



Emmanuel Lazard
et Pierre Mounier-Kuhn
Préface de Gérard Berry

Histoire illustrée de l'informatique



Histoire illustrée de l'informatique



Klee group

Pour qui s'intéresse à l'informatique, rencontrer Emmanuel Lazard c'est un peu comme la découverte d'un oncle inconnu qui change en quelques phrases votre vision de votre propre famille. En quelques minutes, le 2 avril 2015, Emmanuel m'a fait ce tour de magie. Fort de son érudition de professeur à Paris-Dauphine, habité par son enthousiasme pour le livre qu'il voulait créer avec l'historien Pierre Mounier-Kuhn, il m'a fait voir les photos qu'il avait déjà compilées, et expliqué le sens qu'il voulait donner à son œuvre. Les photos des pionniers qui nous ont précédés y côtoient celles de leurs machines, et le progrès qui s'y lit est aussi une histoire humaine.

Les entrepreneurs, même chevronnés, ont le sens du merveilleux. Aussi Emmanuel Lazard a facilement trouvé en Klee Group le sponsor qu'il cherchait : je remercie même la providence qui me l'a envoyé. Pour nous qui baignons dans l'accélération des transformations numériques, fonçant à travers des barrières hier infranchissables, c'est un bonheur rafraichissant que de retrouver nos racines à travers cette histoire illustrée de l'informatique.

Comme un album de famille, ce livre ravive notre enthousiasme en nous rappelant d'où nous venons, en nous surprenant souvent, et en redonnant du sens aux efforts quotidiens qui animent notre industrie. Feuillitez-le ! Lisez-le ! Et, je l'espère, prenez autant de plaisir à partager cet ouvrage que j'en ai eu à en soutenir la création.

Thibaud VIALA
Cofondateur et directeur général de Klee Group

La société Klee Group

Klee Group est à la fois éditeur de logiciel, société de conseil, et maître d'œuvre de projets informatiques. Klee Group transforme les systèmes d'information des entreprises en identifiant et en concrétisant les bénéfices que l'innovation technologique permet au plus près du métier de ses clients.

Klee Group propose quatre lignes de service : conseil en systèmes d'information, agence digitale, informatique décisionnelle, projets d'intégration, et trois progiciels : Klee Commerce, Spark Archives, Capital Venture. Son expertise est particulièrement reconnue dans le secteur des services, de la distribution, des marques.

Klee Group est présent en France, en Italie, en Espagne et aux États-Unis et compte des clients dans plus de 30 pays.

www.kleegroup.com



KLEE GROUP

Klee Group – Créateur de Solutions Digitales Métier.


Emmanuel Lazard et Pierre Mounier-Kuhn

LES HISTOIRE ILLUSTRÉE de l'informatique

edp sciences

Préface

par Gérard Berry Professeur au Collège de France

 C'est un honneur et un plaisir pour moi de préfacier un livre aussi complet, bien renseigné et richement illustré sur l'histoire de l'informatique. Ayant débuté dans l'informatique en 1967 avec les ordinateurs rudimentaires qu'étaient le SETI PB250 et l'IBM 1620, évoqués dans le texte, j'ai pu en suivre directement l'histoire sur une cinquantaine d'années. Ce qui rend son développement fascinant, c'est qu'il est à la fois exponentiel, linéaire, et plein de cahots.

C'est un développement exponentiel d'abord, comme le montre le graphique des performances qui clôt ce livre. Et comme l'exprime la fameuse loi de Moore qui énonce que le nombre de transistors par unité de surface d'un circuit intégré double en gros tous les deux ans (et non pas, comme on le voit souvent écrit, que la puissance des ordinateurs doublerait tous les deux ans). Cette loi est restée valable depuis sa formulation en 1965 jusqu'à nos jours, bien que l'on ait régulièrement prédit sa péremption. La loi de Moore est moins une observation qu'une décision industrielle : à chaque génération de circuits, on décide quelle sera la prochaine génération et l'on fabrique les usines pour la produire. Après la période héroïque des ordinateurs à tubes ou à transistors, elle a régi toute l'industrie et permis la croissance également exponentielle du nombre des ordinateurs — et des objets informatisés, maintenant bien plus nombreux que les ordinateurs classiques. Son suivi a nécessité des prodiges d'ingéniosité des spécialistes qui ont développé, d'une part la physique et la technologie de fabrication de circuits contenant des milliards de composants, d'autre part l'ensemble des outils logiciels de conception assistée par ordinateur de ces circuits : il y a longtemps que plus personne ne peut réellement voir tous les détails d'un circuit, qu'on ne peut d'ailleurs plus imprimer sur du papier pour les lire. Ce n'est même pas forcément la physique qui freinera en premier cette loi.

Ça pourra être l'économie, car l'industrie des semi-conducteurs est devenue la plus lourde du monde, avec des prix d'usines démesurés, peu de nouveaux entrants, et de nombreux participants jetant l'éponge chaque année.

Mais le développement a été plus linéaire d'un autre point de vue, car les circuits ne serviraient à rien si leur fonctionnement n'était pas gouverné par les logiciels. Or les logiciels sont avant tout des créations humaines fort difficiles à réaliser, et la capacité humaine ne suit pas une courbe exponentielle. Nous ne sommes pas vraiment plus intelligents qu'avant, que ce soit individuellement ou collectivement. Nous sommes certes plus nombreux, mais le nombre d'informaticiens compétents aura des limites évidentes, surtout si l'on persiste à n'enseigner le sujet que timidement. Bien sûr, les outils de programmation et de vérification de programmes ont considérablement évolué et le rendement humain avec eux. Mais le nombre d'applications a aussi beaucoup grandi et leur qualité n'est pas toujours au rendez-vous. Le public ne réalise en général pas que les bugs informatiques ne sont pratiquement jamais des pannes de la machine, mais bel et bien des erreurs de programmation, donc en un sens des pannes des humains qui ont écrit les logiciels.

Un autre aspect essentiel que le livre met bien en valeur, c'est que les progrès n'ont pas été continus, mais ont plutôt pris l'aspect de séquences jalonnées par des chocs techniques assez brutaux qui ont chaque fois bouleversé des positions acquises. Les chapitres du livre sont fort justement organisés selon ces bouleversements. D'abord l'Antiquité, dont les traces sont en fait toujours présentes dans l'algorithmique — qui est un des cœurs de la science informatique avec la science de la programmation. Puis l'ère des machines mécaniques, dont nous gardons toujours quelques héritages : par exemple 80, le nombre de colonnes dans une carte perforée IBM des années 1930,

qui est resté la taille maximum conseillée pour une ligne de programme. Ensuite, vers 1950 les premiers ordinateurs électroniques issus de la fantastique avancée intellectuelle apportée à partir de 1936 par Turing, Church et d'autres logiciens, puis par von Neumann. Malgré leur 80 ans, la théorie de la décidabilité et la machine de Turing restent des outils fondamentaux de l'algorithmique, dont les résultats sont peu connus du public mais utilisés partout ; et le λ -calcul de Church est resté le canon des langages de programmation modernes. Mais la technologie des années 1950 était lourde et chère : tubes à vide puis transistors discrets, tambours et disques magnétiques massifs, lecteurs de bandes magnétiques occupant des armoires, etc.

À cette époque, l'écriture des logiciels était davantage vue comme le moyen technique d'exploiter l'ordinateur que comme une activité noble. Mais des gens comme David Wheeler et Maurice Wilkes, à Cambridge, ont compris très tôt que mettre au point les programmes était une activité très difficile. Le logiciel est effectivement devenu assez vite le point faible de l'informatique ; il l'est encore, et pour longtemps. Plus tard les mini-ordinateurs, symbolisés par le PDP-11 puis le VAX de Digital Equipment, ont complètement changé la donne. Les prix devenaient abordables, la loi de Moore commençait à produire ses effets et, surtout, la production de logiciels devenait une activité vraiment autonome avec des systèmes d'exploitation ne dépendant plus des constructeurs. Nouveauté majeure, apparaissaient des programmes portables d'un ordinateur à un autre. C'est l'époque où la recherche en informatique a commencé à exploser.

Peu après, se croyant bien assis, les fabricants de mini-ordinateurs se sont pourtant fait anéantir par l'irruption des micro-ordinateurs. Ceux-ci ont profité à plein de la loi de Moore, cherché des clients tout à fait différents — en particulier monsieur et madame Toutlemonde — et sauté sur l'arrivée du grand réseau Internet qui a lui-même changé la façon de voir l'informatique et bien d'autres choses. Peu à peu, l'ordinateur est devenu aussi utilisé que le téléphone ou la télévision, mais avec un gros avantage sur tout ce qui se faisait

avant : son extraordinaire adaptabilité à des domaines d'applications arbitraires, où la science, l'art et la culture en général sont devenus aussi importants que l'industrie traditionnelle. Même si tout cela était en germe dans la notion de machine universelle inventée par Turing en 1936, les mini-révolutions ont été permanentes et variées. Maintenant, l'ordinateur lui-même avec son clavier et son écran est fortement mis en question par les « couteaux suisses » que sont les nouveaux téléphones, devenus aussi bien des moyens privilégiés d'aller sur Internet que des appareils photos haut de gamme, tout en nous laissant la capacité de nous parler au téléphone.

Après sa description fine du passé, le livre ne prend pas position sur le futur de l'informatique, et il a raison. La seule chose claire est qu'on est encore dans la jeunesse de son histoire. Et qu'il faut se méfier des prévisions reposant seulement sur l'extrapolation du passé. La science-fiction avait imaginé des ordinateurs gros et intelligents, ils sont au contraire devenus tout petits et toujours aussi peu pensants. Les télécommunications ubiquitaires et les grands réseaux n'ont pas souvent été imaginés, sauf par Albert Robida à la fin du XIX^e siècle (<http://www.robida.info/>). Les prévisions sur l'hypothèse que l'intelligence des ordinateurs va dépasser l'intelligence de l'homme pullulent... mais elles évitent soigneusement de définir le mot intelligence, probablement pas encore près d'être compris ; les acteurs scientifiques de l'intelligence artificielle sont souvent plus prudents que leurs exégètes. Et qui sait comment évoluera le matériel, alors qu'on n'a même pas encore vraiment essayé d'autres technologies que les transistors sur silicium ? Qui sait quels seront les progrès réels de l'informatisation des objets et de la robotique, au moment où l'on voit l'impact des bugs et la trop faible cyber-sécurité devenir de vrais facteurs de ralentissement des grands plans théoriques d'informatique universelle ? Que nous réserve l'imagination des hommes qui s'est déjà tellement illustrée en informatique ? J'attends avec impatience l'édition 2048 (100 000 000 000 en binaire) de ce beau livre de 2016 (11111100000) pour en savoir plus¹.

1. NTD : Gérard Berry a choisi cette date, 2048, parce que ce nombre est significatif pour les informaticiens. Ce multiple de 8 (le nombre de signes binaires dans un octet) se retrouve, par exemple, dans la taille mémoire des ordinateurs d'autrefois (et d'aujourd'hui) : 128, 256, 512, 1024, 2048 octets...

Sommaire

Sommaire	7	1804 ▶ Métier à tisser Jacquard	42
Introduction	13	1820 ▶ Arithmomètre	42
 		1837 ▶ Machine analytique	43
I. L'antiquité du calcul	16	1838 ▶ Le code Morse	45
Introduction	17	1854 ▶ La logique Booléenne	46
4000 av. J.-C. ▶ Comptage	23	1865 ▶ CCITT	46
env. 1000 av. J.-C. ▶ Symboles binaires	23	1866 ▶ Premier câble transatlantique	46
env. 500 av. J.-C. ▶ Abaques, bouliers	24	1867 ▶ La machine à écrire	46
330 av. J.-C. ▶ Logique grecque	24	1873 ▶ Arithmomètre d'Odhner :	
env. 300 av. J.-C. ▶ Algorithmes grecs	24	le best-seller mondial des calculatrices de bureau	47
II^e siècle av. J.-C. ▶ Mécanisme d'Anticythère	25	1875 ▶ Analyseur harmonique :	
820 ▶ Al-Khwarizmi	26	l'invention du calculateur analogique	48
1000 ▶ Numérotation indo-arabe	26	1876 ▶ Le téléphone	48
XIII^e siècle ▶ L'horlogerie	28	1876 ▶ Additionneur de Tchebychev	49
 		1885 ▶ L'Amérique entre en scène	49
II. Machines mécaniques	30	1889 ▶ La multiplicatrice directe	50
Introduction	31	1890 ▶ Début de la mécanographie	51
1614 ▶ Logarithmes et bâtonnets	32		
1623 ▶ Ébauche de la première machine à calculer	34	III. Le début du xx^e siècle	54
1630 ▶ La règle à calcul	35	Introduction	55
1645 ▶ La Pascaline	36	1904 ▶ Diode et triode	57
1669 ▶ Barrême publie ses barèmes	39	1905 ▶ Nomographie de M. d'Ocagne	58
1694 ▶ Multiplicatrice de Leibniz	40	1913 ▶ Totalisateur de paris mutuels	59
1793 ▶ L'usine à calcul de Gaspard de Prony	41	1918 ▶ Bascule « Flip-Flop »	60
		1920 ▶ Leonardo Torres-Quevedo	60



1920 ▶	Calculateurs humains	60
1920 ▶	Apparition du robot	62
1927 ▶	Un cerveau d'acier	62
1928 ▶	Carte perforée à 80 colonnes	62
1928 ▶	Problème de la décidabilité	64
1930 ▶	Analyseur différentiel	64
1933 ▶	Cartes perforées : la maturation des machines	66
1937 ▶	Alan Turing	67
1937 ▶	Premier circuit binaire	69
1938 ▶	Claude Shannon : des circuits binaires à la théorie de l'information	69
1948 ▶	Calculatrices Curta	70

IV. Les premiers ordinateurs 72

Introduction	73	
1940 ▶	Calculateur ABC : Atanasoff-Berry Computer	75
1940 ▶	Les calculateurs de Konrad Zuse	76
1938-1943 ▶	Décryptage d'Enigma	77
1943-1945 ▶	Colossus : décryptage des machines Lorenz ..	78
1944 ▶	Calculateur Harvard Mark I	80
1945 ▶	Vannevar Bush et l'hypertexte	84
1945 ▶	ENIAC	84
1945 ▶	Rapport de von Neumann	89
1946 ▶	Méthode de Monte-Carlo	89
1947 ▶	« Bug » sur le Mark II	90
1947 ▶	Transistor au germanium	90
1947 ▶	Tube de Williams-Kilburn	91
1948 ▶	IBM 604	91

1948 ▶	Les pionniers britanniques : <i>Baby</i> , EDSAC et les autres	92
1948 ▶	Premier programme enregistré	96
1948 ▶	Cybernétique de Wiener	96
1949 ▶	Dispositifs de mémorisation	97
1950 ▶	Les codes de Hamming	98
1950 ▶	Une révolution mondiale	102
1951 ▶	Premiers ordinateurs en URSS	102

V. L'ère des « gros systèmes » : du Whirlwind à la loi de Moore 104

Introduction	105	
1950 ▶	Augmenter la productivité	107
1951 ▶	Premiers ordinateurs commerciaux : le Ferranti Mk1	107
1951 ▶	Premiers ordinateurs commerciaux : l'UNIVAC 1 ...	108
1951 ▶	Premier ordinateur temps-réel : le Whirlwind au MIT	111
1951 ▶	Premiers ordinateurs IBM	112
1952 ▶	Calculateur Bull Gamma 3	113
1952 ▶	Premiers ordinateurs commerciaux : LEO, l'ordinateur des salons de thé	113
1952 ▶	Le tambour magnétique	114
1953 ▶	Mémoire à tores de ferrite	114
1954 ▶	<i>Théorie des Algorithmes</i>	115
1954 ▶	L'informatique avant les ordinateurs : un centre de traitement bancaire dans les années cinquante ..	115
1954 ▶	Premier ordinateur français : « CUBA » de la SEA ..	116



1954 ▶ Le transistor bon marché	118	1962 ▶ Naissance du terme <i>informatique</i>	138
1955 ▶ Avènement des transistors : la « deuxième génération »	118	1962 ▶ IBM SABRE : le premier système de réservation en ligne	138
1955 ▶ IBM 650 : apparition en France de l'ordinateur	122	1962 ▶ Courbes de Bézier	139
1956 ▶ Le disque dur	123	1962 ▶ Spacewar!	139
1956 ▶ Genèse des systèmes d'exploitation	125	1962 ▶ Système STRIDA : la défense aérienne	140
1956 ▶ L'intelligence artificielle	125	1962 ▶ Atlas et la mémoire virtuelle	140
1956 ▶ <i>The General and Logical Theory of Automata</i>	126	1963 ▶ Infographie	142
1957 ▶ FORTRAN	126	1963 ▶ Pilotage et conquête spatiale	143
1958 ▶ Maintenance et fiabilité	127	1963 ▶ Code ASCII	144
1958 ▶ Ordinateur ternaire Setun	128	1963 ▶ Formation des informaticiens	145
1958 ▶ Premier circuit intégré	128	1963 ▶ Chèque à lecture magnétique CMC7	146
1958 ▶ Début du traitement de texte	129	1964 ▶ IBM System/360	146
1959 ▶ IBM 705 : le traitement de masse dans la banque ...	130	1964 ▶ Langage BASIC	150
1959 ▶ LISP	130	1964 ▶ Superordinateur CDC 6600	150
1959 ▶ Parametron	130		
1959 ▶ PDP-1 de DEC	131		
1959 ▶ CAB 500 de la SEA : un ordinateur personnel interactif	131	VI. Les mini-ordinateurs	152
1960 ▶ Analyseur différentiel à EDF	133	Introduction	153
1960 ▶ Ordinateur analogique électronique	133	L'évolution des ordinateurs : une question de générations ?	156
1960 ▶ COBOL	134	1963 ▶ L'interface avec l'ordinateur : le téléimprimeur	157
1960 ▶ Transistor à effet de champ	134	1965 ▶ Loi de Moore	157
1960 ▶ ALGOL 60	134	1965 ▶ Algorithme FFT	159
1960 ▶ Olivetti Elea 9003	135	1965 ▶ PDP-8 de DEC	161
1960 ▶ Bull Gamma 60	135	1965 ▶ Olivetti Programma 101	162
1960 ▶ IBM 1401 : le <i>best-seller</i>	136	1965 ▶ L'ère des systèmes	162
1961 ▶ IBM 7030 Stretch	137	1966 ▶ Le Plan Calcul	163
1961 ▶ CTSS : l'invention du <i>Time-Sharing</i>	138	1966 ▶ Invention de la DRAM	164



1966 ▶ Modem acoustique	164	1972 ▶ La HP-35 : une calculatrice électronique scientifique	180
1967 ▶ Langage Logo	165	1973 ▶ Ethernet	180
1967 ▶ Début d'une société de services	165	1973 ▶ Invalidation des brevets de l'ENIAC	181
1968 ▶ <i>The Art of Computer Programming</i>	165	1973 ▶ La miniaturisation	181
1968 ▶ Dendral, un système expert	166	1973 ▶ Puce RFID	181
1968 ▶ Le génie logiciel	166	1973 ▶ La téléphonie mobile analogique	182
1968 ▶ Dijkstra : de la crise du software à la programmation structurée	167	1973 ▶ Code-barres	182
1968 ▶ Démo de la souris	168	1974 ▶ Affaire SAFARI : création de la CNIL	182
1968 ▶ Mémoire cache	168	1974 ▶ Microprocesseur 8080	183
1969 ▶ ARPANET	169	1975 ▶ Bases de données relationnelles, SQL	185
1969 ▶ Logiciel	171	1975 ▶ <i>The Mythical Man-Month</i>	185
1969 ▶ <i>Unbundling</i> : dégrouper le matériel et le logiciel	171	1975 ▶ Réseau Cyclades	186
1969 ▶ Langages de programmation : une tour de Babel ..	172		
1970 ▶ De « IBM et les 7 nains » au <i>BUNCH</i>	172	VII. La micro-informatique	188
1970 ▶ Le jeu de la vie	173	Introduction	189
1970 ▶ PDP-11 de DEC : les minis transforment l'essai	173	1971 ▶ Kenbak-1	191
1970 ▶ Unix	173	1973 ▶ Le Micral de R2E	191
1970 ▶ Disquette	175	1973 ▶ Le MCM/70	193
1970 ▶ Pascal	176	1974 ▶ Carte à puce mémoire	193
1971 ▶ Premier email	176	1975 ▶ L'avènement des microprocesseurs	193
1971 ▶ Théorie de la NP-complétude	176	1975 ▶ Premiers kits de micro-ordinateurs	194
1971 ▶ Microprocesseur 4004	177	1975 ▶ Smaky, le petit Suisse	196
1971 ▶ La « Silicon Valley »	178	1975 ▶ Revues informatiques	196
1972 ▶ Pong	178	1975 ▶ Microsoft	197
1972 ▶ Une nouveauté : l'écran-clavier	179	1975 ▶ Système d'exploitation CP/M	199
1972 ▶ Nouveaux langages, nouveaux paradigmes de programmation	179	1976 ▶ Microprocesseur Z80	199
		1976 ▶ Cryptographie à clé publique	200

1976 ▶ Imprimante laser 200

1976 ▶ Cray I 201

1977 ▶ Apple II 202

1977 ▶ Mini-ordinateur VAX-11/780 205

1977 ▶ Premiers jeux d'aventure 206

1977 ▶ Carte à microprocesseur Bull CP8 206

1977 ▶ Numérique mobile 207

1978 ▶ Rapport Nora-Minc 207

1978 ▶ Les microprocesseurs 16 bits 208

1978 ▶ Transpac : un réseau numérique de données 209

1978 ▶ Jeux vidéo d'arcade 210

1978 ▶ Computerized Bulletin Board System 211

1979 ▶ VisiCalc 211

1979 ▶ ADA 212

1980 ▶ Progiciels mathématiques 212

1981 ▶ Fondation de Logitech 212

1981 ▶ Les premiers portables 212

1981 ▶ IBM PC 214

1981 ▶ ZX-81 : le micro-ordinateur bon marché 215

1981 ▶ Microprocesseur RISC 216

1981 ▶ La cinquième génération 216

1982 ▶ Le Minitel 216

1982 ▶ Émoticônes 217

1982 ▶ Semi-conducteurs :
une guerre américano-japonaise 217

1982 ▶ Commodore 64 218

1982 ▶ Magazine TIME : l'ordinateur « Man of the year » ... 218

1983 ▶ Wargames, le film 218

1983 ▶ Le langage C++ 219

1984 ▶ Le cédérom 219

1984 ▶ Psion Organiser I 220

1984 ▶ Macintosh 220

1985 ▶ Gigaflops 222

1985 ▶ Manifeste GNU 223

1985 ▶ Plan informatique pour tous 223

1985 ▶ Symbolics.com 223

1985 ▶ Le i386 et la miniaturisation 224

1987 ▶ OS/2 d'IBM 224

1987 ▶ GSM 225

1987 ▶ Taïwan monte en puissance 225

1988 ▶ Premier ver Internet 225

1991 ▶ Naissance de Linux 226

VIII. L'ère des réseaux numériques 228

Introduction 229

1993 ▶ Le Web et l'ouverture d'Internet 236

1993 ▶ Cisco 237

1993 ▶ NCSA Mosaic 237

1993 ▶ Architecture client-serveur 237

1994 ▶ Netscape Navigator 238

1994 ▶ Cookies 238

1994 ▶ Algorithme quantique 238

1994 ▶ QR-code 239

1995 ▶ Le langage PHP 239

1995 ▶ Le langage Java 240

1995 ▶ Javascript 240



1995 ▶ Yahoo!	240	2007 ▶ Réseaux sociaux	253
1995 ▶ altavista.digital.com	240	2007 ▶ Stockage flash	253
1995 ▶ Amazon.com	241	2007 ▶ iPhone	253
1995 ▶ Le DVD-ROM	241	2007 ▶ Wikileaks	253
1995 ▶ Windows 95	241	2008 ▶ Pétaflops	255
1996 ▶ Le Network Computer	242	2008 ▶ Applications innovantes	256
1996 ▶ Explosion d'Ariane 5 : le coût du bogue	242	2008 ▶ Bitcoin	256
1996 ▶ La Chine entre en scène	242	2010 ▶ Le <i>big data</i>	256
1997 ▶ Deep Blue bat Kasparov	243	2010 ▶ L'apprentissage profond	256
1997 ▶ Téraflops	245	2010 ▶ Virus Stuxnet	257
1997 ▶ Bluetooth et WiFi	245	2010 ▶ Flash crash boursier	257
1997 ▶ Google	245	2010 ▶ Huawei : apparition d'une multinationale	258
1998 ▶ ICANN : la gouvernance d'Internet	246	2011 ▶ Stockage en ligne : le <i>cloud computing</i>	258
1999 ▶ Napster et le peer-to-peer	246	2011 ▶ Watson gagne Jeopardy!	260
2000 ▶ Bogue de l'an 2000	247	2012 ▶ Imprimante 3D	261
2000 ▶ La bulle Internet éclate	247	2013 ▶ Réalité augmentée, réalité virtuelle	261
2000 ▶ Déni de service distribué	248	2013 ▶ La NSA et Edward Snowden	262
2000 ▶ Clés USB	248	2014 ▶ Objets connectés	263
2001 ▶ iPod et iTunes d'Apple	249		
2001 ▶ Wikipédia	249	Annexes	265
2002 ▶ BOINC et SETI@Home	250	Les performances au fil du temps	266
2003 ▶ Passage aux 64 bits	251	Bibliographie	268
2005 ▶ IBM cède ses PC à Lenovo	251	Musées et collections	271
2006 ▶ Multiprocesseurs	251		
2006 ▶ Les « nano-ordinateurs »	252		

Introduction

Le livre s'inspire d'un double constat. D'une part, nous baignons dans une civilisation transformée par l'informatique et nous utilisons tous des appareils numériques dans notre vie quotidienne, mais nous ignorons souvent leurs origines et les projets, les visions qui ont inspiré leur développement. D'autre part, ces technologies sont devenues des enjeux économiques et sociaux gigantesques, et le discours marketing qui les enrobe est plus fait pour conditionner des consommateurs que pour éduquer des citoyens libres.

Les ordinateurs sont des « machines de von Neumann », du nom du grand mathématicien qui a défini leur architecture en 1945, puis fondé la théorie des automates, lançant ainsi un véritable programme de recherche-développement qui se poursuit sous nos yeux. Or qui, parmi les étudiants en informatique, sait qui était von Neumann et en quoi il a contribué à transformer notre vision du monde, en même temps que son jeune ami Alan Turing ?

Aujourd'hui où le terme *numérique* supplante le mot *informatique* (pourtant *numérique* s'appliquait jadis à la mécanographie à cartes perforées !), l'ordinateur lui-même semble disparaître sous des couches de plus en plus épaisses de logiciel et de fonctions de communication, photographiques et ludiques. Comme si son acceptation universelle et l'augmentation consécutive des chiffres de vente ne pouvaient résulter que d'un obscurcissement de la technique.

C'est pour démythifier l'informatique d'aujourd'hui que nous avons voulu présenter celle d'hier à travers un large voyage dans le temps. Aux étudiants, aux enseignants, aux ingénieurs, à tous

ceux qui ont connu les spectaculaires *mainframes* clignotant d'innombrables boutons actionnés par des techniciens en blouse blanche, ou les premiers micro-ordinateurs à monter soi-même, et surtout à tous ceux qu'animent la curiosité et le plaisir de la technique, nous souhaitons offrir une initiation par l'histoire au développement de ces systèmes qui ont transformé la société, bouleversé l'économie et alourdi nos poches tout en allégeant nos porte-monnaie.

L'histoire de l'informatique a été très étudiée depuis une quarantaine d'années : des colloques ont réuni les pionniers qui voulaient transmettre leur expérience aux générations futures, de jeunes historiens y ont consacré leurs thèses, une revue et un centre de recherche spécialisés ont été fondés aux États-Unis, des associations, des collections, bientôt des musées ont vu le jour à travers le monde. Aujourd'hui, plusieurs centaines de livres, plusieurs milliers d'articles, d'innombrables vidéos en ligne sont consacrés à divers aspects de l'histoire de l'informatique, et plus personne ne saurait les connaître tous — d'autant que leur qualité va du meilleur au pire.

Ce livre veut offrir une synthèse de l'évolution mondiale de l'informatique, en l'élargissant bien au-delà de la scène anglo-américaine où l'historiographie s'est généralement cantonnée. Bien entendu, une grande place y est donnée aux progrès initiés en Angleterre et aux États-Unis qui ont souvent imprimé leur rythme à l'innovation et servi de modèle dans d'autres pays. De bons historiens leur ont consacré d'excellents volumes. Mais notre ouvrage veut innover en montrant aussi les réalisations, les

2. En plus de nos propres recherches, une grande partie de notre texte se fonde sur les travaux des historiens spécialisés ou sur les écrits des acteurs de cette histoire. Il n'est pas possible de les citer tous ici et nous avons dû brider nos réflexes universitaires, qui auraient conduit à multiplier les notes de bas de page sous chaque notice pour référencer nos sources. Le lecteur intéressé par ces références pourra se reporter à nos autres publications et consulter la bibliographie à la fin de l'ouvrage.

avancées, les usages en Europe et dans d'autres régions du monde. Cette ambition est inévitablement limitée par la dimension du livre, et il serait d'ailleurs lassant de multiplier les images de salles informatiques des années 1960 dans le vain espoir de représenter le monde entier ! Nous souhaitons plutôt donner une idée de phénomènes globaux qui forment la trame de cette histoire : les processus de diffusion d'innovations sur la planète ; la synergie de l'offre et de la demande, beaucoup plus éclairante que les lamentations sur « le retard technique » dont chaque pays se plaint tour à tour ; les inventions simultanées ; le caractère presque toujours collectif de l'innovation.

Quelques remarques sur la conception de notre ouvrage. Écrire une histoire, ce n'est pas relater tous les faits (le livre se confondrait avec le monde), mais sélectionner et construire des faits représentatifs, en les plaçant dans un récit mais sans leur imposer plus de logique, de cohérence que l'histoire n'en comporte. Dans le tissu historique, dates, inventeurs, entrepreneurs, idées, objets sont comparables à des nœuds où s'entrecroisent des fils de plusieurs textures, représentant des lignes de force, reliant des ressources, des idées, des cultures.

Ce livre n'est pas une liste de « premières ». La question « quel fut le premier ordinateur ? » (ou le premier transistor, etc.) présente certes un intérêt légitime pour les inventeurs qui déposent des brevets ou les chercheurs qui veulent être reconnus, comme pour les organisateurs de commémorations. Mais elle est d'intérêt secondaire pour les historiens qui accordent autant de considération aux processus d'innovation et à la diffusion des techniques dans la société, dans les usages — diffusion qui seule donne sa véritable signification historique à une idée, si brillante soit-elle. D'autre part la question des « premières » se complique du fait que l'invention simultanée est la règle, l'invention unique par un génie solitaire, l'exception. On le comprend facilement : dans un monde où un même problème se pose en différents lieux (par exemple calculer plus vite avec moins d'erreurs), et où des centaines, voire des milliers de techniciens et de scientifiques ont des formations et des savoir-faire comparables, il est prévisible

que quelques individus imaginent des solutions voisines, chacun croyant d'abord être le seul à y travailler.

Les dates indiquées ne sont donc pas nécessairement celles de l'invention des techniques, mais souvent celles où les objets qui les incorporent se répandent sur le marché. Ainsi, sans rien enlever au mérite de Douglas Engelbart ou des développeurs du Xerox Park, le système souris-icônes-écran graphique n'est devenu vraiment significatif qu'avec la commercialisation du Macintosh en 1984. Soit près de vingt ans après le début des recherches, ce qui souligne au passage l'importance du temps long dans un domaine où l'on ne voit souvent que l'immédiateté. On peut en dire autant du développement des technologies logicielles.

Cette approche se traduit parfois dans notre choix d'illustrations. Si l'on a mis la photographie d'une règle à calcul du xx^e siècle sous la notice de William Oughtred (1630), plutôt qu'une image d'époque, c'est à dessein pour souligner la longue durée d'usage de ce petit instrument intelligent qui permit longtemps de se passer de machines compliquées. Il en va de même pour les images de « robots », quelques chapitres plus loin.

Le découpage chronologique met l'accent sur les grandes nouveautés caractérisant chaque période. Il n'est là que pour la commodité de l'exposé, en permettant de commencer chaque partie par une introduction au contexte socio-politique et aux modèles économiques alors en vigueur. Il souligne les changements irréversibles, mais ne doit pas faire oublier les continuités sur le temps long, les tendances lourdes, le fait que les techniques anciennes continuent à évoluer, plus ou moins en concurrence avec les nouvelles. Ainsi l'un des plus fameux mini-ordinateurs, le VAX, apparut la même année que le micro-ordinateur Apple II, tandis que l'on utilisait encore des cartes perforées remontant à l'industrie textile du $xviii^e$ siècle. Selon la formule admirable de l'auteur américain de science fiction Raymond Cummings, « le temps est ce qui empêche les choses d'advenir toutes à la fois. ».

La sélection des personnages — chercheurs, inventeurs, entrepreneurs — comporte inévitablement une part d'injustice, alors que les acteurs de cette histoire sont innombrables, beaucoup

étant d'ailleurs restés anonymes. Nous avons donné la priorité à ceux dont il semble indispensable de rappeler le rôle, aux plus emblématiques d'une époque ou d'une avancée. Parfois en les démythifiant pour clarifier ce qu'ils ont réellement apporté.

Un objet numérique résulte toujours de croisements multiples entre des techniques diverses, des intérêts économiques, souvent aussi des visions sociales ou politiques. Prenez par exemple la carte à puce, ce petit objet familier. Elle hérite des anciennes cartes porteuses d'informations — cartes de visite dont elle a gardé le format, cartes perforées de la mécanographie. Elle contient trois technologies très différentes : des gravures en relief, lisibles mécaniquement ; une piste magnétique inspirée des bandes de magnétophones ; et un microprocesseur, véritable ordinateur miniature. Le développement de ce petit chef d'œuvre technique a été motivé à la fois par le désir de réduire la fraude et de sécuriser les transactions, d'où les algorithmes de cryptage qu'elle recèle ; et

par la volonté des banques de dématérialiser les paiements. Ce qui reflète non seulement leur stratégie de réduction des coûts, mais aussi la véritable utopie d'une « société sans argent » (matériel) où l'on peut acheter quand on veut, consommer à toute heure. La carte à puce est également devenue un instrument d'identification, un outil de contrôle et de sécurité, donc un enjeu politique. Sous une forme miniaturisée (carte SIM), elle est au cœur de nos téléphones portables, donc de notre aptitude à nous connecter au réseau mondial Internet où que nous soyons — enfin... presque partout. Et le cryptage des communications nous renvoie à Alan Turing, à l'irruption des mathématiques dans la guerre. Bref, votre carte à puce est un condensé d'histoire contemporaine !

Nous espérons que vous pourrez découvrir, dans chaque personnage et dans chaque objet, de semblables nœuds de relations avec la vie d'une époque, pour mieux comprendre le présent et imaginer l'avenir.



THE HISTORY OF CALCULUS

L'antiquité du calcul

Introduction

Dès les temps préhistoriques, certains humains ont éprouvé le besoin de compter. Remontant parfois jusqu'à 20 000 ans, plusieurs artefacts portant des encoches, souvent des os d'animaux, ont été retrouvés. On peut y voir la naissance du nombre, utilisé pour indiquer le résultat de la chasse ou compter les jours de la lunaison. Voire y déceler les prémises de l'arithmétique : nombres premiers, changement de base ? Mais peut-être ces interprétations ne proviennent-elles que du prisme du désir, amenant les mathématiciens à lire ces objets à travers leurs propres convictions. On sait seulement (mais là on marche sur les œufs fragiles du comparatisme) que chez certains peuples « premiers », on ne compte que jusqu'à trois : un, deux, trois, beaucoup... Dans maintes langues traditionnelles existe une catégorie grammaticale du « duel » pour désigner deux choses, qui s'oppose au singulier et au pluriel ; elle est probablement fondée sur l'observation des paires naturelles (deux yeux, deux bras, etc.). Il y a même dans certaines langues d'Australie une catégorie grammaticale du « triel » (trois choses).

C'est avec le passage au néolithique, quand des communautés humaines sédentarisées s'organisent en sociétés plus nombreuses et complexes, avec une division du travail nécessitant échanges réguliers et administration, que l'on développe le calcul, la mesure et la géométrie pour répondre à des besoins pratiques. Les archéologues ont trouvé au Proche-Orient de petits jetons de pierre ayant manifestement servi à compter (*calculi*), remontant au VII^e millénaire avant J.-C. Les plus anciennes traces de chiffres datent du IV^e millénaire avant J.-C., gravées en écriture cunéiforme de l'ancienne Mésopotamie. D'autres presque aussi anciennes ont été découvertes en Égypte et à Suze, au sud de l'Iran.



▶ Boulier chinois.

Le lecteur d'aujourd'hui doit faire effort pour se projeter mentalement dans un monde ancien où rien n'était normalisé. Les unités de mesure variaient non seulement d'un pays à l'autre, où leurs noms étaient souvent différents, mais, même à l'intérieur d'un royaume, sous un même nom leur valeur variait d'une ville à l'autre : une coudée, un pied, un pas n'avaient pas la même longueur à Babylone, à Memphis ou à Athènes. Une bonne part des calculs portaient donc sur les conversions d'unités, que nous pratiquons encore quand nous voyageons dans des pays ayant différentes devises monétaires. Les commerçants devront s'accommoder de cette diversité jusqu'au ^{XIX}^e siècle de notre ère et à la diffusion du système métrique qui rompra totalement avec les anciennes unités anthropomorphiques. Seules quelques communautés un peu attardées comptent encore en « miles » (mille pas) ou en « pouces »...

Plus profondément dans les représentations mentales, les systèmes de numération antiques variaient d'une aire culturelle à l'autre. Depuis les Sumériens, au Proche-Orient on comptait en base soixante, la base 10 servant de base auxiliaire. La base douze a de grands avantages, puisqu'elle permet de diviser par 2, 3, 4 et 6 — contre seulement 2 et 5 pour la base dix. La base soixante (12 fois 5) cumule les avantages. Nous ne l'avons pas complètement abandonnée, puisque nous comptons toujours le temps en demi-journées de 12 heures et en heures de 60 minutes de 60 secondes, les angles en fractions d'un cercle de 360 degrés, sans parler des douzaines d'œufs...

De l'autre côté de la Mer Rouge, les Égyptiens utilisaient un système de numération décimal, mais dans lequel zéro n'existait pas. Ce système était de type additif : la valeur d'un nombre était égale à la somme des symboles qui le composent. Pour écrire le chiffre 7 par exemple, on répétait le symbole de l'unité sept fois (IIIIII).

En Eurasie, les peuples indo-européens utilisaient le système décimal, issu directement du comptage des dix doigts de la main. Parmi eux, Grecs et Romains adoptèrent à leur tour des systèmes de numération alphabétiques « additifs » qui ne permettaient

guère que de compter et d'enregistrer des grandeurs limitées. Les Romains apportèrent une petite amélioration : pour noter le chiffre 9 par exemple, ils convinrent d'écrire VIII ou IX. Système qui reste assez primitif : pour les unités on aligne des bâtons, le cinq est figuré par une main ouverte (V), le dix par deux mains opposées (X), les centaines et les milliers par l'initiale du mot (C, M).

On voit vite les limites de ce procédé. Essayez de multiplier LXVIII par MDCVI... Nous ne l'avons gardé que pour numéroter les siècles, les souverains ou les républiques, les pages de préfaces ou les chapitres de livres, les heures sur nos horloges... Car cette notation permet de *compter*, non de *calculer* dès qu'on dépasse un petit niveau de complexité. Pour calculer il fallait procéder mentalement ou recourir à un dispositif matériel : jetons d'argile ou cailloux, plus tard boulier ou abaque. Le principe additif imposait donc une séparation entre écriture et calcul.

La solution à ce problème a été l'invention du principe de position, avancée capitale dans l'histoire de l'écriture numérique. La valeur du symbole varie désormais en fonction de sa place dans le nombre : unité, dizaine, décimale, etc. L'idée est apparue très tôt dans la numération babylonienne sexagésimale. Mais elle ne prendra vraiment toute sa valeur que lorsque des mathématiciens indiens du ^{IV}^e siècle l'associeront avec la numération décimale et avec un signe signifiant « rien », que nous appelons « zéro ». Il fallut des siècles de pratique et de réflexion pour admettre qu'un signe signifiant « rien » peut avoir une grande valeur.

Les premières tablettes numériques

Pour effectuer des opérations, les anciens utilisaient quatre types de méthodes.

- Ils comptaient sur leurs doigts, de façon beaucoup plus élaborée que nous ne savons le faire ; par exemple, en utilisant le pouce pour compter les phalanges des autres doigts de sa main, on obtient naturellement la base douze. Et en raffinant encore, on

peut effectuer des opérations. Le calcul *digital* n'est donc pas binaire à l'origine, mais duodécimal !

- Les doigts pouvaient être remplacés par de petits cailloux (en latin *calculi*, origine du mot *calcul*) qui, mis dans un certain ordre, pouvaient représenter de grands nombres. Le premier système connu, à Sumer, était constitué de boules creuses en argile contenant des jetons d'argile de tailles différentes selon la signification numérique. Ce système, qui n'est au départ qu'une extension du corps humain employé comme instrument de calcul ou archive comptable, donnera plus tard naissance au boulier et aux abaques ou tables de calcul, très utilisées jusqu'au Moyen Âge en Occident, et jusqu'au xx^e siècle en Russie et en Asie.
- L'inconvénient des boules creuses d'argile est qu'il fallait les casser pour en vérifier le contenu. On commença donc, vers 3300 avant J.-C., à apposer sur la bulle d'argile une indication de son contenu par des signes ou des encoches. Les jetons devenant inutiles, il ne restait plus qu'à franchir une dernière étape : supprimer le comptage « matériel » à base d'objets et le remplacer par le comptage « conceptuel » ; les sphères alors s'aplatissent, se transforment en tablettes d'argile où les nombres sont simplement reportés par des symboles gravés avec un calame de roseau. Ainsi sont nés les plus vieux chiffres connus de l'histoire. Dès l'époque Sumérienne, des scribes ont utilisé l'écriture non seulement pour calculer au coup par coup, mais pour réaliser des tables arithmétiques : au prix d'un long travail, le calcul de toutes les grandeurs utiles est effectué une fois pour toutes et enregistré sur une tablette d'argile ou une feuille de papyrus. Il suffit ensuite de s'y reporter, ce qui économise le temps du calcul en éliminant le risque d'erreur. On a trouvé et analysé de nombreuses tablettes babyloniennes en argile, couvertes de signes cunéiformes : tables d'inverses (diviser par un nombre revient à multiplier par son inverse), mais aussi tables de carrés, de cubes, de sommes de carrés et de cubes, et même des tables logarithmiques. Les tables arithmétiques resteront un

outil essentiel de tous les praticiens des mathématiques jusqu'au deuxième tiers du xx^e siècle.

- Enfin le calcul mental faisait partie de l'apprentissage scolaire de l'arithmétique : depuis des millénaires (on en retrouve des archives dès Sumer) les écoliers mémorisent quelques tables simples, notamment la table de multiplication, et apprennent à faire mentalement des calculs élémentaires. Les gens de métier allaient beaucoup plus loin : un artisan ou un marchand devait être capable, après un rapide coup d'œil, d'évaluer par exemple les dimensions d'un tonneau, d'en calculer mentalement le volume et de déduire sa valeur, afin d'en fixer le prix. Nous pouvons voir un témoignage de ces aptitudes sur les tableaux de la Renaissance, où les artistes ont peint de multiples objets, récipients et autres, sachant que leurs riches clients s'amuseraient par réflexe à exercer leurs talents en calculant volumes, proportions et perspectives.

D'autres techniques de comptage et de calcul ont été inventées dans diverses cultures par l'imagination fertile des humains : bâtonnets ou os gravés, *quipus* incas où les grandeurs sont codées sous forme de nœuds sur une cordelette, etc. Et nous ne savons pratiquement rien de la science gauloise et celtique, les druides ayant eu pour principe de ne rien écrire concernant leur savoir, transmis uniquement par tradition orale ; on sait seulement qu'ils utilisaient la base douze et la base vingt, système de numération « vigésimal », qu'on retrouve indépendamment chez les Mayas. Notre langue en a conservé quelques traces, quand les Français disent « quatre-vingts » au lieu de *octante* ou de *huitante*.

Du calcul aux mathématiques

Les civilisations les plus avancées du Proche-Orient avaient élaboré des savoirs considérables en arithmétique et en géométrie, tournés essentiellement vers la résolution de problèmes concrets — y compris les prédictions astrologiques qui nécessitaient l'établissement de calendriers des positions des astres, fondés sur des

observations systématiques pendant des siècles. Mais elles n'en tiraient pas de concepts abstraits, au-delà du constat de certaines proportions. Leurs érudits savaient par exemple que le rapport entre le rayon et la circonférence de tout cercle est une constante (π) ; ou qu'avec certains triplets numériques comme (3;4;5) ou (6;8;10), ici exprimés en base décimale actuelle, ils pouvaient tracer des angles droits, ce qui est fort utile en architecture. Mais ils n'éprouvaient aucun besoin de le justifier, de le démontrer ou d'en tirer des généralisations.

C'est avec les Pythagoriciens que l'on peut faire commencer toute l'histoire intellectuelle de l'Occident. Au VI^e siècle avant notre ère, le Grec Pythagore se forma en Asie mineure auprès de Thalès de Milet, puis séjourna longuement dans les pays qui étaient alors les centres rayonnants du savoir : l'Égypte et la Chaldée, où les prêtres l'initièrent aux mystères de l'astronomie, de la géométrie, du calcul et de leurs religions respectives. Après être allé peut-être jusqu'en Inde, Pythagore s'installa ensuite en Italie du Sud, en « Grande Grèce », et fonda un enseignement en menant des recherches avec des disciples choisis. Son but était de former une élite de l'esprit, capable de faire progresser le savoir et d'influencer les affaires publiques pour le bien commun. C'est en tout cas ce que racontaient les disciples de ce personnage mystérieux dont nous ne possédons aucun écrit.

Son système de pensée se fondait sur la certitude que les nombres sont constitutifs de l'univers. Établissant pour la première fois une théorie de la musique et des rapports quantitatifs entre les sons, étudiant les figures géométriques et les propriétés des nombres pour elles-mêmes (et non plus en vue d'applications comme le faisaient Égyptiens et Mésopotamiens), inventant, découvrant, démontrant des théorèmes ou des équivalences, et réfléchissant sur le raisonnement lui-même et sur les méthodes de démonstration, les Pythagoriciens ont fondé la Mathématique.

Leur représentation du cosmos offrait à la discussion l'hypothèse que la Terre est une planète sphérique, en mouvement autour d'un centre incandescent. L'influence intellectuelle des

Pythagoriciens restera très vivace pendant plus de mille ans dans le monde gréco-romain, voire jusqu'à la Renaissance dans les mondes chrétien et musulman. Des progrès comparables, au moins dans le domaine du calcul, ont eu lieu parallèlement en Inde et en Chine, mais ces pays resteront longtemps sans contacts autres qu'épisodiques avec l'Occident.

La machine d'Anticythère, construite au II^e siècle av. J.-C., matérialisait une partie du savoir pythagorien. On ne la connaît que par quelques fragments de rouages et de cadrans de bronze débarrassés d'une gangue de coquillages et de sédiments marins, trouvés dans une épave au fond de la Méditerranée. Les travaux minutieux de plusieurs historiens des sciences, à partir de ces informations très lacunaires, ont permis d'en lire les quelque 2 000 signes ou caractères, d'en comprendre les principes et de construire des reproductions de la machine d'Anticythère.

Ce premier calculateur analogique de l'histoire était actionné par une manivelle. Il décrivait les positions de la lune et du soleil par rapport aux signes zodiacaux gravés sur l'un des cadrans, permettait de calculer et de prévoir divers phénomènes astronomiques comme les éclipses ou les mouvements de certaines planètes, de fixer les dates futures des divers concours sportifs...

La machine d'Anticythère, plus vieux mécanisme à engrenages connu au monde, pose des problèmes redoutables aux historiens. Comment des Grecs antiques, dont l'industrie métallurgique était peu développée, ont-ils pu réaliser des roues dentées d'une telle régularité seize siècles avant que les horlogers d'Europe occidentale ne mettent au point des machines à tailler les engrenages ? Comment une mécanique aussi complexe (une trentaine de roues dentées) pouvait-elle fonctionner sans être immédiatement grippée par les frottements ? Pourquoi ne trouve-t-on pas d'autres appareils similaires ? Une hypothèse vraisemblable est que la machine d'Anticythère était surtout une curiosité scientifique, un chef-d'œuvre d'artisan génial, mais qui ne correspondait pas à des besoins pressants à l'époque où la navigation se limitait pour l'essentiel à du cabotage côtier. L'équivalent pour les mécaniciens



Grecs de ce que seront les explorations de la Lune à la fin des années 1960 pour la NASA...

Beaucoup plus marquant est le bagage intellectuel que les Grecs nous ont légué. Ils ont non seulement développé la théorie, mais ils se sont également intéressés à la résolution effective de problèmes en élaborant ce qu'on appelle maintenant des algorithmes, une suite d'opérations permettant d'obtenir le résultat voulu. Le crible d'Ératosthène déterminant les nombres premiers, ou l'algorithme d'Euclide pour le calcul du plus grand dénominateur commun, en sont deux exemples encore utilisés de nos jours.

Même avec des machines et des instruments de mesure plus rudimentaires que la machine d'Anticythère, le progrès des sciences ne cesse pas dans l'empire romain d'Orient. Tandis qu'au VI^e siècle, en Europe occidentale, les structures urbaines et scolaires périclitent sous le coup des grandes invasions, ne laissant subsister que de rares foyers d'érudition monastiques, dans l'empire Byzantin désormais christianisé les savants d'Alexandrie, de Syrie et de Grèce maintiennent un haut niveau de savoir scientifique et philosophique, en s'efforçant de l'ajuster aux dogmes bibliques. Cette dynamique se poursuivra quand ces territoires seront conquis par les armées islamiques, et le grec y restera longtemps la langue savante avant d'être supplanté par l'arabe.

À partir du IX^e siècle, c'est l'aire culturelle arabophone qui devient le principal foyer de recherches en mathématiques et en mécanique. En témoignent des mots passés ensuite dans les langues européennes : *algorithme* et *algèbre*, du nom du génial mathématicien persan Al-Khwarizmi et de son traité des équations, *zéro* et *chiffre*, du même mot arabe *sifr* désignant ce symbole numérique importé d'Inde et adopté en Europe chrétienne à l'initiative du pape Gerbert d'Aurillac. Le savoir circule à travers le monde, au

rythme lent des voyageurs à pied ou à cheval, des mulets portant des malles de manuscrits, des bateaux à voile qui naviguent de la Méditerranée à l'Islande.

Les chiffres dits arabo-indiens supplantent progressivement les chiffres romains. Plus que les chiffres eux-mêmes, c'est surtout la numérotation positionnelle qui va assurer leur succès : un chiffre qui peut représenter plusieurs valeurs, suivant sa position dans le nombre, simplifie les calculs et permet d'en aborder de plus difficiles. Le système actuel de numérotation, appelé système décimal de position, qui nous semble si naturel, est donc le résultat de plusieurs milliers d'années d'évolution, d'échanges et de réflexions.

Les applications scientifiques sont limitées à l'astronomie, les mouvements parfaits des corps célestes pouvant seuls s'exprimer en termes mathématiques. La physique aristotélicienne, dominante pendant tout le Moyen Âge, pose comme principe que les phénomènes terrestres ne peuvent être décrits que qualitativement (légers/graves, chauds/froids, etc.). Les progrès du calcul répondent donc principalement à des besoins pratiques : comptabilité, commerce, calculs d'intérêts sur les prêts, arpentage ou architecture. La géométrie, elle, accomplit des progrès en relation avec l'architecture et la représentation graphique : l'invention de la perspective par des artistes italiens révolutionne la vision en Occident et marie les mathématiques avec la peinture, deux mille ans après la musique. À la même époque sont construites les premières horloges, donnant naissance du même coup à un nouveau rapport au temps et à une nouvelle industrie : la mécanique de précision, créant les conditions de possibilité matérielle des futures machines à calculer.





4000 av. J.-C. ▶ Comptage

En se développant, l'humanité acquiert de nouveaux modes de pensée et avec eux, des méthodes de numérotation et de comptage. Des jetons d'argile retrouvés sur des sites archéologiques servaient probablement à cela. Ils sont appelés *calculi* en latin (« petits cailloux »), mot qui donnera aussi bien les calculs mathématiques que les « calculs » rénaux...

Le système d'écriture cunéiforme sumérien (IV^e millénaire av. J.-C.), la plus vieille écriture connue, utilisait le système sexagésimal (en base 60) qui perdure encore aujourd'hui dans la mesure du temps et des angles. Plus tard, les Babyloniens ont mis par écrit leurs techniques de calcul : les premiers algorithmes dont nous ayons connaissance.



env. 1000 av. J.-C. ▶ Symboles binaires

La tradition chinoise fait remonter au premier millénaire avant l'ère chrétienne la rédaction du *Yi-Jing*, ou « livre des changements ». Son origine est liée à l'invention, par la figure mythologique Fu Xi, des trigrammes. Ces derniers sont l'association de trois lignes, chacune pouvant être pleine (yang) ou brisée (yin). Les huit possibilités se retrouvent dans l'octogone à trigramme, figure classique de la culture et la philosophie chinoise (une version simplifiée à quatre trigrammes se retrouve sur le drapeau sud-coréen). Le « livre des changements » utilise des hexagrammes (deux trigrammes superposés, soit six symboles binaires) dans un tableau de 64 cases. Il avait impressionné Leibniz qui y avait vu un parallèle avec sa numérotation binaire. Il est cependant très peu probable que les Chinois aient connu le calcul binaire : ces symboles étaient utilisés pour la divination.



Fragment du Papyrus Rhind (env. 1500 av. J.-C.) témoignant du niveau des mathématiques égyptiennes. Il contient 87 problèmes résolus d'arithmétique, d'algèbre, de géométrie et d'arpentage.

▶ Tablette (trouvée en 1920 en Irak), datée d'environ 1800 av. J.-C., listant 15 triangles rectangles en nombres entiers.

▶ Bagua, ou diagramme octogonal associant les huit trigrammes binaires au symbole du yin/yang.

820 ▶ Al-Khwarizmi

Né en Ouzbékistan, le mathématicien musulman Al-Khwarizmi (c. 780-c. 850) explore dans ses ouvrages la résolution des équations polynomiales en explicitant les étapes nécessaires au calcul des racines : c'est le début de l'algèbre (mot provenant de l'arabe *Al-jabr*, ou opération de réduction, utilisé dans le titre de son principal ouvrage) et des premières tentatives de formalisation de l'algorithmique. Le terme *algorithme* dérive de la forme latine de son nom, *Algorithmi*. Ses ouvrages auront une grande influence et contribueront à introduire en Occident la numération décimale de position.

▶ Timbre soviétique, de 4 kopecks à l'effigie d'Al-Khwarizmi, émis à l'occasion de son présumé 1200^e anniversaire (789-1989).



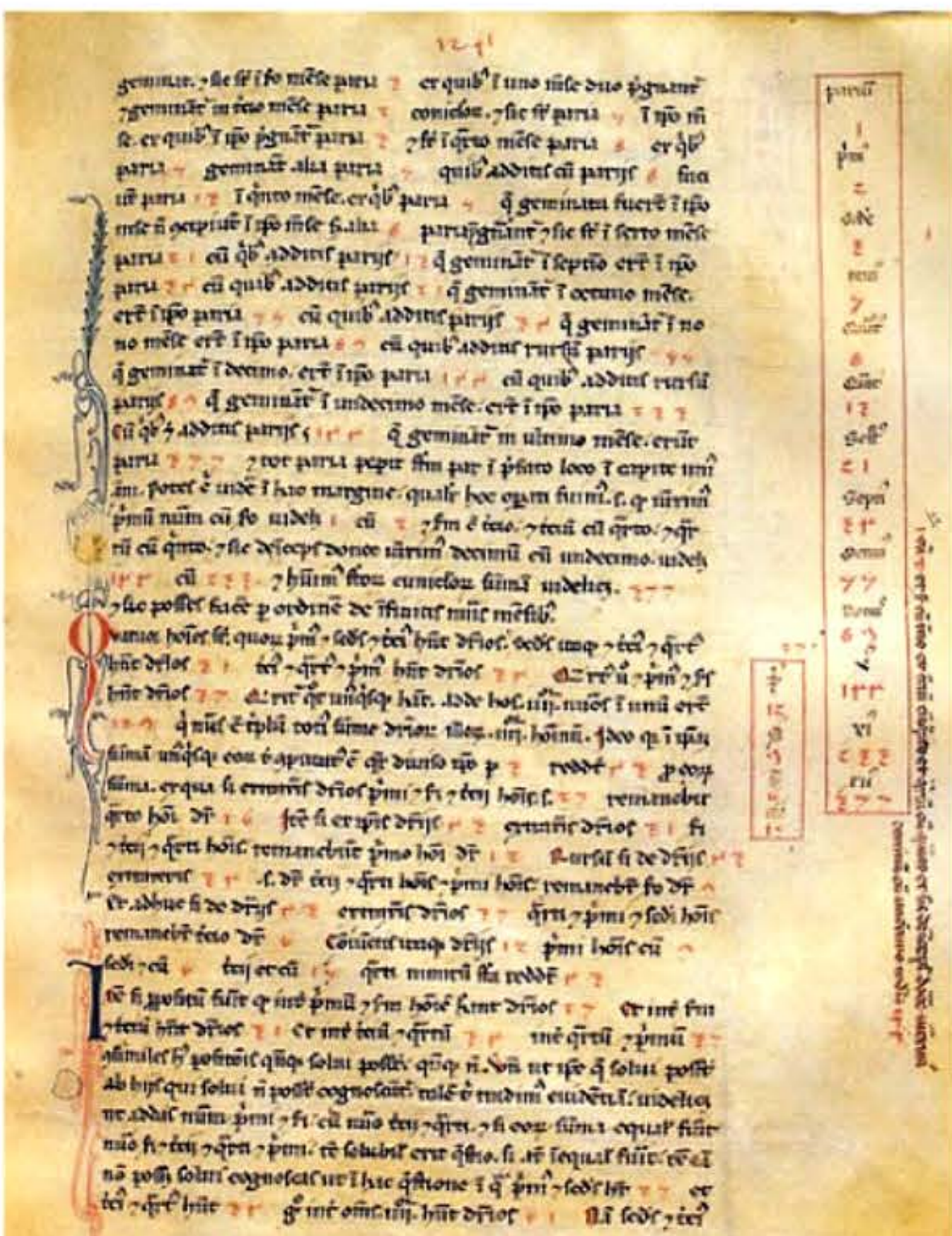
liser. L'opposition d'une partie des autorités (ainsi la ville de Florence interdit-elle les chiffres arabes en 1299) s'explique par les risques de fraude, par exemple la transformation d'un 6 ou d'un 9 en 0, inhérents à un nouveau système que la population met du temps à apprendre.

Deux méthodes de calcul en concurrence au Moyen Âge : à gauche les chiffres arabes, à droite l'abaque traditionnel.



1000 ▶ Numérotation indo-arabe

Devenu pape sous le nom de Sylvestre II, Gerbert d'Aurillac utilise son influence pour promouvoir la numérotation dite arabe — qui a en fait une origine indienne datant du IV^e siècle — et remplacer les chiffres romains. En quelques siècles, ceux-ci disparaissent au profit des nouveaux symboles (incluant, à partir du XII^e siècle, le zéro) et de la numérotation positionnelle. Léonard de Pise, dit Leonardo Fibonacci (1175-1250), l'un des plus actifs transmetteurs des mathématiques du monde musulman vers l'Europe, en est un fervent promoteur et encourage les commerçants italiens à l'uti-



▶ Une page du *Liber Abaci* de Léonard de Pise. Sa suite de Fibonacci est dans l'encadré hors-texte à droite (1202).

Anciens Caractères Arithmétiques.

1. Notes de Bocce.	{	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
2. De Plaude.	{	1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	10
3. Caractères d'Alséphadi.	{	1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	10
4. Chiffres de Sacro Bosco.	{	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
5. De Roger Bacon.	{	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
6. Des Indiens Modernes.	{	9	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
7. Chiffres Modernes.	{	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
8. Nombre d'Alséphadi.	{	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

Évolution de la graphie des chiffres (Jean-Étienne Montucla, *Histoire des Mathématiques*, 1798).

XIII^e siècle ▶ L'horlogerie

Après la machine d'Anticythère, plus vieux mécanisme à roues dentées connu, quelques appareils comparables sont mentionnés dans des textes au cours des siècles suivants, mais n'ont pas subsisté matériellement. Sous l'empire romain, des mécaniciens grecs ont réalisé de grandes horloges hydrauliques en métal, capables d'indiquer la position des astres et des constellations. Cette tradition se poursuit au Proche-Orient après la conquête musulmane, et se développe parallèlement en Chine. Au Moyen Âge, un autre type de système hydraulique à engrenages devient courant : le moulin à eau, qui fournit l'énergie nécessaire à une véritable « révolution industrielle » et répand un savoir-faire nouveau. Dans les deux cas, les mécanismes ne servent qu'à transmettre l'énergie, non à la produire.

C'est en Europe, à la fin du XIII^e siècle, dans les villes alors en plein développement où le commerce et l'artisanat nécessitent une meilleure maîtrise du temps, qu'apparaissent les premières horloges entièrement mécaniques. Les innovations décisives sont : le remplacement de l'énergie hydraulique par un poids ou un ressort ; l'échappement, dispositif qui freine la rotation de la roue centrale et l'oblige à accomplir un tour en 24 heures. Invention qui fonde l'horlogerie mécanique et lui permettra de remplacer progressivement les clepsydres et autres cadrans solaires.

Ces horloges monumentales ornent les clochers et les beffrois où leur fonction se borne initialement à sonner les heures. Rudimentaires, elles n'ont souvent ni cadran ni aiguille et se dérèglent vite. Mais rapidement, comme dans toute l'histoire des inventions, des passionnés explorent les possibili-



tés de la technique nouvelle et imaginent des dispositifs pour réaliser des fonctionnalités inédites : statues animées automatiquement pour frapper les cloches, multiplication des cadrans (et des mécanismes complexes) indiquant non seulement les heures, mais aussi les phases de la Lune, les mouvements des astres et d'autres phénomènes naturels, et permettant de prévoir les fêtes mobiles... ce qui était déjà le but de la machine d'Anticythère.

Avec l'invention du pendule par Christian Huygens en 1657, l'horloge deviendra un instrument précis pouvant indiquer les minutes, plus tard les secondes. Donc utilisable non seulement pour se donner rendez-vous, mais pour mesurer des phénomènes physiques, contribuant au progrès des sciences et des techniques.

Les horloges sont des mécanismes automatiques où pratiquement toute l'énergie est transformée en informations — informations sur l'écoulement du temps et, dans le cas des horloges astronomiques, sur des phénomènes périodiques. Les mécaniciens du Moyen Âge ont inventé des automates produisant de l'information. Leurs successeurs des temps modernes construiront les premières « horloges à calcul ».

Analogique et numérique à la fois : l'horloge à jacquemarts de la place San Marco à Venise (1496).

MAGASIN

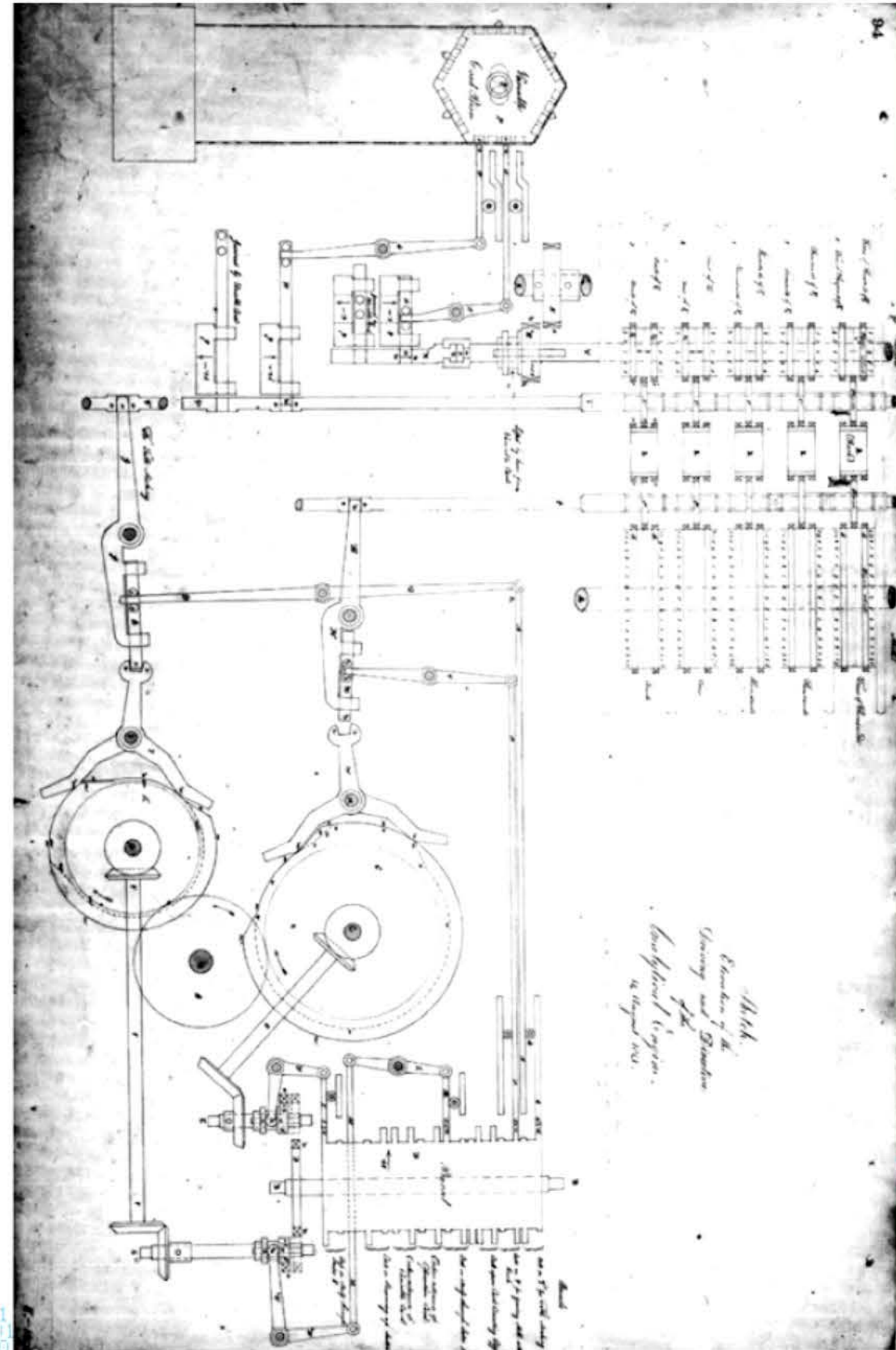
Machines mécaniques

Introduction

À partir de la Renaissance, deux profonds mouvements historiques déclenchent l'accroissement de la demande en matière de calcul et de traitement de l'information : la révolution scientifique et industrielle, ainsi que la formation des états modernes. Pour y répondre, des inventeurs mobilisent à la fois les connaissances mathématiques existantes et les techniques développées depuis le Moyen Âge par les horlogers.

La mathématisation progressive des sciences — de la physique avec Galilée, puis des autres disciplines — fait des savants et des ingénieurs d'insatiables utilisateurs de calcul, que ce soit pour les applications civiles ou militaires. Calcul qui devient vite une fastidieuse corvée. Le mathématicien Leibniz s'en irrite : « *Il est indigne des meilleurs hommes de gaspiller leur intelligence à cette corvée servile, alors qu'ils pourraient la confier à des subalternes équipés de machines.* » La demande de calcul vient notamment de l'astronomie — Schickard, l'inventeur de la première ébauche de calculatrice en 1623, est astronome et correspond avec Kepler —, des sciences liées à la navigation (hydrographie, cartographie, etc.), de la balistique qui doit accompagner les progrès de l'artillerie, de l'hydraulique (barrages, turbines), de la mécanique, plus tard de la physique, de l'électricité ou de la propagation de la chaleur, de l'aéronautique ou de la météorologie au xx^e siècle.

La demande en matière de traitement de l'information pour la gestion émerge parallèlement. Si Blaise Pascal conçoit dans les années 1640 sa « Pascaline », c'est pour aider son père, receveur des impôts d'une administration royale en plein développement, à effectuer ses fastidieux calculs fiscaux. Au cours du $xviii^e$ siècle, le besoin de connaître « la richesse des nations » multiplie les recensements ; le désir de contrôle social et les réformes (cadastre, système métrique) inspirent divers projets plus ou moins utopiques. Vers 1740, un officier de police,



▶ Mécanisme de contrôle de la machine analytique de Babbage.

Guillauté, propose de créer un fichier détaillé des habitants de Paris, constitué de deux millions de fiches individuelles. Celles-ci seraient classées sur d'immenses roues contenant 100 000 fiches chacune ; en faisant tourner une roue, on obtiendrait en quelques secondes la fiche voulue. Ce projet restera lettre morte. Cependant on retrouve le même désir de transparence sociale et de tenue en main dans le *Panoptikon* de Jeremy Bentham, que l'Assemblée révolutionnaire de 1791 fait traduire en français. Pascal, Bernoulli et Quételet sont les pères des mathématiques appliquées aux affaires sociales. Le calcul des probabilités offre des solutions pratiques à un dilemme essentiel de la philosophie politique des Lumières : pouvoir de l'État ou liberté des individus ? Solutions qui déboucheront notamment sur la mise au point des systèmes d'assurances... lesquels à leur tour réclameront toujours plus de calculs et de traitements de données. La gestion d'autres institutions financières (banques), ainsi que des grands réseaux apparus au XIX^e siècle (chemins de fer, électricité, télécommunications) contribue fortement à constituer le marché, en plein essor, du traitement de l'information.

Des techniques variées se développent pour répondre à ces besoins. Toutes ne font pas appel aux machines, loin de là. Mais au XIX^e siècle, les progrès de la mécanique de précision, l'expansion de l'industrie des instruments scientifiques et des matériels de bureau, mettent à la disposition des inventeurs les moyens de réaliser pratiquement les projets imaginés depuis deux siècles à des prix abordables. On constate leurs efforts créatifs en consultant les anciennes tables de brevets, les catalogues d'expositions universelles et les articles qu'ils ont publiés pour faire connaître le fruit de leur labeur. Vers 1900, l'emploi des machines à calculer, comme des instruments plus simples que sont les tables numériques et les règles à calcul, est bien entré dans les pratiques de nombreuses organisations.

Pourquoi ne pas employer tout simplement des calculateurs humains prodiges, tels Jacques Inaudi et le vertigineux Paul Lidoreau qui extrayait mentalement en vingt secondes la racine carrée d'un nombre de 15 chiffres ? En fait, certains ont travaillé pour des observatoires astronomiques ou des bureaux de calcul,

y compris à l'époque des premiers ordinateurs, comme Wim Klein au CERN. Mais ils étaient trop peu nombreux pour répondre aux besoins. Et leur « employabilité » était limitée dans ce domaine parce que, même si on leur faisait confiance, leurs résultats n'étaient pas vérifiables et qu'ils ne savaient pas toujours expliquer clairement par quelle méthode leur esprit y parvenait. Ce don semble d'ailleurs indépendant des aptitudes au raisonnement mathématique dont il n'emprunte pas les processus habituels — même s'il a existé aussi chez de grands mathématiciens comme Euler ou Gauss.

1614 ▶ Logarithmes et bâtonnets

Après avoir inventé les logarithmes, l'Écossais John Neper (1550-1617) (ou John Napier en anglais) invente une aide au calcul sous forme de bâtonnets qui permettent de réduire une multiplication à une suite d'additions. Ces bâtonnets matérialisent des tables de multiplication portatives dont l'écriture facilite le calcul des retenues entre colonnes successives. Le mathématicien anglais Henry Briggs (1556-1630) entreprend de produire des tables ; son *Arithmetica Logarithmica* (1624) indique les logarithmes de 30 000 nombres avec quatorze décimales, suivi en 1633 d'une *Trigonometria Britannica*. Les tables logarithmiques, puis trigonométriques, révolutionneront la pratique du calcul en facilitant de nombreuses opérations dans les sciences et les techniques.

John Neper.



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

1	1	3	4	0	5	0	0	1	1	1
2	2	6	8	0	0	0	0	8	4	2
3	3	9	12	7	0	0	0	2	7	3
4	4	12	16	0	0	0	0	6	4	4
5	5	15	20	0	0	0	0	2	5	5
6	6	18	24	0	0	0	0	16	36	6
7	7	21	28	0	0	0	0	4	49	7
8	8	24	32	0	0	0	0	14	64	8
9	9	27	36	0	0	0	0	29	81	9

Un jeu de bâtonnets de Neper de 1680.

