Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 81 (1955)

Heft: 12: Les machines arithmétiques

Artikel: ERMETH: le calculateur électronique de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich

Autor: Läuchli, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-61338

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: 10.07.2025

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

été apportées des solutions pratiques, figurent notamment :

une méthode de résolution des systèmes d'équations linéaires (M. Couffignal), permettant, avec des machines de bureau, d'obtenir la solution d'un système avec 5 à 7 chiffres exacts, en une durée de l'ordre de $n^3/250$ heures, n désignant le nombre d'équations ;

une méthode de résolution des équations entières (M. Peltier), levant les ambiguïtés de la méthode de Graeffe, et d'une grande rapidité [1] ;

une méthode de calcul des systèmes hyperstatiques (M. Duleau), réduisant de 60 à 80 %, selon les cas, la durée des calculs nécessités par la méthode classique de Hardy-Cross ;

une méthode de calcul d'une table d'intégrales de Lommel généralisées (Mme Coulmy) qui permet d'obtenir la valeur d'un terme de la table avec 4 à 6 chiffres exacts en effectuant les calculs avec des nombres de 10 chiffres au plus ;

une méthode d'exécution des calculs demandés par l'application de la mécanique ondulatoire aux structures chimiques fines, recherche des vecteurs propres d'une matrice et moyennes statistiques y attachées (MM. Peltier et Duleau) qui réduit la durée de ces calculs à $n^3/150$ heures, n étant l'ordre de la matrice.

Le laboratoire disposera très prochainement d'une machine à calculer électronique universelle [1], d'un débit pratique de 100 opérations arithmétiques par seconde, et d'une mémoire de 3000 mots de neuf chiffres décimaux.

La rapidité d'exécution due à la machine s'ajoutant à la réduction du nombre des opérations due, dans certains cas, à l'amélioration des méthodes, permettent un haut rendement dans l'exécution des calculs.

Ainsi se développe un nouveau champ d'activité pour le Laboratoire de calcul mécanique, désormais en mesure d'effectuer dans un délai très bref les calculs demandés par les autres laboratoires du Centre national de la recherche scientifique, des universités et des services publics, ainsi que par les établissements privés qui poursuivent des recherches d'ordre scientifique ou technique [2].

[1] La résolution d'une équation de degré 20, à racines réelles ou complexes, distinctes, confondues ou voisines, demande trois jours environ, avec 4 ou 6 figures exactes.

[1] Cette machine, construite par les Etablissements Elliott Brs., est actuellement en cours d'installation.

[2] Le Bureau de calcul, dont le chef est Mlle Lenouvel, trouvera son régime normal d'activité vers novembre prochain.

ERMETH

Le calculateur électronique de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich

par P. LÄUCHLI [1]

1. Introduction

Sous la direction de M. le professeur Dr E. Stiefel, l'Institut pour mathématiques appliquées de l'Ecole polytechnique fédérale a entrepris au début de l'année 1953 le développement d'un calculateur électronique, développement qui est conduit par le Dr A. P. Speiser. Ce calculateur est actuellement en cours de réalisation et sera terminé à la fin de l'année 1955. Il sera désigné par ERMETH (Elektronische Rechen-Maschine der E.T.H.).

L'expérience acquise au moyen du calculateur à relais Z4 (Zuse K.G., Neukirchen), qui a été en service pendant quatre ans dans notre institut a montré que le besoin d'un centre de calcul disposant d'un calculateur de grande capacité s'était clairement manifesté en Suisse.

L'acquisition d'une telle machine de fabrication étrangère s'est révélée plus onéreuse qu'un calculateur réalisé par nos propres moyens.

Cette deuxième solution avait, en outre, l'avantage de donner l'occasion à un groupe de spécialistes d'acquérir une expérience pratique dans le domaine de la construction des machines à calcul de ce type.

2. Organisation de l'ERMETH

Ce calculateur utilise le système décimal, cependant chaque chiffre est codifié par un groupe élémentaire de quatre impulsions qui sont transférées parallèlement (numérotation semi-binaire). Un nombre s'exprime ainsi par une succession de seize de ces groupes élémentaires et constitue ce que l'on appelle un « mot ».

