetrieb und Weiterverarbeitung) (a) (1952 = 100)**

	Deutschland (BR)	Frankreich
1952	100	100
1956	122	110
1961	132	161
1962	134	165
1963	137	178
Zum Vergleich: 1963 Erlös im Grubenbetrieb (1952 = 100)	132	143

(a) Bericht „EGKS 1952-1962, Ergebnisse, Grenzen, Perspektiven“, S. 304. Die Originaltabelle wurde um die Jahre 1962 und 1963 ergänzt.

Die Erlöse im Außenhandel mit Steinkohle, Koks und Briketts.

Aus den laufenden Ermittlungen über den Außenhandel in Kohle, Koks und Briketts geht hervor, daß sich der Durchschnittserlös im Austausch zwischen

den Ländern der Gemeinschaft von 1952 bis 1963 um 17 % erhöhte, während der Durchschnittserlös im Export nach dritten Ländern für Steinkohle, Koks und Steinkohlenbriketts im Jahre 1963 noch 3 % geringer war als im Jahre 1952.

TABELLE 11

Durchschnittserlöse im Austausch zwischen den Ländern der Gemeinschaft für Steinkohle, Koks und Steinkohlenbriketts — Grenzwerte der Außenhandelsstatistiken der Gemeinschaftsländer (1952 = 100, Dollarbasis) (a)

Jahr	Steinkohle einschl. Koks und Briketts	Steinkohle	Koks
1952	100	100	100
1953	99	103	99
1954	94	99	93
1955	92	94	92
1956	103	107	98
1957	116	120	111
1958	120	124	114
1959	111	113	110
1960	107	107	106
1961	108	108	108
1962	110	112	106,5
1963	117	122	106

(a) Bericht „EGKS 1952-1962, Ergebnisse, Grenzen, Perspektiven“, S. 302. Die Originaltabelle wurde um die Jahre 1962 und 1963 ergänzt.

TABELLE 12

Wert der Durchschnittserlöse im Austausch zwischen den Ländern der Gemeinschaft für Steinkohle, Koks und Steinkohlenbriketts je t in Dollar

Jahr	Steinkohle einschl. Koks und Briketts	Steinkohle	Koks
1952	17,287	15,702	20,139
1953	17,114	16,173	19,938
1954	16,250	15,545	18,730
1955	16,824	14,760	18,528
1956	17,806	16,801	19,736
1957	20,053	18,842	22,354
1958	20,744	19,470	22,958
1959	19,186	17,743	22,153
1960	18,497	16,801	21,347
1961	18,670	16,958	21,750
1962	19,016	17,586	21,448
1963	20,226	19,156	21,347

TABELLE 13

**Durchschnittserlöse im Export nach dritten Ländern für Steinkohle, Koks und Steinkohlenbriketts
Grenzwerte der Außenhandelsstatistiken der Gemeinschaftsländer
(1952 = 100, Dollarbasis) (a)**

Jahr	Steinkohle, einschl. Koks und Briketts	Steinkohle	Koks
1952	100	100	100
1953	94	93	96
1954	87	86	90
1955	84	82	92
1956	105	102	112
1957	124	116	135
1958	115	109	120
1959	96	92	99
1960	90	84	95
1961	89	82	94
1962	85	77	94
1963	97	90	100

(a) Bericht „EGKS 1952-1962, Ergebnisse, Grenzen, Perspektiven“, S. 301. Die Originaltabelle wurde um die Jahre 1962 und 1963 ergänzt.

TABELLE 14

**Wert der Durchschnittserlöse im Export nach dritten Ländern
für Steinkohle, Koks und Steinkohlenbriketts je t in Dollar**

Jahr	Steinkohle, einschl. Koks und Briketts	Steinkohle	Koks
1952	19,583	19,015	20,219
1953	18,408	17,684	19,410
1954	17,037	16,353	18,197
1955	16,450	15,592	18,601
1956	20,562	19,395	22,645
1957	24,283	22,057	27,296
1958	22,520	20,726	24,263
1959	18,800	17,494	20,017
1960	17,625	15,973	19,208
1961	17,429	15,592	19,006
1962	16,645	14,641	19,006
1963	18,995	17,113	20,219

Die Preisindexziffern der nationalen statistischen Ämter.

