Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 89 (1963)
Heft: 20

Artikel: Quelques applications récentes des ordinateurs électroniques
Autor: Bobillier, P.A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-66353

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

89e année Lausanne, 5 octobre 1963 N° 20

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

paraissant tous les 15 jours

ORGANE OFFICIEL
de la Société suisse des ingénieurs et des architectes
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (S.V.I.A.)
de la Section genevoise de la S.I.A.
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne)
et des Groupes romands des anciens élèves de l'E.P.F. (Ecole polytechnique fédérale de Zurich)

COMITÉ DE PATRONAGE
Président : E. Martin, arch. à Genève
Vice-président : E. d'Okolski, arch. à Lausanne
Secrétaire : S. Rieben, ing. à Genève
Membres :
Fribourg : H. Gicot, ing. ; M. Waeber, arch.
Genève : G. Bovet, ing. ; Cl. Grosgurin, arch. ; J.-C. Ott, ing.
Neuchâtel : J. Béguin, arch. ; R. Guye, ing.
Valais : G. de Kalbermatten, ing. ; D. Burgener, arch.
Vaud : A. Chevalley, ing. ; A. Garde, ing. ; M. Renaud, ing. ; J.-P. Vouga, arch.

CONSEIL D'ADMINISTRATION
de la Société anonyme du « Bulletin technique »
Président : D. Bonnard, ing.
Membres : Ed. Bourquin, ing. ; G. Bovet, ing. ; M. Bridel ; J. Favre, arch. ; A. Robert, ing. ; J.-P. Stucky, ing.
Adresse : Avenue de la Gare 10, Lausanne

RÉDACTION
D. Bonnard, E. Schnitzler, S. Rieben, ingénieurs ; M. Bevilacqua, architecte
Rédaction et Editions de la S. A. du « Bulletin technique »
Tirés à part, renseignements
Avenue de Cour 27, Lausanne

ABONNEMENTS

1 an	Suisse	Fr. 34.—	Etranger	Fr. 38.—
Sociétaires	»	» 28.—	»	» 34.—
Prix du numéro . . .	»	» 1.60		

Chèques postaux : « Bulletin technique de la Suisse romande », N° II 57 75, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, vente au numéro, changement d'adresse, expédition, etc., à : Imprimerie La Concorde, Terreaux 29, Lausanne

ANNONCES
Tarif des annonces :

1/1 page	Fr. 350.—
1/2 »	» 180.—
1/4 »	» 93.—
1/8 »	» 46.—

Adresse : Annonces Suisses S. A.
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26. Lausanne et succursales

SOMMAIRE

Quelques applications récentes des ordinateurs électroniques, par P.-A. Bobillier, ingénieur EPUL, licencié ès sciences.
Bibliographie. — Divers. — Communiqué. — Les congrès. — Erratum.
Documentation générale. — Nouveautés, informations diverses.

QUELQUES APPLICATIONS RÉCENTES DES ORDINATEURS ÉLECTRONIQUES

par P. A. BOBILLIER, ingénieur EPUL, licencié ès sciences [2]

Introduction

Il est inutile de rappeler l'extraordinaire essor de l'automation ces dernières années. L'un des aspects particuliers de ce développement nous est fourni par les ordinateurs (ou machines à calculer) électroniques qui ont non seulement subi des transformations très rapides mais ont vu également leurs domaines d'application se multiplier à un rythme de plus en plus accéléré. C'est à ce domaine des applications qu'est consacré cet article, domaine passionnant où l'évolution est particulièrement rapide et où les notions acquises ne le sont que pour un temps parfois très court.

Pour l'ingénieur, c'est donc un domaine intéressant car il l'oblige à une gymnastique cérébrale intense et quasi permanente qui, d'une part, le maintient en forme et, d'autre part, l'oblige à étudier continuellement de nouveaux domaines. Comme on le verra plus loin, l'ingénieur peut parfois laisser libre cours à son imagination pour rechercher des applications possibles nouvelles des ordinateurs électroniques. Ces machines sont en effet disponibles en tant qu'outils de travail et il est possible de leur faire faire des choses étonnantes à condition, bien entendu, d'être à même de définir exactement ce que l'on veut.

Il existe deux catégories de machines à calculer : les machines *analogiques* et les machines *arithmétiques* (ou digitales). On ne parlera dans cet article que des machines arithmétiques [2].

Afin de garder un certain ordre, les applications des ordinateurs dont on parlera dans cet exposé ont été

[1] Cette étude est tirée du Recueil de travaux offert au professeur **A. Stucky**, en hommage de reconnaissance, sur l'initiative de l'*Association amicale des anciens élèves de l'Ecole polytechnique de Lausanne*, le 27 octobre 1962, l'année de son 70e anniversaire.

[2] Rappelons brièvement que les machines analogiques travaillent sur le principe de la simulation électrique, chaque variable intervenant dans le problème étant représentée par une tension ou un courant. Toutes les opérations nécessaires à la résolution d'un problème donné se font dans des circuits travaillant simultanément, d'où la limitation de la complexité des problèmes pouvant être résolus par la complexité (et le prix) du matériel utilisé.

Dans les machines arithmétiques au contraire, les problèmes sont résolus par une suite d'opérations numériques s'effectuant les unes après les autres. C'est dire que des problèmes de complexité croissante peuvent être résolus sur une machine donnée sans augmentation du prix de la machine mais aux dépens, bien entendu, du temps de calcul.

divisées en cinq catégories, allant des applications classiques maintenant bien connues, aux applications avancées, voire utopiques, que l'on étudie aujourd'hui.

L'ensemble de ces domaines est tellement vaste et complexe qu'il a donné lieu, en 1959, à la création d'une société internationale : IFIP (Fédération internationale pour le traitement de l'Information) qui groupe les sociétés nationales s'occupant des problèmes relatifs au traitement numérique de l'information (en anglais : Information Processing). Cette année a vu sa 2e réunion à Munich, où furent traités des problèmes du traitement de l'information et exposés les résultats les plus récents obtenus dans les diverses disciplines se rattachant à cette notion. Il ressort clairement de cette évolution, et nous nous efforcerons de le montrer dans les lignes qui suivent, que les machines à calculer électroniques deviennent de plus en plus des machines à traiter l'information, qu'il s'agisse d'information numérique telle qu'on la connaît généralement ou d'information non numérique (donnée alphabétique ou symboles divers). La notion de machine à calculer va donc être très rapidement remplacée par celle, plus générale, de *machine à traiter l'information.*

Nous passerons maintenant aux cinq catégories d'applications que nous avons choisies pour illustrer les possibilités de ces machines.

1. Calcul scientifique et technique

La résolution des problèmes scientifiques et techniques au moyen de calculateurs électroniques est tout naturellement venue à l'idée de ceux qui ont eu à résoudre des problèmes de ce type. La résolution de tels problèmes au moyen de machines électroniques venait immédiatement à l'esprit du fait qu'on était habitué à les résoudre à la main. On peut dire sans exagérer qu'actuellement les ordinateurs électroniques sont devenus un outil de travail courant de l'ingénieur ou du mathématicien, presque au même titre que la règle à calcul. La raison essentielle est certainement que durant les dernières années, ces machines, bénéficiant d'une expérience déjà longue et de technologies récentes comme celle des transistors et des circuits imprimés, n'ont cessé de subir une double évolution : augmentation de leurs performances et réduction de leur prix de revient. Une autre raison est sans doute que la complication des problèmes à résoudre augmente sans cesse du fait que les machines, ouvrages, etc., qu'on désire construire deviennent toujours plus grands et plus compliqués ; d'où, d'une part, la nécessité de les calculer exactement et d'optimiser l'utilisation du matériel nécessaire à leur réalisation et, d'autre part, l'obligation de résoudre ces problèmes dans un temps toujours plus court, le temps alloué allant en diminuant constamment pour toutes sortes de raisons, telles que la concurrence par exemple.

Un chiffre particulièrement intéressant est le nombre d'ordinateurs de puissance moyenne actuellement installés (ou sur le point de l'être) dans des maisons suisses et consacrés pratiquement exclusivement à la résolution de problèmes scientifiques et techniques : il s'agit de 23 systèmes du type IBM 1620, systèmes capables, par exemple, d'inverser une matrice de 10 sur 10 en moins d'une minute.

Les divers domaines dans lesquels ces machines sont utilisées peuvent être résumés comme suit :

— Calcul de machines ou d'ouvrages, par exemple alternateurs, transformateurs, barrages, chambres d'équilibre, etc.

— Recherche scientifique (astronomie, géophysique, etc.).

— Exploitation (réduction) de données d'expériences. Il s'agit là de tous les calculs numériques qu'il est nécessaire de faire sur les résultats d'une expérience pour en tirer les informations intéressantes.

— Recherches d'optimum dans les constructions. On trouve ce problème partout où le processus de calcul est itératif et où l'ingénieur, après avoir fait une ou deux itérations, s'arrête par fatigue ou manque de temps. Il est clair que, si le processus de calcul a été programmé pour une machine, rien ne s'oppose à ce qu'on effectue un grand nombre d'itérations, afin de se rapprocher le plus possible des conditions optima réalisables.

2. Gestion des entreprises — Recherche opérationnelle

Ce deuxième domaine du traitement numérique de l'information est en plein développement. Il ne faut pas voir dans l'expression de gestion automatisée l'usine presse-bouton d'où auraient disparu les humains, mais l'intégration de la machine numérique à traiter l'information dans l'entreprise, et faite de manière que la machine soit chargée de tout ce qui est normal et logique, tandis que les cas exceptionnels et inattendus sont seuls signalés à la direction qui, dans ces cas, et sur la base d'états exacts et actuels préparés par la machine, peut prendre les décisions qui s'imposent.

En plus de cet aspect, il faut penser également au fait que les machines modernes à traiter l'information sont capables de manipuler des quantités d'information telles que l'étude d'une entreprise entière est, ou deviendra bientôt, possible. Si nous pensons par exemple à une grande entreprise, il sera intéressant non plus de rechercher les sous-optimisations qui consistent à trouver un fonctionnement optimum de chacun des départements, mais bien de traiter le problème globalement, c'est-à-dire de rechercher une solution telle qu'elle réalise le programme recherché par l'entreprise prise dans son ensemble. L'objectif recherché pourra être quelconque, par exemple profit maximum, étant donné un certain nombre de conditions imposées, ou tout autre objectif.

Sans aller si loin pour le moment, on peut tout de même mentionner deux avantages remarquables qu'apportent aux entreprises les ensembles électroniques modernes :

— Toutes les fois qu'une situation exceptionnelle se présente et oblige la Direction à prendre une décision, ils permettent d'établir des rapports actuels et détaillés qui sont la base de décisions sûres.

— Ils offrent le moyen de *simuler* certaines situations pour savoir ce qui se passerait sous telle ou telle hypothèse, donc de calculer par anticipation les conséquences d'une situation déterminée.