L'ERMETH est constitué par les éléments principaux suivants :

1. *L'opérateur* effectue les opérations.
2. *Le pilote* commande la succession des opérations à effectuer et règle les échanges d'informations entre les différents éléments de la machine.
3. *La mémoire* est constituée par un tambour magnétique qui tourne à grande vitesse et sur lequel les chiffres sont retenus sous la forme de dipoles magnétiques. Cette mémoire a une capacité de 10 000 cellules d'un mot chacune et numérotées de 0 à 9999.
4. *L'entrée et la sortie* de la machine fonctionnent à l'aide de relais et relient la machine avec le monde extéextérieur par l'intermédiaire de cartes perforées, de machines à écrire et du pupitre de commande.

La machine doit être informée du travail qu'elle a à effectuer et cette information lui est dictée au moyen d'un programme, constitué par une succession d'ordres groupés deux par deux dans un « mot de commande ». Avant le début du calcul, l'ensemble du programme est enregistré sous la forme d'une succession d'ordres introduite dans les cellules du dispositif de mémoire. Ces ordres dictent à l'opérateur au moment voulu l'opération à effectuer.

Ces ordres sont constitués selon le « système à une adresse », c'est-à-dire que chaque ordre comprend deux

[1] Institut für angewandte Mathematik, ETH.

éléments : un signe d'opération codifié en deux chiffres et une adresse. Lorsqu'une opération doit être effectuée entre deux nombres, le premier de ceux-ci se trouve déjà dans l'opérateur et le deuxième est cherché dans la mémoire à l'aide du numéro qui constitue son adresse. Le nombre qui résulte de cette opération reste dans l'opérateur et sert de point de départ pour une nouvelle opération.

Lorsque l'opération s'effectue sur un seul nombre (p. ex., prise en considération de la valeur absolue de ce nombre), l'adresse est supprimée.

Chaque ordre contient en outre un index qui se rapporte à un des neuf registres à quatre chiffres. L'action de ces index est qu'avant l'exécution d'un ordre, le nombre contenu dans le registre correspondant est additionné au nombre qui caractérise son adresse.

Si l'index est nul, rien ne se passe. Le contenu de ce registre peut lui aussi être modifié par des ordres spéciaux.

Ces registres sont très utiles, si le même cycle de calcul doit souvent être répété et que pour chacun de ces calculs une des grandeurs doit être décalée d'une unité (p. ex., l'index des composantes vectorielles d'un produit scalaire).

Dans l'ERMETH, les nombres sont représentés avec une virgule mobile, c'est-à-dire dans la forme $\pm a.10^b$. La mantisse « a » est caractérisée par 11 places, avec la virgule après la première place. ($|a| \leq 9{,}999\,999\,999\,9$), l'exposant b est compris entre — 200 et + 200. La virgule mobile a, par rapport à la virgule fixe, l'avantage de décharger le mathématicien du travail souvent fastidieux de se préoccuper de l'ordre de grandeur des résultats.

Cependant, il y a également la possibilité de faire fonctionner le calculateur avec des nombres à virgule fixe. Dans ce cas, les trois places qui étaient occupées par l'exposant sont disponibles ; les nombres peuvent être caractérisés par 14 places, la virgule étant située avant la première place ($|a| \leq 0{,}999\,999\,999\,999\,99$).

Les 16 places d'un mot ont ainsi la signification suivante :

1. Nombre avec virgule mobile :

Q	$E_2\ E_1\ E_0$	$M_0\ ,\ M_1\ M_2\ M_3\ M_4\ M_5\ M_6\ M_7\ M_8\ M_9\ M_{10}$	$\pm$

2. Nombre avec virgule fixe :

Q	$,\ M_1\ M_2\ M_3\ M_4\ M_5\ M_6\ M_7\ M_8\ M_9\ M_{10}\ M_{11}\ M_{12}\ M_{13}\ M_{14}$	$\pm$

3. Mot de commande :

Q	$O_1\ O_0$	I	$A_3\ A_2\ A_1\ A_0$	$0_1\ O_0$	I	$A_3\ A_2\ A_1\ A_0$	+

La place désignée par Q sert d'une part pour des buts de contrôles et d'autre part pour marquer un chiffre. Chaque nombre est caractérisé par « présence de Q » ou « absence de Q » ce qui dans l'établissement du programme de calcul permet de faire certaines distinctions.