Der Vergleich der Preisindexziffern für Steinkohle (1952 = 100) mit den Durchschnittserlösen je t ver-

wertbarer Förderung (1952 = 100) zeigt, daß die Indizes der Großhandelspreise beziehungsweise der Erzeugerpreise immer höher liegen als die Indizes der Durchschnittserlöse. (Die Jahre 1957 und 1958 in Belgien sind die einzigen Ausnahmen.)

TABELLE 15
Preisindexziffern für Steinkohle
(1952 = 100)

Land	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963
	a) Großhandelspreise													
Frankreich	70	86	100	100	100	100	104	115	127	144	144	145	146	150
Belgien	95	98	100	99	99	99	103	118	120	113	110	109	110	115
Niederlande	66	89	100	101	101	103	105	115	124	112	104	108	109	109
Italien	79	108	100	89	88	94	105	108	95	86	85	84	85	90
	b) Erzeugerpreise													
Deutschland (BR)	75	85	100	121	120	119	125	135	141	141	141	141	142	145
Insgesamt	76	87	100	112	112	111	116	127	133	136	135	135	138	139

TABELLE 16
Vergleich der Preisindexziffern für Steinkohle (1952 = 100)
mit den Durchschnittserlösen je t verwertbarer Förderung (1952 = 100)
I. Preisindexziffern für Steinkohle (1952 = 100) II. Durchschnittserlöse je t verwertbarer Förderung (1952 = 100)

	Belgien		Deutschland (BR) (II ohne Saarland)		Frankreich	
	I	II	I	II	I	II
	(Großhandelspr.)		(Erzeugerpr.)		(Großhandelspr.)	
1952	100	100	100	100	100	100
1953	99	98	121	107	100	98
1954	99	95	120	106	100	97
1955	99	94	119	112	100	95
1956	103	101	125	120	104	100
1957	118	120	135	127	115	109
1958	120	123	141	132	127	122
1959	113	105	141	127	144	132
1960	110	100	141	128	144	132
1961	109	99	141	128	145	135
1962	110	103	142	129	146	138
1963	115	111	145	132	150	143

Der relative Entwicklungsgang zwischen dem Preisniveau im ganzen und dem Preisniveau für Kohle.

Die Tabelle auf Seite 300 des Zehnjahresberichts, ergänzt für die Jahre 1962 und 1963, zeigt, daß in

Deutschland die Kohlenpreise sich weit schneller entwickeln als der Gesamtpreisindex. Das hängt aber zum Teil damit zusammen, daß in früheren Jahren der Kohlenpreis ein politischer Preis war, also gestoppt war.

TABELLE 17

Indizes der Kohlenpreise und der allgemeinen Großhandelspreise (1952 = 100) (a)

	1952	1956	1961	1962	1963
	a) Erzeugerpreise				
Deutschland (BR)					
Gesamt	100	100	104	105	106
Kohle	100	125	141	142	145
	b) Großhandelspreise				
Belgien					
Gesamt	100	97	95	106	109
Kohle	100	103	109	110	115
Frankreich					
Gesamt	100	97	128	131	136
Kohle	100	104	145	146	150
Niederlande					
Gesamt	100	100	98	99	101
Kohle	100	105	(108)	109	109
Italien					
Gesamt	100	102	99	102	107
Kohle	100	105	84	85	90
Gemeinschaft					
Gesamt	100	98	107	113	116
Kohle	100	116	135	138	139

(a) Bericht „EGKS 1952-1962, Ergebnisse, Grenzen, Perspektiven“, S. 300. Die Originaltabelle wurde um die Jahre 1962 und 1963 ergänzt.