Les techniques mises en œuvre pour la résolution de tels problèmes sont généralement groupées sous le terme général de *recherche opérationnelle* et permettent d'apporter une ou plusieurs solutions à des problèmes compliqués qui, bien souvent, échappent à l'analyse mathématique. Il s'agit dans la plupart des cas de rechercher une solution optimum (satisfaisant aux contraintes du problème) parmi un grand nombre de possibilités.

Les méthodes que la recherche opérationnelle met en œuvre nécessitent énormément de calculs numériques, d'où la nécessité pour les résoudre, de disposer d'instruments efficaces.

Les outils les plus généralement utilisés aujourd'hui sont la programmation linéaire et la simulation. Des méthodes plus modernes telles que : programmation non linéaire, programmation dynamique, commencent à être utilisées également. Nous ne les traiterons pas ici.

La programmation linéaire consiste à trouver la solution optimum d'un système d'équations et d'inéquations linéaires, étant donnée une fonction économique dont on cherche l'extremum. La considération de problèmes complexes conduit généralement à des systèmes que seuls les plus gros ordinateurs actuellement en fonction peuvent résoudre. Pensons par exemple à un problème du domaine pétrolier qui nécessita l'étude d'un tel système comportant environ 1000 variables et plus de 400 contraintes (équations ou inéquations). La réalisation de ce problème fournit finalement les conditions optima de fonctionnement d'un complexe comportant des gisements pétrolifères, plusieurs raffineries, ainsi que le réseau de distribution correspondant. Les résultats firent d'ailleurs apparaître un fait intéressant au plus haut point, à savoir qu'un certain produit secondaire, laissant peu de marge bénéficiaire, voyait son prix de revient passer à un multiple de son prix de vente possible lorsque la quantité fabriquée dépassait une certaine marge, chose qui était loin d'être évidente et dont personne ne s'était jamais rendu compte.

La simulation consiste à développer un modèle mathématique d'un phénomène physique déterminé pour ensuite faire des expériences sur le modèle et étudier son comportement. On peut distinguer divers types de modèles mathématiques suivant que le phénomène étudié est du type *certain*, c'est-à-dire parfaitement définissable mathématiquement, ou *aléatoire*. De même le modèle pourra être *certain* (équations bien définies) ou *aléatoire*. Dans cette dernière catégorie prennent place par exemple tous les modèles faisant usage de la méthode de Monte-Carlo. Comme exemple de phénomène certain, simulé au moyen d'un modèle certain, citons la simulation du comportement en vol d'un engin quelconque. Une simulation de phénomène certain par un modèle aléatoire est le calcul d'intégrales définies multiples. Lorsque les fonctions sont très compliquées et particulièrement dans les cas où les variables ne sont pas séparables, on applique pour le calcul la méthode de Monte-Carlo qui consiste à tirer des nombres au hasard qui représentent les coordonnées des points de l'espace (ou hyper-espace). On choisit ces nombres de manière à ce qu'ils se trouvent dans les limites respectives des différentes variables et on calcule si le point appartient ou non au domaine sur lequel on intègre. Après avoir fait la même opération un grand nombre de fois, on peut montrer que la valeur de l'intégrale cherchée est représentée par la limite du rapport du nombre de points se trouvant dans le domaine au nombre total d'essais, etc. Les deux autres types de simulation se rencontrent par exemple dans les cas suivants : simulation d'un phénomène aléatoire au moyen d'un modèle certain : génération de nombres aléatoires au moyen d'un ordinateur électronique (les nombres aléatoires (phénomène) sont engendrés par le programme qui est tout-à-fait déterminé). Simulation d'un phénomène aléatoire au moyen d'un modèle aléatoire : études des problèmes de stock, files d'attente, etc., au moyen de la méthode de Monte-Carlo.

D'une manière générale, la simulation permet d'aborder l'étude de nombreux problèmes qu'il était impossible de dominer jusqu'ici. Dans les entreprises, elle permet en particulier de critiquer la politique qui a été suivie et de comparer quels auraient été les effets, pendant une certaine période, d'une autre politique sur les résultats. Afin d'illustrer plus précisément cette méthode importante, nous avons choisi de développer un peu plus longuement trois exemples présentant des caractéristiques assez diverses : la simulation de l'exploitation d'un bassin d'accumulation, la simulation de la gestion d'un stock et les jeux d'entreprises.

Simulation de l'exploitation d'un bassin d'accumulation

Imaginons une installation à haute chute constituée par un lac d'accumulation, une conduite et une usine (fig. 1).

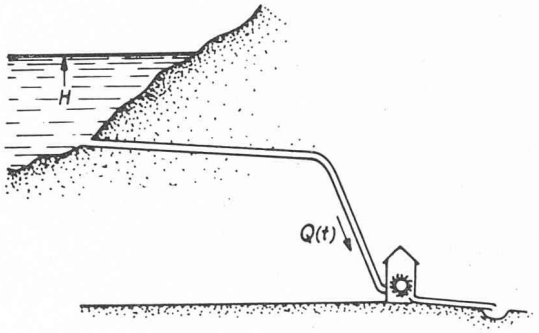

Fig. 1. — Schéma d'une installation hydro-électrique avec bassin d'accumulation.

La politique du chef de l'usine ou, d'une manière générale, de la personne responsable de son exploitation, consistera à décider à chaque instant quelle puissance il va fournir au réseau, et par conséquent quel débit il va tirer du lac. On conçoit sans peine la complexité du problème. En effet, la réserve en eau dépend des apports (précipitations, fonte des neiges), des pertes par évaporation et du débit de l'usine. L'énergie fournie, pour un volume d'eau donné, sera d'autant plus grande que le lac sera plus plein. Mais si le lac est plein, il y a le risque de perdre de l'eau par débordement lors d'une crue rapide. D'autre part, le prix du kilowattheure est variable selon la saison, l'heure du jour, d'où incidence immédiate sur les recettes.

On peut facilement, par le calcul, simuler le comportement du lac pendant une période écoulée si l'on connaît les éléments relatifs à cette période. Ces renseignements sont d'une part *géographiques* : surface et volume en fonction de l'altitude du plan d'eau, et *historiques* : niveau H, débit Q de l'usine et température en fonction du temps.

Dans une première phase, on calculera les apports réels dans le lac pendant la période considérée. Il suffit pour cela de faire le bilan pour chaque intervalle de temps ; on exprimera que l'accroissement de volume est égal aux apports moins le volume consommé par l'usine moins la quantité évaporée. Ayant ainsi déterminé les apports en fonction du temps, on pourra passer à la phase des calculs proprement dite.

On se fixera alors une ou plusieurs politiques à étudier et l'on déterminera pour chaque intervalle et dans chaque hypothèse la puissance disponible, d'où l'énergie fournie et, finalement, la recette totale. On pourra alors comparer les recettes ainsi obtenues à la recette effective. Le calcul se fait selon l'organigramme de la figure 2. La variable est le temps, le calcul se répétant pour chaque intervalle Δt. A chaque instant, on choisit une « politique » d'utilisation de l'eau, qui consiste à choisir le débit $Q(t)$ qu'on utilise pendant l'intervalle Δt. Cette grandeur $Q(t)$ pourra être une fonction, même très compliquée, du temps, de la saison, de la cote de la retenue, de la demande, etc.

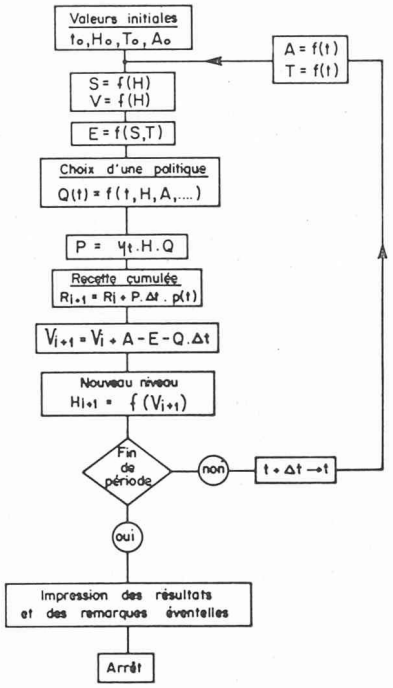

Fig. 2.

Organigramme schématique de la simulation de l'exploitation d'un lac d'accumulation.

Un tel calcul a posteriori permet de *critiquer* une politique, et par conséquent de tirer des enseignements utiles pour l'exploitation future. Mais il est clair que le modèle une fois établi devient un outil de recherche. On pourra en particulier remplacer les apports et les températures du passé par des nombres aléatoires obéissant aux lois statistiques observées réellement. Si l'on applique cette méthode, il sera nécessaire de faire les mêmes calculs un très grand nombre de fois. La répartition statistique des résultats constitue alors elle-même le critère de la validité du modèle. On pourra ainsi faire des prévisions et modifier continuellement la politique suivie, selon les variations observées d'une part et les résultats des calculs de prévision de l'autre. Il est clair qu'un tel processus se rapprochant de la notion de commande automatique instantanée (voir, plus loin, point 3), n'est praticable qu'au moyen d'un ordinateur, mais si l'on met en contrepartie les bénéfices qu'on peut réaliser en améliorant même dans une faible mesure le rendement total de l'installation, on imagine facilement le développement que prendront ces méthodes dans les années à venir.

Simulation de gestion de stock

La simulation décrite ci-dessous est un système de gestion de stock utilisé pratiquement par de nombreuses entreprises, soit comme outil de travail et d'investigation pratique dans l'entreprise, soit comme moyen didactique pour entraîner des personnes nouvelles à cette discipline.

De nombreuses industries utilisent actuellement des instruments de gestion sur lesquels, en particulier, sont traités les problèmes de gestion du stock. La tenue à jour du stock se fait automatiquement, sur la base des éléments qui ont été donnés par la Direction de l'entreprise et qui sont en particulier les quantités minimums de stock pour chaque article, les délais de réapprovisionnement, les quantités de réapprovisionnement, etc.

La Direction de l'entreprise doit fixer ces éléments à partir de trois critères qui sont importants pour elle, à savoir :

— Le service à la clientèle. Il est évident que la Direction désire avoir un service aussi bon que possible.

— Le coût d'entretien des stocks.

— L'investissement total constitué par les stocks.