3. Liste des ordres principaux

n	=	adresse
(n)	=	contenu de la cellule de mémoire N° n
(RW)	=	nombre placé dans l'opérateur

Opérations qui sont définies pour les mots des classes 1 et 2

A n	apporte (n) dans l'opérateur (sans effacer la cellule n)
S n	apporte (RW) dans la cellule n
— 1	multiplie (RW) par — 1
| x |	prends la valeur absolue de (RW)

Opérations qui sont définies pour les mots de la classe 1

+ n	forme (RW) + (n)
— n	forme (RW) — (n)
× n	forme (RW) . (n)
: n	forme (RW) : (n)

Le résultat est arrondi et reste placé dans l'opérateur. Quand l'exposant devient plus grand que 200, ou en cas de division par zéro, le calculateur s'arrête automatiquement. Lorsque l'exposant devient inférieur à — 200, le calculateur continue son opération avec 0.10^{-200}.

N	normalise (RW), c'est-à-dire déplace la mantisse vers la gauche jusqu'à ce que la première place soit différente de zéro et diminue l'exposant de façon correspondante.

Opérations qui sont définies pour les mots de la classe 2, éventuellement de la classe 3.

++ n	forme (RW) + (n)
— — n	forme (RW) — (n)
×× n	forme (RW) . (n)
: : n	forme (RW) : (n)

Dans ce cas, le résultat n'est pas arrondi. La machine s'arrête quand la valeur du résultat est plus élevée ou égale à un, c'est-à-dire, en cas de division (: :), lorsque le numérateur est plus élevé que le dénominateur. (En cas de multiplication, les 14 places moins significantes du produit sont conservées, en cas de division, le « reste » l'est également ; cette propriété est utile pour un calcul avec des nombres de multiple longueur.)

VL n	déplace la mantisse de n places à gauche ; les places superflues sont perdues. A droite, les places libérées sont comblées par des zéros.
VR n	déplacement correspondant à droite.

La machine ne sait pas si les chiffres qu'elle contient représentent un mot de commande ou un nombre avec virgule fixe ou mobile ; il peut y avoir nécessité de combiner une opération de la classe 2 avec un mot de la classe 1. Il est également possible de traiter des mots d'ordre par des ordres de calcul (calcul d'un plan).

Ordres logiques

C n	saute à n, c'est-à-dire que le nouveau mot d'ordre n'est pas pris dans la cellule voisine mais dans la cellule n
C_+ n	saute à n quand (RW) est positif
C_0 n	saute à n quand (RW) est nul
Fin	arrête-toi
Fin_+	arrête-toi quand (RW) est positif
Fin_0	arrête-toi quand (RW) est égal à zéro

Il y a encore les ordres qui permettent d'augmenter d'une valeur quelconque le contenu d'un registre à index, de placer un nombre dans ce registre ou d'en sortir un nombre. Il y a enfin toute une série d'ordres concernant l'introduction de données et de sortie de données du calculateur, comme perforer, lire, imprimer un nombre, etc.

4. Les circuits de commande de l'opérateur et du pilote

Ainsi que nous l'avons déjà mentionné, chaque décimale est codifiée par un groupe élémentaire de quatre impulsions, c'est-à-dire que la machine ne connaît en fait que les valeurs numériques 0 et 1, c'est-à-dire les valeurs « oui » ou « non » qui sont caractérisées par les niveaux de tension de — 29 V et de — 7 V.

Le tambour rotatif de la mémoire émet des impulsions de références à une cadence de 32 kHz. C'est à cette cadence que circulent dans les chaînes de flip-flops les trains d'impulsions qui correspondent aux nombres. (Le flip-flop est un élément contenant deux triodes, qui n'a que deux états de stabilité.)