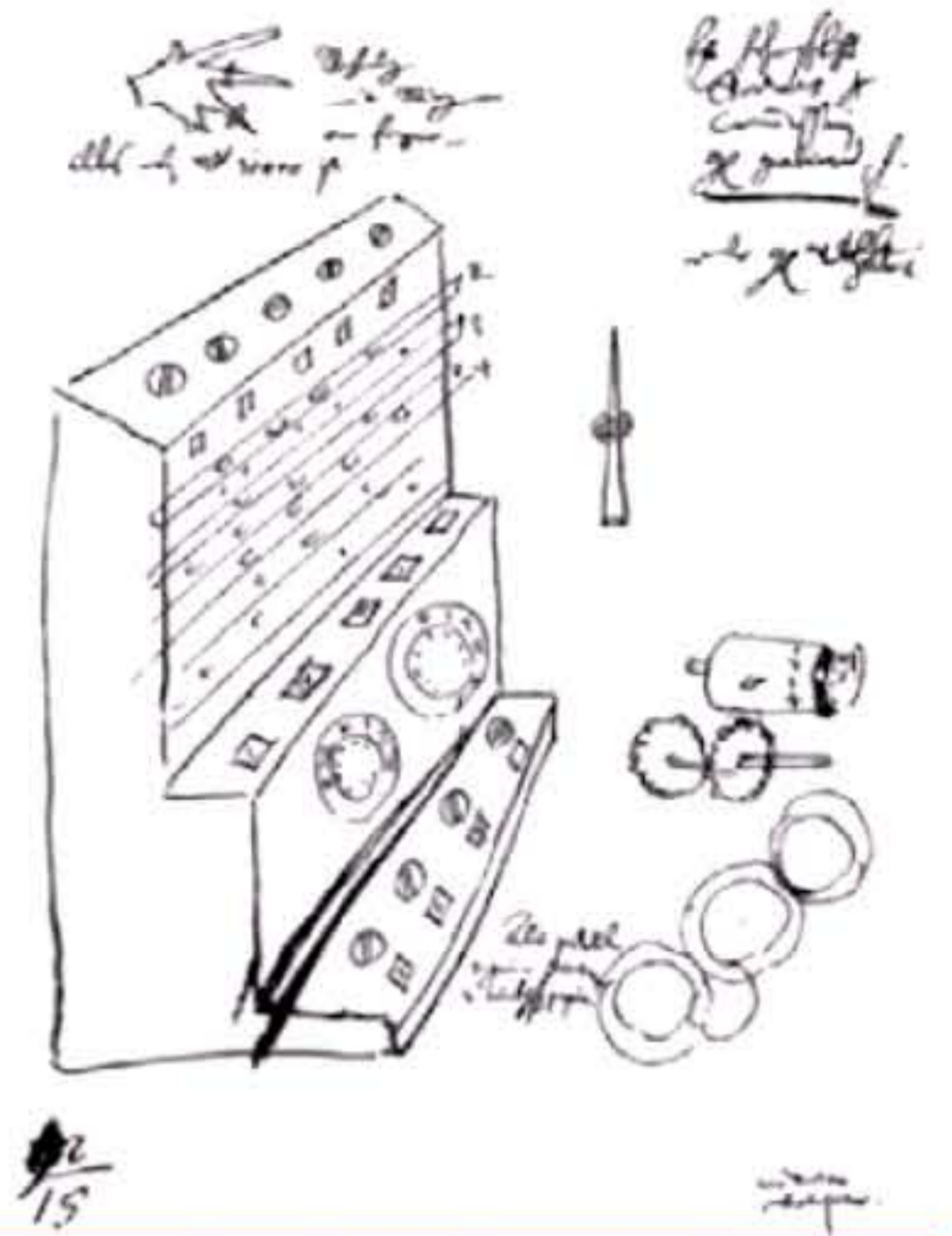




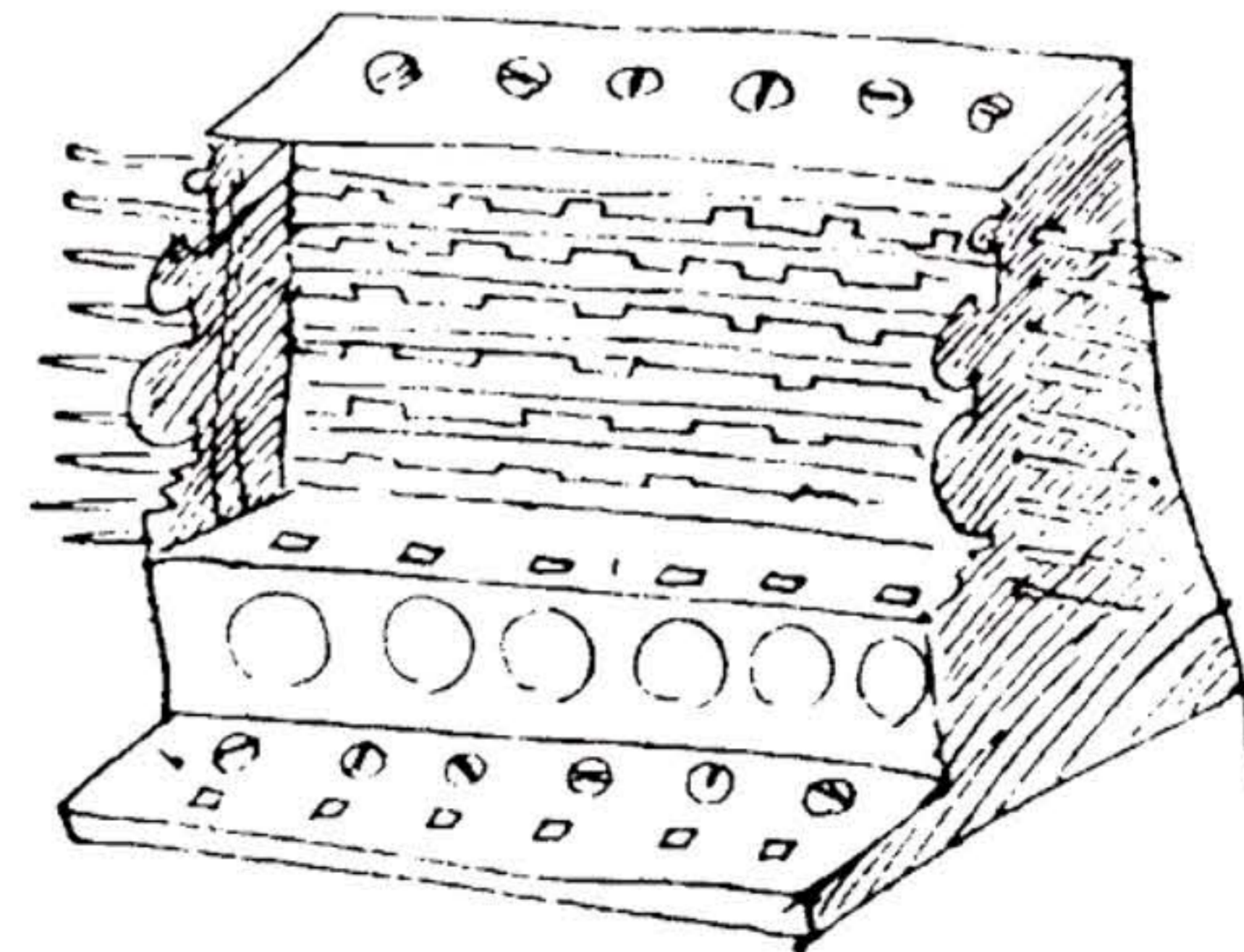
Réplique moderne de la machine de Schickard faite à partir des dessins laissés dans ses lettres à Kepler. Toute la partie supérieure de la machine correspond aux bâtonnets de Neper.

1623 ▶ Ébauche de la première machine à calculer

L'Allemand Wilhelm Schickard (1592-1635) tente de construire la première machine à calculer numérique de l'histoire pour aider l'astronome Kepler, à qui il écrit en 1623 : « ... Ce que tu fais par le calcul manuel, je l'ai récemment tenté mécaniquement et j'ai construit une machine qui compte immédiatement et automatiquement les nombres donnés, additionne, soustrait, multiplie et divise... Tu éclateras certainement de joie lorsque tu verras comment elle reporte les retenues des dizaines ou des centaines, ou bien les déduit dans les soustractions... » Elle devait permettre d'additionner et de soustraire des nombres à six chiffres. Les multiplications étaient reportées en additions successives à l'aide de bâtonnets de Neper présents sur la machine.



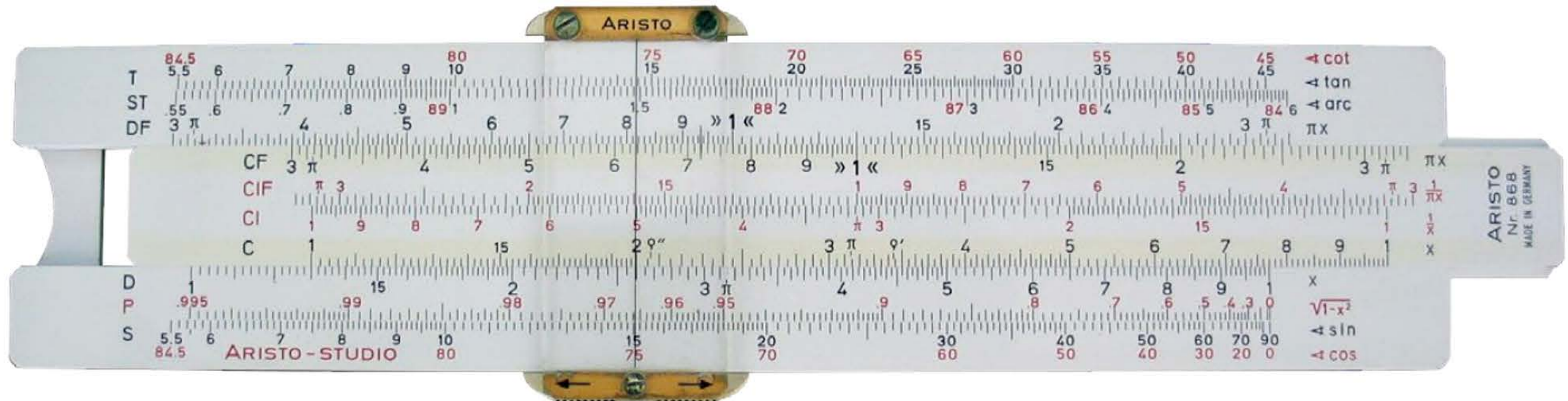
Dessins originaux de Schickard.



L'unique exemplaire fut détruit quelques mois plus tard dans un incendie et l'inventeur annonça à Kepler qu'il abandonnait le projet. C'est seulement en 1957 (même s'il en est ponctuellement fait mention aux XVIII^e et XIX^e siècles) qu'on retrouva dans des archives les lettres et un dessin envoyés à Kepler. On entreprit alors de reconstruire la machine. Plusieurs exemplaires existent à l'heure actuelle. Malheureusement ces reconstitutions améliorèrent le mécanisme de propagation de la retenue d'une manière non évoquée par Schickard, donc anachronique. Peut-être avait-il réussi à achever sa machine, mais elle ne fut probablement ni fonctionnelle, ni robuste, ni fiable.

1630 ▶ La règle à calcul

Les propriétés mathématiques des logarithmes inspirent l'invention de la règle à calcul en 1630 par William Oughtred (1574-1660). Circulaire ou rectiligne, la règle est composée d'échelles graduées et coulissantes permettant d'effectuer directement, par déplacement de réglettes et de curseurs, les opérations arithmétiques classiques. Elle se prête également à des opérations plus complexes — racines carrées et cubiques, calculs logarithmiques et trigonométriques. Ce petit instrument, portatif et facile à utiliser, sera perfectionné aux XIX^e et XX^e siècles, et restera le moyen matériel de calcul le plus couramment employé par les scientifiques, les ingénieurs et les étudiants jusqu'à l'apparition des premières calculettes électroniques vers 1970.



▶ Une règle à calcul du XX^e siècle montrant la multiplication $1,3 \times 2 = 2,6$.

1645 ▶ La Pascaline

Pour aider son père, collecteur de taxes, Blaise Pascal (1623-1662) conçoit en 1642 l'idée d'une machine à calculer. La démarche du jeune mathématicien est exemplaire du processus d'innovation. Schématiquement il a : perçu un besoin émergent ; répondu en concevant une machine ; développé celle-ci en « mariant » des techniques et des concepts préexistants, la mécanique horlogère et l'arithmétique décimale exprimée en chiffres indo-arabes ; identifié le problème crucial de la mécanisation du calcul — comment mécaniser le report de retenues ? Et il l'a résolu en inventant un dispositif, le sautoir. Celui-ci fonctionne suffisamment pour que la machine soit utilisable, mais sera ensuite perfectionné ou remplacé par des systèmes plus fiables et plus efficaces. C'est ce dispositif qui sépare les simples instruments de calcul (boulier, etc.) des *machines*.

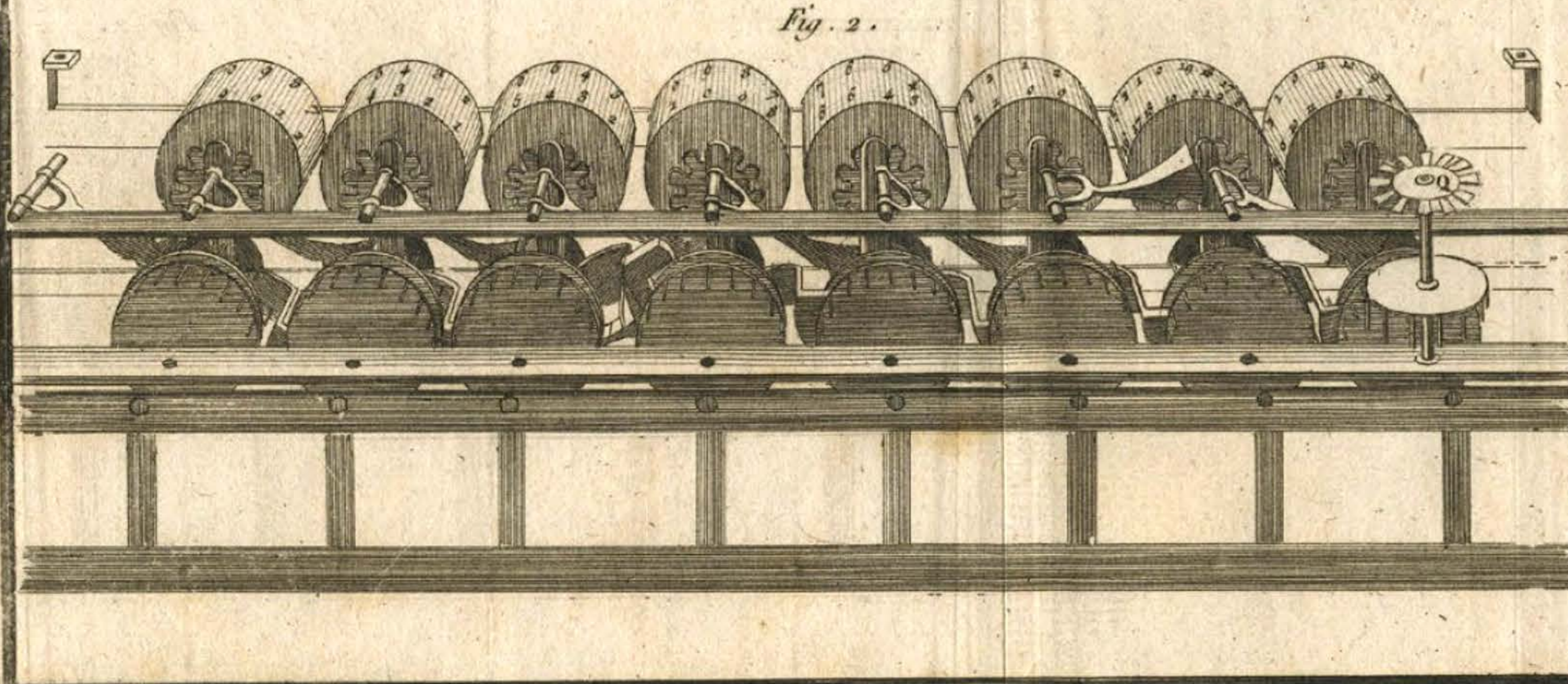
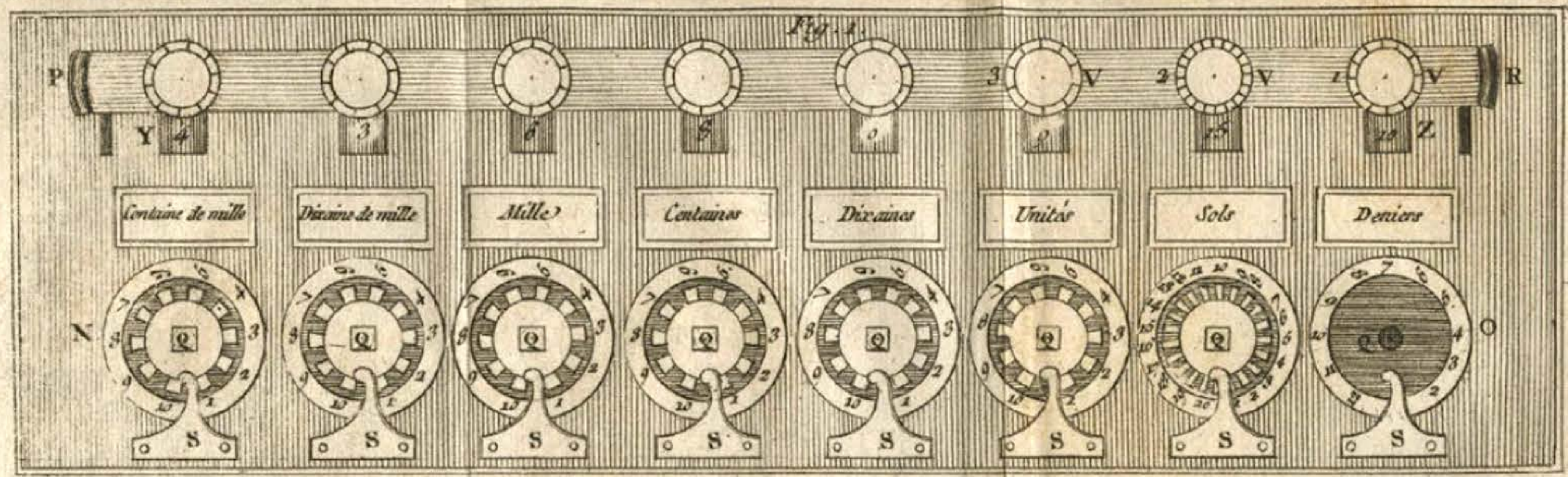
Après trois années de travail et plus de cinquante maquettes ou prototypes, Pascal présente sa première réalisation opérationnelle, capable d'additionner et de soustraire des nombres sur six chiffres ; des modèles non-décimaux, notamment en unités monétaires livres/

Machine à calculer
de Blaise Pascal
à six chiffres.

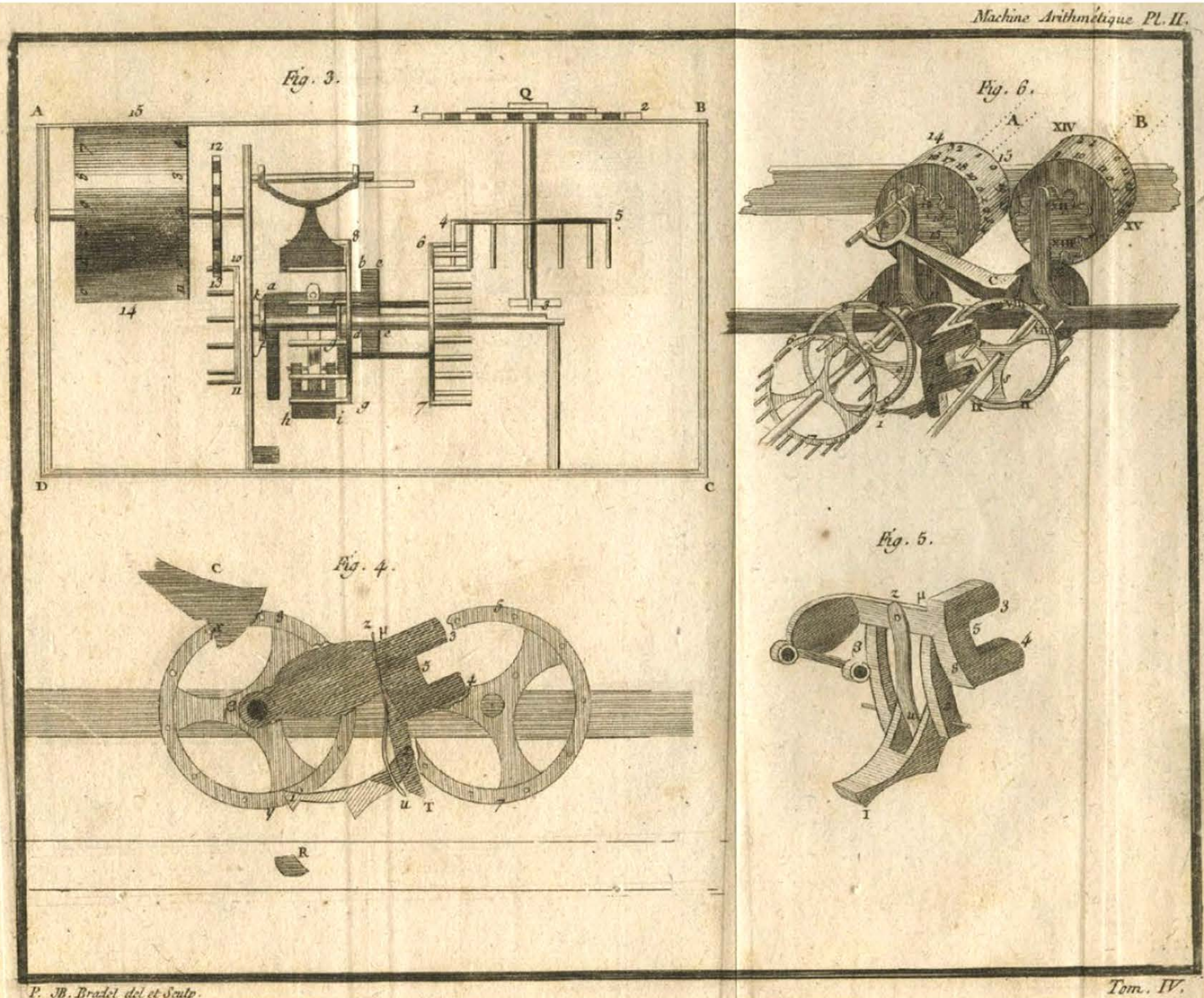


Intérieur de la machine arithmétique de Pascal (réplique vers 1970).

sous/deniers, sont construits à leur tour. La « Pascaline » est considérée comme la première machine à calculer ayant réellement fonctionné, la seule machine à calculer opérationnelle du XVII^e siècle et la première à être commercialisée (une vingtaine d'exemplaires), même si son prix élevé la rend peu accessible. C'est aussi la première à être « brevetée » (privilege royal de 1649) et la seule qui soit décrite dans *L'Encyclopédie* de Diderot & d'Alembert (1751). Si elle a peu d'impact sur les pratiques du calcul, son existence même révèle dans tous les milieux cultivés d'Europe qu'une machine peut effectuer des tâches intellectuelles.



Platine de la machine et l'ensemble de son mécanisme (Encyclopédie).



Mécanisme complet d'une roue ainsi que le sautoir de propagation de retenue.

P. JB. Bradel del et Sculp.

Tom. IV.

1669 ▶ Barrême publie ses barèmes

En 1669 François-Bertrand Barrême (1638-1703), arithméticien et expert-comptable sous Louis XIV, publie *Les Comptes faits, ou Le Tarif général de toutes les monnoyes*. Il produit bientôt d'autres manuels « nécessaires pour les comptables, avocats, notaires, procureurs, négociants, et généralement à toute sorte de conditions ». Ce sont essentiellement des tables numériques (qui ont demandé un énorme travail à l'auteur) donnant les résultats de milliers d'opérations arithmétiques courantes sur les marchandises, les unités de mesure ou les monnaies. Ces livres constituent donc des solutions bien plus pratiques et moins onéreuses (60 sols au XVIII^e siècle) que les machines à calculer. Pendant trois siècles, les tables numériques se diffuseront à des millions d'exemplaires et permettront à beaucoup de professionnels de se passer de moyens de calcul mécaniques.

A une Obole, Pite & Semipite la chose, qui est sept huitièmes, ou les $\frac{1}{4}$ & $\frac{1}{2}$ d'1 Denier.

2 vale.	1 d ob. & pite	40 valent	2 s 11 d
3 v	2 d obole semip.	50 v	3 s 7 obole
4 v	3 d obole	60 v	4 s 4 obole
5 v	4 d pite & sem.	70 v	5 s 1 pite
6 v	5 d pite	80 v	5 s 10
7 v	6 d semipite	90 v	6 s 6 ob.p.
8 v	7 d	100 v	7 s 3 obole
9 v	7 d ob.p. semip.	200 v	14 s 7
10 v	8 d obole pite	300 v	1 L 1 s 10 obole
11 v	9 d obole semip.	400 v	1 L 9 s 2
12 v	10 d obole	500 v	1 L 16 s 5 obole
13 v	11 d pite semip.	600 v	2 L 3 s 9
14 v	1 s d pite	700 v	2 L 11 s obole
15 v	1 s 1 d semipite	800 v	2 L 18 s 4
16 v	1 s 2 d	900 v	3 L 5 s 7 obola
17 v	1 s 2 d ob.p. semip.	1000 v	3 L 12 s 11
18 v	1 s 3 d obole pite	2000 v	7 L 5 s 10
19 v	1 s 4 d ob. semipite	3000 v	10 L 18 s 9
20 v	1 s 5 d obole	4000 v	14 L 11 s 8
21 v	1 s 6 d pite semipit.	5000 v	18 L 4 s 7
22 v	1 s 7 d pite	6000 v	21 L 17 s 6
23 v	1 s 8 d semipite	7000 v	25 L 10 s 5
24 v	1 s 9 d	8000 v	29 L 3 s 4
25 v	1 s 9 d ob.p. semip.	9000 v	32 L 16 s 3
26 v	1 s 10 d obole pite	10000 v	36 L 9 s 2
27 v	1 s 11 d ob. semipite	20000 v	72 L 18 s 4
28 v	2 s d obole	30000 v	109 L 7 s 6
29 v	2 s 1 d pite semip.	40000 v	145 L 16 s 8
30 v	2 s 2 d pite	50000 v	182 L 5 s 10
31 v	2 s 3 d semipite	60000 v	218 L 15 s
32 v	2 s 4 d	70000 v	255 L 4 s 2
33 v	2 s 4 d ob.p. semip.	80000 v	291 L 13 s 4
34 v	2 s 5 d obole pite	90000 v	328 L 2 s 6
35 v	2 s 6 d obole semip.	100000 v	364 L 11 s 8
36 v	2 s 7 d obole	200000 v	729 L 3 s 4
37 v	2 s 8 d pite semip.	300000 v	1093 L 15 s
38 v	2 s 9 d pite	400000 v	1458 L 6 s 8
39 v	2 s 10 d semipite	500000 v	1822 L 18 s 4

A 1 Denier la chose.

2 valent	2 d	39 valent	3 s 3 d
3 valent	3 d	40 valent	3 s 4 d
4 valent	4	50 valent	4 s 2
5 valent	5	60 valent	5 s
6 valent	6	70 valent	5 s 10
7 valent	7	80 valent	6 s 8
8 valent	8	90 valent	7 s 6
9 valent	9	100 valent	8 s 4
10 valent	10	200 valent	16 s 8
11 valent	11	300 valent	1 L 5 s
12 valent	1 s	400 valent	1 L 13 s 4
13 valent	1 s 1	500 valent	2 L 1 s 8
14 valent	1 s 2	600 valent	2 L 10 s
15 valent	1 s 3	700 valent	2 L 18 s 4
16 valent	1 s 4	800 valent	3 L 6 s 8
17 valent	1 s 5	900 valent	3 L 15 s
18 valent	1 s 6	1000 valent	4 L 3 s 4
19 valent	1 s 7	2000 valent	8 L 6 s 8
20 valent	1 s 8	3000 valent	12 L 10 s
21 valent	1 s 9	4000 valent	16 L 13 s 4
22 valent	1 s 10	5000 valent	20 L 16 s 8
23 valent	1 s 11	6000 valent	25 L
24 valent	2 s	7000 valent	29 L 3 s 4
25 valent	2 s 1	8000 valent	33 L 6 s 8
26 valent	2 s 2	9000 valent	37 L 10 s
27 valent	2 s 3	10000 valent	41 L 13 s 4
28 valent	2 s 4	20000 valent	83 L 6 s 8
29 valent	2 s 5	30000 valent	125 L
30 valent	2 s 6	40000 valent	166 L 13 s 4
31 valent	2 s 7	50000 valent	208 L 6 s 8
32 valent	2 s 8	60000 valent	250 L
33 valent	2 s 9	70000 valent	291 L 13 s 4
34 valent	2 s 10	80000 valent	333 L 6 s 8
35 valent	2 s 11	90000 valent	375 L
36 valent	3 s	100000 valent	416 L 13 s 4
37 valent	3 s 1	200000 valent	833 L 6 s 8
38 valent	3 s 2	300000 valent	1250 L

A 1 d par Jour, pour 1 An revient à 1 L 10 s 5 d

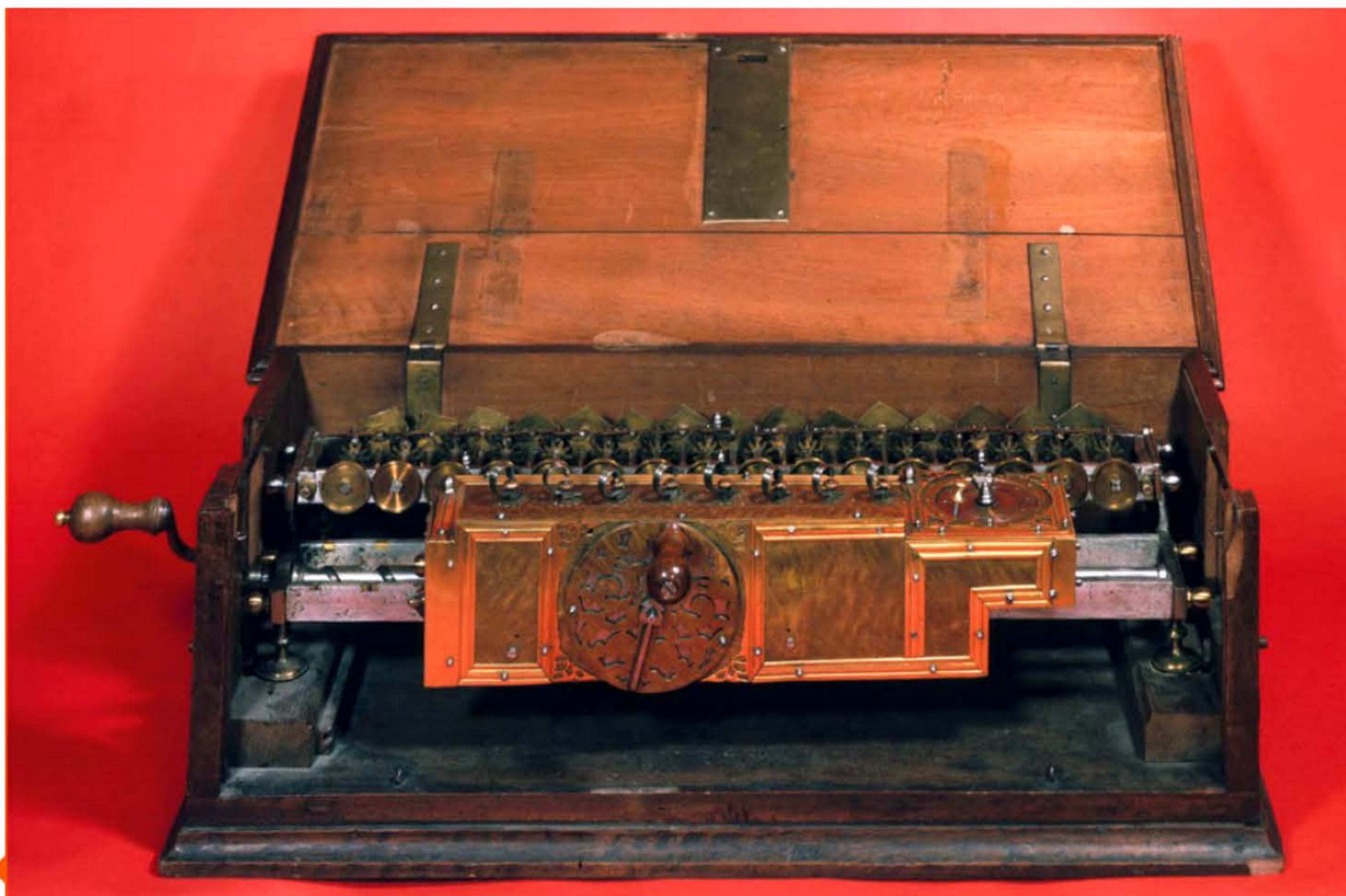


Le Barrême : des calculs prêts à l'emploi (1669).

1694 ▶ Multiplicatrice de Leibniz

Ayant pris connaissance des travaux de Pascal, le philosophe et mathématicien allemand Gottfried Leibniz (1646-1716) met difficilement au point en vingt ans la première machine permettant la multiplication et la division. Théoriquement capable de multiplier des nombres de huit chiffres, elle ne connut pas le succès en raison de défauts de conception l'empêchant de fonctionner correctement

(principalement un problème de report de retenue). Elle apporta plusieurs innovations technologiques comme le chariot mobile et le tambour à dents inégales. Il n'en existe qu'un exemplaire connu, exposé à la Bibliothèque nationale de Basse-Saxe. Il fut en fait oublié pendant plus de cent ans avant d'être redécouvert à la fin du XIX^e siècle dans un grenier de l'université de Göttingen par une équipe d'ouvriers venue effectuer des réparations.



Machine quatre opérations
de Leibniz (1690).

1690

1700

Résumons un demi-siècle d'innovations :

- **Schickard** a inventé une additionneuse réversible effectuant les quatre opérations (1623), qui n'a pas eu d'influence ;
- **Pascal** a inventé la machine arithmétique, la première additionneuse à monnaies complexes et à soustraction par complément (1645) ;
- **Leibniz** a créé la première machine à calculer complète propre aux quatre opérations (1694).

D'autres modèles fonctionnels de machines à calculer seront mis au point tout au long du XVIII^e siècle mais resteront des curiosités de salon, sans développement commercial. Cela en raison de leur prix et de leur fiabilité douteuse, due à l'imprécision des techniques de fabrication de l'époque ; et à la quasi-inexistence d'une demande solvable pour de telles machines. Alors qu'un produit comparable par sa technique et son niveau de prix, la pendule, se diffuse par dizaines de milliers d'exemplaires. Elle seule donne l'heure jour et nuit continuellement, tandis qu'on dispose de plusieurs moyens de calculer à moindres frais.

1793 ▶ L'usine à calcul de Gaspard de Prony

L'introduction du système décimal sous la Révolution française implique l'élaboration de nouvelles tables logarithmiques et trigonométriques, destinées notamment à la constitution du nouveau cadastre. Un ingénieur des Ponts et Chaussées, Gaspard Riche de Prony, organise scientifiquement la production de ces tables : sous la direction d'un groupe d'éminents mathématiciens qui définissent les méthodes de calcul les plus efficaces (méthode des différences finies), une équipe de spécialistes traduit les formules algébriques correspondantes en données numériques. Celles-ci sont ensuite traitées par une centaine de tâcherons du calcul sur des feuilles pré-imprimées ; chaque opération est répétée indépendamment par deux employés différents afin de détecter les erreurs. Appliquant pour la première fois le principe de division du travail au travail intellectuel, Prony invente une organisation qui deviendra courante au XX^e siècle : le service de calcul.



Métier à tisser Jacquard (voir page suivante).

En 1851, dans une France qui se modernise, Thomas présente son nouvel arithmomètre au public. C'est le début d'une grande réussite commerciale, lançant l'industrie des machines à calculer. Sa machine est compacte, fiable et robuste. Plus de 5 000 exemplaires seront produits de 1851 à 1915. Le mot *arithmomètre* sera adopté dans plusieurs langues, tel le russe, comme synonyme de *calculateur*.

D'innombrables modèles de machines à calculer mécaniques seront inventés ensuite pendant plus d'un siècle, à manivelles puis à clavier, bénéficiant de l'électrification à partir de 1890. Les plus répandus (Brunsviga, Curta, Olivetti...) coexisteront avec les premières générations d'ordinateurs et ne seront définitivement supplantés que par les calculettes électroniques de poche dans les années 1970.

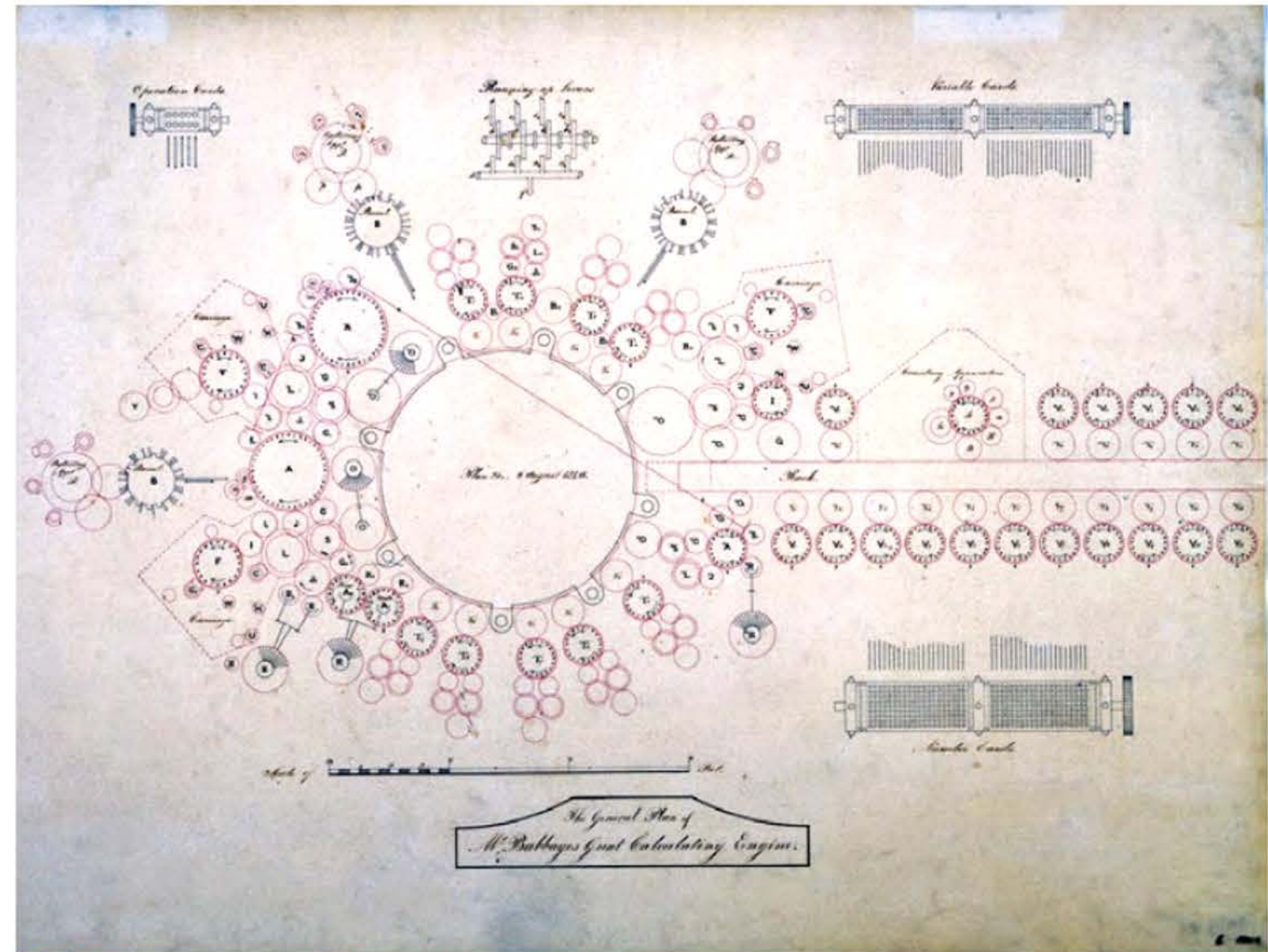
1837 ▶ Machine analytique



Charles Babbage (photo de 1860).

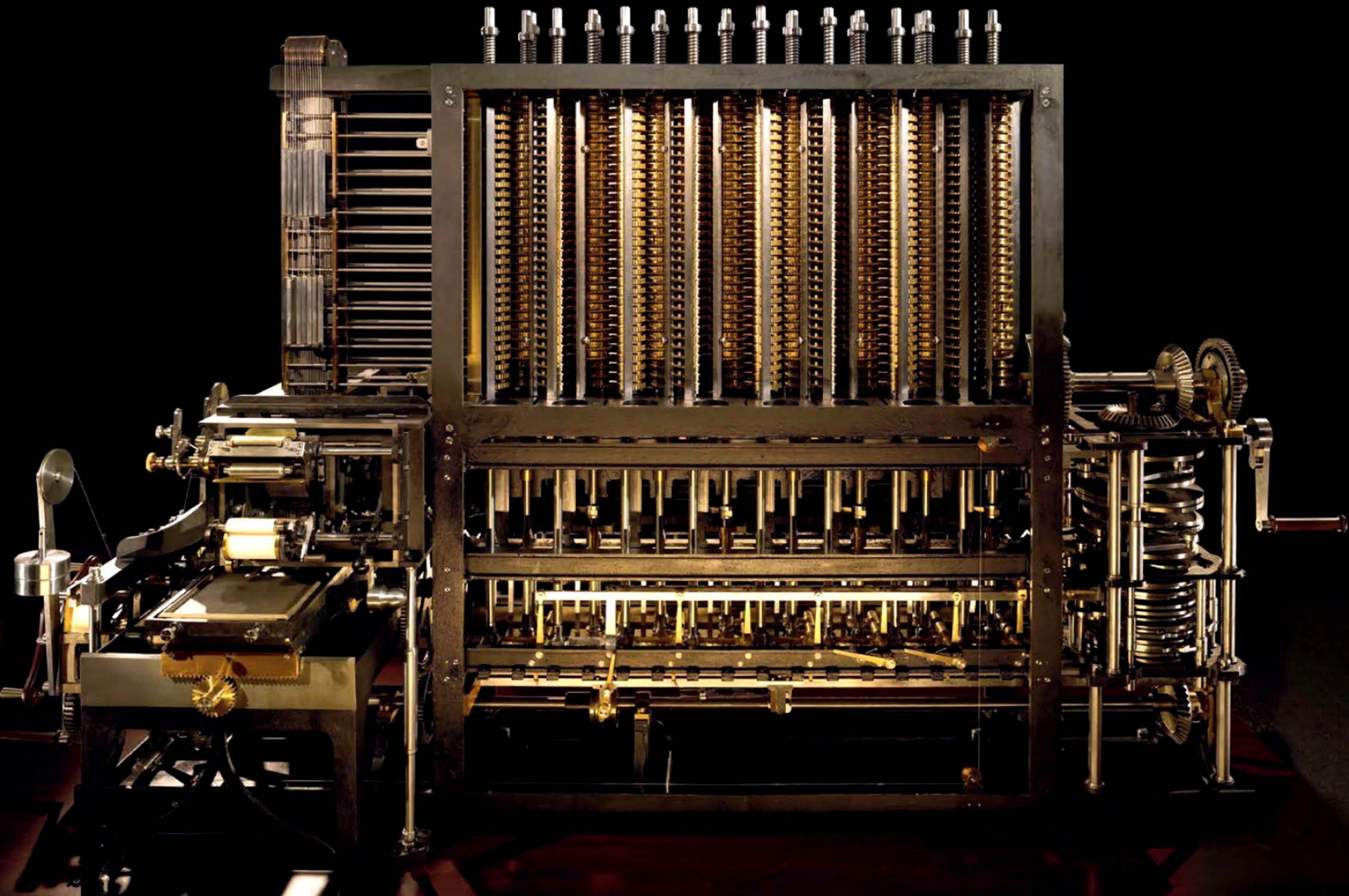
Le mathématicien anglais Charles Babbage (1791-1871) veut associer l'analyse mathématique avec les progrès du machinisme pour développer un calculateur dans un but pratique : éliminer les erreurs contenues dans les tables mathématiques (erreurs de calcul, de recopie ou d'impression). Des tables nautiques ou astronomiques fiables sont vitales pour une puissance maritime, et les autorités sont prêtes à soutenir toute invention qui les améliorerait. En 1822 il présente à la Royal Astronomical Society

les plans d'une *machine aux différences finies*, méthode mathématique pour ramener des progressions polynomiales à des progressions arithmétiques.



Dessin original de Babbage extrait du « plan général de la machine analytique ».

Ambitieuse et géniale construction, confiée en 1823 au meilleur atelier de mécanique de précision anglais, la machine à différences ne verra pas le jour. Babbage s'est en effet lancé dans le dessin d'une deuxième machine automatique à différences et se désintéresse de la première, dont la construction est arrêtée en 1842. Ce chantier est à son tour abandonné en 1849, car parallèlement Babbage met au point les plans d'une autre machine encore plus puissante, la *machine analytique*, que l'on a pu considérer comme l'ancêtre des ordinateurs.



Cette machine analytique entièrement mécanique innove sur tous les plans, notamment par son architecture. Ayant une mémoire, une unité arithmétique et logique et un lecteur de cartes perforées (idée empruntée aux métiers Jacquard), elle est générale au sens où elle est programmée par des instructions sur les cartes, qui peuvent aussi porter des constantes ou des variables. Certaines cartes peuvent générer un test ou effectuer une boucle ou encore appeler un sous-programme en annexe (pour employer le vocabulaire des informaticiens modernes).

La première description scientifique de la machine est faite par le mathématicien italien Luigi Federico Menabrea, alors enseignant de mécanique. Suite à des discussions avec Babbage lors d'un congrès scientifique à Turin, il publie un article intitulé « Notions sur la machine analytique de M. Charles Babbage » dans le 41^e tome de la *Bibliothèque Internationale de Genève* en octobre 1842. Une amie de Babbage, Ada Lovelace (1815-1852), fille du poète Byron, en publie une traduction anglaise largement enrichie de ses propres commentaires, exposant clairement le concept nouveau d'un calculateur universel. Elle y ajoute un tableau des opérations successives que devrait effectuer la machine pour calculer un nombre de Bernoulli (B_7) : sans être un « programme » codé, c'est une analyse algorithmique.

Augusta Ada King,
comtesse de Lovelace.



Babbage a malheureusement un caractère difficile. Passionné par ses projets, il ne comprend pas que ce qui intéresse le gouvernement n'est pas la conception d'une belle machine, mais la production de tables pour la Marine. Autoritaire et versatile, ses fréquents changements de plans finissent par décourager ses *sponsors* et par le brouiller avec le patron de l'atelier de mécanique. C'est la vraie cause de l'abandon de ses machines, qui étaient pourtant faisables en mobilisant les meilleures aptitudes technologiques et financières de l'époque.

Certain que l'avenir lui donnerait raison, l'irascible génie s'est efforcé de laisser le maximum de plans et dessins. Des versions réduites de la machine à différences seront réalisées par les Suédois Pehr et Edvard Scheutz vers 1850. Une version partielle sera construite par son fils Henry après 1880. Mieux encore, un siècle plus tard le Science Museum de Londres a entrepris d'étudier minutieusement la *Difference Engine n°2* et de la réaliser en respectant scrupuleusement les contraintes techniques du temps de Babbage. Spectaculaire, cette machine-hommage a été inaugurée en 1991 pour le bicentenaire du grand homme. Son fonctionnement démontre que le projet était viable.

Entre temps, le concept de calculateur programmable imaginé par Babbage aura inspiré une longue suite d'inventeurs que l'on rencontrera dans les chapitres suivants.

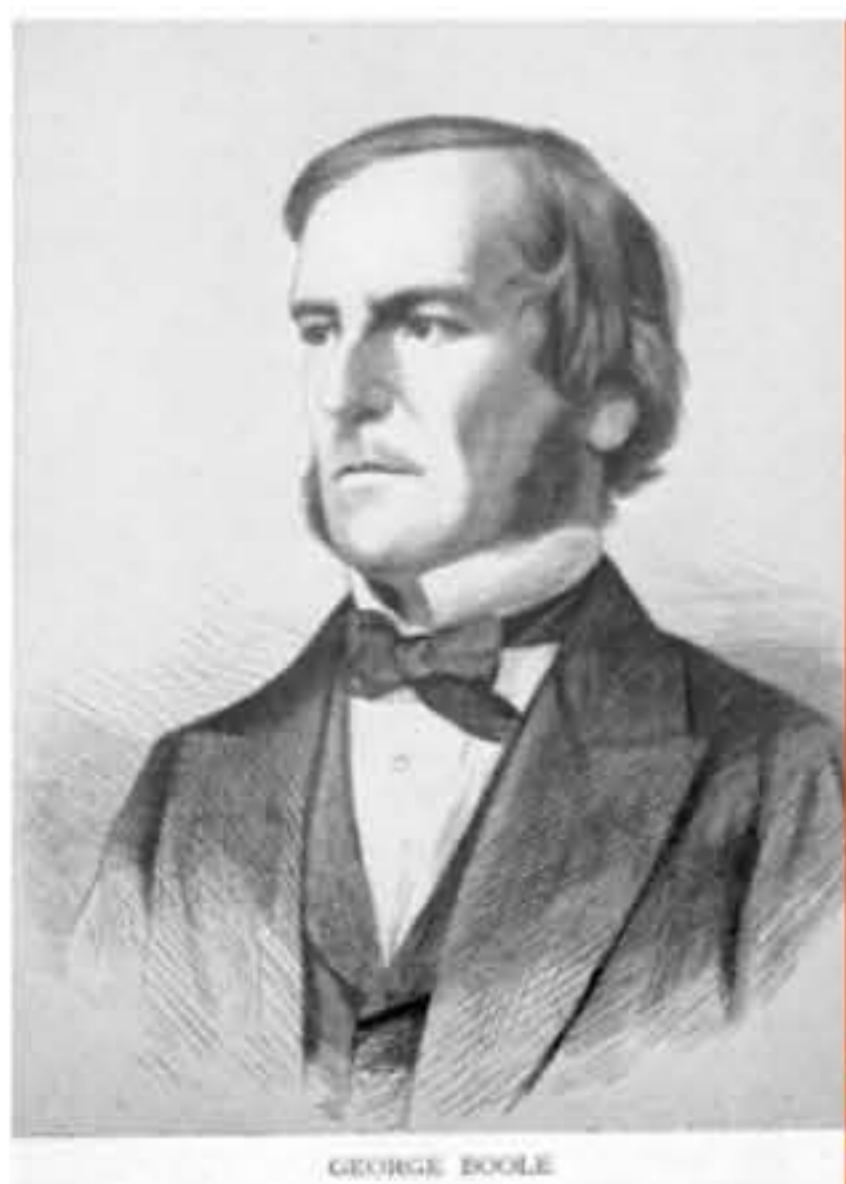
1838 ▶ Le code Morse

Samuel Morse (1791-1872), peintre de son état, développe le télégraphe aux États-Unis à l'aide d'un système d'électro-aimants et de relais inventés quelques années auparavant par Joseph Henry. Conjointement avec son assistant Alfred Vail, il introduit son code ternaire fait de points, de traits et de silences pour transmettre l'alphabet. Le code Morse international encore utilisé de nos jours en sera une version simplifiée, proposée par l'Allemand Friedrich Gerke. C'est une révolution dans les communications : un système de signes permet d'utiliser l'énergie électrique pour transmettre des informations à distance.

Machine à différence n°2 de Babbage réalisée en 2008 au Computer History Museum (Ca.), copie de celle du Science Museum de Londres.

1854 ▶ La logique Booléenne

Avec son ouvrage *Une investigation dans les lois de la pensée, sur lesquelles sont fondées les théories mathématiques de la logique et des probabilités*, le mathématicien et philosophe anglais George Boole



(1815-1864) fonde une algèbre de la logique. Son but est d'étendre et de compléter la logique d'Aristote, mais ce faisant Boole ramène la logique dans le domaine mathématique. Il faudra attendre 1910 et les *Principia Mathematica* des logiciens britanniques Whitehead et Russell pour que l'algèbre de Boole ait une application... théorique : la logique symbolique.

George Boole.

1865 ▶ CCITT

Le Comité consultatif international téléphonique et télégraphique (CCITT) est un forum de concertation, créé dans le cadre de l'Union Internationale des Télécommunications (UIT), pour faciliter l'interconnexion des réseaux de télécommunications qui se sont développés dans différents pays. Un siècle après sa fondation, le CCITT commencera à étudier la normalisation des transmissions de données via les systèmes téléphoniques des PTT. Bien que ses standards ne soient que des recommandations facultatives, ils sont généralement adoptés dans les législations nationales comme le meilleur moyen d'établir des normes sans référence aux industriels qui produisent les matériels. Ainsi la plupart des modems, y compris ceux produits dans le bloc soviétique à partir de 1970, se conformeront aux avis du CCITT. Le CCITT fonctionnera jusqu'en 1993 — année où Internet s'ouvrira au commerce et changera les fondamentaux dans ce domaine : TCP/IP ne doit rien au CCITT !

1866 ▶ Premier câble transatlantique

Après plusieurs essais infructueux (rupture du câble, survoltage amenant à sa destruction...), un câble transatlantique est tiré entre l'Irlande et le Canada, permettant la communication télégraphique entre l'Europe et l'Amérique. Cette prouesse technique est aussi un avantage stratégique décisif pour les puissances qui contrôlent le câble — à l'époque le Royaume-Uni et les États-Unis. De nos jours, la quasi totalité du trafic intercontinental mondial passe par plus d'un million de fibres optiques posées sur le fond des océans, avec des débits dépassant le Térabit par seconde.

1867 ▶ La machine à écrire

L'imprimeur américain Christopher Latham Sholes (1819-1890) invente en 1867 la première machine à écrire pratique et utilisable. En 1873 il améliore le clavier en disposant les touches suivant la séquence QWERTY, afin de séparer au maximum les paires de lettres successives les plus classiques en anglais, évitant ainsi les blocages de la machine par appui trop rapproché de deux touches trop proches. Les habitudes des utilisateurs étant rapidement prises, tous les claviers postérieurs conserveront cet ordre avec des variantes linguistiques comme AZERTY. Malgré de nombreuses propositions plus ergonomiques, il reste de nos jours le standard des claviers d'ordinateur.



Un des premiers modèles de machines à écrire équipés du clavier qwerty

1873 ▶ Arithmomètre d'Odhner : le best-seller mondial des calculatrices de bureau

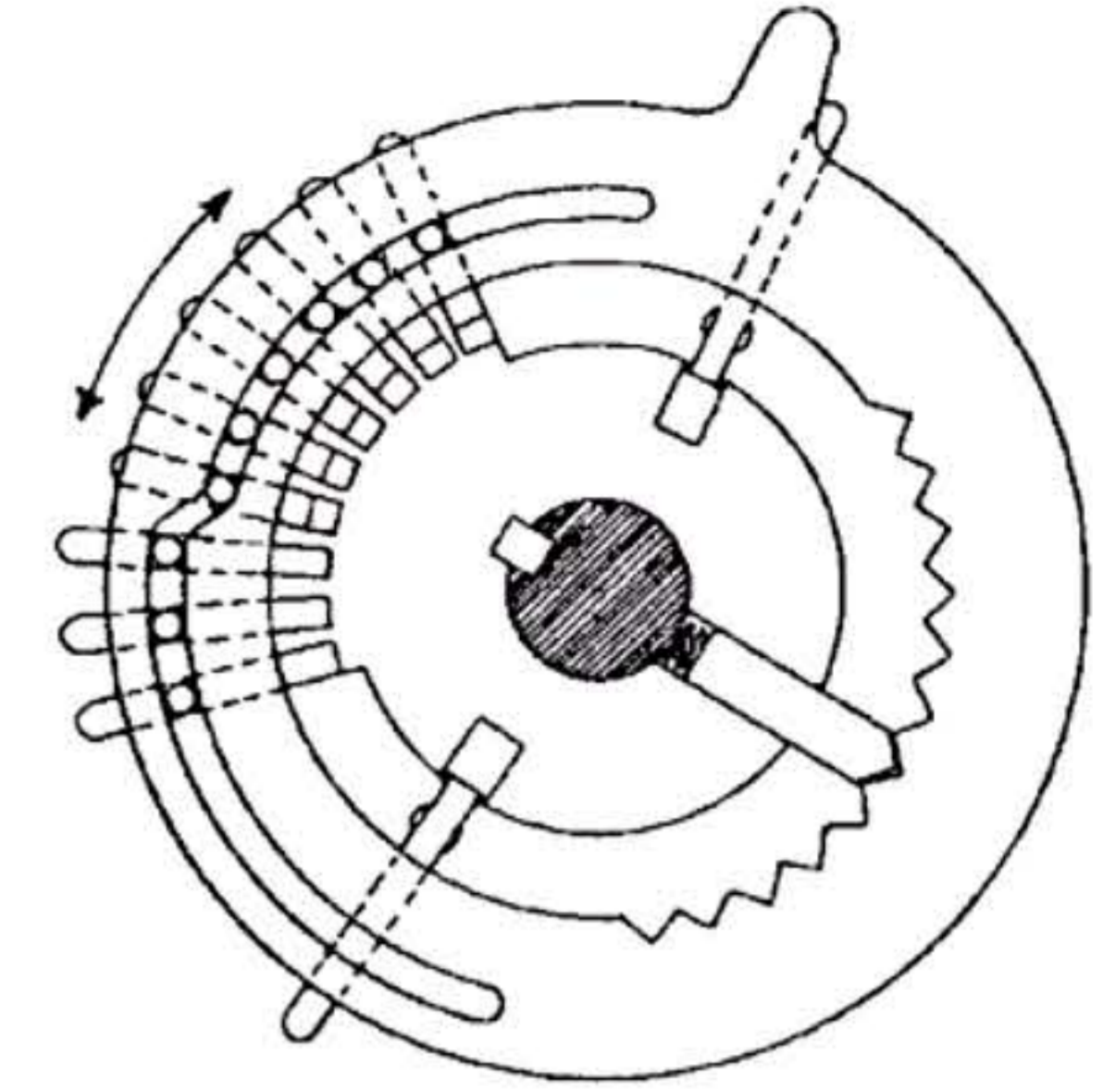


Willgodt Theophil
Odhner.

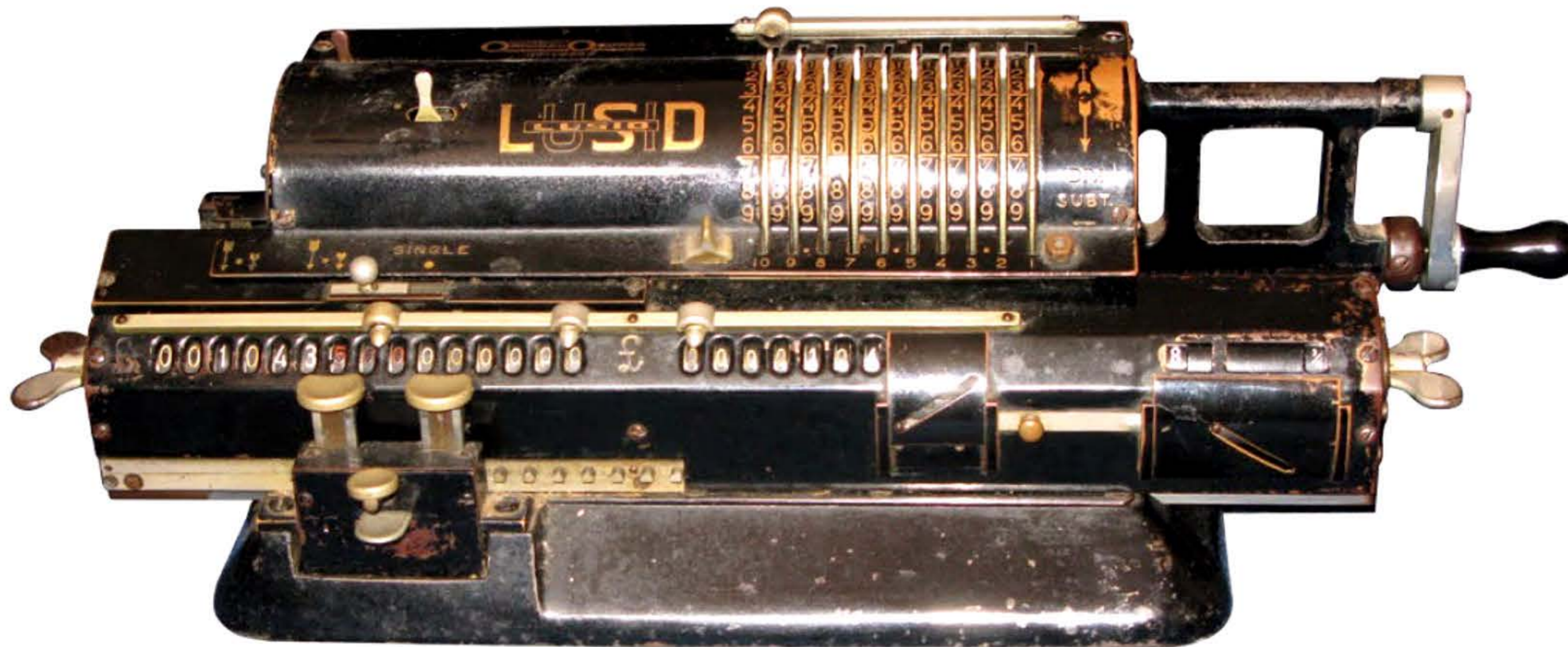
Après de nombreuses années de réflexion et d'études, le Suédois W. T. Odhner (1845-1905) remplace les cylindres de Leibniz équipant l'arithmomètre de Thomas de Colmar par des roues à nombre variable de dents, permettant d'avoir ainsi une machine plus légère et plus compacte. Il commercialise ses premiers modèles en 1890 à St-Petersbourg où il fonde une usine avec des capitaux Nobel. Une licence est ensuite acquise en Allemagne par un fabricant de machines à coudre de Brunswick, qui produit la calculatrice sous la marque « Brunsviga ».

Protégée par des rafales de brevets (ce qui n'empêche pas d'innombrables contrefaçons), cette machine devient la calculatrice de bureau par excellence dans la première moitié du xx^e siècle. On estime que 20 000 Brunsviga ont été produites entre 1886 et 1912. De nouvelles améliorations ont encore amplifié le succès par la suite.

Deux ans avant Odhner, Frank Baldwin avait également breveté aux États-Unis une machine à calculer basée sur le même principe de roue variable mais sa commercialisation était restée beaucoup plus confidentielle que celle de la machine d'Odhner.



Lorsque la couronne interne tourne (attachée à une manette latérale mobile), les dents sont poussées en fonction de sa position.

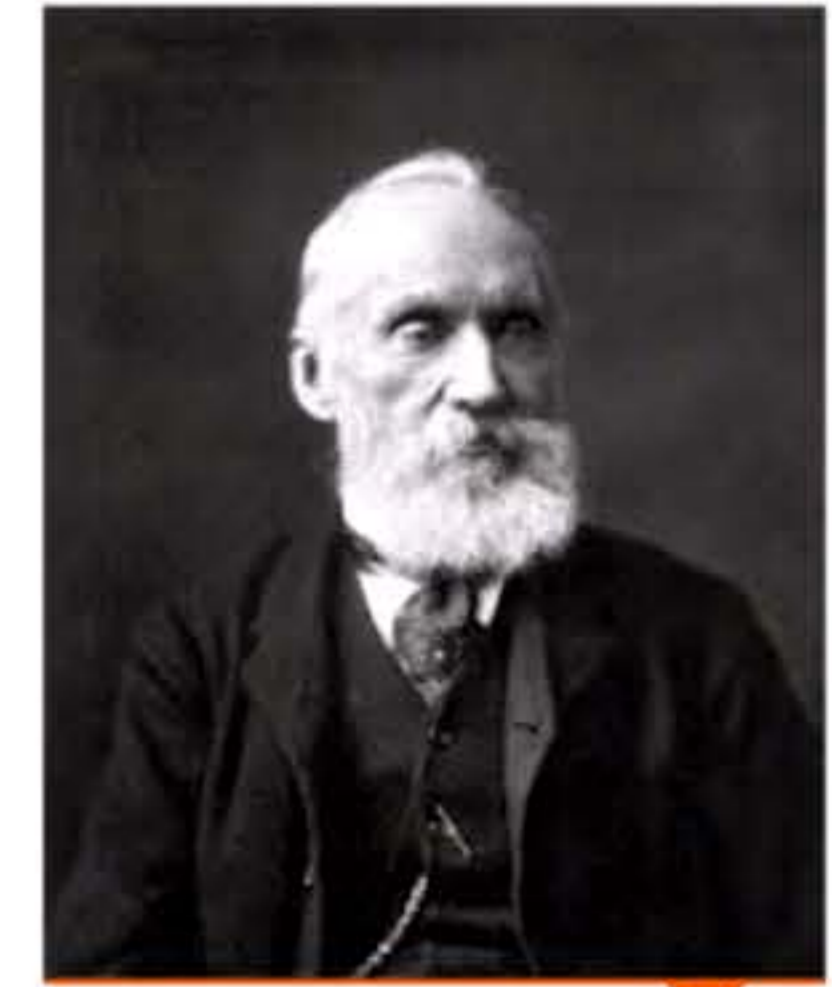


Arithmomètre d'Odhner.

► Premier calculateur de marées en 1872.

1875 ► Analyseur harmonique : l'invention du calculateur analogique

Le physicien William Thomson (1824-1907), devenu Lord Kelvin après son anoblissement, construit un analyseur harmonique, machine qui calcule les coefficients de Fourier d'une fonction à l'aide de disques, sphères et cylindres reproduisant une intégration mathématique ; puis un calculateur de marées, appareil effectuant l'opération inverse, c'est-à-dire la somme de fonctions sinusoïdales à l'aide de disques mobiles chaînés par une corde. C'est la naissance du calculateur analogique qui résout une équation différentielle en substituant d'autres paramètres physiques aux variables de l'équation : on construit alors une machine (mécanique, hydraulique ou électrique), étrangère au problème initial, mais dont le fonctionnement est régi par une équation semblable ; on travaille par « analogie » entre le problème et la machine : au lieu de « compter » le résultat comme ferait un ordinateur numérique, un calculateur analogique le mesure.



William Thomson,
Lord Kelvin.

1876 ► Le téléphone

Parallèlement aux travaux d'autres inventeurs comme Antonio Meucci ou Elisha Gray, Alexander Graham Bell (1847-1922) dépose un brevet concernant la transmission de la voix à distance à l'aide de l'électricité ; le téléphone est né. Les technologies et les concepts développés dans les télécommunications (commutation, quantification de



Combiné téléphonique Berthon Ader de 1897.

1876

l'information, etc.) seront à la base de la culture professionnelle des premiers concepteurs d'ordinateurs. Le réseau téléphonique commuté (RTC), construit pour des transmissions analogiques, sera aussi utilisé dans la seconde moitié du xx^e siècle pour transmettre les données des premiers réseaux informatiques. Inversement, à partir des années 1980, on fera circuler la voix sur les nouveaux réseaux numériques.

1876 ▶ Additionneur de Tchebychev

Le mathématicien russe Pafnouti L. Tchebychev (1821-1894) invente un dispositif d'addition continue sans propagation de retenue, résolvant l'un des problèmes apparus avec la Pascaline. Ce procédé permet de construire des machines à calculer très rapides. Il sera utilisé aux États-Unis dans une machine à additionner Burroughs de 1915, et en 1945 dans la calculatrice Marchant (1 350 tours/minute, soit plus de 22 additions par seconde en pointe) qui restera employée jusqu'à la fin des années 1960.



Calculatrice de Tchebychev (1876).

1885 ▶ L'Amérique entre en scène

S'inspirant d'abord des développements européens, puis déployant leur propre capacité créatrice, des techniciens et des entrepreneurs améliorent et industrialisent des machines à calculer. Ils répondent à un marché intérieur en pleine croissance, où se créent de grandes organisations qui inventent de nouveaux modes de gestion, tandis que la main d'œuvre qualifiée est rare et chère. L'industrie mécanique de précision, qui a d'abord fabriqué des armes à feu puis des machines à écrire (Remington), offre des savoir-faire propices à l'innovation. Ainsi, le mariage de la calculatrice et de la machine à écrire, associant les mécanismes arithmétiques avec le clavier, engendre la machine comptable. L'ajout d'un petit moteur électrique permet ensuite de réduire l'effort musculaire de l'utilisateur et d'actionner une imprimante.

À la suite de Felt et Tarrant, de Franck S. Baldwin, de l'employé de banque Burroughs et d'autres, un nouveau secteur industriel se forme. Bientôt dominé par des *majors* comme National Cash Register (NCR), il contribue à transformer le mode de vie américain dont l'image sera bientôt associée à l'obsession des données chiffrées. Il initie la production en masse des machines arithmétiques : NCR vend 25 000 caisses enregistreuses par an dès 1900, 100 000 en 1910. Une fois amorties sur le marché nord-américain, celles-ci inondent ensuite l'Europe où seule l'industrie allemande saura vraiment résister.

Les principaux constructeurs, comme Burroughs ou NCR, se convertiront à l'électronique dans la seconde moitié du xx^e siècle et resteront des acteurs importants de l'industrie informatique.



Machine à écrire additionneuse Ellis (1910).



Pool de machines comptables Burroughs-Moon-Hopkins dans une banque française (vers 1930).



Calculatrice Rheinmetall (1932).

1889 ▶ La multiplicatrice directe

Toutes les machines à calculer précédentes effectuaient une multiplication par une série d'additions : multiplier par 8 revenait à tourner huit fois la manivelle pour additionner à chaque fois le multiplicande (nombre à multiplier). À 19 ans, Léon Bollée (1870-1913) présente une remarquable invention : la machine à multiplication directe. Son secret, des plaques en métal reproduisant la table de Pythagore : pour chaque couple de chiffres, deux tiges de longueur variable donnent les chiffres des dizaines et des unités de leur produit et permettent ainsi de faire avancer les totaliseurs.