Le système de simulation de gestion de stock est l'outil qui va aider la Direction à trouver le lien entre ses buts réels, d'une part, et les directives de gestion de stock qu'elle doit fournir, d'autre part. Un raisonnement grossier permet de tracer trois courbes qui représentent le coût global du stock en fonction des investissements totaux (fig. 3). Les

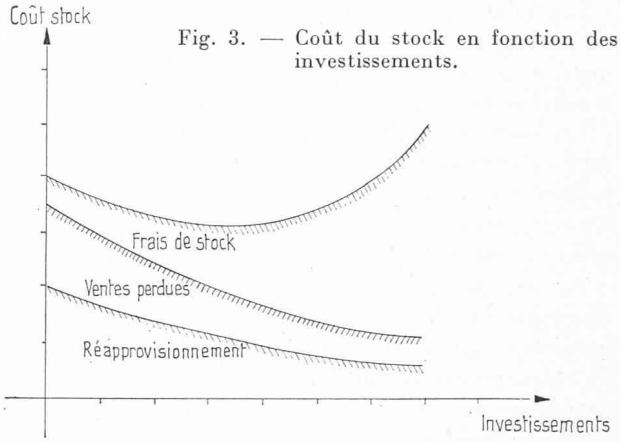

Fig. 3. — Coût du stock en fonction des investissements.

trois facteurs qui interviennent sont, d'une part, les frais de réapprovisionnement, le deuxième le coût estimé des ventes perdues, et le troisième les frais directs du stock. La courbe résultante a la forme donnée par la courbe supérieure et présente, comme cela est logique, un minimum autour duquel il sera possible de travailler si l'on veut avoir des frais de stock minima. Ces courbes sont établies par le système de simulation de gestion du stock, dont le mécanisme simplifié est le suivant (fig. 4) :

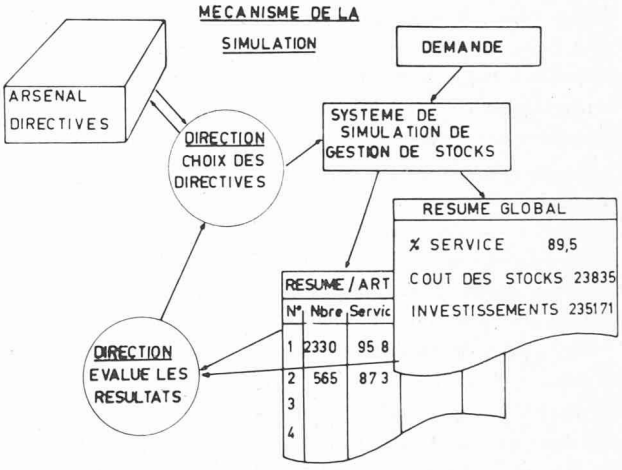

Fig. 4. — Représentation schématique du mécanisme de la simulation.

La Direction choisit un certain nombre de directives et les introduit comme données dans le programme de simulation. L'ordinateur, au moyen de son programme de simulation, calcule à partir de la demande (qui peut être soit une demande simulée par un système de tirage de nombres au hasard obéissant à une loi statistique déterminée et reflétant les tendances à long terme et les variations saisonnières, soit des données historiques observées dans le passé) un *rapport global* et un *rapport par article*. Sur le rapport global de notre exemple, la Direction lit que son service à la clientèle serait par exemple de 89,5 %, son investissement moyen au cours des six mois écoulés de 235 171 fr. et le coût de l'entretien pendant cette période de 23 835 fr. Sur la base de ces rapports, la Direction constate qu'elle pourrait améliorer la gestion du stock : elle choisit donc de nouvelles directives, les réintroduit dans le système de simulation de stock et obtient de nouveaux rapports. Ceux-ci, comparés aux précédents, permettront à la Direction de réintroduire un nouvel ensemble de directives qui concilieront mieux le service à la clientèle, les dépenses et les investissements. Ce cycle doit être effectué un certain nombre de fois, jusqu'à ce que la Direction juge qu'elle a trouvé les directives qui répondent le mieux à ses buts et à la politique qu'elle poursuit en ce moment. Les diverses fonctions qu'effectue le simulateur pendant cette simulation sont les suivantes :

— Analyse de la demande.
— Prévision des besoins.
— Etablissement des stocks de sécurité.
— Etablissement des moments de commandes.
— Etablissement des moments d'expédition.
— Remise à jour de tous les stocks.
— Détermination des quantités économiques de réapprovisionnement.
— Elimination du stock des articles trop vieux (par exemple, des denrées périssables).
— Simulation des ordres de réapprovisionnement.

Afin de montrer d'une manière plus concrète comment se passe réellement un exercice de simulation, nous pouvons voir sur la figure 5 le résultat de quatre cycles de simulation pour un article déterminé.

	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4
Numéro de l'article . . .	1	1	1	1
Quantité moyenne en stock	175,2	308,8	271,3	204,9
Nombre de réapprovisionnements	10	10	10	15
Coût de réapprovisionnements	100,0	100,0	100,0	150,0
Nombre de commandes . .	24	24	24	24
% de commandes exécutées	87,5	95,8	95,8	91,7
Total de commandes . . .	3230	3230	3230	3230
% du service	96,1	99,0	99,0	98,9
% unités restées en suspens	3,9	1,0	1,0	1,1
Temps moyen de suspens .	1,0	1,0	1,0	1,1
Age moyen des produits .	1,1	2,1	1,8	1,3
Nombre d'unités éliminées	0	0	0	0
Disponible	70	70	70	170
En commande	300	300	300	200
En suspens	0	0	0	0

Fig. 5. — Résultats de la simulation pour quatre cycles différents.

Pour l'exemple considéré, la Direction a choisi de faire porter la simulation sur 24 unités de temps, par exemple 24 semaines, de faire une remise à jour du stock chaque semaine, de faire des réapprovisionnements de semaine en semaine et diverses autres hypothèses qu'il n'est pas important de mentionner ici. Elle indique en outre des renseignements et directives relatifs à l'article. En particulier, le stock actuel qui est de 600 unités, le prix de la pièce qui est de 10 fr., le coût de réapprovisionnement qui est de 10 fr., le temps de stockage au-delà duquel le produit est perdu, qui est de cinq semaines. Elle désire d'autre part un facteur de sécurité de 0,1, ce facteur déterminant le stock de sécurité à partir de l'écart type de la distribution des demandes. D'autre part, la Direction désire que les réapprovisionnements se fassent par quantités fixes et égales à 300 unités. Ayant introduit ces données (ou décisions), le système de simulation fournit le rapport constitué par la première colonne du tableau.

Sur ce premier rapport, la Direction constate que le nombre moyen d'unités en stock au cours de ces 24 semaines a été de 175,2, qu'on a dû se réapprovisionner 10 fois, que le coût des réapprovisionnements est donc 100 fr., que le nombre de commandes reçues est 24, et le pour-cent des commandes qui ont pu être livrées immédiatement de 87,5 % ; qu'au cours de cette période, le total des pièces commandées a été de 3230 et que le pourcentage des pièces livrées immédiatement a été de 96,1 %. Ce qui signifie que 3,9 % des pièces ont été livrées avec du retard, ce retard ayant été en moyenne d'une semaine. D'autre part, le temps moyen de séjour des articles en stock a été de 1,1 semaine, aucun article n'a été éliminé pour cause de détérioration due à un séjour trop prolongé. A la fin de ces 24 semaines, il reste 70 pièces en stock et 300 en commande.

Après analyse de tous ces chiffres, la Direction décide d'améliorer le service à la clientèle. Pour cela, elle augmente le facteur de sécurité de 0,1 à 3 et entame un deuxième cycle de simulation. Les résultats du cycle 2 sont reportés dans la colonne suivante et montrent une amélioration très sensible dans le nombre de commandes satisfaites et également dans le nombre de pièces livrées mais, par contre, le niveau moyen du stock a augmenté très sensiblement de 175,2 à 308,8, et les articles séjournent maintenant 2,1 semaines en stock (au lieu de 1,1 semaine).

La Direction pense que le facteur de sécurité est maintenant trop élevé et décide d'essayer avec le facteur de sécurité de 1. La simulation est remise en route et l'on obtient les résultats du cycle 3.

Les résultats sont intéressants, puisque le service est rigoureusement le même que pour le cycle 2. Par contre, le temps de séjour en stock a été réduit à 1,8 semaine et les quantités moyennes en stock ont été réduites à 271,3.

Pour améliorer encore ces résultats, la Direction décide d'essayer de faire des commandes de 200 unités au lieu de 300 comme précédemment. Les résultats du cycle 4 donnent un pourcentage de services de 98,9 %, qui est jugé satisfaisant par la Direction. Le nombre des pièces en stock est réduit à 204,9 et le temps de séjour n'est plus que de 1,3 semaine.

Ainsi donc, dans cet exercice rapide, la Direction a obtenu, au bout de quatre cycles de simulation, les renseignements qu'elle juge les plus favorables, et ce sont ces données-là qu'elle introduira dans le système de gestion réel.

Dans cet exemple très simple, on n'a agi que sur deux facteurs ; il est bien évident que la Direction peut faire des études semblables en agissant sur n'importe quel autre facteur, par exemple en simulant ce qui se passerait si le temps de réapprovisionnement devenait plus élevé, si l'on diminuait le stock d'un certain pourcentage, etc. Que se passerait-il par exemple si l'on décidait de grouper les réapprovisionnements pour plusieurs produits, quelles seraient les conséquences si la demande augmentait d'un certain pourcentage ou si au contraire elle baissait d'un certain pourcentage, etc.

Cette brève description d'un système pratiquement utilisé illustre bien les possibilités intéressantes et variées offertes par les méthodes de simulation.

Les jeux d'entreprise

Les jeux d'entreprise (en anglais : Business Games) ont été développés il y a une dizaine d'années dans le but essentiel de former et de perfectionner les cadres supérieurs de l'entreprise. Ils sont constitués par un modèle mathématique d'un certain complexe économique où évoluent des sociétés, en général compétitives. Il existe quantité de jeux, allant de la simulation d'un atelier de fabrication à celle d'un marché compétitif avec plusieurs partenaires.

Nous donnerons ci-dessous une brève description d'un jeu qui a fait l'objet en Suisse de nombreuses séances de simulation auxquelles ont participé des personnes dirigeantes d'un grand nombre de maisons suisses.

Le modèle en question simule un marché composé de quatre secteurs géographiques distincts. Chaque société (qui fabrique un seul et même produit) est installée dans un secteur où sa position est favorisée par rapport à celle de ses concurrents. Il règne un régime de liberté des prix. Au départ, les trois sociétés ont une situation identique et sont libres de développer leur activité dans les quatre secteurs ou, au contraire, de se retirer de l'un (ou plus) d'entre eux.

Le jeu se déroule de la manière suivante : chaque équipe prend les décisions relatives à l'exercice prochain (par exemple un trimestre) : prix de vente dans chaque secteur, prévisions de vente, frais commerciaux, investissements dans la fabrication (production), frais de transport, frais d'études et recherches, renouvellement et extension usine.

Ces décisions sont communiquées à un ordinateur qui, au moyen du programme de simulation, tient compte des décisions des quatre sociétés et calcule les conséquences des dites décisions. L'ordinateur fournit les résultats suivants, pour chaque société :

Bilan : chiffre d'affaires total, bénéfice net, liquidités, quantité en stock, immobilisation (usines), total de l'actif, variation (en plus ou en moins) par rapport à l'exercice précédent.