Entre les différents flip-flops sont branchés des circuits constitués par des diodes et qui combinent les nombres selon le programme de calcul préétabli. Avant l'arrivée d'un nouveau signal, ces circuits doivent avoir retrouvé leur état d'équilibre. L'indication d'une négation est réalisée par un inverseur (amplificateur à triodes en deux étages avec contre-réaction). Cet inverseur a également pour tâche de rétablir le niveau de tension normal.

Les flip-flops et les inverseurs sont alimentés par des amplificateurs qui livrent le courant nécessaire pour les circuits de diodes. Comme tubes électroniques et comme diodes ne sont utilisés que les types E 90 CC et OA 55.

5. Fonctionnement de l'opérateur

L'opérateur est équipé d'une part de circuits enregistrant les nombres, d'autre part de circuits enregistrant les opérations à effectuer.

Les *circuits des nombres* possèdent trois récepteurs qui saisissent chacun un mot, le transmettent et s'en libèrent ainsi immédiatement. Ces récepteurs sont constitués par des secteurs sur le tambour du dispositif de mémoire. Un chiffre après l'autre se trouve ainsi saisi, soumis à l'opération arithmétique que lui font subir les réseaux de diodes, et reconduit ensuite dans la mémoire, c'est-à-dire qu'en permanence un mot circule dans les récepteurs.

Si une « lettre » d'un mot doit être décalée à gauche d'une case, elle est retardée par un flip-flop supplémentaire. (Les nombres circulent dans un sens tel qu'apparaît tout d'abord l'indication du signe de ce nombre.) Pour les nombres avec virgule mobile, l'opération s'effectue dans le même cycle sur l'exposant et la mantisse, leur séparation s'effectue au moyen d'une sélection en fonction du temps.

Les *circuits de commande des opérations* reçoivent leurs ordres à partir du pilote et agissent sur les circuits des nombres. Le résultat de l'opération est édifié dans le registre AC (« accumulateur ») équipé d'un dispositif d'addition. En cas de multiplication, ce résultat s'obtient par une addition répétée.

Le registre MD contient le multiplicande (ou d'une façon générale le deuxième nombre qui est l'objet de l'opération et qui est fourni par la mémoire). Dans le registre MR circule le multiplicateur. La division s'effectue par soustractions successives ; à chaque étape, le calculateur contrôle si le reste est encore plus élevé que le diviseur.

6. Fonctionnement du pilote

De même que pour l'opérateur, il faut distinguer deux parties : les circuits d'ordre et la commande du pilote.

Les *circuits d'ordre* ont deux récepteurs qui se régénèrent automatiquement. L'un d'eux peut enregistrer 10 mots à la fois, à savoir 9 registres à index et le compteur d'ordre ; ce compteur comprend le numéro de la cellule de la mémoire d'où le dernier mot de commande a été tiré. Après exécution de ces ordres, ce numéro est élevé automatiquement d'une unité. Le deuxième récepteur contient la paire d'ordres qui doit être effectuée à l'instant.

Les *circuits de commande* du pilote font en sorte que le nouveau mot de commande soit transmis de façon correcte de la mémoire jusque dans le circuit d'ordre. Tout d'abord, l'ordre de gauche est mis en action. Un dispositif d'addition spécial ajoute à l'adresse le montant du registre à index correspondant .S'il s'agit d'une opération arithmétique, cette opération est transmise à l'opérateur et le pilote peut continuer son travail pendant que fonctionne l'opérateur ; les autres opérations sont effectuées dans le pilote et transmises à l'entrée ou à la sortie du calculateur si nécessaire. L'exécution de l'ordre C n consiste à porter le compteur d'ordre à la valeur n.

Lorsque l'ordre de gauche est terminé, la même succession d'opérations s'effectue avec l'ordre de droite.

Le pilote s'occupe en particulier de la succession des manœuvres à effectuer au moment de la mise en et hors service du calculateur.

