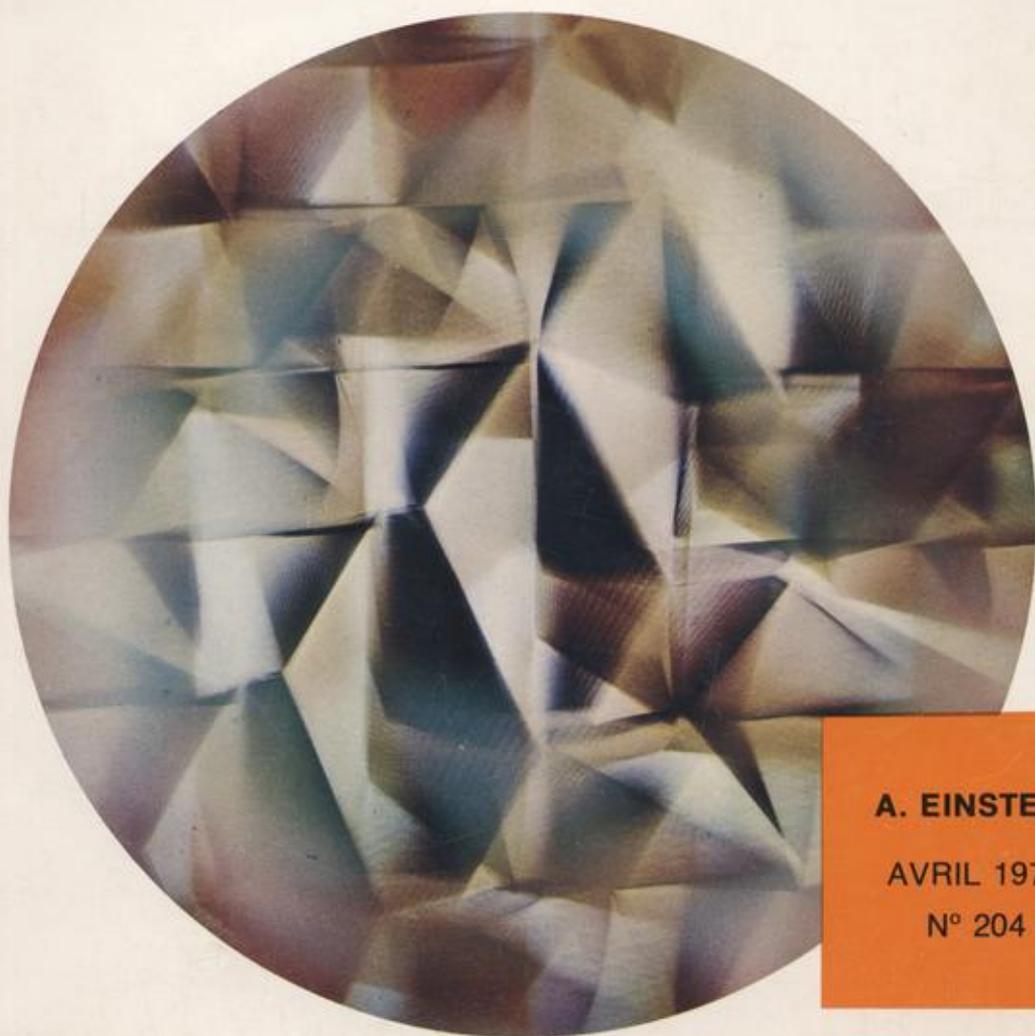


la pensée

• UNE ETAPE NOUVELLE DE LA PHYSIQUE MICROSCOPIQUE RELATIVIS-
TE, **Gilles COHEN-TANNOUJJI** • SUR LE REALISME D'ALBERT EINSTEIN, **Michel
PATY** • POUR UNE HISTOIRE DU MOUVEMENT OUVRIER DANS LE MONDE
ARABE, **Jacques COULAND** • SUR LE STATUT DES LOIS PHYSIQUES, **Eftichios
BITSAKIS** • AUX SOURCES DU MODELE SCIENTIFIQUE AMERICAIN (III), **Ro-
ger GODEMENT** • A PROPOS DE LA MUSIQUE FRANÇAISE ENTRE BERLIOZ
ET DEBUSSY (1863-1894), **Frédéric ROBERT**.

REVUE DU RATIONALISME MODERNE

sciences arts philosophie



A. EINSTEIN

AVRIL 1979

N° 204

AUX SOURCES DU MODELE SCIENTIFIQUE AMERICAIN (III)*

par Roger GODEMENT

LE CAS DES MATHEMATIQUES

NOUS avons vu précédemment qu'à part l'électrical engineering et quelques autres branches de l'ingénierie, les mathématiques étaient le secteur le plus militarisé de la recherche scientifique, tout au moins par l'importance relative du financement D.O.D. Il sera peut-être utile de dire ici quelques mots de ce secteur qui, sous certains rapports, fait la jonction entre l'électronique que nous venons d'étudier et l'informatique que nous allons examiner.

Tout le monde peut instantanément comprendre les raisons qu'ont les militaires de s'intéresser à la physique nucléaire, à l'océanographie ou à l'électrical engineering. Par contre, on ne peut pas tuer, ni d'ailleurs faire vivre, quelqu'un à l'aide d'un théorème (non plus du reste qu'à l'aide d'un système de guidage de missile : il y faut en outre un explosif, comme nous l'a expliqué un jour un éminent spécialiste du sujet). Par ailleurs, nombre de mathématiciens n'ont avec le Pentagone que des relations financières : les contrats de recherche arrondissent les traitements universitaires américains, les subventions de l'Air Force, de la Navy ou de l'O.T.A.N. finançant les voyages de ceux, américains ou non, qui participent aux rencontres internationales (dont le Pentagone avait financé, totalement ou en partie, environ le quart avant 1971 d'après un recensement effectué à l'époque par des étudiants d'Utrecht).

(*) Voir les deux premières parties de cette étude in *La Pensée* n° 201, octobre 1978, 203, février 1979.

L'existence de ce financement militaire apparemment gratuit étant évidente pour tous les intéressés (encore que la quasi-totalité d'entre eux n'aient jamais fait l'effort, élémentaire, de consulter les statistiques disponibles),¹ il s'est développé dans une partie de la profession une rationalisation de la situation fondée sur la théorie que les mathématiciens font croire aux militaires que leurs travaux leur sont indispensables, qu'il n'en est rien, et que les crédits militaires attribués à nos chères études sont, en quelque sorte, détournés à des fins hautement culturelles, voire même humanitaires, et perdus pour l'armement. On ne peut naturellement fournir au lecteur aucune référence à la littérature du sujet, entièrement orale et ne dépassant pas le niveau de la conversation de cafeteria.²

Le tableau ci-dessous nous montre, malheureusement pour la théorie en question, qu'en vingt ans le Pentagone a consacré à la recherche mathématique largement plus d'un milliard de dollars courants :³

	1958	1962	1965	1968	1971	1974	1977
Total	40,4	68,9	104,5	119,3	121,7	127,4	176,3
D.O.D. . .	36,4	38,5	71,5	79,2	66,0	70,2	76,2
N.S.F. . .	1,4	7,3	12,3	18,6	26,5	23,7	42,3
N.A.S.A.	0	17,2	7,2	3,7	1,5	1,9	25,9
H.E.W. . .	0,03	0,1	4,2	5,3	15,7	20,2	8,4
A.E.C. . .	1,9	4,1	5,6	5,8	5,3	5,6	9,9

1) Le financement fédéral de la recherche de base et appliquée en mathématiques et informatique théorique (computer science) (millions de dollars courants)

(E.R.D.A.
+ E.P.A.)

Il s'agit, certes, de recherche totale (pas uniquement universitaire ni uniquement de base) et l'informatique théorique est certes comprise dans le tableau en question, les deux domaines n'étant séparés dans les données de la N.S.F. que depuis très peu de temps. Pour la *recherche de base universitaire* en 1976, les mathématiques avaient reçu 27 millions (dont 7,8 du Department of Defense) et la « computer science » 18,7 (dont 5,5). Pour la *recherche totale* en 1979, on prévoit 112 millions (dont 29) et 104 (dont 59) dans ces deux domaines.

L'idée que, depuis si longtemps — le processus commence dès 1946 avec l'Office of Naval Research, qui consacrait 2,1 millions aux mathématiques en 1947 —,⁴ le Pentagone aurait pu se laisser gruger à ce point par les mathé-

1. Le bulletin d'information (Notices) de l'*American Mathematical Society* publie chaque année les crédits de recherche émanant de la N.S.F., mais oublie ceux qui proviennent des autres agences. Les publications de la N.S.F. que nous utilisons n'entrent naturellement pas dans les bibliothèques de mathématiques, et les mathématiciens « purs » n'en fréquentent naturellement pas d'autres.

2. Dans un portrait de Noam Chomsky paru dans *The New Yorker* (15 décembre 1971), Ved Mehta attribue au célèbre linguiste (dont le Pentagone a longtemps fourni la moitié environ du salaire par l'intermédiaire du M.I.T.) la théorie selon laquelle « le Pentagone est une organisation vaste et complexe » et que « son bras droit ne sait pas ce que fait son bras gauche », le financement militaire de la recherche étant, selon lui, justifié par le fait que le Congrès et le public américain n'étaient pas, après la guerre, suffisamment éclairés pour la soutenir. Outre que cette théorie suppose une curieuse conception de la démocratie, certes courante dans le milieu scientifique, elle n'explique pas pourquoi le Congrès acceptait de financer la recherche par l'intermédiaire du Pentagone plutôt que par celui du Department of Agriculture !

3. Les données du tableau 1 rassemblent en les simplifiant les chiffres fournis par la N.S.F. dans sa série des *Federal Funds for Research and Development*, publiée chaque année. On y trouve des données plus précises sur la recherche de base et la recherche appliquée.

4. Voir le rapport officiel de John R. Steelman ; *Science and Public Policy* (U.S.G.P.O., 1947), vol. 2, p. 56. Le montant total des contrats de recherche de l'O.N.R. s'élevait en 1947 à 21,7 millions.

maticiens (mais non par les médecins, sans doute plus stupides que les mathématiciens) est proprement délirante et la réalité est plus simple.

En 1971, le Pentagone employait 81 % des 2.800 mathématiciens et statisticiens employés par le gouvernement, 67 % des ingénieurs, 41 % des physiciens et 10 % des biologistes et médecins. Même bornés, les militaires disposent de conseillers civils qui le sont moins : R. Bellman, R. Courant, F. John, M. Kac, Th. von Karman, J. von Neumann, J. Tuckey, S. Ulam, F.J. Weyl, etc. Outre le rôle de plus en plus crucial que les mathématiques (classiques ou « modernes ») jouent en physique, les laboratoires industriels utilisent maintenant nombre d'ingénieurs ou scientifiques de R.D. ayant reçu une formation principalement mathématique ; en 1970, on en trouvait 876 (dont 166 docteurs) chez AT & T, 170 chez Boeing, 239 chez McDonnell Douglas, 147 chez Raytheon, 68 chez Sperry Rand, 287 chez TRW, 137 chez Westinghouse. ⁵ La priorité bien connue dont les mathématiques jouissent dans les universités soviétiques n'est peut-être pas due non plus à des préférences esthétiques.

L'enquête du Battelle Institute mentionnée [63] dans la seconde partie, énumérant les domaines scientifiques sur lesquels repose l'électronique, éprouve le besoin d'explicitier (p. 36) les secteurs dans lesquels interviennent les mathématiques : contrôle et commande, guidage, surveillance et détection, communications, contrôle des processus, navigation, traitement des données, télémétrie. Les techniques mathématiques qui interviennent dans ces problèmes (analyse harmonique, processus stochastiques, théorie de l'information, équations différentielles et même théorie des corps finis pour le codage des signaux) reposent sur un énorme bloc d'analyse mathématique dont il est impossible de les séparer et occupent une très appréciable partie de la profession. Il est clair que les mathématiques jouent aussi un rôle crucial en aéronautique et dans le nucléaire, qu'il s'agisse de calculer un profil d'aile, de simuler sur ordinateur l'explosion d'une arme ou de contrôler un réacteur. En informatique, la structure des machines repose nécessairement sur une analyse logique détaillée des calculs, et de plus ce sont des mathématiciens qui élaborent les méthodes d'analyse numérique dont les autres corporations ont besoin pour résoudre leurs équations. Dans la France actuelle, le cas d'un mathématicien comme J.-L. Lions, qui expose les théories les plus avancées au Collège de France, dirige au C.N.R.S. et à l'I.R.I.A. les meilleures équipes de recherche du pays, fait l'éducation des Polytechniciens en analyse numérique et donne des petits cours sur la théorie du contrôle au *Naval Surface Weapons Laboratory* américain ⁶ montre assez bien le fonctionnement du système.

