CALCUL NUMÉRIQUE 1958

La grande presse qui nous raconte, parmi tant de choses, la relation d'Einstein $E = mc^2$, les mystères de la fusion et de la fission, nous a souvent dit que calculer le point d'impact d'un obus demandait aujourd'hui aux calculateurs moins de temps qu'à l'obus pour y arriver, que *tout*, désormais, pouvait être calculé, et vite. Elle nous a rapporté aussi qu'une machine valant plus d'un milliard de francs venait d'être acquise par un groupe de compagnies d'assurances françaises, c'est-à-dire, au fond, par nous, assurés et actionnaires. Nous voudrions comprendre et... pouvoir répondre honnêtement aux questions de nos élèves. Qu'est devenu le calcul numérique en 1958 ? Nous savons bien ce qu'il était, il y a trente ou cinquante ans : un ensemble de procédés utilisant plus ou moins des tables, des abaques, des règles à calculs, employés abondamment par les ingénieurs (avec des coefficients de sécurité convenables) et par les navigateurs. Ces gens, peu nombreux, inutiles en apparence, que sont les astronomes, usaient de procédés analogues, un peu plus raffinés (cf. 1).

D'un point de vue nécessairement modeste, je voudrais le dire succinctement, laissant à de plus compétents, qui le trouveraient opportun, le soin de préciser et compléter — ou contredire — mes affirmations. Je ne m'occuperai pas des questions, intéressantes pour nous professeurs, mais mineures tout de même, que posent l'enseignement du calcul numérique et la présence d'épreuves de calcul aux examens et concours. Avant tout, il ne faut pas oublier que le calcul numérique est une *technique,* non une science ; c'est, plus précisément, une partie des « mathématiques appliquées ». Il y a, bien sûr, des questions de calcul numérique dans certaines parties des mathématiques théoriques et ces questions ont joué un très grand rôle historique (définition et calcul de π ; résolution des équations algébriques ; construction des logarithmes ; théorie des fractions continues). Mais elles sont relativement peu nombreuses ; leur intérêt scientifique vient de ce que, le plus souvent, leur difficulté est un reflet des difficultés du problème théorique correspondant : le calcul numérique de la constante d'Euler est relativement pénible ; sa nature algébrique n'est pas connue non plus. Le calcul de deux racines voisines d'une équation algébrique est délicat ; or, à une légère variation des coefficients, correspondent d'importantes variations de ces racines, etc...

Mais le caractère de technique du calcul numérique me paraît avoir trois conséquences essentielles :

a) Il sera plus ou moins perfectionné selon son importance sociale. Trouver les frais d'envoi d'un mandat-poste, le prix du transport d'un wagon de savon de Marseille à Paris, la surtaxe progressive, en 1958, d'un veuf ayant deux enfants mineurs à charge, connaissant son revenu, demande un calcul facile, mais ce calcul est à faire souvent, rapidement, économiquement ; pour lui, des dispositions convenables (emploi de barèmes, de feuilles de calcul toutes prêtes...) valent la peine d'être prises.

b) Il sera plus ou moins perfectionné suivant la précision demandée : pour découvrir Neptune, Le Verrier a dû — c'est là son mérite essentiel — refaire et même inventer d'importants calculs théoriques ; il a dû faire une critique perspicace et constructive des observations antérieures sur le mouvement d'Uranus dont il disposait. Mais il a dû surtout pousser sa critique à l'extrême, *tirer de l'expérience tout ce qu'elle pouvait donner.* Il se trouvait dans une situation analogue à celle des constructeurs de voitures de course et bâtiments de marine de guerre dont l'optique est totalement différente de celle des constructeurs de voitures de série et de bateaux de pêche, mais finalement plus féconde pour l'avenir.

c) Enfin, et ce sera surtout sur ce point que je voudrais insister, le *matériel* dont on dispose pour résoudre des problèmes numériques a une importance fondamentale. Songeons à d'autres problèmes techniques, aux problèmes de transport, par exemple : si, de Rouen à Bordeaux, je dois envoyer un objet, bien des solutions sont possibles, qui dépendent évidemment de l'objet à transporter (moi-même, ou une lettre, ou un livre, ou mon mobilier), mais aussi du matériel dont je disposerai : avion, bateau, chemin de fer, voiture automobile. Les *délais* et *prix de revient* seront totalement différents.