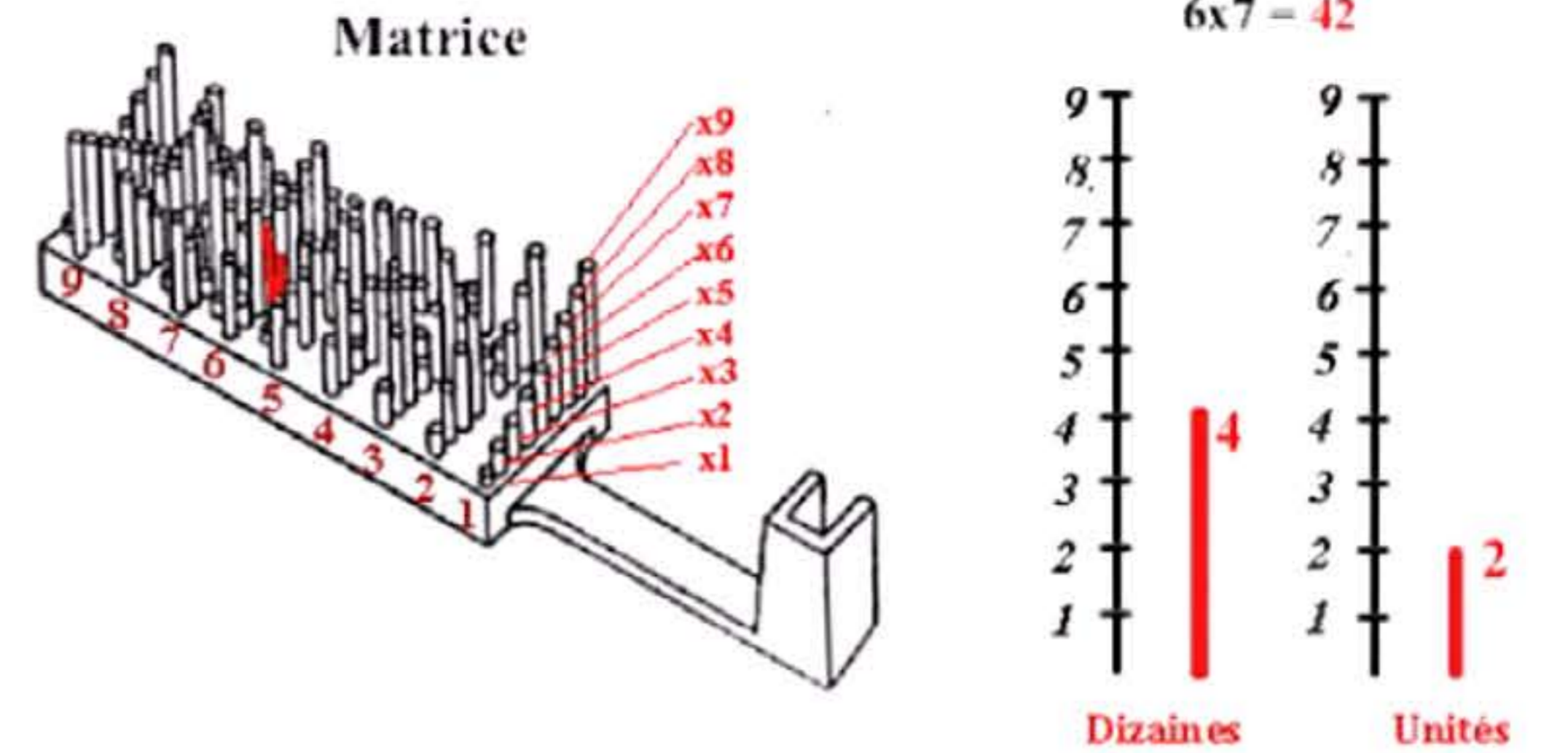
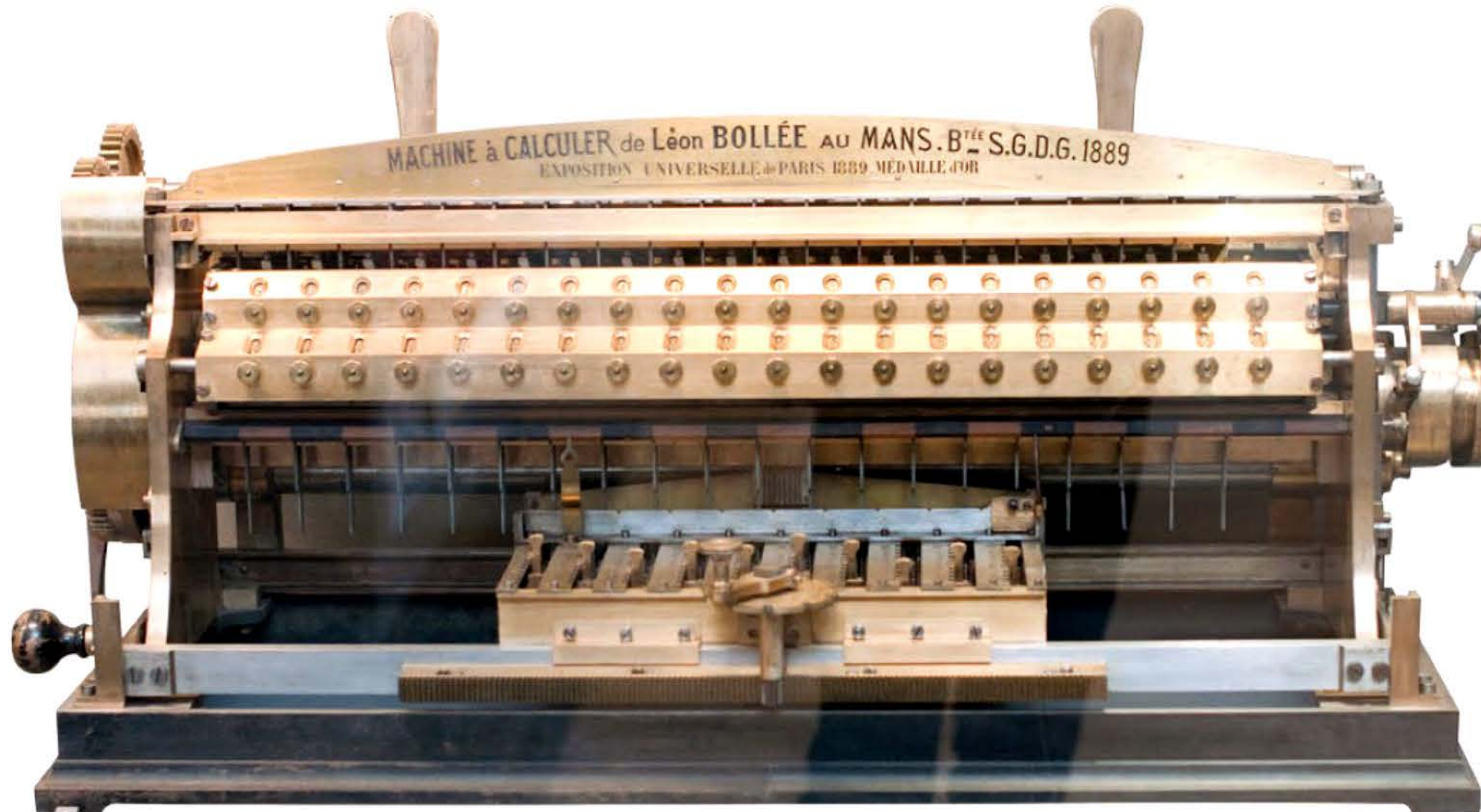


Table de Pythagore matérialisant tous les produits.

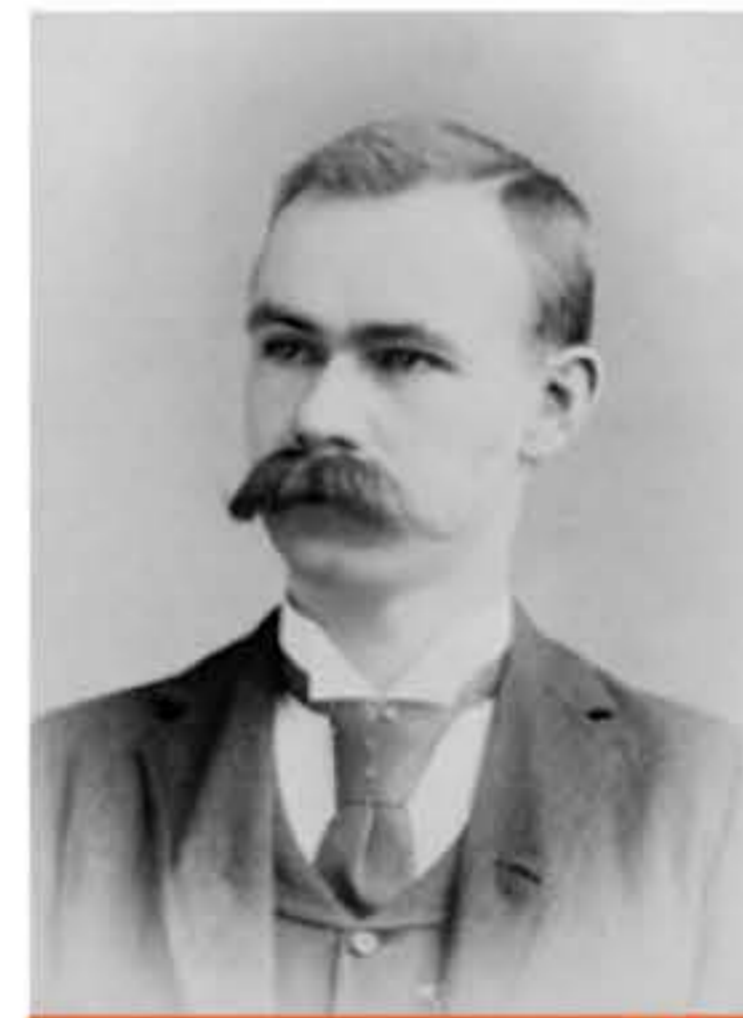


Multiplicatrice directe
de Léon Bollée.

C'est, sous une forme matérielle, ce qu'un informaticien d'aujourd'hui appellerait un « sous-programme ». Le procédé sera repris dans de nombreuses machines ultérieures, y compris en mécanographie comptable. La machine reçoit une médaille d'or à l'exposition universelle de 1889 ; mais lourde, encombrante et chère, elle n'a pas de succès commercial. Et Léon Bollée, bien qu'industriel, ne transforme pas son invention en produit de série. Des machines à multiplication directe sont mises au point et industrialisées outre-Rhin (modèle « Millionnaire ») et en Amérique (Moon-Hopkins). Léon Bollée continuera sa vie d'inventeur, devenant l'un des premiers constructeurs d'automobiles.

1890 ▶ Début de la mécanographie

Afin d'ajuster l'organisation politique des États-Unis au poids démographique des états, qui évolue vite, la constitution américaine impose d'effectuer tous les dix ans un recensement de la population. Le traitement manuel des données du recensement de 1880 a été si fastidieux que ses derniers résultats ne paraissent qu'en 1888 et sont donc périmés. Le gouvernement fédéral cherche un système plus efficace pour celui de 1890. Herman Hollerith (1860-1929) remporte l'appel d'offres en proposant de coder les données par des trous sur des cartes, et d'accélérer le comptage en utilisant un appareillage électrique à base de trieuses et de tabultrices à compteurs.



Hermann Hollerith
vers 1888.

Une de *Scientific American* d'août 1890 présentant les tabultrices Hollerith du recensement américain.





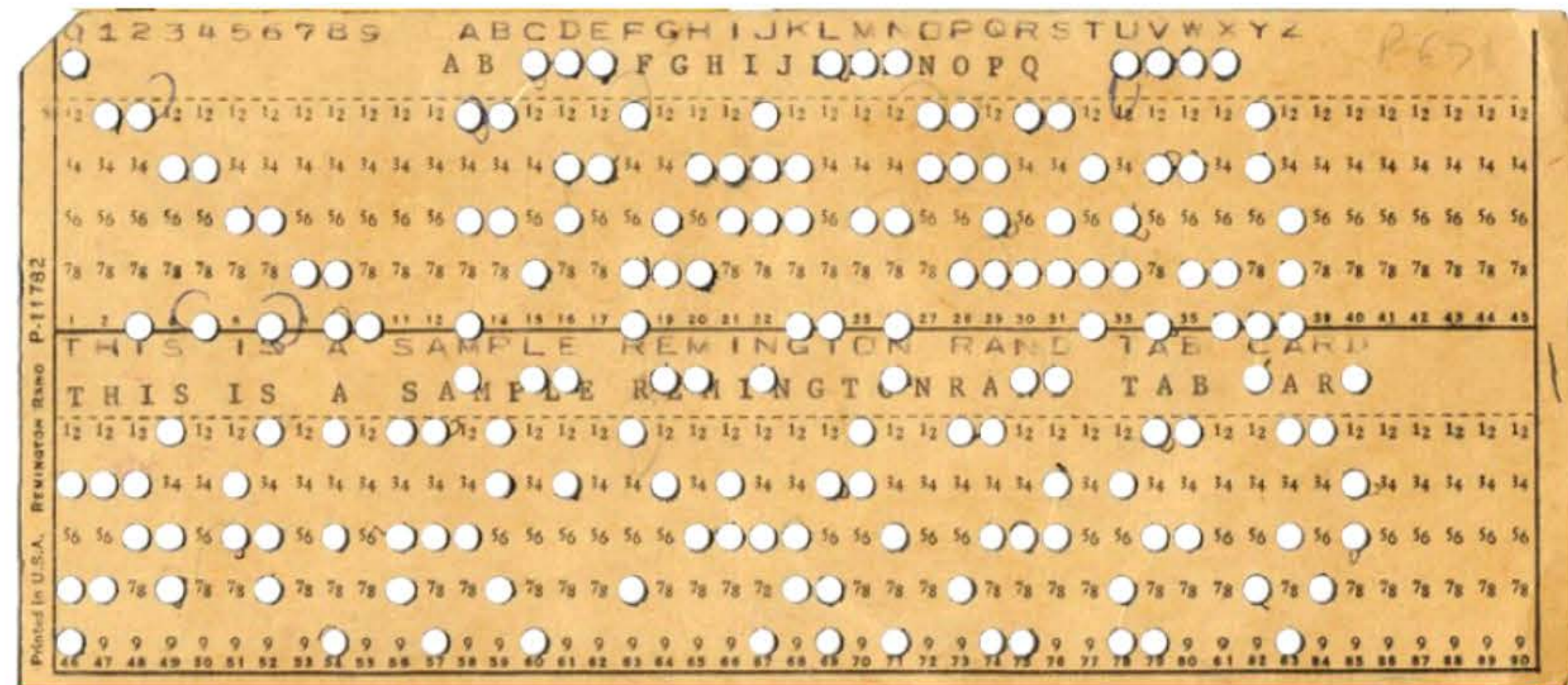
Tabulatrice et trieuse
d'Hermann Hollerith
utilisées pour le recensement
américain de 1890.

1890



Les applications sont d'abord limitées aux statistiques. Mais, à force de perfectionnements par Hollerith et par ses émules, notamment Powers et Bull, elles s'étendront à la gestion comptable. Après le succès du recensement et pour commercialiser ses machines, Hollerith crée la Tabulating Machine Company qui fusionnera avec d'autres entreprises, puis deviendra IBM en 1924.


La carte perforée aura un immense succès en informatique puisqu'elle servira de support d'entrée d'information pour la plupart des ordinateurs jusqu'au début des années 1970. La diffusion des terminaux interactifs et des disques magnétiques entraînera ensuite sa disparition en une quinzaine d'années. Le modèle de carte perforée le plus connu est la carte « 80 colonnes », introduite par IBM en 1928, qui restera un standard jusque dans les formats d'écran des premiers terminaux texte, à 24 lignes de 80 caractères.



Carte perforée à trous ronds pour machine Remington-Rand.

Crédits

P. 31 : Charles Babbage • P. 32 : From the Erwin Tomash Library on the History of Computing, by Erwin Tomash and Michael R. Williams, published by Erwin Tomash and Michael R. Williams, 2009 (electronic copy available on the Charles Babbage Institute website). Extrait de Mark Napier, *Memoirs of John Napier of Merchiston*, William Blackwood and Thomas Cadell, 1834 • P. 33 : Kim Traynor / Wikimedia Commons (Musée National d'Écosse) • P. 34 : Herbert Klaeren / Wikimedia Commons ; F. Seck (Editor) "Wilhelm Schickard 1592-1635, Astronom, Geograph, Orientalist, Erfinder der Rechenmaschine", Tübingen, 1978 • P. 35 : Roger McLassus / Wikimedia Commons • P. 36 : TieuM52 / Wikimedia Commons (Musée des Arts et Métiers, Paris) ; © 2015 by AUCTION TEAM BREKER, Cologne, Germany (www.Breker.com) • P. 37 : Wikimedia Commons. Extrait de Blaise Pascal, *Œuvres de Blaise Pascal*, t. 4, Chez Detune, La Haye, 1779 • P. 38 : Wikimedia Commons. Extrait de Blaise Pascal, *Œuvres de Blaise Pascal*, t. 4, Chez Detune, La Haye, 1779 • P. 39 : Pierre Mounier-Kuhn ; Pierre Mounier-Kuhn • P. 40 : Science Museum / Science & Society Picture Library • P. 41 : Clem Rutter / Wikimedia Commons (Museum of Science and Industry, Manchester) • P. 42 : Droits réservés ; BastienM / Wikimedia Commons (Château de Maisons-Laffitte) ; arithmometre.org • P. 43 : Droits réservés ; Charles Babbage • P. 44 : Nathan Myhrvold, Computer History Museum / xRez Studio ; • P. 45 : Alfred Edward Chalon - Science Museum / Science & Society Picture Library • P. 46 : Popular Science Magazine ; Koblenz Technical Museum • P. 47 : Droits réservés ; Geni / Wikimedia Commons ; Wassén, Henry: *The Odhner History - An Illustrated Chronicle of "A Machine to Count on"*, Gothenburg, Wezäta, 1951 • P. 48 : Science Museum / Science & Society Picture Library ; Dickinson Brothers, publié par Photographische Gesellschaft ; Alain Groult • P. 49 : Alain Guyot & Musée national d'histoire de Saint-Pétersbourg ; Droits réservés ; Archives historiques BNP Paribas ; Pierre Mounier-Kuhn - Archives historiques BNP Paribas • P. 50 : TieuM52 / Wikimedia Commons (Musée des Arts et Métiers, Paris) ; arithmometre.org • P. 51 : Charles Milton Bell / US Census Bureau ; Scientific American • P. 52 : US Census Bureau • P. 53 : Jeffrey S. Jonas



ANALYSES

Le début du xx^e siècle

Introduction

La deuxième révolution industrielle — celle de l'électricité, de la chimie, des moteurs à pétrole — induit de nouveaux besoins de calcul et de traitement d'information. Les ingénieurs veulent calculer les performances de leurs produits. Les savants recourent de plus en plus à la modélisation mathématique pour comprendre les phénomènes. Les gestionnaires des grands réseaux d'énergie ou de transport ont besoin à la fois de calculs techniques, de statistiques d'incidents et de consommation pour optimiser leur fonctionnement. Les entreprises et les grandes bureaucraties adoptent progressivement les méthodes « d'organisation scientifique du travail » et de contrôle qualité, qui nécessitent une quantité croissante de statistiques. La production de masse, dans une société occidentale où des couches sociales plus larges accèdent à la consommation, nécessite elle aussi un contrôle de plus en plus rigoureux sur les flux et les stocks dans l'entreprise : à côté des ingénieurs apparaît une nouvelle catégorie professionnelle, les cadres, dont l'activité revient en grande partie à traiter des informations, à produire et consommer des données chiffrées.

Les guerres accentuent ces tendances. L'artillerie a été révolutionnée entre le milieu et la fin du xix^e siècle à la fois par les progrès de la chimie, qui ont engendré des explosifs surpuissants, et par les progrès de la mécanique et de la métallurgie, qui ont permis de produire des armes rayées, résistant aux hautes pressions, capables donc de tirer dix, vingt fois plus loin que les tubes de bronze de Napoléon. Vers 1905, les gros canons de marine envoient des obus de plusieurs centaines de kilos à plus de 20 km — et cela vers des cibles mouvantes, à partir d'un navire qui est lui-même sujet au tangage et au roulis et avance à 20 nœuds. On imagine les problèmes de calcul et de correction automatique que



Alan Turing.

ces systèmes d'armes exigent de résoudre pour être efficaces. Pendant la Grande Guerre, des équipes mobilisant mathématiciens universitaires et ingénieurs militaires s'y attellent, pendant que d'autres s'efforcent de gérer, de nourrir et d'équiper des millions de combattants.

Le retour à l'économie de paix se caractérise par une pénurie de main d'œuvre (particulièrement en France, qui avec 1,5 million de morts a été le plus saigné des grands belligérants), ce qui pousse encore à mécaniser le travail. D'autre part la guerre a accéléré le développement de nouvelles techniques, comme la TSF et l'avion, dont les progrès vont à leur tour nécessiter des calculs de champs électriques, d'antennes, d'aérodynamique, de résistance des structures, etc.

Comme souvent dans l'histoire, il n'y a pas un type unique de solution (*the one best way*) à ces problèmes, mais plusieurs, en fonction des circonstances et des savoir-faire. C'est l'époque où se multiplient les bureaux de calcul employant des dizaines de salariés (souvent des femmes) penchés sur des feuilles de calcul ou sur de petites machines de table. Règles à calcul et tables numériques règnent dans les bureaux d'étude. Ainsi que la nomographie, le calcul par le dessin, qui est une forme immatérielle de calcul analogique. C'est l'âge d'or des inventeurs : les archives des offices de brevets révèlent l'intense créativité des passionnés de mécanique et des utilisateurs mécontents qui perfectionnent les dispositifs apparus au XIX^e siècle ou en inventent de nouveaux. Peu d'entre eux font fortune, car le marché est déjà dominé par de grandes entreprises.

Parmi les machines de bureau, les plus anciennes sont les calculatrices de table, qui vont de la simple additionneuse aux machines aptes aux calculs scientifiques. En haut de gamme, les machines comptables résultent de décennies d'efforts inventifs pour marier la calculatrice avec la machine à écrire. Exploitant toutes les ressources de la mécanique de précision, incorporant progressivement des éléments électriques pour faciliter le travail de l'utilisateur, c'est une technologie mûre dès les années

1920. Le secteur est dominé par quelques grands producteurs : NCR, Burroughs, Remington-Rand et d'autres qui souvent se sont implantés commercialement dans les administrations en vendant des machines à écrire. En Europe, l'Allemand Wanderer Werke, le Suédois Facit et quelques autres se taillent une place honorable. S'y ajoutent de plus petites machines à calculer, comme la Brunsviga, best-seller des calculatrices de bureau pendant un long demi-siècle. Tous ces appareils peuvent être utilisés par un employé individuel dans un bureau, ou rassemblés en vastes pools comme les pools dactylographiques. Leur manipulation s'apprend en quelques heures par une personne habituée aux tâches administratives.

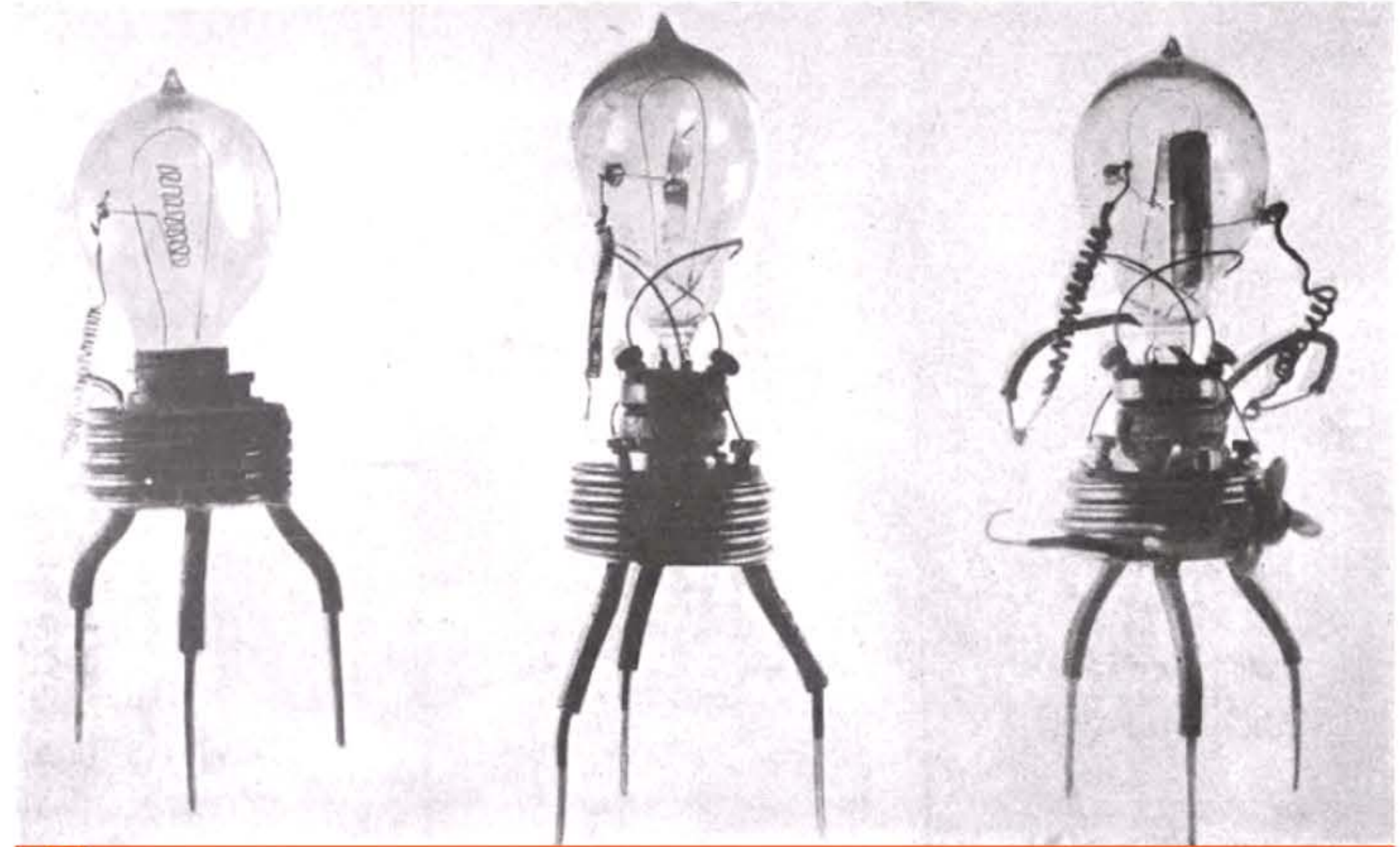
Beaucoup plus lourdes, performantes et coûteuses, les machines à cartes perforées ne sont concevables que dans de grandes organisations, ayant à la fois des besoins de traitements massifs et les moyens d'investir dans ces machines. Apparues sous une forme primitive pour répondre aux besoins de recensements des grands États, c'est seulement vers 1920 qu'elles attaquent le marché européen. Le premier constructeur est Hollerith, dont la très profitable firme prend en 1924 le nom d'IBM aux États-Unis. Son seul concurrent d'alors, Powers, a déjà débarqué en Europe occidentale. En 1931 s'installera à Paris un petit challenger d'origine norvégienne, Bull. Il n'y en a pratiquement pas d'autres, car le coût du développement et de la fabrication des machines à cartes perforées élève une barrière à l'entrée sur ce marché, beaucoup plus haute que celle des machines de bureau.

Les machines à cartes perforées offrent d'emblée deux avantages sans équivalent. D'une part les cartes perforées sont un support de mémoire réutilisable, par exemple pour calculer chaque mois la paye du personnel. D'autre part, entre la saisie des données et l'impression des résultats, ces grosses machines automatisent des suites d'opérations élémentaires, éliminant nombre d'opérations humaines : on réduit à la fois le risque d'erreurs et les heures de main d'œuvre. À beaucoup de points de vue ces machines ont préparé le terrain aux premiers ordinateurs de gestion.

Très loin des bureaucraties et des intérêts économiques, quelques penseurs cogitent sur les fondements des mathématiques. Qu'est-ce qui garantit la véracité d'un énoncé, la rigueur d'une démonstration ? Les mathématiques s'étant développées dans toutes les directions depuis un ou deux siècles, comment assurer leur cohérence, comment les débarrasser des scories de l'intuition ou des pièges du langage commun ? Un langage formel pourrait-il fonctionner comme un mécanisme infallible pour produire des démonstrations ? Ces réflexions géniales, aux limites de la philosophie, aboutissent dans les années 1930 à des démonstrations qui anéantissent l'espoir scientifique d'une mathématique à la fois complète, cohérente et « décidable », mais fondent l'algorithmique. Elles ont peu d'influence sur la conception des premiers calculateurs électroniques après guerre, mais donneront plus tard les concepts nécessaires pour les comprendre et les théoriser.

1904 ▶ Diode et triode

En cherchant à améliorer la transmission de la voix par TSF (inventée en 1896 par Marconi), l'Anglais John Fleming (1849-1945), en 1904, et l'Américain Lee de Forest (1873-1961), en 1907, inventent les pièces maîtresses pour contrôler et amplifier le courant : les tubes à vide (aussi appelés tubes électroniques, lampes ou encore *valves* qui exprime mieux leur aptitude au « tout ou rien »). Par chauffage, une cathode émet des électrons qui sont ensuite dirigés vers l'anode en passant à travers une grille de commande. On a un contrôle directionnel du courant (qui peut passer de la cathode à l'anode mais pas en sens inverse : effet diode) ainsi que de son amplification (le courant entre les deux électrodes est proportionnel à la tension de la grille : effet triode). C'est le début de l'électronique qui permettra le développement de la radio et du radar. D'un point de vue fonctionnel, une diode équivaut à un cliquet sur une roue dentée en mécanique, mais cette nouvelle technologie n'aura aucune application informatique avant les années 1940.



Les premiers prototypes de « valves de Fleming », plus tard appelées diodes.

Échantillon de tubes à vide des années 1950-1960.



1905 ▶ Nomographie de M. d'Ocagne

Polytechnicien et ingénieur des Ponts et Chaussées, Maurice d'Ocagne (1862-1938) publie plusieurs ouvrages expliquant l'efficacité de la résolution graphique d'équations algébriques par l'emploi d'abaques, une branche des mathématiques appliquées qu'il baptise *nomographie*. Son ardeur militante se fonde à la fois sur son expérience technique et sur sa connaissance de l'histoire des procédés de calcul, à laquelle il consacre de bons chapitres. Une partie des méthodes qu'il promeut a été élaborée en collaboration avec l'ingénieur égyptien Farid Boulad Bey, qui joua un rôle comparable dans son pays. L'enseignement et les ouvrages de Maurice d'Ocagne, plusieurs fois réédités, ont permis à trois générations d'ingénieurs de résoudre des problèmes courants... et souvent de se passer de machines à calculer.

Abaque extrait de l'ouvrage de Maurice d'Ocagne.

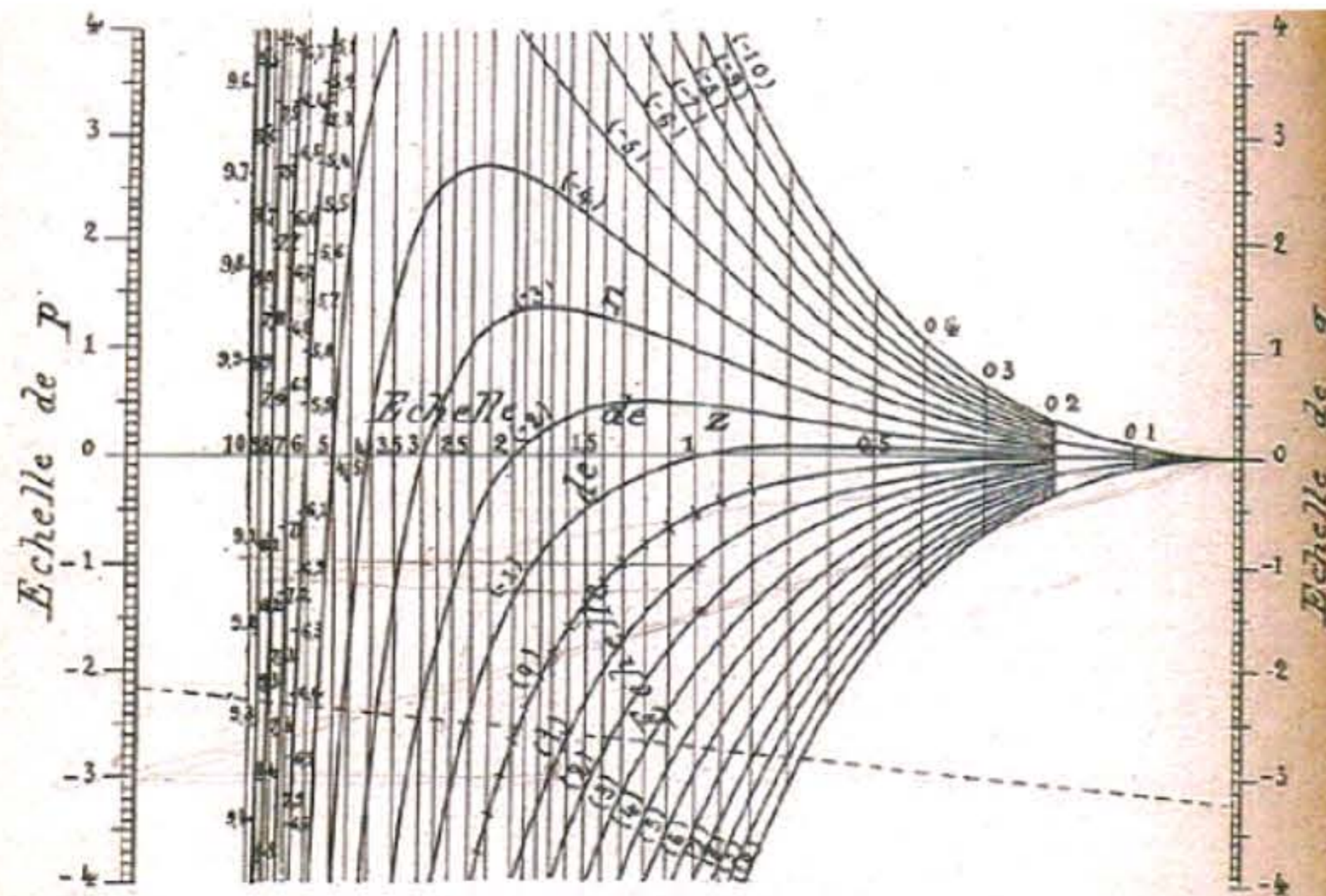


Fig. 115.

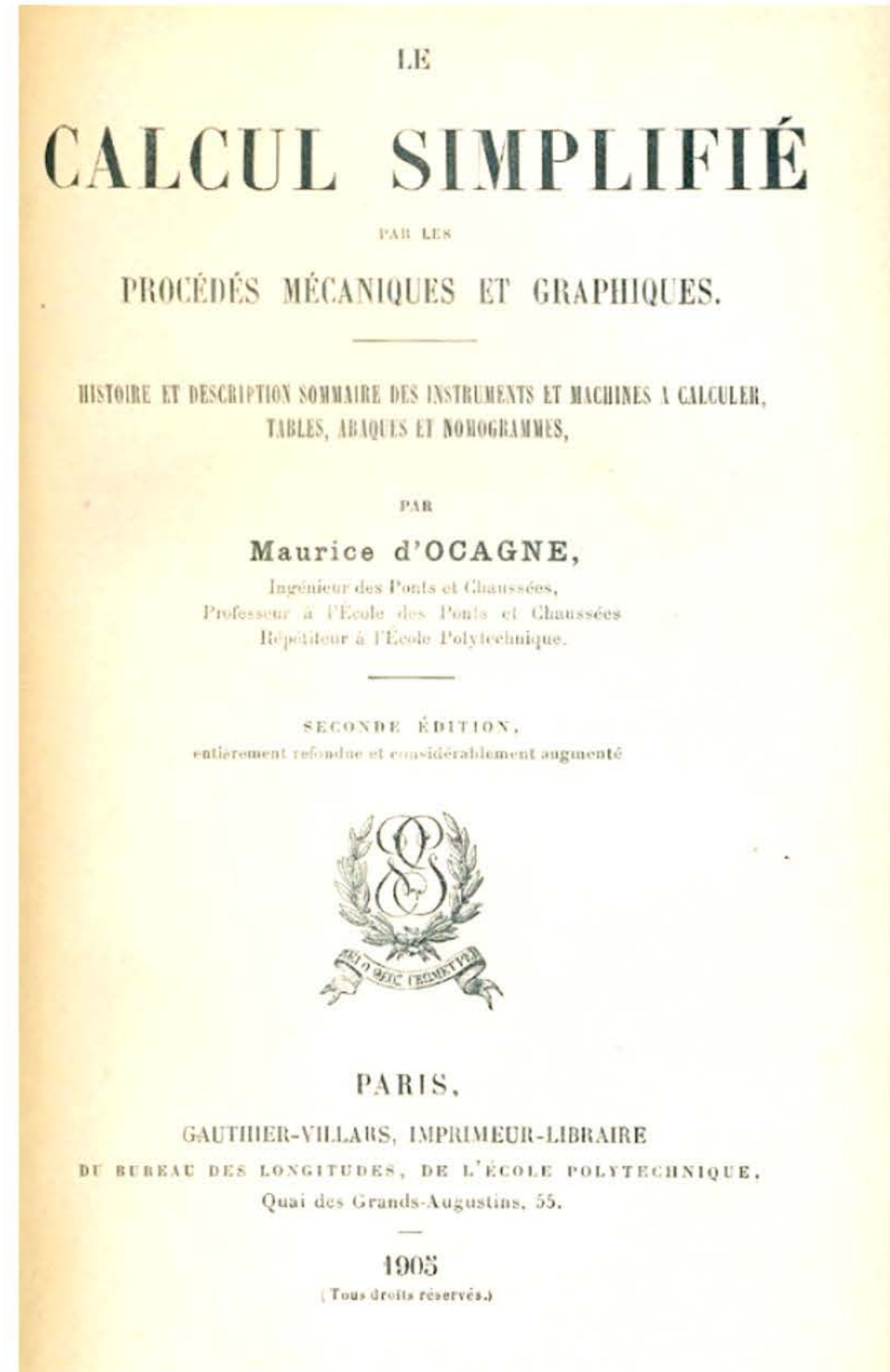
Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

La figure 115 montre un fragment du nomogramme ainsi construit avec $u_1 = u_2 = 1 \text{ cm}^1$.
La position de l'index marquée en pointillé correspond à l'équation

$$z^3 + z^2 - 2,16z - 3,2 = 0,$$

pour laquelle on a $z = 1,6$.

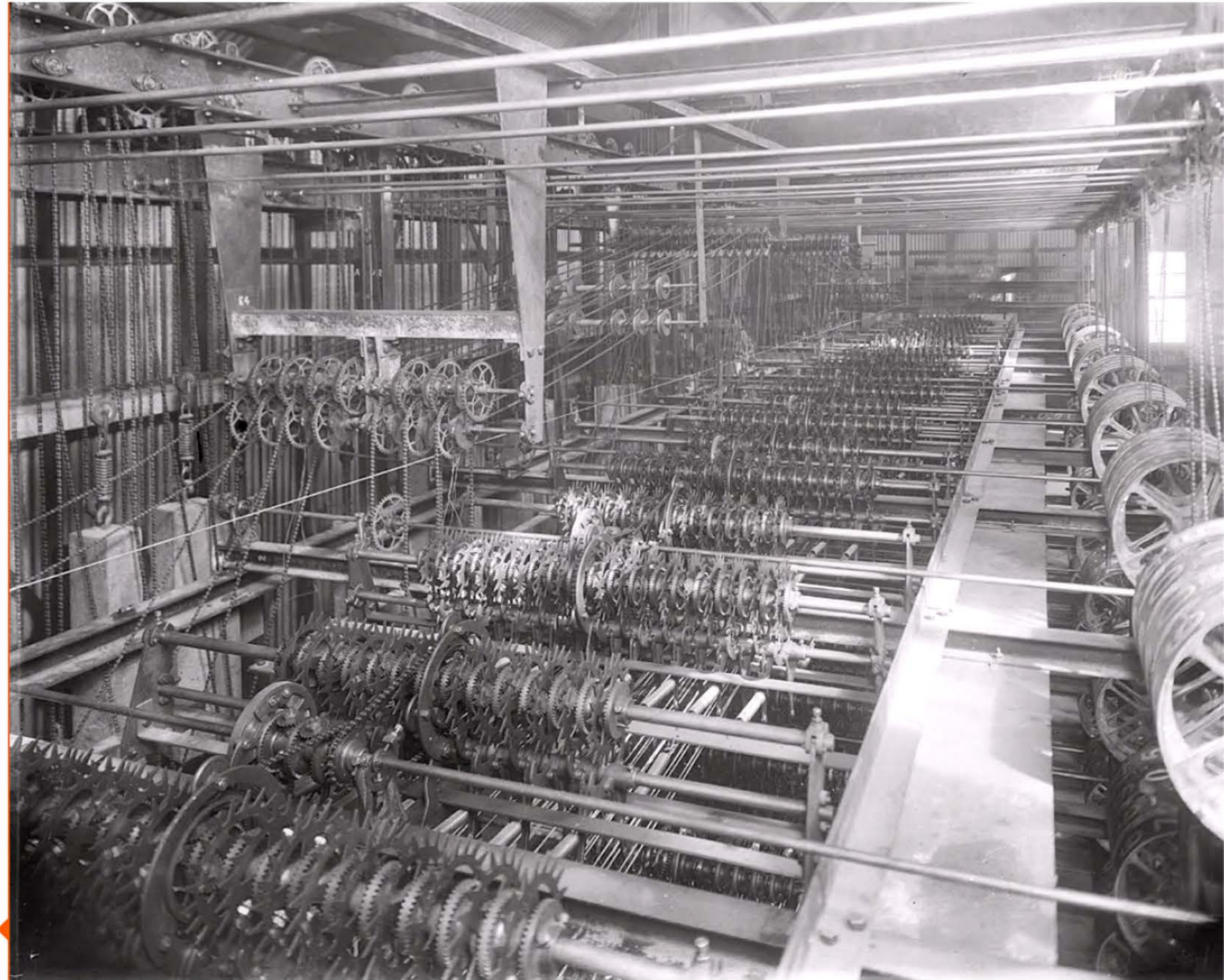
Maurice d'Ocagne en 1882.



Maurice d'Ocagne, *Le Calcul simplifié* (1905).

1913 ▶ Totalisateur de paris mutuels

Les calculateurs analogiques se développent dans toute l'industrie. L'ingénieur australien George Julius (1873-1946) construit un totalisateur permettant à plus d'une vingtaine de caissiers d'enregistrer les paris pendant une course de chevaux, de calculer automatiquement la cote associée en fonction du montant et du nombre de paris et d'afficher le résultat en temps réel sur de grands tableaux situés à l'entrée du champ de course. Sa machine est à base d'engrenages, de compteurs et de différentiels, mais n'exécute pas de programme : c'est l'arrangement des pièces qui organise le calcul.

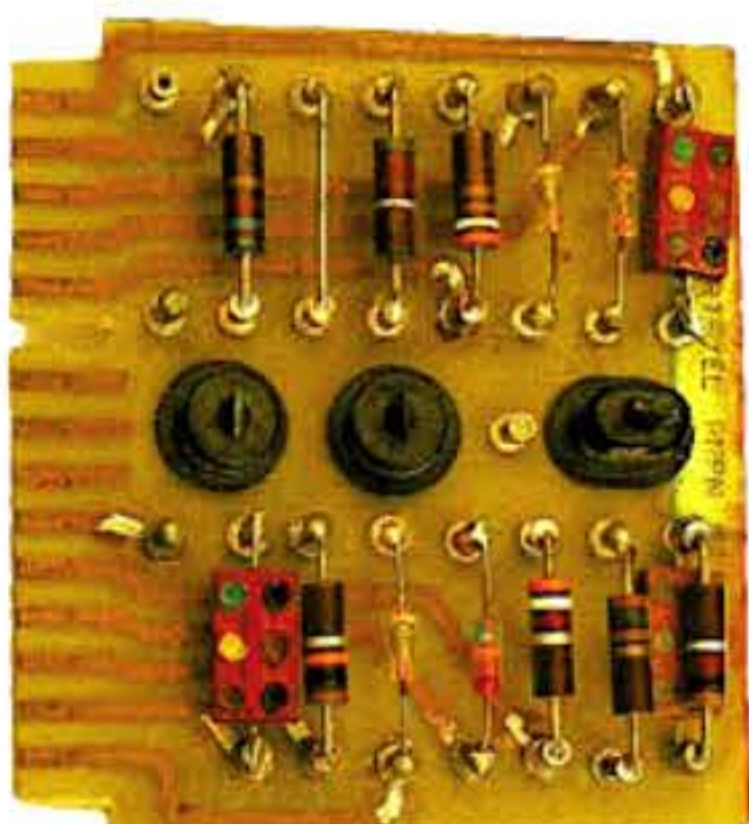


Totalisateur de paris mutuels
à Sydney (Australie), 1913.

1918 ▶ Bascule « Flip-Flop »

En 1918, deux physiciens français, Henri Abraham (1868-1943) et Eugène Bloch (1878-1944), inventent sous le nom de « multivibrateur » un montage de deux triodes en oscillateur. Au même moment, de l'autre côté de la Manche, deux ingénieurs britanniques, William Eccles (1875-1966) et Frank Jordan (1882 - ?), expérimentent un dispositif comparable qu'ils baptisent *flip-flop*, et publient l'année suivante un article dans *Radio Review* intitulé « Un relais basculeur utilisant des lampes à vide à trois électrodes ».

Appelé aussi circuit bistable ou bascule, composé de deux triodes, chacune pouvant alternativement être conductrice de courant, c'est potentiellement la brique de base pour la construction de compteurs digitaux, voire de mémoires informatiques. Ce circuit servira effectivement dans les années 1930 à réaliser des compteurs d'impulsions pour la physique nucléaire, entrant ainsi dans la culture technique de quelques physiciens, comme Mauchly, qui se lanceront ensuite dans le calcul électronique.

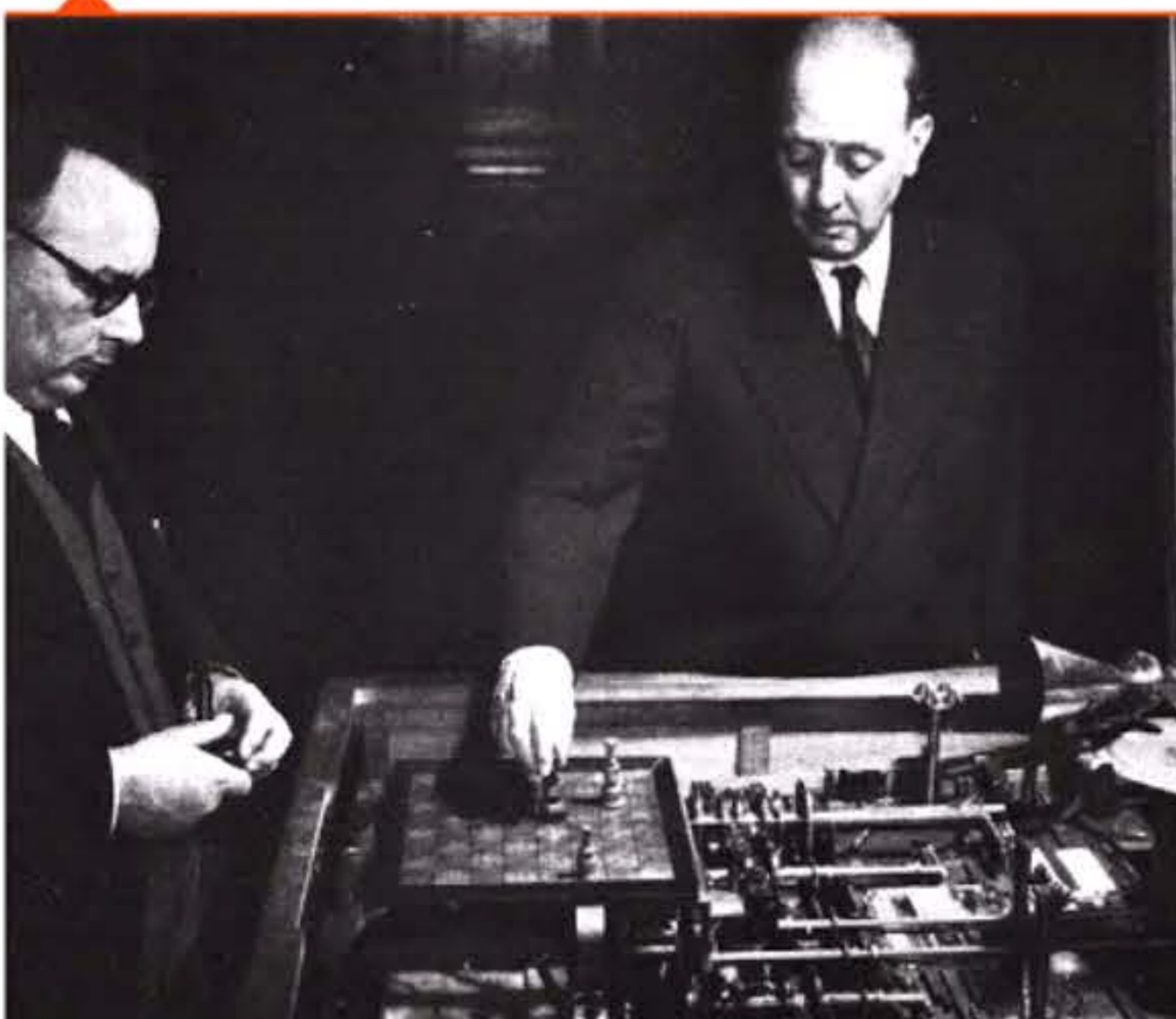


Carte réalisant un bistable (mémoire de 1 bit !) à base de trois transistors (situés au centre de la carte) utilisée dans l'ordinateur DRTE au Canada vers 1960.

Automate joueur d'échecs de Torres-Quevedo.

1920 ▶ Leonardo Torres-Quevedo

Mathématicien et physicien, l'Espagnol Leonardo Torres-Quevedo (1852-1936) est l'un des grands pionniers de l'automatisme. Inventeur prolifique d'engins télécommandés par radio (comme son contemporain Tesla), d'appareils automatiques et de machines à calculer, il est l'un des premiers à avoir utilisé des relais de téléphone au lieu de dispositifs purement mécaniques pour traiter des informations. Ce qui lui permet de reprendre, avec une technique plus appropriée, les projets de Babbage sur les calculateurs numériques programmables. Son premier automate joueur d'échecs, présenté à la



foire de Paris de 1914, jouait la finale roi et tour contre roi seul et gagnait toujours contre un opposant humain. Ses réalisations et ses réflexions théoriques lui valent une réputation internationale dès les années 1920. Seul le faible développement industriel de l'Espagne à son époque empêche ses inventions de trouver l'audience qu'elles méritent.



Machine analytique algébrique programmable de Torres-Quevedo, présentée à Paris en 1920.

1920 ▶ Calculateurs humains

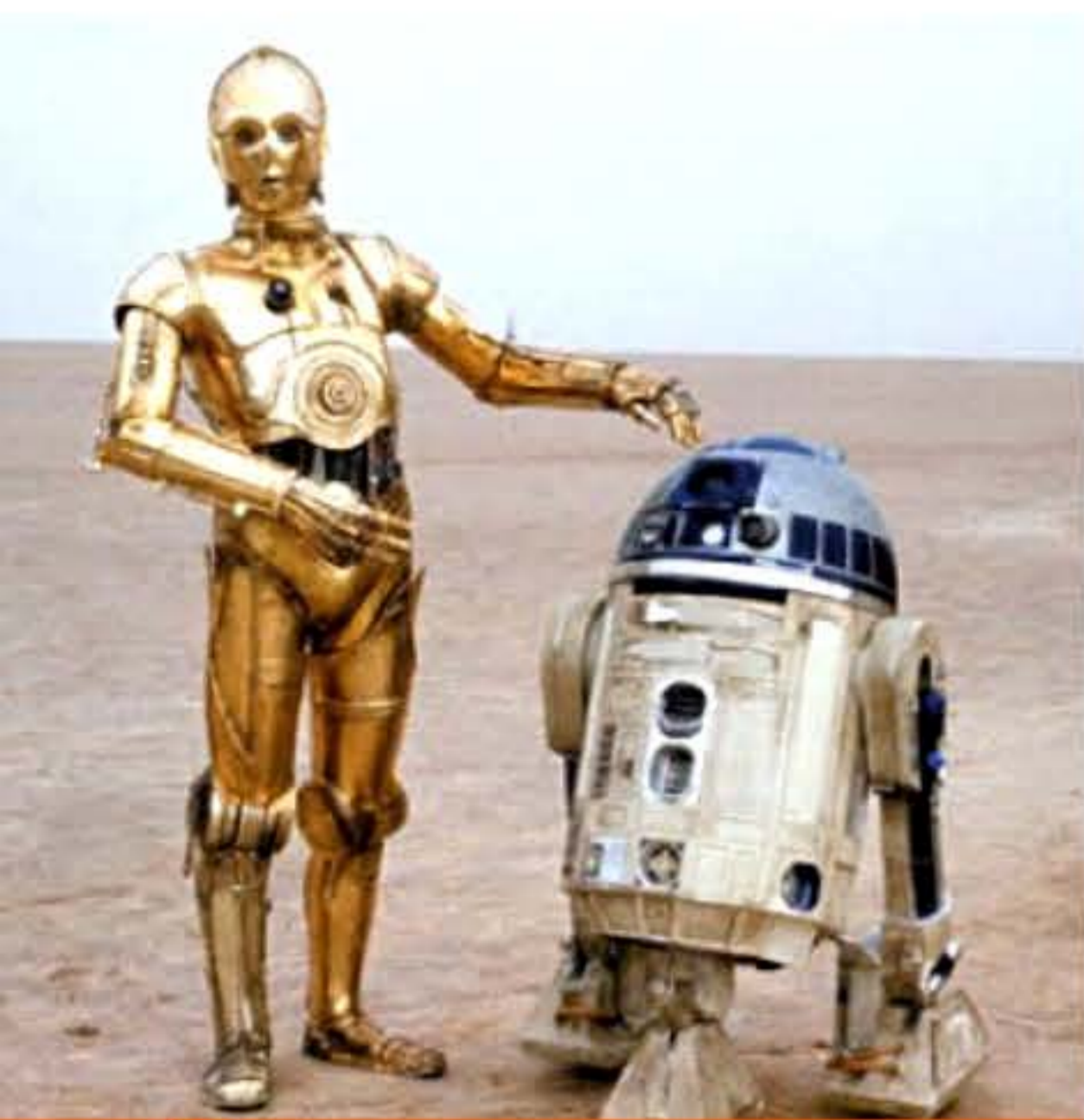
Dès la fin du XIX^e siècle, les bureaux sont remplis d'employés penchés sur les machines à écrire ou les calculatrices mécaniques. Le développement des assurances, du secteur bancaire et de la comptabilité nécessite d'innombrables cohortes de « calculateurs » effectuant manuellement les calculs nécessaires. Les observatoires astronomiques, les centres d'essais de l'artillerie, les constructeurs de bateaux, d'avions ou d'appareils d'optique organisent eux aussi des bureaux de calcul employant des dizaines de tâcherons de l'arithmétique. Ils utilisent eux aussi les machines numériques de table, les règles à calcul et d'autres instruments de « nomographie ». Le terme anglais pour les désigner est... *computers* !



COMPUTING
DIVISION
COMPUTING
SECTION

Salle des calculateurs dans un bureau gouvernemental américain vers 1920. ◀

1920 ▶ Apparition du robot



C3PO et R2D2, les robots les plus célèbres du cinéma (*La guerre des étoiles*, 1977).

Le terme « robot » apparaît pour la première fois dans la pièce de théâtre de science-fiction *R. U. R. (Rossum's Universal Robots)* du romancier tchèque Karel Čapek (1890-1938), le terme ayant été inventé par son frère à partir du mot slave signifiant *travailler*. Les androïdes imaginés dans la pièce sortent d'une usine de fabrication de robots et sont initialement dénués de sentiments. Pour les rendre plus polyvalents, l'ingénieur augmente leur intelligence. Ils finissent par se révolter et anéantir l'humanité, mais découvrent l'amour et assument enfin la responsabilité du monde. La pièce de Čapek est bientôt jouée à New York et à Paris, popularisant le mot *robot* qui remplace rapidement l'appellation ancienne d'*automate*.

1927 ▶ Un cerveau d'acier

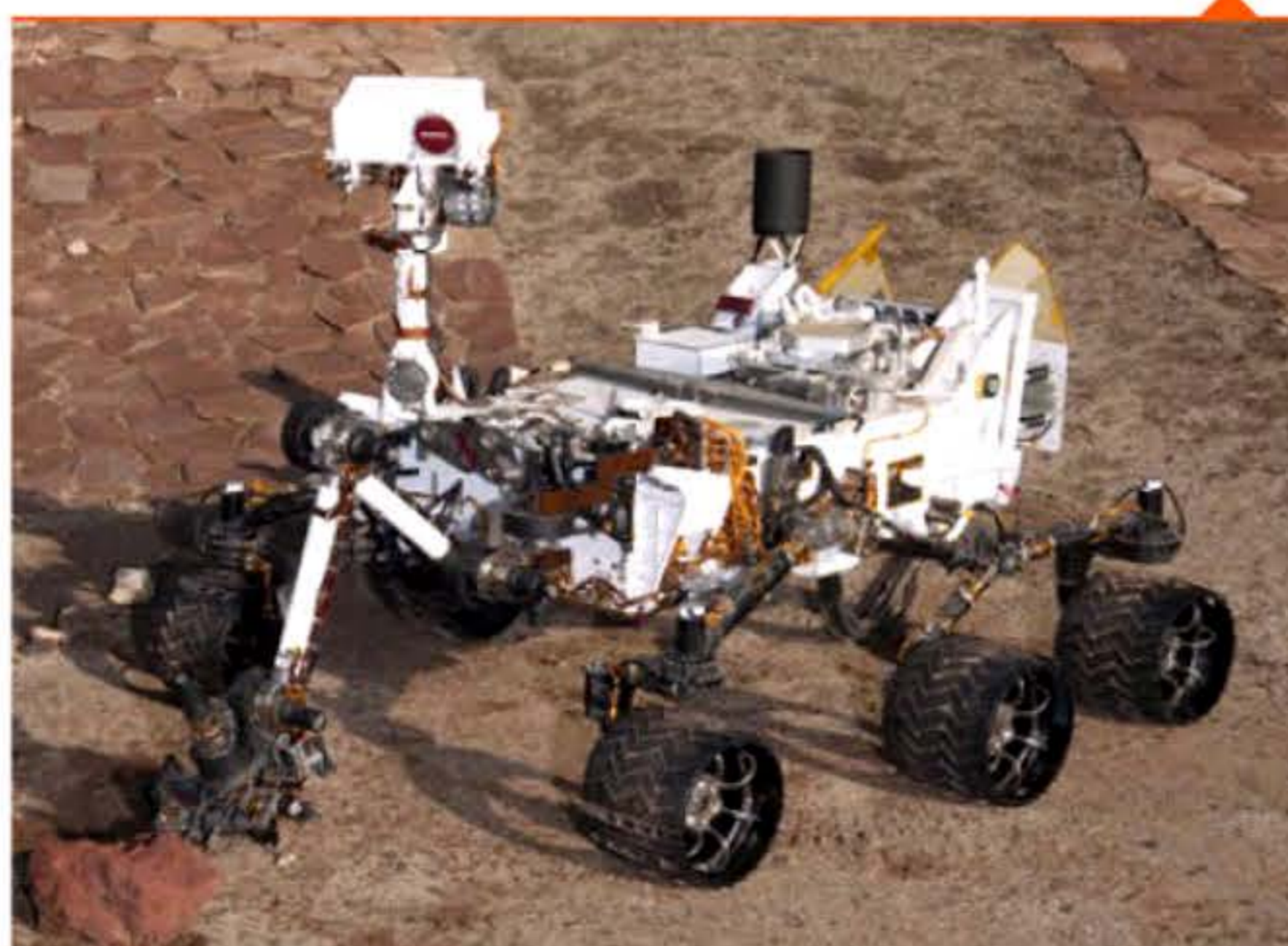
La publicité de la Brunsviga, la calculatrice de table qui conquiert les marchés mondiaux, vante son infailible « cerveau d'acier » mécanique aux rouages infailibles. Cela à l'époque où le Tchèque Karel Čapek met en scène les premiers robots, et bien avant les « cerveaux électroniques ». Ce thème graphique devient le logo de la marque Brunsviga. Le jeune Alan Turing, qui utilisait une machine de ce type et connaissait donc ce dessin, en a-t-il tiré matière à pensée ?



Brunsviga, cerveau d'acier.

Robby, le robot du film *Planète interdite* (1956).

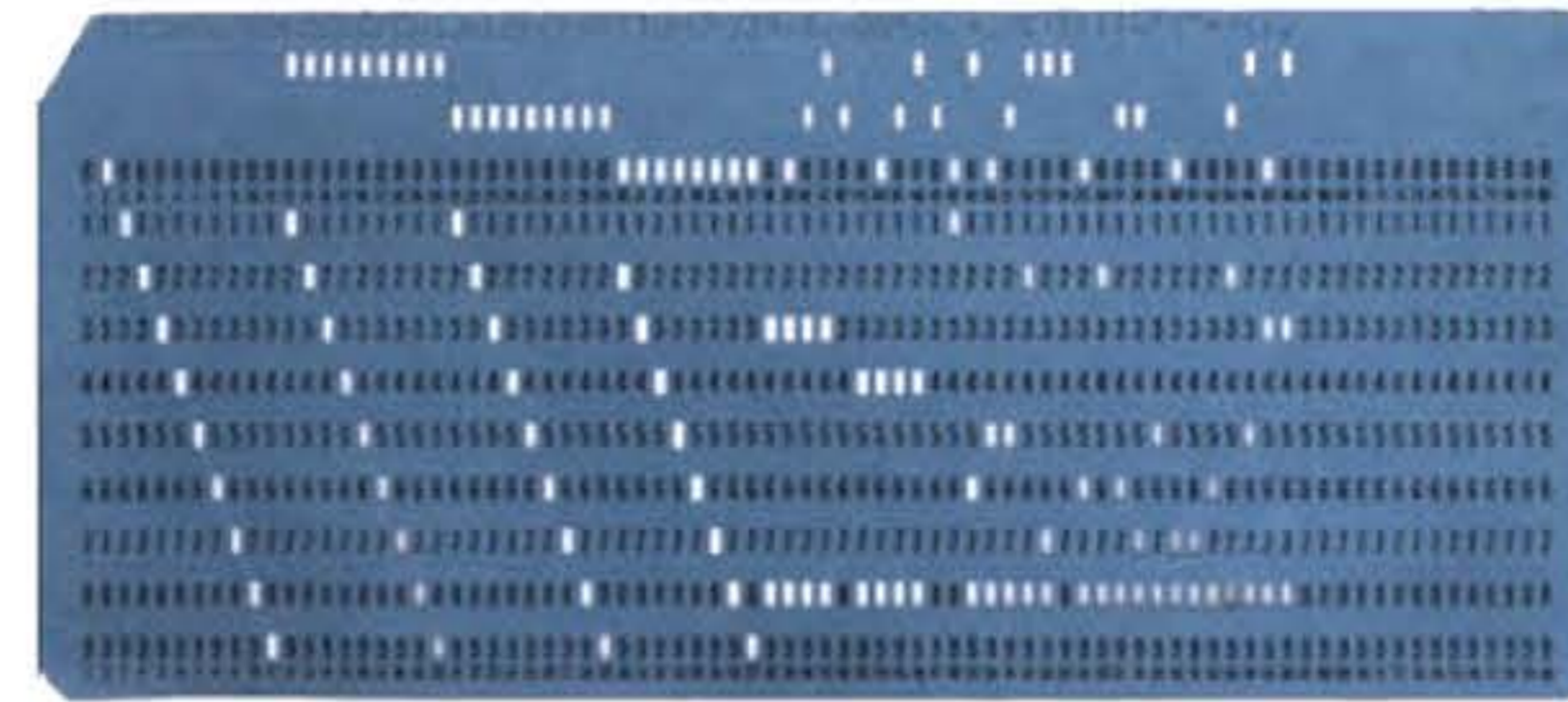
Curiosity, le robot d'exploration arrivé sur Mars en août 2012 ; il pèse 900 kg.



1928 ▶ Carte perforée à 80 colonnes

Une carte perforée est à la fois un objet technique destiné à fonctionner dans une machine, et un document directement imprimé lisible. Le passage au traitement de données alphanumériques sur les nouvelles tabulatrices résout un problème mais en crée un autre : la carte 45 colonnes traditionnelle a des capacités d'enregistrement trop limitées. IBM met au point en 1928 une carte portant 80 colonnes de perforations rectangulaires, « plus hautes que larges », occupant donc moins de place que des trous ronds, mais laissant assez de temps aux balais électriques pour établir le contact permettant la lecture. Cette formule élégante d'optimisation de la carte offre une capacité mémoire supérieure de 78 % au format 45 colonnes. En Europe, Bull et British Tabulating Machines l'adoptent — Bull parviendra même, au terme d'une longue bataille juridique, à faire annuler les brevets d'IBM !

La carte est aussi à l'origine d'un casse-tête qui fit du bruit à la fin du xx^e siècle : la codification de l'année par deux chiffres sur les cartes perforées, reprise ensuite dans des millions de logiciels et de *firmwares* (logiciels enfouis), a déterminé le bogue de l'an 2000 dont le coût en France était estimé de 100 à 150 milliards de Francs.



Carte perforée à 80 colonnes.



Bases de données mécanographiques : les tiroirs de cartes perforées d'une banque au milieu du xx^e siècle.



1928 ▶ Problème de la décidabilité

En 1900, le mathématicien allemand David Hilbert (1862-1943) avait posé au congrès international des mathématiciens le problème de prouver la cohérence des mathématiques. En 1928, il pose la question de la décidabilité des mathématiques : existe-t-il un algorithme général permettant de savoir, mécaniquement, si un énoncé est vrai ?

Le logicien Kurt Gödel (1906-1978) répond en 1931 au premier problème en démontrant que tout système formel, aussi puissant soit-il, est soit incohérent, soit incomplet : il existe donc des énoncés mathématiques que l'on ne peut ni prouver, ni réfuter. Les mathématiciens commencent alors à s'intéresser à la théorie de la calculabilité : quelles sont les fonctions mathématiques effectivement calculables en un temps fini par un algorithme et comment le formaliser ?



David Hilbert vers 1912.



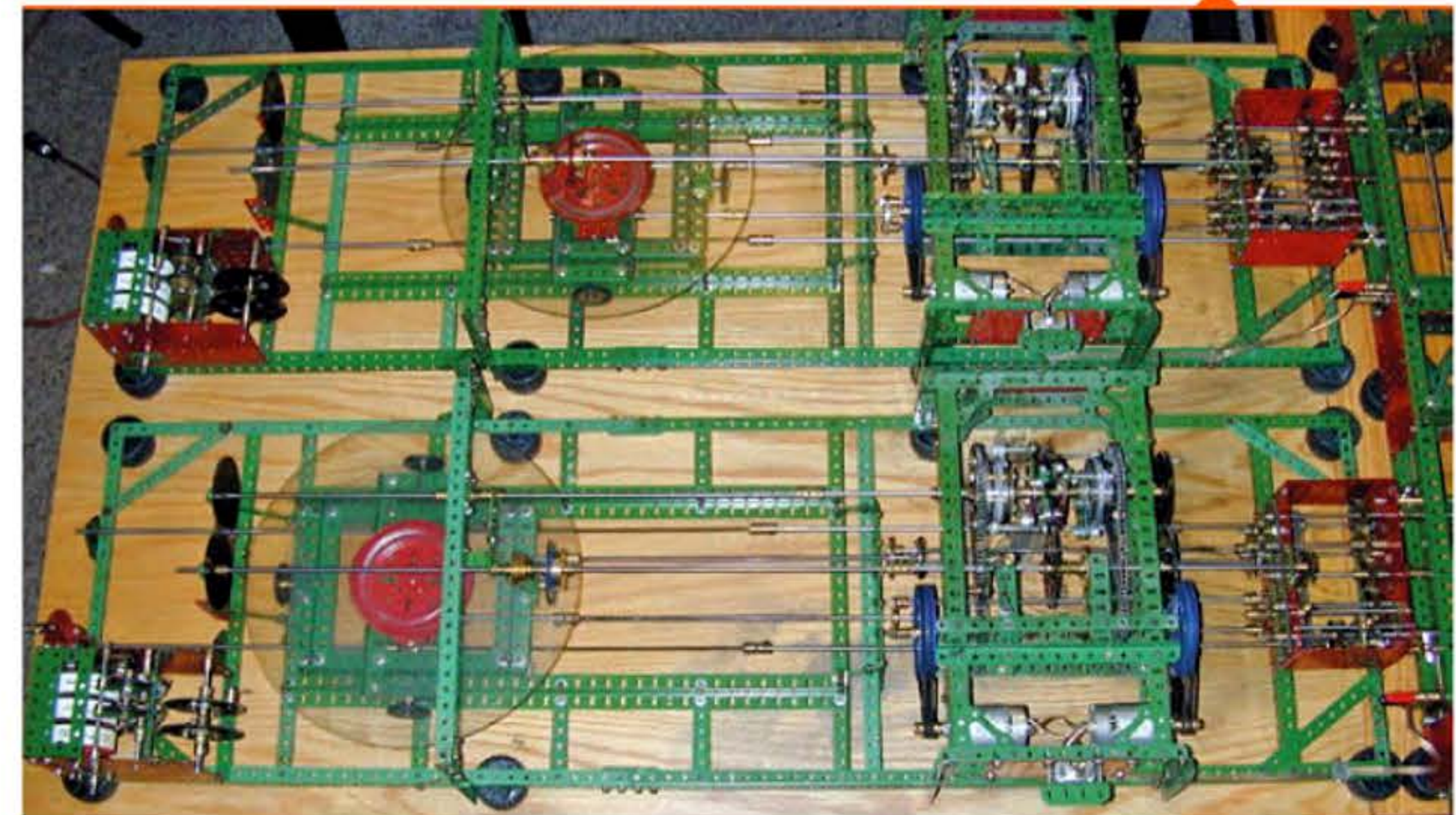
Albert Einstein et Kurt Gödel à l'IAS au début des années 1950.

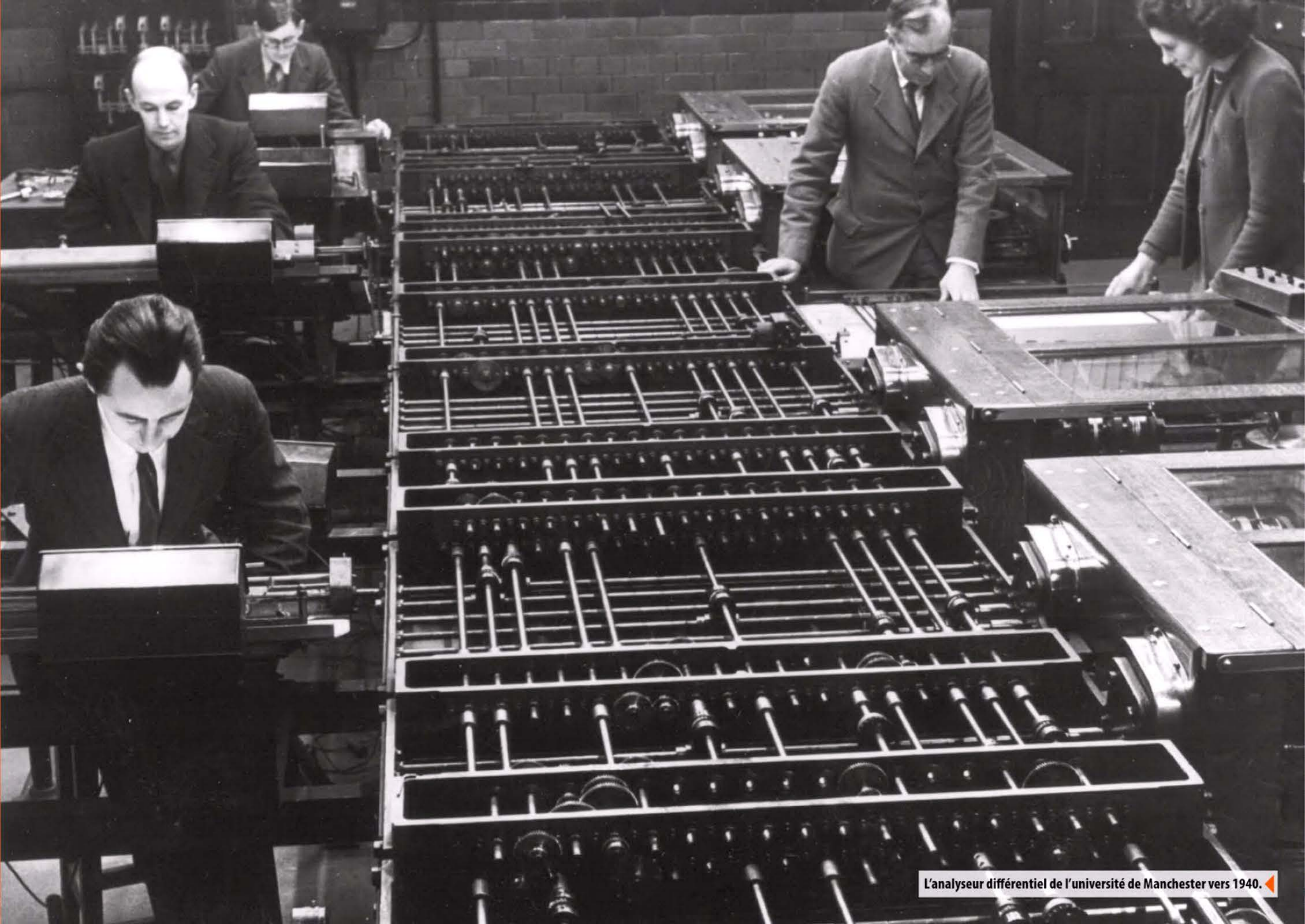
1930 ▶ Analyseur différentiel

Jeune professeur au MIT, Vannevar Bush (1890-1974) construit un analyseur différentiel pour résoudre des problèmes d'électrotechnique. Grand appareil composé d'axes, d'engrenages, de disques et de volants, l'analyseur différentiel permet d'effectuer des intégrations et dérivations mécaniques (c'est-à-dire un système dans lequel un paramètre physique — par exemple une vitesse de rotation d'un axe — est directement la dérivée ou l'intégrale d'un autre). En

combinant ces intégrateurs, il est possible de simuler une équation différentielle et de la résoudre en traçant automatiquement sa solution. Ces calculateurs analogiques mécaniques rendent des services en ingénierie et en calcul scientifique. Des copies en sont réalisées par des laboratoires universitaires dans la plupart des pays industrialisés... sauf en France ! Ils ont toutefois plusieurs inconvénients : encombrement, difficulté de reprogrammation (à chaque nouvelle équation, il fallait réorganiser les connexions entre engrenages, axes et moteurs), précision limitée en raison des frottements et jeu entre les pièces. Après guerre, ils seront remplacés par des calculateurs électroniques, analogiques puis numériques.

Un intégrateur réalisé à l'aide de pièces de Meccano.





L'analyseur différentiel de l'université de Manchester vers 1940. ◀

1933 ▶ Cartes perforées : la maturation des machines



Tabulatrice imprimante Bull
de 1931.

Depuis les années 1920, IBM et ses rares concurrents ont rivalisé pour étendre les applications des machines à cartes perforées au-delà des « statistiques ». Il ne s'agit plus seulement de compter, mais de calculer. Notamment pour attaquer le marché de la comptabilité et de la tenue de fichiers. Ce qui leur permettrait de conquérir les clientèles des banques et des administrations. Il faut pour cela développer des imprimantes, des cartes à grande capacité, des machines capables de traiter des données alphanumériques et d'effectuer les quatre opérations. Ce qui nécessite des mécaniques encore plus complexes que les machines purement arithmétiques. Au milieu des années 1930, cet effort porte ses fruits et les grandes organisations se dotent de nouvelles structures conçues autour de gros centres de traitement des données.



Atelier de perforation des cartes
dans une banque française
(années 1930).

AVRIL 1933

L'ORGANISATION

Les Machines à Statistiques
SAMAS - POWERS
à fonctionnement mécanique...