In Frankreich ist die Kohle relativ teurer geworden als der Gesamtindex. Das gilt nicht für Italien, das aber wesentlich Kohle einführt, und es gilt für die Niederlande auch nicht in dem starken Maße wie ge-

rade in Deutschland. Je größer der Unterschied zwischen dem Preisniveau im ganzen und dem Preisniveau für Kohle, desto schwieriger wird die Konkurrenzlage der Kohle.

Zusammenfassung

Produktionsprogramme, Input und Erlöse im Steinkohlenbergbau der Gemeinschaft

Eine Ergänzung der Unterlagen des Berichtes „EGKS 1952-1962 - Ergebnisse, Grenzen, Perspektiven“ in Bezug auf die Produktionsprogramme, die Arbeitskosten, die Kohlenpreise und die Durchschnittserlöse im Steinkohlenbergbau ist das Ziel dieses Artikels.

Die Beurteilung der Entwicklung der Produktionsprogramme ist im Rahmen des Kohlenbergbaus von besonderer Bedeutung. Die Umsatzzahlen der Staatsmijnen in Limburg und der Charbonnages de France zeigen, daß der Anteil der festen Brennstoffe am Gesamtumsatz relativ geringer wird.

Der Anteil der Löhne und Gehälter ist, soweit man den Grubenbetrieb betrachtet, in den Jahren 1962 und 1963 weiter gestiegen. Wenn man die Diversifizierung der Produktionsprogramme in Betracht zieht, zeigt sich, daß der Anteil der Lohnkosten an der gesamten Aufwandsrechnung nicht so stark gestiegen ist, wie im eigentlichen Grubenbetrieb ohne Nebenbetriebe und andere Fertigungen.

Die Erlöse im Außenhandel mit Steinkohle, Koks und Briquets zeigen im Austausch zwischen den Ländern der Gemeinschaft und im Export nach dritten Ländern eine unterschiedliche Entwicklung.

Der Vergleich der Preisindexziffern für Steinkohle mit dem Preisniveau im ganzen zeigt, daß sich, besonders in Deutschland, die Kohlenpreise relativ weit schneller entwickeln als der Gesamtpreisindex. Dies weist darauf hin, daß die Konkurrenzlage für Steinkohle ungünstiger wird.

Résumé

Programmes de production, input et rendement dans les mines de houille de la Communauté

Cet article vise à compléter les documents du rapport « C.E.C.A. 1952-1962, Résultats, Limites, Perspectives » en ce qui concerne les programmes de production, le coût du travail, les prix du charbon et le rendement moyen des mines de houille.

L'appréciation de l'évolution des programmes de production revêt une signification particulière pour les mines de houille. Les données des Staatsmijnen du Limbourg et des Charbonnages de France montrent que la part relative des combustibles solides dans le chiffre d'affaires diminue.

Dans les entreprises minières, la part des traitements et salaires a continué à progresser en 1962 et 1963. Lorsqu'on tient compte de la diversification des programmes de pro-

duction, on constate que la part des charges salariales dans les dépenses totales n'accuse pas une augmentation aussi forte que dans le cas des entreprises minières proprement dites, à l'exclusion des activités auxiliaires et des autres productions.

Les gains réalisés dans le commerce extérieur de houille, de coke et des agglomérés évoluent diversement dans les échanges entre Etats membres de la Communauté et dans les exportations vers les pays non membres.

La comparaison des indices de prix du charbon avec le niveau général des prix montre qu'en Allemagne surtout, les prix du charbon évoluent plus rapidement que l'indice général des prix. Cela signifie que la situation concurrentielle de la houille se détériore.

Riassunto

Programma di produzione, input e rendimento delle miniere di carbone della Comunità

Questo articolo deve servire di complemento alla documentazione di base della relazione « CECA 1952-1962, Risultati, Limiti, Prospettive » per quanto riguarda i programmi di produzione, il costo del lavoro, i prezzi del carbone e il rendimento medio delle miniere di carbon fossile.

L'apprezzamento dello sviluppo dei programmi di produzione assume particolare importanza per miniere di carbon fossile. I dati concernenti « Staatsmijnen » del Limburg e « Charbonnages de France » indicano che la quota relativa dei combustibili solidi nella cifra d'affari è in diminuzione.