En 1958, la demande de calculs — ceci à cause de la complexité des problèmes administratifs et sociaux, et aussi à cause de l'importance croissante des problèmes scientifiques — est beaucoup plus élevée qu'en 1908. Mais surtout il y a eu, dans les *matériels* de calcul, une véritable *révolution.* Il nous faut donc dire, au moins très sommairement, quel est ce matériel en 1958 :

1) Il comprend d'abord et avant tout, comme en 1908, comme du temps d'Archimède, la *mémoire humaine.* Elle retient la table d'addition, la table de multiplication, la règle des signes, quelques nombres remarquables (e, π, $\sqrt{2}$...), quelques dispositions d'opérations écrites ou exécutées avec des appareils simples (boulier). Si on y réfléchit, on verra que l'emploi d'autres appareils peut réduire considérablement le rôle de celle-ci (il y a longtemps que des écoliers indociles font leurs opérations avec la table de multiplication de la fin de leurs cahiers sous leurs yeux), mais qu'elle ne peut être totalement supprimée : on l'utilisera encore, et en 1960, et en l'an 2000...

2) Il comprend, et c'est l'outillage le plus simple, le moins coûteux, la mémoire humaine aidée d'un papier et d'un crayon. Il y aurait beaucoup à réfléchir sur le rôle de ces derniers ; ils servent à la fois pour inscrire, mettre en réserve, des nombres qui devront être repris dans la suite du calcul, avec leur signification, pour exécuter certaines opérations (multiplications, racines carrées...), pour retenir les calculs à faire (formules à appliquer) et même pour les établir. On trouve à peu près, dans cette liste grossière, les fonctions des diverses parties des machines à calculer les plus puissantes. Le lien entre les deux matériels : mémoire humaine et son auxiliaire, papier-crayon, serait intéressant à examiner aussi en détail : par exemple, si nous avions eu, dans notre enfance, notre mémoire plus exercée et si nous savions bien les tables de multi-

plication des nombres de 1 à 100, les tables d'addition de 1 à 10.000, nous organiserions autrement nos opérations. Et que dire de celles-ci, si nous utilisions encore exclusivement les chiffres romains ! ! !

3) La mémoire humaine est prolongée encore par d'autres documents : tables de fonctions (tables de logarithmes !), tables d'intégrales, formulaires (fonctions elliptiques), barèmes, plans de comptabilité ; documentation sur des calculs antérieurement exécutés... Pour reprendre notre affirmation du début de cette énumération, un calculateur qui aurait besoin, à 10^{-5} près, de l'intégrale définie $\int_0^{1,9432} e^{x^2} dx$, fera ce calcul bien différemment, suivant qu'il aura ou non une table précise de $f(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$, qu'il aura ou non une table de e^{-x}, qu'il aura ou non, dans son formulaire, des formules précises donnant $\int_0^b g(x)dx$, pour $g(x)$ dérivable plusieurs fois. S'il n'a aucune de ces tables, il fera un développement en série ; il en calculera les termes de manière entièrement manuelle, ou non, suivant les tables et les autres appareils dont il disposera.

4) Les *machines de bureau* (cf. 2, 3 et 7), dites aussi machines arithmétiques mécaniques ou électromécaniques, sont aujourd'hui si répandues (caisses des grands magasins) qu'il est inutile d'en décrire même le principe. C'est celui de la machine de Pascal, mais leurs roues peuvent tourner des millions de fois, sans usure appréciable...

Si nous laissons de côté quelques types d'additionneuses, *les plus simples* d'entre elles permettent de déduire d'un nombre entier *a* écrit sur la machine, en général à l'aide d'un clavier à touches, et en faisant un nombre de tours de manivelle égal à la somme des chiffres de l'entier *b* (séparés par des décalages), le produit *ab*, ou d'ajouter ce produit à un nombre déjà inscrit au totalisateur. Elles permettent la soustraction, la division, la racine carrée, par des manœuvres très analogues à celles que fait le calculateur à main.