5. Pour l'emploi dans les services gouvernementaux, voir *National Patterns of R & D Resources* (NSF 73-302), p. 17. Sur les laboratoires industriels, voir *Industrial Research Laboratories in the United States* (Bowker, 1970). A propos des conseillers, on peut noter que dans *The Mathematical Sciences: A Report* (National Acad. of Sciences, Washington, 1968), pp. 20-21, on recommande que les « mission-oriented agencies » (dans l'ordre : D.O.D., A.E.C., N.A.S.A., N.I.H.) continuent à financer la recherche mathématique dans les domaines les plus utiles à l'accomplissement de leurs « missions » et établissent des plans en vue de soumettre leurs problèmes scientifiques non résolus à l'attention de la « communauté » mathématique. La rédaction de ce rapport, en pleine guerre du Vietnam, fut dirigée par Lipman Bers, aujourd'hui le principal militant américain pour la défense des droits de l'homme et du mathématicien.

6. Voir les « tutorial lectures » de M. Lions dans *Control Theory of Systems Governed by Partial Differential Equations* (Academic Press, 1977), comptes rendus d'une réunion organisée par un spécialiste de mécanique des fluides de l'université de Maryland, un membre du laboratoire mentionné dans le texte et un membre du Draper Laboratory du M.I.T. spécialisé dans le guidage des missiles. Le texte n'explique évidemment pas pourquoi la « Control Theory... » intéresse le Naval Surface Weapons Lab. ni ce qu'on y fait.

LA NAISSANCE DE L'INDUSTRIE INFORMATIQUE

Dans ce domaine comme dans les autres industries de pointe, l'influence américaine est écrasante depuis la seconde guerre mondiale au moins, et comme dans le cas de l'électronique elle émane de deux pôles entre lesquels se développent les activités de recherche et d'innovation, les universités y contribuant fortement aussi, pour la partie théorique tout au moins (analyse numérique par exemple). Le premier pôle est constitué par l'industrie, i.e. en premier lieu par la maison I.B.M. qui contrôle depuis fort longtemps les deux tiers du marché occidental et ne demanderait apparemment pas mieux que de s'emparer du marché socialiste si le contrôle que le Pentagone exerce sur les exportations de haute technologie ne le lui interdisait encore ; ⁷ à I.B.M. s'ajoutent, loin derrière, la Sperry Rand, Control Data, Honeywell, etc. Le second pôle n'est autre naturellement que le Pentagone, un peu aidé par l'A.E.C. et la N.A.S.A. ; il a suscité et financé l'essentiel du développement des grands ordinateurs électroniques scientifiques du début (1943) à 1960 environ, date à laquelle apparaît la « seconde génération », transistorisée, d'ordinateurs I.B.M. et à partir de laquelle se constitue vraiment le marché civil. Il ne s'ensuit du reste pas que le rôle du Pentagone devienne négligeable après cette date. En tant qu'acheteur et utilisateur d'ordinateurs « universels », qu'il s'agisse de calcul scientifique, de statistique, de gestion des stocks, de banques de données, le Pentagone a toujours été et reste le client numéro un de l'industrie informatique, un client du même ordre de grandeur qu'une nation telle que la France, l'Allemagne ou la Grande-Bretagne, mais dont les services informatiques sont beaucoup moins dispersés que ceux d'une nation et qui peut, par suite, exercer sur l'industrie une influence particulièrement puissante. ⁸ A ces ordinateurs universels s'ajoutent les milliers (douze mille dès 1965) ⁹ d'ordinateurs « spéciaux » plus ou moins importants intégrés aux systèmes d'armes de toutes sortes de l'arsenal américain. Enfin, le Pentagone (et particulièrement l'*Advanced Research Projects Agency*, A.R.P.A.) continue à susciter et à financer les opérations de R.D. les plus audacieuses et les plus coûteuses, le développement des techniques de base de la « télématique » de MM. Nora et Minc lui étant essentiellement dû.

L'AVANT GUERRE ET LES DEBUTS D'I.B.M.

La préhistoire de l'informatique voit d'abord le développement des bouliers ou abaqués de l'Antiquité classique et de l'Extrême-Orient (en 1946, les experts japonais du soroban battent de vitesse les calculatrices mécaniques de bureau occidentales), puis l'invention des tables de logarithmes vers 1600

7. Voir à ce sujet les lamentations de William C. Norris, président de Control Data, dans *Datamation* (janvier 1978) : « Les exportations de haute technologie vers les Communistes soulèvent à la base la question des emplois contre les risques militaires ».

8. Voir James A. Ward (des services de recherche du Pentagone), *The impact of computers on the government* dans la *Conference on Computers and Society* (A.F.I.P.S., 1965), pp. 37-44. L'importance militaire des ordinateurs est mise en évidence à l'intention des politologues dans l'article de Stefan T. Possony, *The Real Revolution in Warfare: The Computer Impact* (Orbis, 1974, pp. 851-862). Voir aussi *Ecarts technologiques. Calculateurs électroniques* (O.C.D.E., 1969), pp. 140-152.

9. Ward, op. cit., p. 40. Ces ordinateurs spéciaux sont souvent fabriqués par les entreprises de l'armement plutôt que par l'industrie informatique que l'on connaît ; les principaux fournisseurs étaient, selon Ward, Hughes Aircraft, North American Aviation, et Raytheon.

par le baron écossais Napier (vingt ans de travail...), puis celle de la règle à calcul vers 1620 par l'anglais Oughtred qui s'inspire des idées de Napier et construit une machine « analogique » très simple pour éviter les calculs « digitaux » du féroce anti-papiste, puis la machine de Pascal qui, grâce à un jeu très simple d'engrenages, permet d'effectuer des additions et soustractions, et enfin celle de Leibniz qui, munie de pignons cylindriques à dix dents de longueurs inégales, permet en outre les multiplications et divisions. Elle apparaît vers 1670, mais il faudra attendre deux siècles pour que les progrès de la mécanique de précision en permettent une fabrication industrielle, qui conduira aux calculatrices mécaniques de bureau très répandues dans les laboratoires, l'industrie et même la finance avant la Seconde Guerre mondiale. Elles permettent d'effectuer en quelques secondes des multiplications déjà imposantes, mais chaque opération doit naturellement être commandée par l'opérateur.

Dès 1820, le mathématicien anglais Charles Babbage, inspiré par les métiers à tisser de Jacquard, avait conçu l'idée d'utiliser des jeux de cartes perforées pour diriger automatiquement les opérations d'une machine à calculer et, de la sorte, lui faire résoudre des problèmes nécessitant des suites plus ou moins longues d'opérations arithmétiques soumises à une programmation logique rigoureuse. Babbage imagina d'abord un *Difference Engine* qui tabulerait automatiquement des fonctions polynomiales (dont le calcul, par la « méthode des différences » bien connue, ou qui devrait l'être, des étudiants de première année, se ramène à des séries d'additions) puis, avant même d'avoir pu construire un prototype de son engin, un *Analytical Engine*, machine « universelle » opérant sur des nombres de cinquante chiffres (!) et qui l'obligea à inventer quelques-unes des idées de base de l'informatique moderne. Mais la technique n'était évidemment pas disponible, et Babbage mourut sans avoir pu construire quoi que ce soit de valable après cinquante ans d'écarts et d'illusions.

Le pas suivant nous fait entrer dans le vif du sujet. Il est accompli aux environs de 1880 par un jeune ingénieur, Herman Hollerith, employé par (ou travaillant pour) les services de recensement américain ; des centaines d'employés y collationnaient alors péniblement, à la main, pendant des années de travail, les données statistiques les plus simples portant sur une population déjà importante (soixante millions d'habitants). Le chef du bureau, qui fondera par la suite la *New York Public Library* avec environ soixante-dix ans d'avance sur le regretté Pompidou (ce qui explique pourquoi elle dispose maintenant de dix millions de volumes, contre cinq cents mille à Beaubourg — on ne peut pas avoir à la fois Molière et des bibliothèques, il faut choisir)¹⁰ suggère un jour à Hollerith l'idée de mécaniser les opérations en utilisant des cartes perforées à la Jacquard. Comme beaucoup de données statistiques sont du type binaire (oui-non), Hollerith a l'idée d'utiliser les perforations des cartes pour ouvrir ou fermer un courant électrique qui, à son tour, com-

10. En 1977, les 50 premières universités américaines possédaient entre 1,37 (U. du Colorado) et 9,38 (Harvard) millions de livres, et avaient acheté dans l'année entre 54.000 et 211.000 livres. Les B.U. américaines possédaient en moyenne 41 livres pour chacun des 11,7 millions d'étudiants inscrits, ce qui supposerait 1,5 million de volumes à Jussieu ; les dépenses totales représentaient 107 dollars par étudiant. Pour la lecture publique (1.158 millions de dollars en 1974), les dépenses par habitant étaient huit fois plus élevées aux U.S.A. qu'en France avant 1970. Un rapport parlementaire récent notait que le British Museum dépense six fois plus que la Bibliothèque Nationale en achats de livres.

mande des ouvertures dans lesquelles tombent les cartes, ainsi classées en fonction des données qu'elles contiennent. Hollerith reçoit en 1889 la propriété de son brevet en dépit du fait que ses recherches avaient été financées par le gouvernement, démontre l'utilité de ses machines à l'occasion du recensement de 1890 et fonde en 1896 sa propre compagnie, conformément à une tradition américaine que les dirigeants français semblent vouloir nous présenter aujourd'hui comme la pointe extrême du progrès en matière de passage de la recherche à l'innovation commerciale.

Les affaires d'Hollerith marchent d'abord fort bien, mais comme il tente, pour les faire marcher encore mieux, d'obliger le Bureau of Census à louer ses machines au lieu de les acheter, celui-ci se lance dans un effort de recherche sérieux qui lui permet d'apporter aux machines d'Hollerith des perfectionnements substantiels dont l'auteur, à son tour, fonde en 1911 une compagnie concurrente. (Elle sera absorbée en 1927 par Remington Rand). Hollerith est forcé de fusionner avec deux autres entreprises, et la *Computing, Tabulating and Recording Company* (C.T.R.) ainsi formée, qui fabrique des horloges, des balances et les machines d'Hollerith confie en 1914 son poste de directeur général à un certain Thomas J. Watson, ancien directeur commercial de la *National Cash Register*. Ayant pris le contrôle du marché des caisses enregistreuses par les méthodes les plus contestables, celle-ci avait dû affronter en 1912 une enquête anti-trust risquant de valoir la prison à ses principaux dirigeants, Watson inclusivement. Ils y échappèrent grâce aux trésors de philanthropie qu'ils surent déployer, en 1913, à l'occasion d'inondations à Dayton et en prétendant ne pas être au courant des faits et gestes de subordonnés agissant de leur propre initiative.¹¹

Nommé président de la C.T.R. en 1915, Watson quadruple ses ventes pendant la guerre, commence aussitôt après à acheter ou à installer des succursales au Canada et en Europe et, en 1924, change l'intitulé de la maison pour celui qui nous est aujourd'hui familier : I.B.M. Le chiffre d'affaires passe de 4 millions en 1914 à 18 en 1929 et 41 en 1939, année où l'on réalise un bénéfice brut de 30 %, conformément aux enseignements du fondateur de la N.C.R., qui a fait l'éducation de Watson. C'est à lui aussi qu'il emprunte

l'idée d'une force de travail aux cheveux courts, propre, sobremenent habillée, disciplinée et enrégimentée, traitée avec le soin qu'un gentleman apporte à son chien, à son cheval ou à son fusil, une force de travail dans laquelle chaque homme connaît sa place et son devoir, un devoir soigneusement et clairement défini et circonscrit,

pour nous exprimer comme l'une de nos sources.¹² Naturellement les machines d'Hollerith sont grandement perfectionnées pendant toute cette période, et en particulier munies d'imprimantes à la sortie, ce qui, apparemment, permet à I.B.M. de mettre sur le marché en 1935 les premières machines à écri-

11. Pour le rôle du Bureau of Census, voir Herman H. Goldstine, *The Computer from Pascal to von Neumann* (Princeton U.P., 1972), chap. 8, que nous citerons fréquemment mais qui, écrit par un membre de l'équipe d'I.B.M., laisse naturellement de côté les aspects commerciaux un peu osés de ces affaires ; ceux-ci font l'objet du livre de Rex Malik, *And Tomorrow... The World ? Inside IBM* (Millington, Londres, 1975) où l'on trouve une quantité massive d'informations (sans références aux sources) sur la politique d'I.B.M. depuis la guerre et surtout récemment. Il y a aussi la biographie « autorisée » écrite par T.G. et M.R. Belden, *The Lengthening Shadow, The Life of Thomas J. Watson* (Little Brown, 1962), ainsi que le livre de William Rodgers, *Think* (traduction française : *L'Empire I.B.M.*, Laffont, 1970).