Nell'industria mineraria l'ammontare degli stipendi e dei salari ha continuato a salire negli anni 1962-1963. Se si tien conto del diversificarsi dei programmi di produzione si rileva che l'ammontare degli oneri salariali nelle spese totali non accusa un aumento così forte come nelle imprese minerarie propriamente dette, attività ausiliarie ed altre produzioni escluse. I guadagni realizzati con il commercio estero di carbon fossile, di coke e degli agglomerati mettono in evidenza una diversa evoluzione per quanto riguarda gli scambi fra i paesi della Comunità e le esportazioni verso i paesi non membri.

Da un raffronto tra gli indici di prezzo del carbon fossile e il livello generale dei prezzi risulta che soprattutto in Germania i prezzi del carbone evolvono con una maggiore relativa rapidità degli indici generali dei prezzi.

Ciò indica che la situazione concorrenziale concernente il carbon fossile si avvia verso un deterioramento.

Samenvatting

Productieprogramma's, input en opbrengst in de steenkolenmijnbouw van de Gemeenschap

Het doel van dit artikel is een aanvulling te geven op de documentatie van de publikatie « E.G.K.S. 1952-1962 - Resultaten, Grenzen, Perspectieven » met betrekking tot de productieprogramma's, de arbeidskosten, de kolenprijzen en de gemiddelde productie in de steenkolenmijnen.

De bestudering van de ontwikkeling van de productieprogramma's is in het kader van de kolenmijnbouw van bijzonder belang. De omzetcijfers van de Staatsmijnen in Limburg en van de « Charbonnages de France » tonen aan dat het aandeel van de brandstoffen relatief minder wordt.

Het aandeel van de lonen en salarissen is, voorzover men de mijnexploitatie beschouwt, in de jaren 1962 en 1963 nog verder gestegen. Wanneer men de diversificatie van de productieprogramma's in aanmerking neemt, blijkt dat het aandeel van de loonkosten in de totale kostenrekening niet zo sterk is gestegen als in de eigenlijke mijnbouw, dus zonder de nevenbedrijven en andere fabrieken.

De opbrengst in de buitenlandse handel van steenkool, cokes en briketten vertoont in de leveringen aan de lid-staten van de Gemeenschap en in de uitvoer naar derde landen een verschillende ontwikkeling.

Uit een vergelijking tussen de prijsindexcijfers voor steenkolen en het totale prijspeil blijkt dat, in het bijzonder in Duitsland, de kolenprijzen zich relatief veel sneller ontwikkelen dan de totale prijsindexen. Dit wijst er op dat de concurrentiepositie van de steenkool ongunstiger wordt.

Summary

Production programmes, input and proceeds in the coal mines of the Community

The purpose of this article is to supplement the data given in the review "ECSC 1952-1962 - Achievement, Limitations, Prospects" of production programmes, labour costs, coal prices and average proceeds in coal-mining.

Assessment of how production programmes are developing is of particular importance in coal-mining. The turnover figures of the Staatsmijnen in Limburg and of the Charbonnages de France show that the share of solid fuels in total consumption is declining.

In the collieries the ratio of wages and salaries to total input grew again in 1962 and 1963. With the diversification of production programmes, the ratio of wage costs to input has not risen as much as it has in the collieries proper, exclusive of ancillary activities and other lines of production.

There is a divergence between the trend of proceeds from Community sales of hard coal, coke and briquettes outside the Community and the trend of intra-Community trade in these items.

A comparison of the price index for hard coal with the general price level shows that the price of coal is rising much faster than the general level of prices, especially in Germany. This indicates that the competitive position of coal is weakening.