A *l'autre extrémité de l'échelle* se trouvent des machines reposant sur le même principe (toujours celui de la machine de Pascal), mais dans lesquelles les tours de manivelle sont donnés, en nombre convenable, par un moteur électrique ; il déclenche aussi des mécanismes qui décalent opportunément le chariot ou remettent à zéro ; la machine fait automatiquement la division, et même, sur quelques types, l'extraction de la racine carrée, le tout à une vitesse telle que multiplications et divisions les plus longues demandent un temps du même ordre de grandeur et, en général, nettement plus petit que celui qui a été nécessaire pour écrire sur le clavier de la machine les nombres à traiter.

Mais *entre ces types* se trouvent un nombre considérable de types intermédiaires correspondant aux besoins divers des utilisateurs : pour certains l'économie, pour d'autres la robustesse, pour d'autres la rapidité, pour d'autres la capacité (c'est-à-dire le nombre maximum de chiffres des nombres traités...), sont la qualité essentielle. Parmi ces

machines, s'en trouvent d'imprimantes, fournissant non seulement le résultat du calcul, mais, imprimés sur une bande, les nombres donnés, et, si on le désire, des résultats intermédiaires. Elles sont particulièrement utilisées en statistique et en comptabilité.

Comment, en 1958, le calculateur muni de tels appareils organisera-t-il ses calculs ? Tout d'abord, à l'inverse de ce qui se passait il y a un siècle, il ne craindra plus les opérations élémentaires que sont la multiplication et la division. Si la fonction logarithme (et son inverse) n'a rien perdu, bien au contraire, de son intérêt en mathématiques appliquées, pour ce calculateur la table de logarithmes est un document, non un outil de calcul. C'est la raison pour laquelle, depuis une vingtaine d'années, les éditeurs de tous les pays ont publié des tables usuelles (à 5, ou 6, ou 7 décimales) des fonctions trigonométriques. D'autre part, le calculateur s'arrangera pour faire, sur sa machine, le moins possible de poses de nombres : ayant à calculer les n nombres $b_i = ka_i$, il n'écrira qu'une fois k et le multipliera successivement par $a_1, a_2, \ldots, a_n$.

Ayant à calculer $\sum_{i=1}^{n} a_i b_i$, il pourrait calculer $a_1 b_1$, le recopier sur une feuille de papier, remettre le totalisateur à zéro, calculer $a_2 b_2$, le noter, etc..., enfin ajouter ces produits partiels ; il préférera ajouter, sur la machine même, $a_2 b_2$ à $a_1 b_1$, en ne remettant pas le totalisateur à zéro après calcul de $a_1 b_1$, etc... Ce ne sont là que détails de manœuvre ; l'essentiel est que, devenu beaucoup plus rapide, le calculateur sur machine de bureau pourra envisager de faire, dans un temps raisonnable, des calculs qu'autrefois il se serait interdit même de commencer. Toutefois, un fait nouveau apparaît : le calculateur manœuvrera beaucoup plus de nombres ; son travail, simplifié, consistera à les écrire sur la machine ou à recopier sur son papier des nombres fournis par la machine. Gestes faciles, mais qu'on ne peut répéter continûment sans un instant de distraction et... une erreur. Déjà, le calculateur manuel pur devait s'astreindre à des vérifications (ordre de grandeur des résultats, vérifications arithmétiques par divisibilité...). Le calculateur sur machine de bureau devra s'y soumettre encore plus strictement. Il y a d'ailleurs des types de calculs qui se prêtent à des vérifications d'ensemble évitant de refaire, ou faire refaire, tout un calcul. Considérons, par exemple, le calcul des produits $b_i = ka_i$; on calculera au préalable $a_0 = \sum_{i=1}^{n} a_i$; en même temps que les b_i, on calculera, et de la même façon, $b_0 = ka_0$. En fin de calcul, on formera $\sum_{i=1}^{n} b_i$; on devra trouver b_0.