12. Malik, p. 43.

re électriques de bureau à peu près fiables. A la veille de la guerre, la maison produit l'immense majorité des machines électromécaniques à cartes perforées utilisées dans les applications statistiques et commerciales.

Elles ne sont pas encore capables d'effectuer automatiquement des multiplications, et en fait il faudra attendre la guerre pour qu'I.B.M. se décide, en 1943, à modifier une quinzaine de ses machines pour les adapter aux besoins des services de balistique ou du Manhattan Project. Toutefois, elles peuvent servir à établir (par la méthode des différences) des tables numériques de type courant en astronomie, les tables de la Lune par exemple. Des astronomes s'en servent à cet effet en Angleterre après 1928, et en 1933 Watson installe à l'université Columbia, à New York, un *Thomas J. Watson Astronomical Computing Bureau* dirigé par l'astronome Wallace J. Eckert.

En 1937, un jeune physicien de Harvard, Howard H. Aiken, s'allie à Eckert pour proposer à I.B.M. de construire une grande machine électromécanique « universelle », qui permettrait de calculer des fonctions mathématiques par des méthodes fort ingénieuses, mais que le développement des ordinateurs électroniques allait rendre périmées aussitôt qu'elles furent mises au point : instructions fournies à la machine par une bande de papier perforée, transmises aux organes arithmétiques par des relais téléphoniques actionnant des roues pouvant prendre dix positions, etc. La machine d'Aiken fut effectivement construite à Harvard entre 1939 et 1944 avec le concours d'une équipe d'ingénieurs prêtée par I.B.M. ; mais elle fonctionnait en « millisecondes » alors que des ordinateurs entièrement électroniques opérant en « microsecondes » étaient en route. Des modèles plus rapides, en partie électroniques, furent ensuite construits après 1945 pour l'Air Force et la Navy (Mark II, III et IV), après quoi la lignée s'éteint. On voit aussi à la même époque — à partir de 1937 — une équipe des Bell Telephone Labs utiliser des centaines ou milliers de relais téléphoniques pour construire quelques prototypes fondés sur des principes différents, dont un *Ballistic Computer* et une grande machine « universelle » ; mais ici encore le recours à des composants électro-mécaniques interdit les grandes vitesses de fonctionnement.

Notons du reste qu'avant la guerre les vrais calculs scientifiques, encore rares, étaient confiés non à des machines « digitales » encore inexistantes, mais plutôt à des machines « analogiques » qui se bornent, pour effectuer un calcul mathématique, à mesurer physiquement (au lieu de compter numériquement) les variations d'une sorte de modèle mécanique ou électrique des équations à résoudre. Les machines les plus perfectionnées sont construites à partir de 1925 par Vannevar Bush, membre du département d'électrical engineering du M.I.T. et futur chef de la recherche militaire américaine pendant la guerre. (Le principal spécialiste français des calculs analogiques après la guerre, Lucien Malavard, sera placé à la tête de la recherche militaire française à la création de la D.R.M.E. en 1958 ; curieuses analogies). Bush s'intéressait d'abord aux calculs de circuits électriques, mais quelques exemplaires de sa machine furent construits ailleurs, notamment à la Moore School of Engineering de l'université de Pennsylvanie, à Philadelphie, où l'on construira le premier ordinateur électronique entre 1943 et 1946, et au labo-

ratoire de recherches balistiques de l'Army à Aberdeen qui réquisitionnera l'équipe et la machine de la Moore School à l'ouverture des hostilités.¹³

ABERDEEN ET L'E.N.I.A.C.

Les relations existant entre l'artillerie et les mathématiques ont généralement la vertu de provoquer chez les mathématiciens purs des relations de mépris et d'hilarité justifiées, pensent-ils, par le minable niveau intellectuel des artilleurs, et qui présentent en outre l'inestimable avantage psychologique de placer les mathématiciens à cent millions de coudées au-dessus de ces basses besognes ;¹⁴ mais on devrait quand même y regarder de plus près, notamment lorsque l'artilleur s'appelle, comme on le verra, von Neumann.

Fondé en 1935 et baptisé en 1938, le *Ballistic Research Laboratory* (B.R.L.) va jouer un rôle fondamental dans le développement des premiers ordinateurs.¹⁵ Dirigé par deux civils et par trois officiers sortis du M.I.T., il comprenait un « chief scientist », Oswald Veblen, assisté d'un comité scientifique des plus relevés. Veblen lui-même, qui avait dirigé les services de balistique en 1917, était un mathématicien fort connu (c'est l'un des fondateurs de la géométrie différentielle moderne) et, au surplus, le directeur et l'un des principaux initiateurs du célèbre *Institute for Advanced Study* de Princeton, qui commença à fonctionner en 1933 avec une équipe réduite de gens très distingués (Einstein, Hermann Weyl, John von Neumann, Marston Morse, etc.). Le conseil scientifique du B.R.L. comprenait l'aérodynamicien Hugh L. Dryden (futur directeur de la N.A.C.A. et l'un des artisans de la création de la N.A.S.A.), son collègue Theodor von Karman, hongrois venu d'Allemagne en 1930 pour diriger la recherche aéronautique au California Institute of Technology et qui présidera après 1945 le conseil scientifique de l'Air Force,¹⁶ un astronome, un spécialiste des tubes électroniques et un physico-chimiste spécialiste des problèmes de combustion ayant eu l'honneur, à la fin de la première guerre, de donner son nom à un gaz asphyxiant particulièrement réussi, la lewisite ; on y trouvait aussi les deux physiciens de Columbia que nous avons déjà rencontrés dans la première partie de ce travail, Harold Urey et Isidor Rabi. Enfin les mathématiques proprement dites y étaient représentées par Veblen et surtout par von Neumann, mathématicien hongrois de génie arrivé à Princeton en 1930 avec Wigner, spécialiste de logique, d'espaces de Hilbert et de mécanique quantique, qui avait reçu dans sa jeunesse à Zürich une formation d'ingénieur chimiste et qui, à cette époque, commençait à s'intéresser sérieusement à des problèmes « appliqués ». La W.W. II puis la guerre froide en feront une sorte de super-ingénieur qui aura à son

13. Pour tout ce qui précède, voir Goldstine pp. 84-120, ainsi que les articles originaux et commentaires rassemblés dans B. Randell, *The Origins of Digital Computers* (Springer, 1975).

14. De leur côté, au lieu de s'intéresser à l'artillerie classique comme au siècle dernier, les polytechniciens, au besoin en civil, préfèrent s'occuper de missiles, de sous-marins nucléaires, d'explosifs atomiques, de radar, etc. Le rôle des mathématiques et des mathématiciens dans leur éducation demeurant fondamental, il semblerait s'ensuivre seulement que l'artillerie s'est quelque peu transformée depuis le Premier Empire.

15. Pour ce qui suit, voir le livre cité de Goldstine, pp. 123-235, que nous renonçons à citer pas à pas.

16. Les mémoires de von Karman, *The Wind and Beyond* (Little Brown, 1962) fournissent une vue d'ensemble passionnante de la recherche aéronautique pendant la première moitié du siècle. Notons en passant que von Karman présidait encore le comité scientifique de l'Air Force lorsque l'Université de Paris (i.e. son département de mathématiques et mécanique) lui décerna en 1957 un doctorat *honoris causa* bien mérité. Von Karman fut, à cette époque, l'un des initiateurs de la Division des affaires scientifiques de l'O.T.A.N.

actif, entre autres, le développement de la méthode d'implosion pour la bombe d'Hiroshima, l'invention de la théorie des jeux, la conception et la construction du premier ordinateur électronique programmable, des contributions très importantes au développement de la bombe H, et enfin la direction du comité scientifique chargé après 1953 de superviser le développement du premier missile intercontinental américain, l'Atlas. Un cancer l'enlèvera prématurément à la Science en 1957 alors qu'il est, à 54 ans, au sommet de la gloire et de la puissance dans les milieux politiques et militaires gouvernementaux.

L'une des principales activités d'Aberdeen, entamée bien avant l'entrée en guerre, était l'établissement de tables de tir pour les divers projectiles utilisés par l'armée américaine. Une telle table supposait le calcul de deux à quatre mille trajectoires différentes, chaque trajectoire nécessitant environ 750 multiplications de dix chiffres, sans compter les additions naturellement plus faciles à effectuer. Etablir une telle table aurait demandé à un homme ne disposant pas de moyens mécaniques environ un siècle à vingt-quatre heures par jour, ou quatre ans avec une calculatrice mécanique de bureau ; la machine I.B.M. de Harvard aurait pu y parvenir en six mois environ, la machine à relais des Bell Lab en deux mois et le differential analyzer de Bush en un mois environ.¹⁷ Il était prévisible bien avant 1941 qu'Aberdeen aurait à établir des douzaines de tables de tir complètes destinées à tous les nouveaux projectiles qui voyaient le jour, et en fait les demandes de tables arriveront en 1944 au rythme de six par jour !¹⁸ Même en mobilisant, comme on le fit en 1942, des douzaines de mathématiciens professionnels et de calculateurs et en se procurant des machines I.B.M. standard, il était clair que les moyens disponibles étaient fort insuffisants.

La solution — le recours à des ordinateurs entièrement électroniques qui, ne comportant aucune pièce mécanique mobile, fonctionneraient beaucoup plus rapidement que les machines électromécaniques — était dans l'air quelques années déjà avant la guerre. Mais c'est la guerre qui, dans ce domaine comme dans beaucoup d'autres, permit aux idées de se transformer en projets abondamment financés, puis en prototypes.

Les idées, pour ce qui concerne l'Amérique, viennent d'abord d'un certain John V. Atanasoff, qui enseigne les mathématiques et la physique dans une institution surtout vouée à l'agriculture, le Iowa State College. Atanasoff, qui a étudié la machine de Bush et cherche à résoudre de grands systèmes d'équations linéaires, conçoit entre 1937 et 1941 une machine spécialisée, entièrement électronique (300 tubes environ), utilisant des condensateurs et cartes perforées pour lui donner quelque mémoire et calculant en numération binaire. La machine n'avait guère d'intérêt pratique, mais les idées d'Atanasoff se transmirent à John W. Mauchly qui, au début de 1942, quitta le petit collège où, lui aussi, enseignait pour s'intégrer à l'équipe de la Moore School of Engineering où se trouvait, rappelons-le, une machine de Bush réquisitionnée, avec ses servants, par Aberdeen.

17. Goldstine, pp. 136-138.

18. Goldstine, p. 166, note qu'en août 1944 Aberdeen avait terminé 15 tables, en préparait 74 autres et avait un retard « excédant de beaucoup » ce dernier chiffre.