FICHE 45 - 90 COLONNES

Tabulatrice Standard

FICHE SAMAS IV - 26 COLONNES

Tabulatrice Samas IV

... conviennent aussi
bien aux entre-
prises moyennes
qu'aux firmes impor-
tantes et aux gran-
des administrations

DEPUIS LE 15 AVRIL 1933
les bureaux et la salle
de démonstration de
SAMAS-POWERS
anc. adresse 7, rue Scribe, Paris
sont transférés dans des
locaux plus vastes, plus
modernes.

25-27, RUE D'ASTORG, PARIS-8^e - ANJOU 50-70

195

Publicité pour les machines SAMAS-Powers (1933).

L'ORGANISATION

MARS 1934

sous le signe du rendement

Après les tabulatrices à vitesse min ma de 140 cartes à la minute, Bull ajoute à sa gamme de poinçonneuses Standard une poinçonneuse automatique permettant, en dehors de sa fonction normale, la perforation en série à la vitesse de 200 cartes à la minute.

Documentez-vous sur les avantages de cette poinçonneuse automatique en demandant des renseignements complémentaires à la

COMPAGNIE DES MACHINES BULL

92 bis, avenue Gambetta, Paris (20^e)
Téléph. (4 lignes groupées) Mémil. 62-85

AGENCES GÉNÉRALES À L'ÉTRANGER :

Belgique : Simeis, 1, rue de Commerce, Bruxelles
Suisse : Simeis, 10, rue de la Gare, Zurich
Autriche : Simeis, 10, rue de la Gare, Vienne
Espagne : Simeis, 10, rue de la Gare, Madrid

La poinçonneuse automatique et en série Bull permet la préparation préalable de la perforation des cartes de conservation, la conservation des données, la perforation de la carte, après perforation en 1/4 de seconde. Elle est munie d'une source de papier grise et en perforation en série, sa vitesse est de 200 cartes à la minute.

BULL
PARIS-FRANCE

114

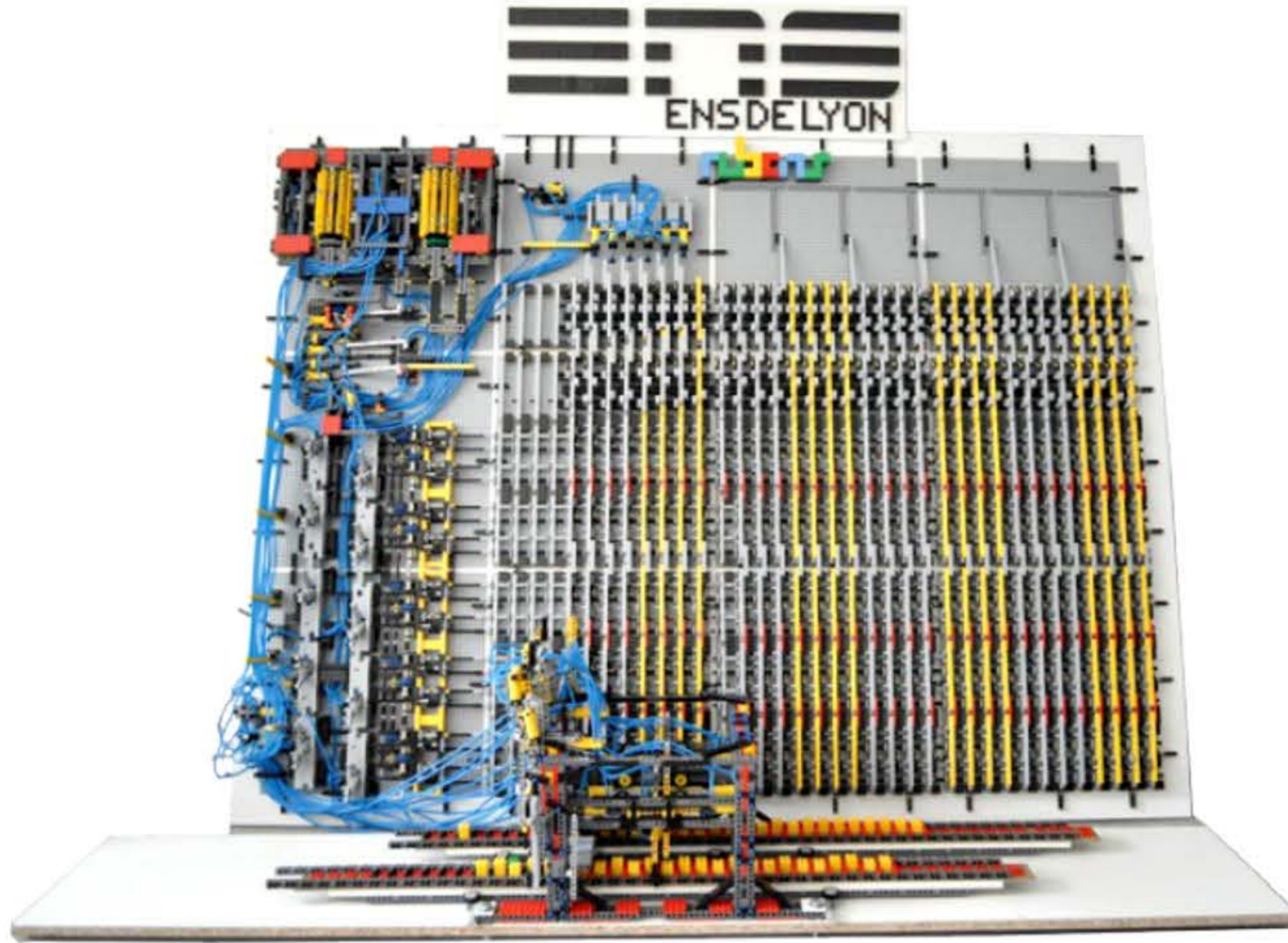
Publicité pour les machines Bull (1934).



Atelier mécanographique IBM à la BNCL (vers 1940).

1937 ▶ Alan Turing

Dans un article fondateur de l'algorithmique, « Sur les nombres calculables et les applications au problème de la décidabilité », le mathématicien anglais Alan Turing (1912-1954) décrit une machine conceptuelle capable d'exécuter séquentiellement, selon un programme préétabli, une série d'opérations en vue de résoudre un problème. Il y a des concepts matériels (bande de papier, unité centrale, dispositif de lecture/écriture) et logiciels (table des états, liste d'instructions, convention d'écriture des données). Cela lui permet de répondre à la question de la décidabilité de Hilbert en montrant que toutes les questions



Machine de Turing entièrement mécanique faite en LEGO (2012).

ne pouvaient être « décidées » par une telle machine et qu'il n'existe pas d'algorithme général permettant de démontrer n'importe quel théorème de l'arithmétique. Même si sa machine n'est qu'un concept et nullement une réalisation pratique, Turing est considéré, avec Alonzo Church (1903-1995) qui a indépendamment répondu à la question de Hilbert d'une manière différente (lambda-calcul), comme le père de l'informatique théorique. Son œuvre a permis la formalisation et le développement de la théorie de la calculabilité, fondement de l'étude des algorithmes et de ce que peut faire un ordinateur. D'autres modèles de machines ont vu le jour ; ils sont tous équivalents et correspondent bien à ce qu'on appelle intuitivement une fonction calculable.

Pendant la guerre, Alan Turing a joué un rôle décisif pour casser les codes allemands utilisés sur la machine Enigma. Contribuant à introduire l'approche mathématique en cryptanalyse, il a mis au point des méthodes et participé à la construction de machines électromécaniques permettant d'automatiser le décryptage. La guerre finie, il s'est voué à la conception d'un des premiers ordinateurs anglais, avant de devenir enseignant-chercheur en programmation et en théorie de la calculabilité, puis est reparti vers des travaux plus théoriques, notamment en morphogenèse et en intelligence artificielle.

Il a ainsi lancé l'idée d'un test, appelé maintenant « test de Turing », censé décider de « l'intelligence » d'une machine. Le principe est pour un ordinateur d'essayer de se faire passer pour un humain à travers un échange textuel quelconque avec un opérateur. Le test est probant si l'opérateur croit avoir affaire à un humain. Même s'il est ridicule de restreindre l'intelligence à une simple conversation, ce test a servi et sert encore d'objectif pour tous les développements en intelligence artificielle. En 2014, une équipe russe a prétendu avoir réussi une version simplifiée du test simulant l'intelligence d'un enfant de 13 ans parlant mal l'anglais, mais ce résultat est controversé et peu de spécialistes l'acceptent.

Inculpé en 1952 d'homosexualité (qui était alors un délit dans la puritaine Angleterre), Alan Turing a été forcé de suivre un traitement hormonal castrateur. Il s'est suicidé deux ans plus tard. Les travaux théoriques d'Alan Turing restent dans une relative obscurité pendant les vingt premières années de l'informatique, dont les pionniers étaient d'abord accaparés par la construction pratique des machines ; ils furent redécouverts dans les années 1960 au moment du développement de l'informatique théorique (algorithmique, complexité...). En son honneur, le prix Turing, fondé en 1966 est décerné chaque année pour des contributions majeures en informatique tant théorique qu'appliquée ; il est souvent considéré comme l'équivalent d'un prix Nobel en informatique.

George Stibitz.



1937 ▶ Premier circuit binaire

Ingénieur chez Bell, George Stibitz (1904-1995) met au point le premier circuit binaire (additionneur un bit) avec deux relais. Construite dans sa cuisine (d'où model-K pour *kitchen*), cette curiosité va lancer Bell sur la voie des calculateurs binaires à relais : le *Complex Number Computer* ou *Model I* sera terminé en 1940 pour travailler sur les nombres complexes, très utilisés en traitement du signal dans les compagnies téléphoniques. Il sera amélioré les années suivantes : calculateur de trajectoires anti-aériennes, calculateur balistique... La série culminera en 1946 avec le *Model V*, vrai calculateur universel programmable à relais, au moment où d'autres ingénieurs commencent à développer les premiers ordinateurs électroniques.

1938 ▶ Claude Shannon :

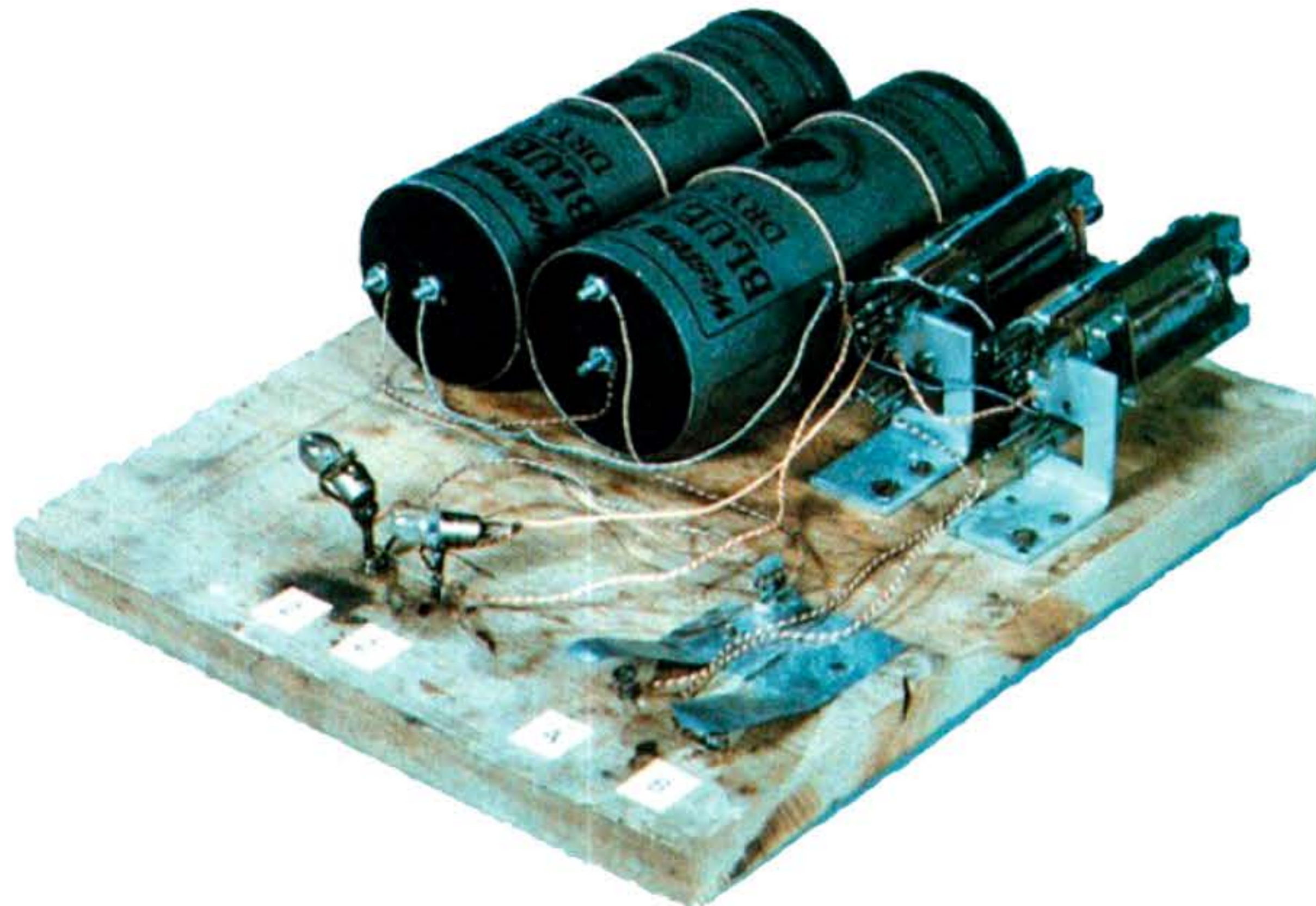
des circuits binaires à la théorie de l'information

Dans son mémoire universitaire, « Analyse symbolique des relais et commutateurs », le mathématicien américain Claude Shannon (1916-2001) est le premier à rapprocher l'algèbre binaire et les circuits électriques. Il propose d'appliquer l'algèbre de Boole aux circuits de commutation automatiques, ouvrant la voie à une conception rigoureuse des circuits logiques. Shannon publie deux ans plus tard une théorie mathématique de l'analyseur différentiel. La guerre l'amène à appliquer sa science à la cryptologie, attirant son attention vers de nouveaux problèmes théoriques.

En 1948 Shannon publie ses conclusions dans « A Mathematical Theory of Communication », article qui fonde la théorie de l'information. Celle-ci permet d'analyser la quantité d'information contenue dans un ensemble de messages. Shannon y adopte comme unité de mesure le *bit*, contraction de *binary digit* (chiffre binaire), terme inventé par John Tukey un an auparavant dans un mémo interne aux Bell Labs.

Fondamentale pour les télécommunications, cette théorie difficile et immensément féconde fait encore aujourd'hui l'objet d'études approfondies. Elle a d'autant plus de retentissement qu'elle unifie l'étude de l'information avec la thermodynamique en élargissant le concept d'entropie. Elle aura de nombreux développements en cryptographie, en compression de données, en codage de l'information, en analyse de la redondance... Ses concepts et les outils qu'elle fournit sont à la base des modélisations d'Internet, de l'invention des turbo codes qui a révolutionné les télécommunications, ou de la 5G — la cinquième génération de futurs standards en téléphonie mobile.

Une réplique du model-K de Stibitz.



1948 ▶ Calculatrices Curta

Inventée par Curt Herzstark (1902-1988) dans les années 1930 et perfectionnée pendant son emprisonnement à Buchenwald durant la seconde guerre mondiale, la Curta est le dernier best-seller des machines à calculer mécaniques. Sous son apparence de « moulin à poivre » à manivelle, c'est une merveille d'intelligence et de mécanique de précision qui en fait le digne successeur de la Brunsviga. Produite à partir de 1948 par Contina AG Mauren au Liechtenstein, elle sera vendue à près de 140 000 exemplaires. Les *Curta* étaient considérées comme les meilleures machines à calculer manuelles jusqu'à l'avènement des calculettes électroniques de poche, qui entraîne l'arrêt de sa fabrication en 1972. De très nombreux exemplaires existent encore dans les mains des collectionneurs et fonctionnent aussi parfaitement qu'au premier jour.



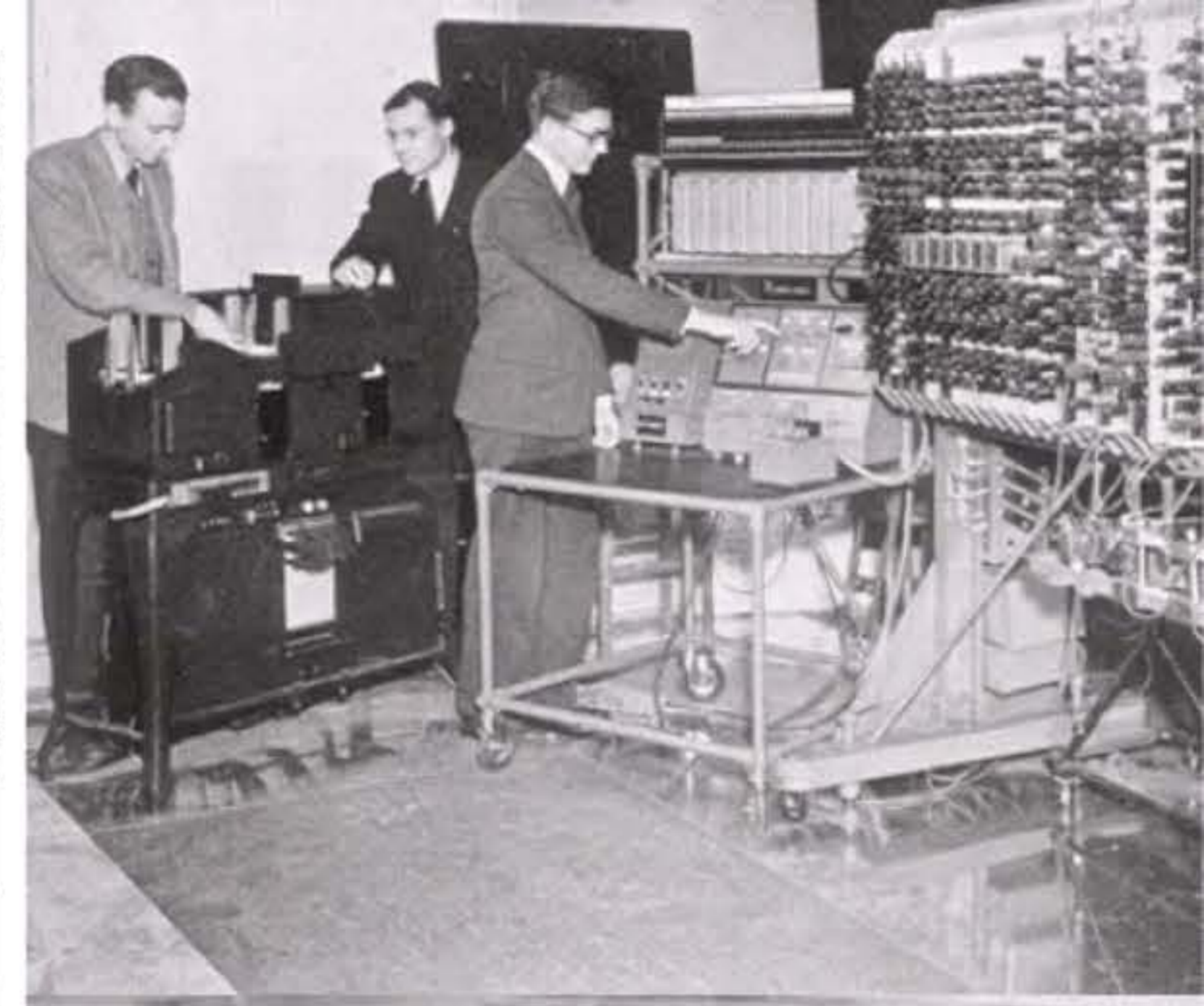
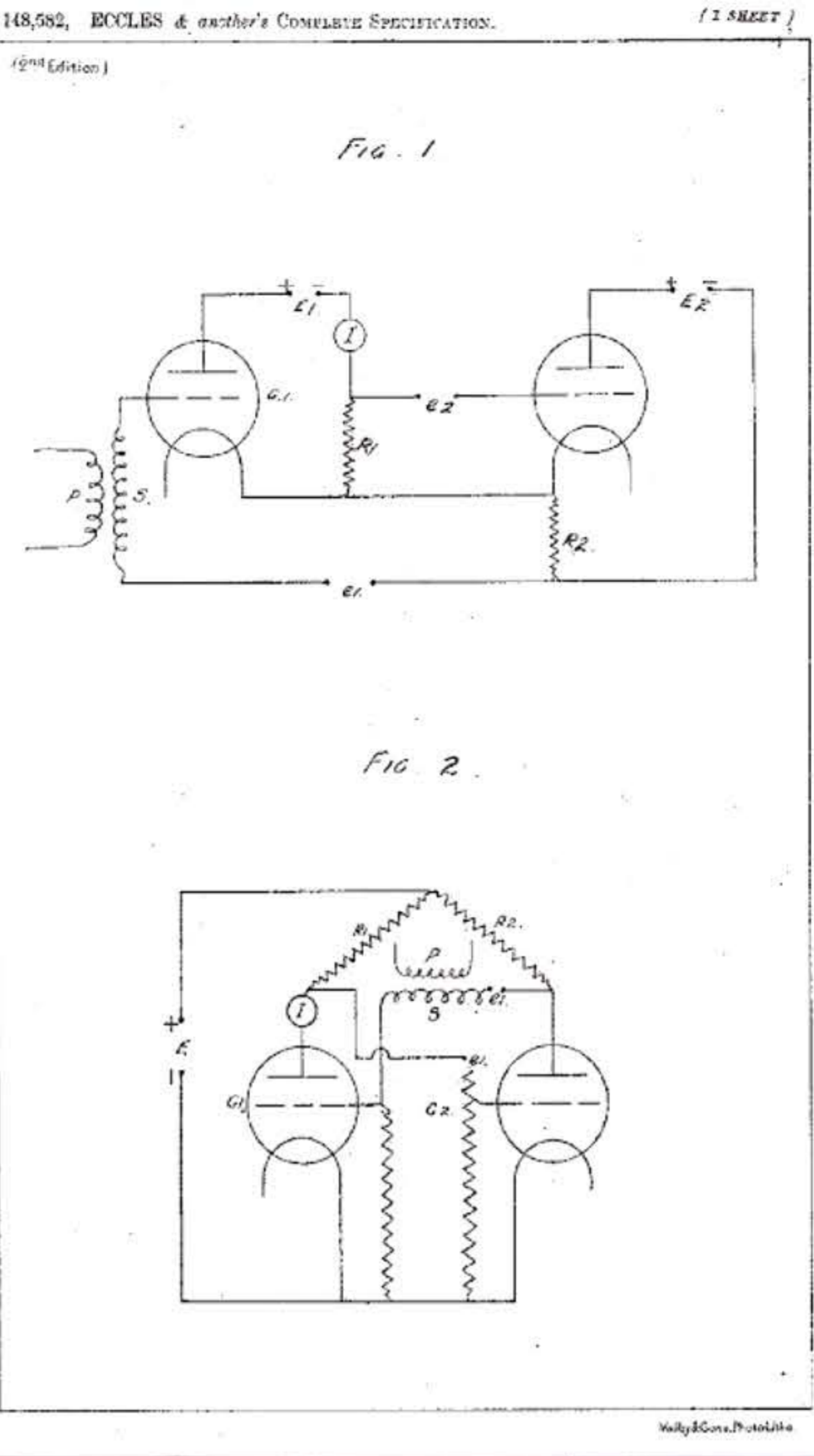
Calculatrice Curta de type I.

Crédits

P. 55 : King's college archives, Cambridge • P. 57 : John Ambrose Fleming. Extrait de John Ambrose Fleming (1919), *The Thermionic Valve and its Developments in Radiotelegraphy and Telephony*, The Wireless Press, London ; Stefan Riepl / Wikimedia Commons • P. 58 : École Nationale des Ponts et Chaussées ; École Nationale des Ponts et Chaussées ; Éditions Gauthier-Villars • P. 59 : Museum of Applied Arts and Sciences, Sydney • P. 60 : John N. Vardalas, DRTE/CRC Image Collection ; L. Torres-Quevedo ; L. Torres-Quevedo • P. 61 : Library of Congress • P. 62 : Capital Pictures ; UniversallImageGroup ; NASA/JPL-Caltech ; Brunsviga GmbH • P. 63 : Bull ; Gwern / Wikimedia Commons ; Bull • P. 64 : Université de Göttingen ; Richard Arens photographer. From the Shelby White and Leon Levy Archives Center, Institute for Advanced Study, Princeton, NJ, USA. Tim Robinson (www.meccano.us) • P. 65 : Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk> • P. 66 : Bull ; Archives historiques BNP Paribas ; Revue Mon Bureau • P. 67 : Bull ; Archives historiques BNP Paribas • P. 68 : Équipe RuBENS, ENS LYON • P. 69 : Droits réservés ; Smithsonian • P. 70 : Thomas Schanz / Wikimedia Commons • P. 71 : Computer Laboratory, University of Cambridge. Reproduced by permission ; Bureau des brevets ; Science Museum / Science & Society Picture Library ; Moore school of Engineering, University of Pennsylvania ; US Army Photo ; MIT Museum, Boston / Nixdorf MuseumsForum, Paderborn ; Library of Congress



[This Drawing is a reproduction of the Original on a reduced scale.]



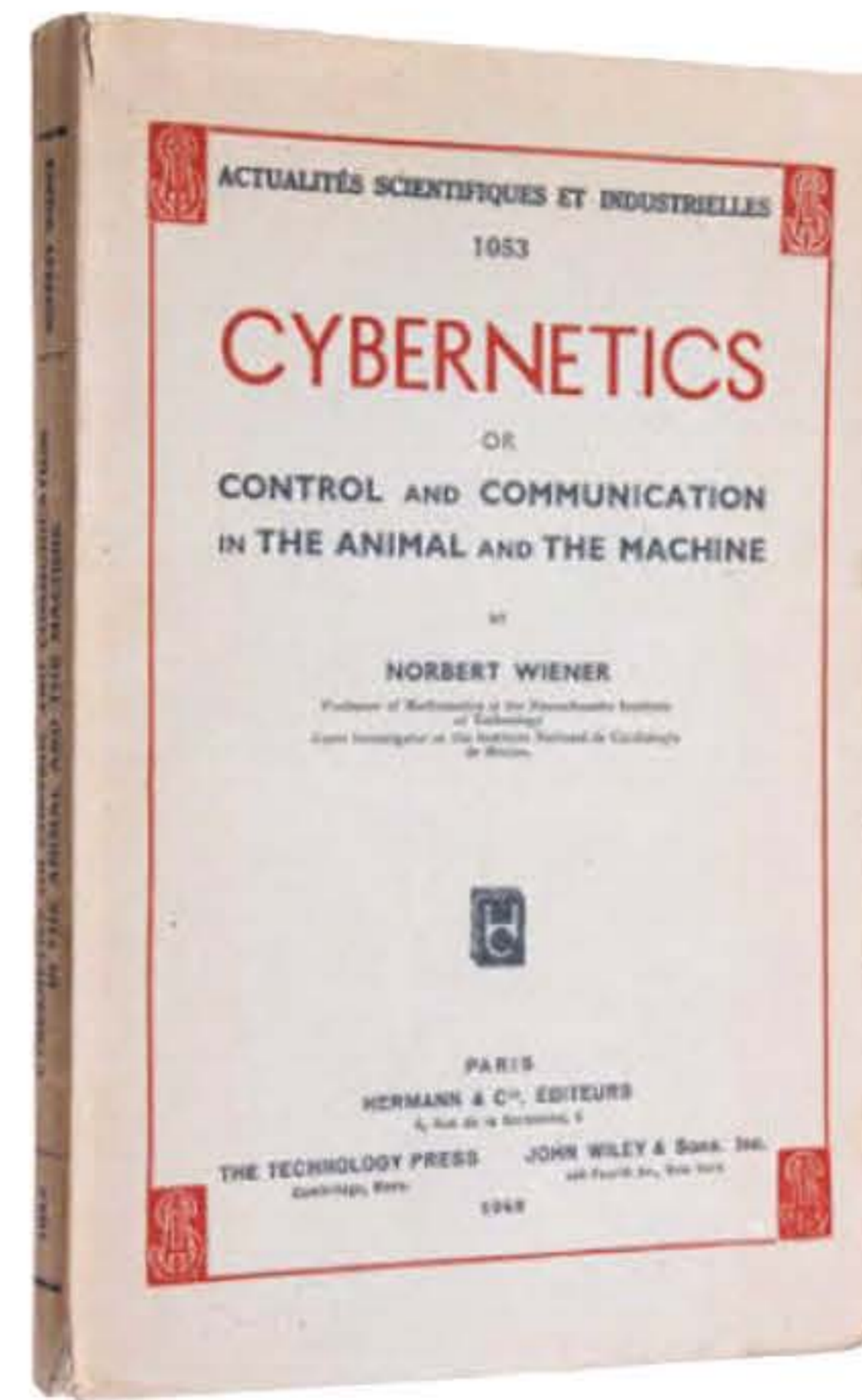
LES PREMIERS ORDINATEURS

Introduction

Qui a inventé l'ordinateur ? La question n'a guère de sens, s'agissant d'un objet aussi complexe. On a vu dans le chapitre précédent que même des éléments de base des futurs calculateurs électroniques : le tube à vide, puis son montage en bascule binaire, avaient été inventés simultanément dans deux pays différents. L'ordinateur résulte nécessairement d'une série de « mariages » de concepts et de technologies provenant de courants très variés, de combinaisons intelligentes effectuées sous l'intense pression de la guerre. Son histoire permet d'observer, sur une petite dizaine d'années, les trois phases d'émergence d'un concept radicalement nouveau.

Vers 1940, plusieurs spécialistes à travers le monde développaient des calculateurs à programme externe, suivant consciemment ou non le projet de machine analytique de Babbage en y ajoutant les possibilités des relais électriques : Zuse en Allemagne, Couffignal en France, Aiken et Stibitz aux États-Unis, d'autres encore tels les ingénieurs d'IBM ou de Bull qui produisaient des calculateurs à cartes perforées. Aucun n'avait la moindre idée d'une machine à programme enregistré, notion qui ne prendrait sens qu'avec un processeur électronique. Certains allaient plus tard adopter cette idée, mais la plupart resteraient longtemps dans le paradigme du calculateur à programme externe, hérité de la mécanique.

En 1945, tirant les leçons des réalisations électroniques secrètes menées pendant la guerre, deux documents définissent une structure de machine radicalement nouvelle : le calculateur numérique à programme enregistré — auquel les Français donneront plus tard



L'ouvrage fondateur de la cybernétique (1948).

le nom bien pratique d'*ordinateur*. Le rapport von Neumann, publié dès juin 1945, aura un large impact en raison même de sa disponibilité (on peut l'acheter à Washington pour une poignée de dollars) et de la notoriété de son auteur : John von Neumann, l'un des esprits les plus brillants et les plus universels du xx^e siècle, est bien connu dans le monde scientifique et a ses entrées chez les dirigeants civils et militaires. Quelques mois plus tard, à Londres, le mathématicien Alan Turing dresse les plans beaucoup plus détaillés d'un ordinateur pour le National Physical Laboratory, citant d'ailleurs le rapport von Neumann comme référence essentielle, mais sans beaucoup chercher à diffuser l'idée au-delà de l'équipe qui doit réaliser sa machine. Les motivations des deux hommes (qui se connaissent et s'apprécient) sont d'ailleurs différentes : von Neumann veut surtout

faire construire un puissant *calculateur*, si possible en plusieurs exemplaires dans plusieurs universités, pour développer les mathématiques appliquées et mettre de nouveaux moyens de modélisation mathématique au service des sciences et des techniques. Turing, lui, veut réaliser une machine à *traiter l'information*, autant pour calculer que pour mener des recherches sur la pensée.

En 1950, une dizaine d'ordinateurs sont en construction, certains même déjà en service, en Angleterre, aux États-Unis et en Union Soviétique. S'ils constituent potentiellement une solution élégante et prometteuse à beaucoup de problèmes, ils commencent par en poser de très difficiles : comment réaliser les mémoires, cet organe essentiel schématisé dans le rapport von Neumann, mais qui n'existe pas dans les technologies disponibles à l'époque ? Comment, aussi,

assurer un minimum de fiabilité à une machine constituée de milliers de composants et de soudures qui ne demandent qu'à griller et à se dessouder ? D'autant que l'on construit ces machines avec des pièces détachées qui proviennent d'autres secteurs d'activités, comme les télécommunications, et qui n'ont pas été conçues pour le calcul digital. Enfin, quelles méthodes de codage (on dira bientôt *programmation*) élaborer pour communiquer avec la machine ? Et quels procédés mathématiques inventer pour faire traiter des équations par un appareil électronique qui peut amplifier à toute vitesse la moindre erreur et la plus légère approximation (ce sera l'objet de l'analyse numérique, une vieille sous-discipline qui prend dès lors une importance sans précédent) ? D'un point de vue plus concret, pour les laboratoires qui se lancent dans l'aventure, comment gérer un projet de développement technique aussi complexe, réunir dans une même équipe des mathématiciens, des électroniciens, des mécaniciens, inventer un langage commun ? Les deux-tiers des projets de grands calculateurs, à l'époque, traverseront bien des avatars, subiront des retards parfois irrémédiables ou seront même abandonnés quand les industriels commercialiseront les premiers ordinateurs de série.

Le caractère extrêmement risqué de ces projets justifie qu'ils soient menés généralement dans les laboratoires de recherche publics : ceux-ci, financés par des agences gouvernementales ou des académies, peuvent explorer des voies absolument nouvelles susceptibles d'être des impasses, prendre plus de temps que prévu pour surmonter des difficultés inédites, échanger ouvertement informations et leçons de l'expérience, là où des laboratoires privés seraient contraints par le secret industriel. Rapidement, toutefois, d'assez nombreuses entreprises de toutes tailles organisent les transferts de technologies (généralement par des transferts d'hommes), mettent au point et industrialisent les nouvelles machines. En les mettant à la disposition d'utilisateurs de plus en plus nombreux, elles favorisent la multiplication des expériences et l'acquisition de savoir-faire, donc de nouveaux progrès qui ne s'arrêteront plus.

Les pionniers de l'informatique ont eu une vision assez claire de l'évolution future du matériel, mais ont complètement sous-estimé

l'importance et la difficulté de la programmation. Bien qu'universels en principe, les premiers ordinateurs étaient conçus en vue de la résolution d'une certaine classe de problèmes — souvent pour produire des tables numériques. Ils étaient utilisés par des ingénieurs, physiciens et mathématiciens qui indiquaient à la machine la suite des opérations à effectuer et récupéraient les résultats ; sans être triviale, l'écriture de programmes ne représentait pas une difficulté majeure. Avec le développement des premiers systèmes commerciaux dans les années 1950, les possibilités et domaines d'utilisation exploseront et la programmation deviendra le facteur critique de la réussite d'un projet — elle l'est encore de nos jours.

À Cambridge, Maurice Wilkes a le vif souvenir d'en avoir pris conscience et le rappelle dans ses mémoires : « Dès que nous avons commencé à programmer, nous avons constaté à notre grande surprise qu'il n'était pas aussi facile que nous l'avions pensé d'obtenir des programmes corrects. Le débogage devait être inventé. C'était lors d'un de mes trajets entre la salle EDSAC et la perforatrice que, sur le palier de l'escalier, j'ai brutalement réalisé qu'une bonne partie du reste de ma vie allait être passée à trouver des erreurs dans mes propres programmes. »

Au-delà de ces problèmes techniques cruciaux, l'informatique naissante participe au changement des équilibres mondiaux. Les États-Unis sont sortis considérablement renforcés et enrichis du deuxième conflit mondial, et décidés à jouer désormais un rôle de leader sur la scène internationale. L'un de leurs atouts majeurs est — déjà — la puissance de leurs services de renseignement, de cryptanalyse et d'écoute des transmissions. En quelques années, leurs chercheurs développent certains des premiers ordinateurs du monde et inventent le transistor, faisant des États-Unis le berceau de la « troisième révolution industrielle ». Un savoir-faire sans égal dans la synergie entre recherche universitaire et industrie, combiné avec d'énormes investissements gouvernementaux dans l'innovation et avec une foi ardente dans le progrès et l'efficacité de la technique, fait des États-Unis une nouvelle « économie-monde », imprimant son rythme et sa stratégie à sa vaste sphère d'influence, et même au-delà dans les pays qui tentent d'en rester indépendants.

1940 ▶ Calculateur ABC : Atanasoff-Berry Computer

John Atanasoff (1903-1995), professeur de physique à l'université d'Iowa, construit un calculateur binaire avec l'aide d'un étudiant, Clifford Berry (1918-1963). Cette petite machine est à base de tubes électroniques et comprend des circuits logiques et une mémoire à base de condensateurs, mais n'est pas programmable et ne peut que résoudre des systèmes d'équations linéaires.

Même si la partie électronique chargée du calcul fonctionne, la machine ne sera jamais vraiment utilisable, des erreurs récurrentes se produisant dans le lecteur de cartes perforées. Atanasoff cessera d'ailleurs vite de s'occuper de calculateurs. Cependant, en 1973, lors d'un procès en paternité de brevets contre les fondateurs d'Univac, un juge américain déclarera qu'Atanasoff pouvait être considéré comme le père de l'ordinateur. Décision qui reflète sans doute l'ignorance du juge quant aux réalités de l'innovation, mais qui a l'avantage de mettre définitivement les brevets de l'ordinateur dans le domaine public !

Calculateur ABC. En bas à droite, les tubes électroniques servant aux calculs ; le tambour du fond porte les condensateurs mémorisant les bits de données.



1940 ▶ Les calculateurs de Konrad Zuse



La Z4 de Konrad Zuse terminée en 1944 : sans doute la première machine « Turing-complète » de l'histoire.

Jeune ingénieur allemand travaillant sur la résistance des structures, Konrad Zuse (1910-1995) imagine un ordinateur binaire pour effectuer ses longs calculs répétitifs. Un premier modèle purement mécanique Z1, achevé en 1938, fonctionne juste assez mal pour le convaincre d'en concevoir un deuxième avec des relais de téléphone, le Z2, tandis que son ami Helmut Schreyer préférerait passer rapidement aux tubes électroniques. Tous deux ignorent les travaux comparables menés outre-Atlantique par Shannon, Stibitz et d'autres.

Zuse cherche des appuis dans l'industrie mais peu de spécialistes croient à une machine fonctionnant en binaire. Un constructeur lui répond « *qu'il lui adresse tous ses vœux pour l'heureux aboutissement de ses recherches, mais que, malheureusement, toutes les techniques possibles en matière de machines à calculer ont déjà été découvertes et exploitées et que c'est là un domaine où les idées nouvelles n'ont plus leur place* ». Zuse finit cependant par trouver un soutien auprès d'un constructeur de calculateurs de bureau, puis à l'institut de recherche aéronautiques de Berlin. Ce qui lui permet de développer un modèle bien plus ambitieux, mais désormais sous le secret militaire, le Z3.

Achévé en 1941, le Z3 contient plus de 2 000 relais, pèse une tonne et consomme plus de 4 kW. Il comprend une mémoire, un dispositif de contrôle et une unité arithmétique calculant en binaire sur des nombres en virgule flottante ! Données et instructions sont perforées sur du film cinéma 35 millimètres, moins cher et plus solide que des rubans de papier et facile à guider avec les perforations latérales. C'est donc, bien dans la lignée conceptuelle de Babbage, le premier grand ordinateur numérique contrôlé par programme qui entre en service opérationnel, plusieurs années avant le Colossus anglais, le Harvard Mark 1 ou l'Eniac américains.

La mémoire de travail contient 64 mots de 22 bits. Les relais ne permettant qu'une cadence lente, 5,3 Hertz, le Z3 effectue une addition en 0,8 seconde, une multiplication en 3 secondes ; division et extraction de racine carrée prennent trois fois plus de temps, mais qu'importe : le Z3 ne se compare pas avec nos appareils actuels, mais avec ses contemporains dont aucun ne peut approcher ses performances.

L'appareil est détruit en 1943 lors d'un bombardement allié. La machine Z4, amélioration du Z3, est presque terminée en 1945 lorsque Zuse doit fuir l'avance alliée. Après déménagement et reprise du travail, elle sera acquise en 1950 par le Polytechnikum de Zurich, qui la cèdera en 1955 à un laboratoire militaire, l'Institut franco-allemand de Saint-Louis, en Alsace.

Zuse est l'un des premiers à avoir réalisé que les fonctions de contrôle pouvaient également s'exprimer et être stockées sous forme numérique, ouvrant la voie à la machine programmable. Il a aussi été le premier à concevoir dès 1943 un langage algorithmique de programmation (incluant fonctions avec paramètres, itérations, structures de données, etc.), *Plankalkül*, dont il ne pourra malheureusement pas poursuivre le développement. Zuse fondera ensuite son entreprise, qui construira des séries d'ordinateurs jusqu'à son rachat par Siemens en 1967.

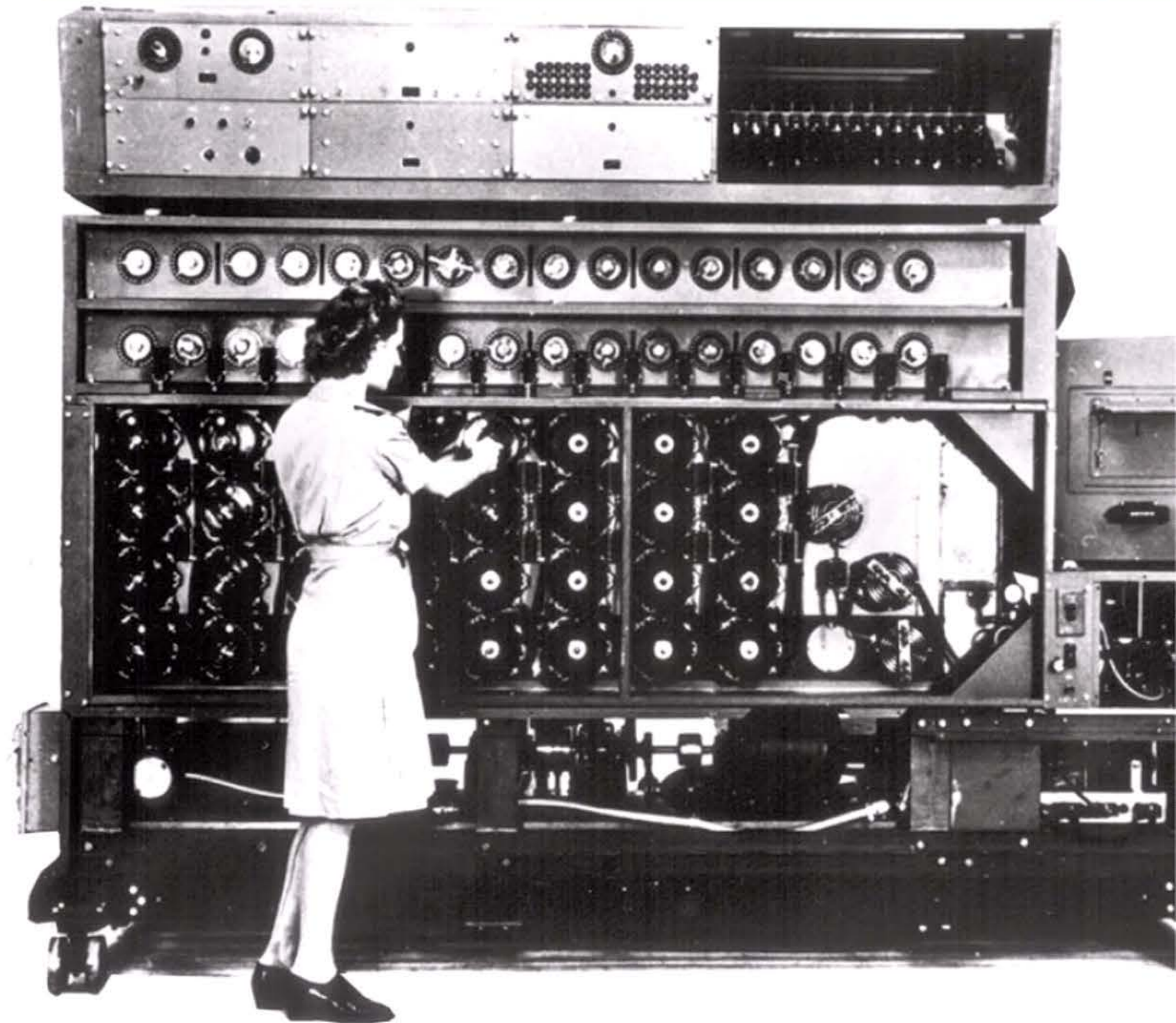
1938-1943 ▶ Décryptage d'Enigma

Conçue à l'origine pour sécuriser les communications bancaires, la machine Enigma est adoptée par les services allemands du Chiffre au début des années 1930, dans le cadre du réarmement conduit par Hitler. D'une technique classique et bien maîtrisée, qui permet d'ailleurs d'en produire des milliers d'exemplaires, cette machine est remarquable par son système de rotors et de tableau de connexions qui génère des trillions de combinaisons possibles. Plus question d'espérer les décrypter par les moyens existants.

Les services secrets français et polonais, qui coopèrent étroitement à l'époque, s'y attaquent cependant. Le 2^e Bureau de l'Armée française, qui a remporté de beaux succès de cryptanalyse pendant la Grande Guerre, bénéficie cette fois de l'aide d'un officier allemand antinazi qui fournit régulièrement les clés du chiffre. Les Polonais innovent en employant des chercheurs en mathématiques qui inventent des méthodes adaptées, dont une machine surnommée *Bomba* à cause

du tic-tac de sa mécanique. Jusqu'à la chute de la France en juin 1940, les services franco-polonais lisent couramment les messages militaires de l'ennemi.

« Bombe » utilisée par l'armée américaine pour décrypter les messages allemands.

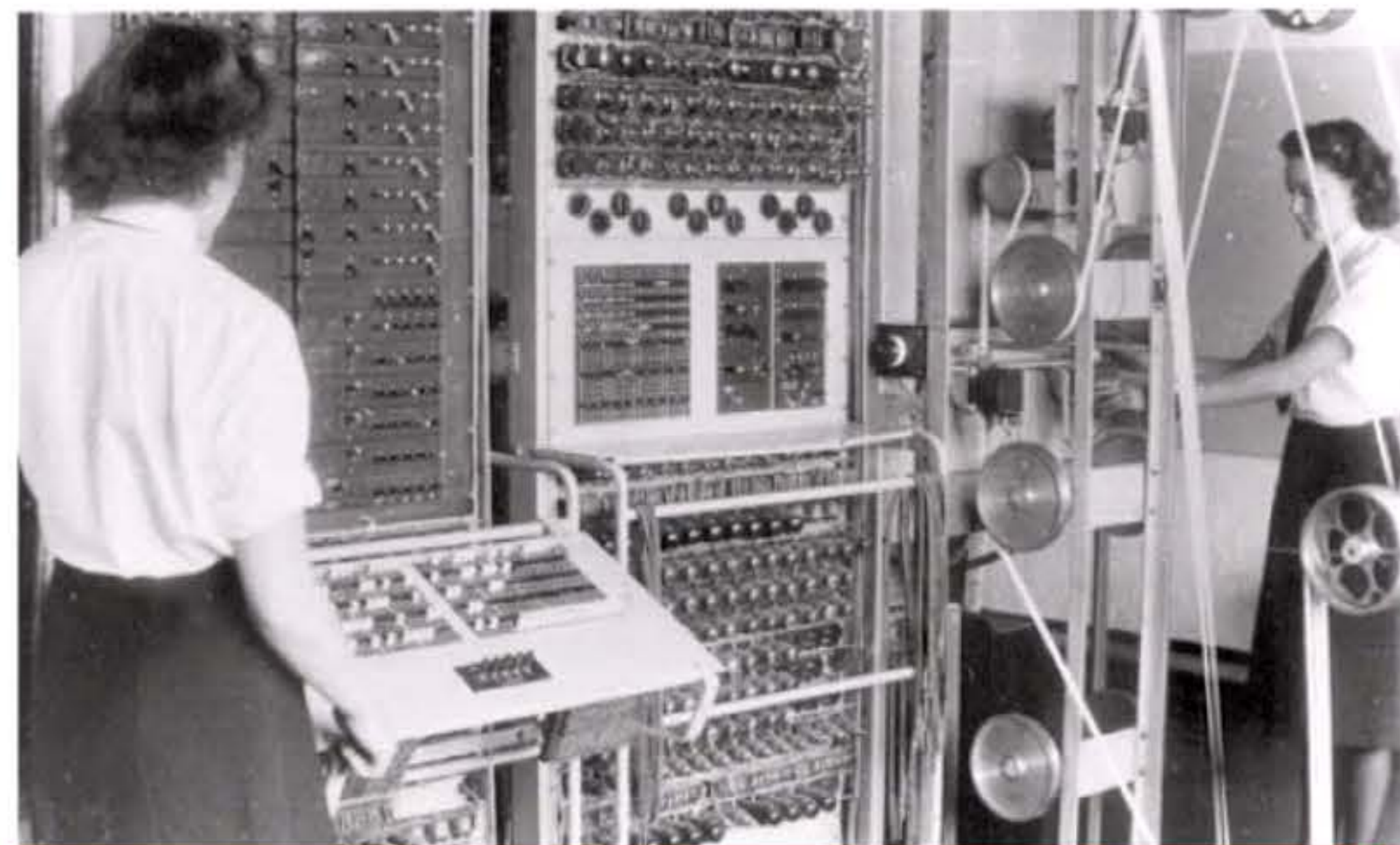


Les Anglais ont centralisé tous leurs moyens de décryptage dans une Government Code and Cypher School interarmées qui réunit à Bletchley Park une congrégation originale de brillants mathématiciens, de linguistes et d'ingénieurs. Les techniques franco-polonaises ont montré qu'il est possible de « casser Enigma », mais il faut les perfectionner sans cesse car les Allemands de leur côté complexifient régulièrement leur système. Travaillant dans un secret absolu et sous la pression infernale de la guerre, les cryptanalystes anglais construisent de nouvelles « bombes » reproduisant les composants d'Enigma et pouvant tester rapidement des millions de configurations de rotors chiffants. Ces machines ne servent qu'à trouver la clé du chiffre, que l'ennemi change très souvent. Le déchiffrage est ensuite fait à la main, et ses résultats classés dans un immense système d'information qui reste en grande partie manuel.

Alan Turing apporte une contribution décisive, d'abord en introduisant la puissance des théories mathématiques dans la cryptanalyse, puis en cassant le chiffre le plus difficile, celui de la marine allemande qui est la principale menace contre la survie de l'Angleterre. Il contribue aussi à transférer l'expérience acquise vers les États-Unis, qui lui consacreront des moyens à leur échelle et s'en serviront contre l'agresseur japonais.

1943-1945 ▶ Colossus : décryptage des machines Lorenz

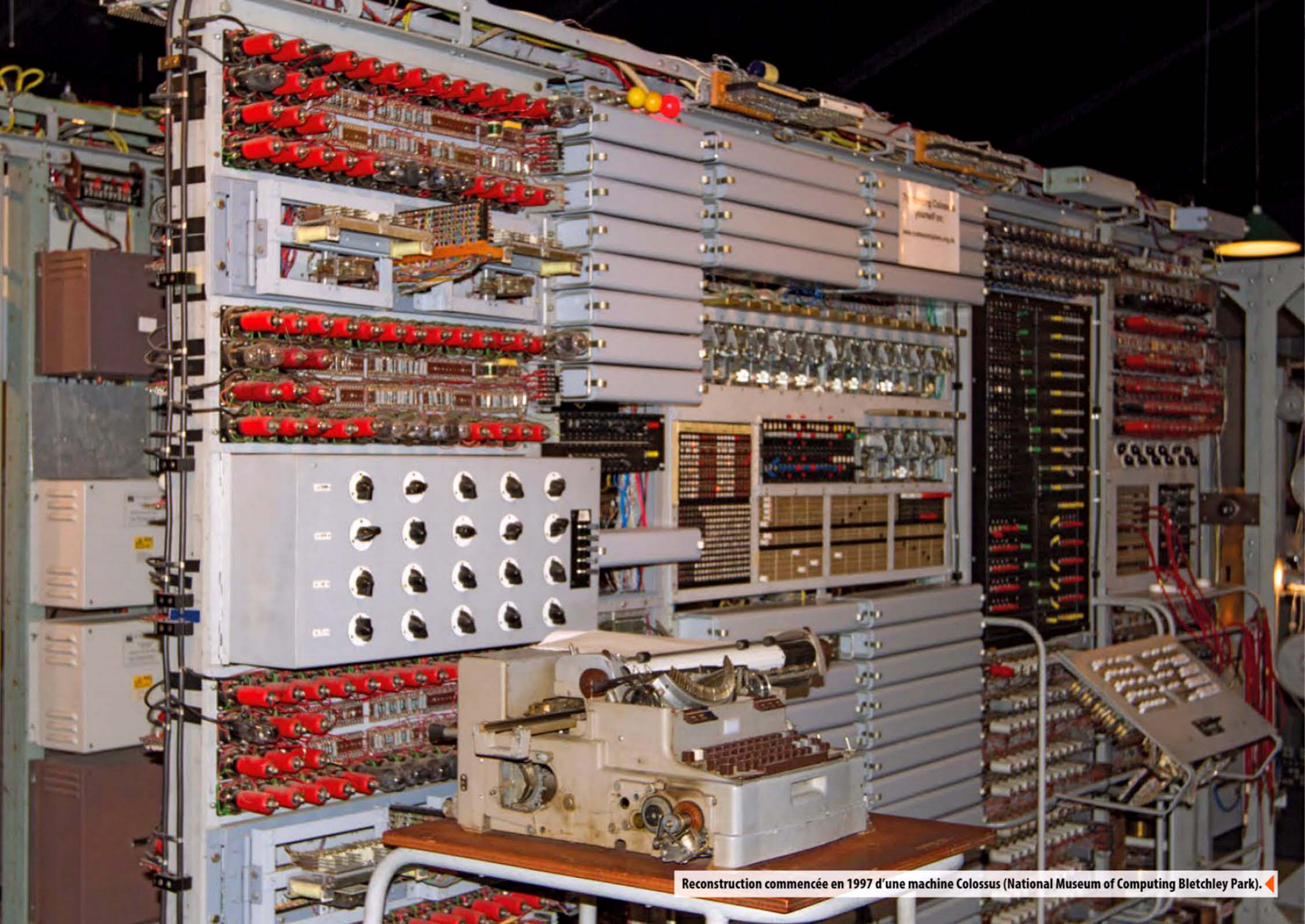
Les systèmes mis au point contre Enigma s'avèrent impuissants à déchiffrer les messages beaucoup mieux protégés des états-majors, codés avec des télécrypteurs de la firme Lorenz. Un ingénieur des téléphones, Tommy Flowers (1905-1998), juge que seules des machines électroniques encore plus complexes pourraient relever le défi. Collaborant à Bletchley Park avec Max Newman (ancien professeur de logique de Turing) pour la partie mathématique, il conçoit en moins d'un an Colossus, mis en construction fin 1943. Contenant environ 2 000 tubes électroniques travaillant en binaire,



Colossus à Bletchley Park (1944).

Colossus reçoit les données par bandes de papier perforé à la vitesse de 5 000 caractères/seconde. La programmation des opérations logiques et de comptage se fait à l'aide de câbles et d'interrupteurs. Colossus ayant pour but spécifique de déterminer la clé d'un chiffre, il ne nécessite pas des capacités plus complètes de programmation, contrairement aux futurs ordinateurs universels conçus pour résoudre tout type de problème. En termes rigoureux, Colossus est le premier processeur électronique, numérique et partiellement programmable de l'histoire. Flowers, avec Schreyer et Atanasoff, est l'un des premiers hommes à avoir réalisé que l'électronique pouvait être utilisée pour le calcul numérique à grande vitesse — et le premier à avoir été au bout de l'idée.

L'existence de ces dix machines restera secrète pendant 30 ans en raison du secret militaire britannique. Mais l'expérience acquise avec elles incitera plusieurs équipes anglaises à se lancer dans la construction des premiers ordinateurs. Entre temps, on a pu estimer que les percées effectuées à Bletchley Park ont donné aux armées alliées un avantage qui leur a permis de gagner la guerre deux ans plus tôt que si elles n'en avaient pas bénéficié.

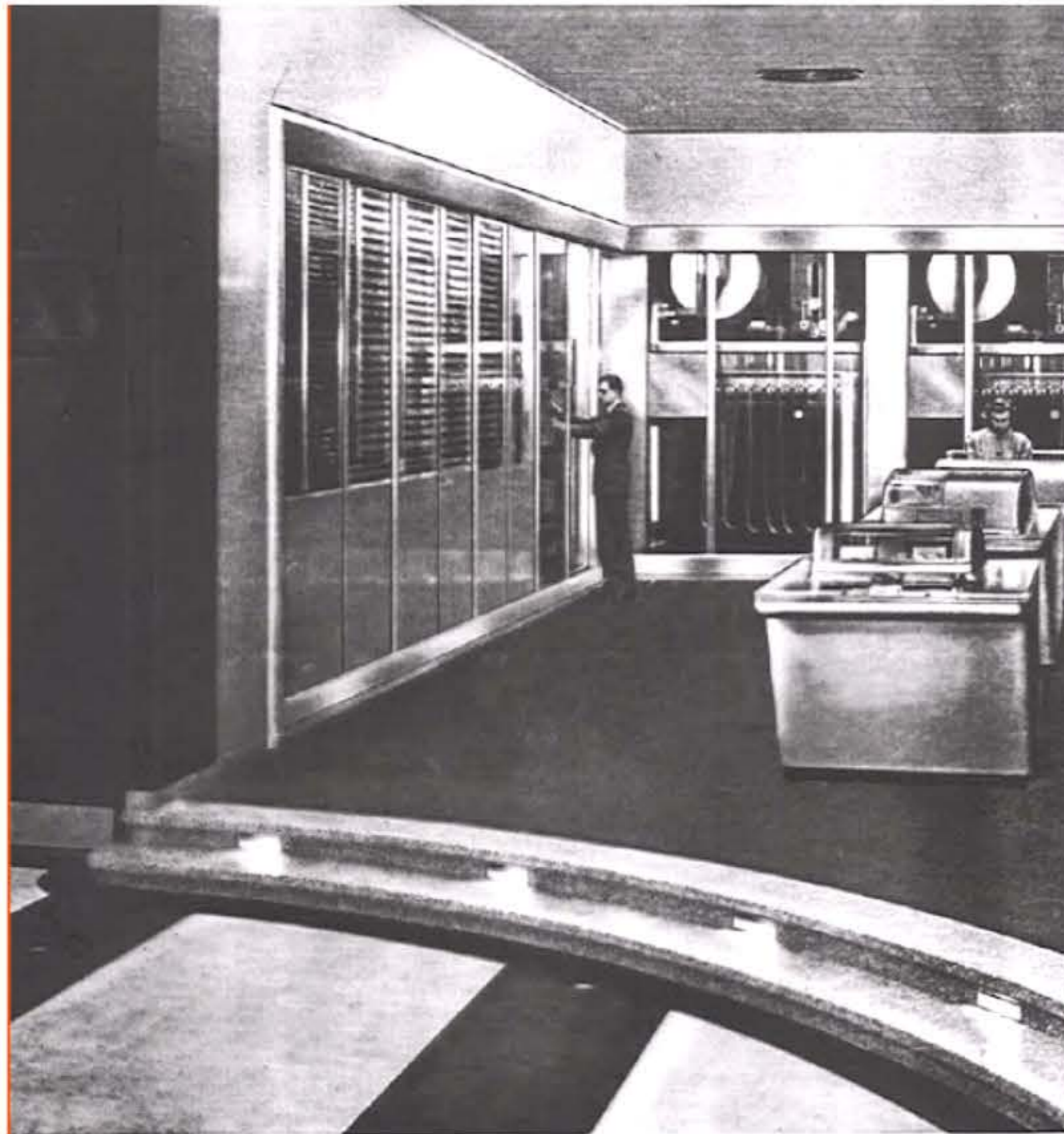


Reconstruction commencée en 1997 d'une machine Colossus (National Museum of Computing Bletchley Park). ◀

1944 ▶ Calculateur Harvard Mark I

Sur les plans de Howard Aiken (1900-1973), IBM et l'université de Harvard construisent pour la marine américaine le ASCC (*Automatic Sequence Controlled Calculator*) ou Harvard Mark I, gigantesque calculateur décimal à relais (3 300 relais, plus de 750 000 pièces détachées...). Il effectue une addition de deux nombres de 23 chiffres en 3/10 de seconde. Utilisé pour des recherches militaires à la fin de la guerre, c'est le plus gros calculateur élec-

tromécanique jamais assemblé. IBM s'en inspire en 1948 pour construire une grande machine partiellement électronique 250 fois plus rapide que le Mark I, le SSEC (*Selective Sequence Electronic Calculator*, 12 000 tubes à vide et plus de 20 000 relais). Ces deux machines de prestige permettent un apprentissage de techniques de programmation, qui seront mises à profit dans les ordinateurs qu'IBM commence à développer en 1950.



IBM SSEC (1948).

The IBM Selective Sequence Electronic C.

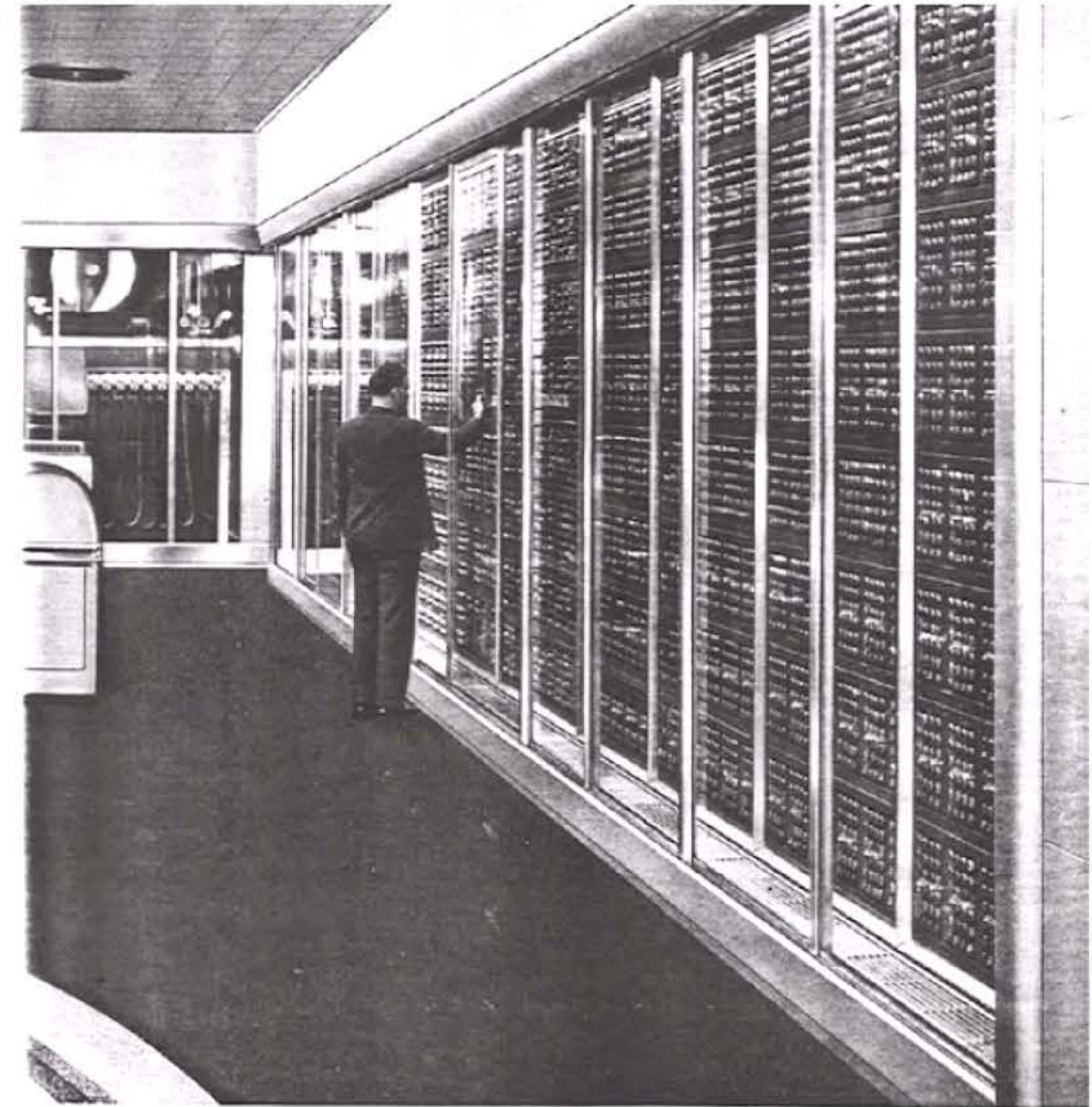
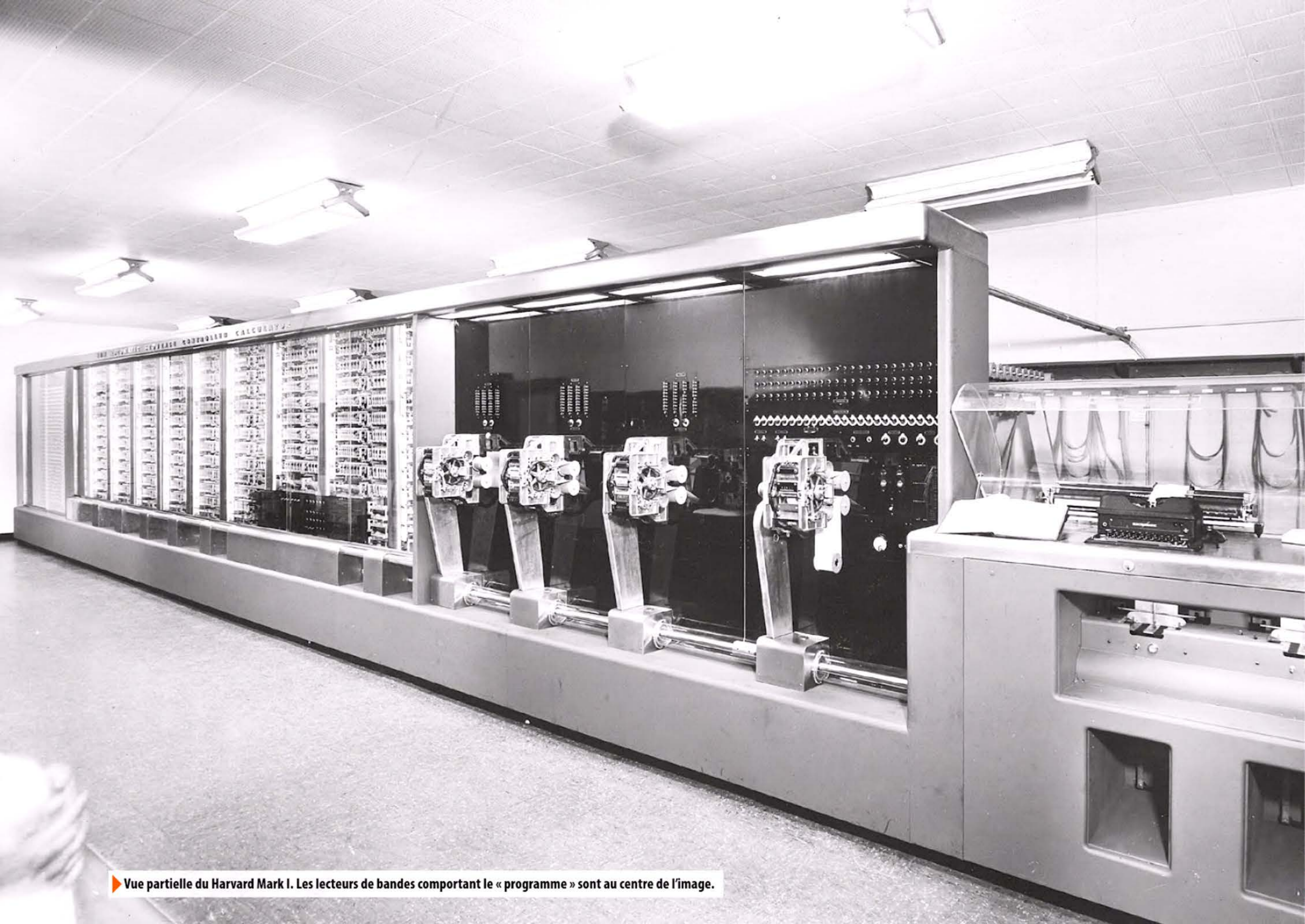
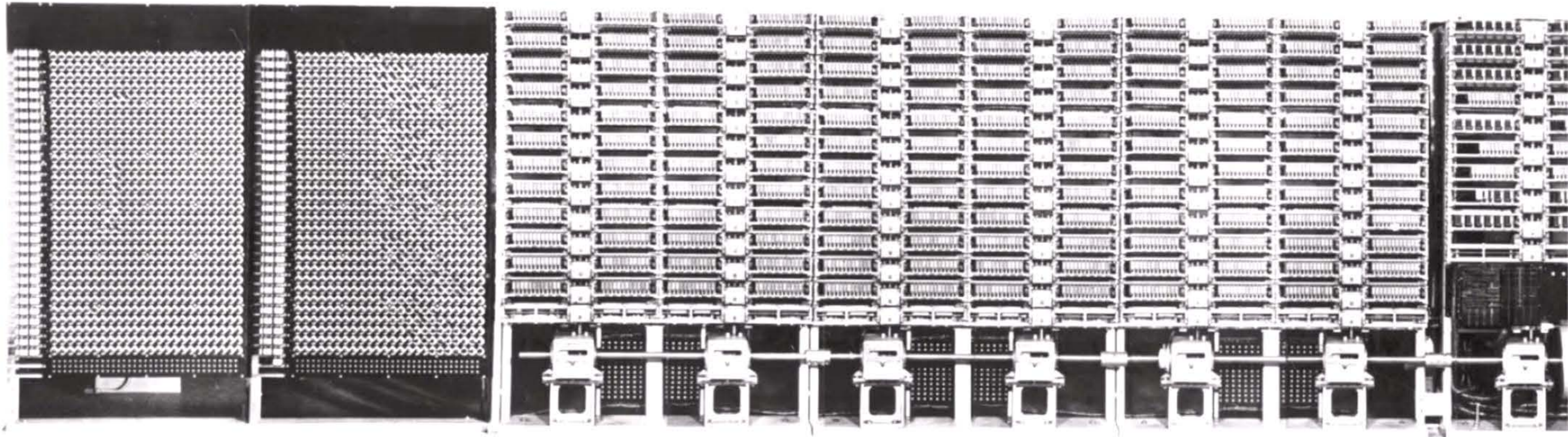


Diagram at left identifies and locates major units.



► Vue partielle du Harvard Mark I. Les lecteurs de bandes comportant le « programme » sont au centre de l'image.

IBM AUTOMATIC SEQUENCER



60 CONSTANTS

72 STORAGE COUNTERS

MULTIPLE

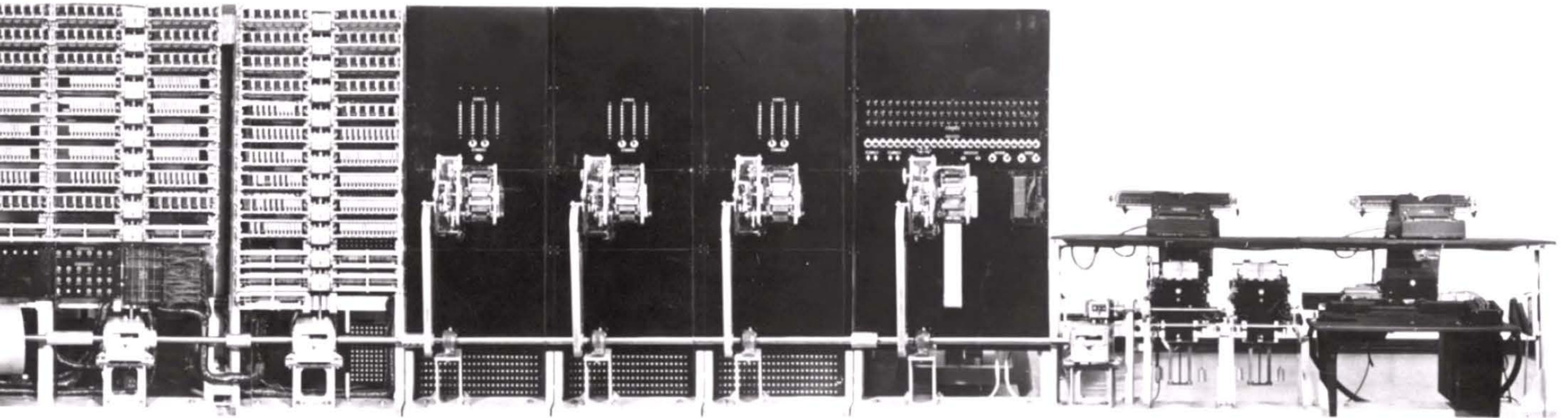
DESIGNED BY -

Comdr. Howard Aiken, USNR
Mr. C. D. Lake, IBM Corp
Mr. F. E. Hamilton, IBM Corp
Mr. B. M. Durfee, IBM Corp

PRESENTED TO HARVARD UNIVERSITY BY INT

Through the
MR. THOMAS J.