5) Depuis quelques années, — à cause de leur emploi par l'E.D.F. et le G.D.F. —, l'emploi des *cartes perforées* (cf. 4) est connu de tous. Elles permettent de faire automatiquement une très importante partie — et la plus fastidieuse — du travail de bureau et du calcul nécessaire à l'élaboration d'une facture. La carte perforée (dont le format, comme celui du trou, est standardisé) est, essentiellement, un document sus-

ceptible de porter 80 chiffres (de 0 à 9). Un lot de fiches étant donné, des machines assez rapides permettent de les *classer*, par exemple de grouper toutes celles telles que le nombre représenté par les trois chiffres des colonnes 10, 11, 12 soit 721, — ou par exemple, encore, de les classer par ordre de grandeur croissante du nombre formé par les chiffres des cinq premières colonnes. Une calculatrice électromécanique est une machine (toujours dérivée de la machine de Pascal), capable, par exemple, de lire le nombre formé par les quatre chiffres écrits dans les colonnes 36, 37, 38, 39, de lire le nombre formé par les quatre chiffres écrits dans les colonnes 14, 15, 16, 17, d'en faire la différence et d'inscrire le résultat sous forme de perforations dans les colonnes 41, 42, 43, 44. Au lieu d'une différence, ce peut être un produit ou une expression plus complexe, se déduisant par additions et multiplications des données inscrites déjà sous forme de perforations sur la carte. Enfin, une carte perforée peut commander une machine à écrire qui écrit en clair, sur elle, ou sur un autre document, les renseignements qu'elle porte. Elle peut être reproduite de manière entièrement automatique, donc sans risque d'erreur. Nous ne saurions mieux faire que de recommander à nos élèves de traduire les indications portées sur les factures d'électricité de leurs parents.

Utilisée surtout pour des travaux de comptabilité, la carte perforée a été, et est encore, très utilisée en calcul scientifique. Bien que les calculatrices soient des machines assez complexes, relativement lentes, elles ont l'avantage énorme de supprimer tout travail manuel de recopie, donc le risque considérable d'erreur qu'il comporte ; elles gardent trace aussi des calculs exécutés.

6) *Machines électroniques arithmétiques.* Ces machines sont d'un principe techniquement tout à fait différent de celui de la machine de Pascal. Dans cette dernière, un chiffre était représenté par la position, parmi 10 possibles (je néglige, pour simplifier, quelques variantes), d'une roue, un nombre entier de p chiffres par l'ensemble des positions de p roues. Or, les nombres de 1 à 10 ne sont guère représentés, dans la nature, que par ce moyen un peu artificiel, et par nos dix doigts. Par contre, il existe beaucoup d'appareils physiques et surtout électriques qui n'ont que *deux* états possibles : un interrupteur est ouvert ou fermé ; un matériau magnétique est aimanté dans un sens ou dans l'autre... Un nombre entier, *écrit dans le système binaire* avec q chiffres (si p est le nombre de chiffres avec lequel il s'écrit dans le système décimal, on a : $p \backsimeq 0{,}3\ q$; $q \backsimeq 3{,}3\ p$), peut donc être représenté par q appareils physiques de ce type. Mais, et c'est là le fait essentiel, l'effacer, c'est-à-dire écrire 0 0 0 ... 0 à sa place, le recopier, prendre son complément, lui ajouter un autre nombre représenté dans les mêmes conditions, ou le multiplier par lui, demandent des temps extrêmement courts, de l'ordre de 0,1 à 0,01 milliseconde. On conçoit que, dans ces conditions, les opérations deviennent singulièrement plus rapides qu'avec les représentations mécaniques des nombres. Non seulement, d'ailleurs, le travail est beaucoup plus rapide, mais il est beaucoup plus économique, en vertu d'un fait technique fondamental de notre époque : un bon contact, un tube sont plus sûrs et beaucoup plus vite faits qu'un boulon et son

écrou ; la mécanique de précision n'est pas appelée à disparaître, tant s'en faut, mais, pour certains de ses usages, elle est très avantageusement remplacée par l'électronique.

Bien sûr, les premières machines électroniques puissantes (1943) ont donné bien des difficultés (cf. 6), mais elles ont permis de voir ce qu'il y avait à chercher pour en faire de bonnes, et, aujourd'hui, le monde dispose de machines qui peuvent faire des travaux de calcul avec une rapidité extrême : j'ai vu une telle machine (l'ordinateur 704 de la C^ie I.B.M) calculer plusieurs centaines de décimales de $\pi = 4 \operatorname{Arctg} \frac{1}{5} - 16 \operatorname{Arctg} \frac{1}{239}$ en moins de dix minutes ; les décimales étaient imprimées au fur et à mesure de la fin du calcul, c'est-à-dire de la traduction de π écrit dans le système binaire en son écriture dans le système décimal. Ces machines ne sont plus, comme les machines de bureau, l'auxiliaire d'un homme, mais l'outil prodigieusement rapide et puissant dont peuvent disposer les chercheurs d'un pays ou d'un continent ; leur manœuvre demande d'ailleurs une bonne équipe de mathématiciens, d'ingénieurs et de « programmeurs ».