Dès août 1942 Mauchly, qu'excitaient les idées d'Atanasoff, rédigeait un premier projet qui attira l'attention du mathématicien Herman H. Goldstine, chargé par Aberdeen de diriger l'équipe de Philadelphie, et surtout d'un très brillant étudiant, J. Presper Eckert, Jr. (rapport avec Wallace Eckert ?) ; il aura rapidement la direction du projet qu'Aberdeen accepte finalement en avril 1943, prévoyant d'y consacrer 150.000 dollars. (La machine, l'E.N.I.A.C., en coûtera en fait 480.000, somme très faible dans l'optique de la guerre mais qu'on n'aurait évidemment pas pu trouver aussi facilement ni dépenser aussi rapidement dans celle de la paix). Les risques de l'opération étaient considérables puisqu'il s'agissait de construire un engin comportant 18.000 tubes électroniques fonctionnant au rythme de cent mille impulsions par seconde, ce qui supposait un niveau de fiabilité utopique aux yeux de la plupart des experts. On surmonta la difficulté en sélectionnant rigoureusement les composants et en faisant travailler les tubes très au-dessous de leur puissance nominale.¹⁹

Calculant la trajectoire d'un projectile en trente secondes (contre vingt minutes pour la machine de Bush et deux heures pour celle de Harvard), l'E.N.I.A.C., énorme engin consommant 150 kw de puissance électrique, commença à fonctionner à Philadelphie vers novembre 1945. Elle était destinée à Aberdeen mais, comme nous le dit Goldstine, « il n'était pas dans l'intérêt public de démonter le seul calculateur électronique alors opérationnel aux Etats-Unis à un moment critique dans l'histoire du pays ». ²⁰ Le « moment critique » se situe apparemment entre cette date et novembre 1946, date où l'E.N.I.A.C. rejoint Aberdeen (ce qui la rend en effet indisponible pour plusieurs mois) ; on est en droit de se demander ce que cette période de l'histoire pouvait bien présenter de tellement « critique » pour l'Amérique, sortie vainqueur et rigoureusement intacte d'un conflit qui faisait d'elle, et de fort loin, la première puissance du monde ; mais passons. Le premier problème traité par l'E.N.I.A.C. en novembre 1945, problème qui sert aussi à éprouver la machine, lui est proposé par une équipe de Los Alamos (Teller, Fraenkel et Metropolis) dont on sait par ailleurs qu'elle faisait partie du groupe très restreint qui, dès cette époque, réfléchissait à la future bombe H ; ²¹ ce détail autorise quelques suppositions. De toute façon, nous dit Goldstine avec l'innocence très étudiée qui le caractérise, ²²

le problème de Los Alamos était classifié pour autant que la situation physique sous-jacente était concernée, mais non la forme mathématique ou numérique des équations à résoudre. Cette politique consistant à ne pas classifier les équations était sage et fut longtemps poursuivie. Elle permit d'effectuer des calculs pour le compte de Los Alamos sans soumettre le personnel à des enquêtes de police et sans instituer des mesures de sécurité élaborées à l'intérieur même de la salle de l'E.N.I.A.C.

Cela dépeint à merveille l'atmosphère intellectuellement ouverte qui régnait dans ces lieux à l'époque, et règne sûrement encore dans beaucoup

19. Goldstine, pp. 148-156.

20. Goldstine, p. 201.

21. Voir les mémoires du mathématicien S. Ulam (coinventeur avec E. Teller du principe de base de la bombe H américaine au printemps 1951), *Adventures of a Mathematician* (Scribner's, 1976), p. 184.

22. Goldstine, p. 226. Rappelons que l'adjectif « classifié » désigne toutes les variétés de secret applicables à des informations ou travaux qui ne sont pas dans le domaine public : restricted, confidential, secret, top secret, for the President's eyes only, etc.

d'endroits qui ne sont sans doute pas tous américains.²³ Après ces calculs, qui valent à Goldstine les félicitations de Los Alamos, on trouve des études sur le modèle de Bohr et Wheeler de la fission nucléaire, la propagation des ondes de choc, la mécanique des fluides, les équations de la météorologie qui dépassent du reste encore dans une large mesure les capacités des ordinateurs actuels, etc. Les mathématiciens Hans Rademacher et D. H. Lehmer, spécialistes très connus de théorie des nombres, calculent des tables trigonométriques ou cherchent des nombres premiers de la forme $2^n - 1$ (nombres de Mersenne) ; les résultats ne sont d'aucune utilité pratique, à ceci près que les problèmes traités servent à mettre au point les méthodes d'utilisation de la machine et à étudier la propagation des approximations dans les calculs, ce qui peut servir à tout le monde, bien sûr...²⁴

DE L'E.N.I.A.C. A REMINGTON RAND ET A CONTROL DATA

Bien qu'elle fonctionnât à des vitesses phénoménales pour l'époque, l'E.N.I.A.C. n'était qu'une première tentative très imparfaite. En particulier, elle ne disposait d'aucune mémoire lui permettant de stocker des programmes de calcul, et il fallait établir à la main un grand nombre de connexions avant chaque nouveau problème à résoudre. Avant même qu'elle ne soit terminée, l'E.N.I.A.C. influença les auteurs d'autres projets qui devaient aboutir aux environs de 1950 à des machines plus sophistiquées et surtout à un début d'industrialisation chez Remington Rand et chez I.B.M.

L'événement le plus important est sans doute la rencontre, en été 1944, du mathématicien von Neumann dont on a parlé plus haut à propos du comité scientifique d'Aberdeen avec Goldstine puis avec l'équipe d'Eckert et Mauchly. Empêtré dans d'énormes calculs de propagation d'ondes de choc (notamment à propos du mécanisme de l'implosion dans une bombe atomique), von Neumann est instantanément fasciné par « un calculateur électronique capable de 333 multiplications par seconde » et comprend immédiatement, en bon logicien qu'il était, que le pas suivant devrait consister à munir la machine de circuits et de mémoires lui permettant de programmer elle-même le déroulement de ses propres opérations sans qu'il soit nécessaire de modifier à chaque fois les connexions. Dès l'hiver 1944/1945, von Neumann, en collaboration avec Eckert et Mauchly, conçoit une machine beaucoup plus perfectionnée, l'EDVAC, sur laquelle il rédige en juin 1945 un rapport préliminaire qui est à la base de la conception logique de tous les ordinateurs modernes. Mais l'équipe ne tarde pas à se disputer à propos des brevets, Eckert et Mauchly réclamant la propriété des idées de base de la machine et

23. On sait maintenant qu'après le refus américain de livrer à la France un grand ordinateur jugé indispensable aux calculs sur la bombe H, ceux-ci furent effectués en secret sur la Control Data 6600 de la Société d'économie et de mathématiques appliquées (S.E.M.A.). Voir J. Jublin et J.-M. Quatrepoint, *French Ordinateurs* (Alain Moreau, 1976), p. 29. On ne nous dit pas si les programmeurs de la S.E.M.A. étaient au courant de la destination réelle de leur travail. Dans *Matière grise, année zéro* (Denoël, 1970), hymne bien rapide à la gloire de l'informatique par trois dirigeants de la S.E.M.A. (Richard Armand, Robert Lattès et Jacques Lesourne — deux majors de l'X et un normalien), c'est l'usine de Pierrelatte, qui produit l'uranium militaire français, que l'on cite en exemple, pp. 374-377, d'un problème informatique particulièrement difficile.

24. Goldstine, pp. 232-233. Notons que les utilisations des ordinateurs par des mathématiciens désirant vérifier des conjectures de théorie des nombres se sont passablement développées ces dernières années et qu'elles font maintenant intervenir des méthodes (valeurs propres d'opérateurs différentiels par exemple) ne différant en rien de celles des physiciens et ingénieurs.

von Neumann prétendant, lui, à celle de sa structure logique. Après deux ans de débats juridiques, les avocats du Bureau des Munitions dont dépendait Aberdeen décidèrent que, le rapport de juin 1945 ayant été distribué à un certain nombre de gens, son contenu était tombé dans le domaine public et que l'affaire ne pouvait donc pas donner lieu à des prises de brevets. Goldstine nous dit que cette conclusion chagrina beaucoup Eckert et Mauchly et, par contre, réjouit von Neumann et lui-même, qui tenaient à voir les idées de base largement diffusées afin de favoriser le développement de la nouvelle technologie. Le développement commercial qu'elle allait prendre quinze ans plus tard n'était évidemment pas prévu en 1945...²⁵

Ces disputes, qui ralentissent beaucoup les travaux (au point que la première machine programmable sera en fait construite en Angleterre par une équipe directement influencée par les idées de Philadelphie), conduisent Eckert et Mauchly à se séparer de von Neumann et à fonder leur propre compagnie en octobre 1946. Ils construisent d'abord la BINAC, machine analogue à l'EDVAC et destinée à la Northrop Aircraft Cy (août 1950), et surtout, à partir d'août 1947, une machine destinée au Bureau of Census, l'UNIVAC, qui sortira en mars 1951 et sera pendant cinq ans la machine la plus avancée pour le traitement des données. Auparavant, le financier subventionnant Eckert et Mauchly était mort accidentellement et ceux-ci avaient été contraints d'offrir leurs services d'abord à I.B.M. (où Watson, qui ne croyait pas encore à l'avenir commercial des ordinateurs scientifiques, les refusa), puis à Remington Rand qui acheta 95 % de leurs actions en mars 1950 et fut ainsi « lancé dans le domaine des ordinateurs avec un produit qui avait des années d'avance sur ses concurrents ». ²⁶ L'UNIVAC I, facturée un million l'unité et produite à quelques dizaines d'exemplaires, fut vendue d'abord à des services gouvernementaux (l'Air Force en acheta trois pour gérer ses stocks de matériel) puis à des entreprises commerciales, compagnies d'assurances particulièrement. Pour les calculs scientifiques, les machines de R. R. proviennent d'une petite entreprise, *Engineering Research Associates* (E.R.A.), fondée après la guerre par des ingénieurs des télécommunications de la Marine et absorbée par R.R. en 1952. Après avoir produit fin 1950 une machine 1101 à tambour magnétique donnée au Georgia Institute of Technology, l'équipe d'E.R.A. produit trois machines 1102 pour les recherches aérodynamiques de l'Air Force puis sort en août 1953 l'UNIVAC 1103 (un million de dollars l'unité), machine de 17 tonnes possédant 3.900 tubes et une mémoire de 147.000 tores magnétiques ; on en produira une douzaine d'exemplaires, principalement pour les centres d'essais de l'Air Force. On construit aussi en 1953 un *Logistics Computer* pour les études de stratégie de la Marine, ²⁷ et l'O.C.D.E. nous parle de machines n'apparaissant pas dans les statistiques et destinées à des activités de déchiffrement. ²⁸

25. Pour tout ce qui précède, voir Goldstine, pp. 220-224. L'auteur étant partie prenante dans ces batailles juridiques qui duraient encore lorsqu'il écrivait son livre, il serait probablement utile de disposer d'autres sources d'information que son récit.

26. Saul Rosen, *Electronic Computers : A Historical Survey* (Computing Surveys, vol. 1, 1969, pp. 7-36), p. 11. Cet article de mise au point est l'exposé le plus clair et le plus précis que nous connaissons du développement technique des ordinateurs depuis l'E.N.I.A.C. Nous le mentionnerons souvent.

27. Rosen, p. 11, Goldstine, p. 326, E. Burgess, *Guided Weapons* (Chapman and Hall, 1957), p. 128, et le *Third Survey* de Weik cité plus loin.

28. *Ecartis technologiques. Calculateurs électroniques* (O.C.D.E., 1969), p. 108.