TITOLO	TITEL	TITLE
PUBBLICAZIONI PERIODICHE	PERIODIEKE UITGAVEN	PERIODICAL PUBLICATIONS
Bollettino Generale di Statistiche (serie viola) tedesco / francese / italiano / olandese / inglese 11 numeri all'anno	Algemeen Statistisch Bulletin (paars) Duits / Frans / Italiaans / Nederlands / Engels 11 nummers per jaar	General Statistical Bulletin (purple series) German / French / Italian / Dutch / English 11 issues per year
Informazioni Statistiche (serie arancione) tedesco / francese / italiano / olandese / inglese 4 fascicoli all'anno	Statistische Mededelingen (oranje) Duits / Frans / Italiaans / Nederlands / Engels 4 nummers per jaar	Statistical information (orange series) German / French / Italian / Dutch / English 4 issues yearly
Statistiche Generali tedesco, francese, italiano, olandese, inglese annuale	Basisstatistieken Duits, Frans, Italiaans, Nederlands, Engels jaarlijks	Basic Statistics German / French / Italian / Dutch / English yearly
Commercio Estero: Statistica Mensile (serie rossa) tedesco / francese 11 numeri all'anno	Buitenlandse Handel: Maandstatistiek (rood) Duits / Frans 11 nummers per jaar	Foreign Trade: Monthly Statistics (red series) German / French 11 issues yearly
Commercio Estero: Tavole Analitiche (serie rossa) tedesco / francese trimestrale in due tomi (import-export) Fascicoli genn.-marzo, genn.-giugno, genn.-sett. Fascicolo genn.-dic. : Importazioni Esportazioni	Buitenlandse Handel: Analytische tabellen (rood) Duits / Frans driemaandelijks in twee banden (invoer-uitvoer); Band jan.-maart, jan.-juni, jan.-sept. Band jan.-dec. : Invoer Uitvoer	Foreign Trade: Analytical Tables (red series) German / French quarterly publication in two volumes (imports- exports) Issues Jan.-March, Jan.-June, Jan.-Sept. Issue Jan.-Dec. : Imports Exports
Commercio Estero: Codice geografico comune tedesco / francese / italiano / olandese	Buitenlandse Handel : Gemeenschappelijke Landenlijst Duits / Frans / Italiaans / Nederlands	Foreign Trade: Standard Country Classification German / French / Italian / Dutch
Associati d'Oltremare: Statistica del Commer- cio estero (serie verde oliva) tedesco / francese trimestrale	Overzeese Geassocieerden: Statistiek van de Buitenlandse Handel (oliifgroen) Duits / Frans driemaandelijks	Overseas Associates: Foreign Trade Statistics (olive-green series) German / French quarterly
Associati d'Oltremare: Bollettino statistico (serie verde oliva) tedesco / francese / italiano / olandese / inglese 4-5 fascicoli all'anno	Overzeese Geassocieerden: Statistisch Bulletin (oliifgroen) Duits / Frans / Italiaans / Nederlands / Engels 4-5 nummers per jaar	Overseas Associates: Statistical Bulletin (olive-green series) German / French / Italian / Dutch / English 4-5 issues yearly
Statistiche dell'Energia (serie blu notte) tedesco / francese / italiano / olandese bimestrale Fascicolo annuo	Energiestatistiek (nachtblauw) Duits / Frans / Italiaans / Nederlands tweemaandelijks jaarboek	Energy Statistics (night blue series) German / French / Italian / Dutch bimonthly Annual edition
Statistiche dell'Industria (serie blu) tedesco / francese / italiano / olandese trimestrale Fascicolo annuo	Industriestatistiek (blauw) Duits / Frans / Italiaans / Nederlands driemaandelijks jaarboek	Industrial Statistics (blue series) German / French / Italian / Dutch quarterly Annual edition
Siderurgia (serie blu) tedesco / francese / italiano / olandese bimestrale Fascicolo annuo	IJzer en Staal (blauw) Duits / Frans / Italiaans / Nederlands tweemaandelijks jaarboek	Iron and Steel (blue series) German / French / Italian / Dutch bimonthly Annual edition
Statistiche Sociali (serie gialla) tedesco, francese, italiano, olandese irregolare	Sociale Statistiek (geel) Duits, Frans, Italiaans, Nederlands onregelmatig	Social Statistics (yellow series) German, French, Italian, Dutch published at irregular intervals
Statistica Agraria (serie verde) tedesco / francese 6-8 fascicoli all'anno	Landbouwstatistiek (groen) Duits / Frans 6-8 nummers per jaar	Agricultural Statistics (green series) German / French 6-8 issues yearly
PUBBLICAZIONI NON PERIODICHE	NIET-PERIODIEKE UITGAVEN	NON-PERIODICAL PUBLICATIONS
Classificazione Statistica e Tariffaria per il Commercio internazionale (CST) tedesco, francese, italiano, olandese	Classificatie voor Statistiek en Tarief van de internationale handel (CST) Duits, Frans, Italiaans, Nederlands	Statistical and Tariff Classification for Inter- national Trade (CST) German, French, Italian, Dutch
Nomenclatura delle Industrie nelle Comunità Europee (NICE) tedesco / francese e italiano / olandese	Systematische Indeling der Industrietakken in de Europese Gemeenschappen (NICE) Duits / Frans en Italiaans / Nederlands	Nomenclature of the Industries in the European Communities (NICE) German / French and Italian / Dutch
Nomenclatura uniforme delle merci per la statistica dei trasporti (NST) tedesco, francese	Eenvormige goederennomenclatuur voor de vervoerstatistieken (NST) Duits, Frans	Standard Goods Nomenclature for Transport Statistics (NST) German, French