7) *Machines analogiques.* Les machines que nous venons d'évoquer opèrent sur des nombres entiers ; à ce titre, on les appelle machines arithmétiques, ou machines digitales. Elles sont, pour la représentation d'un nombre, et l'exécution d'une opération, d'une précision pratiquement illimitée. Il existe d'autres appareils, tels que la règle à calculs, fondés sur un tout autre principe : un nombre x à calculer dépend de nombres connus a, b, c : $x = f(a, b, c)$. Il suffit de trouver, si elle existe, une expérience physique dans laquelle x mesure une grandeur qui dépend des données de l'expérience mesurées précisément par a, b, c. Par exemple, $x = \frac{ab}{c}$ est calculable à l'aide d'un levier, ou d'un point de Wheastone ; x défini par $\frac{1}{x} = \frac{1}{a} - \frac{1}{b}$ à l'aide de lentilles simples. Ces appareils ont de très grands avantages : pour un problème déterminé dont l'analogue physique a été déterminé, ils sont très rapides et, surtout, il est possible de faire varier très facilement les données du problème, pour en voir les conséquences pour sa solution. Ils ont deux inconvénients : leur précision est limitée, d'une part, à la précision avec laquelle on peut physiquement représenter des nombres a, b, c, x ; d'autre part, une loi $x = f(a, b, c)$ ne peut pas toujours être représentée exactement par un phénomène physique. C'est ainsi qu'en aérodynamique, ils ont rendu des services considérables pour le tracé des lignes de courant et des lignes équipotentielles d'un fluide parfait à deux dimensions s'écoulant autour d'un obstacle, c'est-à-dire pour l'intégration de l'équation aux dérivées partielles de Laplace, avec conditions aux limites. Mais ils ont eu bien d'autres applications ; la combinaison des méthodes analogiques et des servomécanismes s'est révélée particulièrement féconde (travaux de M. Raymond).

Il faudrait conclure :

Il y aurait d'abord une conclusion erronée à tirer de ce prodigieux

accroissement de puissance de l'homme, c'est que *tout* problème de calcul peut être résolu ou le sera dans l'avenir, affirmation que j'attribuais, avec injustice peut-être, à un journaliste pressé. Je n'en crois rien ; je ne vois pas, par exemple (libre aux joueurs de me démentir), comment on pourrait faire une machine à bien jouer au bridge ; je ne vois surtout pas comment, malgré la capacité extraordinaire des mémoires des machines puissantes (l'une d'elles pourrait emmagasiner le Larousse en six volumes ; elle saurait en dicter à sa machine à écrire, à la vitesse de 32 pages à la minute, le contenu, à partir de n'importe quel mot donné, atteint d'une manière pratiquement instantanée), on pourrait représenter efficacement par ses valeurs en un nombre suffisant de points une fonction de quatre variables $\theta = \varphi(x, y, z, t)$: x, y, z sont les coordonnées d'un point de l'atmosphère à l'instant t ; θ est la température en ce point (ou la pression, ou une composante de la vitesse de l'air en ce point). Or, manœuvrer avec de telles fonctions serait indispensable pour intégrer numériquement les équations aux dérivées partielles qui règlent les phénomènes atmosphériques les plus simples et transformer la météorologie en une science exacte.

Parmi les problèmes d'une très grande importance sociale se trouve le problème de la traduction automatique. Il n'y a pas, à l'heure actuelle, de bonnes machines à traduire ; des linguistes affirment, un peu vite à mes yeux, qu'il n'en peut exister. Il y a évidemment lieu de préciser d'abord — et ce n'est pas le plus facile — le problème ; mais on peut penser qu'il mériterait des recherches très poussées de la part de philologues un peu mathématiciens et que la philologie gagnerait même à ces recherches. Disons, après ces deux exemples, et pour conclure sur ce point, que le calculateur d'aujourd'hui doit savoir quels sont les problèmes qu'avec le matériel dont il dispose, il peut résoudre.