Etat du marché (global par secteur de vente) : commandes reçues, ventes, frais commerciaux.

Analyses des ventes (par secteur, mais seulement pour la société en question) : commandes reçues, ventes, frais commerciaux, chiffre d'affaires, prix de revient moyen du produit.

Production, prix de revient et stock : ces chiffres renseignent sur les détails de la production du trimestre écoulé, sur ce qu'auraient été la quantité produite, le prix de revient et la valeur totale des produits fabriqués si le budget avait été de ± 10 %. Donne également le stock et sa valeur.

Résultats de la société : chiffre d'affaires, prix de revient des marchandises vendues, frais de transport, frais commerciaux, études et recherches, amortissements obligatoires, bénéfice brut, impôt et bénéfice net.

Il s'agit, comme on peut le constater, d'un rapport financier complet que les participants doivent analyser avant de prendre la décision pour le trimestre suivant. On alloue en général environ 20 minutes pour la prise d'une décision. La perforation des décisions et le calcul en ordinateur prend quelques minutes, si bien qu'un trimestre est généralement réduit à une demi-heure.

On conçoit sans peine l'intérêt d'une telle simulation dans l'entraînement d'une équipe de direction. Le meneur du jeu peut d'ailleurs, en cours d'exercice, modifier certains paramètres qui modifient les réactions du marché, ceci afin d'éviter par exemple l'adoption d'une certaine routine par les joueurs.

3. Commande automatique instantanée (Process Control)

Dans un processus industriel quelconque et si on l'étudie du point de vue du réglage, on peut distinguer trois parties essentielles :

— le processus ;
— les appareils de mesures ;
— le système de régulation.

Lorsque cela est possible, on commande le système de régulation directement par les informations provenant des appareils de mesure. C'est la boucle de réglage classique, d'un groupe turbine-alternateur par exemple. On a alors affaire à un réglage analogique.

Lorsque le processus devient très compliqué, soit par le nombre de variables qui interviennent, soit par la complexité du processus, soit par la complexité de la fonction à optimaliser, il n'est plus possible de construire des systèmes de réglage direct. C'est alors qu'intervient la commande numérique.

L'idée de base consiste à simuler le comportement du processus étudié par un modèle mathématique et à mettre ce modèle mathématique dans une machine à calculer de telle manière que la simulation mathématique se déroule parallèlement au processus lui-même (en réalité quelque peu plus vite pour que le réglage soit possible).

Le rôle du modèle est généralement l'optimalisation du processus et, par conséquent, le calcul à chaque instant, des valeurs de consigne à appliquer pour obtenir le fonctionnement optimum de l'ensemble : cet optimum peut d'ailleurs être de nature très variable avec le temps puisqu'il dépend essentiellement de la politique adoptée par la direction. Il pourra s'agir par exemple de produire le maximum (en quantité) autorisé par l'installation, ou de produire avec le prix de revient le plus bas, ou encore de produire la quantité rendant maximum le bénéfice de l'entreprise, etc.

Ce modèle contiendra les équations représentant le processus, la ou les fonctions économiques pouvant intervenir et, dans la majorité des cas, des courbes expérimentales et des tables de valeurs de mesures non descriptibles analytiquement.

On peut distinguer trois stades dans l'étude de l'intégration d'une machine à calculer électronique dans un processus. La première étape consiste à étudier les résultats des appareils de mesures prélevés sur le processus en période de fonctionnement réel. C'est la phase de *réduction de données*. La figure 6 schématise cette phase.

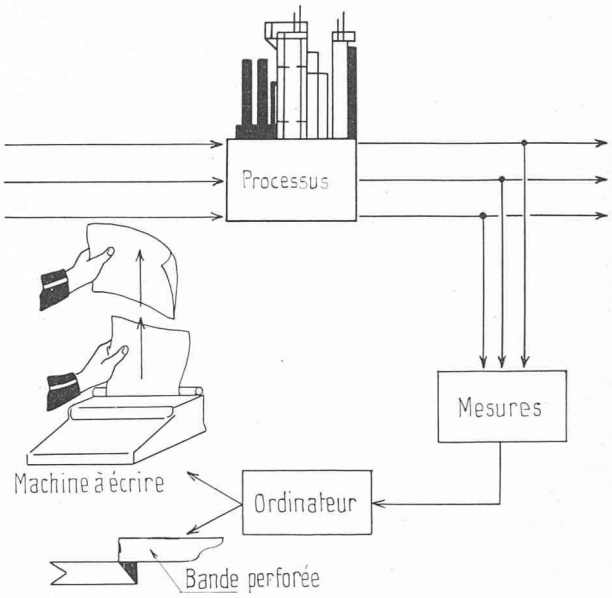

Fig. 6. — Contrôle d'un processus. Phase de réduction des données.

La machine à calculer est connectée aux appareils de mesure, ce qui permet une analyse immédiate et rapide des variables du système. Dans cette phase, on fait usage des techniques courantes d'analyse de corrélations et régressions ou d'autres méthodes statistiques pour mieux comprendre les caractéristiques du processus et construire le modèle mathématique. On peut appeler cette phase *passive* puisque les calculs se font en marge du processus lui-même. On peut d'ailleurs se représenter que cette étude des données se fasse sur une machine non connectée.

La deuxième étape va consister à piloter le processus, en *guide opérateur*, au moyen de la machine à calculer qui aura été munie du modèle mathématique simulant le processus. La figure 7 schématise cette solution. Les

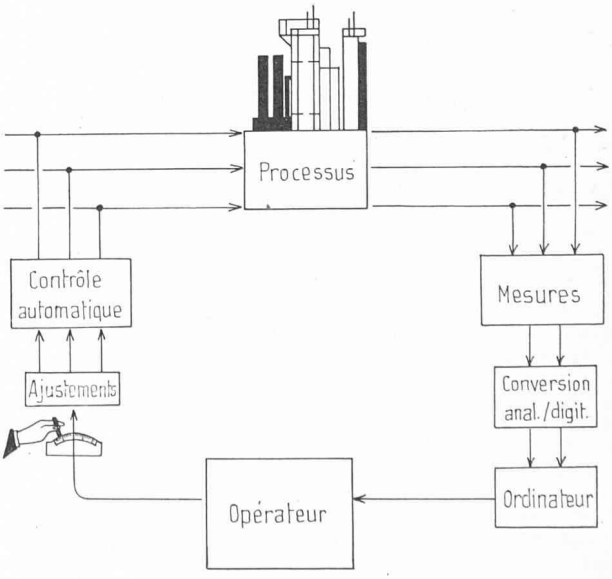

Fig. 7. — Contrôle d'un processus. Phase de guide opérateur (boucle ouverte).

résultats de mesures sont transmis directement au calculateur qui, après calcul, imprime les valeurs de consigne à appliquer pour obtenir le fonctionnement optimum désiré. Un opérateur effectue alors les manœuvres nécessaires sur les organes de réglage. On a donc maintenant l'intégration du calculateur dans le processus, mais la boucle reste ouverte.

L'étape finale consiste, bien entendu, à *fermer la boucle* (fig. 8). Le processus est alors complètement con-

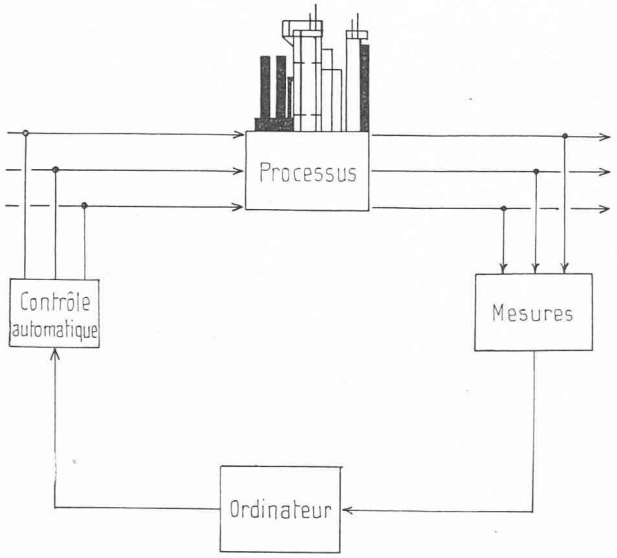

Fig. 8. — Contrôle d'un processus. Phase de contrôle automatique (boucle fermée).

trôlé par le calculateur qui accepte, comme données à l'entrée, les signaux des appareils de mesure (convertis de la forme analogique en numérique), qui simule le processus, définit les nouvelles consignes à appliquer pour obtenir l'optimum et donne à la sortie les informations nécessaires sous forme de signaux numériques qui sont convertis en signaux analogiques attaquant les organes de réglage. Un élément important dans ce système est une horloge connectée qui peut être interrogée par le simulateur et qui permet, entre autres choses, d'aller examiner certains paramètres plus souvent que d'autres, etc. Par exemple, on exigera d'introduire dans le modèle certaines variables chaque seconde tandis que d'autres pourront être introduites seulement chaque minute ou chaque heure, suivant leur vitesse de variation respective.

On conçoit sans peine les avantages d'un tel système dont le plus évident est sans doute le temps extrêmement bref de réaction de l'ensemble qui permet à chaque instant de travailler près des conditions optima. Autre avantage : la possibilité, à chaque instant, d'effectuer un changement dans le simulateur par l'introduction de nombres ou d'instructions supplémentaires. C'est ainsi qu'on pourra, sans rien changer à l'équipement, modifier la fonction économique à optimiser, modifier certaines lois ou influences dans le modèle, etc. Ceci, joint à la grande vitesse de calcul des ordinateurs modernes, met en évidence les avantages que présentent les machines numériques dans le contrôle de processus complexes.

Nous citerons rapidement quelques exemples intéressants réalisés pratiquement :

Guidage d'engins en vol (fusées ou autres engins)

Pour guider un engin en vol, il faut être à même, à tout moment, de prévoir où l'engin va se trouver un instant plus tard. Si cet endroit ne coïncide pas avec ce qui est désiré, il est nécessaire d'agir sur les appareils de guidage afin de rectifier la direction. Il est évident que les calculs nécessaires à l'intégration des équations différentielles du mouvement doivent se faire très rapidement, sur la base des dernières informations connues relatives à la position de l'engin (fournies par des radars, par exemple). Le seul moyen était de connecter les appareils de poursuite (mesure) à un ordinateur puissant contrôlant les dispositifs de guidage.

Commande d'une tour de distillation

Un calculateur est intégré dans le processus et simule le système physique complet. Les divers appareils de mesures (densités, températures, pH, etc.) envoient leurs informations à l'ordinateur, qui détermine les nouvelles consignes à appliquer à tous les dispositifs de réglage, de manière à obtenir un fonctionnement optimum.