Continuant à suivre encore quelque temps l'évolution de R. R., notons que si la guerre n'eut pas d'influence notable sur la compagnie, spécialisée dans des productions commerciales civiles, on y créa après 1945 un laboratoire de recherche avec quelques ingénieurs qui avaient travaillé sur des missiles téléguidés, laboratoire qu'on plaça en 1948 sous la direction du général Groves, le célèbre directeur militaire du Manhattan Project. En 1955, date à laquelle le chiffre d'affaires de R. R. atteint 244 millions (dont le dixième seulement en machines UNIVAC, l'essentiel provenant des machines à écrire et machines comptables traditionnelles), la compagnie fusionne, sous l'auguste présidence du général Douglas MacArthur limogé pendant la guerre de Corée, avec la Sperry Corporation. Fondée avant 1914, celle-ci avait développé les premiers instruments gyroscopiques pour la marine puis l'aviation, des pilotes automatiques, des systèmes de contrôle de tir, des radars, des systèmes de guidage des missiles, etc., son chiffre d'affaires atteignant 400 millions au plus fort de la guerre, descendant à 65 en 1946 et remontant à 440 en 1954 (dont 70 % de ventes militaires) à la faveur des circonstances que nous avons déjà plusieurs fois mentionnées. Le but de la fusion, tel que *Fortune* le formule en août 1955, était d'utiliser l'expérience de R.R. dans le domaine commercial pour diriger sur le nouveau marché civil la « puissance de feu » technologique dont quarante années d'expérience des projets militaires les plus avancés avaient muni les ingénieurs de la Sperry. Si l'on pensait aux ordinateurs, l'entreprise échoua, car c'est à ce moment précis qu'I.B.M. s'empara, pour longtemps, de 70 à 80 % du marché.²⁹

En fait la politique trop timide adoptée par la nouvelle compagnie dans le domaine des grands ordinateurs conduira même, en 1957, une grande partie de l'équipe d'E.R.A., dirigée par William C. Norris, à quitter Sperry Rand et à fonder une nouvelle société, Control Data, qui va rapidement produire (en 1964) le CDC 6600, la plus puissante machine de l'époque et ainsi concurrencer sérieusement même I.B.M. (pas pour longtemps). Auparavant l'équipe de C.D.C., qui avait travaillé chez UNIVAC à la mise au point des premiers ordinateurs transistorisés, avait sorti en 1960 une première machine de ce type, la 1604. La liste des premiers acheteurs est courte, mais instructive :³⁰

U.S. Naval Postgraduate School, U.S. Army Signal Corps, U.S. Navy (Bureau of Ships), U.S. Naval Air Materiel Center, U.S. Air Force Ballistic Missile Center, U.S. Air Force (Kirtland Base et Vandenberg Base), Convair Astronautics (où l'on fabrique l'Atlas), Lockheed Missile Systems, Institute for Defense Analyses (deux machines), New York University (Courant Institute, où se trouve un très important centre de cal-

29. Pour tout ce qui précède, voir E.L. Van Densen : *The Two-Plus-Two of Sperry Rand* (*Fortune*, août 1955). Sur la Control Data dont nous parlons ensuite, voir T.A. Wise, *Control Data's Magnificent Fumble* (*Fortune*, avril 1966) et Malik, pp. 71-77.

30. Nous trouvons cette liste dans M. H. Weik, *A Third Survey of Domestic Electronic Digital Computing Systems* (Ballistic Research Laboratory, report n° 1115, mars 1961, Aberdeen), p. 207. Cet ouvrage d'un millier de pages examine systématiquement tous les types d'ordinateurs (non classifiés) en usage aux Etats-Unis avant 1961, donne leurs principales caractéristiques et fournit une liste en principe complète de leurs utilisateurs, sauf évidemment pour les machines commerciales très répandues. Notons d'autre part que le gouvernement fédéral publie chaque année depuis 1961 des informations détaillées sur tous ses services informatiques.

cul de l'Atomic Energy Commission), University of California (Institute of Geophysics — c'est l'époque des discussions sur les explosions nucléaires souterraines).

Le 1604 fut suivi par le 3600 en 1963 puis, en 1964, par le 6600, énorme machine commandée par le laboratoire atomique de Livermore (qui, avec Los Alamos, a développé toutes les armes thermonucléaires américaines et ne faisait à l'époque pratiquement rien d'autre) et qui équipa ensuite, outre les principaux centres de recherches de l'A.E.C., le service météorologique du gouvernement fédéral, le laboratoire du C.E.R.N. à Genève, la Rand Corporation, etc.

JOHN VON NEUMANN ET JAY W. FORRESTER

Nous avons abandonné von Neumann à son sort après la trahison d'Eckert et Mauchly en 1946. Dès novembre 1945 von Neumann, membre permanent de l'Institute for Advanced Study de Princeton, s'employait à chercher des appuis en vue d'y monter un ordinateur entièrement programmable beaucoup plus avancé que l'EDVAC en construction à Philadelphie. Il n'était pas facile, à l'époque, de trouver des bailleurs de fonds, et comme le note Goldstine, fidèle lieutenant de von Neumann, c'est par un « acte de foi » que les deux hommes décidèrent de répondre affirmativement à la question cruciale : les ordinateurs seraient-ils, en temps de paix, une composante essentielle du monde scientifique ?³¹ Après des tentatives infructueuses, on finit par obtenir l'appui — et l'argent — de plusieurs organisations : l'Institute lui-même, en dépit des réticences de certains de ses membres à l'idée de voir des ingénieurs venir polluer les impeccables gazons de la maison, le service des munitions de l'Army, l'Office of Naval Research, et la maison R.C.A. dont les tubes de télévision devaient jouer un rôle essentiel dans la machine de von Neumann.³² Supervisée par un comité comprenant von Neumann, V. Zworykin, inventeur de l'icône (caméra de télévision) et l'un des dirigeants de R.C.A. et John W. Tukey, statisticien de l'université de Princeton fort lié aux Bell Labs et qui accèdera au comité scientifique du Président après le Spoutnik, la construction de la machine dura de 1946 à 1952. Pendant ce temps, von Neumann, qui passait en moyenne trois mois par an à Los Alamos, effectuait sur d'autres machines des quantités de calculs visant notamment à vérifier les idées de Teller et autres sur la future bombe H (elles se révélèrent fausses jusqu'au printemps 1951) et inventait au passage avec S. Ulam, mathématicien polonais fort connu en résidence à Los Alamos de 1943 à 1965, la « méthode de Monte-Carlo » en analyse numérique.³³ La machine de Princeton fut inaugurée le 10 juin 1952 ; un mathématicien de service,

31. Goldstine, p. 220. Il n'était évidemment pas question alors d'applications commerciales.

32. Goldstine, pp. 242-244. Les réticences de certains membres permanents apparaissent pp. 319-320 et dans un article de Freeman J. Dyson (Physics Today, Sept. 1970) qui fait semblant de ne pas comprendre que le caractère militaire du projet pouvait ne pas plaire à tout le monde et met ces réticences en quelque sorte au compte de l'idéalisme bourgeois. Si c'était le cas, alors vive l'idéalisme bourgeois !

33. Pour le rôle de von Neumann dans les recherches atomiques, voir par exemple les mémoires d'Ulam cités plus haut et la déposition de von Neumann au procès Oppenheimer. Von Neumann fut nommé au comité scientifique consultatif (G.A.C.) de l'A.E.C. en 1952 puis à son directoire en 1955. L'histoire officielle de l'A.E.C. insiste sur les difficultés causées à Los Alamos avant 1952 par le manque d'ordinateurs assez puissants ; voir *Atomic Shield*, pp. 377, 439, 529, 536 et 540.

Emil Artin, avait auparavant fourni le sujet du premier problème (non secret) traité par la machine : une conjecture arithmétique résistant depuis un siècle ; elle se révéla fausse après deux millions de multiplications et six heures de machine. Ces calculs « inutiles » contribuent sans doute à l'éducation des gens sérieux qui utiliseront la machine à des fins moins éthérées, la première de celles-ci, après l'inauguration, consistant en six mois de calculs continus pour le programme thermonucléaire, dépanné un an plus tôt par Teller et Ulam et qui se trouve à un moment crucial de son développement. On entreprendra ensuite de grands calculs météorologiques financés par l'Office of Naval Research et qui conduiront en 1954 à l'établissement d'un service de prévision numérique du temps commun aux militaires et aux civils.³⁴

Pendant tout ce temps, les rapports techniques rédigés par von Neumann et son équipe étaient régulièrement adressés aux organismes publics et privés intéressés, et de nombreux visiteurs ayant accès à la machine diffusaient les idées et parfois se lançaient dans la construction d'engins similaires. Dès 1948, Louis Ridenour, futur « chief scientist » de l'Air Force, rassemble à l'université d'Illinois une équipe qui construit l'ORDVAC pour Aberdeen et l'ILLIAC pour l'université (où, dans les années soixante, le Pentagone financera la construction de l'ILLIAC IV, qui semble être encore la machine la plus puissante du monde). Une autre équipe construit à Los Alamos le MANIAC, qui entre en service en 1952, trois machines semblables allant dans les centres atomiques d'Argonne et Oak Ridge. A la Rand Corporation, spécialisée dans la stratégie thermonucléaire, un transfuge de Princeton achève le JOHNNIAC en 1954.³⁵ D'autre part, l'industrie qui recevait les rapports de von Neumann pouvait librement en faire usage, le plus souvent sans en mentionner les auteurs et en réservant sa publicité à ses propres contributions comme le très respectueux Goldstine se croit obligé de l'observer.³⁶ La maison I.B.M. notamment profite à plein de l'aubaine puisqu'elle offre en 1951 à von Neumann un poste de consultant, ce qui « permet au personnel technique de la compagnie d'accéder à pratiquement tout ce qui était alors connu des applications scientifiques des ordinateurs » ; pour faire bonne mesure, elle confiera sa direction scientifique en 1956 à E.R. Piore, chief scientist de l'Office of Naval Research puis, en 1958, von Neumann étant décédé, embauchera son adjoint Goldstine.³⁷

Un autre développement important prend place au M.I.T. pendant que von Neumann construit la machine de Princeton ; il est dû à Jay W. Forrester, qui s'est reconverti ensuite à l'économie industrielle, à l'étude des techniques de gestion et, plus récemment, à la futurologie ; il conduira aux premiers ordinateurs « en temps réel » et en particulier à toute l'informatique

34. Pour ce qui précède, voir Goldstine, pp. 286-305, la déposition de von Neumann au « procès » Oppenheimer (dont Goldstine reproduit sans le moindre commentaire le passage relatif aux calculs sur la bombe H) et le compte rendu de l'inauguration dans *Mathematical Tables...* vol. VI (1952), pp. 245-246. Pour les premiers calculs sur la bombe H, Ulam utilisait surtout sa règle à calcul et des machines de bureau, d'autres groupes utilisant l'ENIAC et un prototype de l'UNIVAC aux essais à Philadelphie ; H. York, *The Advisors...*, p. 80 et mémoires d'Ulam.