Une autre conclusion erronée serait que, pour résoudre des problèmes numériques, il suffit de s'équiper de machines très puissantes ; c'est inexact ; en admettant qu'on sache les manœuvrer, cela dépend des problèmes : chacun sait que, pour aller de La Madeleine aux Galeries Lafayette, il vaut mieux avoir une 2 C.V. qu'une Ferrari et qu'on y va encore plus vite à pied. Actuellement, un ingénieur isolé est considérablement aidé par un bloc de papier quadrillé, une table de carrés, cubes, inverses, racines, une table de logarithmes et sa règle à calculs (le tout valant quelques milliers de francs à peine) ; pour certains travaux, il achètera une machine de bureau (20.000 à 300.000 F, s'il ne lui demande pas des performances coûteuses). Un bureau de calculs utilisera des machines de bureau plus poussées, une installation mécanographique éventuellement (qui pourra servir également à la comptabilité de l'entreprise), mais continuera à se servir aussi de la vieille règle à calculs et des tables ; peut-être, pour le genre de problèmes qu'il étudie, aura-t-il un appareillage analogique ; mais il continuera à en combiner l'emploi avec celui d'autres appareils. Si ce bureau rencontre, de temps à autre seulement, un calcul demandant beaucoup de temps, il le fera faire à façon par une machine très puissante, ce qui est alors la solution la plus économique.

Ces deux réserves faites, les machines modestes et puissantes de

1958 permettent de faire des calculs dans des conditions souvent insoupçonnées : résoudre un système linéaire de 10 équations à 10 inconnues est un problème facile, mais que, seuls, géodésiens et astronomes osaient aborder ; je n'en ai jamais résolu, entièrement à la main, de cette taille ; il y faudrait plusieurs jours certainement. Avec une machine de bureau, une bonne demi-journée suffit ; une machine électronique puissante le fait en moins d'une minute (le temps d'enregistrer les 110 données). Les machines permettent de résoudre des problèmes d'administration et de stratégie, insolubles autrefois, en fournissant presque instantanément, sur une population donnée, des renseignements statistiques extrêmement précis (cf. 8).

Les machines ont elles-mêmes posé des problèmes nouveaux (cf. 9) : en calcul analogique, la recherche des analogies les plus efficaces, c'est-à-dire pratiques et entraînant le minimum d'erreurs de principe (assimiler l'air à un fluide parfait, une cuve à un milieu illimité..., est-ce légitime ?). Comparaison des méthodes de résolution théorique de problèmes ; la machine étant « bête », c'est parfois la méthode la moins heureuse en calcul manuel qui lui convient le mieux (méthodes d'itération indéfiniment poussées). Problème des erreurs : de tout nombre, on doit convenir, pour des raisons évidentes, de ne garder que les p premiers chiffres significatifs ; l'erreur ainsi commise dans un produit ou un quotient se répercute tout au long du calcul et s'ajoute aux erreurs analogues dans les autres produits et quotients. C'est un problème bien connu en calcul manuel, mais, dans un calcul manuel usuel, on fait, au plus, une centaine d'opérations. Ici, la machine va en faire des millions ; le problème (encore mal étudié, je crois) s'exprime donc en termes tout à fait nouveaux.

J'ai dit que la machine était bête ; c'est une manière de parler, mais elle a obligé les constructeurs à retrouver des problèmes dont nous savons tout l'intérêt : décompositions des premiers mécanismes de calcul en mécanismes très élémentaires, emploi du système binaire ; représentations schématiques des circuits, algèbre de Boole.

Il reste donc que pour nous, professeurs d'un certain âge (disons, qui ont fini leurs études il y a plus de dix ans), le calcul numérique a pris un aspect différent de celui que nous avons pu connaître. A la vérité, je ne crois pas que cela puisse influer directement sur notre enseignement, ou si peu (ne parlons plus de rendre une expression « calculable par logarithmes », et encore c'est la locution qui est devenue malheureuse, la chose est restée fort intéressante !). Deux faits sont, me semble-t-il, certains : d'une part, l'appareillage plus puissant ou plus spécialisé ne supprimera pas l'apprentissage nécessaire que doit faire tout calculateur sur un matériel plus élémentaire : nous ne perdons pas le temps de nos élèves en les obligeant à poser leurs opérations, à mettre un chiffre dans chaque carreau, à écrire à hauteur convenable des barres de fractions, à écrire avec soin leurs calculs algébriques, en leur faisant résoudre graphiquement des systèmes de deux équations du premier degré à deux inconnues, en leur apprenant à se servir d'une table de logarithmes à 5 décimales, et surtout en leur donnant la manie de la vérification. S'ils peuvent disposer d'une machine à calculer, ils appren-