La circulation d'un mot dans un circuit de nombre ou d'ordre dure 0,5 ms [1]. Les temps moyens d'opérations (recherche non comprise) sont les suivants :

Addition	5 ms
Multiplication	16 ms
Division	30 ms

Le temps moyen de « recherche », c'est-à-dire le temps de sélection d'un mot contenu dans la mémoire est de 5 ms.

7. La mémoire

Le tambour de la mémoire a un diamètre de 28 cm, une longueur de 50 cm et tourne avec une vitesse de 6000 t/min. Le long de la surface du tambour sont placés de petits électro-aimants ; chacun d'eux est susceptible

[1] 1 ms = 1 milliseconde = 10^{-3} s.
1 µs = 1 microseconde = 10^{-6} s.

de marquer puis de lire sur le tambour une trace dite « canal ». La largeur de l'un de ces canaux est de 2 mm. La densité des impulsions le long des canaux est de 4 par millimètre.

Les 4 impulsions d'un groupe élémentaire sont enregistrées sur 4 canaux voisins.

Sur le pourtour du tambour peuvent être enregistrés 200 mots qui sont combinés par groupe de 10, en sorte que chaque dixième impulsion appartient au même mot (Interlacing). Cela a pour conséquence que la fréquence des impulsions de la mémoire est 10 fois supérieure à celle de l'opérateur, à savoir 320 kHz. L'ensemble de la mémoire comprend 50 canaux décimaux. La commutation d'un électro-aimant à l'autre se produit électroniquement.

Pour marquer les valeurs 1 et 0, ces électro-aimants sont parcourus par des impulsions de courant de 1 µs qui se distinguent par leur polarité. L'intensité de ce courant est de 0,5 A pour 50 spires. La tension de lecture atteint (après le transformateur des impulsions) 0,2 V et est amplifiée ensuite jusqu'à 100 V avant d'être transmise à un flip-flop. Les amplificateurs pour le marquage et la lecture de ces impulsions ont été développés par nos soins et ont été très simplifiés par rapport à leur modèle américain.

Chacun des registres de régénération occupe un canal décimal. Le même dispositif que celui déjà décrit est utilisé dans ce cas, cependant sans « interlacing ». D'autres canaux contiennent les impulsions de référence qui synchronisent à la vitesse du tambour tous les dispositifs électroniques du calculateur ainsi que les adresses indiquant quelles sont les cellules qui momentanément sont soumises aux électro-aimants.

Les tubes et diodes de la mémoire sont du même type que ceux de l'opérateur et du pilote.

8. Montage de la partie électronique

Tous les éléments des circuits sont fixés dans des cadres en aluminium de dimensions normalisées. A l'intérieur de ces cadres sont placés les diodes, résistances et capacités ; dans leur partie supérieure sont montés éventuellement un ou deux tubes électroniques. Il existe en tout 20 types différents de ces cadres.

La partie électronique de l'ERMETH est enfermée dans 10 armoires de 257 cm de haut et 63 cm de large, et fermées devant et derrière par une porte. Dans la partie antérieure de ces armoires sont placés les dits cadres à raison au maximum de 192 par armoire. Ces cadres sont facilement interchangeables. La partie postérieure des armoires est réservée à la filerie à laquelle on peut ainsi aisément accéder.

Chaque armoire est munie d'un ventilateur qui aspire l'air chaud.

L'alimentation en énergie s'effectue par l'intermédiaire de redresseurs secs branchés sur une tension alternative de 380 V. La consommation totale d'énergie s'élève à 30 kW.

L'ensemble du calculateur comprend 1700 tubes électroniques et 7000 diodes.

La fabrication des cadres en aluminium et le montage de la filerie ont été confiés à la Société Hasler AG à Berne.

9. Entrée et sortie

L'ERMETH est pourvue de deux équipements à cartes perforées fournis par la Société Remington Rand. Ces deux équipements peuvent être utilisés à choix soit pour perforer soit pour lire les cartes. Le code « Powers » qui nécessite six trous par décimale a été utilisé ; ainsi, les cartes peuvent être également utilisées par les machines Powers d'un type usuel.