E CONTROLLED CALCULATOR



LY-DIVIDE UNIT

FUNCTIONAL
COUNTERS

INTERPOLATORS-1. 2. 3.

SEQUENCE
CONTROL

TYPEWRITERS - CARD FEEDS - CARD PUNCH

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION

the Courtesy of
WATSON, President.

AUG. 7, 1944

1945 ▶ Vannevar Bush et l'hypertexte

Professeur au MIT, Vannevar Bush (1890-1974), a développé un analyseur différentiel analogique, très utilisé pour les calculs d'électrotechnique et reproduit dans divers laboratoires à travers le monde. Devenu conseiller scientifique à la Maison Blanche, Vannevar Bush milite pour un investissement massif dans la recherche et dans les infrastructures favorisant la diffusion du savoir. Son article « As we may think » décrit un système futuriste, « Memex », servant d'extension à la mémoire humaine et pouvant stocker des informations reliées entre elles sur le principe de l'hypertexte. Les techniques envisagées à l'époque (enregistrement microphotographiques) sont très limitées, mais cette vision du futur influencera de nombreux informaticiens. Notamment les initiateurs du réseau Arpanet, qui y puiseront leurs idées et développeront les technologies nécessaires pour réaliser ce rêve.



▶ V. Bush devant l'analyseur différentiel du MIT dans les années 1930.

1945 ▶ ENIAC

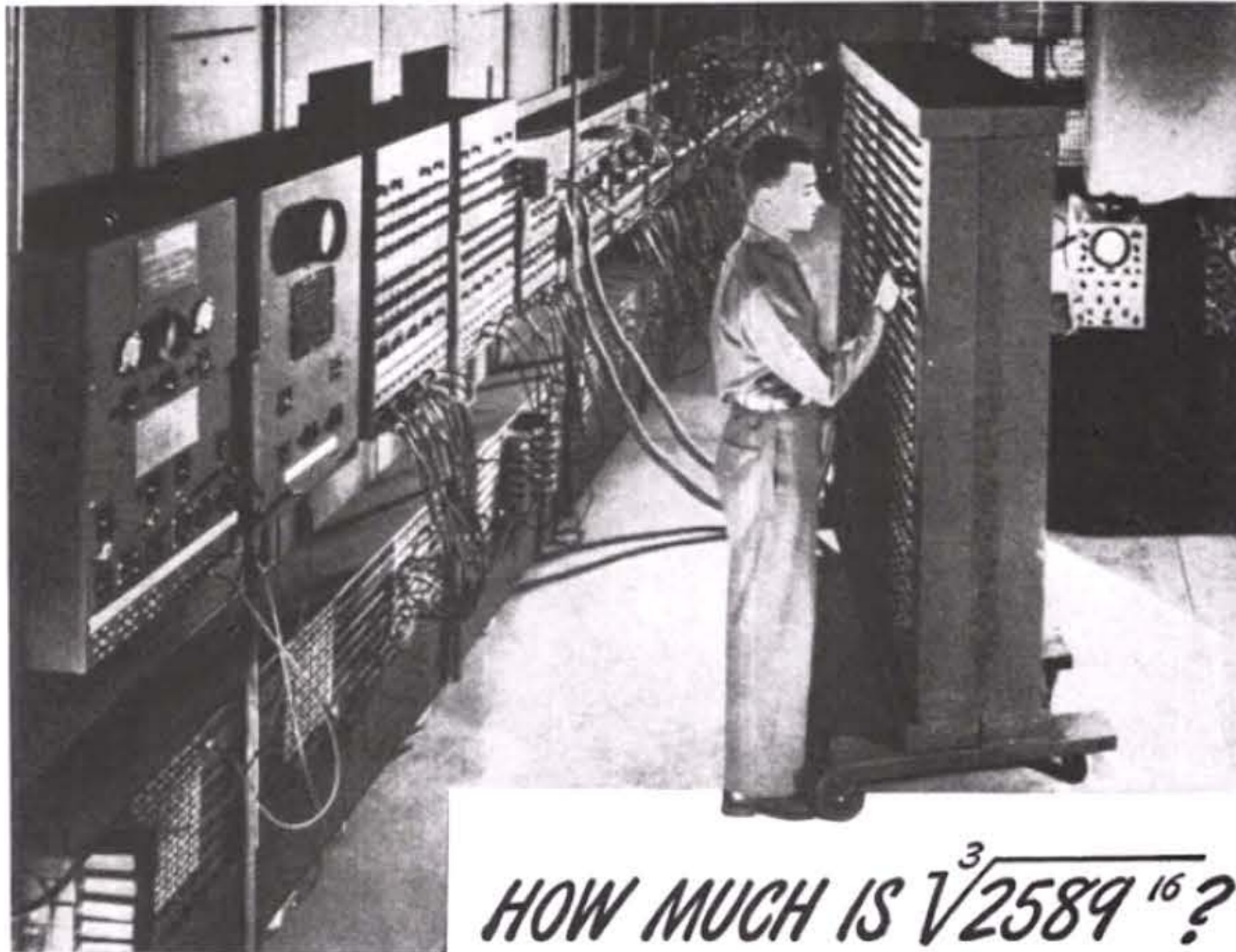
En 1942 John W. Mauchly (1907-1980) dirige à Philadelphie un centre de calcul qui élabore des tables de tir pour l'artillerie américaine. Il prévoit le moment où ce centre ne pourra plus faire face à la demande croissante de calculs. Ayant étudié le petit calculateur spécialisé ABC d'Atanasoff, il rédige pour l'armée un projet de gros calculateur électronique. Aux experts qui objectent que la fragilité d'un ensemble de milliers de tubes entraînerait des pannes trop fréquentes, il répond que la vitesse de calcul obtenue compensera largement ce défaut. Il s'associe d'ailleurs avec un électronicien hors pair, Presper Eckert (1919-1995), qui maîtrise bien les problèmes de fiabilité.

Tous deux dirigent la construction de l'ENIAC (*Electronic Numerical Integrator And Computer*) à la Moore School of Electrical Engineering de l'université de Pennsylvanie. Composé de 18 000 tubes (2 000 sont remplacés tous les mois au début puis 15 par mois en régime de croisière), l'ENIAC pèse 30 tonnes et mesure 24 mètres de long, 5 de haut, 4 de large. Une grande partie de cet encombrement vient de ce que ses circuits sont décimaux. Il n'a pas de programme interne : les opérations à effectuer sont entrées à la main en établissant des connexions et en positionnant des interrupteurs. Les données sont lues par cartes perforées. L'ENIAC n'a donc pas l'élégance des constructions intellectuelles de Babbage ou de Turing :

- la machine est volontairement décimale ;
- il n'y a pas de distinction entre la fonction mémoire et la fonction calcul ;
- il n'y a pas vraiment d'unité centrale généraliste mais une juxtaposition d'accumulateurs et d'unités spécialisées ;
- la programmation se fait par câblage, avec des fiches et des connecteurs à brancher pour chaque nouveau traitement.



ENIAC. Eckert et Mauchly sont au premier plan, Jennings, Goldstine et Licterman sur le panneau de droite. ◀



HOW MUCH IS $\sqrt[3]{2589^{16}}$?

The Army's ENIAC can give you the answer in a fraction of a second!

Think that's a stumper? You should see *some* of the ENIAC's problems! Brain twisters that if put to paper would run off this page and feet beyond . . . addition, subtraction, multiplication, division—square root, cube root, any root. Solved by an incredibly complex system of circuits operating 18,000 electronic tubes and tipping the scales at 30 tons!

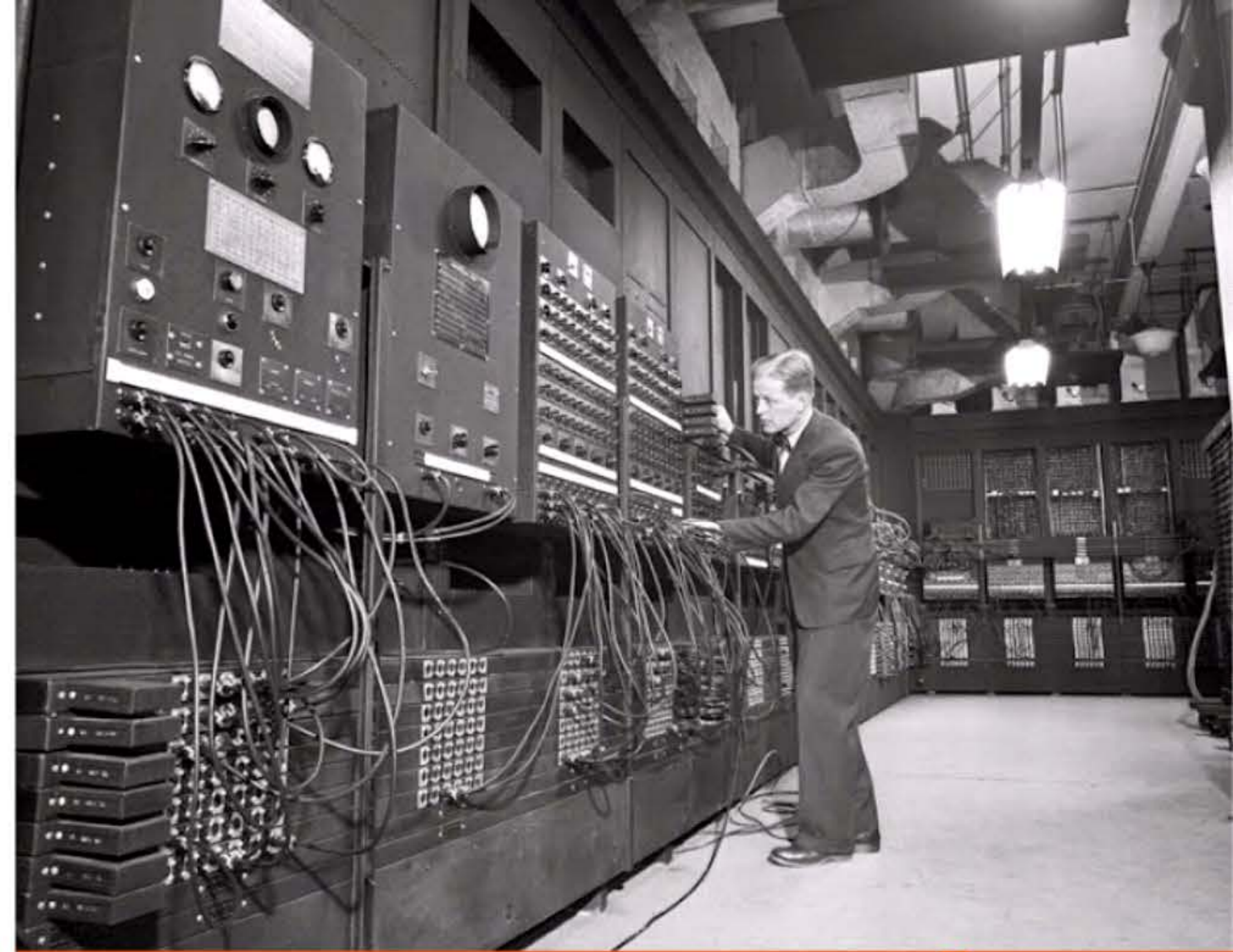
The ENIAC is symbolic of many amazing Army devices with a brilliant future for you! The new Regular Army needs men with aptitude for scientific work, and as one of the first trained in the post-war era, you stand to get in on the ground floor of important jobs

YOUR REGULAR ARMY SERVES THE NATION AND MANKIND IN WAR AND PEACE

which have never before existed. You'll find that an Army career pays off.

The most attractive fields are filling quickly. Get into the swim while the getting's good! 1½, 2 and 3 year enlistments are open in the Regular Army to ambitious young men 18 to 34 (17 with parents' consent) who are otherwise qualified. If you enlist for 3 years, you may choose your own branch of the service, of those still open. Get full details at your nearest Army Recruiting Station.

A GOOD JOB FOR YOU
U. S. Army
CHOOSE THIS
FINE PROFESSION NOW!



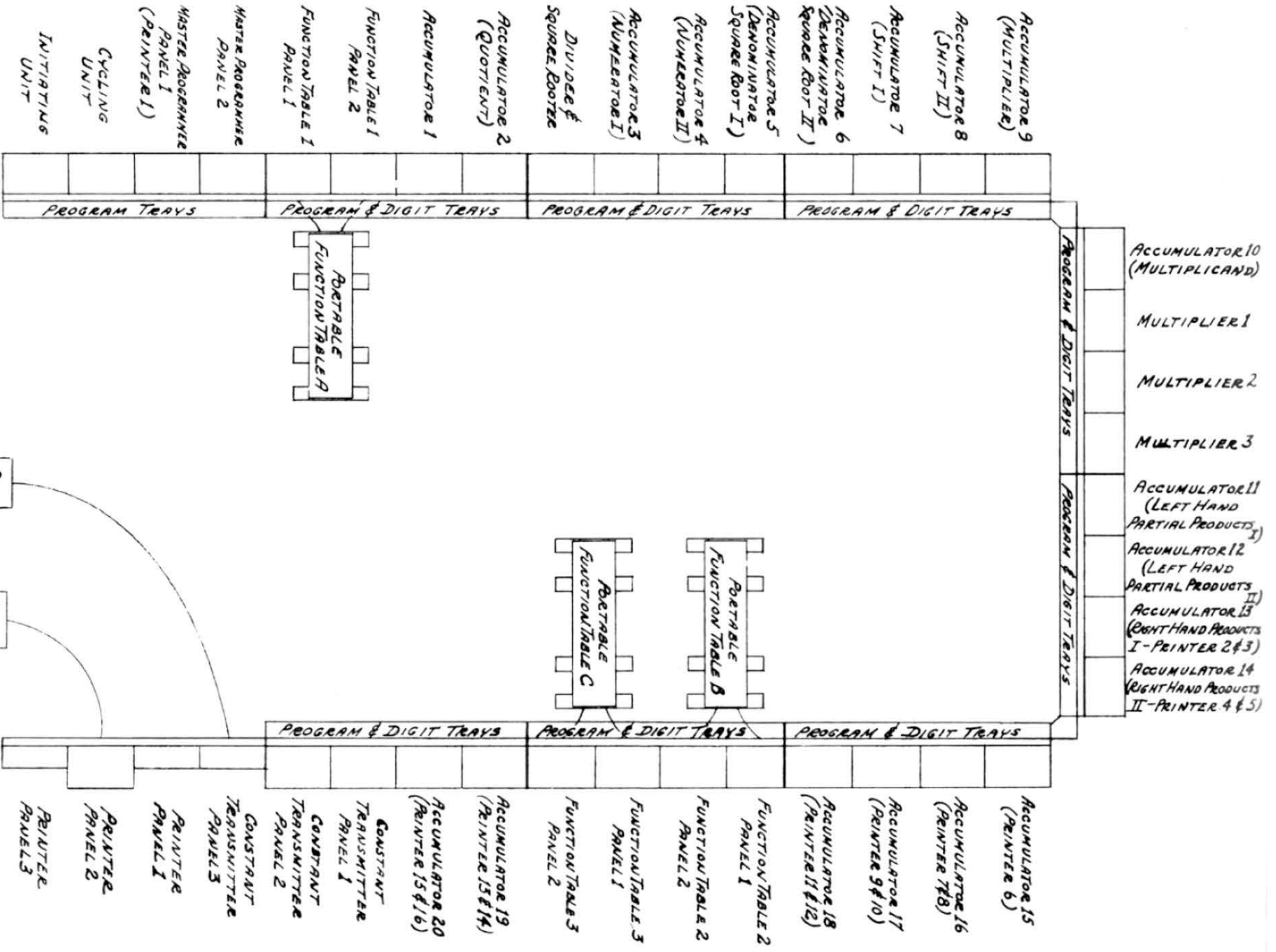
Travail sur l'ENIAC.

En dépit de ces limitations l'ENIAC tient ses promesses, effectuant 5 000 additions par seconde grâce aux tubes à vide beaucoup plus rapides que les relais. Terminé juste après la guerre, son premier calcul servira à étudier la faisabilité de la bombe H.

L'ENIAC constitue bien un calculateur d'usage général, comparable aux conceptions électromécaniques de Zuse ou électroniques des Colossus anglais. S'il n'est ni le premier calculateur électronique (l'ABC et les Colossus lui sont antérieurs), ni le premier calculateur programmable (le Z3 et le Mark I l'étaient avant lui), son importance est proportionnelle à l'envergure du projet et à son retentissement, à la publicité faite après guerre autour de lui. Il permet également de démontrer la viabilité de l'électronique, et inspire à plusieurs chercheurs le désir d'aller plus loin.

Affiche de recrutement pour l'armée américaine.

MOORE SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING
UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA

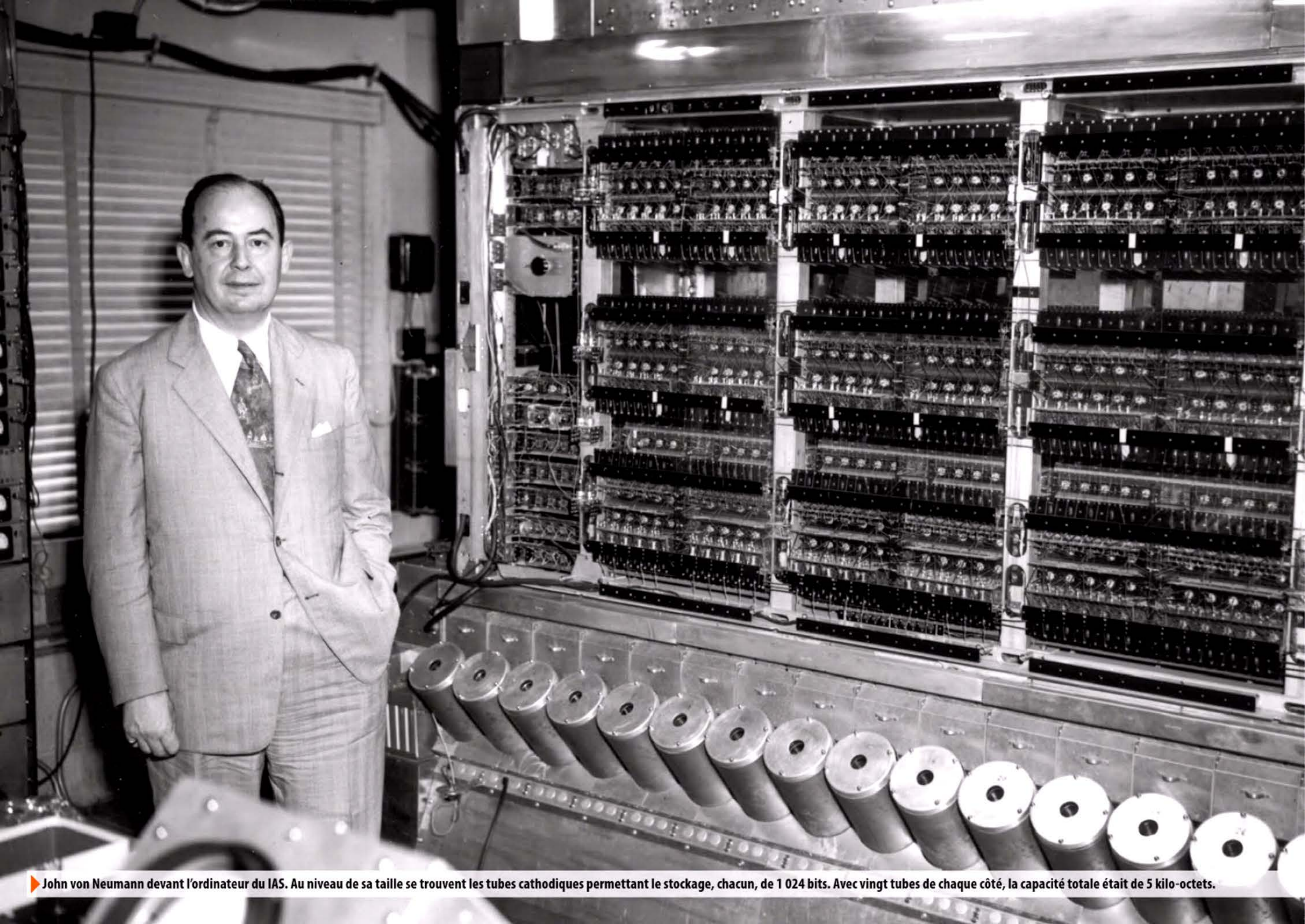


IBM CARD READER

IBM CARD PUNCH (SUMMARY PUNCH)

ENIAC FLOOR LAYOUT
PX-1-302

Diagramme schématique des panneaux de l'ENIAC.



▶ John von Neumann devant l'ordinateur du IAS. Au niveau de sa taille se trouvent les tubes cathodiques permettant le stockage, chacun, de 1 024 bits. Avec vingt tubes de chaque côté, la capacité totale était de 5 kilo-octets.

1945 ▶ Rapport de von Neumann

Pendant la construction de l'ENIAC, un groupe de travail est mis en place pour réfléchir aux améliorations possibles et à la définition d'un nouveau projet, l'EDVAC (*Electronic Discrete Variable Arithmetic Computer*). Le mathématicien John von Neumann (1903-1957), l'un des esprits les plus brillants et les plus universels du xx^e siècle, participe à ces réunions. Tirant les enseignements de l'expérience ENIAC, notamment du goulet d'étranglement que constituent la programmation et le stockage des données externe pour une machine électronique, il réfléchit en termes de structure logique de la machine. Il reprend des idées déjà exprimées par Eckert et Mauchly, en les formalisant, et les rapproche du concept de machine universelle évoqué dans l'article d'Alan Turing de 1937, que von Neumann avait lu.

Le document qu'il rédige décrit une machine entièrement nouvelle par sa conception fondamentale. Les principaux organes correspondent à des fonctions clairement définies — processeur, mémoire, dispositif d'entrées/sorties — ouvrant sur un concept absolument inédit : le programme enregistré. L'idée de stocker les données et les instructions sous forme d'impulsions électriques, à l'intérieur même de la machine qui pourra les consulter à l'instant et à la vitesse qui lui conviennent, définit d'un seul coup une structure logique adaptée à la nouvelle technologie électronique, là où des techniciens plus immergés dans les problèmes de détail auraient mis des années à élaborer la solution. La notion de programme enregistré rompt radicalement avec la lignée des calculateurs à programme externe tels les Z3, Mark I ou ENIAC. Cette architecture, appelée depuis « architecture de von Neumann », caractérise ce que nous appelons l'*ordinateur*.

Intitulé *First Draft of a report on the EDVAC*, ce rapport largement diffusé va inspirer le développement des premiers projets d'ordinateurs dans le monde entier. Von Neumann participera personnellement à la conception de plusieurs ordinateurs dont celui de l'IAS, (*Institute for Advanced Studies*) à Princeton, qui sera largement copié.

L'histoire a attribué la paternité de l'ordinateur à von Neumann car il est le seul auteur du rapport, document de travail interne qui n'était pas initialement destiné à être diffusé. Eckert et Mauchly ont peu apprécié ce qu'ils considéraient comme une captation de leurs réflexions. Mais le génie de von Neumann, sa position socio-professionnelle prestigieuse, son talent pédagogique et son aptitude exceptionnelle à faire passer des idées neuves dans les cercles dirigeants, ont été décisifs dans la diffusion rapide d'une des plus grandes innovations de rupture de l'histoire.

1946 ▶ Méthode de Monte-Carlo

De nombreuses équations associées à des problèmes physiques ne pouvant être résolues analytiquement, il est difficile d'obtenir des résultats exacts. On s'est longtemps contenté de simplifier une équation pour en obtenir une solution approchée. En 1946, alors qu'ils travaillent à la construction de la bombe atomique, Stanislaw Ulam (1909-1984), John von Neumann et Nicholas Metropolis (1915-1999) imaginent de simuler leurs équations en les calculant sur une distribution de données aléatoires et en répétant ces opérations de très nombreuses fois, grâce à la puissance et la rapidité de l'ENIAC. Le nom de « méthodes de Monte-Carlo » fera référence au casino de Monte-Carlo où l'oncle d'Ulam avait l'habitude d'aller. Ces méthodes probabilistes sont maintenant très utilisées en physique, ingénierie, mathématique, finance, statistiques... dans tous les cas où une résolution exacte est impossible.

1947 ▶ « Bug » sur le Mark II

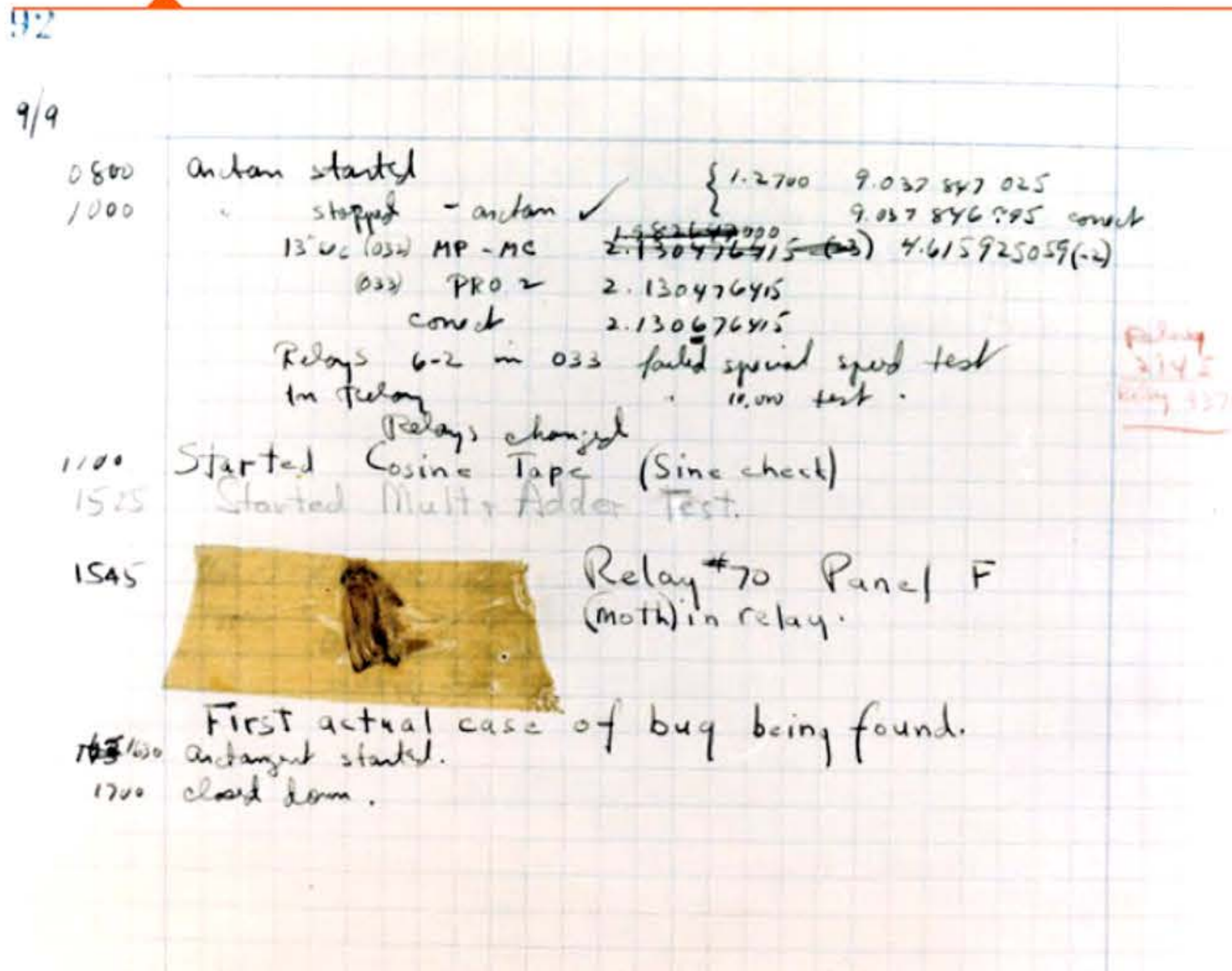
Le terme anglais de *bug* (*insecte*) était utilisé par les ingénieurs depuis la fin du XIX^e siècle pour désigner un dysfonctionnement. Mais c'est Grace Hopper (1906-1992) qui popularisa son utilisation en informatique. Un jour qu'elle travaillait sur le Mark II destiné à remplacer le Mark I à Harvard, le calculateur se mit en panne. Après des recherches, on découvrit un insecte coincé dans un relais. Elle le colla alors dans son cahier de travail avec cette légende : « *first actual case of bug being found* ».

Rappelons à ce propos qu'il ne peut y avoir de *pannes* dans un logiciel, mais seulement des *erreurs* — exactement comme dans n'importe quel autre texte !

Mite coincée entre les contacts d'un relais sur le Mark II le 9 septembre 1947. On a enfin trouvé le « bug » !



Le premier transistor, devenu objet d'exposition aux laboratoires Bell.



1947 ▶ Transistor au germanium

Menant des recherches sur la conductivité des semi-conducteurs aux laboratoires Bell (États-Unis), Walter Brattain (1902-1987), John Bardeen (1908-1991) et William Shockley (1910-1989) inventent le transistor (abréviation commerciale de *transfer varistor* ou *transfer resistor*) à point de contact. Cette invention leur vaudra le prix Nobel de physique en 1956. Relativement peu fiable au début et coûtant dix fois plus cher que le tube à vide, le transistor est en revanche plus petit, consomme moins de courant et chauffe peu. Le transistor est indépendamment inventé à peu près en même temps par deux chercheurs allemands, Welker et Mataré, travaillant dans un laboratoire français. Tous ces progrès ont pour origine les recherches menées pendant la seconde guerre mondiale sur la miniaturisation des dispositifs électroniques utilisés dans les radars. Les spécialistes voient vite les avantages du transistor pour de nombreuses applications, à commencer par les transmissions militaires et l'électronique embarquée sur les avions. Mais il faudra des années de recherche-développement avant d'en faire un produit industriel utilisable.

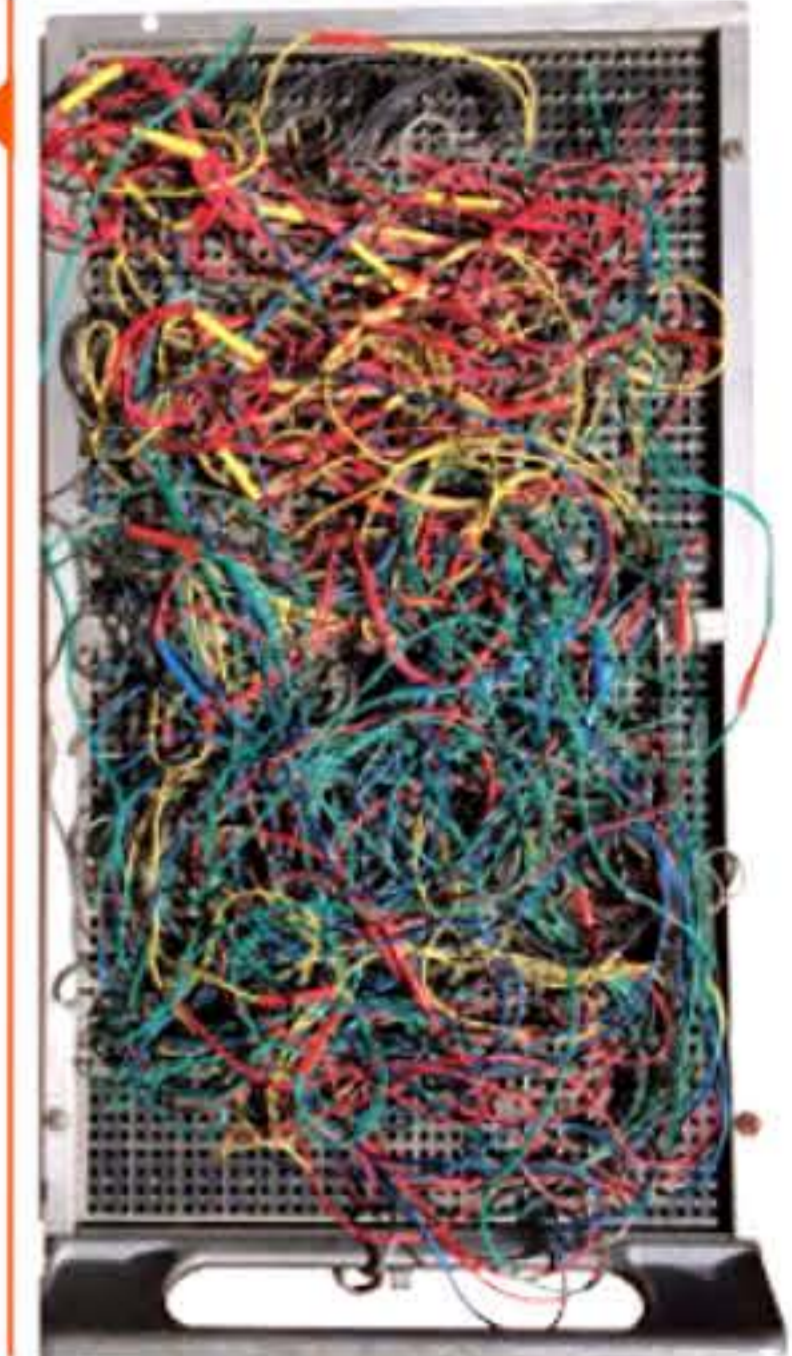
1947 ▶ Tube de Williams-Kilburn

Dès le début de l'informatique s'est posé le problème de la mémorisation des données de travail à l'aide d'un appareil fonctionnant à la vitesse de l'électronique. Comme il est difficile de stocker une petite quantité d'électricité de manière permanente, les premiers dispositifs de stockage utilisaient une rémanence temporaire nécessitant de régénérer périodiquement les informations. Une de ces premières « mémoires » fut inventée par Freddie Williams (1911-1977) et Tom Kilburn (1921-2001) en utilisant un tube cathodique : l'impact du faisceau d'électrons sur l'écran chargeait très légèrement celui-ci, générant un puits de potentiel stable pendant une fraction de seconde. Il était donc possible de stocker un bit, de poursuivre le travail et de relire ce bit quelques instants plus tard à l'aide d'une plaque en métal située à l'avant du tube et mesurant la charge électrique à l'emplacement visé. La charge disparaissant progressivement, il était nécessaire de relire et réécrire en permanence (à peu près toutes les millisecondes) l'ensemble des informations stockées. Chaque tube pouvait mémoriser entre 512 et 2 048 bits.

1948 ▶ IBM 604

Les « petits » calculateurs électroniques à programme externe ont été négligés dans l'histoire de l'informatique. Ils ont eu pourtant une grande importance, en offrant à des milliers de clients une certaine puissance de traitement et une initiation à l'électronique et à la programmation, avant que les ordinateurs ne deviennent accessibles. Dès 1946, l'IBM a remplacé les relais par des tubes dans les circuits arithmétiques de sa calculatrice 603 : c'est la première calculatrice électronique commercialisée de l'histoire. Elle reste une machine à programmation externe, par tableau de connexions, dans la tradition de Babbage et de la mécanographie à cartes perforées. Avec sa version améliorée, l'IBM 604, IBM dominera largement le créneau des calculateurs électroniques, loin devant Univac aux États-Unis. Et en avance sur Bull en Europe continentale où la 604 sera commercialisée en 1950, deux ans après son annonce américaine.

Tableau de connexion de « machine électro-comptable » IBM.
En branchant les fiches électriques selon différentes configurations, on modifie la logique de la machine.

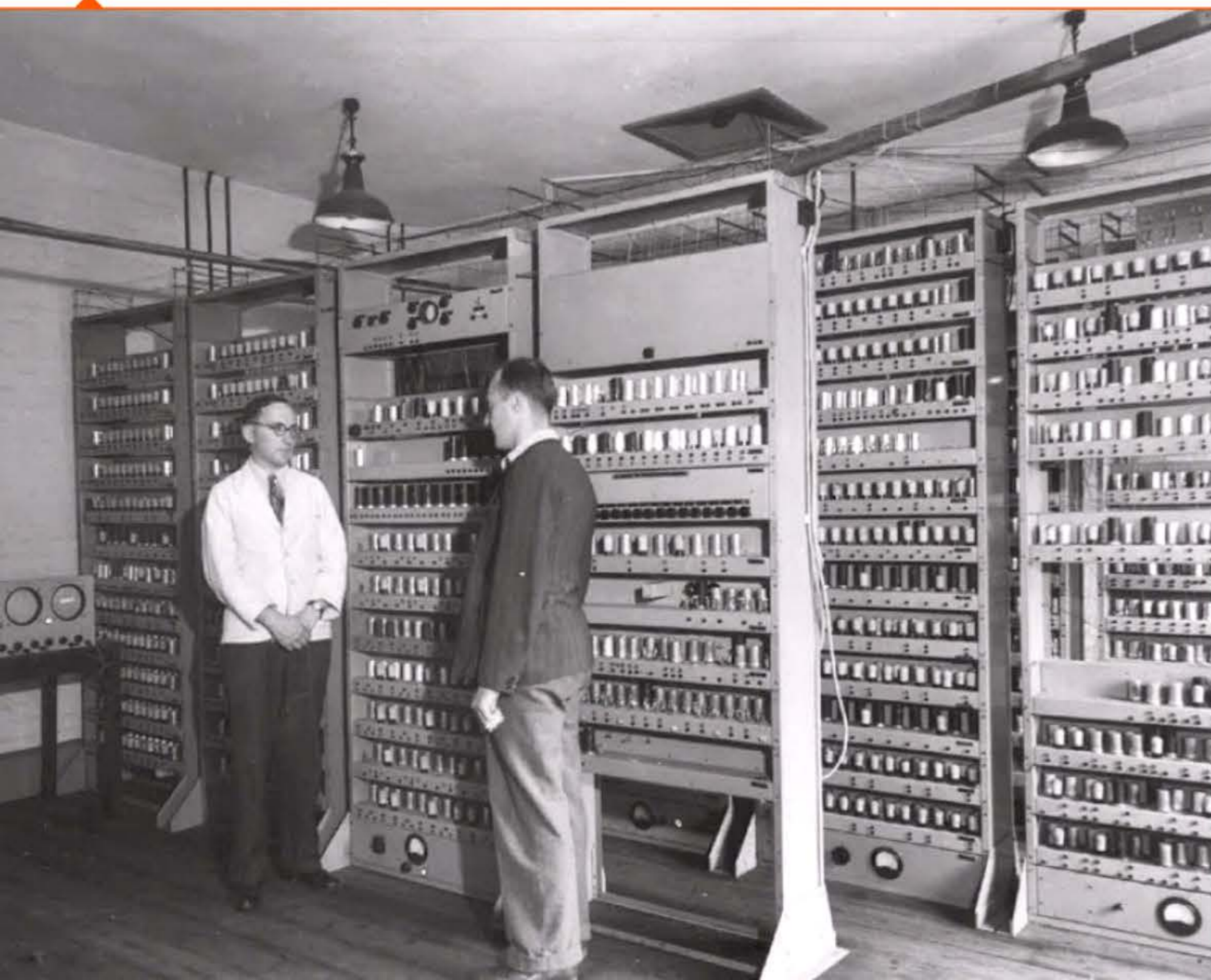


Publicité française pour l'IBM 604 (1950). L'affiche n'a nul besoin de préciser le modèle : à l'époque il n'y en a pas d'autre sur le marché !

1948 ▶ Les pionniers britanniques : *Baby*, EDSAC et les autres

La *Manchester Small-Scale Experimental Machine*, surnommée *Baby*, est une maquette destinée à vérifier la faisabilité pratique de la mémorisation dans des tubes cathodiques. Le 21 juin 1948, pour la première fois dans l'histoire, un programme enregistré servant de test effectue un calcul dans cette machine. Celle-ci sera la base d'un grand ordinateur construit l'année suivante, Manchester Mark I, industrialisé ensuite par la firme Ferranti. Alan Turing est chargé d'en concevoir la programmation ; il y testera ses modèles mathématiques de morphogénèse.

M. Wilkes et W. Renwick
devant l'EDSAC.



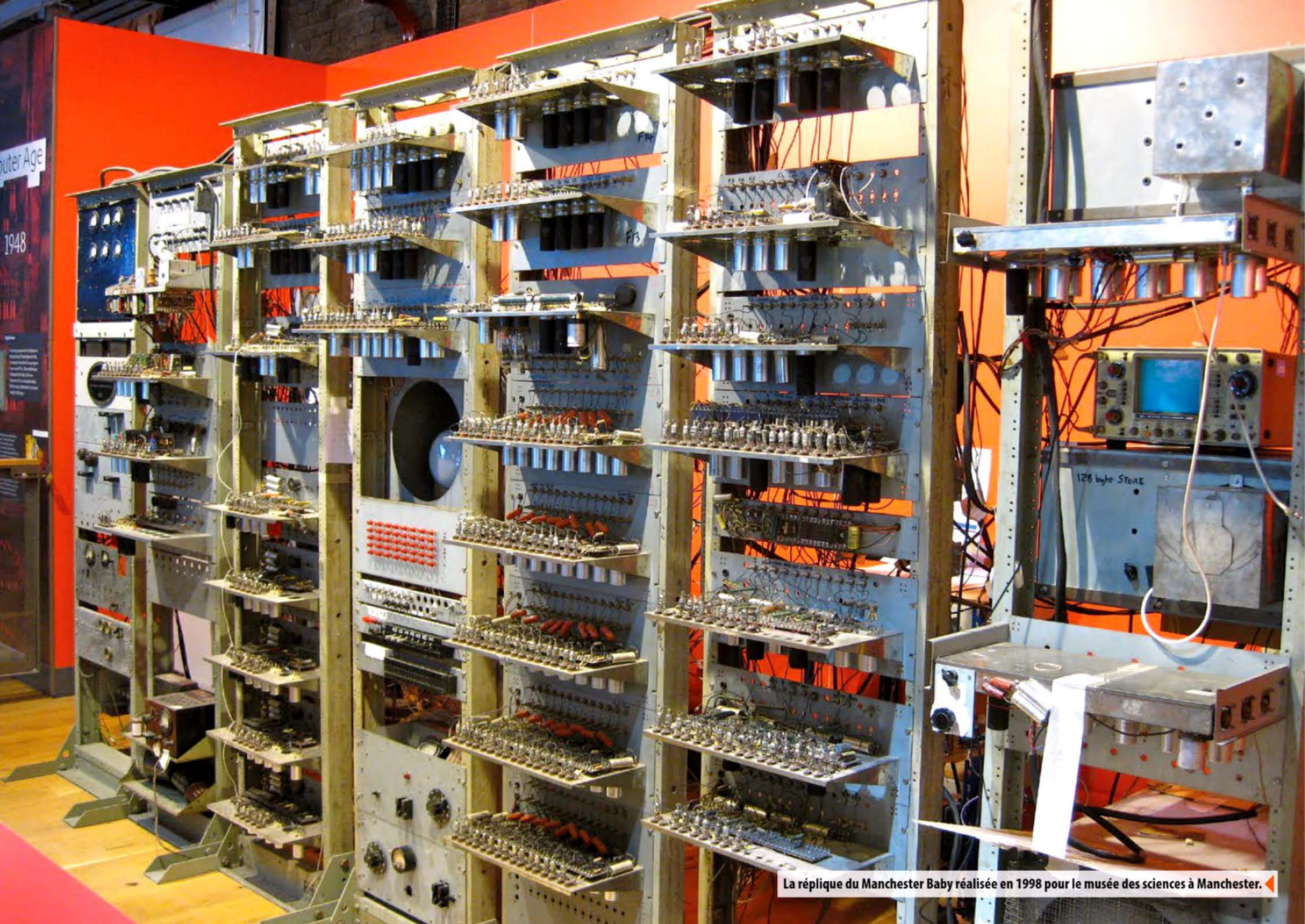
Au même moment, à l'université de Cambridge, l'équipe de Maurice Wilkes (1913-2010) et David Wheeler (1927-2004) construit l'EDSAC qui, en mai 1949, devient le premier ordinateur à programme enregistré vraiment opérationnel. Wilkes a mené son projet en bon stratège : il s'est donné pour but de réaliser une machine relativement simple, inspirée directement de l'architecture de von Neumann, afin d'acquérir une expérience en hardware et de pouvoir rapidement apprendre la programmation. Son équipe invente un langage d'assemblage, code mnémonique qui remplace les codes binaires par un codage alphabétique. Et Wheeler implémente l'idée de code réutilisable (déjà évoquée par Mauchly à Philadelphie) : afin de décharger les programmeurs de tâches routinières, on constitue une bibliothèque de sous-programmes où l'on vient puiser selon les besoins du programme principal. L'équipe de Cambridge publiera en 1951 le premier ouvrage consacré à la programmation : *The Preparation of programs for an electronic digital computer*.

Deux autres ordinateurs pionniers sont construits simultanément en Angleterre. Au National Physical Laboratory, dès fin 1945, Alan Turing a dressé les plans détaillés d'un ordinateur conçu pour une efficacité maximale — beaucoup plus rapide avec nettement moins de matériel que les autres ; la réalisation est retardée par des péripéties bureaucratiques, et une version réduite, le Pilot ACE, entrera en fonctionnement en 1950.

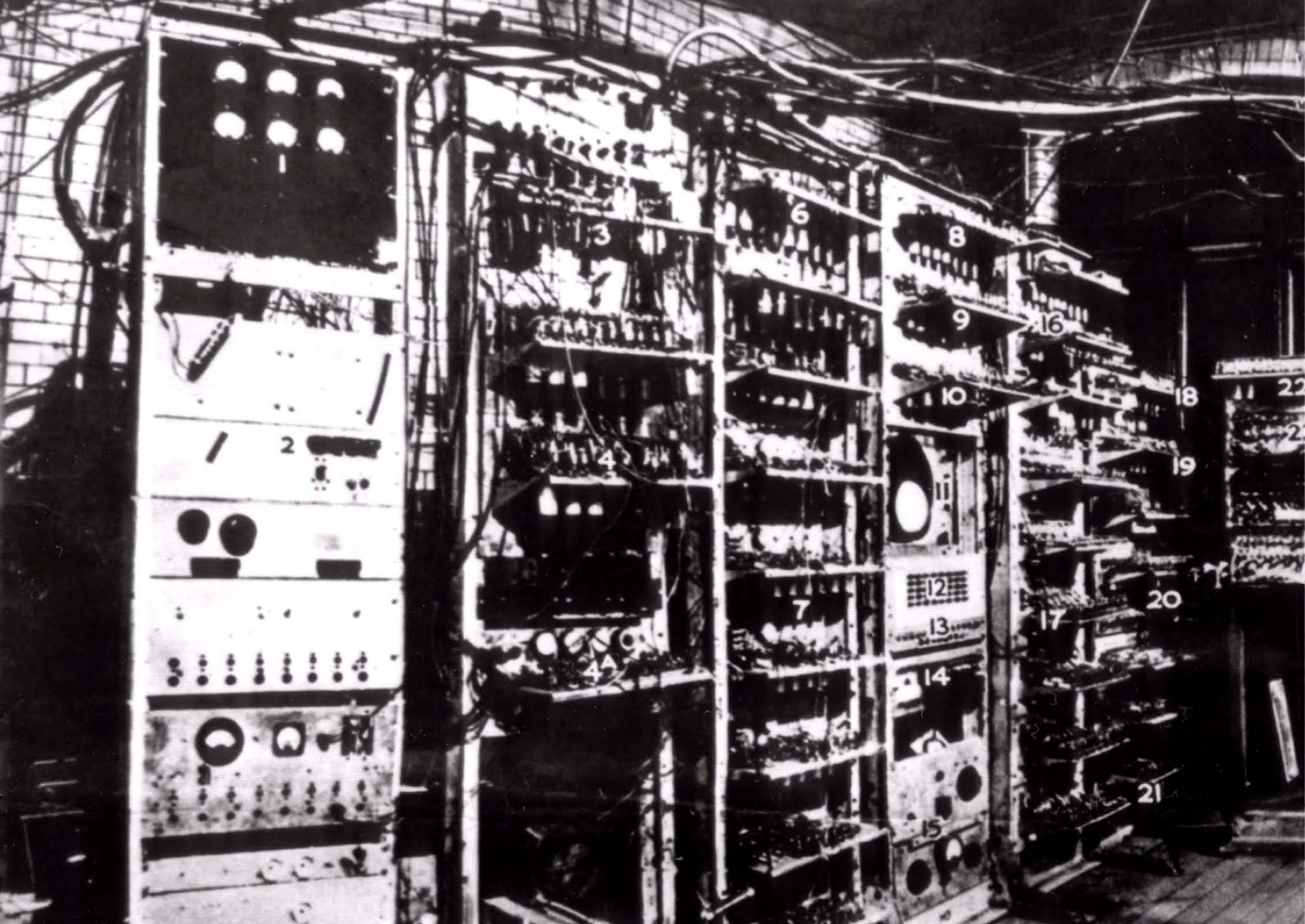
Au Birbeck College de l'université de Londres, A. D. Booth et son épouse inventent une solution pratique au problème de la mémoire en réalisant un tambour magnétique dès 1947 ; maîtrisant cette technique cruciale, ils construisent ensuite plusieurs ordinateurs, d'abord pour des calculs de cristallographie, puis pour lancer des expérimentations en traduction automatique.

Computer Age

1948



La réplique du Manchester Baby réalisée en 1998 pour le musée des sciences à Manchester. ◀



1

Panel with six circular indicators arranged in a 2x3 grid.

Panel with a single large circular indicator and several smaller components.

2

Panel with a horizontal scale and several small indicators.

Panel with two large circular indicators and several smaller components.

Panel with two large circular indicators and several smaller components.

Panel with a row of eight small circular indicators.

Panel with two large circular indicators and several smaller components.

3

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

4

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

6

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

7

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

8

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

9

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

10

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

12

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

13

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

14

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

15

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

16

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

18

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

19

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

20

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

21

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

22

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.

Panel with a complex arrangement of components and wiring.



Le Manchester Mark I en cours de développement. ◀

18/7/48
 - Kilburn Highest Factor Routine (amended) -

Instr.	C	25	26	27	line	01234	1345
-24 to C	- b_1	-	-	-	1	00011	010
c to 26			- b_1		2	01011	110
-26 to C	b_1				3	01011	010
c to 27			- b_1	b_1	4	11011	110
-23 to C	a	T_{n-1}	- b_n	b_n	5	11101	010
sub 27	$a - b_n$				6	11011	001
Test					7	-	011
Add 20 to C					8	00101	100
sub. 26	T_n				9	01011	001
c to 25		T_n			10	10011	110
-25 to C					11	10011	010
Test					12	-	011
Stop	0	0	- b_n	b_n	13		111
-26 to C	b_n	T_n	- b_n	b_n	14	01011	010
sub. 21	b_{n-1}				15	10101	001
c to 27	b_{n+1}			b_{n+1}	16	11011	110
-27 to C	- b_{n+1}				17	11011	010
c to 26			- b_{n+1}		18	01011	110
22 to C	T_n	- b_{n+1}	b_{n+1}		19	01101	000

or 000

20	-3	10111 etc
21	1	10000
22	4	00100

23	-a
24	b_1

25	init.	final
26	-	$T_n (= 0)$
27	-	- b_n
		b_n

or 10100

Le premier programme enregistré de l'histoire dans sa version modifiée du 18 juillet 1948.

1948 ▶ Premier programme enregistré

Afin de tester *Baby*, Tom Kilburn écrit et exécute le premier programme enregistré de l'histoire le 21 juin 1948. C'est une simple recherche du plus grand facteur propre de 2^{18} en essayant de successivement le « diviser » par les entiers inférieurs. La machine étant un prototype, elle ne possédait pas toutes les opérations arithmétiques et la division était simplement effectuée par soustractions répétées. Après 52 minutes et plus de deux millions d'instructions exécutées, l'ordinateur produisit la réponse correcte (131 072). On peut dater de ce jour la naissance de l'ordinateur, en considérant que l'enregistrement d'un programme dans une mémoire directement accessible par le processeur est l'acte qui va permettre les développements algorithmiques postérieurs.

1948 ▶ Cybernétique de Wiener

Suite à sa participation pendant la guerre à des conférences et groupes de travail sur le comportement des systèmes, où se rencontraient neuropsychologues, mathématiciens, logiciens et anthropologues, le mathématicien américain Norbert Wiener (1894-1964) introduit la cybernétique dans le vocabulaire scientifique en publiant son ouvrage, *La Cybernétique : information et régulation dans le vivant et la machine*, publié simultanément en anglais et en français en 1948. Il y étudie les mécanismes d'interaction et de régulation des systèmes naturels et artificiels via le contrôle et la rétroaction. Ce livre influence profondément la réflexion sur l'utilisation et le contrôle des systèmes automatisés dans la société. Le terme *cybernétique* fut longtemps synonyme d'*automatique* ou de *robotique*, tandis que certains informaticiens rejetaient ce terme trop souvent associé à des spéculations fumeuses. Il perdure à travers l'usage de certains termes comme *cyberpunk*, *cyberespace* ou *cyborg* (cyber-organisme), et reviendra en vogue avec le développement des sciences cognitives et de la neuroinformatique.

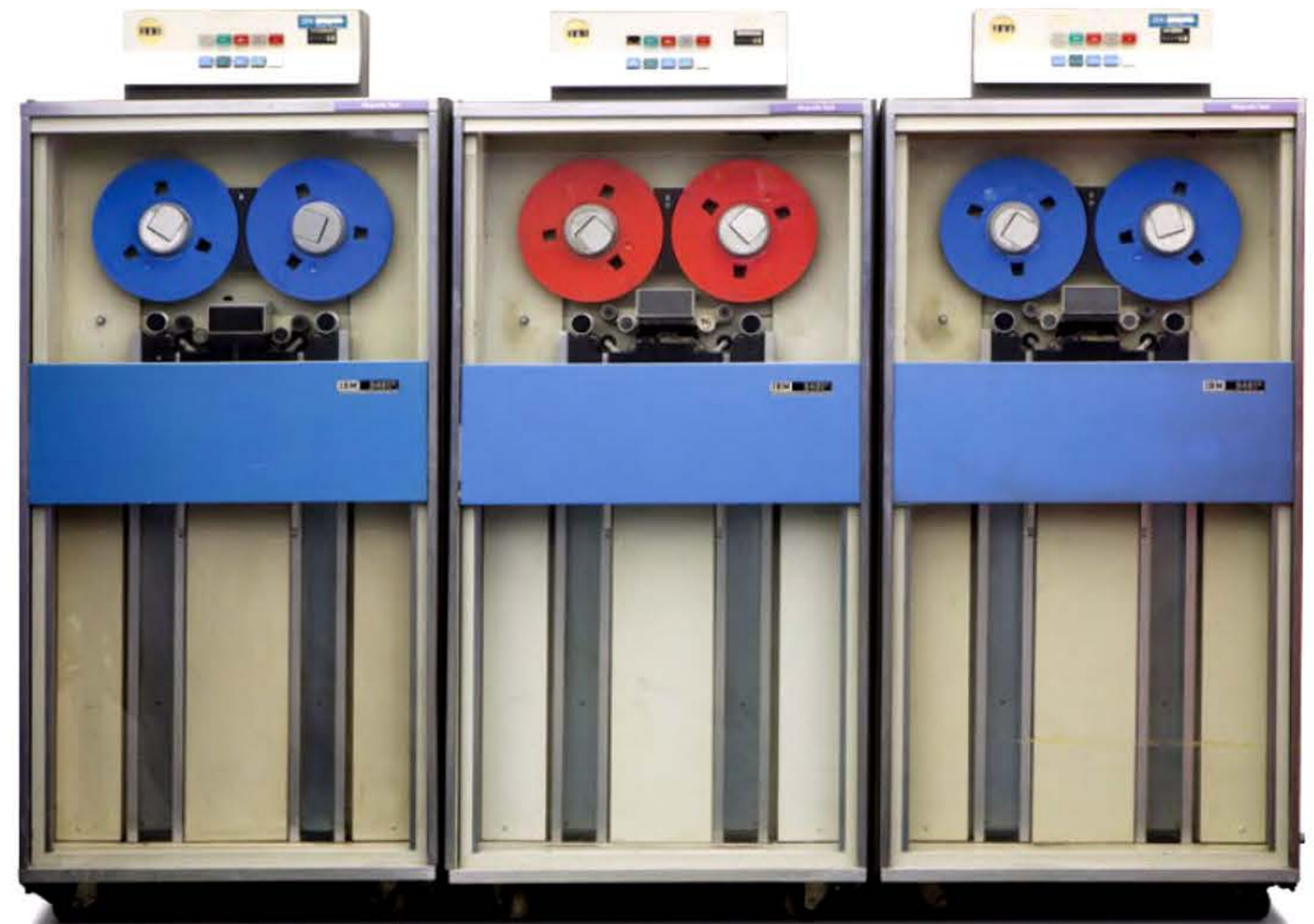
1949 ▶ Dispositifs de mémorisation

La mémoire à tubes de Williams-Kilburn étant assez peu fiable sans réglages précis, Maurice Wilkes décide d'utiliser des lignes à retard comme dispositif de stockage pour l'EDSAC. Inventé pendant la guerre par Presper Eckert dans le but de comparer les impulsions radar, il est rapidement réutilisé dans tous les premiers ordinateurs. Comme les tubes cathodiques, les lignes à retard mémorisent l'information de façon temporaire, nécessitant sa régénération régulière. Il s'agit de tubes de mercure dans lesquels circulent des trains d'impulsions acoustiques émis d'un côté du tube et reçus de l'autre par des cristaux de quartz piézo-électriques,

Bandes magnétiques
de stockage
de l'IBM/360 (1965).



M. Wilkes devant des lignes à retard à mercure.





De gauche à droite :
Bibliothèque de bandes magnétiques dans les années 1960.
Bandes magnétiques de stockage permanent sur l'Univac 1.
Intérieur d'une bibliothèque de sauvegarde à cartouches actuelle.

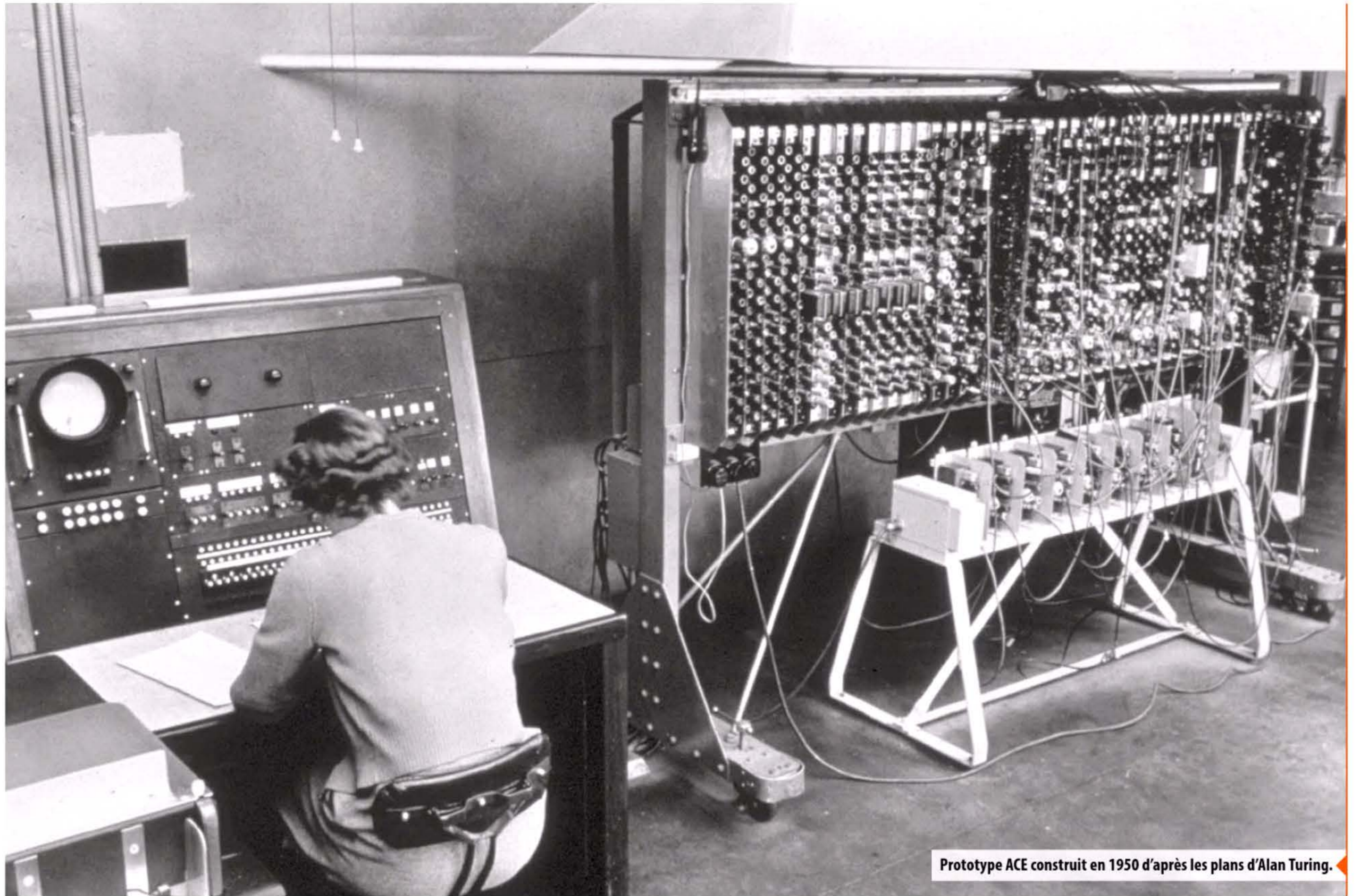
le temps de propagation dans le tube (inférieur à la milliseconde) correspondant au délai de stockage avant réémission. Ce dispositif permettait de mémoriser l'équivalent de quelques kilo-octets au prix d'un appareillage lourd, encombrant, cher, toxique et nécessitant un contrôle précis de sa température pour des raisons d'équilibrage des impédances entre les cristaux et le mercure. Il suffisait de marcher un peu lourdement dans la pièce pour envoyer des *bugs* dans cette mémoire électromécanique...

Le tambour magnétique, imaginé dès 1932 par l'Autrichien Gustav Tauschek, est réinventé après la guerre simultanément à Londres par A. D. Booth, son père et son épouse, et aux États-Unis par une start-up issue des services de cryptanalyse de l'US Navy, Electronics Research Associates (ERA).

Sur l'UNIVAC I, Eckert et Mauchly vont utiliser pour la première fois une bande magnétique pour stocker les données. Ces bandes mises en armoires et visibles derrière des vitrines vont devenir emblématiques des installations informatiques des années 1960-1970 avant de laisser leur place à des cartouches amovibles au début des années 1980. Elles sont encore utilisées de nos jours dans des centres de stockage entièrement automatisés regroupant des milliers de cartouches et d'une capacité supérieure au pétaoctet.

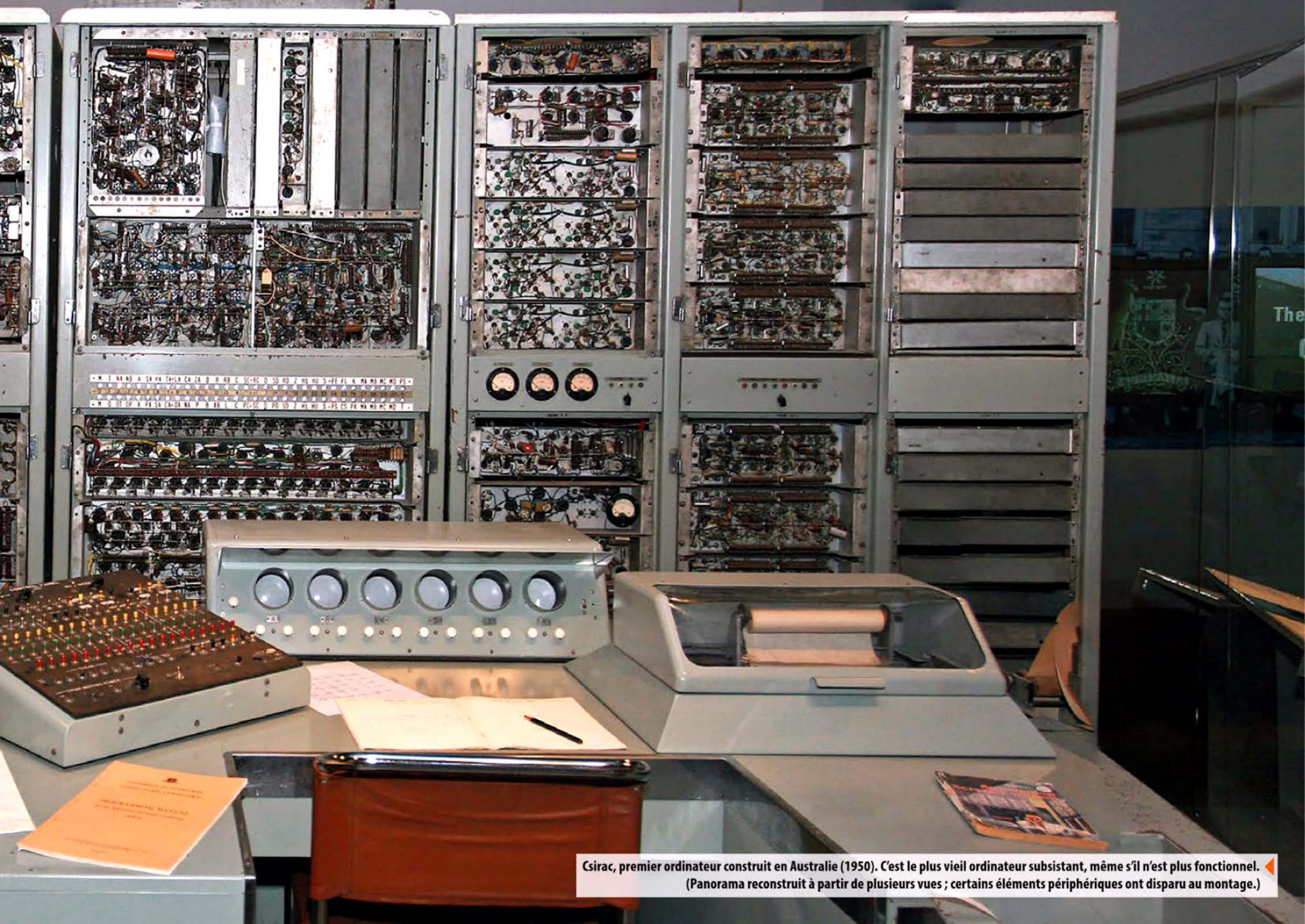
1950 ▶ Les codes de Hamming

Lors de ses utilisations des calculateurs électromécaniques aux Bell Labs, Richard Hamming (1915-1998) était particulièrement agacé par les lectures erronées de bits qui se produisaient lors des chargements des cartes perforées. Si un travail était lancé durant le week-end, il y avait toujours la crainte de revenir le lundi uniquement pour s'apercevoir qu'une erreur de lecture s'était produite et que tout avait été annulé. Hamming s'est alors attaqué au problème de détection et correction automatique d'erreurs, inventant de nombreux algorithmes et développant la théorie du codage, appelée maintenant codes de Hamming. Ces travaux ont révolutionné les télécommunications en augmentant la fiabilité des transmissions.



Prototype ACE construit en 1950 d'après les plans d'Alan Turing.





CSIRAC, premier ordinateur construit en Australie (1950). C'est le plus vieil ordinateur subsistant, même s'il n'est plus fonctionnel. (Panorama reconstruit à partir de plusieurs vues ; certains éléments périphériques ont disparu au montage.)

1950 ▶ Une révolution mondiale

À travers le monde, des scientifiques prennent conscience de l'importance de ces machines et des nouvelles possibilités de calcul qu'elles offrent. Au cours de la décennie suivante, de nombreux laboratoires de recherches — principalement en mathématiques appliquées et en ingénierie électrique — développent des « cerveaux électroniques » occupant des pièces entières, consommant des kilowatts et capables de milliers d'opérations par seconde. La programmation, d'abord activité annexe, passe progressivement au premier plan. Bientôt, certains expérimentent des applications non numériques : bases de données, traitement des langues naturelles, musique, intelligence artificielle... De calculateur surpuissant qu'il était initialement, l'ordinateur élargit peu à peu son domaine au traitement de l'information.

De gauche à droite :

Ordinateur « Strela » au centre de recherche en informatique de l'université de Moscou en 1956.

Deux vues de l'ordinateur soviétique BESM-6 (1965).
Puissance : 1 MIPS.

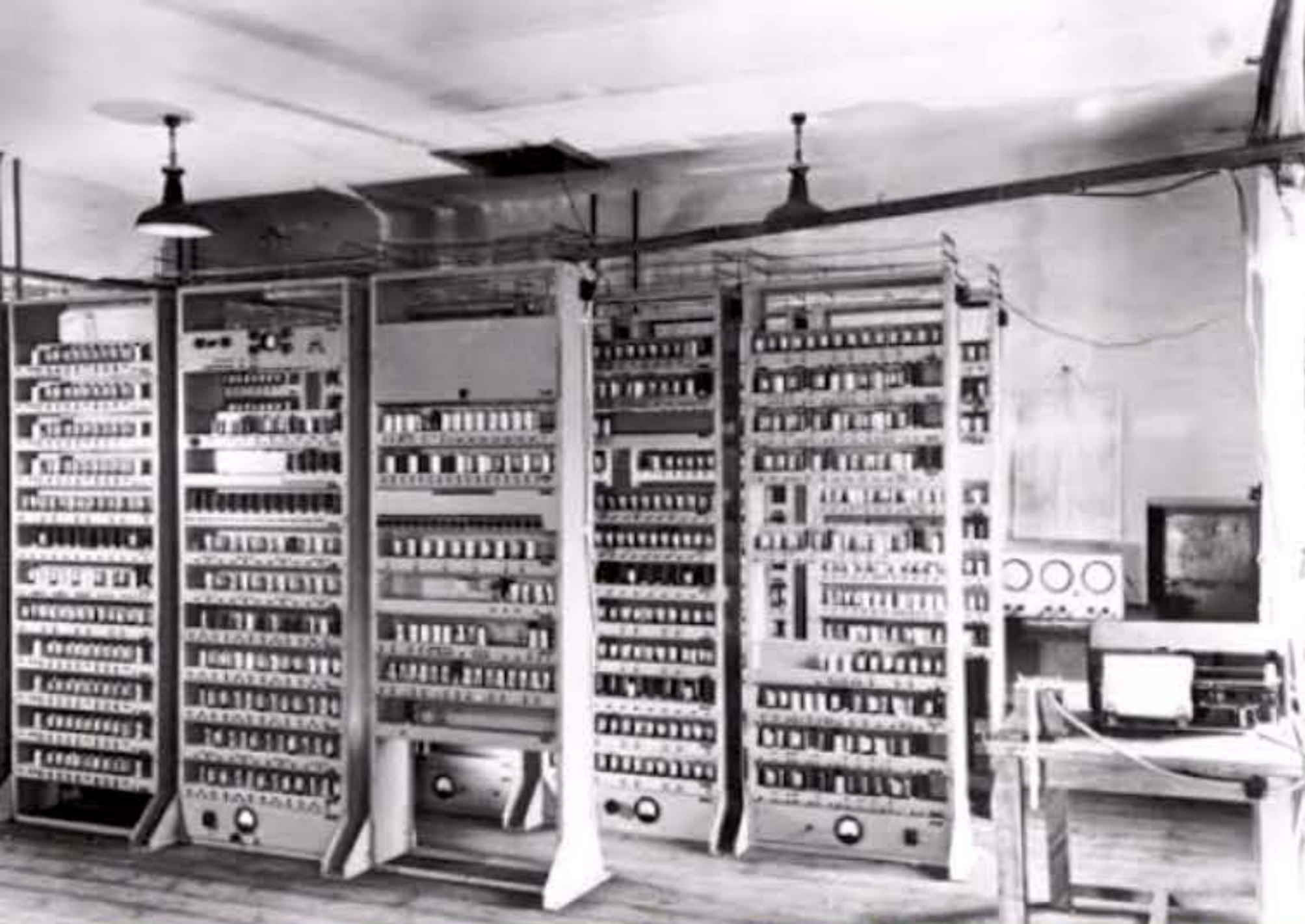
1951 ▶ Premiers ordinateurs en URSS

Dès 1948 l'ingénieur soviétique Sergueï Alexeïevitch Lebedev (1902-1974) s'attaque à la construction d'un ordinateur. Malgré un manque de soutien des autorités et avec un accès parcellaire aux informations sur les progrès effectués aux États-Unis et en Europe occidentale, il termine à Kiev en Ukraine sa première machine, MESM (petit calculateur électronique) fin 1951. Ce prototype, contenant 6 000 tubes à vides, peut effectuer environ 50 instructions par seconde. C'est le premier ordinateur à programme enregistré construit en Europe continentale. Par la suite, Lebedev s'installera à Moscou où il contribuera à la conception d'une série d'ordinateurs puissants, les BESM, de 1953 à sa mort en 1974.