35. Liste dans Goldstine, p. 307.

36. Goldstine, pp. 319-320.

37. Goldstine, pp. 330, 212 et 319.

du réseau de défense continentale S.A.G.E. dont nous avons déjà parlé plus haut à propos de l'industrie électronique. Le projet naît en octobre 1944 lorsqu'un ingénieur mobilisé dans la Marine et qui désire construire un simulateur de vol destiné à l'entraînement des pilotes propose le problème au laboratoire des servomécanismes du M.I.T., fondé lui aussi pendant la guerre et où Forrester, arrivé au M.I.T. en 1939 pour y faire ses études de doctorat, travaille sans avoir le temps de préparer ses examens. Le projet le séduit immédiatement et il reçoit un contrat de la Marine dès la fin de 1944. La difficulté principale du problème résidait non pas dans la conception des servomécanismes destinés à simuler les mouvements d'un avion en fonction des manœuvres du pilote, mais bien plutôt dans la construction d'un calculateur capable de transformer instantanément ces manœuvres en instructions aux servomécanismes. On avait prévu d'utiliser une machine analogique très sophistiquée, mais elle risquait de se révéler trop lente pour simuler de façon très réaliste le vol d'un avion. Néanmoins, la Marine accepta en mai 1945 un contrat prévoyant la construction d'un simulateur en dix-huit mois, au coût de 875.000 dollars. A la fin de 1945, Forrester avait découvert l'ENIAC et le projet de construction de l'EDVAC qui promettaient des temps de réaction beaucoup plus courts que ceux du calculateur analogique projeté ; il décida d'adopter la nouvelle technique digitale. Son projet — qui consistait à construire le premier ordinateur électronique « en temps réel » — supposait des performances très supérieures à celles des machines alors en gestation, mais un tel ordinateur pourrait, par exemple, avoir des applications fondamentales au contrôle de tir et à la poursuite radar, sans mentionner diverses entreprises plus pacifiques (?) comme la commande numérique des machines-outils, que le laboratoire de servomécanismes du M.I.T. développera en effet au début des années cinquante pour l'Air Force et l'industrie aéronautique. Forrester obtint en mars 1946 un contrat lui assurant 1,2 million jusqu'en juin 1948, et qui fut transféré à l'Office of Naval Research (O.N.R.) à la création de celui-ci. Mais le projet devint si coûteux (il menaçait d'absorber dix pour cent du budget de l'O.N.R. en 1949) qu'il eût capoté s'il n'avait été sauvé au bon moment par le développement, à partir de 1950, des systèmes de défense continentale pour lesquels il tombait à pic. En 1951, la machine était prête à fonctionner, et l'on procéda dans le cadre du projet Lincoln à des essais réussis de couplage du Whirlwind à plusieurs stations radar. Comme l'explique un historien spécialisé,³⁸

puisque c'était un « modèle de production », l'International Business Machines Corporation fut invitée en 1952 à intervenir pour apprendre du groupe Whirlwind à construire un ordinateur plus ambitieux que n'importe lequel de ceux que l'on préparait pour le marché commercial espéré, puis à en construire aux frais du gouvernement autant de copies qu'il en faudrait pour la défense de la nation. De cette façon, I.B.M. put élargir sa jeune division des ordinateurs d'une façon relativement soudaine et sur une échelle comparativement massive, moins en vertu d'un désir propre et commercial de participer à des marchés militaires qu'en raison du fait qu'en ce qui concerne

38. Thomas M. Smith, *Project Whirlwind : An Unorthodox Development Project* (Technology and Culture, 1976, pp. 447-464) ; voir p. 458. Tout ce qui précède est tiré de cette référence.

la recherche-développement, on se trouvait alors dans une phase des relations entre le gouvernement et les entreprises privées au cours de laquelle « beaucoup étaient appelés, mais peu étaient élus ».

L'un des progrès fondamentaux réalisés par Forrester était l'invention des mémoires à tores magnétiques, qui domineront le marché commercial pendant une vingtaine d'années et qu'I.B.M. incorporera en 1955 dans ses machines des séries 704 (scientifique) et 705 (commerciale).³⁹ Quant au Whirlwind lui-même, il se métamorphose peu après en les gigantesques machines AN/FSQ 7 et 8 du réseau de défense continentale S.A.G.E. dont nous avons parlé à propos de l'industrie électronique. Avant d'en dire quelques mots, examinons les circonstances qui conduisirent I.B.M. à produire ses premières séries d'ordinateurs électroniques « scientifiques » et « commerciaux ». ⁴⁰

L'INDUSTRIALISATION DES ORDINATEURS CHEZ I.B.M.

Pendant toute la période au cours de laquelle s'élaborent les grandes machines scientifiques (UNIVAC, machine de von Neumann, Whirlwind et quelques autres), les experts, techniciens ou commerçants, hésitent beaucoup à leur prévoir un avenir commercial au-delà de « séries » de quelques unités. Non seulement ces machines coûtent très cher (un million l'UNIVAC), mais leurs capacités dépassent de beaucoup, en apparence, les besoins commerciaux de l'époque — ce sont en fait les machines disponibles qui créeront ces besoins —, leur emploi supposant un personnel qualifié qui n'existe pas encore et dont le premier grand contingent sera formé par la Systems Development Corporation à l'occasion de la mise en place du réseau S.A.G.E. La maison I.B.M. se borne donc à mettre sur le marché après la guerre des machines mi-électromécaniques, mi-électroniques à cartes perforées inspirées des machines à relais produites pour Aberdeen pendant la guerre et de celle de Harvard. Le fait qu'elles étaient contrôlées par des cartes perforées (plutôt que par une bande magnétique comme l'UNIVAC) en limitait la vitesse à 150 instructions par minute pour la machine la plus avancée de ce type, la 604 introduite en 1948. Il n'empêche que, pour nombre d'utilisateurs, ce type de machine suffisait largement, et 5.000 en avaient été vendues avant 1958, jouant ainsi « un rôle clé en maintenant I.B.M. à flot » pendant la période où la maison va faire des ordinateurs électroniques la base de ses productions.

C'est apparemment une demande du Pentagone en 1951 qui précipite le passage au tout électronique, en dépit du scepticisme de Thomas J. Watson, d'ailleurs contrebattu par son fils et bientôt successeur. A la faveur de la guerre de Corée, les militaires demandent à Watson de « construire un grand ordinateur pour l'effort de guerre ». Une enquête auprès de la clientèle po-

39. Les mémoires à tores magnétiques furent brevetées par Forrester et le M.I.T. et donnèrent lieu par la suite à des procès contre des sociétés ne respectant pas le brevet. Selon Malik, p. 28, un procès contre I.B.M. se termina à l'amiable en 1964, Forrester obtenant dix millions de dollars plus les redevances relatives aux usages ultérieurs. Cela vaut bien une datcha.

40. Pour ce qui précède, voir Rosen, op. cit., p. 12, Goldstine, pp. 327-328, Malik, pp. 30-33.

tentielle détecte une vingtaine d'acheteurs éventuels, ce qui confirme évidemment le peu d'intérêt commercial de l'opération, mais il y a aussi, au même moment, la sortie de l'UNIVAC qui peut se révéler dangereuse.⁴¹ Inspirée en partie de celle de von Neumann, la machine, la 701, sortira en mars 1953 ; le premier exemplaire ira à Los Alamos et on en produira dix-huit pour des laboratoires militaires ou atomiques et des entreprises aéronautiques (Boeing, Douglas, Glenn Martin, Lockheed, United Aircraft). Peu de temps après, la 701 est remplacée par la 704, qui utilise les mémoires à tores du Whirlwind dont il a été question plus haut et donne à I.B.M. le quasi monopole des grands ordinateurs scientifiques ; un recensement de 1961 indique onze machines dans les services du Pentagone et trouve, parmi les autres clients, Bell, Bendix, Convair, Douglas, General Electric, Grumman, Martin, North American, Pratt et Whitney, la Rand, Raytheon, la Sandia Corporation (branche de la Western Electric chargée par l'A.E.C. de développer et produire toute l'électronique des armes nucléaires), United Aircraft, Chance Vought, Westinghouse, le Jet Propulsion Laboratory du Cal. Tech., Los Alamos, etc., bref, à peu près tout ce qui compte dans l'armement à l'époque. La 709, un perfectionnement de la 704 et la dernière machine à tubes avant l'apparition en 1960 de la 7090 transistorisée, est à son tour vendue à cinq centres militaires, à Douglas, Ford (qui l'utilise pour calculer des trajectoires de missiles et non pas les boîtes de vitesses des limousines grand public...), Hughes Aircraft, Lockheed, Martin Aircraft, McDonnell Aircraft, Northern States Power Co (électricité), Philipps Petroleum, R.C.A., Space Technology Laboratories (branche de Thomson, Ramo, Wooldridge, T.R.W., qui supervise la construction du missile intercontinental Atlas), Systems Development Corporation (fondée par la Rand pour programmer et superviser l'informatique du réseau S.A.G.E.), le Lincoln Lab. du M.I.T., le laboratoire atomique de Livermore, l'université de Los Angeles (U.C.L.A.) et une Texas Engineering Experimental Station dont nous ignorons tout. Vient ensuite la 7090 transistorisée qui ouvre la « seconde-génération » I.B.M. et que la compagnie sort précipitamment pour équiper, au Groenland, la première station radar du B.M.E.W.S. comme on l'a vu (II, p. 103). La maison en vendra plusieurs centaines dans les années soixante, mais en 1961 notre source d'information sur les utilisateurs trouve six organismes militaires et trente deux « civils » dont, à nouveau, Bell, Convair, General Electric, Lockheed, North American Aviation, Pratt et Whitney, la Rand Corporation, Republic Aviation, Sandia, Space Technology Laboratories, Livermore, etc.⁴²

On trouve d'ailleurs beaucoup plus tôt des tentatives pour remplacer les tubes par des transistors (beaucoup moins encombrants et consommant beaucoup moins d'électricité — les grandes machines à tubes du S.A.G.E. consomment 750 kw chacune !) dans les ordinateurs, et ici encore le rôle

41. Malik, pp. 50-52, Rosen, p. 13. Goldstine, p. 328, omet ces détails.

42. Pour les clients des 701 et autres, voir Weik, *Third Survey... En 1958, les ventes militaires représentaient 20 % du chiffre d'affaires d'I.B.M.* d'après J. Peck et M. Scherer, *The Weapons Acquisition Process* (Harvard, 1962), pp. 622-623. Les contrats militaires finançaient environ 60 % de la R.D. de la maison dans les années cinquante d'après C. Freeman, *The Economics of Industrial Innovation* (Penguin, 1974), p. 133, l'aide totale étant estimée à 396 millions (et au double pour Sperry Rand) par l'O.C.D.E. En 1962, la maison I.B.M. avait fourni 568 des 971 ordinateurs « universels » utilisés par le gouvernement et en particulier 370 au Pentagone, 56 à l'A.E.C. et 42 à la N.A.S.A. d'après *Automatic Data Processing in the Federal Government*, 1962 (U.S.G.P.O., 1961).

des organismes militaires et atomiques est essentiel. La chose devient possible après l'invention en 1954 par Philco du transistor à barrière de surface, qui lance la maison dans la construction d'ordinateurs, notamment le TX-O pour le Lincoln Lab, le Transac S-1000, petite machine très rapide, « under contract with a Government security agency » que notre source ne mentionne pas, et le C.X.P.Q. plus important pour la Marine. En janvier 1960 Philco lance sur le marché un grand système, le Philco 2000, destiné à concurrencer les 704 et 709 d'I.B.M. et dont les premiers clients sont United Aircraft et les laboratoires atomiques de Knolls (General Electric) et Bettis (Westinghouse, réacteurs marins), mais le 7090 d'I.B.M. plus rapide commençait à être disponible. Philco sortira en 1963 une machine ultra-puissante, puis sera obligé de fusionner avec Ford qui mettra fin à ses activités dans ce domaine.⁴³

Univac, de son côté, sort en 1958 le M460, grande machine destinée aux usages militaires cependant qu'en 1956, sur une idée de von Neumann, semble-t-il, voulant obliger l'industrie à produire des machines aux frontières des possibilités, les laboratoires atomiques de Livermore et de Los Alamos signent avec Sperry Rand et I.B.M. respectivement des contrats pour les machines transistorisées les plus avancées possibles. Les machines produites, la LARC et la STRETCH, furent installées en 1960 et 1961 et, en dépit des espoirs des deux compagnies pour les vendre sur le marché commercial, se soldèrent sur ce point par des échecs considérables. La STRETCH d'I.B.M. ne put tenir ses promesses techniques, la maison en vendit moins de dix exemplaires et perdit vingt millions de dollars dans l'opération, étant obligée d'annoncer en 1961 une réduction de prix de 13,5 à 8 millions de dollars l'unité. En fait, la 7090 trois fois moins chère suffisait à l'immense majorité des clients. Mais l'effort technique énorme investi dans la STRETCH, qui « tendit les services techniques de la compagnie jusqu'au voisinage du point de rupture », n'avait évidemment pas été perdu et se trouva en grande partie dans les grandes machines de la série 360 et surtout la 360/91 destinée à contrebattre la concurrence des grandes machines de Control Data.⁴⁴

Il faudrait aussi insister sur l'importance, pendant la période de formation de l'industrie des ordinateurs, des problèmes posés par le réseau S.A.G.E. de défense continentale déjà mentionné plusieurs fois.⁴⁵ Chacun des centres du réseau, on l'a déjà dit, était équipé de deux machines AN/FSQ-7 fabriquées par I.B.M. et dérivées directement du Whirlwind, chaque machine étant prête à relayer l'autre en cas de panne. Ces engins de 275 tonnes, occupant chacun une salle de cinquante mètres de côté, contenant près de 60.000 tubes et consommant 750 kwh d'électricité fournirent au total

43. Pour ce qui précède, voir Rosen, pp. 21-23. On y trouvera de nombreux détails techniques qu'il ne nous est pas possible de mentionner ici.