Système SAGE (Semi-Automatic Ground Environment)

Ce système est constitué par un grand nombre d'ordinateurs connectés à un ordinateur central, l'installation complète étant destinée à surveiller d'une manière permanente l'espace aérien des Etats-Unis. Les renseignements concernant les appareils en vol lui sont transmis par les radars fixes, les avions et les navires équipés de tels systèmes. Ces informations sont comparées avec les renseignements disponibles concernant les vols annoncés. S'il s'agit d'un appareil ennemi, l'ordinateur le détecte et détermine automatiquement quel type d'engin doit partir de quelle base pour le détruire.

Ce système revêt une importance capitale, puisque les engins se déplacent de plus en plus vite et que les temps de réaction humains peuvent compromettre le succès d'une intervention. Dès le moment où l'engin intercepteur est lancé, le guidage se poursuit entièrement automatiquement.

D'autres domaines sont intéressants, par exemple l'exploitation automatique de photographies de chambres à bulles, actuellement réalisée au CERN, en connection avec l'ordinateur 709, etc.

4. Problèmes linguistiques

Parmi les nombreux problèmes que pose la linguistique aux linguistes, mathématiciens, logiciens, traducteurs et documentalistes, nous n'en évoquerons que deux globalement : la traduction automatique et la documentation automatique.

La traduction automatique

Un grand nombre d'articles ont déjà été consacrés à ce problème, de même qu'un certain nombre de livres. Les recherches sur la traduction de langues sont poursuivies dans plusieurs pays depuis une quinzaine d'années et ont déjà donné des résultats encourageants, surtout en ce qui concerne la traduction d'articles techniques. Mentionnons, parmi les groupes de recherches travaillant actuellement sur ce problème, l'ATALA (Association pour l'étude et le développement de la traduction automatique et de la linguistique appliquée), qui s'est créée en France en 1959.

Il existe actuellement plusieurs programmes de traduction sur machines électroniques. L'une d'entre elles mérite plus d'attention, puisqu'elle traduit journellement des textes du russe en anglais sans préparation préalable des textes originaux, ni retouche de la traduction fournie par la machine. Il s'agit de la machine de KING, du nom de son inventeur, le Dr G. W. King, IBM New York. Les traductions sont la plupart du temps compréhensibles. On dit par exemple qu'on lui confie chaque jour la *Pravda* à traduire.

Le dictionnaire est enregistré dans la mémoire photostatique qui est constituée par un disque de verre. Sur les 700 disques concentriques de ce disque sont mémorisés 150 000 enregistrements, chacun d'eux étant un mot dans la langue d'origine (ou une racine, ou une suite de mots) suivi de la traduction dans la langue en laquelle on traduit, dans le cas présent l'anglais. La machine fonctionne actuellement avec comme moyen d'entrée et sortie une

machine à écrire électrique, ce qui limite la vitesse. La vitesse réelle interne de traduction du système est d'environ 30 mots par seconde.

Sans entrer dans le détail des problèmes très difficiles qui doivent être surmontés dans la traduction automatique, on peut se demander d'ores et déjà s'il sera un jour possible de franchir l'étape suivante, c'est-à-dire de faire écrire par la machine son propre programme pour la traduction d'une langue A vers une langue B. Il faudrait naturellement pour cela :

1° pouvoir caractériser chaque langue par un certain nombre de *paramètres* ;

2° connaître suffisamment la transformation à effectuer sur ces paramètres pour passer d'une langue à une autre et pouvoir programmer cette transformation.

Il suffirait alors de donner les paramètres des deux langues en question à la machine pour qu'elle produise le programme de calcul nécessaire à la traduction de la langue A vers la langue B.

Ceci est utopique pour l'instant, mais rien n'empêche de penser que ce soit réalisable lorsque nos connaissances des problèmes auront été augmentées.

La documentation automatique

Le problème de la documentation est un des grands problèmes de notre siècle. Les quantités d'informations à analyser, codifier, classer puis à retrouver deviennent de plus en plus importantes et nécessitent pour un travail efficace des méthodes de travail modernes, rapides et sûres. Grâce à leurs performances, les ordinateurs électroniques peuvent arriver à une solution rationnelle du problème. On peut d'ores et déjà prévoir que les divers travaux essentiels de la documentation, à savoir la confection du résumé, l'indexage et la recherche peuvent être automatisés en faisant appel à diverses méthodes et en appliquant ces méthodes sur les machines électroniques à traiter informations.

La méthode de base dont il est question dans ce paragraphe est celle des mots-clef, qui est de plus en plus utilisée actuellement, surtout dans la classification de la documentation scientifique et technique.

L'automatisation de la documentation a deux buts essentiels, à savoir :

— offrir un accès meilleur et plus rapide à la littérature spécialisée ;

— aider à trouver rapidement des relations à l'intérieur de données en masse (par exemple des formules de la chimie organique, des relevés spectrographiques, etc.).

Le problème général de la documentation se pose en deux phases :

1° l'arrivée du document ;

2° la recherche ultérieure de ce document classé.

On peut représenter l'arrivée d'un document par le schéma de la figure 9.

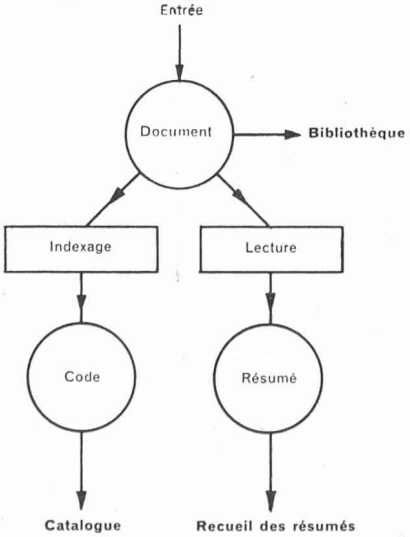

Fig. 9. — Schéma de l'entrée d'un document dans la bibliothèque.

Les travaux à effectuer sont successivement l'enregistrement du document, sa lecture, son indexage et, éventuellement, son résumé. Le document est ensuite classé dans la bibliothèque, le résumé dans le recueil des résumés, et l'index dans le catalogue. La recherche du document est schématisée sur la figure 10 :

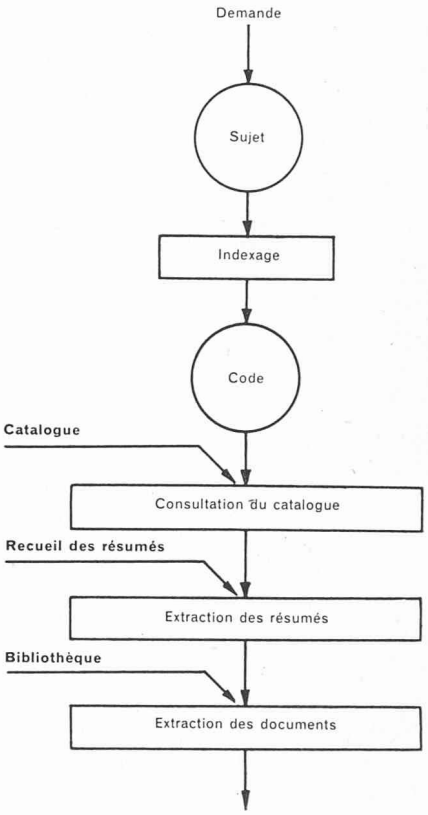

Fig. 10. — Schéma de la recherche de documents traitant d'un sujet donné.

Le processus est le suivant : une demande est formulée par une personne qui cherche un article (ou plusieurs articles) traitant d'un certain sujet ; il est alors nécessaire de codifier cette demande puis de rechercher dans le catalogue sous le code correspondant la liste des articles traitant du sujet en question. On recherchera ensuite les résumés dont la lecture déterminera lesquels des articles détectés sont intéressants ; on ira finalement chercher ces documents dans la bibliothèque.

Les trois problèmes posés par l'automatisation de la documentation sont donc les suivants :

1° La confection automatique de résumés.

2° L'indexage automatique (codification).

3° La recherche de documentation [1].

[1] Avant de passer à ces trois problèmes, il est nécessaire de définir la méthode dite des *mots-clef*.

Le principe de cette méthode consiste à définir un *dictionnaire sémantique* par un ensemble de mots-clef qui sont tous les mots importants pouvant intervenir dans l'ensemble des documents classés. Un document sera caractérisé par rapport à l'ensemble du système par un certain nombre de mots-clef qui apparaissent dans le dit document (et qui naturellement doivent faire partie du dictionnaire sémantique). Le dictionnaire sémantique sera d'autant plus puissant que les mots-clef qui le constituent auront un pouvoir de résolution plus grand. En d'autres termes, les mots-clef pour être efficaces, devront avoir entre eux une corrélation aussi faible que possible.

Un avantage immédiat de ce système est la possibilité de créer de nouvelles catégories à n'importe quel moment et au fur et à mesure des besoins. Il suffira en effet de constituer la liste de mots-clef correspondant au nouveau sujet, et d'ajouter, le cas échéant, ceux des mots-clef qui ne figuraient pas encore dans le dictionnaire sémantique. Le fichier de la bibliothèque aura donc la forme d'une matrice dont les deux coordonnées seront d'une part les numéros des documents, d'autre part les numéros des mots-clef. Un document est représenté par une ligne de la matrice, ligne qui indique tous les mots-clef contenus dans l'article en question. La matrice ainsi définie est évidemment très creuse et prendrait, par conséquent, trop de place si on voulait