Crédits

P. 73 : Sophia rare books • P. 75 : Special Collections Department/Iowa State University Library ; • P. 76 : Deutsches Museum / Clemens Pfeiffer / Wikimedia Commons • P. 77 : National Security Agency • P. 78 : Bletchley Park Trust, ©Crown. Reproduced by kind permission, Director, GCHQ • P. 79 : © Raphael Kessler, www.rafaelkessler.com • P. 80 : IBM • P. 81 : Harvard University • P. 82 : Harvard University • P. 83 : Harvard University • P. 84 : MIT Museum • P. 85 : US Army photo • P. 86 : Popular Science, oct. 1946 ; US Army photo • P. 87 : US Army photo, University of Pennsylvania • P. 88 : Alan Richards photographer. From the Shelby White and Leon Levy Archives Center, Institute for Advanced Study, Princeton, NJ, USA • 89 • P. 90 : Courtesy of the Naval Surface Warfare Center, Dahlgren, VA., 1988 ; Bell labs • P. 91 : IBM ; Pierre Mounier-Kuhn • P. 92 : Copyright Computer Laboratory, University of Cambridge • P. 93 : Lorette • P. 94 : School of Computer Science, The University of Manchester • P. 95 : School of Computer Science, The University of Manchester • P. 96 : School of Computer Science, The University of Manchester • P. 97 : Copyright Computer Laboratory, University of Cambridge ; Mark Richards, Computer History Museum • P. 98 : National Oceanographic Data Center ; Lawrence Livermore National Laboratory ; Hannes Grobe / Wikimedia Commons • P. 99 : Science Museum / Science & Society Picture Library • P. 100 : John O'Neill / Wikimedia Commons • P. 101 : John O'Neill / Wikimedia Commons • P. 102 : Research Computing Center (RCC) of Lomonosov Moscow State University ; Archives Boris Malynovsky ; Archives Boris Malynovsky • P. 103 : Science Museum / Science & Society Picture Library ; NASA ; University of Illinois ; Parrot of Doom / Wikimedia Commons ; Harvard University ; Lawrence Livermore National Laboratory ; Vannevar Bush Papers, Library of Congress, Manuscript Division ; Daderot / Wikimedia Commons ; Bell labs



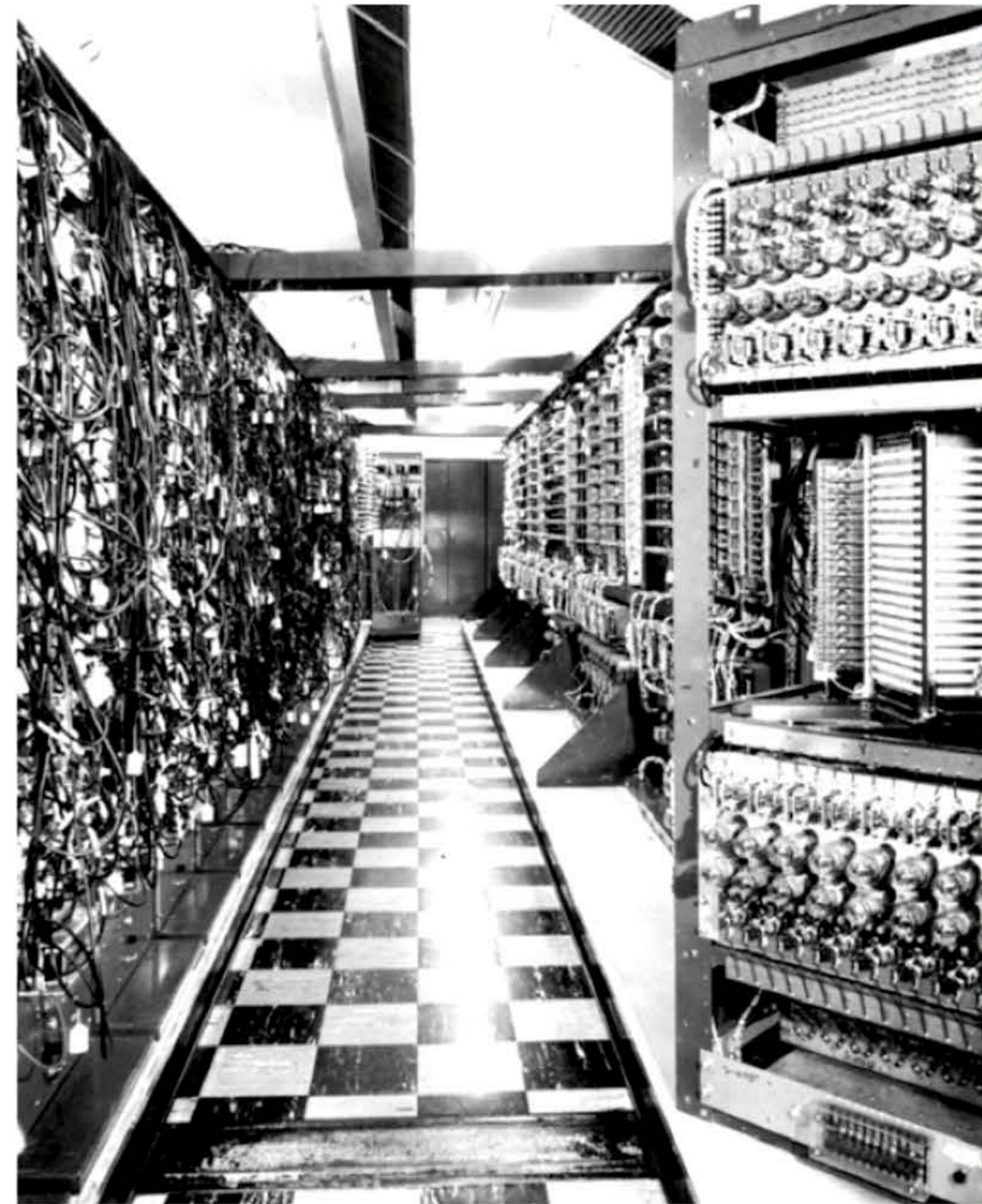
**« gros systèmes » :
du Whirlwind
à la loi de Moore**

Introduction

À partir de 1950, des entreprises entrevoient le potentiel des ordinateurs développés par les universitaires et prennent le risque d'en réaliser des versions commerciales. Une fois les principes de base établis et quelques solutions techniques explorées, un énorme travail reste à accomplir : il faut transformer des machines de laboratoire, conçues pour le calcul scientifique, en produits fiables, utilisables par des clients ayant des compétences et des besoins très variés, mais tous soucieux de fonctionnement rentable.

Trois types d'entreprises se lancent dans l'aventure, chacune avec un mix d'atouts et de défauts spécifiques.

- Les start-ups fondées par des ingénieurs pour construire des calculateurs électroniques, dont la première est Univac. Ces firmes ont des compétences rares en technologies de l'information et des contacts privilégiés avec les milieux scientifiques, civils ou militaires, qui sont leurs premiers clients. En revanche elles manquent cruellement de capitaux et ignorent tout du marché de la gestion — même si elles ont souvent l'illusion que les performances des ordinateurs suffiront à séduire la clientèle comptable.
- Les constructeurs mécanographiques, comme IBM, Remington-Rand, Powers, British Tabulating Machines, Bull, NCR et autres fabricants historiques de machines comptables. Ces sociétés ont une connaissance intime du marché de la gestion et une bonne capacité d'investissement ; elles maîtrisent aussi la technologie des imprimantes et des lecteurs de cartes, périphériques indispensables à l'utilisation des ordinateurs. En revanche elles n'ont ni les compétences en électronique et en mathématiques, ni les contacts avec les clients militaires ou scientifiques qui « tirent » l'innovation.



Partie du Whirlwind.

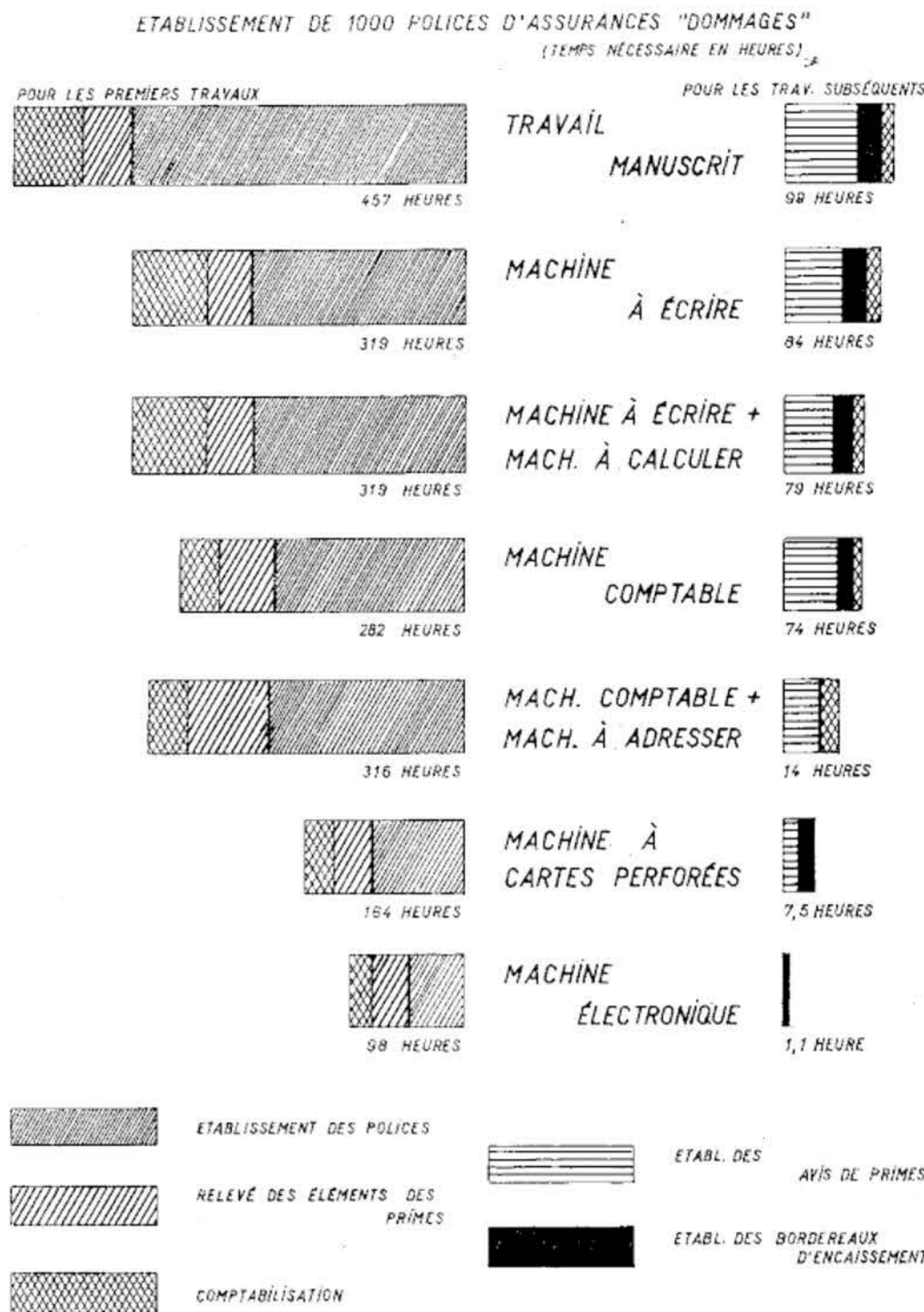
- Les grands groupes de construction électrique, tels General Electric, Siemens, Alcatel ou Fujitsu. Ces firmes ont de prestigieux laboratoires d'électronique et les moyens d'investir dans une technologie nouvelle ; elles entretiennent des contacts au plus haut niveau dans les milieux militaires ou nucléaires qui leur achètent radars et équipements professionnels ; elles produisent les composants des ordinateurs. En revanche elles mettront longtemps à comprendre qu'il leur manque deux atouts essentiels pour passer de l'électronique à l'informatique : elles n'ont pas plus d'aptitude que les autres à développer du logiciel et elles ignorent tout du marché de la gestion, qui va rapidement surpasser la clientèle scientifique en termes économiques.

La combinaison de ces aptitudes dans une économie concurrentielle entraîne une restructuration de l'industrie. La plupart des start-ups d'ingénieurs, manquant de capitaux pour soutenir une expansion rapide, sont absorbées par les mécanographes ou les électriciens qui y gagnent des équipes techniques de pointe. Les constructeurs mécanographiques qui ne savent pas basculer assez vite vers le développement d'ordinateurs subissent le même sort, apportant leur réseau commercial à leurs nouveaux maîtres. Plus tard, la plupart des grands groupes de construction électrique occidentaux jetteront à leur tour l'éponge, incapables de soutenir la concurrence d'IBM et des rares firmes d'ingénieurs qui ont réussi à surmonter leurs crises de croissance.

Parallèlement, les rôles dans l'innovation se répartissent ainsi :

- le développement des technologies matérielles, initié principalement dans les laboratoires universitaires, est assumé désormais par l'industrie des composants et des ordinateurs, dans un effort de longue haleine vers plus de miniaturisation, de compatibilité, de fiabilité ;
- la recherche académique se concentre sur un immense programme : inventer de nouvelles façons d'utiliser l'ordinateur et de communiquer avec lui — ce qui implique de mieux comprendre ce que sont ces automates et quelle est leur relation avec le langage ; donc de construire une science nouvelle.

Affiche du premier Sicob (1950).



(Source : Mercurio A. de "L'automatisation des travaux administratifs dans l'assurance" Gazette de Lausanne, 7 juillet 1960)

Progrès de productivité dans l'assurance.



Cela n'empêche pas que des entreprises créent des langages de programmation et que des universitaires conçoivent des architectures de systèmes. Mais globalement cette répartition des rôles tiendra pendant des décennies.

1950 ▶ Augmenter la productivité

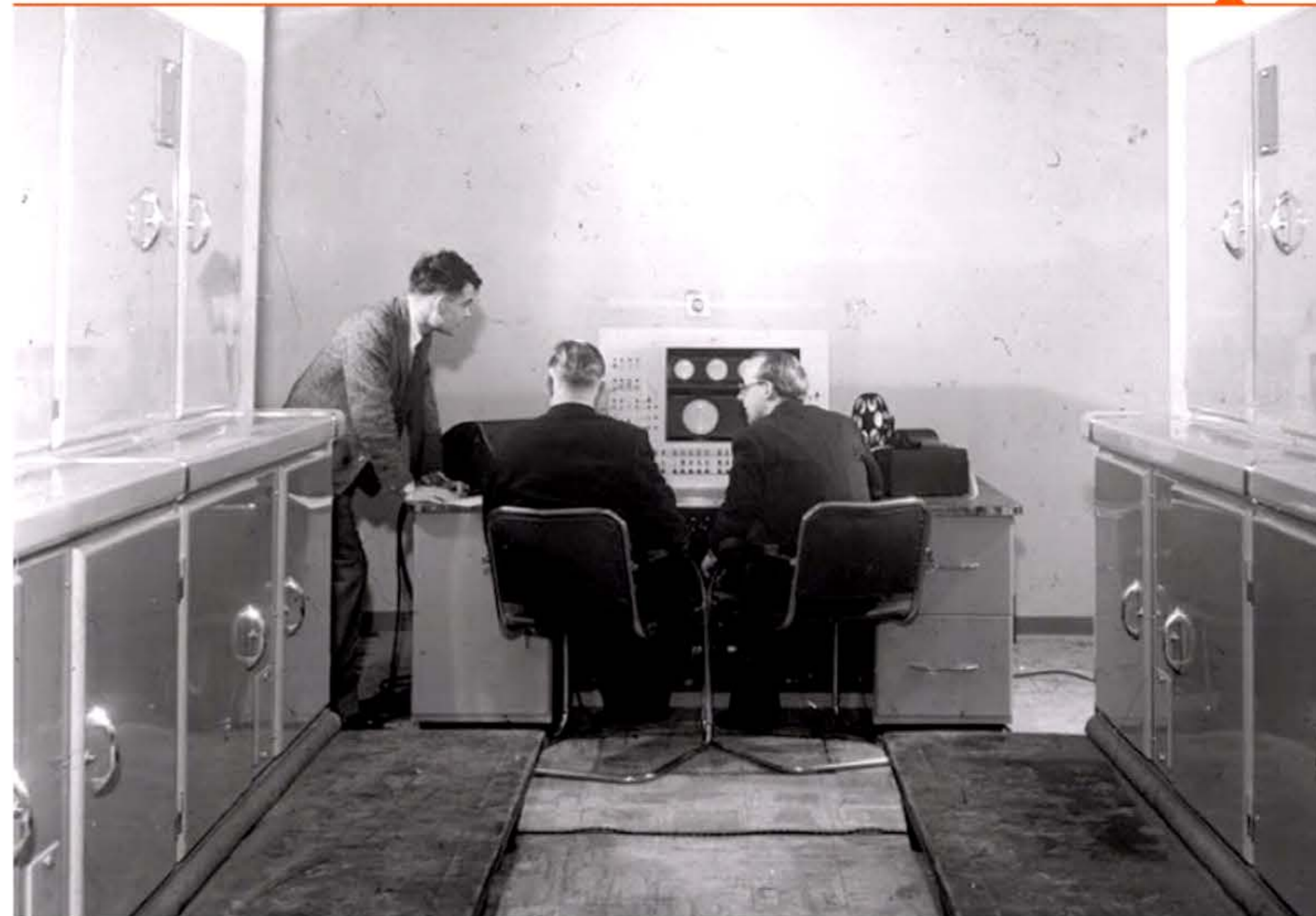
La grande affaire des organisateurs, des cadres et des ingénieurs-conseils est d'améliorer la productivité dans les services et les administrations, comme on l'a fait avec le taylorisme dans les usines. Car il y a un prix de revient de l'opération administrative comme il y en a un de l'opération d'usinage. Les techniques américaines de management s'imposent comme modèle aux techniciens et aux hommes d'affaires qui visitent les États-Unis, dans le cadre des missions de productivité du plan Marshall. On veut augmenter la productivité notamment pour permettre aux responsables de mécaniser ou de déléguer les tâches routinières, afin de dégager le temps de la réflexion et d'accélérer le processus de décision. L'adoption des techniques de traitement de l'information sont un élément-clé de ce progrès, comme le démontrent les graphiques publiés dans les revues professionnelles.

1951 ▶ Premiers ordinateurs commerciaux : le Ferranti Mk1

Ferranti Ltd. est un grand constructeur de matériels électriques établi à Manchester depuis 1885. En février 1951, il présente une version améliorée du prototype expérimental Mark 1 développé à l'université de Manchester par Freddie Williams et Tom Kilburn. C'est le premier ordinateur commercialisé de l'histoire. Et le résultat d'une collaboration recherche-industrie exemplaire, favorisée par le gouvernement britannique, qui continuera pendant trois décennies et maintiendra l'informatique anglaise aux premiers rangs mondiaux.

Alan Turing utilise cette machine pour modéliser des processus de morphogenèse, inaugurant l'emploi de l'ordinateur en biologie. Ferranti Mk1 est aussi le premier ordinateur sur lequel on ait programmé une partie d'échecs, réduite à deux coups finaux par la mémoire très limitée (1 ko de mémoire vive et 16 ko sur le tambour magnétique) ; et joué de la musique, en utilisant les haut-parleurs censés signaler les dysfonctionnements (« première » disputée par le CSIRAC australien, mis en service un an plus tôt à Sydney). Sept exemplaires seront vendus, avant que ce modèle soit remplacé par le Ferranti Mercury beaucoup plus performant, lui aussi conçu à l'université de Manchester.

Alan Turing (à gauche)
et la console du Mk1.





Harold Sweeney (à la console) et Presper Eckert (derrière) expliquent au journaliste Walter Cronkite le fonctionnement de l'UNIVAC 1 (1952). ◀

1952 ▶ Calculateur Bull Gamma 3

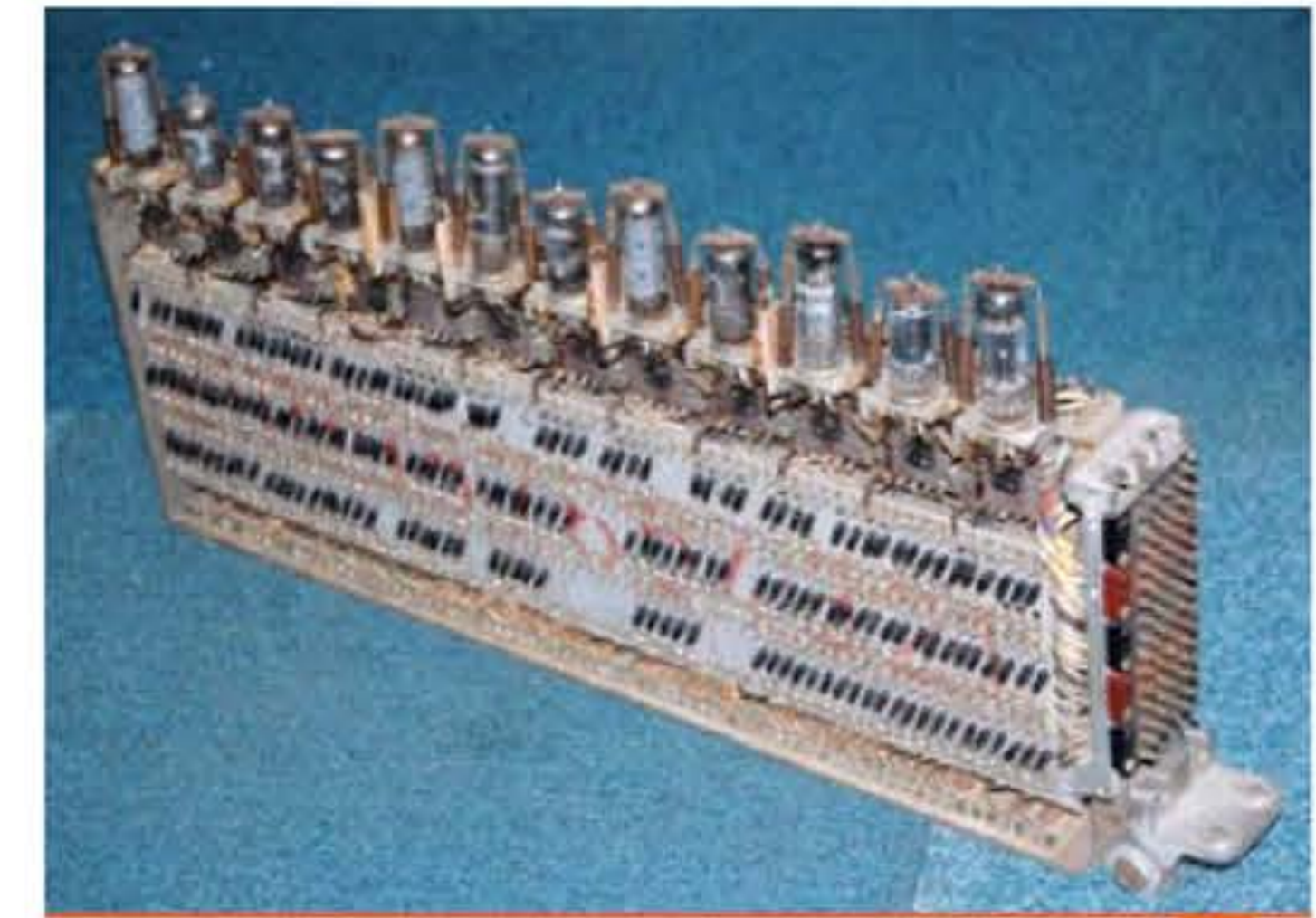


Montage et contrôle d'un Gamma 3 dans l'usine Bull à Paris.

L'avènement de l'électronique accélère le rythme de la concurrence. En Europe comme aux États-Unis, tous les grands constructeurs de machines de bureau en sont conscients et investissent dans la nouvelle technologie en recrutant des équipes d'ingénieurs en « radioélectricité ». C'est le cas de British Tabulating Machines et de Powers-Samas, d'Olivetti en Italie, de Bull en France, de Remington-Rand aux États-Unis. Dès l'annonce de l'IBM 604 en Amérique, Bull constitue un laboratoire d'électronique pour développer une réplique moins chère et plus perfectionnée. Une astuce technique décisive consiste à remplacer le plus possible les tubes, qui claquent souvent, par des diodes en semi-conducteurs, beaucoup plus fiables. Livré dès 1952, le Bull Gamma 3 est un grand succès (plus de mille exemplaires vendus ou loués) et permet au constructeur français d'entamer une nouvelle phase d'expansion internatio-

nale. Connectable à une tabulatrice, ce calculateur s'insère facilement dans les installations mécanographiques préexistantes, auxquelles il ajoute de la puissance sans dévaloriser le savoir-faire et l'organisation établis.

Quand IBM, réagissant à son tour, ajoutera à son 604 un système de programmation par cartes perforées, Bull répondra par un système équivalent mais donnant encore plus de possibilités. La course à l'innovation ne s'arrêtera plus.

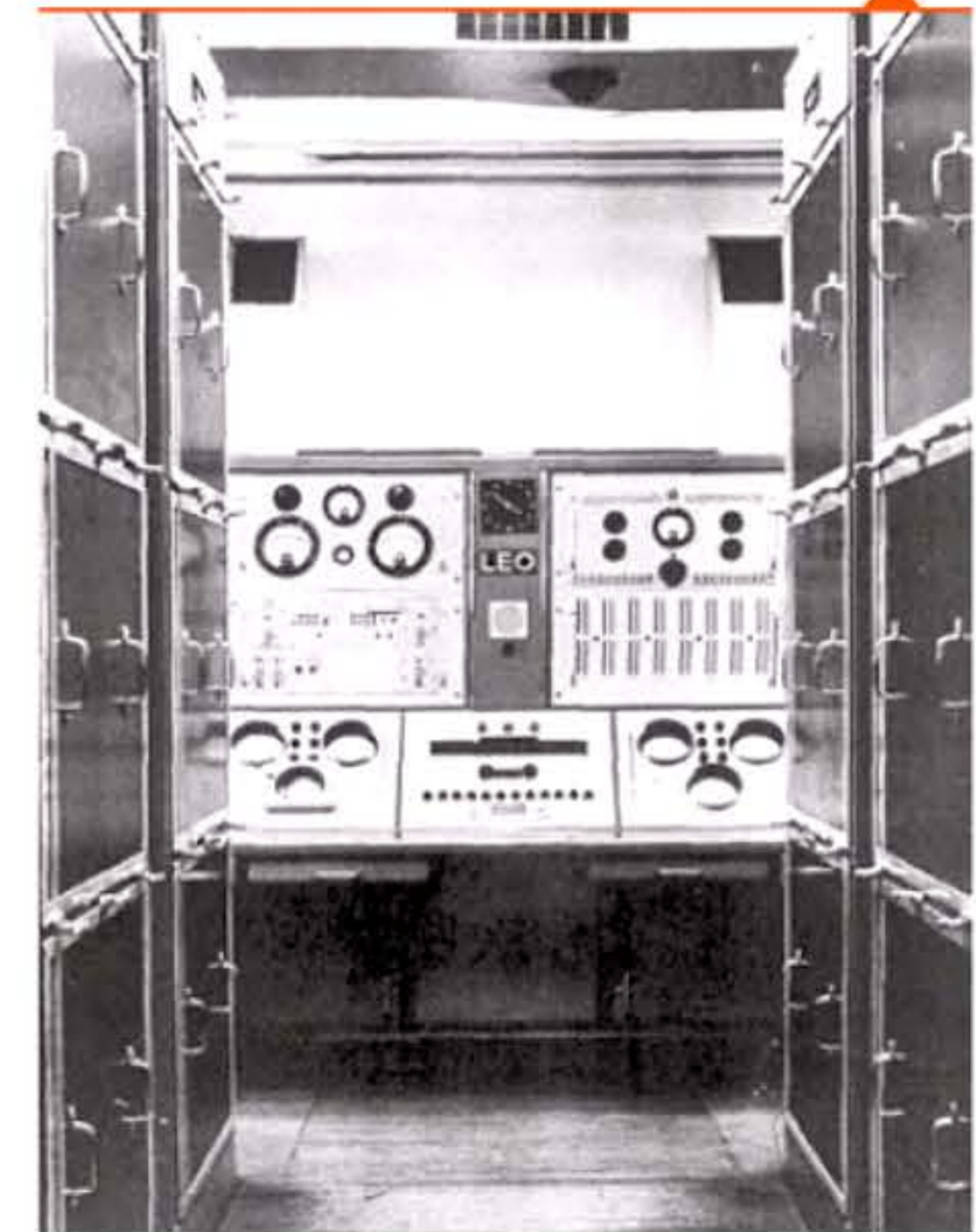


Circuit à diodes et tubes d'un Bull Gamma 3.

1952 ▶ Premiers ordinateurs commerciaux : LEO, l'ordinateur des salons de thé

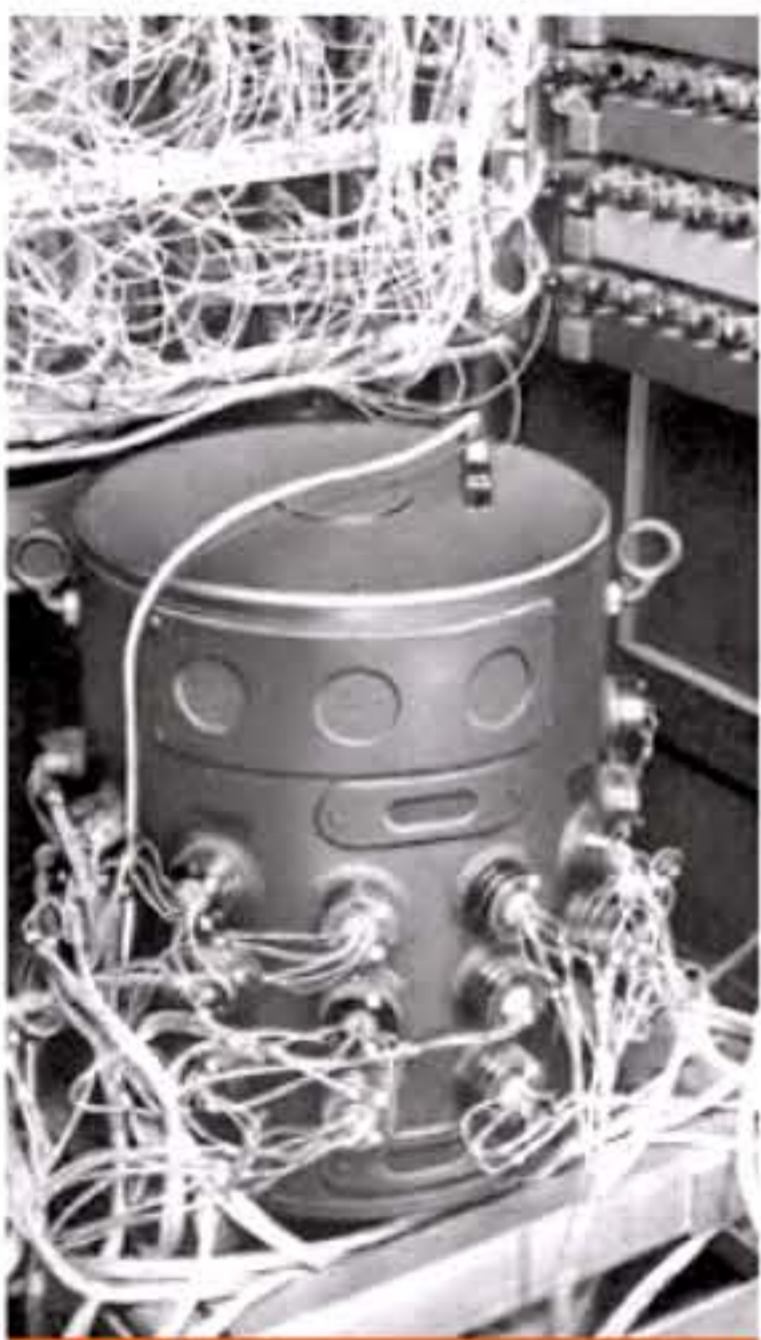
Aucune typologie n'étant parfaite, l'une des premières entreprises à construire des ordinateurs n'est pas un producteur de matériels électroniques ou bureautiques, mais un débiteur de boissons chaudes. Dès 1947 les dirigeants de J. Lyons & Cy, la célèbre chaîne de salons de thé, ont eu la curiosité de visiter à Cambridge le laboratoire qui construisait l'EDSAC. Ils ont compris le potentiel d'une telle machine pour gérer des masses de produits de grande consommation en flux rapide. Recrutant des ingénieurs de l'équipe Wilkes, Lyons décide de participer à la promotion de cette nouvelle technologie managériale et de réaliser son propre ordinateur. Mis en service en 1951, LEO I calcule, non des équations de physique nucléaire, mais les stocks de sachets de thé. Lyons crée trois ans plus tard une filiale LEO Computers Ltd., qui développe de nouvelles versions Leo II et III avec un certain succès commercial. LEO sera plus tard absorbé par English Electric et ICL... confirmant heureusement notre typologie d'entreprises.

Ordinateur « LEO I »
de J. Lyons & Cy.





Tambour magnétique
Bull.



Tambour magnétique
SEA.

1952 ▶ Le tambour magnétique

Les technologies de mémoire expérimentées dans les laboratoires universitaires étaient peu industrialisables. Une solution acceptable est développée simultanément par plusieurs équipes à travers le monde, notamment par A.D. Booth à Londres : un cylindre enduit d'oxyde magnétique, tournant à grande vitesse entre des rangées de têtes de lecture-écriture, permet d'enregistrer programmes et données. Des circuits électroniques contrôlent l'enregistrement, la lecture et les échanges d'informations entre ce tambour magnétique et le calculateur.



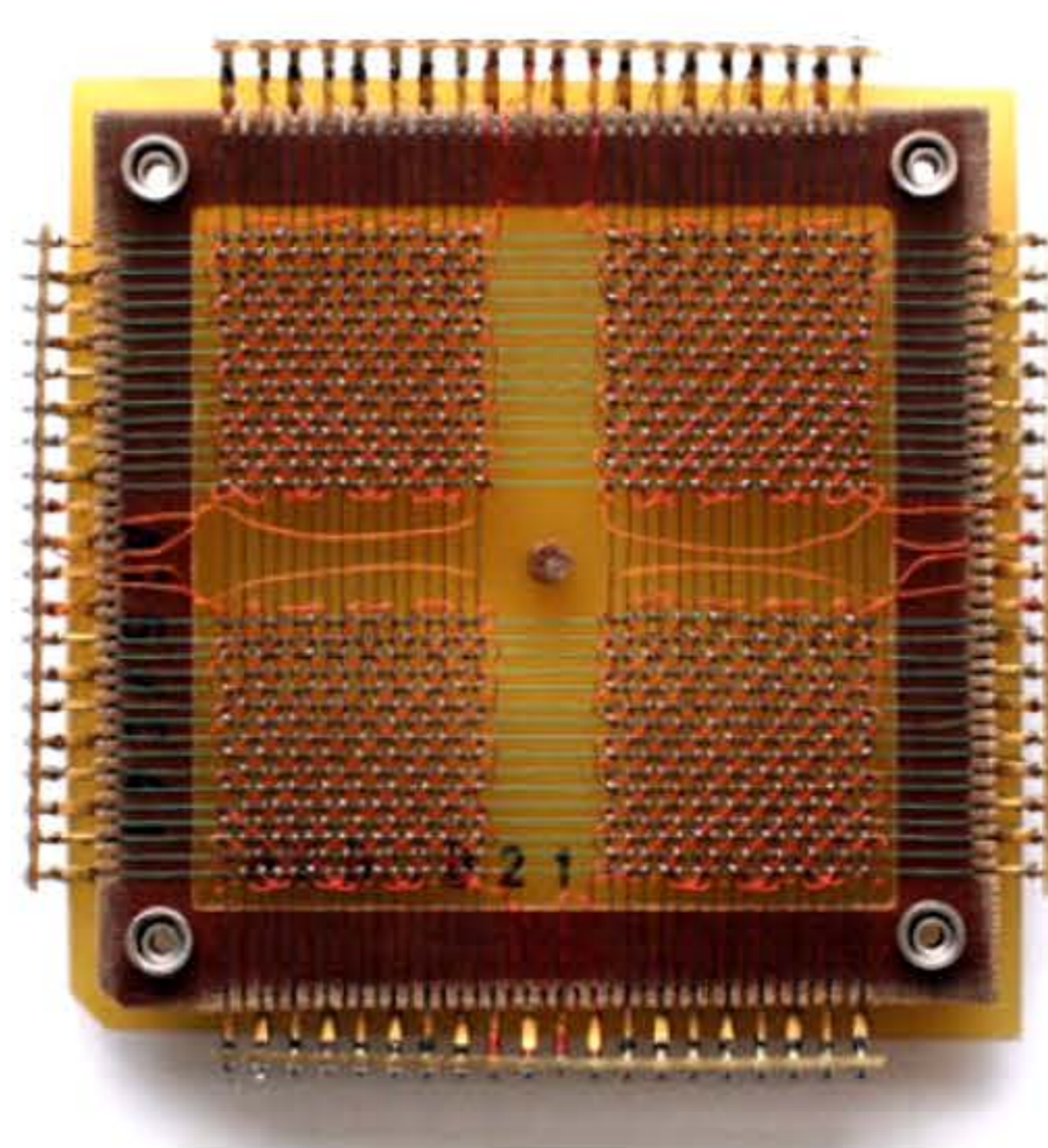
Ce dispositif est fiable, réalisable en série industrielle et susceptible de progresser à mesure qu'on augmentera la vitesse et la densité d'enregistrement. Son défaut est sa relative lenteur, puisque le processeur doit attendre en moyenne un demi-tour du tambour magnétique pour accéder à une information (de l'ordre de quelques millisecondes). Cette technologie pas trop coûteuse permet à de nombreuses entreprises de se lancer dans la construction d'ordinateurs moyens au cours des années cinquante.

Publicité pour les tambours magnétiques ERA. On retrouve, comme avec la Brunsviga trente ans plus tôt, le thème du cerveau d'acier — désormais électronique.

1953 ▶ Mémoire à tores de ferrite

Après les travaux de An Wang en 1948, Jay Forrester met au point, dans le cadre du projet Whirlwind, une mémoire révolutionnaire, le tore de ferrite. Il s'agit d'un tore en matériau magnétique capable de garder la direction de l'aimantation, des fils électriques permettant de lire ou d'inverser cette aimantation. Chaque bit d'information peut être stocké de manière permanente dans quelques millimètres carrés. L'enjeu économique de cette invention universitaire est donc considérable : une série de procès aboutit aux États-Unis quand IBM achète les brevets Wang pour 500 000 dollars, puis en paye 13 millions au MIT sur les brevets Forrester en 1964 — alors la plus coûteuse transaction de l'histoire de la propriété industrielle.

La fabrication est confiée à des ouvrières du textile, et le coût de production dégringole quand elle est délocalisée dans le Sud-Est asiatique. Premier composant conçu spécifiquement pour les ordinateurs, les mémoires à tores de ferrite remplacent bientôt toutes les technologies primitives de mémoires rapides. Elles équiperont les systèmes informatiques pendant une vingtaine d'années, jusqu'à la diffusion des mémoires à semi-conducteurs.



Module mémoire à tores de ferrite. Le module fait environ 11 cm de côté et peut mémoriser 1 024 bits (32×32).

1954 ▶ Théorie des Algorithmes

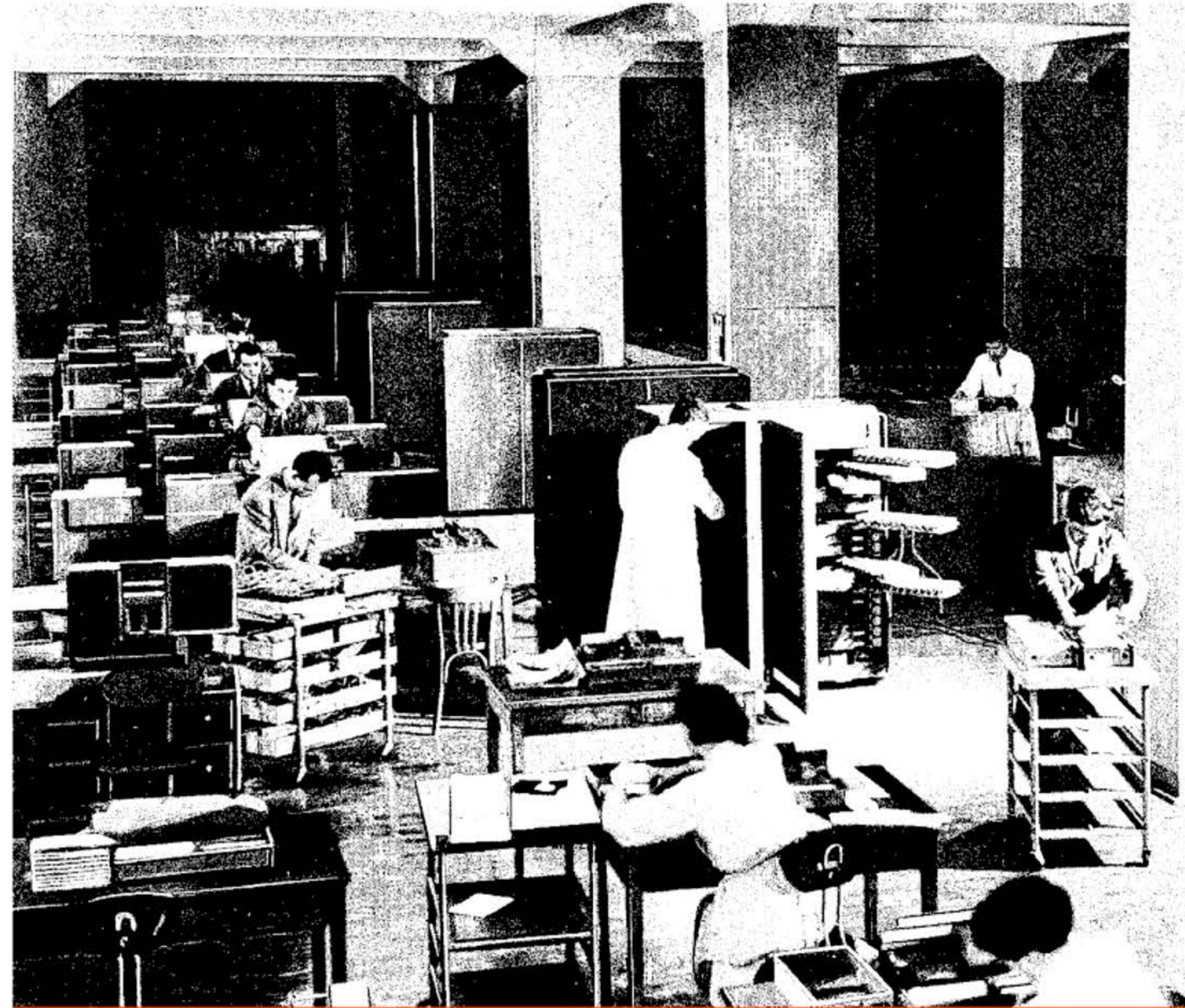
Le mathématicien, physicien et chimiste russe Andreï A. Markov (1903-1979) s'est orienté après la seconde guerre mondiale vers la logique et les fondements des mathématiques, créant l'école soviétique de mathématiques constructives. Après plusieurs articles marquants, il publie en 1954 un ouvrage magistral, *Teoria algorifmov*, bientôt traduit en anglais, *The Theory of Algorithms*, qui fait de lui l'un des fondateurs de l'informatique théorique, notamment en théorie des langages formels et des compilateurs. Markov dirigera, de 1959 à sa mort, le département de Logique Mathématique de l'université de Moscou.

1954 ▶ L'informatique avant les ordinateurs : un centre de traitement bancaire dans les années cinquante

La Banque nationale pour le commerce et l'industrie (BNCI, ancêtre de BNP Paribas) a construit son nouveau centre mécanographique à Paris boulevard Barbès. Équipé de cinq calculateurs électroniques Bull Gamma 3 connectés aux tabulatrices, c'est une grosse installation informatique pour l'époque, au moins à l'échelle française. Les opérateurs sont en blouse, marquant une forte différence socio-professionnelle par rapport aux cadres du siège et du réseau commercial.

Révolution ou évolution informatique ?

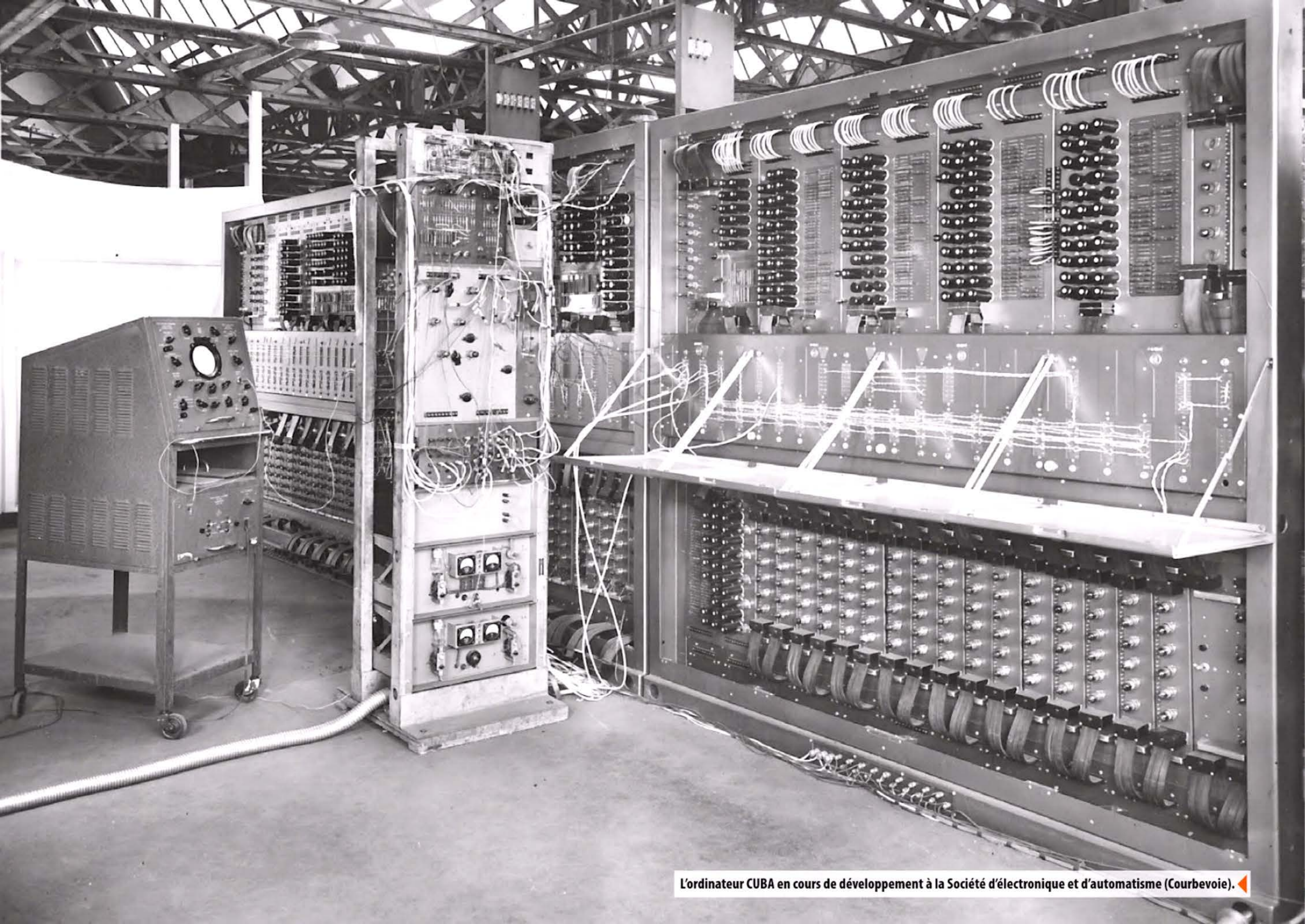
Les années cinquante sont l'âge d'or de la mécanographie. La mécanographie est une technologie mûre, un ensemble de solutions bien maîtrisées, un métier en pleine croissance démographique. Elle s'enseigne dans des lycées ou des collèges techniques, et surtout chez les constructeurs de machines. Une véritable profession s'est organisée, avec ses barèmes de salaires, son organisation syndicale,



Centre mécanographique de la BNCI à Paris (1954).

sa revue, ses congrès, ses experts reconnus qui publient des traités, font des conférences et vendent leurs conseils.

Elle englobe une palette de métiers, de savoir-faire, allant de l'électromécanicien, armé de son voltmètre et de sa burette d'huile, à l'ingénieur-conseil, équipé de ses théories et qui veut lui aussi mettre de l'huile dans les rouages de l'organisation qu'il ambitionne d'optimiser. C'est ce tissu socio-économique qui va accueillir l'ordinateur, conditionner le rythme et les modalités de son insertion.

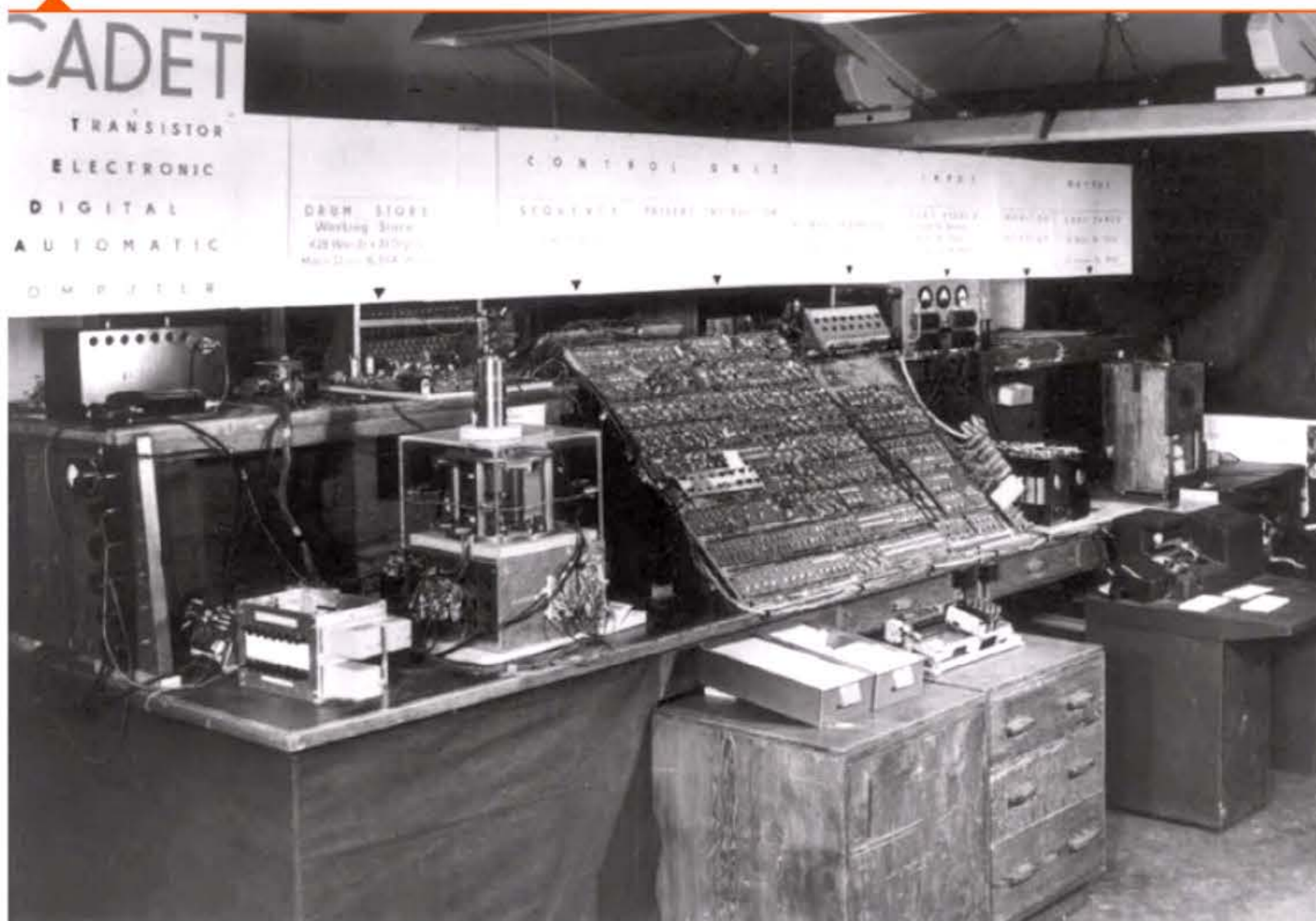


L'ordinateur CUBA en cours de développement à la Société d'électronique et d'automatisme (Courbevoie). ◀

1954 ▶ Le transistor bon marché

Après l'invention du transistor bipolaire par Shockley en 1948, une nouvelle avancée a lieu en 1954 lorsque Gordon Teal (1907-2003), alors chez Texas Instruments, remplace le germanium par du silicium dans le transistor. Ce matériau permet une production en série très bon marché, en raison de la facilité à le purifier ; de plus il résiste mieux à la chaleur, ce qui permet de développer des calculateurs « industriels » destinés à fonctionner dans des environnements difficiles, élargissant donc le marché à de nouvelles applications. Ses moindres performances en vitesse seront rapidement compensées par son aptitude à l'intégration sur des *chips*.

Le CADET, l'un des premiers ordinateurs entièrement transistorisés au monde.



1955 ▶ Avènement des transistors : la « deuxième génération »

En Angleterre, une équipe de l'université de Manchester s'est lancée dès 1952 dans l'étude d'un petit ordinateur à transistors, opérationnel en novembre 1953 : c'est le premier ordinateur transistorisé de l'histoire. Une version plus puissante entre en service en avril 1955 (200 transistors, 1 300 diodes au germanium, 150 watts, cadencée à 125 kHz). La médiocre fiabilité des premiers lots de transistors détermine sur ces machines un temps moyen entre pannes de l'ordre de 90 minutes. Ce n'est donc pas là qu'on trouve un avantage comparatif par rapport aux tubes, mais dans le moindre encombrement et la consommation d'énergie. La fiabilité fait un bond décisif avec la mise sur le marché des transistors à jonction. La vieille firme d'armement Metropolitan-Vickers les adopte aussitôt pour industrialiser le prototype de Manchester sous le nom de Metrovick 950, en 1956.

Le TX-0 du MIT.



Pour le commercialiser en France, la direction d'IBM France souhaite le désigner par un terme français moins indigeste que *Electronic Data Processing Machine*. Elle consulte en avril 1955 un professeur de littérature latine de la Sorbonne, Jacques Perret, qui suggère un mot emprunté à la théologie médiévale : « *ordinateur* ». IBM adopte ce terme et en gardera quelques années l'exclusivité, avant de le laisser se répandre dans le vocabulaire commun. Présenté au SICOB en octobre 1955, l'ordinateur est installé au centre de calcul parisien d'IBM, place Vendôme. De nombreux scientifiques et ingénieurs français s'initieront sur cette machine à la programmation, généralement en PASO (Programme d'assemblage symbolique optimal), version française du SOAP américain, et bientôt en Fortran.

IBM en produira 1 800 exemplaires au total jusqu'en 1962, faisant de l'IBM 650 le premier ordinateur de l'histoire construit à plus de mille unités. Cette machine révèle les potentialités du marché commercial.

Le terme *ordinateur* passera dans le langage courant au début des années 1960, en concurrence avec *calculateur/trice électronique*, plus rarement *cerveau électronique* ou *machine IBM*.

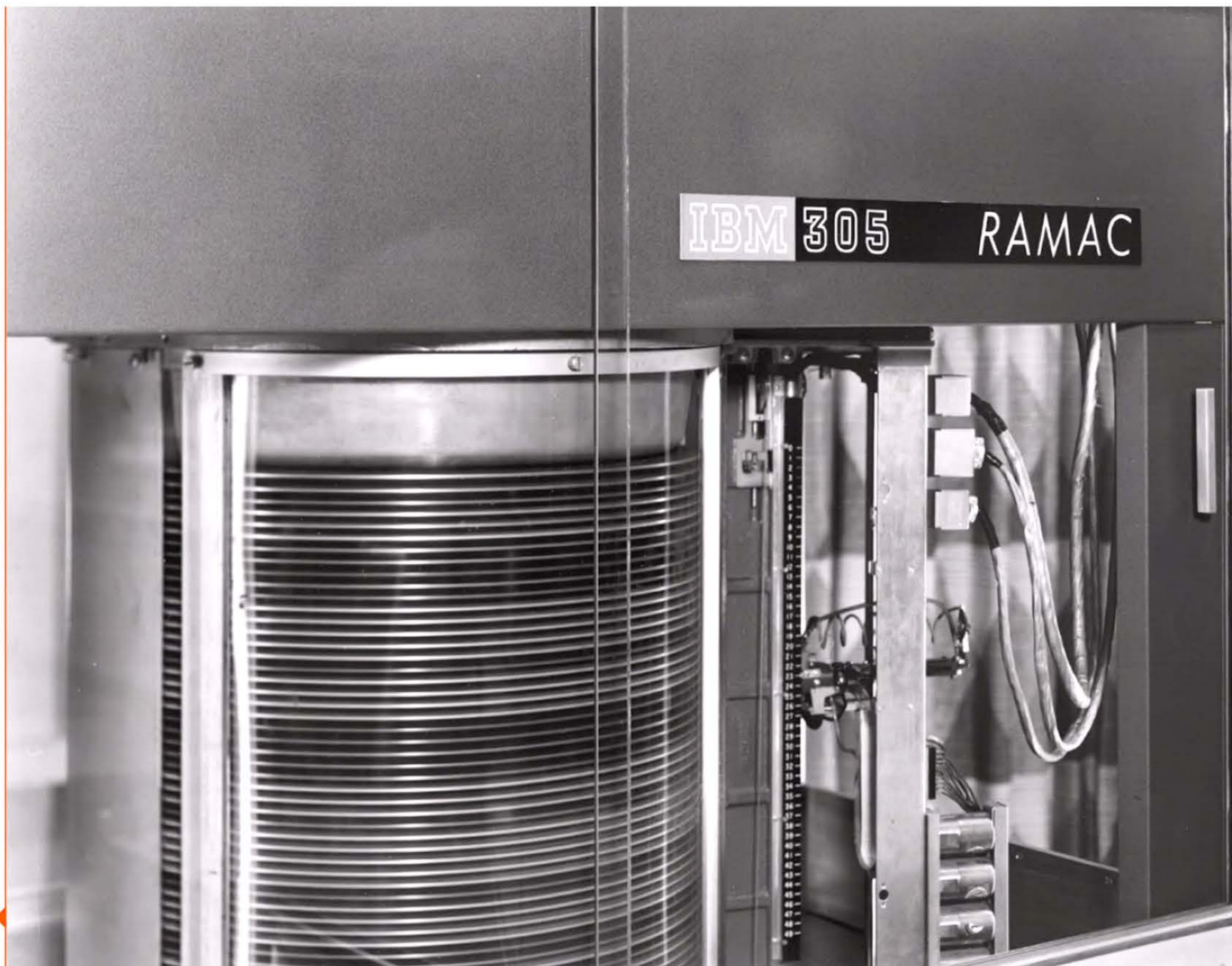
1956 ▶ Le disque dur

IBM commercialise le premier disque dur magnétique, développé par son laboratoire de San Jose (Ca.). Ce tourne-disque géant de 2 m³ contient 5 Mo répartis sur 50 disques d'environ 60 cm de diamètre. L'ordinateur complet, le RAMAC 305, occupe une pièce de 135 m² et pèse une tonne ! L'accès aux données est lent. Et il reste à concevoir les logiciels permettant de gérer, consulter et associer des masses de fichiers. L'invention du disque dur suscite ainsi de nouvelles recherches qui étofferont la discipline informatique naissante. Un nouveau secteur industriel spécialisé se créera bientôt pour développer cette technologie, face à IBM qui maintiendra longtemps son *leadership* sur les disques. Ceux-ci révolutionneront le stockage des données et ouvriront de nouveaux horizons grâce à l'accès indexé, rendant possibles les bases de données et l'informatique transactionnelle.

IBM 305 avec disque dur, visible dans le panneau transparent derrière l'opératrice.

Le disque dur était déjà portable...





Une innovation de rupture :
le disque magnétique
IBM 305 RAMAC.

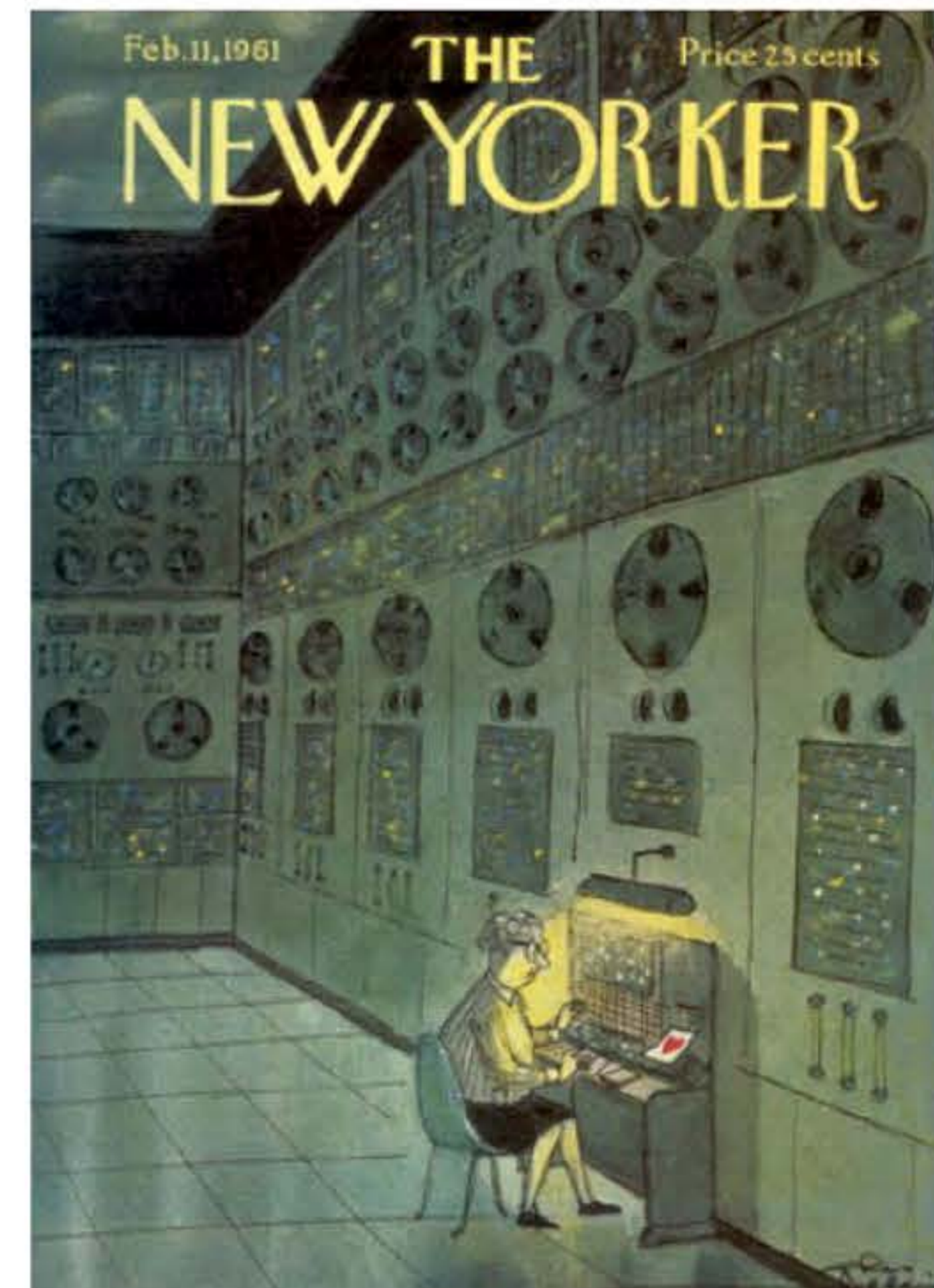
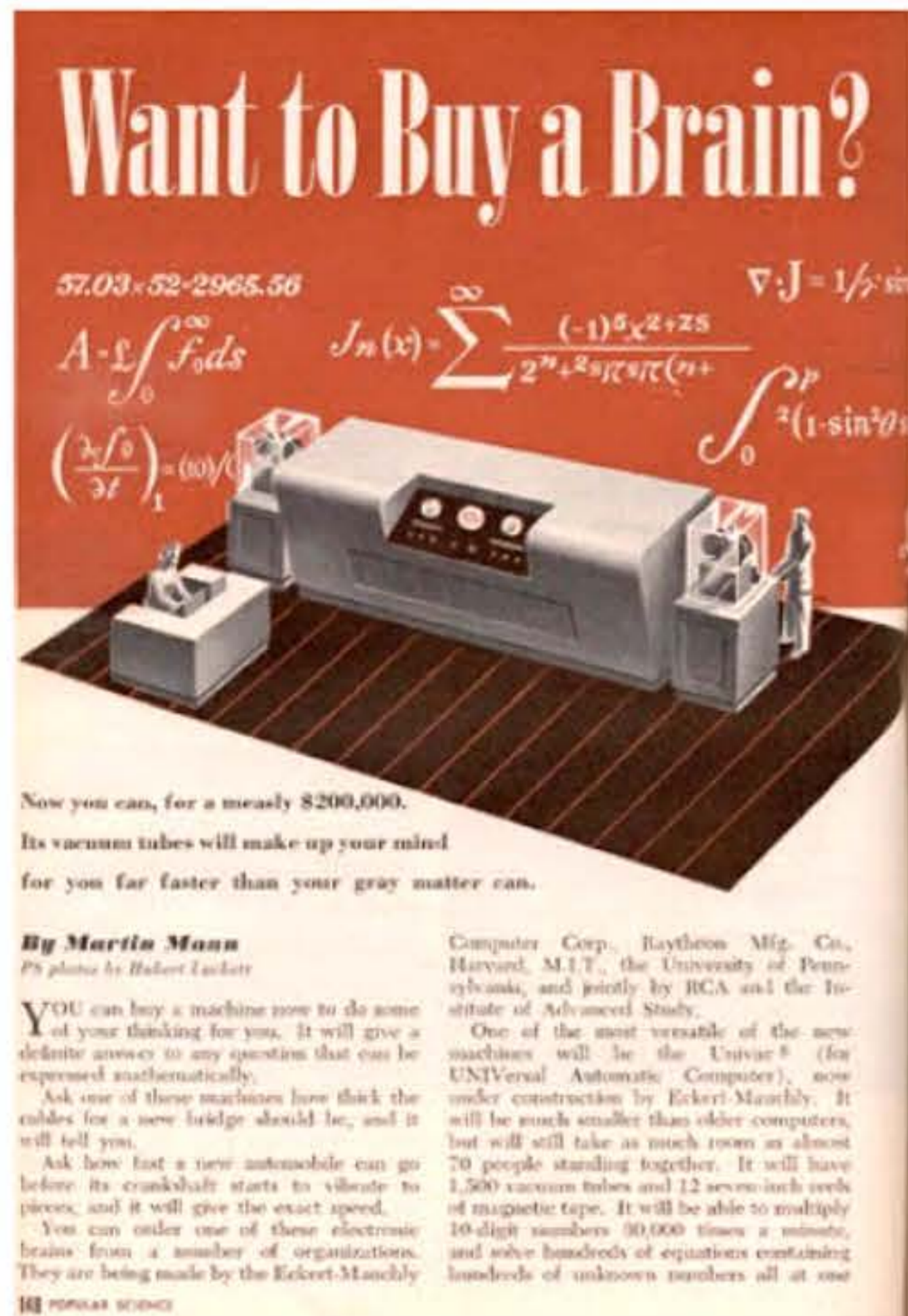


1956 ▶ Genèse des systèmes d'exploitation

Devant la complexité croissante des tâches effectuées, des utilisateurs et des constructeurs dotent les machines d'une surcouche logicielle afin d'en faciliter l'automatisation et de remplacer progressivement les opérateurs humains. Le premier système d'exploitation (encore appelé *moniteur* ou *software de base*) est le *GM-NAA I/O input/output system*, développé pour l'IBM 704 chez General Motors et North American Aviation. Comme son nom l'indique, ce logiciel gère les tâches d'entrées-sorties et enchaîne l'exécution des programmes d'applications. Il sera porté sur une quarantaine d'installations IBM 704 et servira de base à un système plus élaboré conçu par SHARE, l'association des utilisateurs de gros ordinateurs IBM.

1956 ▶ L'intelligence artificielle

L'ordinateur apparaît sur des couvertures de magazines d'électronique, d'information et même de bandes dessinées ! On y parle de « cerveaux électroniques », mais certains chercheurs explorent sérieusement cette métaphore. En 1956 la conférence de Dartmouth réunit pendant un mois les principaux pionniers de l'intelligence artificielle : Simon, Shannon, Minsky, McCarthy, Rochester, etc., qui lancent un véritable programme d'investigations dans ce domaine. Dès 1957 John McCarthy (1927-2011) fonde le département d'intelligence artificielle au MIT et entreprend des recherches avec Marvin Minsky. L'IA connaîtra un développement spectaculaire. Cependant l'enthousiasme initial en a largement sous-estimé les difficultés.



De gauche à droite : Article de 1949 dans Popular Science. « Machines qui pensent », illustrées par un ordinateur Univac 1, dans un magazine d'électronique en 1957. Couverture The New Yorker en 1961.

Son histoire ultérieure peut se décrire comme une succession cyclique d'espoirs et de déceptions : y alternent des périodes optimistes, où d'ambitieux projets promettant des percées mirobolantes persuadent de généreux *sponsors*, agences gouvernementales et investisseurs privés, de financer des recherches ; et les phases de repli déclenchées à la fois par les désillusions et par des critiques de fond contre les pré-supposés de ces projets. Le processus reprend une génération plus tard — la génération pouvant être humaine ou technologique.

1956 ▶ *The General and Logical Theory of Automata*

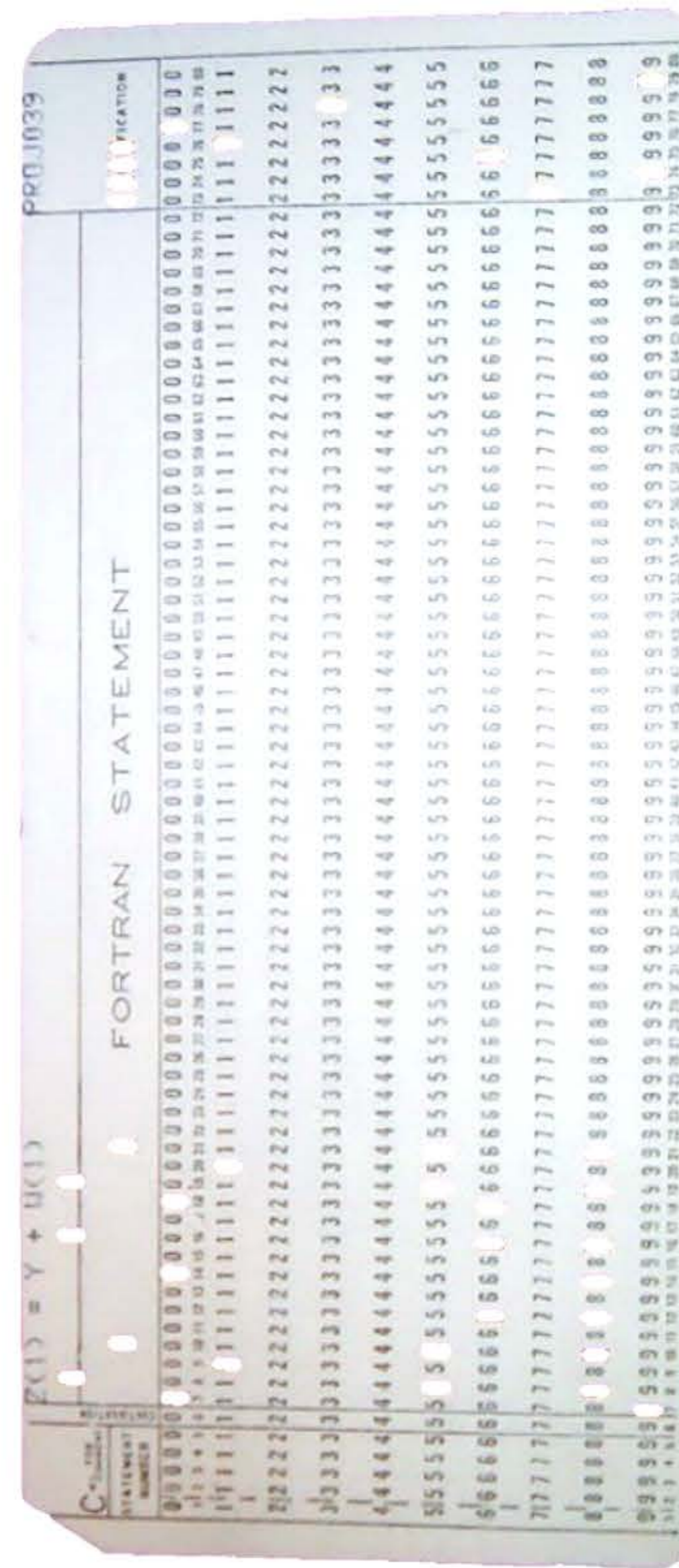
John von Neumann présente la machine de Turing comme le modèle général des automates universels, capables de reproduire le fonctionnement de tout automate particulier si on lui en fournit la description formelle. Cet article ouvre un véritable programme de recherches sur cet objet scientifique nouveau et contribue de façon décisive à fonder la future science informatique.

Jeu de plateau de la fin des années 1970 sur le thème de l'informatique !