dront plus d'une machine entièrement mécanique, lente, dont ils utiliseront toutes les possibilités, que d'une machine rapide. D'autre part, dans le monde de demain, et d'un demain très proche, avant 10 ans, avant que nos élèves actuellement en 6e ne soient devenus ingénieurs, le calcul jouera un rôle extrêmement important, parmi les techniques scientifiques.

Bibliographie très sommaire

1. Taton. — *Histoire du calcul.* Collection « Que sais-je ? », n° 198, P.U.F., Paris, 1948 (180 F).
2. Couffignal. — *Les machines à calculer.* Gauthier-Villars, Paris, 1933.
3. Flad, Professeur de mathématiques, Coll. techn., Paris. — Conférences faites à l'Institut d'Astrophysique (hors commerce).
4. Favier et Thomelin. — *La mécanographie.* Editions de Montligeon, 2e éd. 1952.
5. Naslin. — *Principes des Calculatrices numériques automatiques.* Dunod, Paris, 1958 (980 F).
6. Peres, Brillouin, Couffignal. — *Les grandes machines mathématiques.* Editions de la Revue d'Optique, Paris, 1948.
7. Taton. — *Le calcul mécanique.* Collection « Que sais-je ? », n° 367, P.U.F., 1949.
8. Guilbaud. — *La Cybernétique.* Collection « Que sais-je ? », n° 638, P.U.F., Paris, 1954 (180 F).
9. Raymond. — *L'automatique des informations.* Masson, Paris, 1957.
10. Les machines à calculer et la pensée humaine. *Colloque international,* C.N.R.S., Paris, 1953.
11. Derwidué. — *Introduction à l'Algèbre supérieure et au Calcul numérique algébrique.* Masson, Paris, 1957 (6.000 F).

Documentation. — Les trois grandes sociétés qui, en France, construisent des machines et traitent des problèmes numériques sont :
La Compagnie des Machines Bull, 94, avenue Gambetta, Paris, 20e.
La Compagnie I.B.M. France, 1, place Vendôme, Paris, 1er.
La Société d'Electronique et d'Automatisme (S.E.A.) dirigée par M. Raymond, 138, bd de Verdun, à Courbevoie (Seine).

A la Sorbonne, M. Ville donne un enseignement (sanctionné par un certificat) de calcul automatique. A l'Institut Henri-Poincaré, il y a un laboratoire dirigé par M. de Possel qui travaille également à l'Institut Blaise-Pascal du C.N.R.S. (M. Couffignal). Le bureau de calcul de l'Institut d'Astrophysique, créé avant la guerre (pour les calculs de statistique stellaire) par M. Mineur, aujourd'hui décédé, n'est équipé que de machines de bureau ; mais c'est peut-être le laboratoire où ont été traités les problèmes les plus variés et où les méthodes ont été le plus minutieusement comparées. La Faculté des Sciences de Grenoble (M. Kuntzmann) dispose d'un équipement mécanographique électronique moderne.

A ceux d'entre nous qui désireraient suivre, au moins de loin, cette évolution, j'indique l'existence d'une association qui, groupant des chercheurs, universitaires, ingénieurs, constructeurs, a déjà contribué grandement à la diffusion du calcul numérique en France. Comme toute association qui se respecte, elle a un nom « Association française de calcul », un siège social (Institut d'Astrophysique, 98 *bis*, bd Arago, Paris, 14e), un président (je ne sais plus si c'est M. Peres, doyen de la Faculté, ou M. Danjon, directeur de l'Observatoire, mais leurs personnalités et leurs participations effectives aux travaux de l'Association montrent bien l'intérêt de celle-ci), un C.C. postal (Paris 15.664.12) pour percevoir la cotisation annuelle (2.000 francs), enfin depuis un an une revue « Chiffres ».

André Magnier,
(*Louis-le-Grand*).