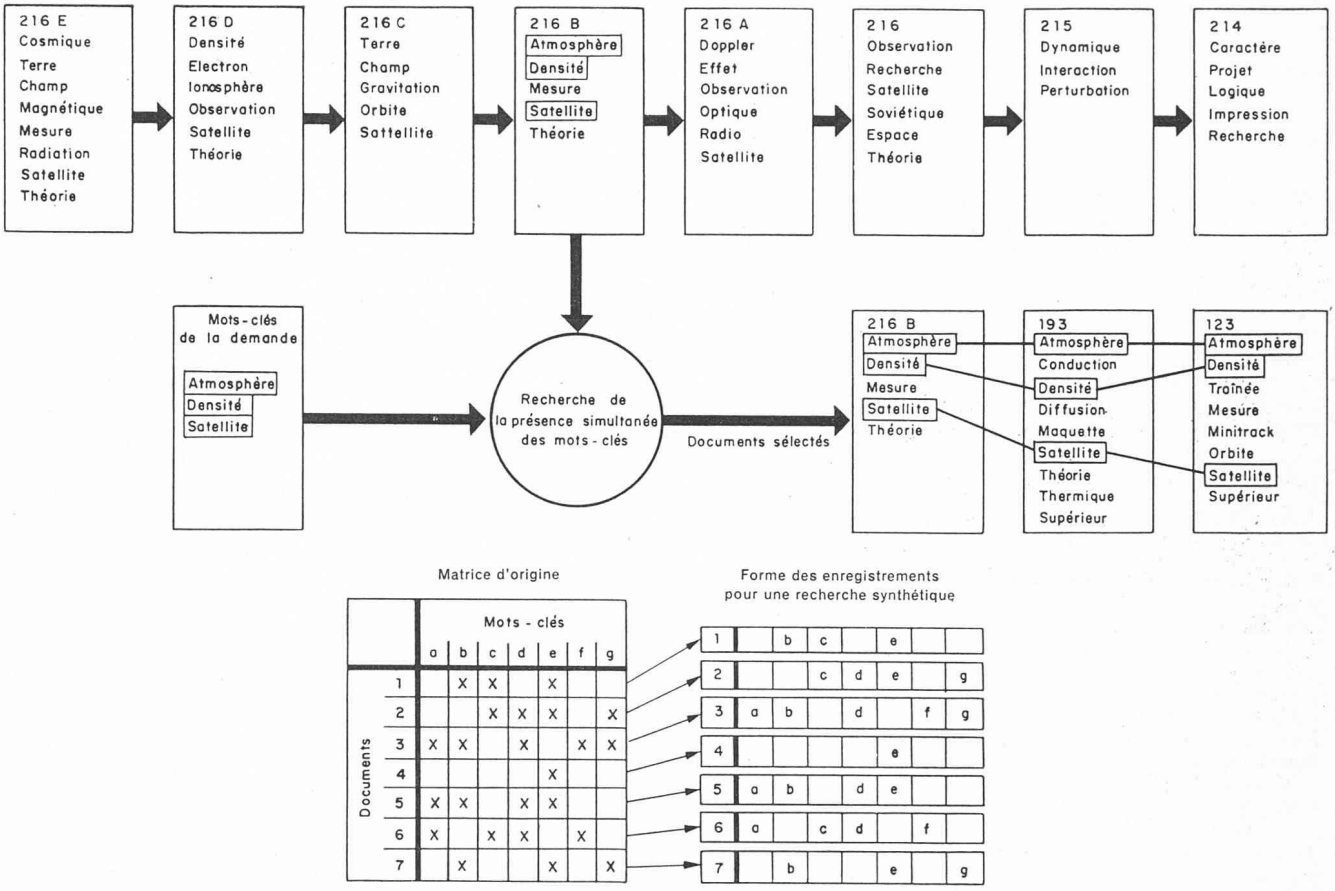

Fig. 11. — Schéma d'une recherche synthétique.

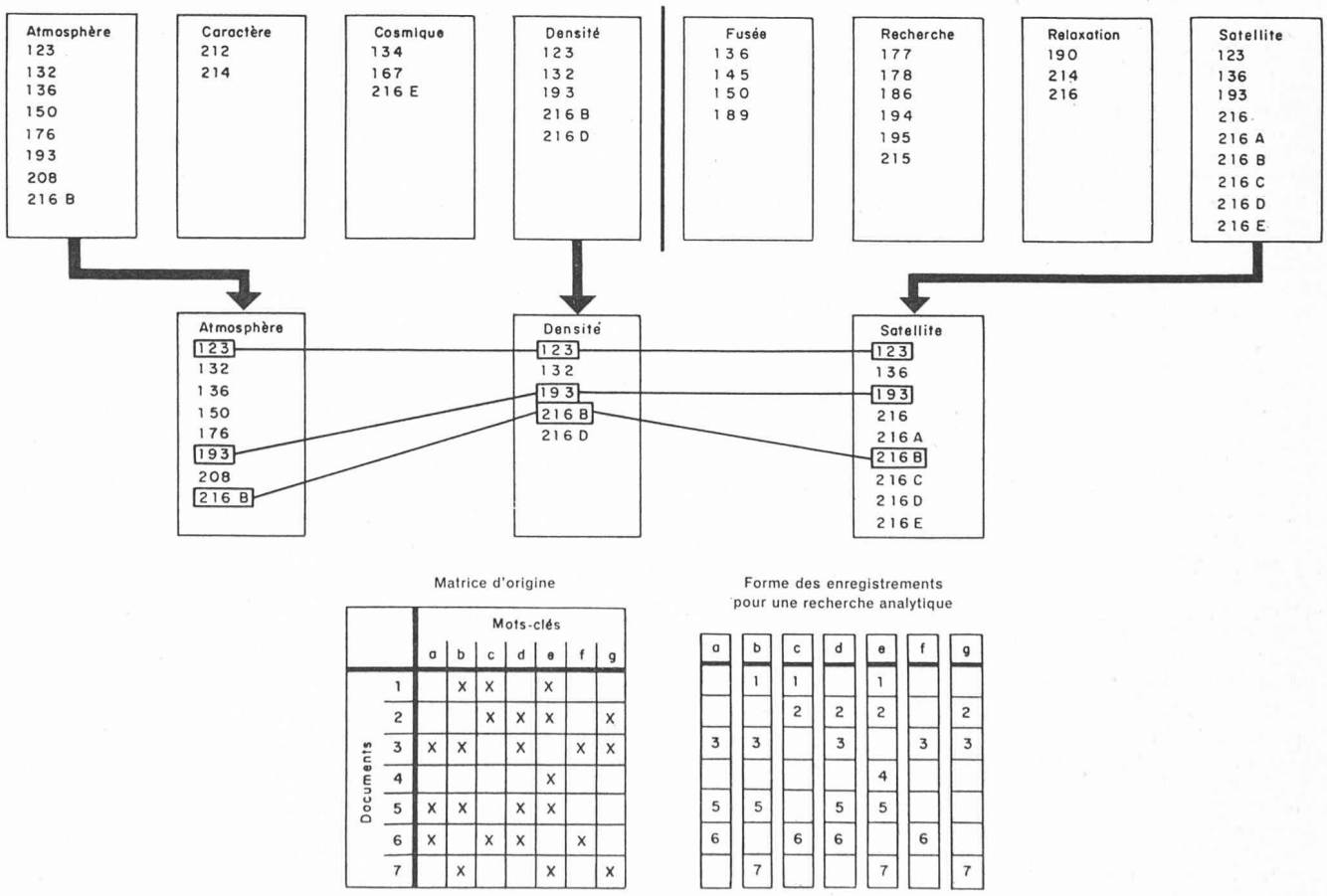

Fig. 12. — Schéma d'une recherche analytique.

la conserver sous cette forme, d'où la nécessité de condenser l'information. Deux méthodes sont utilisées, l'une consistant à découper la matrice en lignes, chaque ligne représentant un document, l'autre en colonnes, chaque colonne étant relative à un mot-clef. Les schémas correspondants sont représentés au bas des figures 11 et 12.

Confection automatique de résumés

Nous ne nous étendrons pas sur les méthodes qui ont été essayées en vue de résumer automatiquement les textes, ceci d'autant plus que ces méthodes n'ont été utilisées jusqu'ici qu'à titre expérimental. La méthode la plus connue est celle qui consiste à déterminer dans un article les phrases qui ont le plus de signification et de sélectionner ces phrases pour constituer le résumé. Dans ce cas, le résumé est donc constitué par des phrases propres de l'auteur, ce qui est un avantage certain. On peut dire que les tentatives qui ont été faites jusqu'ici (limitées à des textes techniques) ont donné des résultats fort intéressants, sans qu'elles soient pourtant appliquées d'une manière pratique.

Indexage (ou codification) automatique

L'opération d'indexage (ou de codification) consiste, dans le cas où l'on applique la méthode des mots-clef, à trouver les mots les plus importants qui caractérisent les sujets traités dans le document. La méthode qui a été appliquée jusqu'ici consiste à faire une statistique des mots apparaissant dans un article donné.

Nous laissons évidemment de côté le problème qui consiste à disposer d'un texte sous une forme qui puisse être acceptée directement par une machine. Actuellement, il est nécessaire, si l'on ne dispose que du texte écrit, de le perforer dans une bande de papier ou dans des cartes, ce qui représente naturellement un travail prohibitif. Ce problème sera résolu lorsque les machines seront capables de lire des textes sous la forme imprimée.

En analysant la statistique d'apparition des divers mots dans un document, on conçoit que les mots les plus fréquents sont peu significatifs (il s'agit des mots communs tels que : articles, verbes avoir ou être, etc.) ; d'autre part, les mots les moins fréquents pourront également être laissés de côté. Il s'agira de déterminer quelle partie du spectre des fréquences on désire conserver. Ceci fixera automatiquement les mots-clef à retenir, qui constitueront alors l'index du document.

Ce procédé présente naturellement certaines difficultés, par exemple le fait que les auteurs utilisent, lorsqu'ils écrivent un article, des termes différents pour caractériser une même notion. On élimine cette difficulté en mémorisant dans la machine un dictionnaire des synonymes auquel le programme qui confectionne l'index du document se référera constamment. Une autre difficulté consiste à déterminer quelles zones du spectre des fréquences il est nécessaire de conserver. Ceci peut se faire, en particulier lorsqu'on se limite dans la bibliothèque à des articles d'un type donné, (par exemple des articles scientifiques et techniques) en faisant un certain nombre d'essais pendant lesquels on peut faire varier les dites limites et étudier les résultats obtenus.

Recherche automatique de documentation

Une demande de documentation peut être formulée d'une manière assez vague, ce qui nécessite d'abord sa transformation par un bibliothécaire spécialisé avant d'être exploitée directement. Dans le cas où la bibliothèque est basée sur le système des mots-clef, une demande aura naturellement la forme d'une liste de mots-clef devant (ou ne devant pas) figurer dans les articles à sélectionner. Comme cela a été dit plus haut, on peut avoir deux formes de bibliothèques, suivant qu'on a découpé la matrice en lignes, ou en colonnes. On a alors affaire à une recherche synthétique, respectivement une recherche analytique.

Recherche synthétique

Cette méthode est appliquée lorsque la matrice représentant la bibliothèque est découpée en lignes, c'est-à-dire que chacun des enregistrements correspond à un document (voir fig. 11). L'enregistrement contient alors tous les mots-clef relatifs au dit document. Supposons par exemple que nous désirions trouver tous les articles traitant de la densité de l'atmosphère mesurée au moyen des satellites. Les trois mots-clef de la demande seront : *atmosphère, densité, satellite.* Tous les mots-clef de tous les enregistrements sont comparés successivement à la liste des mots-clef de la demande. Lorsque l'enregistrement correspondant à un document contient tous les mots-clef de la demande, ce document est sélectionné. Dans notre exemple, les documents 216B, 193 et 123 ont été sélectionnés.