44. Pour ce qui précède, voir Rosen, pp. 25-27, Malik, pp. 78-81 et O.C.D.E., op. cit., p. 152.

45. Sur les ordinateurs du réseau S.A.G.E., voir le *Third Survey* de Weik, les trois articles mentionnés dans la note 16, particulièrement le premier par R.R. Everett (futur président de la M.I.T.R.E.), C.A. Zrak et H.D. Bennington, l'article de Ward (p. 41) et la série parue de mars à juin 1964 dans *Fortune* sous le titre *The Boundless Age of the Computer*, notamment les deux premiers (toute la série est remarquable par sa franchise — on est aux antipodes de la discrétion française...). Voir aussi l'article de Dinneen et Frick cité dans la note 74 de la partie II ainsi qu'*Electronics*, mars 1956, pp. 168-170.

à I.B.M. un marché d'environ un milliard de dollars dans un domaine — celui des très grands ordinateurs — où les clients étaient encore rares. L'importance de ces systèmes (qui faisaient intervenir bien d'autres entreprises qu'I.B.M.) pour le développement de l'informatique procède de plusieurs raisons. C'est la première fois qu'on exploite un réseau radar en temps réel. D'autre part, chaque FSQ-7 était relié à une centaine d'opérateurs disposant de consoles de visualisation, de claviers leur permettant de poser des questions à la machine ou de dispositifs d'entrée permettant de lui fournir des instructions sur cartes perforées, de sorte qu'on a ici l'un des premiers exemples de « dialogue homme-machine », technique dont la première application civile sera, en 1964, le système SABRE de réservation automatique des places de la compagnie American Airlines.⁴⁶ C'est aussi la première fois que l'on établit des communications entre ordinateurs grâce à des lignes téléphoniques — la télématique approche. Le fait que chaque machine soit utilisée par une centaine d'opérateurs différents signifie qu'on a aussi mis au point la technique de l'utilisation en « temps partagé ». Les exercices d'alerte fictive destinés à l'entraînement du personnel conduisent à développer les méthodes de simulation sur ordinateurs. Enfin, les énormes besoins du système en « software », logiciel pour nous exprimer comme l'Académie et le Haut Comité, conduisent à des progrès considérables dans ce domaine alors à l'état naissant ; chaque machine contient un programme de 75.000 instructions dont le coût, même en omettant celui, « astronomique » nous dit le principal expert du sujet,⁴⁷ de la R.D. et de la formation du personnel, varie de 25 à 75 dollars par instruction ; en 1965 un expert militaire évaluera le coût total de la programmation du réseau à 110 millions.⁴⁸ Du reste la Rand Corporation, chargée de cet aspect du projet, crée à cet effet la Systems Development Corporation (S.D.C.) bien connue des informaticiens et qui, outre la conception des programmes, assure la formation du personnel ; on prévoit en 1951 qu'il faudra 600 programmeurs, mais comme c'est le total disponible à l'époque aux Etats-Unis et comme il y aura naturellement beaucoup de départs pour l'industrie et autres lieux, la S.D.C. en formera en fait deux mille.

A côté de ces grands ordinateurs « scientifiques » réservés essentiellement aux organismes liés à la défense, on produit aussi, bien entendu, des machines moins puissantes ou différentes destinées à des utilisateurs moins exigeants et à d'autres types d'applications, la gestion des stocks, le contrôle des inventaires, le paiement du personnel, etc. Cela n'empêche pas les utilisateurs « avancés » de subventionner aussi le développement de ces machines.⁴⁹ Si par exemple l'on considère les 305 et 705, machines commerciales servant surtout aux tâches de « management », on constate qu'en 1962 le Penta-

46. Comme l'écrit *Fortune* en avril 1964, « without SAGE there would be no SABRE ». Pour M. Maisonrouge dans la *Revue des Deux Mondes* d'octobre 1978, p. 41, « le système de réservation SABRE d'American Airlines devint totalement opérationnel dès 1964 : il était le premier dans le monde à opérer en temps réel ». Nous avons suffisamment pratiqué le raisonnement mathématique pour savoir que cet énoncé n'est pas formellement faux ; il est seulement incomplet...

47. H.D. Bennington, dans l'article de 1957 sur le réseau SAGE. L'intéressé était à la S.D.C. après avoir travaillé au Lincoln Lab.

48. Ward, p. 41.

49. Ward insiste d'ailleurs jourdelement sur l'importance des problèmes de « management » au Pentagone.

gone possédait 99 machines 305 (dont 45 équipaient le Strategic Air Command) et 28 machines 705. Les 650, machines de moyenne puissance lancées par I.B.M. en direction de la clientèle des machines commerciales à cartes perforées mais pouvant aussi servir à des applications scientifiques, étaient au nombre de 54 dans les services du Pentagone, qui possédaient par ailleurs 123 machines de la série 1401 transistorisée, « conçue par un Français, Jacques Maisonrouge, dont on connaît la prestigieuse carrière au sein de cette société »⁵⁰ et qui se garde bien, dans le récent article que nous avons déjà mentionné, de passer en revue les premiers clients de la « société » en question.⁵¹ La revue *Fortune*, pour sa part, est beaucoup plus explicite et note en mars 1964 que le Pentagone possède 800 ordinateurs universels (la France de 1962 n'en possède pas 300) et que le groupe le plus important (125 machines) est utilisé pour gérer le matériel de l'Air Force, évalué à douze milliards de dollars et réparti dans le monde entier ; elle ajoute que

ces démonstrations militaires de la capacité des ordinateurs, conjuguées avec la R.D. effectuée pour produire les systèmes scientifiques et militaires, ont énormément facilité l'acceptation des ordinateurs par le monde des affaires.

Dès 1958, la maison Lockheed, dont les banques de données contiennent aujourd'hui une très complète liste des travaux soviétiques sur l'histoire de la Révolution française,⁵² utilisait un ordinateur pour suivre à la trace, de son entrée à sa sortie, chacune des quarante à soixante mille pièces simultanément montées ou fabriquées en permanence dans ses ateliers, ce qui, pour un investissement de 2,3 millions, lui permettait de licencier six cents employés.

Il y a aussi les applications des ordinateurs aux « banques de données » qui se développent à partir du milieu des années cinquante, mais les indications dont nous disposons à ce sujet sont encore un peu maigres.⁵³ On trouve chez Malik, p. 61, une note indiquant que le premier grand système de traitement de l'information fut construit par I.B.M. pour la C.I.A. dans les années cinquante, mais l'auteur ne cite naturellement pas ses sources (non pas à cause de la C.I.A., mais plus simplement parce qu'il n'en cite jamais aucune, le lecteur étant, comme s'il s'agissait d'un ouvrage français, prié de croire l'auteur sur parole sans rien chercher à vérifier ou approfondir) ; il nous apprend ailleurs que le premier client majeur de Control Data aurait été la National Security Agency achetant son matériel par l'intermédiaire de la Marine. Les recensements officiels des machines en usage dans les services fédéraux ne mentionnent pas les ordinateurs « classifiés », et les

50. *Matière grise, année zéro* (sic), p. 58.

51. Plus exactement, M. Maisonrouge indique qu'en 1962-1963, « la First National Bank de Chicago utilisa les premiers terminaux de guichets (1062) reliés à un ordinateur IBM/1410 », modèle immédiatement dérivé du 1401.

52. C'est ce que M. Simon Nora a innocemment annoncé aux téléspectateurs français (dont le présent auteur) un soir de septembre 1978. Le fait que la maison Lockheed avait par exemple réalisé entre 1960 et 1967 un chiffre d'affaires militaire de 10,6 milliards de dollars seulement (88 % du chiffre d'affaires total) n'était pas mentionné. Devra-t-on bientôt passer par la Mafia pour suppléer aux insuffisances de la Bibliothèque Nationale ? Ils ne sont pas dégoûtés...

53. Il est vrai que nous n'avons pas encore été consulter les milliers de pages des récentes enquêtes parlementaires américaines sur le sujet. Le fait que l'on puisse théoriquement le faire dans des endroits d'accès aussi aisé que la Bibliothèque Nationale ou celle de l'Institut des sciences politiques ne rend pas l'opération plus facile. Il n'est évidemment pas question de trouver ce genre de littérature pornographique à Jussieu, « le plus grand centre scientifique européen » par la quantité de ceux qui le fréquentent et sans doute l'un des plus minables par le contenu de ses bibliothèques, informatique inclusivement.

vendeurs semblent conserver sur cet aspect de leurs affaires une saine discrétion. Le principal spécialiste américain des questions du type « informatique et libertés », Alan Westin, qui décrit dans une très intéressante étude du sujet un certain nombre de banques de données civiles, met bien en évidence le rôle qu'y jouent les ordinateurs I.B.M. et sans doute aussi leur fabricant, puisqu'à ce niveau c'est forcément lui qui fait l'éducation du client. On trouve ainsi I.B.M. dans l'informatisation des services du F.B.I., de ceux de la police de Kansas-City (la plus « avancée » des polices municipales américaines en 1968 — ses problèmes avaient été étudiés en 1965 par des experts venant de l'Air Force Defense Command du Colorado ! — et qui fera l'objet en 1971 de protestations et de plaintes en justice lorsqu'on découvrira que ses fichiers suivent à la trace six cents « militants, activists, and mentalists »), et dans une tentative, qui échouera en face des protestations des intéressés, d'informatiser toute la ville de New Haven.⁵⁴

Au reste, et comme M. Jacques Maisonrouge le note (*Le Monde* du 11 mai 1976), la responsabilité d'utiliser les ordinateurs incombe aux utilisateurs et au public qui « a un rôle à jouer »... « s'il sait l'assumer de façon responsable » et non pas aux fabricants qui, « depuis des années,... recherchent les meilleures méthodes de protection de l'information enregistrée » contre les intrusions non autorisées (celles, par exemple, des personnes qui désiraient consulter leurs propres fiches ?) et qui, bien évidemment, sont tout disposés à respecter les règles du jeu dont les pays démocratiques (Suède, Amérique, R.F.A., etc.) sont en train de se munir (pour l'éternité ?). Mais le président d'I.B.M. Europe ne nous dit pas si son Alma Mater refuserait de vendre ses produits aux services de police (par exemple) des pays que tout le monde peut imaginer et qui *ne sont pas* sur le point de se munir de tels règlements, ni si elle refuserait de faire leur éducation, ni plus généralement si elle a jamais refusé quoi que ce soit à quelque client solvable et honorablement connu que ce soit. Si la maison applique le principe de base du commerce honnête : vendre à tous les clients solvables dans les limites de la légalité locale, comme c'est apparemment le cas, alors il y a de belles perspectives pour elle dans le secteur des fichiers de police informatisés.

PACIFIQUES VISIONS D'AVENIR

Il va de soi qu'au fur et à mesure de la croissance de l'industrie, l'importance relative des commandes du gouvernement américain diminue ; alors qu'il absorbe, en valeur installée, 80 % des ordinateurs électroniques universels en 1950, la proportion tombe à environ 38 % en 1955, à 35 % en 1960 et à 18 % en 1965.⁵⁵ Par ailleurs la valeur totale de la production annuelle

54. Alan F. Westin et Michael A. Baker, *Databanks in a Free Society* (Quadrangle, 1971). En 1972, le National Crime Information Center du F.B.I. possédait environ 3,3 millions de données (personnes, véhicules, objets, armes, valeurs, etc.), fonctionnait 24 heures par jour tous les jours de l'année et conduisait chaque jour en moyenne 76.000 « transactions » avec une centaine de terminaux répartis aux U.S.A. et au Canada. Son équipement comprenait dès 1967 deux machines IBM 360/40. Naturellement il y a aussi d'autres services ; ceux de la Sécurité sociale, qui envoyaient 23 millions de chèques par mois, possédaient le plus grand centre informatique civil américain dans un seul bâtiment, avec 52 systèmes coûtant 19 millions par an en frais d'équipement en 1970.