1957 ▶ FORTRAN

Après plusieurs années de travail et après les travaux théoriques de Grace Hopper (1906-1992) en 1951, John Backus (1924-2007) met au point chez IBM le premier langage évolué et son compilateur, FORTRAN (*FORmula TRANslator*), à usage scientifique. Ce langage est encore mondialement utilisé, principalement à cause du grand nombre de bibliothèques de programmes disponibles.



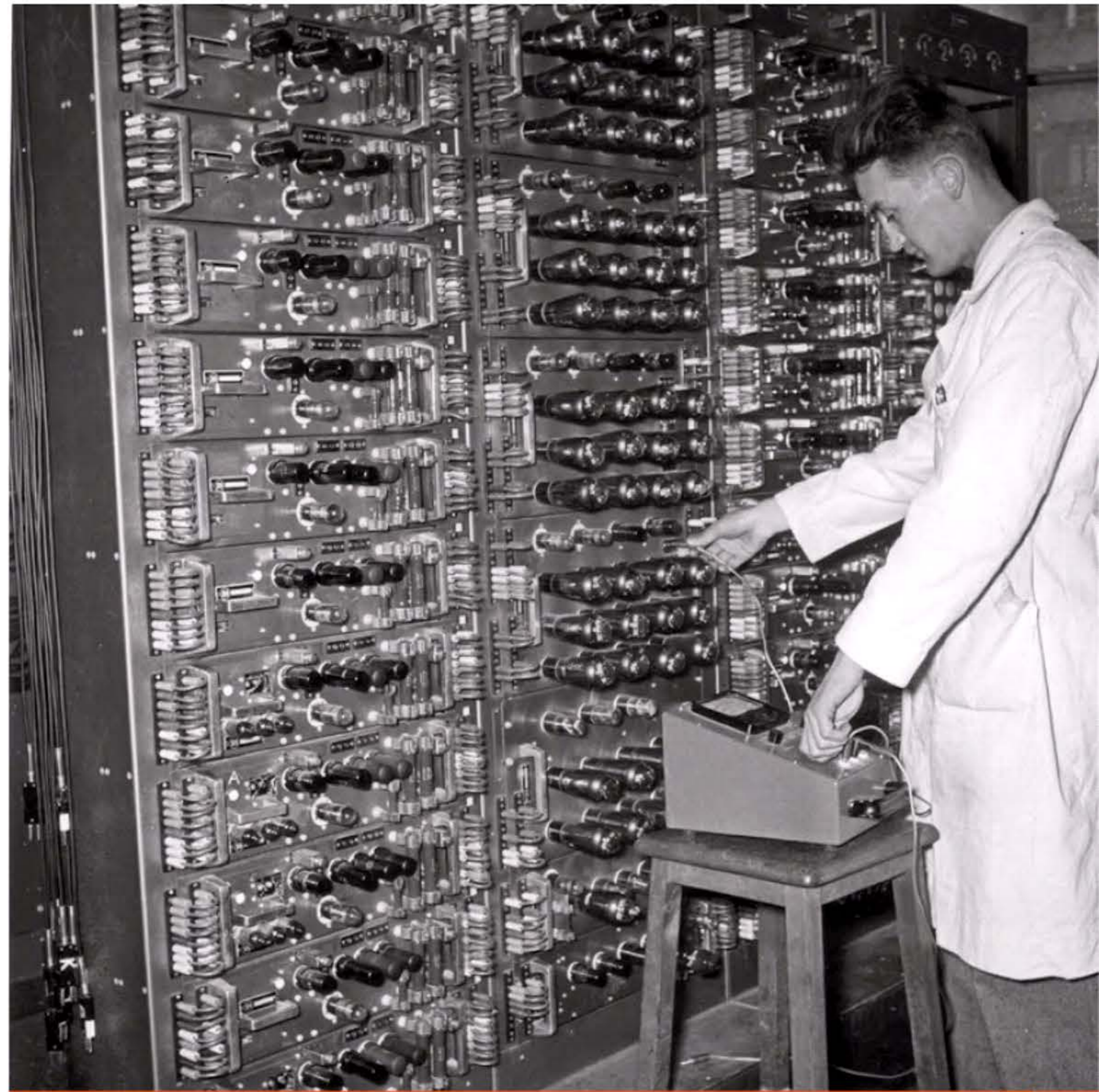
Carte perforée portant l'instruction Fortran $Z(1) = Y + W(1)$.

1958 ▶ Maintenance et fiabilité

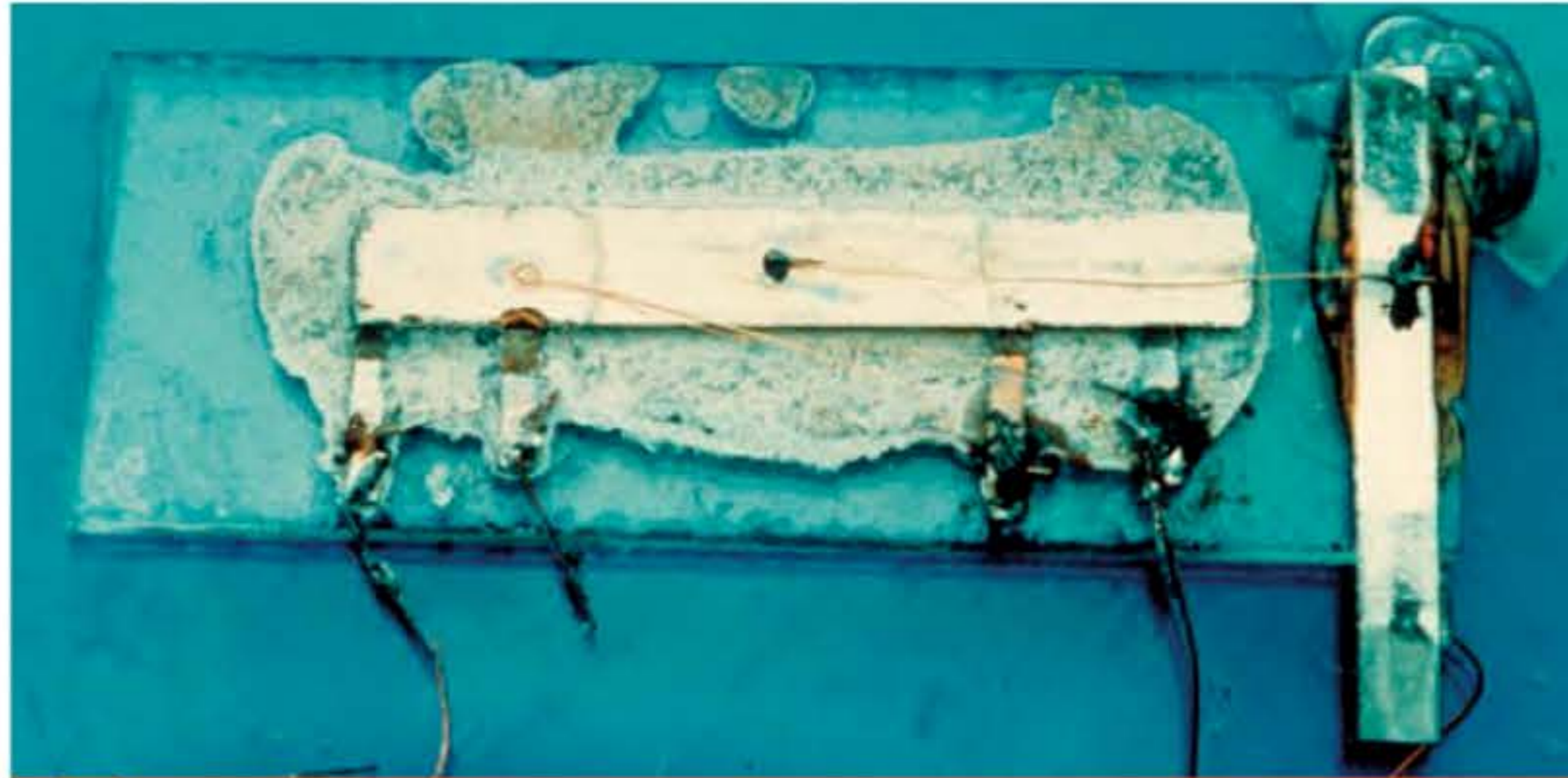
Les calculateurs de première génération sont peu fiables, notamment parce que les tubes chauffent et claquent fréquemment, et que les dizaines de milliers de connexions sont autant de « maillons faibles ». Un bon constructeur se distingue en accumulant des savoirs techniques d'atelier, qui ne doivent pas grand-chose à la science, mais qui permettent d'optimiser le « temps moyen entre pannes » ou MTBF (*Mean time between failures*) par divers procédés de tests et de sélection des composants ou en ajustant finement la puissance du courant. Les techniciens de maintenance resteront jusqu'aux années 1980 une profession nombreuse dans l'industrie informatique.



« L'unité de bandes magnétiques est en panne ! ».



Maintenance des circuits à tubes d'un ordinateur à l'université de Grenoble.



Prototype du premier circuit intégré inventé par Jack Kilby chez Texas Instruments.

composants (résistances, condensateurs, transistors...) d'un même circuit. Leur procédé de fabrication est amélioré par Jean Hoerni (1924-1997). C'est une grande avancée pour la miniaturisation et, plus important encore, pour la fiabilité. Ces circuits intégrés seront vite utilisés par l'armée américaine et la NASA dans les systèmes de guidage des missiles intercontinentaux et les modules lunaires, avant d'être à la base de tous les ordinateurs d'aujourd'hui.

1958 ▶ Début du traitement de texte

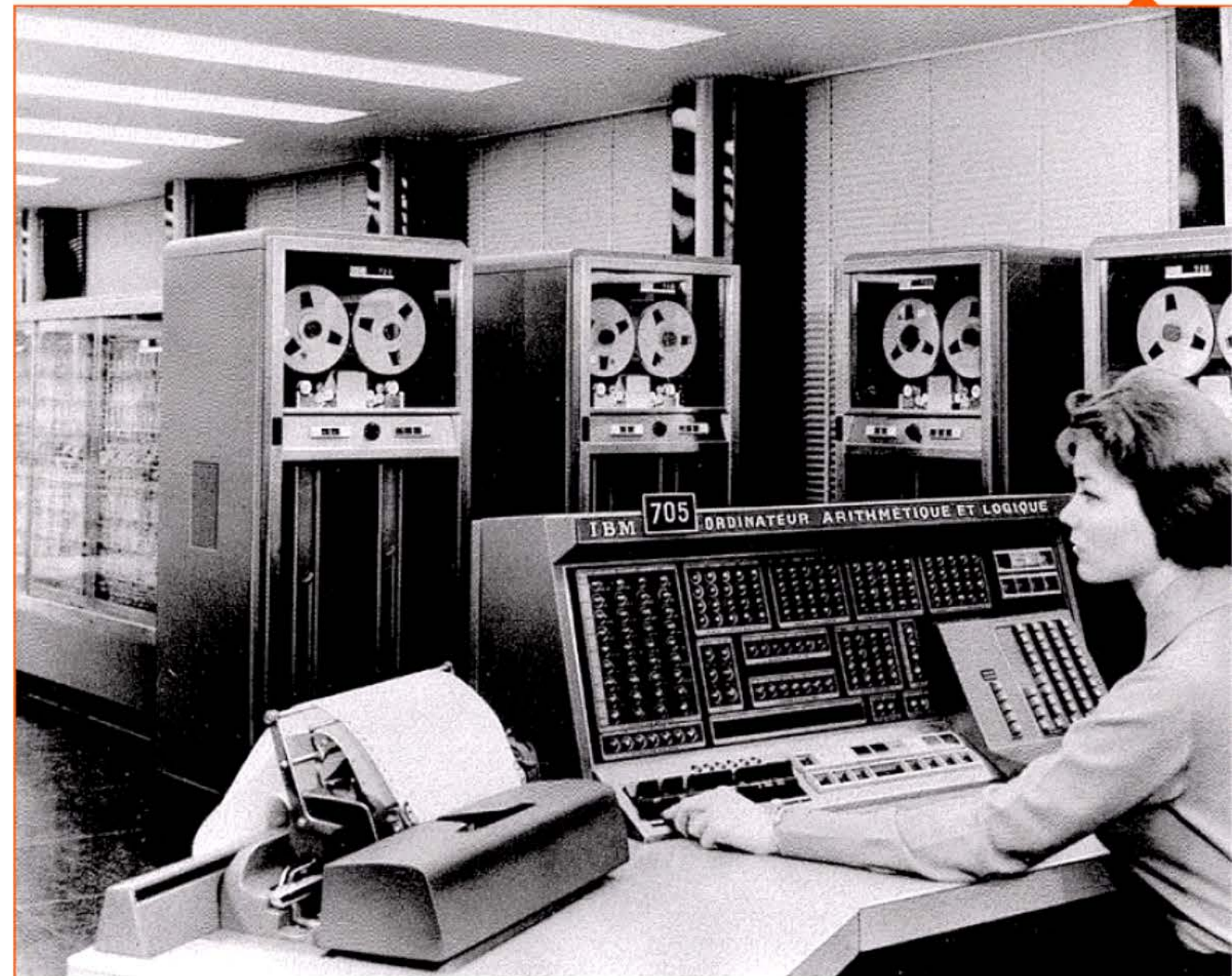
Les brevets d'un traitement de texte sont déposés dès 1954 par la Société d'électronique et d'automatisme (SEA) au nom de « BBR » (Bafour-Blanchard-Raymond). Le système est développé à Courbevoie sur un ordinateur CAB 2000 en coopération avec l'Imprimerie nationale,



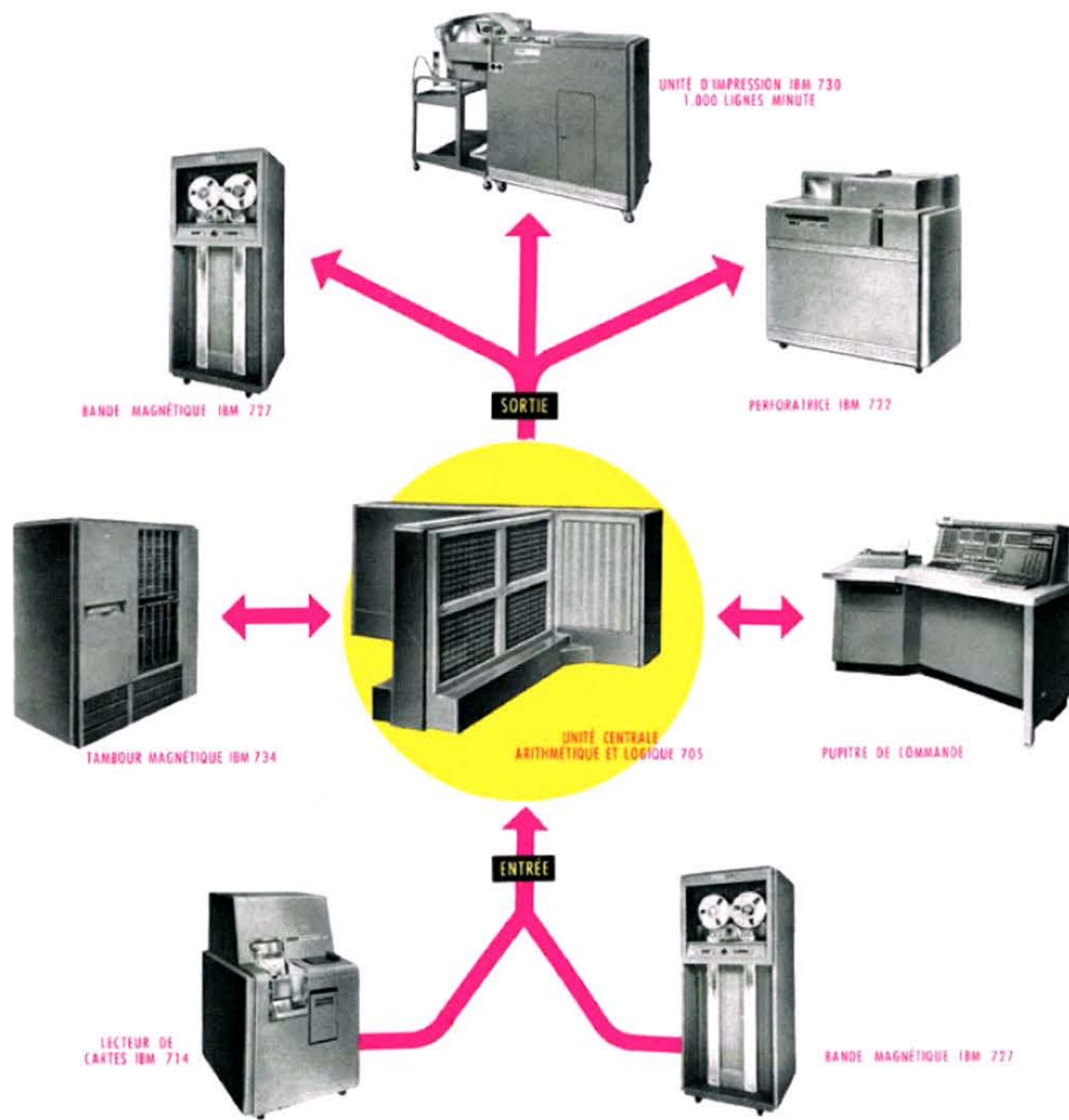
Brochure BBR : le traitement de texte sur gros ordinateurs.

intéressée par ce procédé nouveau de composition qui permettrait d'optimiser la disposition des caractères et de mieux gérer les sauts de ligne. La décennie suivante verra d'autres entreprises, notamment Siemens, commercialiser des systèmes comparables destinés aux imprimeries de journaux.

Ordinateur de gestion IBM 705 à la BNCI.



L'AUTOMATION ADMINISTRATIVE PAR L'ORDINATEUR 705



SCHEMA DE FONCTIONNEMENT D'UN ORDINATEUR

1959 ▶ IBM 705 :

le traitement de masse dans la banque

À la fin des années cinquante, la Banque nationale pour le commerce et l'industrie s'équipe d'un des plus gros ordinateurs de gestion existant, l'IBM 705. Les banques françaises sont alors à la pointe de l'informatisation et sont parmi les premières au monde à acquérir des ordinateurs.

1959 ▶ LISP

Inventé par John McCarthy au MIT, LISP (*LISt Processing*) est le premier langage symbolique pour l'intelligence artificielle.

1959 ▶ Parametron

Le Parametron est un circuit logique magnétique inventé par le physicien Eiichi Goto en 1954 à l'université de Tokyo. Fiable et relativement peu coûteux, il a servi à construire plusieurs ordinateurs japonais à la fin des années cinquante, tel le PC-1 de l'université de Tokyo en 1958.

▶ Pédagogie d'IBM :

l'automatisation administrative par l'ordinateur 705.



1959 ▶ PDP-1 de DEC

Digital Equipment Corp. (DEC) a été fondée en 1957 par Ken Olsen, électronicien formé au MIT où il a découvert les joies de l'emploi interactif d'un ordinateur temps-réel sur le Whirlwind et son dérivé TX-2. Son modèle est en tous points opposé à celui d'IBM : aux machines réservées aux « grands prêtres » et aux opérateurs habilités comme aux méthodes commerciales basées sur l'intéressement, ou à la « loi de Grosch » affirmant l'avantage économique des grands systèmes. Son premier ordinateur, le PDP-1, est l'un des premiers à mettre l'accent sur l'interaction avec l'utilisateur (via entre autres un écran d'affichage graphique) plutôt que sur les performances brutes. Un exemplaire, livré au MIT en 1962, deviendra la machine préférée des étudiants qui contribueront à lancer la culture *hacker* américaine. Le PDP-1 sera l'instrument de nombreuses « premières » : premier jeu vidéo, premiers éditeur et traitement de texte, premier débogueur interactif, premiers essais de musique électronique...



▶ Salle machine avec un PDP-1.

À droite, la console de visualisation avec son crayon optique.

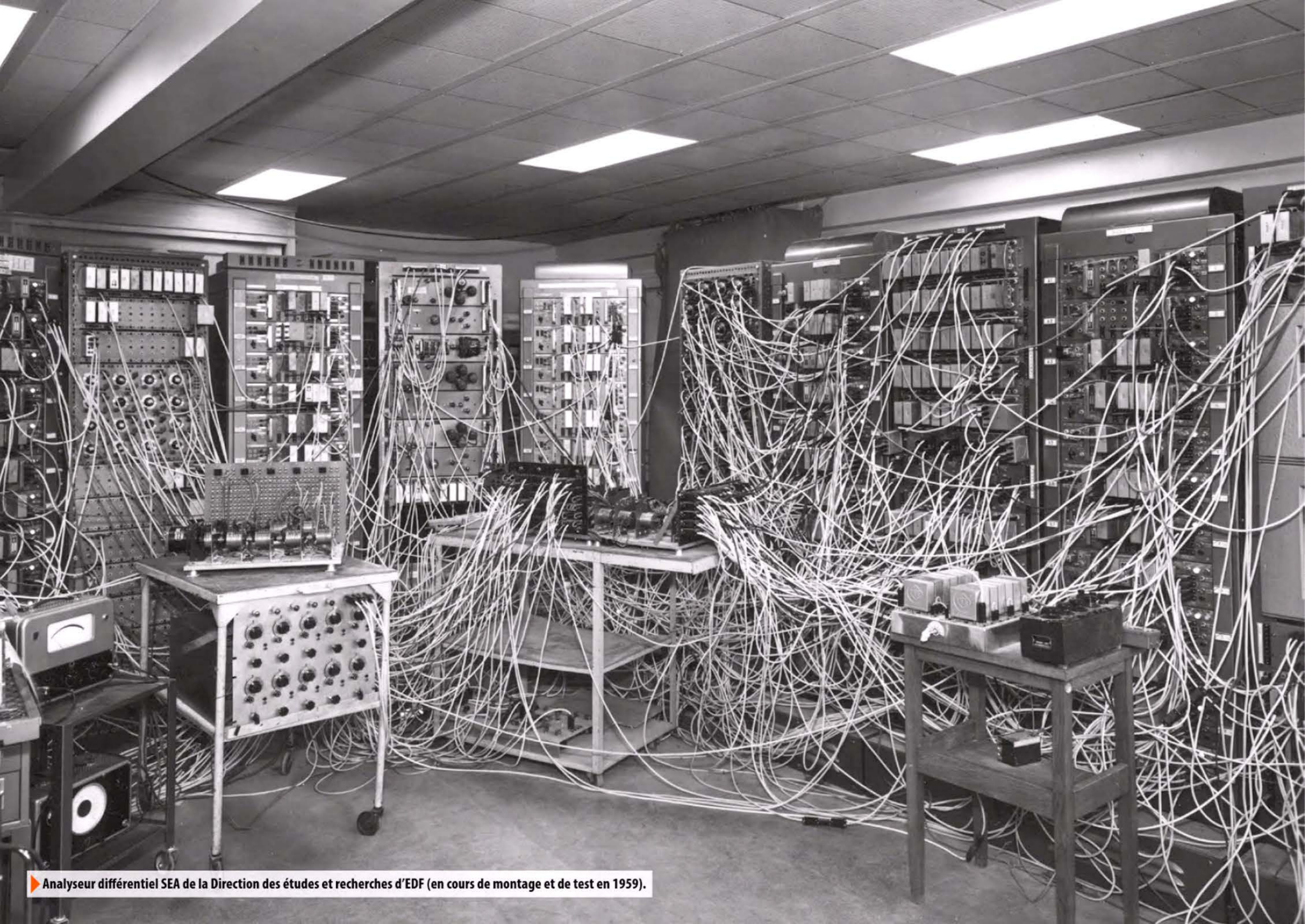


▶ CAB 500 de la SEA (le tambour magnétique est sorti de son meuble pour la démonstration).

1959 ▶ CAB 500 de la SEA :

un ordinateur personnel interactif

Petit ordinateur très innovant, peu coûteux et simple à utiliser, destiné au calcul scientifique, le CAB 500 est un succès commercial (plus de cent exemplaires vendus). Il s'installe aussi simplement qu'un réfrigérateur ou un micro-ordinateur d'aujourd'hui : pas besoin d'air conditionné ni de faux plancher, il suffit de le brancher sur une prise de courant. Le CAB 500 se compose d'une unité arithmétique et logique, réalisée avec des amplificateurs magnétiques d'impulsions, et d'un tambour magnétique constituant la mémoire principale (128 pistes de 128 mots). L'organe d'entrée-sortie standard est une machine à écrire associée à un lecteur-perforateur de bande Friden Flexowriter. L'apprentissage de la programmation est facilité par un langage évolué, PAF (Programmation automatique des formules), développé à la SEA et comparable au Basic. Grâce à un logiciel original, il suffit à l'utilisateur de taper le début d'un mot pour que le CAB 500 le retrouve dans sa mémoire et le complète.



► Analyseur différentiel SEA de la Direction des études et recherches d'EDF (en cours de montage et de test en 1959).

1960 ▶ Analyseur différentiel à EDF

Les calculateurs analogiques restent plus efficaces que les ordinateurs numériques pour d'importants types de calculs et pour la simulation de phénomènes physiques complexes. Au milieu des années cinquante, Électricité de France commande l'étude d'un analyseur différentiel à la Société d'automatisme et d'électronique (SEA). Les ingénieurs de la Direction des études et recherches d'EDF ne s'inquiètent pas trop de l'enchevêtrement de fils au stade des tests d'une machine où, par définition, toute la logique est câblée ou matérialisée dans des amplificateurs et des servomécanismes. Mise en service sous une forme plus présentable avec ses tables traçantes, la machine rendra de grands services dans la conception des centrales et des réseaux électriques. C'est sur ce calculateur qu'est réalisée la première simulation cinétique d'un réacteur nucléaire en France. La SEA en dérivera des versions commerciales.



Analyseur différentiel SEA de la Direction des études et recherches d'EDF.



Calculateur analogique SEA Nadac100 (1963).

1960 ▶ Ordinateur analogique électronique

Alors que le moindre ordinateur numérique coûte très cher, les transistors remplacent les tubes à vide dans les calculateurs analogiques et en font baisser le coût. Heathkit sort une version simplifiée en kit d'un de ses modèles, incluant neuf amplificateurs opérationnels. De nombreuses universités l'emploieront pour former les ingénieurs électroniciens au calcul analogique, encore très répandu.

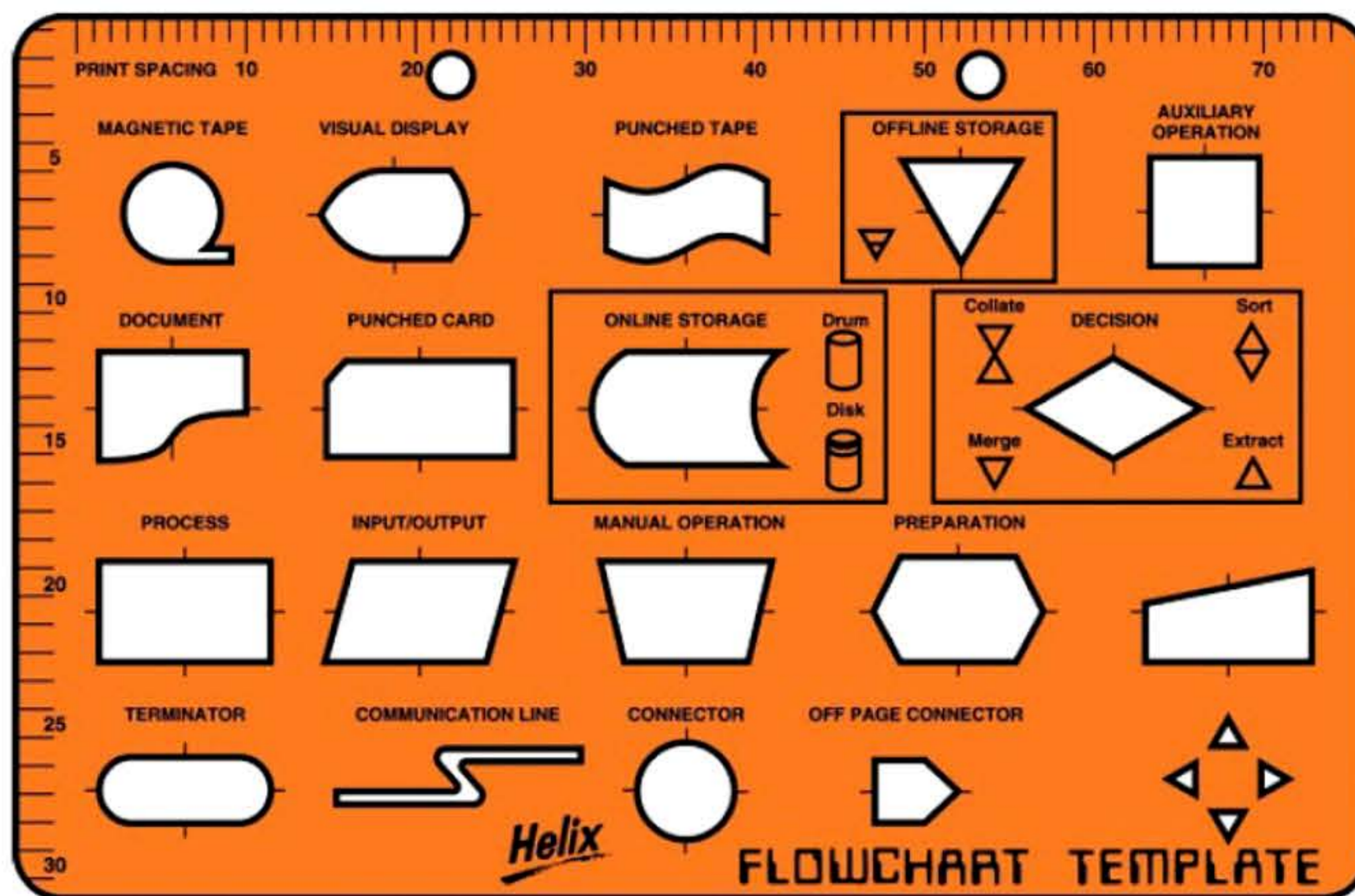
Heathkit EC-1, ordinateur analogique conçu pour l'enseignement.



Calculateur analogique Nadac 100. (Document S.F.A.)

1960 ▶ COBOL

Réagissant à la prolifération des langages, le Pentagone réunit en 1959 les différents constructeurs pour jeter les bases d'une standardisation. C'est la *Conference on Data System Languages* ou CODASYL. En 1960, basées sur les travaux antérieurs de Grace Hopper, les spécifications du COBOL (*Common Business Oriented Language*) sont publiées. Adopté par le département de la défense, qui l'impose aux constructeurs pour ses achats, il devient après FORTRAN le deuxième langage standard de la programmation et est encore très répandu dans l'administration et le monde de la gestion.



Instrument de travail habituel des programmeurs, le normographe (*flowchart template*) servait à dessiner les symboles du schéma logique d'un programme.

1960 ▶ Transistor à effet de champ

Dès 1925, le physicien Julius Edgar Lilienfeld (1882-1963) a inventé un dispositif amplificateur de courant contrôlé par un champ électrique créé par une troisième électrode : c'est le principe du transistor à effet de champ. Il a pris des brevets, mais n'a probablement pas tenté de réalisation — elle aurait de toute façon échoué car, à l'époque, on ne savait pas produire des matériaux semi-conducteurs d'assez bonne qualité. Il faut attendre 1960 pour fabriquer le premier transistor à effet de champ. Il est rapidement utilisé dans les circuits intégrés où l'on parvient à serrer une dizaine de composants par centimètre carré ; c'est l'échelle SSI (*Small Scale Integration*). Le transistor à effet de champ reste la brique de base des circuits électroniques, dont l'échelle d'intégration se mesure maintenant en milliards de composants par centimètre carré.

1960 ▶ ALGOL 60

En même temps que les gestionnaires éprouvent le besoin de définir un langage adapté à leurs applications, un comité scientifique se forme pour poser les bases d'un langage universel, indépendant des différentes architectures de machines et permettant d'exprimer simplement les différentes étapes mathématiques d'un calcul informatique. Réunissant des experts américains et européens à Zurich, Munich et Paris, ce groupe définit un langage algorithmique, ALGOL (*ALGO*rithmic Language) 60. C'est le premier langage qui soit décrit syntaxiquement de manière formelle, grâce aux travaux de John Backus et Peter Naur (notation BNF ou Backus-Naur Form). Diverses raisons, notamment l'apparition de nouvelles versions de Fortran et l'effort d'IBM pour promouvoir PL/1, freineront sa diffusion au-delà du milieu universitaire où il sera longtemps utilisé pour l'apprentissage de l'algorithmique. ALGOL 60 forme la base de tous les langages impératifs qui lui succéderont (PL/1, Pascal, C...).

1960 ▶ IBM 1401 : le *best-seller*

Résultat d'études coordonnées en France et aux États-Unis, l'IBM 1401 est annoncé fin 1959. C'est un ordinateur de deuxième génération pensé pour convertir les mécanographes à l'informatique sans les bousculer : l'entrée des données se fait toujours par cartes perforées, la méthode de programmation reste accessible. Sa remarquable imprimante à 600 lignes par minute est quatre fois plus rapide que celles des tabulatrices existantes. On peut aussi connecter des dérouleurs de bandes magnétiques aux modèles supérieurs de la série IBM 1400.

Livraison d'IBM 1401
à la banque de la Société générale
de Belgique, à Bruxelles.



IBM 1440 à la banque de la Société générale de Belgique (1964).

Le succès commercial de ce petit ordinateur de gestion à cartes perforées dépasse toutes les prévisions : plus de 10 000 exemplaires seront installés dans le monde. Pouvant remplacer quatre ensembles mécanographiques classiques, chaque IBM 1401 placé chez un client provoque le renvoi chez le constructeur des tabulatrices et autres trieuses en location, bousculant sérieusement la profession — y compris IBM.

À partir de 1964, le 1401 commence lui-même à être remplacé par des ordinateurs plus puissants mais capables de « l'émuler » — d'utiliser ses logiciels d'application — et qui auront à leur tour des descendants compatibles. Ce qui fait que 40 ans plus tard, de vieux programmes écrits pour 1401 tournaient sur de nombreux ordinateurs. Les programmeurs qui les avaient conçus n'imaginaient pas une telle longévité... ni que leur méthode de codage, abrégant le numéro d'une année par deux chiffres, engendrerait un bug virtuel et ouvrirait des perspectives désastreuses à l'approche de l'an 2000.

1961 ▶ IBM 7030 Stretch

Répondant à la demande de certains grands laboratoires américains, IBM propose en 1956 de construire un superordinateur : l'IBM 7030 « Stretch », cent fois plus rapide que l'IBM 704, alors le plus puissant ordinateur scientifique de la compagnie. La conception s'avère plus difficile que prévu et IBM doit admettre que ce but ne sera pas atteint, entraînant une baisse du prix de vente pour les contrats en cours et un retrait prématuré du catalogue. Le premier exemplaire est livré en 1961, trente à cinquante fois plus puissant que le modèle 704. C'est un échec commercial. Cependant les innovations technologiques et conceptuelles développées sur ce modèle (pipelining, prefetching, mémoire entrelacée...) seront reprises dans tous les superordinateurs suivants et jusqu'aux microprocesseurs actuels.



IBM 7030 Stretch au centre de calcul du CEA en 1963.



IBM 7030 Stretch au centre de recherche atomique anglais.

1961 ▶ CTSS : l'invention du *Time-Sharing*

Un système d'exploitation en temps partagé, CTSS (*Compatible Time-Sharing System*), est expérimenté au MIT. Le but est double : exploiter au maximum les ressources d'un ordinateur, très coûteuses à l'époque, et faire progresser l'étude de ces objets nouveaux, les systèmes d'exploitation. Le concept a été décrit en 1957 par Robert Bemer, ingénieur d'IBM qui jouera bientôt un rôle clé dans la définition du code ASCII. Le premier projet est démarré la même année par John McCarthy au MIT sur un gros ordinateur IBM, modifié pour se connecter à plusieurs terminaux et empêcher les interférences entre leurs programmes respectifs.

Le principe du temps partagé est de permettre l'utilisation simultanée de l'ordinateur par plusieurs personnes en laissant à chacune l'illusion que la machine est intégralement à sa disposition. Ce mécanisme est réalisé en découpant le temps en petites unités et en allouant les ressources successivement à chaque utilisateur, assez rapidement pour que celui-ci n'ait pas d'impression d'attente. On joue donc sur le différentiel de vitesse entre le temps de traitement de l'ordinateur et le temps de réaction de l'utilisateur.

CTSS démontre la viabilité du temps partagé et inspirera la conception des systèmes ultérieurs tels Multics, puis Unix.

1962 ▶ Naissance du terme *informatique*

Depuis la fin des années cinquante, plusieurs spécialistes imaginaient des termes pour désigner les activités liées à l'ordinateur : *Computronics*, *Informatik* et d'autres expressions avaient été essayées. « Informatique » est un mot-valise inventé en 1962 en fusionnant les deux termes *information* et *automatique*. Ses auteurs sont Philippe Dreyfus, jusque-là ingénieur chez Bull, et Robert Lattès, mathématicien travaillant pour la SEMA et le

Commissariat à l'énergie atomique. Leur motivation est double. Ils veulent à la fois donner un nom à ce nouveau métier qu'ils pratiquent, le traitement automatique de l'information, et baptiser une société de services qu'ils sont en train de fonder. C'est une réussite linguistique : le terme entre dès 1966 dans le dictionnaire de l'Académie française, ainsi que dans le vocabulaire de plusieurs pays non-francophones (*informatica*, *Informatik*). Il est inventé simultanément aux États-Unis pour baptiser, là aussi, une firme de *software* : *Informatics*. Mais il n'y détrônera pas *computing*, pour une raison très simple : le terme *Informatics* appartient à la firme en question, dont les avocats rejettent toutes les demandes d'utilisation émanant d'autres organisations.

Alors que la plupart des termes liés à l'informatique sont d'origine américaine, voire directement importés sans traduction, un autre mot purement français réussit plus tard à s'imposer : *logiciel*, proposé en 1969 par la Délégation gouvernementale à l'informatique en combinant les termes « logique » et « matériel », pour remplacer *software*. Il sera lui aussi vite adopté par la profession.

1962 ▶ IBM SABRE :

le premier système de réservation en ligne

Depuis le début de l'aviation civile, les compagnies aériennes ont affronté le problème de la gestion centralisée des réservations effectuées un peu partout dans le monde. Le système manuel datant des années 1920, avec une équipe d'agents remplissant des fiches bristol pour chaque vol, atteint ses limites avec l'explosion du trafic après la seconde guerre mondiale.

Une rencontre fortuite entre un directeur commercial d'IBM et le président d'American Airlines mène à confier une réflexion à une équipe conjointe. Il s'agit d'adapter les formules du système militaire SAGE (liaisons entre terminaux distants et site central) à

un environnement commercial. Un prototype basé sur deux IBM 7090 est expérimenté dès 1960. L'ensemble du système de réservation d'American Airlines bascule en 1964 sur SABRE (*Semi-automated Business Research Environment*). Après passage sur IBM/360 en 1972, il s'ouvre aux autres compagnies aériennes en 1976 et continue d'exister de nos jours sur de nouveaux matériels.

1962 ▶ Courbes de Bézier

Alors ingénieur chez Renault, Pierre Bézier (1910-1999) cherche à modéliser une courbe afin de faire le lien entre les dessinateurs de carrosseries et les nouvelles machines à commande numérique. Il définit mathématiquement une courbe paramétrique, aisément manipulable dans une interface graphique et calculable par ordinateur. Une idée comparable est mise en œuvre chez Citroën avec Pierre de Casteljaou. Le procédé est implémenté à la fin des années 1960 dans un logiciel de CFAO, Unisurf, adopté par les constructeurs automobiles puis par l'aéronautique. Reprises au début des années 1980 dans le dessin des polices de caractères du langage Postscript, les courbes de Bézier sont devenues un standard des tracés de courbes dans tous les logiciels graphiques.

1962 ▶ Spacewar!

Steve Russell et d'autres étudiants créent *Spacewar!*, premier jeu vidéo de l'histoire, sur le mini-ordinateur PDP-1 du MIT : chacun des deux joueurs doit essayer de détruire le vaisseau adverse tout en manœuvrant dans le puits gravitationnel d'une étoile centrale. Un an après, le constructeur DEC livre chaque PDP-1 (coûtant près d'un million de dollars actuels) avec une copie du jeu préinstallée ; utilisant toutes les ressources de la machine, le

jeu sert de logiciel de test lors de la livraison au client ! *Spacewar!* se répand rapidement sur les machines des différents centres de recherche américains. À l'université d'Utah, Nolan Bushnell passe des heures sur le jeu ; quelques années plus tard, il créera Atari, entreprise pionnière dans l'industrie du jeu vidéo.

Dan Edwards et Peter Samson jouant à Spacewar!.





Salle de contrôle Strida à Mont-de-Marsan (1968).

Après appel d'offres, l'étude et la réalisation du Strida sont confiées à deux entreprises : la Sintra, firme spécialisée dans les calculateurs et les écrans radar, et IBM France, où Jean-Pierre Brulé (1929-2015) crée une division militaire en 1960 pour développer des ordinateurs spéciaux. Mis en service à partir de 1962, le Strida est un vaste dispositif où les aéronefs ne sont plus, à la limite, que les « terminaux » mécaniques du réseau radioélectrique. C'est sans doute le premier réseau numérique européen.

1962 ▶ Atlas et la mémoire virtuelle

La mémoire virtuelle est un dispositif d'expansion de l'espace mémoire disponible pour le programmeur, utilisant la mémoire secondaire (disque) comme extension de la mémoire principale. Sa première réalisation a été faite en 1962 sur la machine Atlas, construite conjointement par l'université de Manchester et l'entreprise Ferranti. Les 96 ko de mémoire, réalisée en tores de ferrite, étaient étendus à l'aide des 576 ko stockés sur tambour magnétique. Nécessitant un matériel rapide, l'usage de la mémoire virtuelle ne se généralisera qu'après la fin des années 1960.

1962 ▶ Système STRIDA : la défense aérienne

En 1957-1959, face au déploiement des bombardiers soviétiques supersoniques, l'Armée de l'Air française a entrepris de développer un nouveau système de traitement et de transmission des informations de défense aérienne (Strida). Les signaux radar seront désormais traités par des calculateurs numériques qui évalueront la menace éventuelle et prépareront les décisions de riposte en fonction des données disponibles : type et direction de la menace, moyens de défense disponibles à proximité, risques de saturation, état des avions de chasse, etc.





La salle machines du Computer Laboratory Atlas en Angleterre (août 1965). ◀

1963 ▶ Infographie

Préparant sa thèse au MIT, Ivan Sutherland crée Sketchpad, un programme interagissant avec l'utilisateur via un crayon lumineux et surtout capable de manipuler des objets géométriques à l'écran. C'est l'ancêtre des logiciels de CAO (conception assistée par ordinateur) et le premier à populariser le concept d'interface homme-machine graphique. Les capacités graphiques des ordinateurs n'ont fait que se développer depuis, pour arriver à des niveaux de réalisme époustouflants.

Au sens d'imagerie élaborée sur ordinateur, le terme *infographie* fut d'abord une marque déposée en 1974 par le fabricant français de tables traçantes Benson.

Image numérique entièrement générée par programme sans aucune origine photographique (2000).

Première image scannée par Russell Kirsch en 1957, montrant son bébé.

Démonstration de Sketchpad sur la console du TX-2 du MIT.





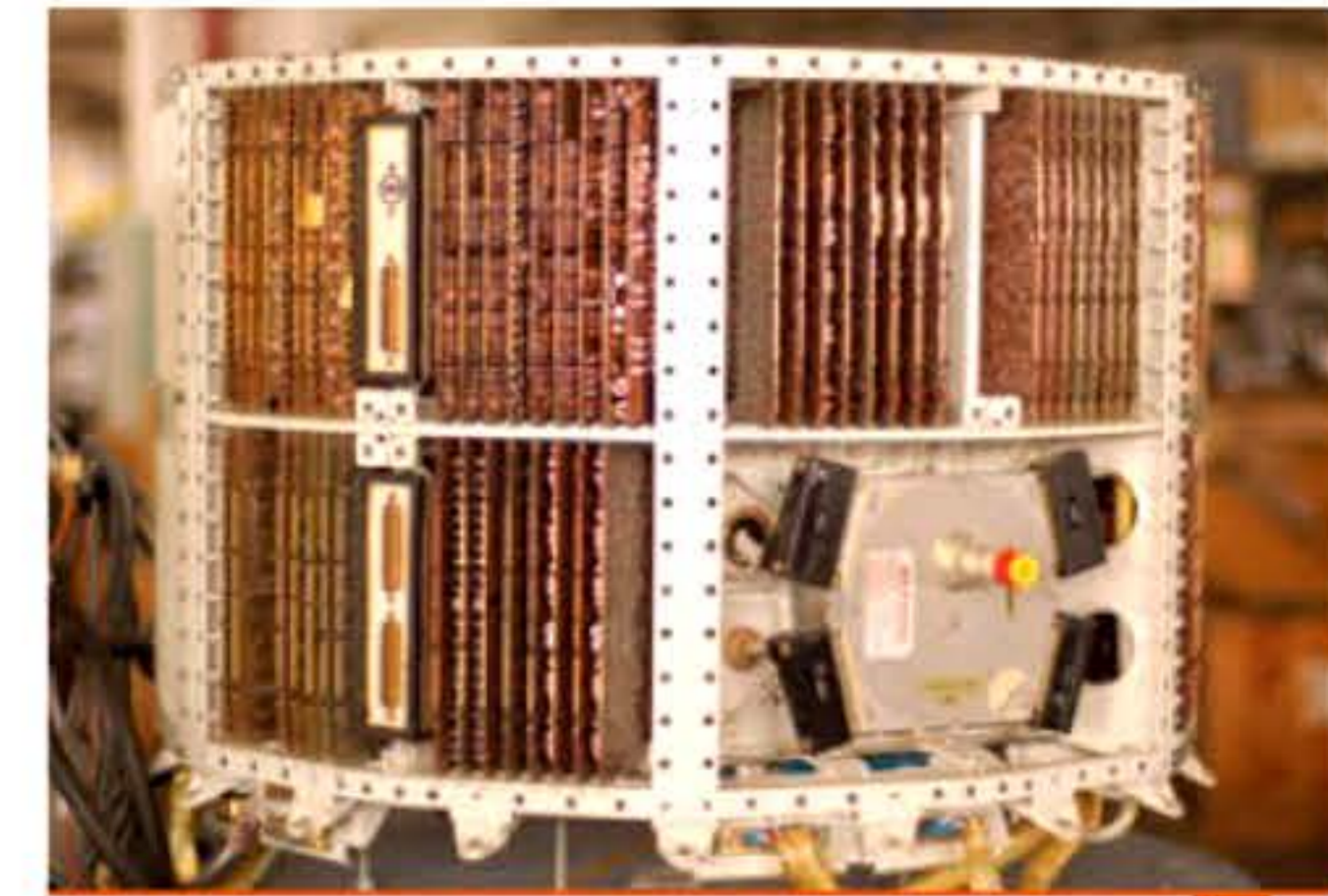
Copie d'écran du simulateur de vol « Flight Simulator 2.0 » pour Atari ST (subLOGIC) en 1986.

1963 ► Pilotage et conquête spatiale

Les premiers circuits intégrés sont chers. Ils trouvent leurs premiers débouchés dans le domaine spatial et militaire, où leur fiabilité, leur petite taille et leur faible consommation les rendent plus intéressants que les transistors discrets — comme leur forte résistance aux radiations nucléaires.

Les missiles intercontinentaux Minuteman sont les premiers à intégrer un système de guidage inertielle informatique, transistorisé dès 1960, puis à partir de 1962 en circuits intégrés principalement fournis par Texas Instruments. Dans le spatial « civil », la NASA est

un gros consommateur de circuits intégrés (de Fairchild Semiconductor) dans les ordinateurs de bord servant au pilotage et à l'approche lunaire des missions Apollo. Ces contrats permettent à l'industrie de développer une production de masse en baissant progressivement les coûts des circuits intégrés, ouvrant la voie à leur utilisation courante.



Ordinateur de pilotage d'un missile Minuteman I à base de transistors et de composants discrets.

Univac 1232 à la station de suivi des missions Apollo de Honeysuckle (Australie) vers 1970.



1963 ▶ Code ASCII

Afin de représenter chaque caractère alphanumérique en code traitable par ordinateur, une table de correspondance était nécessaire. Chaque constructeur d'ordinateurs avait défini son propre codage, ce qui ne permettait pas l'échange d'information entre systèmes différents. Pour remédier à cette cacophonie, l'agence américaine de normalisation adopte en 1963 le code ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*). Celui-ci standardise le codage numérique sur sept bits de 128 caractères : lettres, majuscules et

minuscules, chiffres, signes de ponctuation, caractères de contrôle gérant la communication entre terminaux et ordinateur central. Le code ASCII sera ensuite étendu à 8 bits (l'octet ou *byte*, devenu la taille standard en informatique) afin d'y intégrer les caractères occidentaux étrangers, par exemple les caractères accentués. Puis il se fonda dans l'Unicode, énorme travail mondial de normalisation de tous les systèmes d'écriture, intégrant graphisme des caractères, sens de lecture, superposition, ligatures, position dans un mot...

U+10000	U+10001	U+10002	U+10003	U+10004	U+10005	U+10006	U+10007	U+10008	U+10009	U+1000A	U+1000B	U+1000C	U+1000D	U+1000E	U+1000F
𐀀	𐀁	𐀂	𐀃	𐀄	𐀅	𐀆	𐀇	𐀈	𐀉	𐀊	𐀋	𐀌	𐀍	𐀎	𐀏
U+10010	U+10011	U+10012	U+10013	U+10014	U+10015	U+10016	U+10017	U+10018	U+10019	U+1001A	U+1001B	U+1001C	U+1001D	U+1001E	U+1001F
𐀐	𐀑	𐀒	𐀓	𐀔	𐀕	𐀖	𐀗	𐀘	𐀙	𐀚	𐀛	𐀜	𐀝	𐀞	𐀟
U+10020	U+10021	U+10022	U+10023	U+10024	U+10025	U+10026	U+10027	U+10028	U+10029	U+1002A	U+1002B	U+1002C	U+1002D	U+1002E	U+1002F
𐀠	𐀡	𐀢	𐀣	𐀤	𐀥	𐀦	𐀧	𐀨	𐀩	𐀪	𐀫	𐀬	𐀭	𐀮	𐀯
U+10030	U+10031	U+10032	U+10033	U+10034	U+10035	U+10036	U+10037	U+10038	U+10039	U+1003A	U+1003B	U+1003C	U+1003D	U+1003E	U+1003F
𐀰	𐀱	𐀲	𐀳	𐀴	𐀵	𐀶	𐀷	𐀸	𐀹	𐀺	𐀻	𐀼	𐀽	𐀾	𐀿
U+10040	U+10041	U+10042	U+10043	U+10044	U+10045	U+10046	U+10047	U+10048	U+10049	U+1004A	U+1004B	U+1004C	U+1004D	U+1004E	U+1004F
𐀰	𐀱	𐀲	𐀳	𐀴	𐀵	𐀶	𐀷	𐀸	𐀹	𐀺	𐀻	𐀼	𐀽	𐀾	𐀿
U+10050	U+10051	U+10052	U+10053	U+10054	U+10055	U+10056	U+10057	U+10058	U+10059	U+1005A	U+1005B	U+1005C	U+1005D	U+1005E	U+1005F
𐀰	𐀱	𐀲	𐀳	𐀴	𐀵	𐀶	𐀷	𐀸	𐀹	𐀺	𐀻	𐀼	𐀽	𐀾	𐀿
U+10060	U+10061	U+10062	U+10063	U+10064	U+10065	U+10066	U+10067	U+10068	U+10069	U+1006A	U+1006B	U+1006C	U+1006D	U+1006E	U+1006F
𐀰	𐀱	𐀲	𐀳	𐀴	𐀵	𐀶	𐀷	𐀸	𐀹	𐀺	𐀻	𐀼	𐀽	𐀾	𐀿
U+10070	U+10071	U+10072	U+10073	U+10074	U+10075	U+10076	U+10077	U+10078	U+10079	U+1007A	U+1007B	U+1007C	U+1007D	U+1007E	U+1007F
𐀰	𐀱	𐀲	𐀳	𐀴	𐀵	𐀶	𐀷	𐀸	𐀹	𐀺	𐀻	𐀼	𐀽	𐀾	𐀿

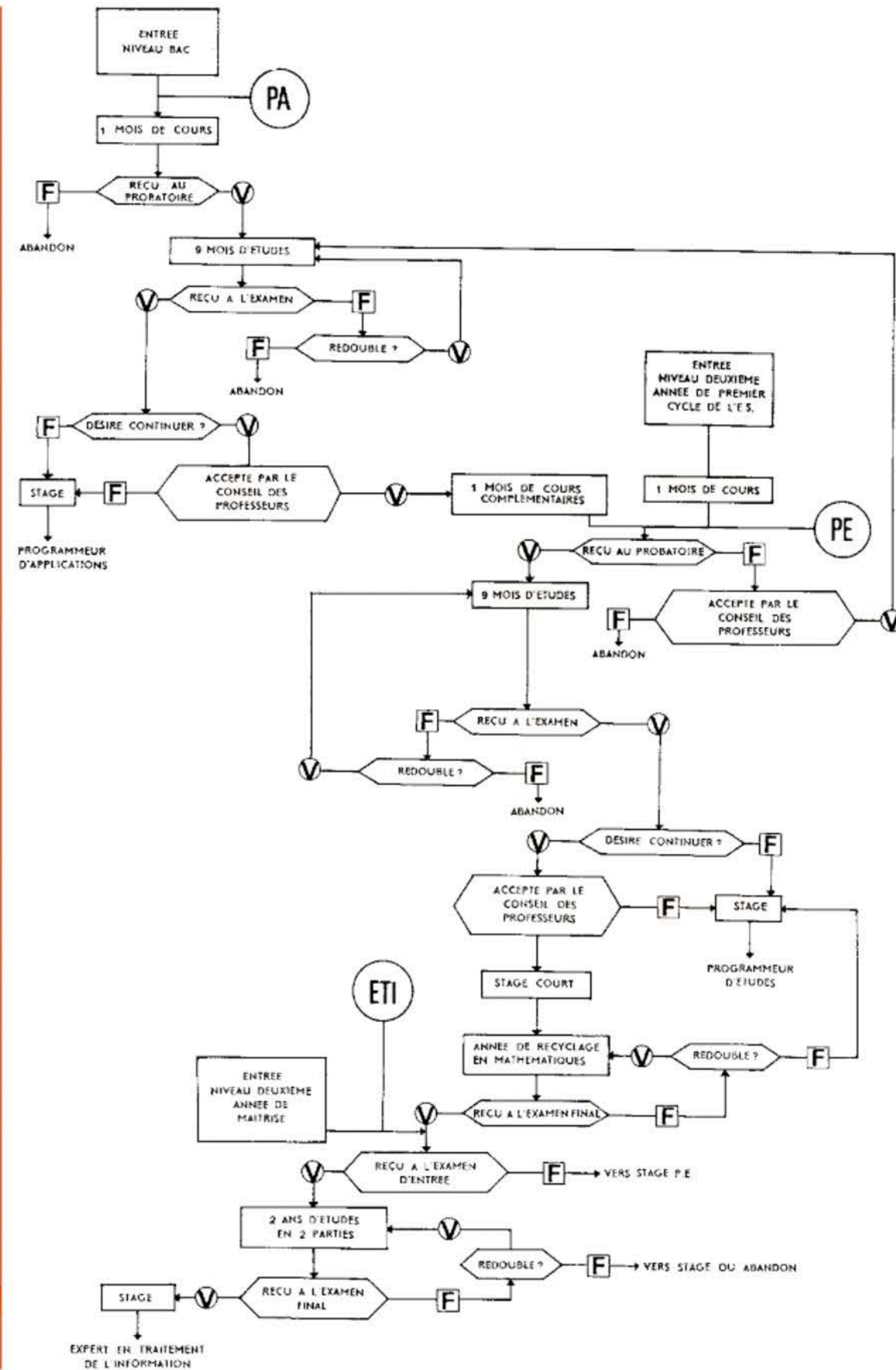
Exemple de table de codage Unicode pour représenter l'alphabet syllabique du linéaire B, utilisé pour l'écriture du mycénien, une forme archaïque du grec ancien.



1963 ▶ Formation des informaticiens

Les premiers *Departments of Computer Science* apparaissent dans les universités américaines et britanniques à partir de 1962. En France, plus de 200 ordinateurs fonctionnent dès 1960, chacun nécessitant en moyenne une dizaine de spécialistes. Et ce secteur est en pleine expansion : les entreprises s'arrachent les programmeurs à prix d'or ! Pour répondre à la demande, les responsables du centre de calcul du CNRS et de la faculté des sciences de Paris fondent en 1963 un Institut de Programmation destiné à former des techniciens et des ingénieurs en informatique. Ils prévoient de former 450 étudiants en 1966, pour des débouchés « immenses ». Une partie importante des cours est assurée par des ingénieurs et des mathématiciens de l'industrie ou des services publics, en attendant que les universitaires soient en mesure de prendre la relève. En 1966, le ministère de l'Éducation nationale crée les maîtrises d'informatique, en même temps que les maîtrises d'électronique et d'automatique, ainsi que les IUT. D'autres diplômes s'y ajouteront plus tard pour répondre à la demande.

Cursus de l'Institut de Programmation de l'université de Paris, représenté sous forme d'algorithme dans un organigramme, avec les symboles familiers aux programmeurs (1967).



1963 ▶ Chèque à lecture magnétique CMC7

La possibilité de faire lire directement des caractères d'imprimerie par la machine intéresse vivement les banques qui doivent traiter une masse croissante de chèques. Dès le milieu des années cinquante, l'organisation professionnelle des banques américaines a lancé un appel d'offres pour l'étude d'un tel système. Trois normes concurrentes ont été mises au point, en Amérique, en Grande-Bretagne et en Europe continentale. Développé par Bull, le CMC7 (*caractère magnétique codé à 7 barres*) permet à la fois la lecture magnétique par la machine et la lecture optique directe par l'utilisateur humain. Il est normalisé par l'European Computer Manufacturers Association et adopté en 1963 par de nombreuses banques européennes de préférence au système américain. Toujours utilisé aujourd'hui sur nos chèques bancaires, le CMC7 peut être aussi considéré comme l'un des ancêtres du code barre.

Chèque à lecture magnétique CMC7.

B. P. F. _____

BANQUE NATIONALE DE PARIS
SÈGE SOCIAL : 18, BOULEVARD DES ITALIENS - PARIS (9^e)

PAYEZ CONTRE CE CHÈQUE _____

A l'ordre de _____

PAYABLE _____ Cahors, le _____

15, Boulevard Gambetta
46 - CAHORS

N° de Siège _____ Numéro de compte _____

SPÉCIMEN

CHÈQUE N° _____

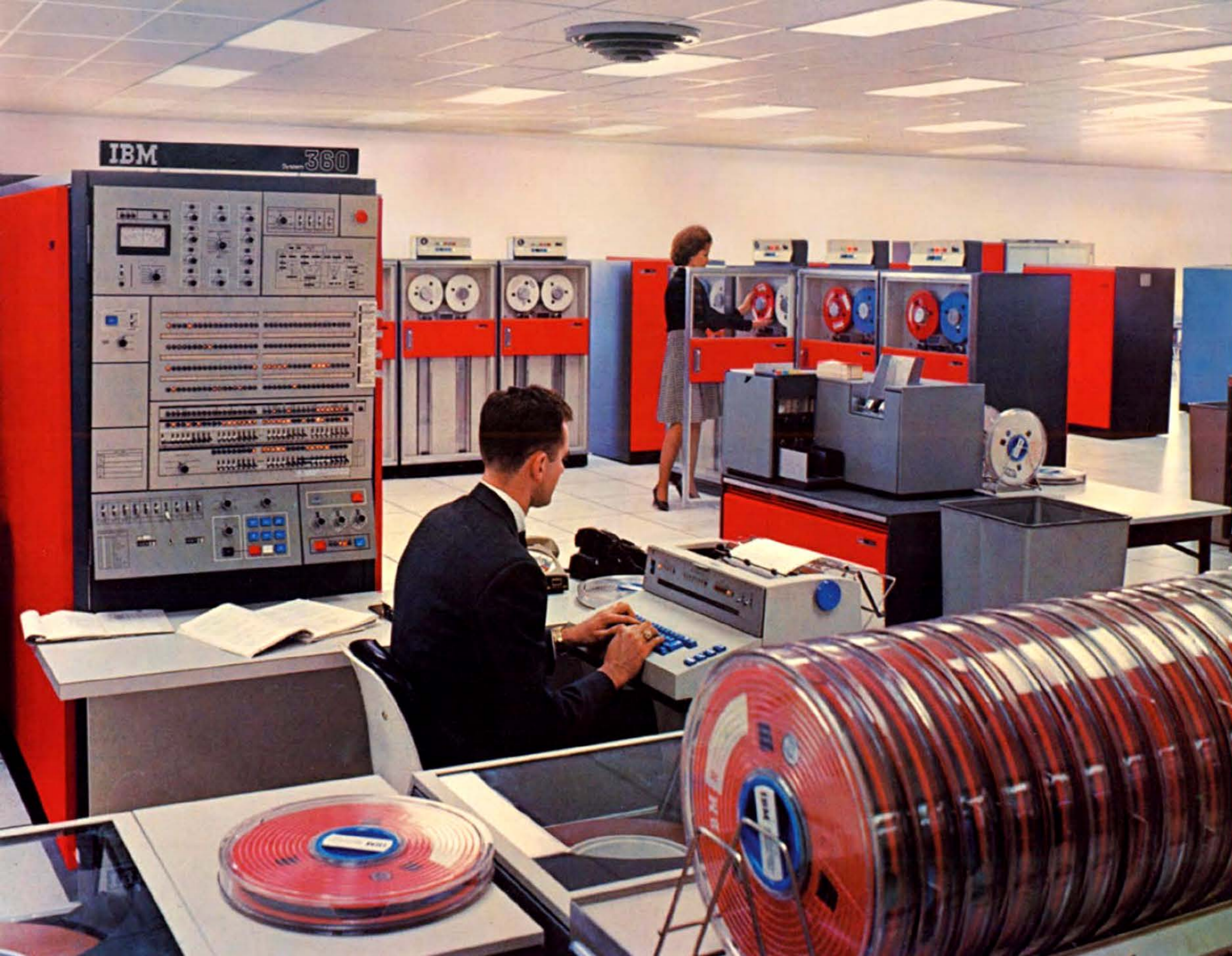
246060004066*30175

1964 ▶ IBM System/360



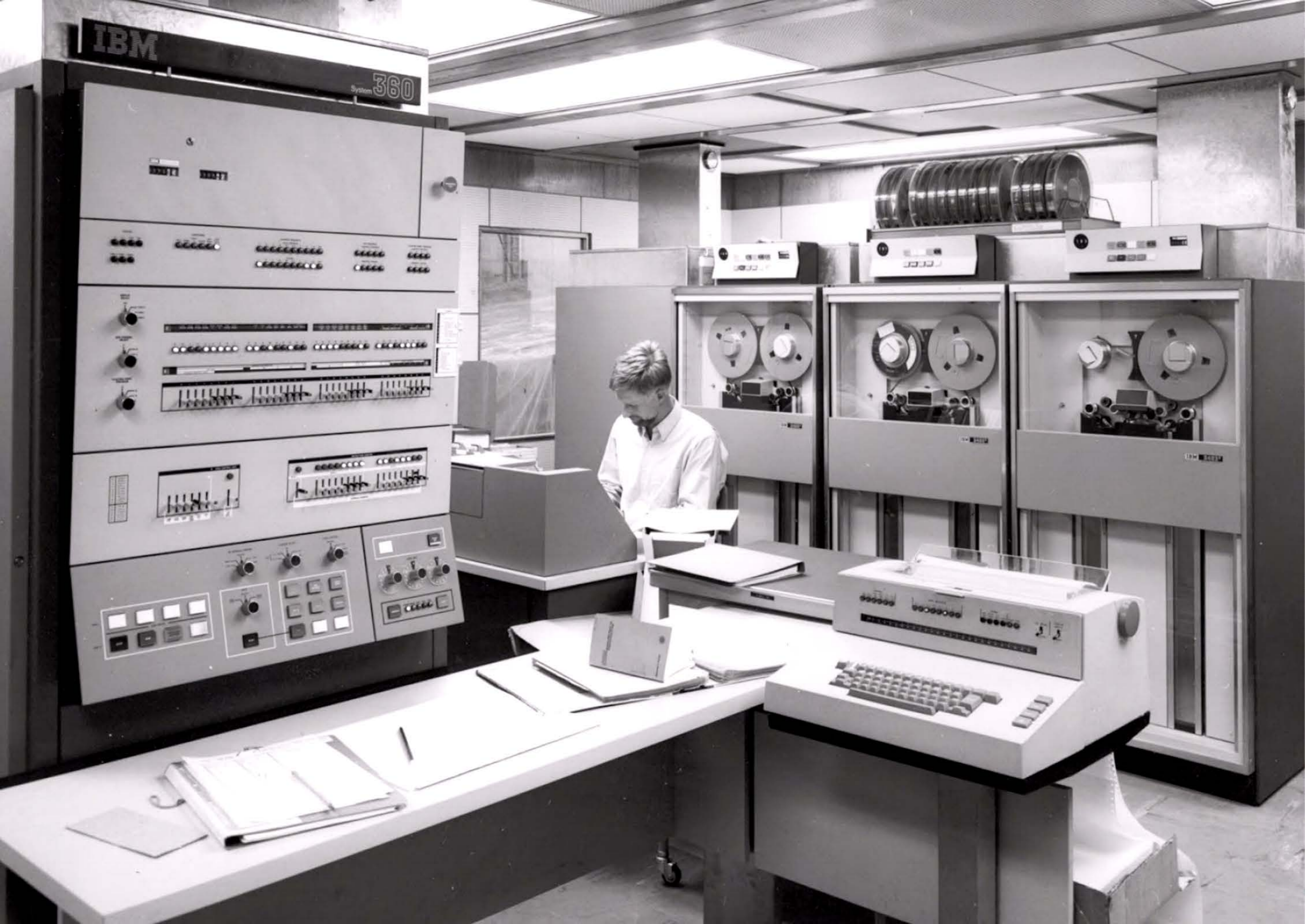
Installation IBM/360 à la Banque de France (1966).

Réagissant à la prolifération des types d'ordinateurs et de périphériques différents, IBM a décidé de refondre et d'unifier complètement son catalogue en lançant un standard, la série IBM System/360, « compatible à 360 degrés ». Conçue par une équipe dirigée par Bob O. Evans et Frederick P. Brooks, cette famille d'ordinateurs doit permettre de couvrir l'ensemble des besoins, depuis les petits systèmes de traitement de données jusqu'aux gros calculateurs optimisés pour l'analyse numérique. Chaque modèle est deux fois plus rapide que le modèle inférieur et coûte 40 % de plus. La compatibilité tout au long de la gamme, ainsi que la possibilité d'exécuter du code écrit pour des modèles plus anciens, doit assurer une évolution facile aux clients, qui peuvent aussi choisir une multitude de périphériques.



Salle machine d'un IBM/360-50.





1964 ▶ Langage BASIC



John Kemeny lors d'un cours de programmation BASIC à l'université de Dartmouth.

Professeurs de mathématiques à l'université de Dartmouth, John G. Kemeny (1926-1992) et Thomas E. Kurtz, décident d'initier tous les étudiants à l'informatique, à sa puissance et à ses limites. Mais comment y intéresser des littéraires en leur enseignant Fortran, langage scientifique relativement difficile et qui leur servira peu ? Et comment organiser les travaux pratiques de programmation pour des groupes d'élèves, si l'on ne peut accéder à l'ordinateur que par une seule console ? Pour résoudre ces problèmes pratiques, ils implémentent l'un des premiers systèmes d'exploitation en temps partagé, offrant aux utilisateurs un accès direct à la machine via de multiples terminaux. Et ils inventent un nouveau langage de programmation simplifié, le BASIC (*Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code*). D'abord voué à l'enseignement, ce langage rencontrera un succès important dans le monde des hobbyistes en raison de sa simplicité et deviendra le langage principal des premiers micro-ordinateurs à la fin des années 1970.

miers systèmes d'exploitation en temps partagé, offrant aux utilisateurs un accès direct à la machine via de multiples terminaux. Et ils inventent un nouveau langage de programmation simplifié, le BASIC (*Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code*). D'abord voué à l'enseignement, ce langage rencontrera un succès important dans le monde des hobbyistes en raison de sa simplicité et deviendra le langage principal des premiers micro-ordinateurs à la fin des années 1970.