Ceci a pour conséquence que lors du passage dans la machine de l'échelon électronique à l'échelon relais, la transcription de chaque chiffre doit être transformée du code semi-binaire en code Powers ou vice-versa.

Chaque carte contient cinq mots. Ces équipements peuvent fonctionner chacun à la vitesse de deux cartes par seconde, ce qui fait en tout 20 mots à la seconde. Ces cartes sont perforées au moyen d'un dispositif électromécanique qui enregistre tout d'abord les nombres à placer et perfore la carte en une fois.

A la sortie du calculateur, les nombres peuvent également être soit inscrits au moyen d'une machine à écrire, soit conduits à une tabulatrice.

Il y a la possibilité de n'imprimer que quelques chiffres d'un mot, ainsi, par exemple, de laisser de côté tous les zéros inutiles. On peut également demander que seuls les cinq premiers chiffres d'un nombre soient imprimés, les virgules étant toujours disposées l'une au-dessous de l'autre, etc.

Dans ce but, une vingtaine de programmes particuliers sont installés de façon fixe ou flexible et peuvent être choisis à volonté au moyen de l'adresse de l'ordre d'imprimer.

La machine à écrire est capable d'effectuer dix frappes en une seconde et la tabulatrice enregistre deux mots par seconde.

L'ERMETH est dirigée depuis un pupitre de commande. Des lampes de signalisation indiquent son état de fonctionnement ainsi que les dérangements éventuels ; un dispositif permet d'introduire de nouveaux chiffres pendant le cours du calcul, ce qui peut être prévu dans le programme.

Il y a enfin la possibilité d'effectuer des ordres individuels pas à pas, comme avec une machine à calcul à main. Le contenu de tous les registres peut être lu au moyen de roues indicatrices.

La construction de la partie avec relais du calculateur a été confiée à la Société Ch. Gfeller AG à Berne.

10. La perforatrice

Les cartes sont préparées par une perforatrice qui travaille tout à fait indépendamment de l'ERMETH et qui peut être utilisée pendant que l'ERMETH fonctionne. Il faut procéder de la façon suivante :

Le mathématicien doit choisir la méthode numérique la plus adéquate pour la résolution du problème qui lui est posé. La tâche à exécuter est décomposée en un certain nombre d'opérations élémentaires dont la succession constitue le programme. Ce programme est percé sur des cartes par la perforatrice, ordre après ordre. On remplit alors avec cette série de cartes une partie de la mémoire, ce qui se réalise au moyen d'un petit programme spécialement conçu dans ce but. On prépare

ensuite une seconde série de cartes avec les valeurs numériques de constantes qui caractérisent le problème. Les indications de cette seconde série sont ensuite également transmises dans la mémoire et le calculateur est prêt à fonctionner.

Avec le temps, on se constituera une cartothèque des suites de cartes correspondant au programme des problèmes les plus typiques ; il suffira ensuite dans chaque cas particulier d'introduire les valeurs initiales caractéristiques.

La perforatrice peut également reproduire et comparer des cartes ou les traduire sur sa propre tabulatrice.

* * *

En concevant l'ERMETH, on s'est efforcé de développer une machine dont le service puisse être appris sans trop de difficultés par un personnel non spécialisé. Ce but a été réalisé en particulier par un choix judicieux du schéma des ordres, par un pupitre de commande très simple, et par la représentation des chiffres avec un exposant et une mantisse. Le non-mathématicien est ainsi libéré des difficultés d'interprétation du calcul avec virgule fixe.

Comparée à celle d'autres calculateurs, la rapidité de calcul de l'ERMETH entre dans la moyenne ; elle est parfaitement suffisante pour nos besoins. A titre d'indication, la résolution d'un système d'équations linéaires à dix inconnues nécessite moins d'une minute.

Une attention toute spéciale a été vouée à l'exécution de la partie du calculateur équipée de relais. La rapidité de fonctionnement de cette partie doit être dans un rapport raisonnable vis-à-vis de la rapidité du calcul de l'opérateur effectué par voie électronique.