55. D'après l'O.C.D.E., op. cit., pp. 142-145, si l'on tient compte des ordinateurs « spéciaux » intégrés aux systèmes d'armes et des machines utilisées par les fournisseurs du gouvernement fédéral, celui-ci avait, jusqu'en 1966, financé directement ou non 30 % des machines alors en usage aux Etats-Unis.

était de 55 millions en 1955, de 720 en 1960, de 2,4 milliards en 1965 et de 9,0 milliards en 1971, date à laquelle le gouvernement fédéral possédait presque 6.000 ordinateurs universels sur 88.000 installés en Amérique (et 6.700 en France, 7.600 en Grande-Bretagne, 7.800 en Allemagne et 14.800 au Japon, le parc soviétique étant plutôt inférieur en nombre au parc français) ; ajoutons qu'en termes de valeur installée, l'Amérique de 1971 représentait 28,9 milliards et la France 2,2 seulement.⁵⁶

Le fait que, depuis longtemps, la valeur des productions civiles excède de beaucoup celle des productions militaires ne prouve nullement que l'influence du Pentagone sur l'évolution de la technologie soit maintenant négligeable. Possédant plus de 600 ordinateurs universels dès 1962, environ 1.500 en 1965 et plus de 3.000 en 1971, auxquels s'ajoutaient dès 1965 environ 12.000 ordinateurs spéciaux de tous types et capacités incorporés aux systèmes d'armes, ayant à gérer des stocks immenses de matériel dispersés dans d'innombrables centres et un personnel de plusieurs millions d'employés, dépensant au total environ six milliards de dollars en 1973 pour ses activités informatiques de toutes sortes,⁵⁷ le Pentagone reste évidemment le premier utilisateur mondial de matériel informatique et de « software », ainsi que l'utilisateur privilégié des techniques les plus avancées. Son influence sur l'industrie demeure donc nécessairement énorme, même si le public français est soumis sur ce point à une censure totale de la part de ceux qui l'informent sur l'informatique.

C'est ainsi par exemple que la technologie des réseaux d'ordinateurs a été développée depuis 1969 par l'*Advanced Research Projects Agency* du Pentagone, qui a lancé depuis le début des années soixante nombre d'autres projets importants. En 1975 l'ARPANET, le réseau monté par l'agence en question, reliait entre eux 86 grands ordinateurs situés dans 56 centres différents dont Hawaï, Londres et Kjeller, en Norvège, reliés au continent par satellite. On y comptait quatorze centres de calcul militaires proprement dits, des laboratoires ou « think tanks » paramilitaires tels que le Lincoln Lab, la MITRE, Livermore, la Rand, la S.D.C. et le Stanford Research Institute, une vingtaine de centres de calcul universitaires (Berkeley, Carnegie-Mellon, Harvard, Illinois où l'ARPA a installé il y a une dizaine d'années la machine la plus perfectionnée du monde, Los Angeles, le M.I.T., Stanford) et quelques centres privés appartenant à Bolt Beranek & Newman, Burroughs, Tymshare, Xerox.⁵⁸ A ce réseau que l'on présente comme « ouvert » s'ajoutent des réseaux « fermés » reliant les ordinateurs des agences de sécurité, ou le *World Wide Military Control and Communication System* qui intègre les

56. Voir par exemple William F. Sharpe, *The Economics of Computers* (Colombia U.P., 1969), chapitre 6 ou Abbe Mowshowitz, *The Conquest of Will : Information Processing in Human Affairs* (Addison-Wesley, 1976), chap. 3.

57. Nous trouvons ce chiffre dans Dennis Moralee, *Mil Spec Computers. Building the hardware to fit the software* (Electronics and Power, août 1978). Le Comité consultatif sur la recherche en informatique (commission Lichnerowicz) estimait les dépenses de la France de 1975 à 20 milliards de F.

58. On trouve (ou nous trouvons) la liste complète, avec d'intéressants commentaires, notamment sur la capacité du réseau de « survivre » à des événements non précisés, dans une enquête parlementaire : *Surveillance Technology*, Joint Hearings..., United States Senate, Ninety-fourth Congress, First Session, June 23, September 9 and 10, 1975 (U.S.G.P.O., 1975), pp. 37-41. La technologie de l'ARPANET a naturellement fait l'objet de nombreuses études dans les publications spécialisées, par exemple les conférences semestrielles de l'A.F.I.P.S. Mais les sénateurs se posent, eux, d'autres questions que les informaticiens...

moyens informatiques et électroniques de 26 centres répartis dans le monde entier.⁵⁹ On ne trouve naturellement aucune allusion à ces détails sans intérêt dans les rapports sur la télématique de MM. Nora, Minc and Co⁶⁰ non plus que, par exemple, dans les pages qu'à l'occasion du S.I.C.O.B. le *Monde* du 20 septembre 1974 avait consacrées aux réseaux en faisant appel aux spécialistes français les plus connus : André Danzin, Louis Pouzin, Louis Lacombe, J.-M. Desaintquentin d'Univac qui consacre deux pages à l'histoire de l'informatique sans faire la plus microscopique allusion à l'existence possible du Pentagone, et J.-M. Chabanas qui va jusqu'à décrire l'ARPANET, sans expliquer la signification réelle du sigle, en le présentant comme un réseau qui « relie aujourd'hui plus de trente centres de calcul universitaires répartis sur tout le territoire des Etats-Unis », ce qui indique une conception française des « universités » encore plus élastique que la conception américaine. Couvrez ce sein que je ne saurais voir : par de pareils objets les âmes sont blessées, et cela fait venir de coupables pensées.

La liste des membres de l'ARPANET n'a bien entendu rien pour surprendre notre lecteur qui, à ce stade de l'exposé, s'attend probablement à tout. Rex Malik attribuée à Emmanuel R. Piore, le *chief scientist* de l'Office of Naval Research devenu *chief scientist* de la maison I.B.M. en 1956 et qui est depuis longtemps l'un des principaux conseillers scientifiques du gouvernement américain, une déclaration qui nous paraît puissamment éclairer la situation tout en étant frappée au coin du plus parfait bon sens (p. 75) :

Il y a dans le monde un certain nombre d'institutions scientifiques qui exigent de très grandes installations pour faire avancer leurs problèmes. Ces institutions sont facilement identifiables ; elles collaborent très étroitement ; elles ont toutes le point de vue que leurs installations actuelles seront trop réduites ou pas assez puissantes pour résoudre leurs problèmes futurs. Ces problèmes futurs aussi peuvent être identifiés. Ainsi lorsque ces institutions acquièrent un complexe informatique, elles pensent toujours à ce qui viendra ensuite de plus puissant. Ces mêmes institutions scientifiques montrent la voie aux utilisateurs industriels ayant besoin d'une grande quantité de calculs scientifiques.

De là à penser qu'en ce qui concerne l'Amérique, la liste des membres de l'ARPANET coïncide, à peu de choses près, avec celle des institutions « scientifiques » qui donnent le ton et auxquelles pensait M. Piore, il n'y a qu'un très petit pas à franchir. Il suffirait d'y adjoindre les noms des entreprises privées qui dominent les industries avancées.

Dans un autre domaine, celui des ordinateurs spéciaux et de la programmation, l'avance du Pentagone reste écrasante. On estimait qu'en 1973 le Pentagone utilisait dans ses systèmes d'armes plus de 200 types différents d'ordinateurs programmés par 450 langages incompatibles entre eux ; les dépenses de l'année pour la software s'élevaient à 3,5 milliards, dont 60 %

59. Moralee, op. cit.

60. A vrai dire, le volume 4 des « documents contributifs » annexés au rapport Nora-Minc contient un article de 60 pages sur *Le tournant informatique*, « réalisé par » Raymond Moch, « sous-directeur honoraire au Collège de France » (sans doute vend-il maintenant des cravates à la Foire du Trône pour qu'on ne nous communique pas son actuelle profession ?), article qui se présente comme un historique de l'informatique et ose quand même faire quelques allusions aux aspects militaires dans ses deux premières pages. On trouve au volume 2 quelques autres allusions, à propos du marché intérieur américain. Le rapport de synthèse publié en livre de poche se borne à noter (p. 63 de l'édition officielle), pour la France, « le désir de construire les ordinateurs nécessaires à la force de dissuasion ».

pour les ordinateurs spéciaux. L'extrême diversité de ces langages (résultat d'une absence de coordination au sommet depuis un quart de siècle) non seulement provoquait des dépenses astronomiques comme on vient de le voir, mais conduisait aussi à des erreurs parfois catastrophiques, au point que, par exemple, 95 % des programmes utilisés par le Strategic Air Command avaient dû être réécrits. Pour résoudre ces problèmes, le Pentagone a récemment décidé d'unifier les langages et les types d'ordinateurs utilisés, plus exactement de développer un langage « supérieur » unique et des systèmes électroniques permettant de commander tous ses ordinateurs spéciaux dans ce seul langage. Aucun des langages actuellement disponibles (et on en a examiné vingt-trois) ne pouvant convenir, le D.O.D. a récemment lancé un appel d'offres, et choisi, en août 1977, quatre des quinze propositions qu'il a reçues et que l'on va développer en vue de parvenir à un langage opérationnel, le CL-76 ou D.O.D.-1, vers 1982-83 ; l'une des entreprises retenues n'est du reste autre que notre C.I.I.-Honeywell-Bull nationale. Comme l'écrit l'auteur auquel nous empruntons ces informations ⁶¹ et qui va nous fournir notre conclusion,

les effets industriels d'un tel changement pourraient aussi être énormes. Le monde civil commence juste à utiliser à grande échelle des ordinateurs intégrés aux équipements industriels et domestiques, et c'est sans doute en assimilant les leçons durement apprises par les militaires que l'on trouvera la meilleure voie pour que le passage à une dépendance universelle à l'égard des systèmes informatiques s'accomplisse économiquement et, surtout, en toute sécurité.

Peut-être verrons-nous bientôt les ménagères programmer la vitrification de leurs œufs sur le plat en D.O.D.-1 (ou plutôt — couvrez ce sein que je ne saurais voir — en CL-76, le « common language » de 1976) ? La *civilisation* de l'informatique est décidément bien *avancée*.

61. Moralec, *op. cit.* Aux dernières nouvelles, deux maisons restent en lice, dont Honeywell qui s'appuie essentiellement sur les travaux d'équipes de la C.I.I. (Electronics, 3 août 1978, p. 59) et de l'I.R.I.A. Cette situation, compte tenu des origines diplomatico-militaires du Plan Calcul, serait particulièrement comique s'il ne s'agissait, entre autres, de faciliter la programmation des « vecteurs » transportant ce que Fermi, Oppenheimer, Rabi et autres appelaient (en 1949 il est vrai...) les « weapons of genocide » américains. Disons-le encore une fois : ils ne sont pas dégoûtés.

N.B. — La suite de ces articles paraîtra ultérieurement.

Errata. — Page 39 du I, quatrième ligne du texte après le tableau 1, début, lire 5,2 milliards au lieu de 9,5. Page 59 du I, première ligne, lire N.S.F. au lieu de N.S.A. (National Security Agency !). Page 68 du I, haut, l'alinéa commençant avec « Conformément à ces théories » ne fait pas partie de la citation qui le précède. Page 112 du II, première ligne du haut, lire, au choix, soit « ne faut pas désespérer Jussieu », soit « ne faut pas désespérer de Jussieu ». Page 122 du II, quatrième ligne du haut, insérer le passage en italique ci-après, de façon à rétablir le texte comme suit : « avec 38,5 millions de crédits D.O.D. sur 47,4, et en electrical engineering, avec 24,5 millions de crédits D.O.D. sur 46 millions de crédits fédéraux ».