Recherche analytique

Cette méthode s'applique lorsque la matrice est découpée en colonnes (voir fig. 12), ce qui revient à avoir un enregistrement par mot-clef. Dans cet enregistrement figurent tous les numéros des documents dans lesquels apparaît le mot-clef correspondant. Pour retrouver les documents correspondant à une demande, il suffit de sélectionner les enregistrements relatifs à tous les mots-clef contenus dans la demande. Dans notre cas, il suffit de sélectionner les fichiers *atmosphère, densité* et *satellite* et de rechercher les documents dont les numéros figurent à la fois dans ces trois enregistrements. Afin de faciliter les opérations de comparaison, les numéros des documents sont rangés en séquence à l'intérieur de chaque enregistrement.

Il est évident que ces méthodes présentent un grand avantage, surtout par le fait qu'il est possible de grouper un grand nombre de demandes qui peuvent être traitées par une machine simultanément. D'autre part ces méthodes permettent de résoudre le problème de l'accroissement continuel de la documentation, puisqu'il suffit, lors de l'introduction d'un tel système, de prévoir une certaine réserve dans sa capacité.

A titre d'exemple d'une telle réalisation, citons le système WALNUT, en fonctionnement à la « Central Intelligence Agency », aux Etats-Unis. Il s'agit d'un prototype d'un système de documentation électronique qui peut retrouver un document quelconque parmi des millions d'informations, et, selon le désir du chercheur, fournir un microfilm de l'article cherché au moyen d'un appareil photographique spécial qui permet le développement en une demi-seconde environ. Les documents sont conservés à l'intérieur du système sous forme de microfilms et le système de recherche est basé sur le principe des mots-clef mentionné plus haut. La capacité totale est équivalente à 990 000 images par unité de mémoire (ce qui correspond à environ 3000 livres moyens) et l'on peut connecter plus de cent unités de ce type au système.

5. Problèmes créés par les machines elles-mêmes et applications avancées

Si l'on considère la complexité et la multiplicité des applications des ordinateurs électroniques développées plus haut, on conçoit sans peine le travail énorme de programmation que cela implique, de même que les problèmes que posent la construction, l'entretien et l'amélioration technique des ordinateurs électroniques. On peut donc, sans exagérer, dire que les ordinateurs, au fur et à mesure de leur développement, sont devenus la source de nouveaux problèmes qu'on a commencé par résoudre avec les moyens classiques, mais que l'on a été très rapidement amené à automatiser en faisant appel, par une démarche assez naturelle, aux ordinateurs eux-mêmes et à leurs facultés logiques, de même qu'à leur extrême rapidité et à leur sécurité.

Le premier problème qui s'est posé a naturellement été celui de la programmation. Au début de l'utilisation des ordinateurs électroniques ,la programmation se faisait en *langage machine*, c'est-à-dire que l'utilisateur devait apprendre le code numérique de la machine sur laquelle il programmait et écrire les diverses instructions d'un programme sous la forme numérique. Cette forme est la seule « compréhensible » par les circuits électroniques de l'unité arithmétique et logique. Un pas a été effectué avec l'introduction des systèmes de programmation symbolique (ou semi-automatique), dans lesquels on a fait largement usage d'une notation mnémonique en ce qui concerne les opérations (c'est ainsi que par exemple l'addition sera symbolisée par la lettre *A*, la soustraction par la lettre *S*, la multiplication par

la lettre M, etc.), et l'utilisation dans les programmes des symboles mathématiques apparaissant généralement dans les formules étudiées. Au moyen de ce système de programmation, il n'est plus nécessaire de connaître l'emplacement des diverses grandeurs du problème en mémoire, il suffit de les appeler par leur nom (par exemple XI, XPRIME, FLECHE, CHARGE, etc.). L'utilisation d'un tel système permet une écriture et une lecture plus aisées du programme, et réduit dans une très large mesure le nombre d'erreurs de programmation, d'où gain de temps-machine nécessaire pour mettre au point les programmes et, par conséquent, du temps humain nécessaire à la recherche des erreurs. Il faut remarquer néanmoins que ces systèmes de programmation nécessitent la connaissance du fonctionnement de la machine puisqu'en général une instruction ainsi écrite correspond à une instruction en langage machine après traduction du programme symbolique en programme numérique. On a donc voulu faire mieux, c'est-à-dire créer des langages se rapprochant plus du langage humain que de celui de la machine. C'est ainsi qu'ont été mis au point certains langages particulièrement évolués tels que FORTRAN, ALGOL, COBOL.

Le langage FORTRAN (FORmulation TRANsposée) a été mis au point il y a plusieurs années déjà et constitue un langage commun à tous les ordinateurs IBM allant de l'ordinateur de capacité et de vitesse moyennes aux ordinateurs les plus puissants fabriqués actuellement. Fortran est un langage très voisin de celui des mathématiciens et à partir duquel une des machines mentionnées plus haut est capable de se créer son propre programme de calcul. Il n'est pas besoin de souligner les nombreux avantages liés à l'utilisation d'un tel langage : enseignement rapide (un ou deux jours), programmation particulièrement aisée, rapide et par conséquent exempte d'erreurs, possibilité, dans le cas où le programme à traiter dépasse le cadre d'une machine donnée, de passer, avec le même programme ayant été mis au point sur cette machine, sur un ordinateur plus puissant, etc. A titre d'exemple, la formule :

$$y = a_i \sin (x_i^2 + y_i^2)$$

se programme de la manière suivante en Fortran :

$$Y = A(I)\star\mathrm{SIN}(X(I)\star\star 2 + Y(I)\star\star 2)$$

Les conventions sont claires : l'addition est représentée par le signe $+$, la multiplication par le signe $\star$ (pour éviter la confusion avec la lettre X), l'exponentiation par $\star\star$, les indices étant placés entre parenthèses à la suite des variables indicées. Notons en passant que la plupart des ingénieurs utilisant des ordinateurs se servent de ce langage Fortran qui est particulièrement commode pour la résolution de problèmes scientifiques et techniques.

Le langage ALGOL est un langage international destiné à la programmation de problèmes scientifiques sur toutes les machines, indépendamment du constructeur. Ce système a été étudié il y a plusieurs années déjà et la version qui a fait l'objet d'une publication : « ALGOL 60 » a été recommandée par le Comité international qui a développé ce langage comme langue internationale.

Le langage COBOL (Common Business Oriented Language) a été développé par un groupe de travail réunissant des spécialistes des questions de langages pour ordinateurs, réunissant soit des membres de maisons fabriquant des ordinateurs, soit des utilisateurs de ces machines. Il s'agit d'un langage très général et très puissant destiné en fin de compte à être utilisé sur toutes les machines, quelle que soit leur marque, pour la programmation de problèmes de gestion. L'adoption sur le plan international du langage Cobol est chose faite, ce qui marque une étape importante vers l'internationalisation des machines à traiter l'information. Afin que Cobol réponde en tous temps aux exigences de ses utilisateurs, deux comités ont été créés, l'un chargé de sa tenue à jour, l'autre du développement et des recherches en vue de l'amélioration et du perfectionnement continuel de Cobol.

Une fois un langage défini, il est clair qu'il est nécessaire pour une machine donnée d'écrire le programme de traduction dont la machine aura besoin pour traduire les programmes écrits dans ce langage dans le langage propre, numérique, de la machine. La conception et l'écriture d'un tel programme est une chose extrêmement longue et délicate et de nombreuses recherches ont été faites en vue d'automatiser l'écriture de ces programmes traducteurs, tout au moins de la simplifier au maximum. Il faut pourtant remarquer que l'effort énorme nécessité par le développeemnt d'un tel système de programmation est largement compensé ultérieurement par l'économie d'effort intellectuel qui en sera la conséquence et, finalement, la simplicité d'utilisation qui pourra être atteinte grâce à eux. Il est admis aujourd'hui, dans le domaine des ordinateurs, qu'un fournisseur d'une telle machine doit livrer à son utilisateur des systèmes de programmation symbolique ou automatique qui rendent le plus aisé possible l'écriture des programmes, même par des personnes non initiées.

Après avoir automatisé la programmation, on s'est naturellement penché sur le problème de l'utilisation des ordinateurs, et plus particulièrement des ordinateurs de grande puissance. Lorsqu'on étudie le fonctionnement d'un centre de calcul équipé d'une machine puissante, on s'aperçoit très vite que le temps dont disposent les divers utilisateurs devient de plus en plus court et qu'il est par conséquent fondamental d'utiliser ces systèmes au maximum, c'est-à-dire d'éviter le plus possible les temps morts, entre plusieurs problèmes successifs par exemple. Etant données les vitesses de calcul particulièrement grandes des machines, il est clair qu'un opérateur manipulant les boutons de commande ou réfléchissant à la cause d'un arrêt de l'ordinateur, même s'il s'agit d'un expert, perdra un temps précieux. (Pensons par exemple à l'ordinateur 7094 capable d'effectuer 500 000 opérations par seconde.) Les systèmes développés pour remédier à ces difficultés sont généralement appelés systèmes *moniteur* et sont maintenant largement utilisés sur les grands systèmes électroniques. Un système moniteur n'est rien d'autre qu'un système de gestion de l'ordinateur se chargeant de la plupart des tâches de routine qui étaient par le passé laissées à l'opérateur et qui, suivant les circonstances intervenant pendant le calcul, donnent des instructions à l'opérateur par l'intermédiaire de messages imprimés. Les systèmes moniteurs actuellement en fonctionnement effectuent en particulier les tâches suivantes :

— Traduction en langage machine des programmes écrits soit en langage Fortran, soit dans le langage symbolique.
— Exécution du problème aussitôt après traduction dans les cas où l'utilisateur le demande.
— Détection et signalement de certaines erreurs de programmation.
— Chargement des programmes et sous-programmes, c'est-à-dire leur envoi en mémoire aux endroits convenables.
— Signalement de circonstances spéciales lors de l'exécution des calculs.
— Enchaînement automatique d'un programme au suivant sans arrêt de l'ordinateur, mais en prévoyant un changement de page sur la bande magnétique contenant les résultats de tous les problèmes successifs.
— Rebobinage des bandes magnétiques.
Etc.

A la fin des divers travaux, le système moniteur peut donner un enregistrement de l'état de la machine, des erreurs commises ainsi que des renseignements concernant la longueur des résultats (nombre de lignes par exemple). De même, il peut tenir une comptabilité du temps passé et donner pour chacun des problèmes traités le temps exact utilisé. Notons en passant que ces systèmes moniteurs deviennent absolument indispensables lorsqu'on utilise un ordinateur très complexe dans lequel par exemple plusieurs problèmes peuvent se dérouler simultanément. Il est alors évident qu'un opérateur ne peut plus être à même d'intervenir rapidement et efficacement lors de circonstances inattendues.

Le problème suivant rencontré par les utilisateurs des ordinateurs électroniques est posé par leur entretien et la vérification de leur fonctionnement correct. Il existe actuellement pour la plupart des machines, des programmes capables de tester en se déroulant dans l'ordinateur, les diverses parties les unes après les autres afin de localiser les défaillances éventuelles. Les programmes les plus récemment développés fournissent en fin de compte un véritable diagnostic de l'état de la machine en indiquant par exemple les numéros des pièces dont la défaillance pourrait conduire à l'erreur trouvée. Le technicien chargé de l'entretien n'a plus alors qu'à remplacer les éléments indiqués au lieu de chercher, pendant un temps qui pourrait être long, à localiser l'erreur. Ces programmes également font généralement partie de la bibliothèque de programmes livrée avec l'ordinateur lui-même.