L'exactitude de l'ERMETH, avec 11, voire 14 décimales, est très élevée, bien supérieure à celle que l'on peut obtenir avec les machines à calcul analogique les plus poussées.

11. Domaines d'utilisation de l'ERMETH

Les travaux accomplis par notre institut peuvent être classés dans les deux catégories principales suivantes :

a) problèmes posés par les milieux industriels ou par d'autres instituts de hautes écoles ;

b) recherches de principes sur les méthodes d'analyse numérique.

Parmi les travaux de la première catégorie, on peut citer les exemples caractéristiques suivants dont la plupart ont été déjà traités au moyen du calculateur à relais Z4 :

— détermination des sollicitations statiques d'ouvrages de génie civil (ponts, barrages, bâtiments), contrôle des normes en vigueur pour leur dimensionnement (le calcul des tensions mécaniques dans un barrage a conduit à la résolution d'une équation différentielle à dérivée partielle du quatrième ordre : $\Delta\Delta u = 0$. Ce problème a été résolu au moyen du calcul aux différences. Par une méthode de relaxation on a résolu un système de 139 équations à 139 inconnues. L'exécution de ce calcul au moyen du calculateur Z4 a nécessité plus de 100 heures. Ce même problème pourrait être traité avec l'ERMETH en une à deux heures) ;

— stabilité d'un servomécanisme. (L'étude d'un servomoteur pour la commande d'une fusée a conduit à la résolution d'un système de six équations différentielles du premier ordre) ;

— calcul des tensions et des déformations dans une plaque ayant la forme d'un parallélogramme (l'exemple calculé au moyen du calcul aux différences a conduit à la résolution d'un système de 106 équations linéaires avec 106 inconnues qu'on a traité par une méthode de relaxation) ;

— calcul des vibrations d'une locomotive à 4 essieux (système de 4 équations différentielles linéaires du deuxième ordre) ;

— calcul des vibrations d'ailes d'avion (ce problème tel que nous l'avons résolu a nécessité la détermination des valeurs propres de matrices complexes de 3 à 6 colonnes).

Enfin :

— détermination du nombre de tours critiques d'arbre de rotation,

— analyses harmoniques,

— problèmes balistiques (tables de tir),

— tabelles astronomiques, etc.

Il ne faut pas oublier que la construction d'un réacteur atomique nécessite des calculs numériques d'une très grande envergure, pratiquement irréalisables sans calculateur électronique.

12. Conclusion

Le développement des calculateurs électroniques qui a débuté il y a environ dix ans a pris aujourd'hui une grande ampleur et a une répercussion directe sur les méthodes de travail de l'ingénieur. Beaucoup de problèmes, qui ne pouvaient être abordés autrefois que par des essais sur modèle ou par des calculs rudimentaires très approximatifs, peuvent être traités aujourd'hui selon une méthode de calcul plus rigoureuse, méthode qui dans la grande majorité des cas est moins onéreuse qu'un essai sur modèle. (L'heure de calcul des grands calculateurs électroniques américains coûte environ 800 à 1000 francs suisses.)

D'autre part, les recherches dans le domaine des mathématiques appliquées ont reçu une nouvelle impulsion ; des méthodes de calcul numérique sont étudiées qui conduisent à un schéma de calcul adapté aux propriétés des calculateurs. Bien des procédés de calcul peuvent être envisagés aujourd'hui qui autrefois n'entraient pas en ligne de compte par suite de l'ampleur du travail qu'ils nécessitaient lorsque le calcul était effectué « à main ».

Des calculateurs électroniques de capacités restreintes ont été mis sur le marché à un prix abordable pour les entreprises privées. Le coût d'un calculateur américain du type de l'ERMETH est de 500 000 à 5 millions de francs suisses. Pour l'instant, les calculateurs de ce genre sont encore réservés aux instituts officiels de mathématiques appliquées, et il est à souhaiter qu'une fructueuse collaboration toujours plus étroite s'établisse entre ces instituts et les milieux de l'industrie.