STATISTISCHES AMT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN
OFFICE STATISTIQUE DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES
ISTITUTO STATISTICO DELLE COMUNITÀ EUROPEE
BUREAU VOOR DE STATISTIEK DER EUROPESE GEMEENSCHAPPEN
STATISTICAL OFFICE OF THE EUROPEAN COMMUNITIES

Verwaltungsrat / Conseil d'Administration / Consiglio d'Amministrazione / Raad van Bestuur / Supervisory Board

Vorsitzender / Président / Presidente / Voorzitter / Chairman:

A. Coppé Vizepräsident der Hohen Behörde der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl / Vice-président de la Haute Autorité de la Communauté européenne du charbon et de l'acier / Vicepresidente dell'Alta Autorità della Comunità Europea del Carbone e dell'Acciaio / Vice-voorzitter van de Hoge Autoriteit der Europese Gemeenschap voor Kolen en Staal / Vice-President of the High Authority of the European Coal and Steel Community

Mitglieder / Membres / Membri / Leden / Members:

L. Levi Sandri Vizepräsident der Kommission der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft / Vice-président de la Commission de la Communauté économique européenne / Vicepresidente della Commissione della Comunità Economica Europea / Vice-Voorzitter van de Commissie der Europese Economische Gemeenschap / Vice-President of the Commission of the European Economic Community

P. De Groote Mitglied der Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft / Membre de la Commission de la Communauté européenne de l'énergie atomique / Membro della Commissione della Comunità Europea dell'Energia Atomica / Lid van de Commissie der Europese Gemeenschap voor Atoomenergie / Member of the Commission of the European Atomic Energy Community

—

R. Wagenführ Generaldirektor / Directeur général / Direttore Generale / Directeur-Generaal / Director general

H. Schumacher Assistent / Assistant / Assistente / Assistent / Assistant

Direktoren / Directeurs / Direttori / Directeuren / Directors:

R. Dumas Allgemeine Statistik / Statistiques générales / Statistica Generale / Algemene Statistiek / General Statistics

V. Paretti Energiestatistik. Statistik der assoziierten überseeischen Länder. Maschinelle Auswertung / Statistiques de l'énergie. Statistiques des associés d'outre-mer. Exploitations mécanographiques / Statistiche dell'Energia. Statistiche degli Associati d'Oltremare. Lavori meccanografici / Energiestatistiek. Statistieken van de Geassocieerde Overzeese Gebieden. Machinale bewerking / Energy Statistics. Statistics of Associated Overseas Countries. Machine computation.