La préoccupation constante des constructeurs tendant à assurer un fonctionnement des ordinateurs aussi exempt de pannes que possible conduit à la création pour les machines très rapides à un auto-contrôle extrêmement poussé pouvant aller même jusqu'à la correction automatique d'erreur. C'est le cas par exemple de l'ordinateur « Stretch » qui, pendant son fonctionnement, est capable de corriger des erreurs éventuellement rencontrées en cours de calcul.

Le problème, encore un peu plus difficile, auquel on s'est attaqué il y a quelques années déjà, est celui de la construction des ordinateurs eux-mêmes. On a développé des programmes capables de calculer, à partir des fonctions logiques de base qu'on désire réaliser, les cartes à circuits imprimés avec leurs éléments et les plans de câblage nécessaires à la réalisation des fonctions données à partir des fonctions logiques élémentaires. Un tel programme détermine les types et les positions d'éléments sur les plaquettes à circuits imprimés, ajoute des amplificateurs pour régénérer les signaux là où ils seraient trop faibles, établit ensuite un véritable programme de fabrication accompagné des schémas de câblage, la numérotation des fils avec renvoi aux pages correspondantes, ceci entièrement automatiquement. Ces programmes sont particulièrement astucieux. Ils permettent une certaine optimalisation, en ce sens que les circuits sont simplifiés au moyen de l'algèbre de Boole afin d'obtenir une minimisation d'une certaine fonction qui peut être, par exemple, le coût total du circuit (ce coût pouvant être égal à la somme des coûts des éléments utilisés). Dans certains cas, les documents ainsi imprimés par l'ordinateur sont reproduits non seulement pour la fabrication, mais également pour les manuels d'inspection utilisés par le personnel technique chargé de l'entretien des machines. Un tel programme fonctionne actuellement sur l'ordinateur 7090 et a déjà été utilisé pour la conception de divers autres ordinateurs. Il est à remarquer que ce programme n'est pas seulement applicable à des ordinateurs plus petits que celui sur lequel il est utilisé, mais qu'il peut être également utilisé pour calculer un ordinateur plus puissant que celui-là. C'est en faisant allusion à de tels programmes que l'on voit apparaître quelquefois l'expression de « faculté de reproduction » des machines.

Comme *applications avancées* nous citerons un programme qui a été développé pour un ordinateur 704 et qui est capable de démontrer tous les théorèmes de la géométrie plane. Il s'agit d'un cas typique où l'on a pu inculquer à la machine les notions de base (axiomes) nécessaires à la poursuite d'un raisonnement logique tendant à une démonstration géométrique. Des recherches étendues sont conduites par de nombreux spécialistes en vue de la création de programmes à auto-apprentissage, c'est-à-dire de programmes pouvant s'améliorer avec le temps. A titre d'exemple, on peut imaginer un programme du jeu de dames qui s'améliorerait au fur et à mesure des parties jouées, qu'elles soient gagnées ou perdues. Ces notions de faculté d'apprentissage sont actuellement encore peu connues, mais il est certain qu'elles prendront une importance fondamentale dans les années à venir.

Conclusions

Nous avons voulu, dans cet article, démontrer quelques-uns des très nombreux domaines d'application du traitement numérique de l'information, en illustrant autant que possible les divers domaines choisis par des exemples nombreux.

On peut aisément déduire de ce qui précède que l'importance du traitement numérique de l'information va en augmentant et augmentera sans doute encore d'une façon considérable. Il est probable que peu de domaines ne seront pas touchés dans un proche avenir, car dans tous les secteurs, le nombre et la complexité des problèmes augmentent, la main-d'œuvre spécialisée se fait rare et il ne sera bientôt plus possible d'utiliser les capacités intellectuelles des ingénieurs, à des travaux de routine, par exemple. Les machines électroniques viennent donc à point pour soulager l'homme de ces travaux de routine en lui permettant de se concentrer mieux et

plus longtemps sur des problèmes à sa taille, c'est-à-dire les véritables problèmes de l'ingénieur.

D'autre part, il est bon de remarquer que le développement du traitement numérique de l'information se fait simultanément sur deux plans : perfectionnement technologique extrêmement rapide des machines elles-mêmes (ou systèmes) et, parallèlement, essor extraordinaire des idées concernant les applications, ce dernier point étant largement illustré par les exemples cités plus haut.

Du côté technologique, les progrès peuvent être caractérisés sans exagération de stupéfiants. En effet, si l'on a pu passer des millièmes de seconde pour les temps d'opération (il y a environ dix ans) au millionième (microseconde), grâce à l'utilisation des mémoires à ferrites (tores magnétiques), on sait déjà, par les résultats obtenus en laboratoires, qu'on obtiendra bientôt dans des machines construites en série des temps se comptant en nanosecondes (c'est-à-dire en milliardièmes de seconde) grâce à l'utilisation d'un type de mémoire nouveau : les couches magnétiques minces.

Il est assez frappant de constater comme les deux domaines : technologie et applications des ordinateurs électroniques se stimulent l'un l'autre. En effet, les machines étant de plus en plus puissantes, permettent de résoudre des problèmes de plus en plus complexes. Mais l'utilisateur, lorsqu'il a commencé à utiliser les ordinateurs électroniques s'aperçoit rapidement que ces problèmes, et surtout leurs résultats, seraient beaucoup plus intéressants s'il introduisait dans les équations les notions qui avaient été précédemment laissées de côté du fait de la complexité trop grande du problème complet. Il a donc de plus en plus tendance à utiliser les machines aux limites de leurs possibilités et à demander aux constructeurs des performances toujours plus poussées pour les systèmes à venir.

Il faut également mentionner le fait que, même actuellement avec les machines les plus puissantes, certains problèmes ne peuvent pas encore être résolus parce qu'ils utiliseraient un temps prohibitif.

La dernière remarque sur l'évolution du traitement numérique de l'information (qu'il s'agisse du perfectionnement technologique ou du développement des applications) est que les prévisions les plus optimistes qui avaient été émises ont toujours été dépassées par les réalisations pratiques : telles choses qu'on jugeait impossibles il y a quelques années seulement sont aujourd'hui fort répandues.

C'est sur cette considération que nous terminerons cet article en relevant l'optimisme que nous pouvons avoir dans le développement des applications actuelles, mais surtout dans les applications nouvelles qui seront mises au point dans les années à venir et qui mettront à la disposition des ingénieurs et des chercheurs de toutes disciplines des richesses aujourd'hui difficiles à évaluer.

BIBLIOGRAPHIE

La mesure rationnelle du travail MTM et systèmes de temps prédéterminés, par *D. W. Karger* et *F. H. Bayha.* Traduit de l'américain par les Ingénieurs associés, sous la direction de *G. Lapoirie.* Paris, Gauthier-Villars (1962). — Un volume 16×25 cm, XVIII + 424 pages, figures. Prix : relié, 45 NF.

Le but des auteurs, en écrivant ce livre, a été d'aider à la réalisation de la Direction scientifique en développant, sous toutes ses formes, la mesure rationnelle du travail. Ce but semblait surtout nécessiter un ouvrage unique rassemblant tous les principes essentiels, les données et les techniques du M.T.M., ou de l'Etude moderne des temps et mouvements, ainsi que les données d'application correspondantes. Jusqu'ici, de tels renseignements ne pouvaient être obtenus qu'à partir de diverses sources. Dans le présent livre figurent tous les faits essentiels nécessaires pour établir des standards de travail et améliorer les méthodes de fabrication soit avec le M.T.M., soit avec l'Etude des temps et mouvements.

Cet ouvrage intéressera donc aussi bien les ingénieurs praticiens, que les étudiants se destinant à l'industrie et aux affaires, ainsi que les organismes conseils et les collèges ayant des programmes d'organisation industrielle.

Table des matières :

I. *Introduction et généralités :* 1. Les origines. — Un bref historique de l'organisation scientifique et de la mesure du travail. — 2. Une orientation. — Le facteur humain dans l'entreprise moderne. — 3. Les systèmes de temps prédéterminés, leur développement, leur comparaison. — 4. Le M.T.M., une nouvelle approche. — 5. L'Association M.T.M. pour les standards et les recherches (M.T.M. Association for Standards and Research).

II. *Les bases du M.T.M. :* 6. Les concepts de base et la cotation d'activité. — 7. Atteindre. — 8. Mouvoir. — 9. Tourner. — 10. Mouvement manivelle. — 11. Appliquer pression. — 12. Saisir. — 13. Lâcher. — 14. Positionner. — 15. Désengager. — 16. « Mouvements » des yeux et questions connexes. — 17. Mouvements du corps, de la jambe et du pied. — 18. Les combinaisons de Mouvements. — 19. Les modèles de mouvements (mouvements types). — Une preuve des méthodes. — 20. La carte M.T.M. simplifiée.

Unités de mesure. Tables de coefficients de conversion, par la Société pour l'étude et la réalisation d'engins balistiques (SEREB). Editeur : Gauthier-Villars, Paris. 2e édition revue et corrigée. 1962. — Un volume 29×22 cm, 78 pages, reliure spirale. Prix : 40 fr. français.

Au moment où la coopération scientifique et technique internationale s'intensifie et s'étend pour englober bientôt les réalisations spatiales, le besoin d'une unification dans le domaine des mesures se fait de plus en plus sentir. L'édition de ces tables de coefficients de conversion est d'autant plus opportune que le Système international d'unités de mesures, adopté par la onzième Conférence des Poids et Mesures, est seul légal en France. Ce dernier système est présenté comme celui destiné à supplanter les autres qui sont néanmoins définis avec le plus grand soin. L'ouvrage a été rédigé avec le souci de pouvoir être utilisé aisément par les ingénieurs et les techniciens.

Il se compose de trois parties. La première partie contient la nomenclature des grandeurs et leurs définitions. La seconde partie, qui comprend l'essentiel de l'ouvrage, regroupe en sept sections les tables de coefficients de conversion des unités fondamentales, des autres unités habituelles et des unités anglo-saxonnes permettant de passer facilement de l'une à l'autre. Enfin un tableau général des constantes est donné en troisième partie.

Table des matières :

Introduction. — Indications sur l'emploi des tables. — *Unités. Définitions :* Unités géométriques. Unités de masse. Unités de temps. Unités mécaniques. Unités calorifiques. Unités électriques. Unités optiques. Unité de radio-activité. Unités acoustiques. — *Tables de coefficients de conversion :* Unités géométriques; Longueur; Aire ou superficie; Volume;