C. Legrand Außenhandels- und Verkehrsstatistik / Statistiques du commerce extérieur et des transports / Statistica del Commercio estero e dei Trasporti / Statistieken van de Buitenlandse Handel en Vervoer / Foreign Trade and Transport Statistics

F. Grotius Industrie- und Handwerksstatistik / Statistiques industrielles et artisanales / Statistica dell'Industria e dell'Artigianato / Industrie- en Ambachtsstatistiek / Industrial and Craft Statistics

P. Gavanier Sozialstatistik / Statistiques sociales / Statistica Sociale / Sociale Statistiek / Social Statistics

N.N. Agrarstatistik / Statistiques agricoles / Statistica Agraria / Landbouwstatistiek / Agricultural statistics

—

R. Sannwald Redaktion der Veröffentlichungen / Rédaction des publications / Redazione delle pubblicazioni / Redactie van de publikaties / Editing of publications

Diese Veröffentlichung kann zum Einzelpreis von DM 8,— oder zum Jahresabonnementspreis von DM 28,— durch die nachstehend aufgeführten Vertriebsstellen bezogen werden:

Cette publication est vendue par numéro au prix de Ffr 10,— ou Fb 100,— ou par abonnement annuel au prix de Ffr 34,— ou Fb 350,—. S'adresser aux bureaux de vente ci-dessous:

Questa pubblicazione è in vendita al prezzo di Lit. 1.250,— il numero o di Lit. 4.370,— per l'abbonamento annuale. Ogni richiesta va rivolta agli uffici di vendita seguenti:

Deze publikatie kost Fl. 7,25 resp. Fb 100,— per nummer of Fl. 25,50 resp. Fb 350,— per jaarabonnement en is verkrijgbaar bij onderstaande verkoopadressen:

This publication is delivered by the following sales agents at the price of: — single copies: 14s. 6 d. — annual subscription: £ 2/10/—.

DEUTSCHLAND (B.R.) BUNDESANZEIGER, Postfach - Köln 1 -- Fernschreiber: Anzeiger Bonn 08.882.595

FRANCE SERVICE DE VENTE EN FRANCE DES PUBLICATIONS DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES - 26, rue Desaix, Paris 15^e — Compte courant postal: Paris 23-96

ITALIA LIBRERIA DELLO STATO - Piazza G. Verdi, 10 — Roma
Agenzie: ROMA — Via del Tritone, 61/A e 61/B e Via XX Settembre (Palazzo Ministero delle Finanze) - MILANO — Galleria Vittorio Emanuele, 3 - FIRENZE — Via Cavour, 46/R - NAPOLI — Via Chiaia, 5

NEDERLAND STAATSDRUKKERIJ- EN UITGEVERIJBEDRIJF — Christoffel Plantijnstraat, 's-Gravenhage

BELGIË-BELGIQUE BELGISCH STAATSBLAD — Leuvense weg 40 - Brussel
MONITEUR BELGE — 40, rue de Louvain - Bruxelles

LUXEMBOURG OFFICE CENTRAL DE VENTE DES PUBLICATIONS DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES — 9, rue Goethe - Luxembourg

GREAT BRITAIN AND COMMONWEALTH H.M. STATIONERY OFFICE — P.O. Box 569 - London S.E. 1

ANDERE LÄNDER - AUTRES PAYS - ALTRI PAESI - ANDERE LANDEN - OTHER COUNTRIES

ZENTRALVERTRIEBSBÜRO DER VERÖFFENTLICHUNGEN DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN

OFFICE CENTRAL DE VENTE DES PUBLICATIONS DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

UFFICIO CENTRALE DI VENDITA DELLE PUBBLICAZIONI DELLE COMUNITÀ EUROPEE

CENTRAAL VERKOOPKANTOOR VAN DE PUBLIKATIES DER EUROPESE GEMEENSCHAPPEN

CENTRAL SALES OFFICE FOR PUBLICATIONS OF THE EUROPEAN COMMUNITIES

Luxembourg : 2, Place de Metz

CA65000015AC