Crédits

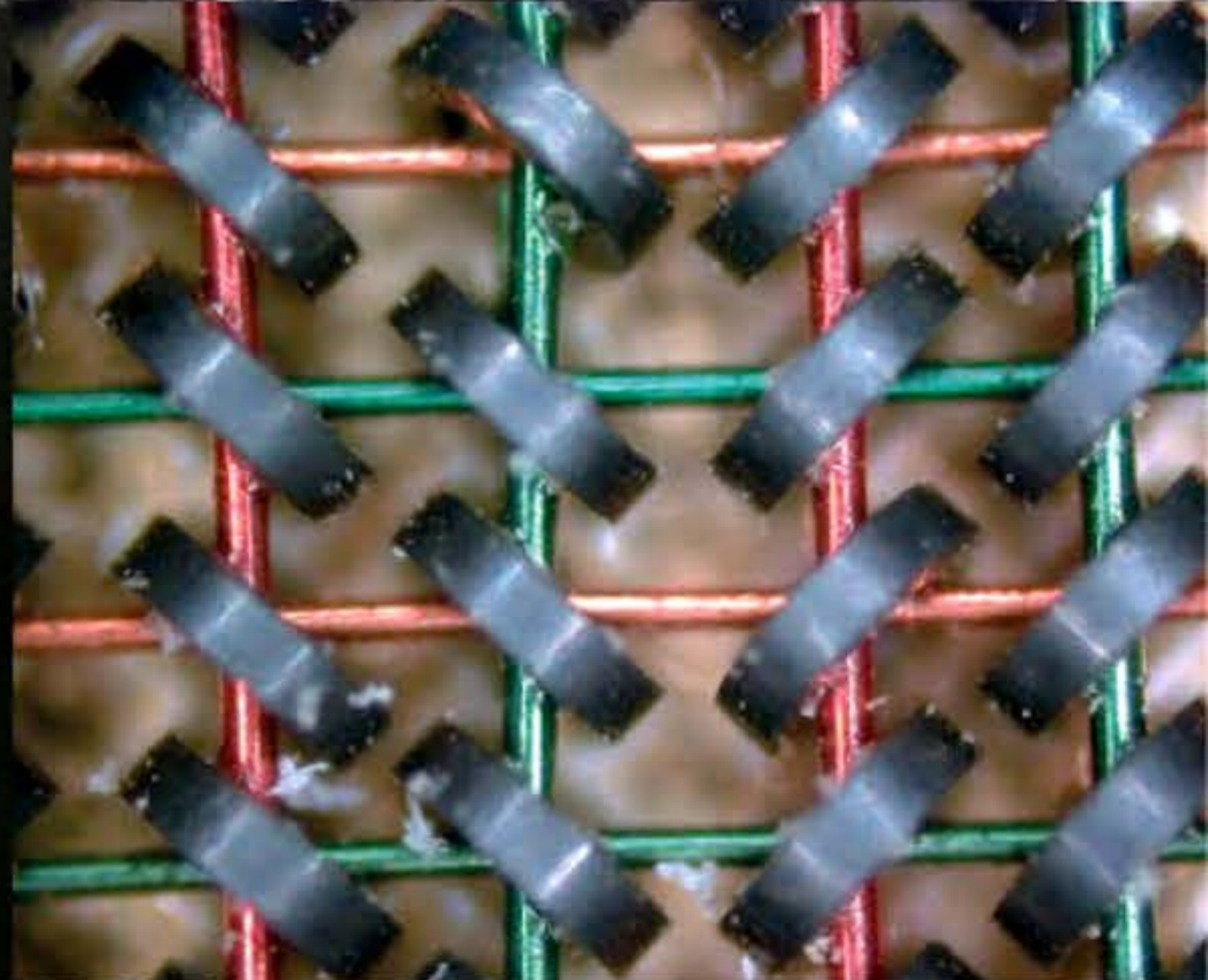
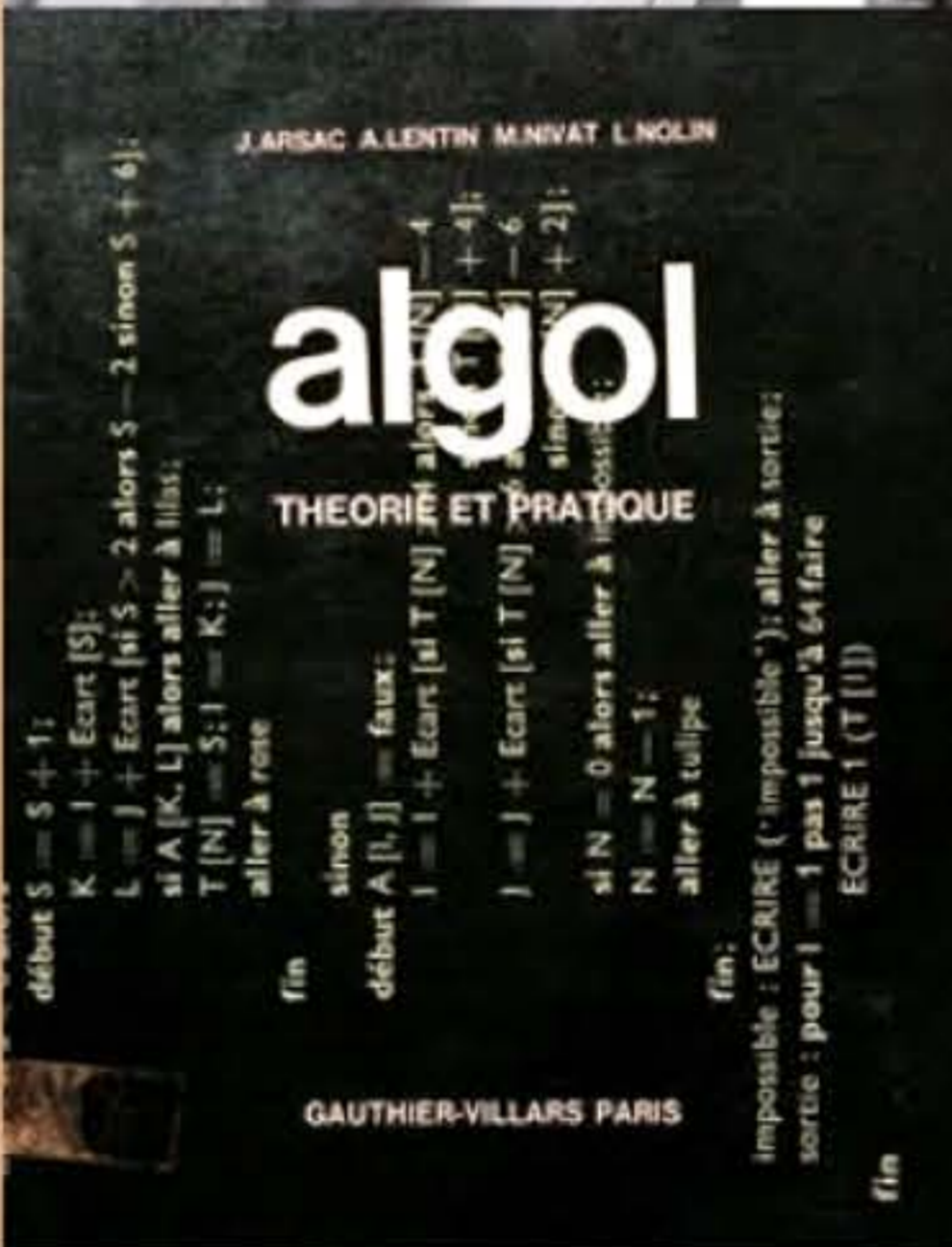
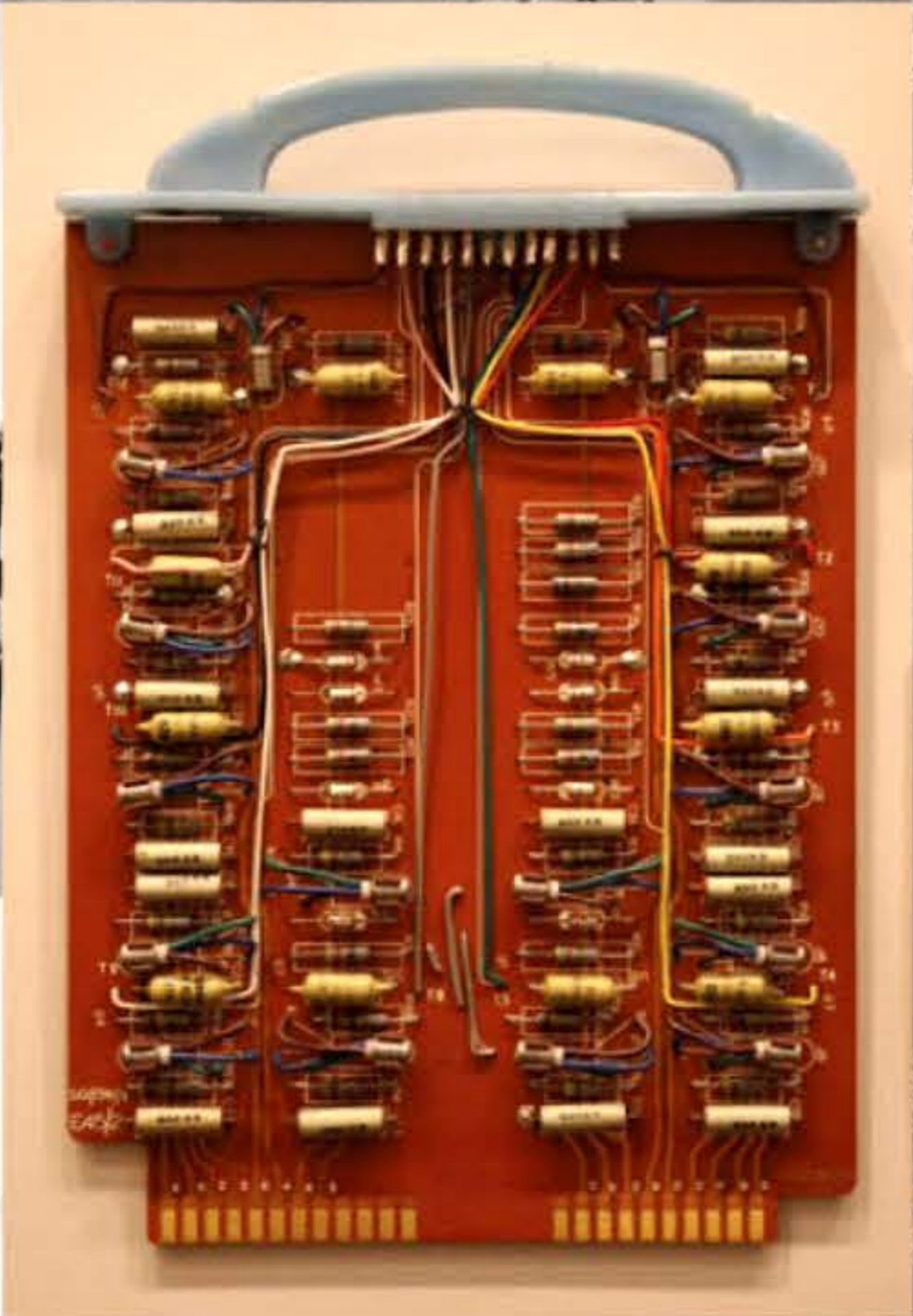
P. 105 : NASA • P. 106 : SICOB & Musée de l'informatique ; Gazette de Lausanne & A. de Mercurio • P. 107 : Ferranti • P. 108 : Lawrence Livermore National Laboratory ; U.S. Census Bureau, Public Information Office ; Unisys corporation • P. 109 : U.S. Census Bureau, Public Information Office • P. 110 : NASA • P. 111 : MIT ; CHM / Steve Jurvetson / Wikimedia Commons • P. 112 : NASA, Great Images in NASA • P. 113 : Bull ; Bull ; Science Museum, London (Crown Copyright) / Science & Society Picture Library • P. 114 : Archives Bull et F.-H. Raymond ; Archives Bull et F.-H. Raymond ; ERA-Univac ; Konstantin Lanzet / Wikimedia commons • P. 115 : Archives historiques BNP Paribas • P. 116 : IBM • P. 117 : photo Maurice Guérin (SEA) • P. 118 : Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk> ; MIT • P. 119 : Lawrence Livermore National Laboratory ; University Archives, Columbia University in the City of New York • P. 120 : Library of Congress Prints and Photographs Division Washington, D.C. • P. 121 : US Army photo • P. 122 : IBM ; IBM • P. 123 : Courtesy of International Business Machines Corporation, © International Business Machines Corporation ; IBM • P. 124 : Arnold Del Carlo • P. 125 : Popular Science ; Radio-Television News magazine ; ©1961 Charles Addams. With permission of Tee and Charles Addams Foundation • P. 126 : Christian Hammond / Flickr ; Arnold Reinhold / Wikimedia Commons • P. 127 : Archives Jean Dieuzaide ; IMAG • P. 128 : Archives Boris Malynovsky ; Archives Boris Malynovsky ; Fairchild Camera and Instrument Corporation • P. 129 : Image used with permission by Texas Instruments Incorporated ; SEA-BBR ; Archives historiques BNP Paribas • P. 130 : Gérard Bauvin & IBM • P. 131 : Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk> ; SEA • P. 132 : SEA • P. 133 : SEA ; SEA ; CHM / Michael Holley / Wikimedia Commons • P. 134 : Helix • P. 135 : Elisabetta Mori ; BNP Paribas BNL • P. 136 : BNP Paribas Fortis ; BNP Paribas Fortis • P. 137 : © CEA/CADAM ; Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk> • P. 139 : MIT • P. 140 : Armée de l'Air • P. 141 : Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk> • P. 142 : National Institute of Standards and Technology ; MIT ; Gilles Tran • P. 143 : flightsim.com ; Jnanna / Wikimedia Commons ; Honeysuckle station • P. 144 : Antonsusi / Wikimedia Commons • P. 145 : Institut de Programmation de l'université de Paris • P. 146 : BNP Paribas BNL ; Banque de France • P. 147 : Droits réservés • P. 148 : NASA ; Droits réservés • P. 149 : CERN • P. 150 : Dartmouth University ; CERN • P. 151 : Lawrence Livermore National Laboratory ; University of Leeds ; Dartmouth University ; IBM ; Lawrence Livermore National Laboratory ; Unisys corporation ; Unisys corporation ; Dartmouth University ; Droits réservés ; Geni / Wikimedia Commons ; Gauthier-Villars ; H.J. Sommer III, Professor of Mechanical Engineering, Penn State University ; CERN ; IBM ; Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk> ; Stanford University



Salle informatique au CERN en 1969 avec le CDC 6600.

1964 ▶ Superordinateur CDC 6600

En 1960, Seymour Cray (1925-1996), alors chez *Control Data Corporation*, décide de construire l'ordinateur le plus rapide du monde. Quatre ans plus tard, ses ingénieurs présentent le CDC 6600 dont les performances, entre 1 et 10 mégaflops (millions d'opérations flottantes par seconde), soit presque dix fois plus que la concurrence, en font l'archétype du superordinateur. Une centaine d'exemplaires à huit millions de dollars pièce seront vendus. Surnommé le « père des superordinateurs », Seymour Cray restera à la pointe des progrès en ce domaine jusqu'à son décès.





LES MINI-ORDINATEURS

Introduction

IBM domine le marché par un mix très élaboré de qualités techniques, d'efficacité commerciale et de prestige. On dit couramment qu'aucun directeur informatique n'a jamais été licencié pour avoir choisi IBM. L'annonce de sa série IBM 360 n'a pas seulement renforcé cette emprise de *Big Blue* sur le marché informatique. Elle en a transformé les règles. Les autres constructeurs comprennent plus ou moins vite que, s'ils veulent rester ou entrer dans la compétition, ils doivent choisir entre trois stratégies :

1. Jouer le jeu d'IBM en proposant des machines compatibles, si possible meilleures et moins chères qu'IBM, pour profiter de sa dynamique et du désir de nombreux clients d'échapper à l'emprise du leader mondial sans réécrire leurs logiciels. Cette stratégie est suivie entre autres par RCA, dont chaque modèle se positionne entre les niveaux de performance de deux modèles IBM ; ou par les Japonais Fujitsu et Hitachi et par Amdahl, entreprise fondée à la fin des années soixante par un ancien ingénieur d'IBM. Elle peut porter sur les unités centrales comme sur les périphériques, ce qui donne naissance à toute une industrie des *Plug-compatible manufacturers*. Cette concurrence directe avec *Big Blue* présente le risque de voir IBM modifier son standard ou baisser ses prix au point où les imitateurs ne peuvent plus suivre, les clients retournant alors chez IBM. Car la compatibilité est réversible !
2. Une deuxième stratégie, au contraire, consiste à présenter une gamme incompatible avec celle d'IBM, comportant des avantages comparatifs d'ordre économique ou technique. Le constructeur ne peut espérer conquérir beaucoup de clients d'IBM, mais il est sûr au moins de conserver les siens, devenus dépendants de son « système propriétaire » (traduction littérale de *proprietary system*, à laquelle système « privé » ou « maison » serait bien préférable !).

L'aboutissement logique de cette démarche est l'association de plusieurs constructeurs pour imposer un standard concurrent de celui d'IBM ; les efforts menés par diverses alliances dès les années 1970 en montrent les difficultés, même s'ils finiront par aboutir sous d'autres formes.

3. La troisième stratégie consiste à viser des « créneaux » peu ou mal occupés par IBM, généralement au-dessus ou en-dessous de la série 360. Ainsi Control Data s'impose dans le domaine des superordinateurs, suivi de Cray Research puis de Fujitsu. Digital Equipment s'impose avec son mini-ordinateur PDP-8 qui la mènera au deuxième rang mondial des constructeurs, et d'autres comme Nixdorf suivent son exemple. Ultérieurement, les fabricants de micro-ordinateurs bénéficieront d'une situation semblable... jusqu'au lancement de l'IBM PC en 1982.

Bande perforée portant des programmes de test du processeur d'un PDP-11 en 1975.



Quelle que soit l'option choisie, une firme doit consentir un effort significatif de R&D, de l'ordre de 10 % du chiffre d'affaires, pour se maintenir au rythme de l'innovation.

Les deux premières stratégies sont jouables car la série IBM/360 laisse du champ aux concurrents innovateurs — elle n'utilise pas encore de circuits intégrés et n'est adaptée ni au « temps-réel » ni au *time-sharing*. De plus IBM est obligé par la législation libérale anti-trust de laisser vivre ou survivre ses concurrents. Le défaut de ces positionnements est qu'ils reviennent à affronter IBM là où le leader mondial est le plus fort : en milieu de gamme, où *Big Blue* réalise de telles économies d'échelle que sa marge brute est de l'ordre de 40 % en moyenne...

La troisième, la stratégie de contournement, est celle qui suscitera les *challengers* les plus dangereux pour IBM, notamment les constructeurs de mini-ordinateurs.

Les minis sont tendance

Depuis la fin des années cinquante, en Europe comme au Japon et en Amérique, la possibilité de réaliser de petits ordinateurs est apparue avec la mise au point de composants de taille réduite, transistors ou noyaux magnétiques, permettant de concilier une bonne fiabilité avec la compression des prix de revient. La rançon est une certaine lenteur, acceptable dans des machines bon marché en monoprogrammation. Pour une fraction du prix d'un mainframe IBM, un bureau d'études ou une école d'ingénieurs pouvait s'offrir un bon calculateur et une formation à la programmation.

Au cours des années soixante, l'industrie des composants se transforme, suscitant à la fois une baisse des prix et un progrès rapide des circuits intégrés. Les grands groupes diversifiés de construction électrique, qui étaient passés sans trop de difficultés de la production massive de tubes à celle des transistors et d'autres composants « discrets », se font tailler des croupières par de nouveaux entrants : les entreprises spécialisées dans les semi-conducteurs (Fairchild, Moto-

rola, bientôt Intel et une poignée d'autres), fortement soutenues au début par des contrats militaires ou aérospatiaux. Concurrentes, ces entreprises apprennent cependant à s'entendre pour appliquer la « loi de Moore » en organisant le rythme de l'innovation dans leur secteur : c'est une véritable planification capitaliste. Le progrès des circuits intégrés devenant prévisible, les constructeurs d'ordinateurs y voient plus clair pour préparer leurs futures « générations » de produits.

Les constructeurs de mini-ordinateurs s'ouvrent un marché en forte expansion. Dès la fin des années soixante, les mini-ordinateurs sont couramment employés, soit comme calculateurs indépendants pour du calcul scientifique simple ou du *process-control* (pilotage d'appareils par ordinateur), soit comme interfaces d'entrées-sorties de gros ordinateurs. Soit, de plus en plus, comme nœuds de réseaux informatiques. Leur nombre double ou triple tous les deux ans : 6 700 minis fonctionnent dans le monde fin 1968, 19 000 fin 1969.

Les constructeurs établis ne sont pas absents. Ils développent deux types de solutions :

- les petits ordinateurs de gestion, combinant la connaissance de l'ancien marché mécanographique avec des matériels économiques, relativement faciles à utiliser ;
- les terminaux distants, d'abord à téléscripteur ou à cartes perforées, puis à clavier-écran, connectés par ligne téléphonique à un gros ordinateur fonctionnant en *time-sharing*. Ces systèmes permettent à un utilisateur individuel d'écrire des programmes ou, plus souvent, d'utiliser des logiciels prêts à l'emploi stockés dans les mémoires de l'ordinateur central. Terminaux et connexions sont loués à l'heure ou au mois.

Toutes ces solutions plus ou moins concurrentes répandent l'accès à l'informatique dans les entreprises et les administrations. Désormais des centaines de milliers de personnes dans le monde se mettent à utiliser des ordinateurs, de près ou de loin. Un immense effort de formation est entrepris par l'enseignement supérieur, par les entreprises d'informatique et par les grandes organisations clientes. Ce n'est jamais assez pour répondre à la demande d'informaticiens.



« Défi américain », politiques européennes et stratégie japonaise

Entre temps, dès le milieu des années 1960, les dirigeants européens se sont inquiétés de la mainmise américaine croissante sur l'informatique du vieux continent. Ils s'alarment du « fossé technologique » qui se creuse entre les deux continents, du « retard » européen face au « défi américain ». La prise de contrôle de Bull et d'Olivetti par General Electric en 1964, l'implantation de nouveaux constructeurs comme Control Data, l'emprise d'IBM qui profite mieux que quiconque de l'ouverture du Marché Commun, l'arrivée des *majors* du conseil en organisation qui accèdent à toutes les données des entreprises et des administrations clientes, tout cela paraît menacer l'indépendance des pays européens. Car l'informatique, qui commence à se constituer en réseaux, n'est désormais plus perçue comme une aide mécanographique à la gestion, mais comme « le système nerveux des nations » : un enjeu stratégique.

En Angleterre, le gouvernement favorise le rapprochement des constructeurs d'ordinateurs pour former en 1968 un « champion national », International Computers Ltd. (ICL), qui bénéficiera d'achats préférentiels et d'aides à la R&D. L'Allemagne fédérale soutient Siemens et Telefunken et lance un plan d'équipement favorisant leurs ordinateurs.

En France, des comités d'experts réunissant des représentants de l'industrie électronique, du Commissariat au Plan et des grands utilisateurs réagissent à partir de « l'affaire Bull » et des difficultés croissantes des producteurs français de composants. Ils s'efforcent de combiner la politique d'indépendance gaulliste, le lobbying des grands industriels abonnés aux subventions... et le fait que les grands clients du secteur public se satisfont généralement des solutions apportées par IBM et Bull-GE et n'ont pas envie qu'on leur impose un « champion national ». Leur activisme en faveur d'une politique de l'informatique reçoit une justification supplémentaire lorsque Washington décrète un embargo sur les supercalculateurs commandés par la division militaire du Commissariat à l'énergie atomique (CEA). Il aboutit au lancement d'un Plan Calcul dont le rapport coût/efficacité reste très discuté.

Le Japon a lui aussi réagi à la domination américaine dans ce secteur. Mais il l'a fait plus tôt que les Européens, avec un meilleur sens stratégique du long terme et avec plus de latitude pour mettre en œuvre une politique à la fois protectionniste et expansionniste. S'appuyant à la fois sur la recherche et sur trois grandes firmes — Hitachi, NEC et Fujitsu — il parviendra à hisser son industrie des composants et des ordinateurs aux premiers rangs mondiaux dans les décennies suivantes.



1963 ▶ L'interface avec l'ordinateur : le téléimprimeur

Formés d'un clavier, d'une imprimante et d'un lecteur-perforateur de bande papier, les téléimprimeurs ont été développés depuis le début du ^{xx}e siècle dans le cadre du perfectionnement du télégraphe comme terminaux du réseau télex, utilisant le code Baudot. Ils ont permis du même coup de mécaniser le cryptage des transmissions — par exemple la machine Lorenz, qui servait à crypter les messages stratégiques allemands pendant la seconde guerre mondiale, et qui suscita en réponse le développement de Colossus, était essentiellement un téléimprimeur. Ils sont donc familiers aux spécialistes des télécommunications, nombreux dans les firmes d'ingénieurs qui se sont lancées dans le calcul électronique. Comme interface avec un ordinateur, les téléimprimeurs présentent l'avantage d'être compacts et relativement peu coûteux, puisque construits en grande série ; la bande perforée est un support d'in-

formations moins encombrant que les cartes perforées et moins limité quant aux formats de données. Et le clavier permet de communiquer en temps réel avec l'ordinateur. Ce sont de remarquables réalisations électromécaniques, dont le seul inconvénient est d'être bruyantes.

Après Friden-Flexowriter et d'autres, la vieille marque Teletype s'impose bientôt comme synonyme de terminal d'ordinateur. Commercialisée en 1963, la Teletype Model 35 est adaptée aux nouveaux codes informatiques, notamment l'ASCII. Elle contribue à propager le standard ASCII ou les fonctions *ctrl* et *escape*.

Une illustration de la loi de Moore : en 1975, une mémoire de 8 ko coûtait 150 dollars...

Terminal Teletype relié à l'ordinateur Honeywell-Bull de la BNP pour le calcul en direct de dossiers de crédit.



1965 ▶ Loi de Moore

L'amélioration des procédés de fabrication des circuits permet de placer plusieurs centaines de composants élémentaires, « discrets », par centimètre carré ; c'est la *Middle Scale Integration* (MSI).

Interviewé par un magazine d'électronique sur l'avenir des semi-conducteurs, Gordon Moore, alors directeur de la recherche chez Fairchild Semiconductor, extrapole à partir des progrès observés depuis 5 ans et prévoit un doublement annuel de la densité d'intégration des composants sur un circuit intégré. Ce n'est bien sûr pas une loi physique mais le simple constat d'une régularité. Mais celle-ci devient rapidement un but, une *roadmap* pour l'industrie électronique américaine qui s'organise avec toutes ses ressources pour planifier et réguler l'accroissement des performances. En 1975, Gordon Moore amende

THE CHIPS ARE DOWN!
8K NOW JUST \$149 ASSEMBLED

Thinker Toys™ brings down the high cost of adding big memory capacity to your S-100 system! The ECONORAM 8K™ 8K by Morrow's Micro-Stuff comes fully assembled, burned in, tested and fully warranted for one full year—for just \$149!

It's configured as two individually addressable 4K blocks. And it typically consumes less than one-half the power of any competitively-priced memory.

Obviously, our new ECONORAM 8K™ 8K isn't just another cheap kit. It's a design breakthrough in dynamic memory that gives you guaranteed reliability with tremendous savings in cost and power.

You save on cost and power because ECONORAM 8K™ is the first fully reliable dynamic memory. Its unique "synchronous" refresh circuitry weaves itself into the natural timing of the S-100 bus to provide simple, available and absolutely reliable refresh... with fewer parts, less power, lower cost and no interference with computer speed or timing.

You just plug ECONORAM 8K™ into your S-100 bus and run perfectly for at least one full year. Or your money fully refunded. It's that simple. So don't let the high cost of memory keep your system down. ECONORAM 8K™ 8K memory is available now at leading computer shops. Or ask your nearest computer shop to order it for you.

Or, if unavailable locally, write direct to Thinker Toys™ for specs and ordering. BAC/MC orders can be placed by phone to 415-521-7548 (10-4 PST). Add \$3 for handling. Cal. res. add tax.

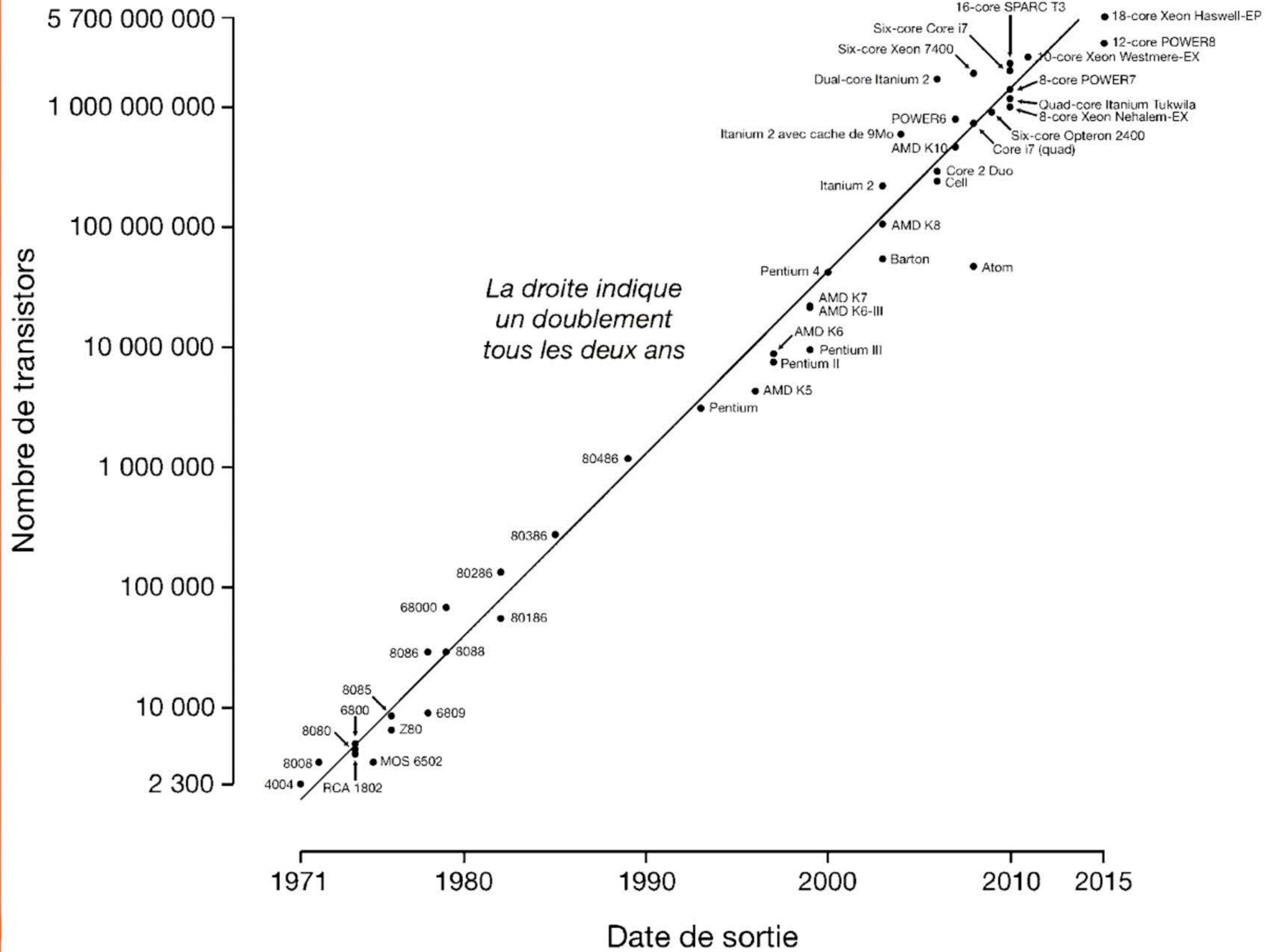
Morrow's Micro-Stuff for
Thinker Toys™

1201 10th Street Berkeley, CA 94710
*ECONORAM is a trademark of Goodson Electronics

George Morrow - Inventor & Designer
APRIL 1975

CIRCLE INQUIRY NO. 55

INTERFACE AGE 53



Évolution du nombre de transistors dans les processeurs.





▶ PDP-15 (1971) avec, à gauche, son écran graphique équipé d'un pointeur.

1965 ▶ Olivetti Programma 101



Olivetti Programma 101 (1965).

etc. Sa technologie est encore à transistors et diodes discrets, avec une mémoire rapide faite d'une ligne à retard à magnétostriction comme dans les plus anciens ordinateurs ! Rien de révolutionnaire sur ce plan, mais des techniques bien maîtrisées pour un prix de revient optimal. L'architecture prévoit des instructions de branchement conditionnel. Les programmes sont enregistrés sur des cartes en plastique couvertes d'un enduit magnétique, enfichables dans un lecteur.

Présentée en 1964 à la New York World's Fair, la Programma 101 est mise en production l'année suivante. Olivetti en vendra 44 000 exemplaires, en Europe et en Amérique du Nord, au prix de 3 200 dollars (environ 20 000 euros actuels). Quelques années après, Hewlett-Packard s'en inspirera pour développer sa calculatrice 9100A, et paiera d'ailleurs près d'un million de dollars de redevances à Olivetti. La philosophie d'entreprise et l'esthétique d'Olivetti préfigurent celles qui caractériseront quinze ans plus tard Apple.

Combinant la qualité technique, l'élégance ergonomique du design et l'intelligence marketing d'Olivetti, cette petite machine électronique performante est un véritable « calculateur personnel » et devient un *best seller* dans les laboratoires et les bureaux d'étude.

Techniquement, la Programma 101 est un calculateur programmable imprimant, capable d'effectuer les quatre opérations arithmétiques de base, l'extraction de racines carrées,

1965 ▶ L'ère des systèmes

La compatibilité de la gamme IBM/360 repose (en simplifiant beaucoup) sur un système d'exploitation (*operating system*) capable de tourner sur tous les modèles. C'est un projet extraordinairement ambitieux : OS/360 doit être multiprogrammable (supporter plusieurs applications en même temps), fonctionner sur des configurations matérielles diverses, exploiter des bases de données sur disques. À l'époque presque tout reste à inventer en matière de méthodologie de développement de systèmes et il faut innover sur tous les fronts à la fois.

OS/360 est annoncé pour 1966, mais il ne sera vraiment utilisable qu'en 1968 (d'autres OS sont disponibles entre temps). Son développement accumule les retards au point d'en faire un cas d'école de désastre technique. Il a fallu toute la puissance financière et commerciale d'IBM pour surmonter cette épreuve. Cette expérience, comme celle des autres constructeurs qui à leur tour élaborent leurs propres systèmes ou *software de base*, fait des systèmes d'exploitation un nouvel objet de recherches. Elle convaincra les spécialistes de concevoir des méthodes « industrielles » de développement : le *software engineering* ou génie logiciel.

Manuel de programmation pour IBM/360 (1965). Les systèmes d'exploitation sont à l'époque tous écrits en assembleur, ainsi qu'une grande partie des applications.



1966 ▶ Le Plan Calcul

Réagissant à « l'affaire Bull » et aux difficultés de l'industrie électronique, des dirigeants français ont élaboré une politique en faveur de l'informatique : le Plan Calcul, lancé fin 1966. Une Délégation à l'informatique est créée au niveau gouvernemental comme maître d'œuvre du Plan. Une Compagnie internationale pour l'informatique (CII), filiale des groupes privés CGE, Thomson et CSF, fusionne deux petits constructeurs de calculateurs scientifiques avec pour mission essentielle de développer une « gamme moyenne de gestion » et de participer à terme à la constitution d'une informatique européenne. Le dispositif est complété l'année suivante par la création d'une société pour les périphériques, d'une autre pour les composants résultant de la fusion des filiales spécialisées de Thomson et de CSF. Et d'un Institut de recherches en informatique et automatique (IRIA, devenu l'Inria), seul survivant aujourd'hui de cet ambitieux programme.



CII Iris 50, premier ordinateur développé par le Plan Calcul (1968).



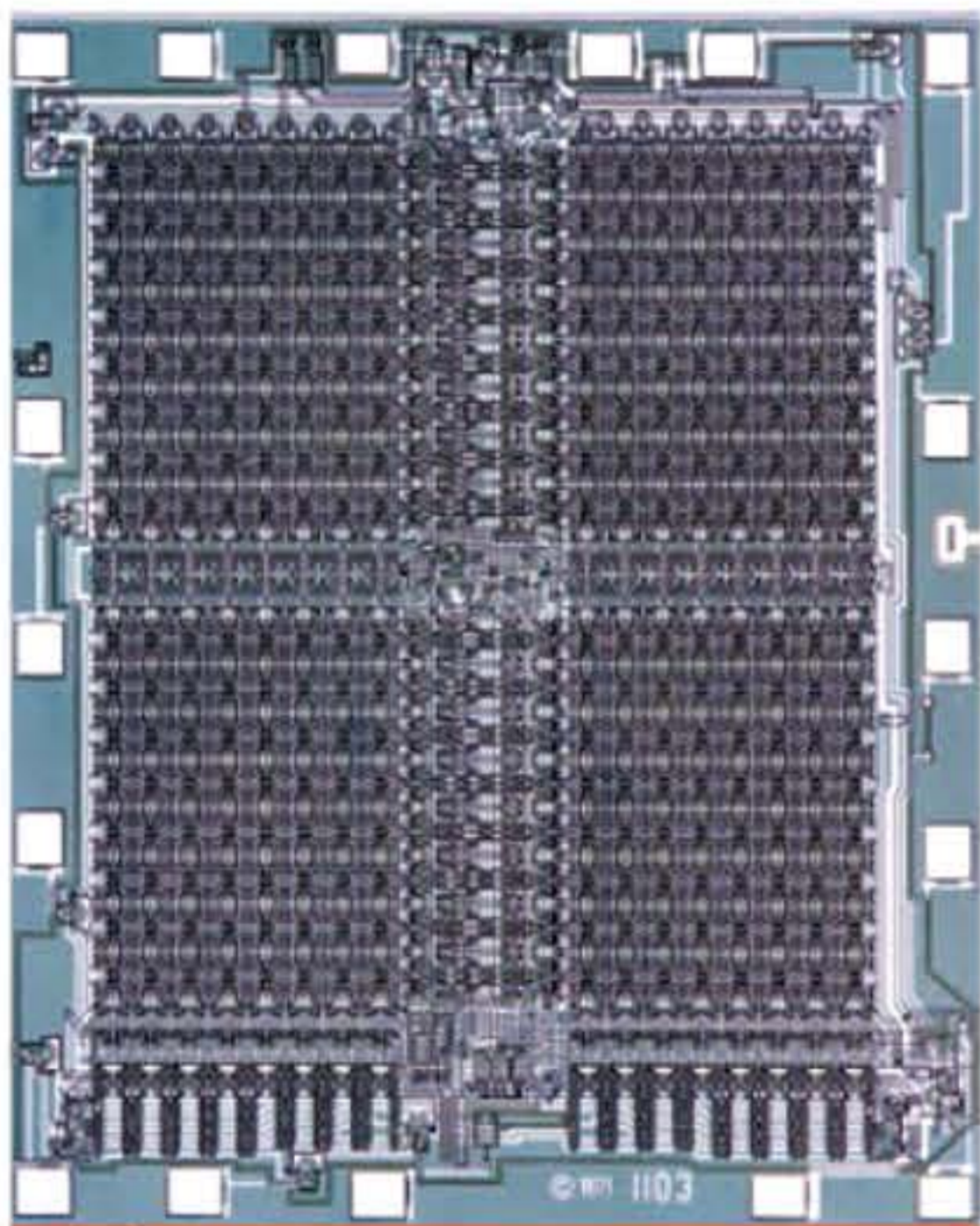
La programmation se fait encore parfois « aux clés », octet par octet (ici sur CII Iris 50, vers 1968).

La CII démarre difficilement, soutenue à bout de bras par les subventions et les achats préférentiels des administrations. Elle vend d'abord principalement des machines développées en Californie par son partenaire Scientific Data Systems (SDS), puis réalise des ordinateurs techniquement avancés (séries Iris et Mitra, puis Unidata), qui remporteront des succès commerciaux hors du secteur public et lui permettront de négocier des accords avec d'autres constructeurs européens. Quant à l'IRIA, il abritera notamment l'équipe qui développera le réseau Cyclades, l'un des prédécesseurs d'Internet.



Disques magnétiques du centre de calcul CII à l'université de Lyon (1975).

1966 ▶ Invention de la DRAM



Le premier circuit DRAM d'Intel, la puce 1103 de 1 kbit.

Les premiers programmeurs ont tous été confrontés à la relative petite taille de la mémoire des ordinateurs. Après les premiers essais (tubes à vide, tubes cathodiques, tambours magnétiques, lignes à retard au mercure...), l'invention des mémoires à tores de ferrite a permis aux fabricants de proposer une mémoire fiable et efficace, malheureusement de densité assez faible puisque chaque tore stockant un bit occupait une surface de plus d'un millimètre carré. En 1966, Robert Dennard, alors chercheur chez IBM, met au point une cellule mémoire dynamique composée d'un transistor et d'un condensateur (dont la charge correspond au bit à stocker), facilement reproductible sur un circuit intégré. En 1970, Intel annonce la première puce mémoire d'une capacité de 1 024 bits dans une surface de l'ordre d'un centimètre carré : la densité d'intégration a gagné quasiment un

facteur 100 par rapport au tore. L'intégration suit désormais la loi de Moore et les capacités des circuits mémoire doublent tous les quatre ans, rendant les tores de ferrite rapidement obsolètes — sauf pour des applications où leur insensibilité aux radiations leur conserve une utilité.

1966 ▶ Modem acoustique

Dès la fin des années 1950, des lignes téléphoniques étaient utilisées pour relier terminaux et ordinateurs centraux, par exemple dans les systèmes SAGE et SABRE. Pour transformer les signaux binaires en signaux analogiques compatibles avec les circuits téléphoniques, la connexion de l'équipement à la ligne s'effectuait via un modem (abréviation de modulateur-démodulateur). Cependant, l'utilisation du réseau téléphonique standard était impossible aux États-Unis car la compagnie AT&T interdisait le branchement d'un appareil non conçu par elle sur ses lignes, obligeant à recourir à des connexions dédiées,



Modem acoustique (boîte blanche) « dialoguant » avec le combiné téléphonique via un haut-parleur et un micro, et relié à l'ordinateur via le câble en bas à droite.

chers et peu pratiques. Cette interdiction fut contournée grâce au modem acoustique, boîte reliée d'un côté au terminal et sur laquelle on posait le combiné téléphonique. Les signaux venant du terminal étaient envoyés dans un haut-parleur placé sous le micro du combiné, tandis que les bits provenant de l'ordinateur distant suivaient le chemin inverse, passant du haut-parleur du combiné à un micro dans le modem. On atteignait alors des vitesses de transmission de l'ordre de 300 bit/s. À partir du milieu des années 1960, les améliorations des circuits couplées à des avancées théoriques en traitement du signal ont permis d'augmenter ces vitesses. Puis le monopole d'AT&T fut démantelé en 1982. Les derniers modems des années 1990, entièrement électroniques (c'est-à-dire reliant directement l'ordinateur à la ligne sans passer par un poste téléphonique), culminèrent à 33,6 kbit/s puis 56 kbit/s, soit des vitesses très proches des limites théoriques des lignes téléphoniques standards. À cette époque, un ordinateur personnel se reliait à Internet en appelant le numéro téléphonique de la passerelle de connexion qui n'avait probablement aucun lien avec l'opérateur téléphonique. La rupture technologique et l'augmentation spectaculaire des débits sont arrivées avec l'ADSL, reliant l'ordinateur à un point d'accès Internet de son opérateur en n'utilisant que la partie terminale du réseau téléphonique.

1967 ▶ Langage Logo

Afin de faciliter l'enseignement de la programmation aux enfants, Seymour Papert développe le langage Logo. Inspiré par l'intelligence artificielle (plus précisément par le langage Lisp), la logique mathématique et les théories de l'apprentissage, ce langage n'a plus pour objectif, comme les langages préexistants, de résoudre des problèmes numériques mais de jouer avec des mots et d'apprendre à résoudre des problèmes.

La caractéristique la plus connue de Logo est la présence d'une tortue virtuelle à l'écran, contrôlé par le programme et pouvant se déplacer ou dessiner. Cela permettait à l'élève d'avoir un retour visuel immédiat de ses commandes. Une version « expérimentale » était même disponible où des ordres étaient donnés à un petit robot « tortue » qui pouvait ainsi dessiner sur des feuilles de papier.

S'il n'a jamais servi ailleurs que dans le domaine éducatif, Logo a influencé de nombreux langages, en particulier Smalltalk. L'un de ses descendants, Scratch, est l'un des langages phares actuellement utilisés pour l'enseignement de la programmation aux jeunes enfants.



Seymour Papert et une tortue mécanique répondant aux ordres donnés par un programme Logo.

1967 ▶ Début d'une société de services

Un ancien responsable commercial de Bull dans la région Rhône-Alpes, Serge Kampf, fonde à Lyon une société de services informatiques, Sogeti. Sa première publicité : « Ne vous torturez plus : torturez Sogeti » reflète le changement de perception de

l'informatique dans les organisations, qui de merveille futuriste est devenue un casse-tête managérial.

Rentable dès son premier exercice, la Sogeti surfe sur la croissance du parc informatique dans cette région où les SSII parisiennes sont peu présentes. Quelques années plus tard, Serge Kampf prendra le contrôle de deux grands concurrents : le CAP (SSII franco-britannique) et Gemini, constituant un groupe qui figure aujourd'hui parmi les dix principales sociétés de service informatique au monde.

1968 ▶ *The Art of Computer Programming*

En 1962, encore étudiant, Donald Knuth reçoit commande d'un livre sur l'écriture des compilateurs. Il perçoit rapidement que le sujet est très vaste et nécessite de nombreux approfondissements consacrés à l'analyse d'algorithmes. Il entreprend alors une étude mathématique pointue des différents algorithmes classiques et commence l'œuvre de sa vie : *The Art of Computer Programming*. En accord avec l'éditeur, la publication est prévue pour s'étaler sur sept volumes. Les trois premiers (algorithmes fondamentaux, numériques et de tri) paraissent en 1968, 1969 et 1973. Ces ouvrages sont unanimement considérés comme des livres fondateurs de la science informatique, apportant des bases théoriques à ce qui relevait avant du « bricolage » algorithmique. Depuis plus de 40 ans, Knuth poursuit l'écriture des volumes suivants, allongeant sans fin le manuscrit au gré des avancées théoriques et de ses propres analyses. La première partie du volume 4

Donald Knuth en 2010 pendant une de ses fameuses conférences.

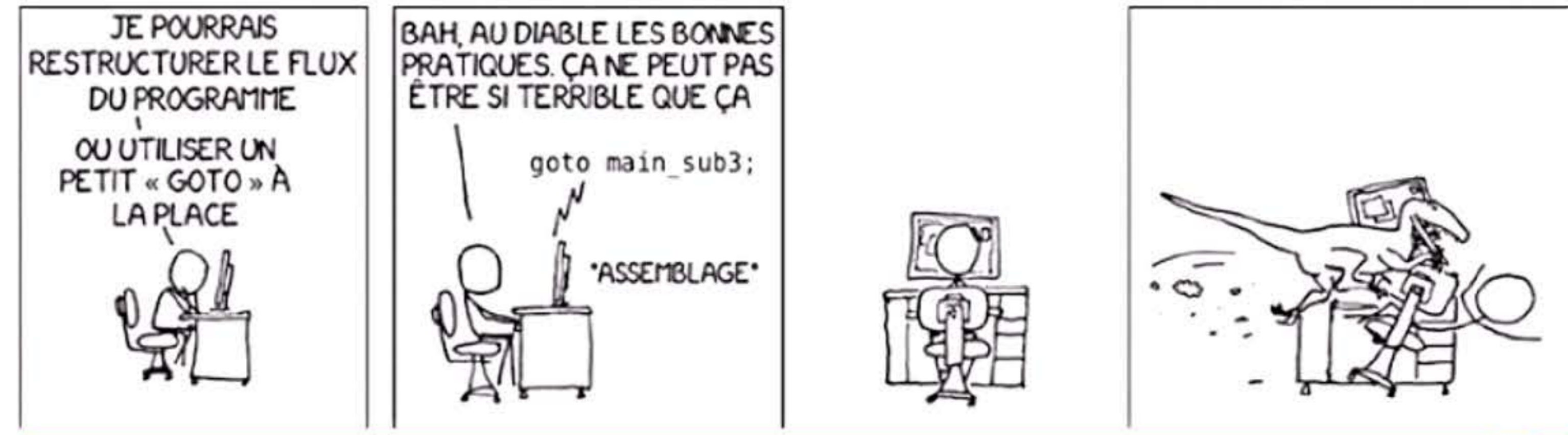


1968 ▶ Dijkstra : de la crise du software à la programmation structurée

Physicien de formation, le néerlandais Edsger W. Dijkstra (1930-2002) s'est consacré dès 1955 à la programmation, dont il devient l'un des théoriciens les plus influents. Parmi ses contributions se trouvent un algorithme de calcul du plus court chemin dans les graphes (algorithme de Dijkstra, 1959) et sa participation au développement du langage Algol, notamment ses réflexions sur la récursivité. Son système d'exploitation THE, conçu dans les années 1960 à l'université polytechnique d'Eindhoven, est une première tentative de bâtir un système d'exploitation par superposition de niveaux d'abstraction nettement séparés, idéal pour l'enseignement des systèmes. Les contributions de Dijkstra en informatique seront très nombreuses, tant en algorithmique (programmation structurée, algorithmes de graphes...) que dans le domaine des systèmes d'exploitation (couches d'abstraction, sémaphores, sections critiques, auto-stabilisation...).

En 1968 il arrive à la conclusion que l'utilisation abusive de l'instruction GOTO n'est que le symptôme d'une mauvaise organisation d'un programme. Il publie un article qui deviendra célèbre, sous le titre « GOTO Statement Considered Harmful », et se fait le héraut de la programmation structurée où les ruptures de séquences ne sont que la marque de structures algorithmiques de plus haut niveau (boucles, tests, itérations...). Ses livres, notamment *Structured Programming* (avec O.-J. Dahl et C. Hoare en 1972), *A Discipline of Programming* (1976) ont une influence décisive sur les progrès de la programmation.

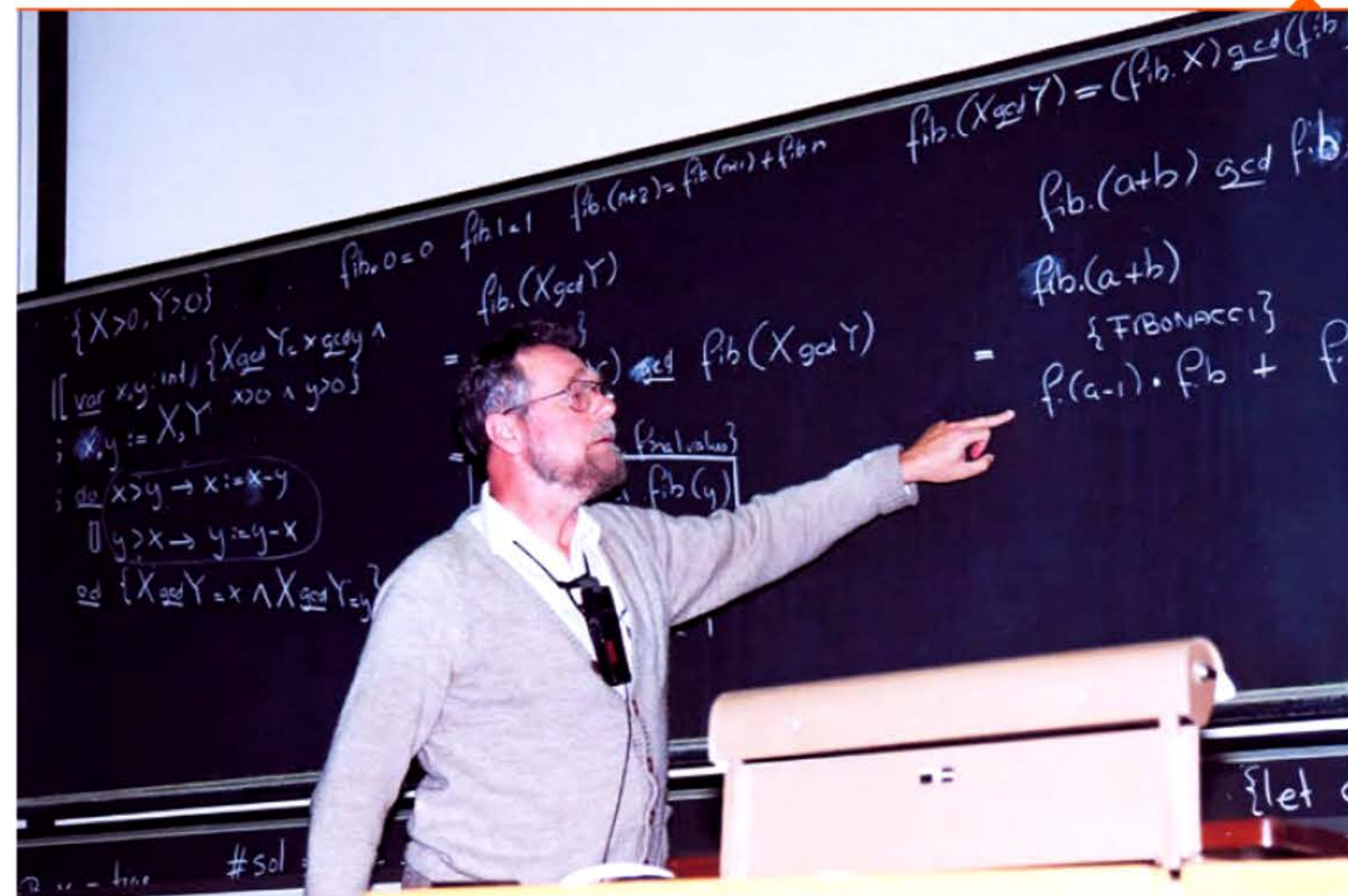
Dijkstra est connu pour la sémantique percutante de ses aphorismes de bon sens. Ainsi, « la programmation par objets est une idée exceptionnellement mauvaise qui ne pouvait naître qu'en Californie ». Ou « les tests peuvent révéler la présence de bugs, mais ils ne démontrent jamais qu'il n'y en a pas », résumant le défi que doivent relever les recherches sur les méthodes de preuve de programme, sujet crucial où la logique mathématique éclaire des problèmes éminemment pratiques de la programmation.

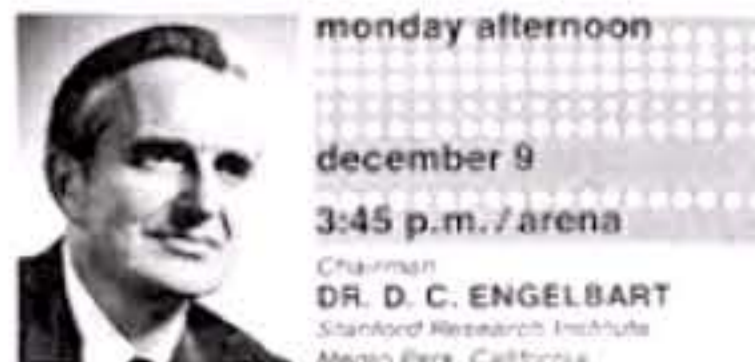


« Ne jamais utiliser goto. Jamais ».

Recevant le prix Turing en 1972, il prononce un discours d'autodérision qui reste un morceau d'anthologie, « The Humble Programmer ».

E.W. Dijkstra faisant cours à Zurich (1994).





monday afternoon

december 9

3:45 p.m. / arena

 Chairman
DR. D. C. ENGELBART
 Stanford Research Institute
 Menlo Park, California

 a research center
 for augmenting human
 intellect

This session is entirely devoted to a presentation by Dr. Engelbart on a computer-based, interactive, multi-console display system which is being developed at Stanford Research Institute under the sponsorship of ARPA, NASA and RADCO. The system is being used as an experimental laboratory for investigating principles by which interactive computer aids can augment intellectual capability. The techniques which are being described will themselves be used to augment the presentation.

The session will use an on-line, closed-circuit television hook-up to the SRI computing system at Menlo Park. Following the presentation remote terminals to the system in operation may be viewed during the remainder of the conference in a special room set aside for that purpose.

**Annonce originale
de la conférence
de Douglas Engelbart.**

1968 ▶ Démo de la souris

Douglas Engelbart (1925-2013), chercheur à Stanford, présente devant plus d'un millier d'informaticiens ses travaux sur l'interface homme-machine. Il y fait la démonstration du principe de la souris qu'il a inventée quelques mois auparavant, mais aussi de la plupart des éléments maintenant standards en informatique personnelle : fenêtrage, bureau, liens hypertextes, visioconférence, traitement de texte, travail collaboratif... Même s'il faudra attendre une quinzaine d'années pour voir ses inventions reprises, son système aura une très forte influence sur les projets développés chez Xerox (où se retrouveront de nombreux membres de l'équipe initiale) puis sur les systèmes d'exploitation de Microsoft (Windows) et du Macintosh d'Apple.

Première maquette de souris, à un seul bouton.



Le système original d'Engelbart : souris à droite (à trois boutons) et « clavier accord » à gauche permettant d'effectuer des commandes d'une seule main.

1968 ▶ Mémoire cache

Les différents composants internes de l'ordinateur sont fortement interconnectés et travaillent de concert, ce qui nécessite d'avoir des vitesses de fonctionnement assez proches. Entre autres, le processeur accédant en permanence à la mémoire (pour récupérer instructions et données), tout retard de cette dernière entraîne immédiatement une baisse des performances. Or l'évolution des circuits processeurs est beaucoup plus rapide que celle des supports de mémorisation et les ingénieurs se trouvent, à la fin des années 1960, obligés d'intercaler un circuit supplémentaire pour accélérer les transferts mémoire : la mémoire cache, ou antémémoire, petit circuit de mémoire très rapide permettant au processeur de récupérer beaucoup plus vite les informations régulièrement utilisées. Maurice Wilkes ayant défini ses principes en 1965 (sous le terme de mémoire esclave), sa première implémentation se fait en 1968 sur l'IBM/360-85.





Console de l'IBM/360-85 installé à la NSA.

Les premiers microprocesseurs reviendront à des vitesses compatibles avec celle des mémoires. Mais après quelques années le même problème apparaîtra et ils intégreront la mémoire cache dès 1984. À l'heure actuelle, la mémoire cache est un composant indispensable qui occupe souvent plus de la moitié des transistors du microprocesseur.

1969 ▶ ARPANET

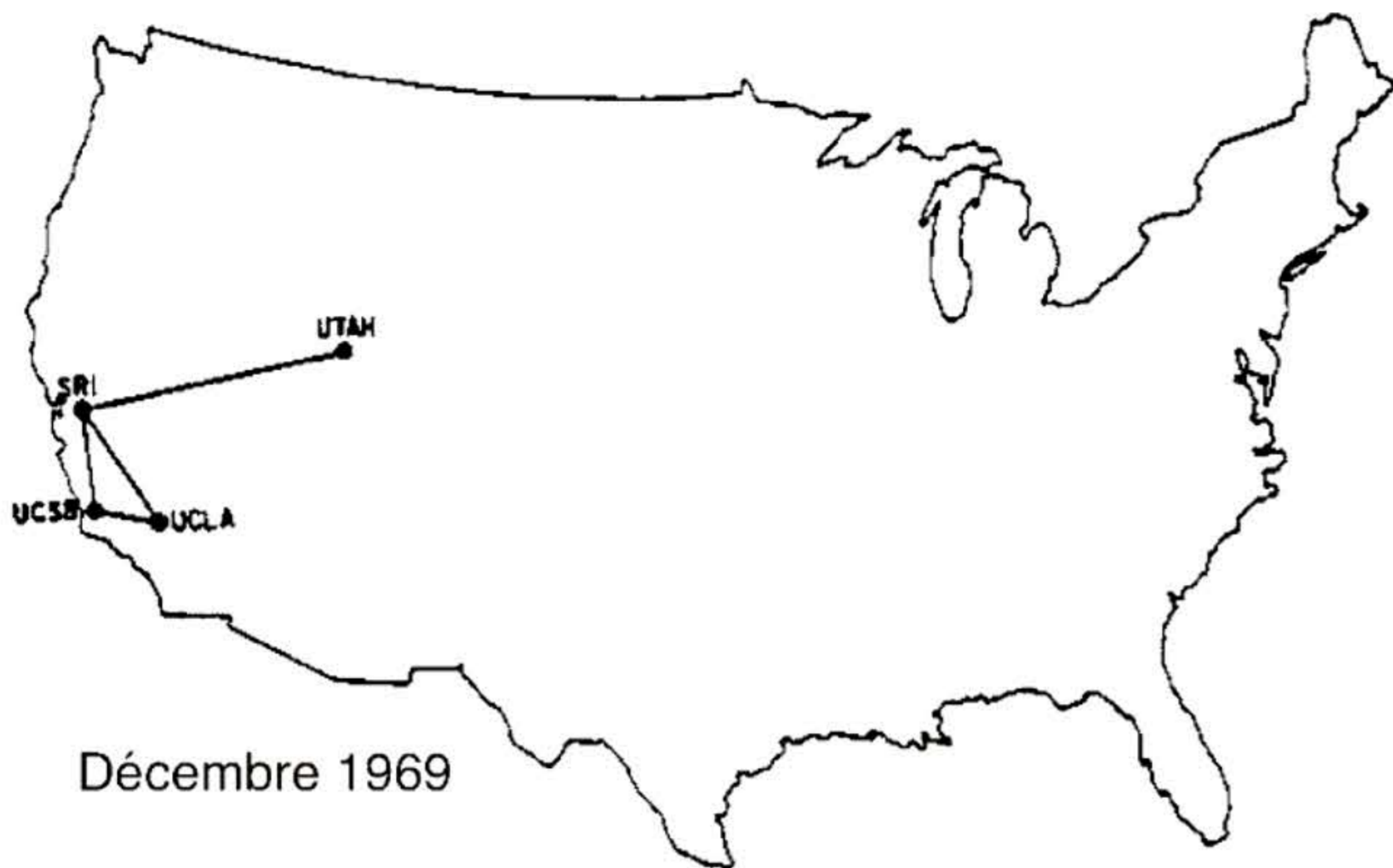
Souvent considéré comme le principal « ancêtre » d'Internet, Arpanet fut le premier réseau connectant des ordinateurs de différents constructeurs. Il a été développé par quelques groupes de chercheurs américains financés par une agence scientifique du Pentagone, l'ARPA (*Advanced Research Projects Agency*, Agence pour

les projets de recherche avancée). Contrairement à une légende, ce n'était pas un « réseau militaire », mais un réseau conçu par et pour des scientifiques civils avec un soutien de la Défense. Il devait pouvoir tolérer des pannes, continuer à marcher si une liaison était coupée ou un ordinateur arrêté, mais n'avait rien à voir avec les réseaux de défense prévus pour fonctionner en mode dégradé après un bombardement. En revanche il eut d'emblée un usage de renseignement militaire : il permit de recevoir à Washington et de traiter en temps réel les données sismiques captées en Norvège (détection d'essais nucléaires soviétiques).

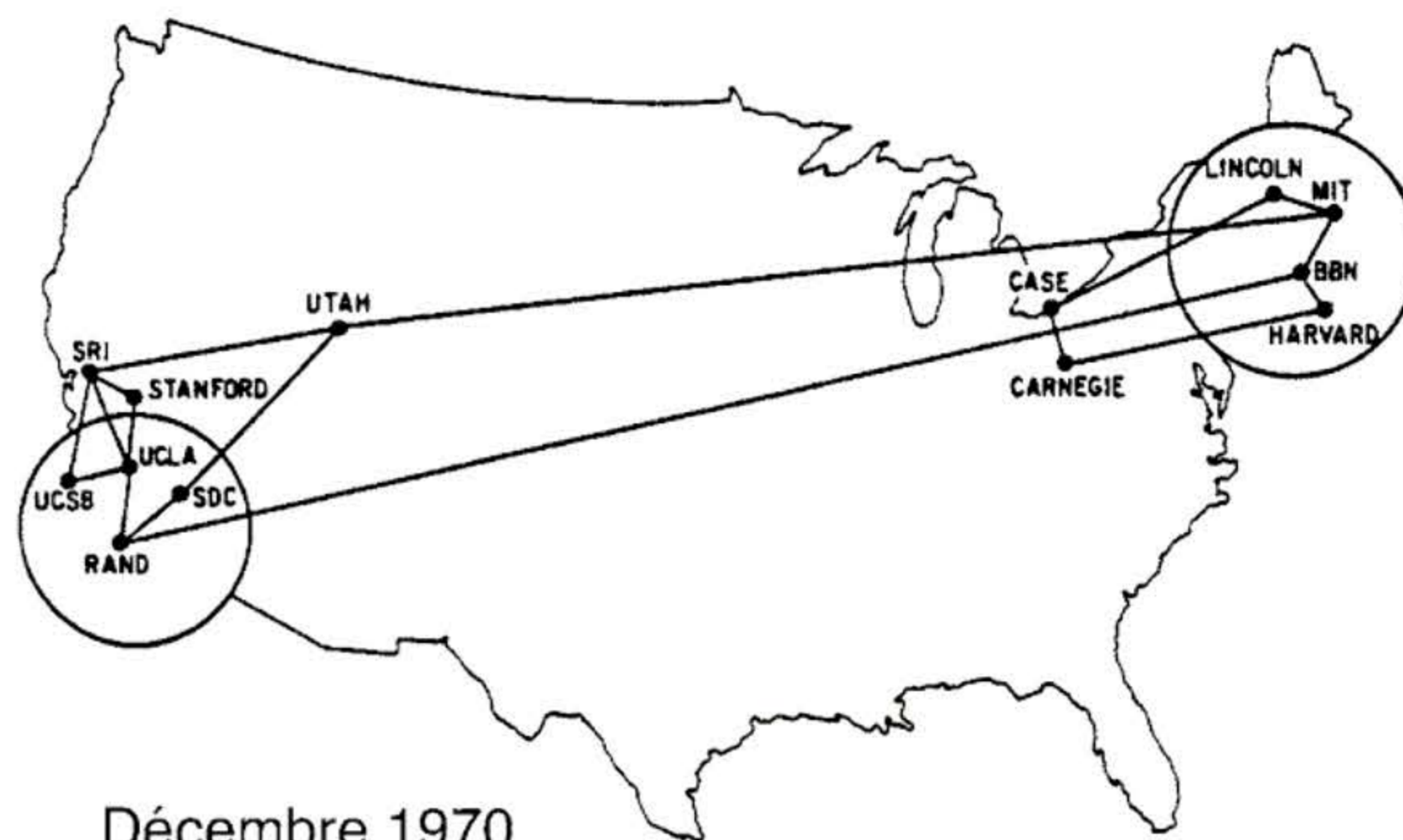
Le projet a été conçu initialement par Joseph Licklider (1915-1990), chercheur issu du MIT qui imaginait la possibilité d'un grand réseau reliant les calculateurs des universités, permettant aux scientifiques d'échanger des données. Donc d'augmenter l'efficacité des recherches qui peuvent avoir des retombées pour la Défense. Ses successeurs à l'ARPA, Ivan Sutherland et Larry Roberts, partagent la même vision en y ajoutant leurs propres idées : interfaces graphiques, courrier électronique. L'idée de la « transmission par paquets », proposée par un chercheur anglais, peut s'appuyer sur un modèle mathématique des files d'attente élaboré par Leonard Kleinrock au MIT.

Fin 1969, les principaux problèmes d'un réseau d'ordinateurs hétérogènes étant résolus, le réseau entre en service avec quatre nœuds dans les universités partenaires (Los Angeles, Santa Barbara, Stanford Research Institute, Utah) et l'aide d'une entreprise de Boston, BBN, qui a développé le logiciel spécifique du petit ordinateur chargé du trafic des messages (*Interface Message Processor*). Les autres centres de calcul soutenus par l'ARPA s'y connectent rapidement, avec trente-trois ordinateurs hôtes dès 1971. Un beau succès technique, comparé à tant de projets informatique qui explosent leurs budgets et leurs délais. Il reste toutefois peu significatif par rapport aux dizaines de milliers d'ordinateurs qui fonctionnent dans le monde.

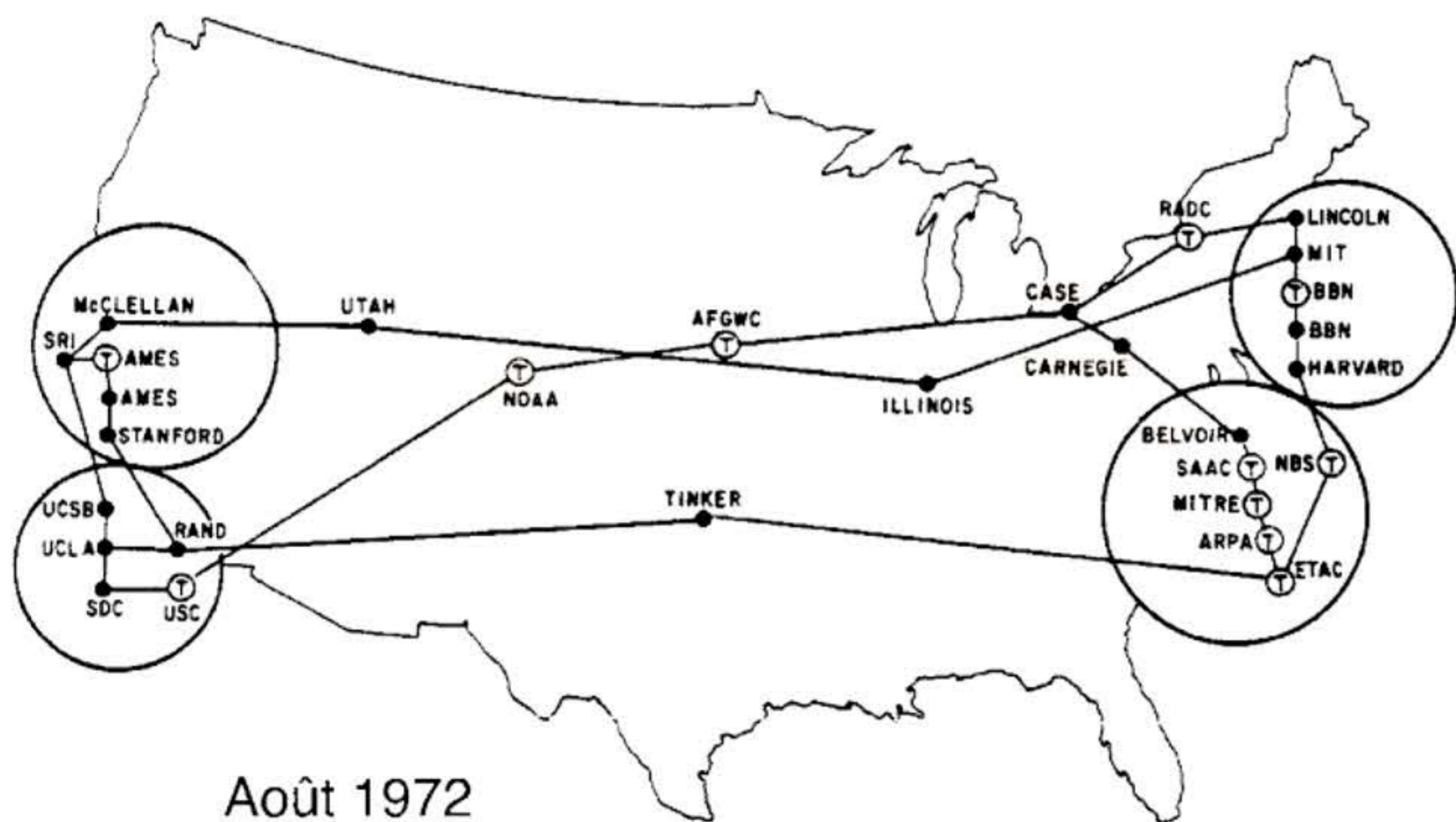
Une démonstration spectaculaire est effectuée par Roberts en 1972 au congrès international sur les communications par ordinateur, qui réunit mille informaticiens à Washington. Sur un stand équipé



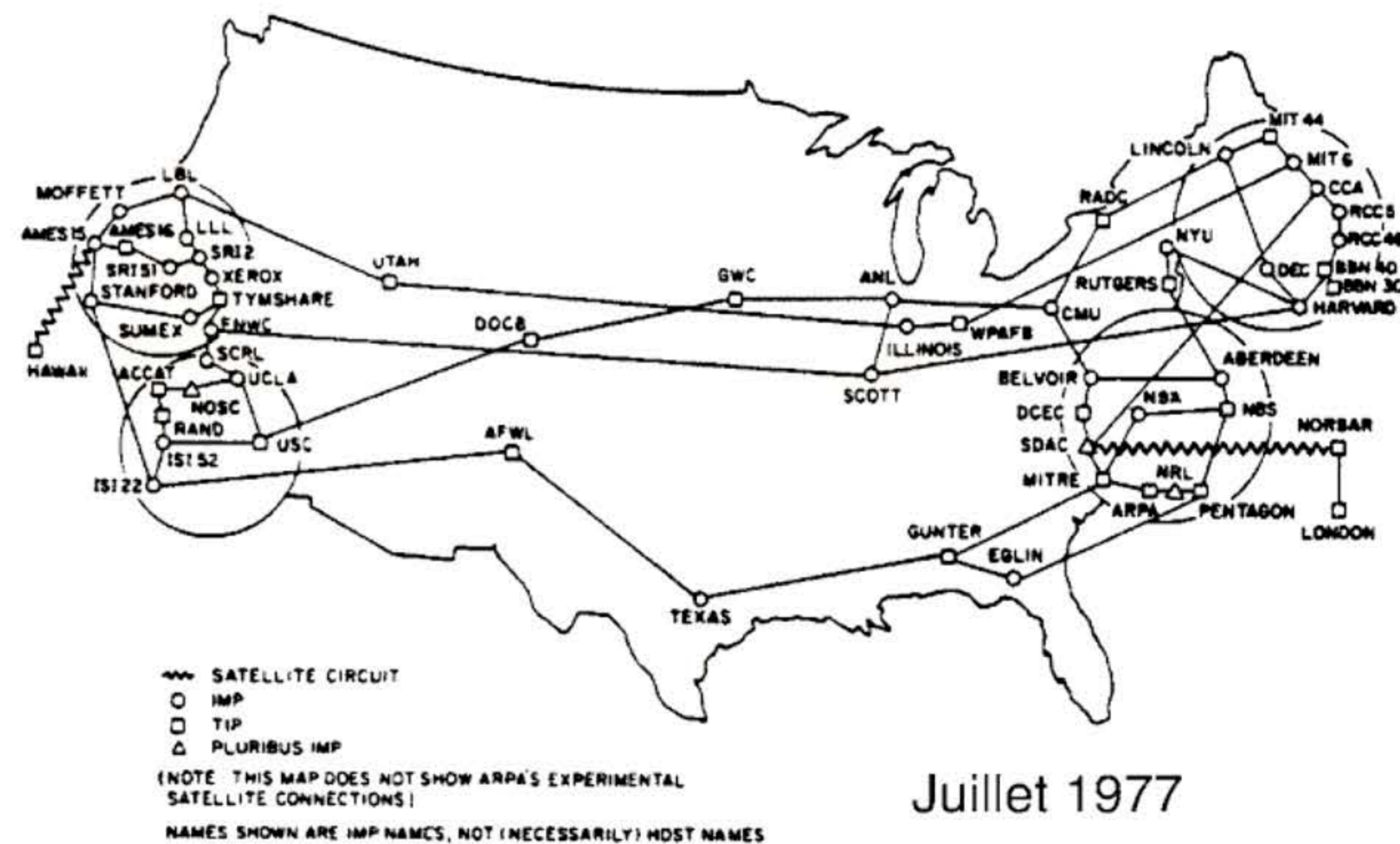
Décembre 1969



Décembre 1970



Août 1972



Juillet 1977

Évolution d'Arpanet entre 1969 et 1977. On notera le lien vers Londres dans le dernier graphique.



de quarante terminaux, les participants peuvent se connecter à une douzaine d'ordinateurs, dont un situé à Paris. Ils ont accès à des bases de données, à des programmes de modélisation scientifique ou de représentation graphique, et peuvent même jouer aux échecs ou sur une simulation de contrôle aérien. Beaucoup repartent conquis. Cinq ans plus tard Arpanet comptera 111 ordinateurs hôtes, donc plusieurs milliers d'utilisateurs.

Quelques années plus tard, les protocoles de communications sont unifiés grâce aux travaux de Robert Kahn, Vinton Cerf et Louis Pouzin pour devenir le protocole TCP/IP, norme encore à la base du réseau Internet actuel.

1969 ▶ Logiciel

Le mot *logiciel* est proposé en 1969 par la Délégation à l'informatique, agence gouvernementale française qui pilote le Plan Calcul. Auparavant, on parlait de *codes* et de *codage* (sur les machines des années cinquante), de programmes ou de *software* : *software* de base, *software* d'application... Cette innovation terminologique accompagne un plan de soutien aux sociétés de service et de conseil en informatique, devenues bientôt sociétés de service et d'ingénierie en informatique (SSII).

1969 ▶ *Unbundling* : dégrouper le matériel et le logiciel

Au début de l'informatique, l'accent était mis sur le matériel. C'est là que les progrès étaient les plus visibles, c'était le matériel qui faisait la réputation des constructeurs et qui représentait l'essentiel des coûts des installations. Le logiciel n'était qu'une partie du service après-vente, permettant de faire fonctionner les machines. Le coût



IBM/360-195, le plus puissant des modèles, en 1978.

d'achat, ou plus souvent de location, d'une machine incluait les logiciels de base, leur maintenance et leur évolution ; tandis qu'une bonne partie des logiciels applicatifs étaient écrits par les clients, formés généralement dans les écoles des constructeurs. Ce modèle devient de moins en moins tenable au cours des années 1960 :

- le coût de développement des programmes pèse de plus en plus sur les ressources de l'entreprise ; pendant toute la conception de l'IBM System/360, des milliers de programmeurs ont été employés à plein temps pour développer son système d'exploitation ;

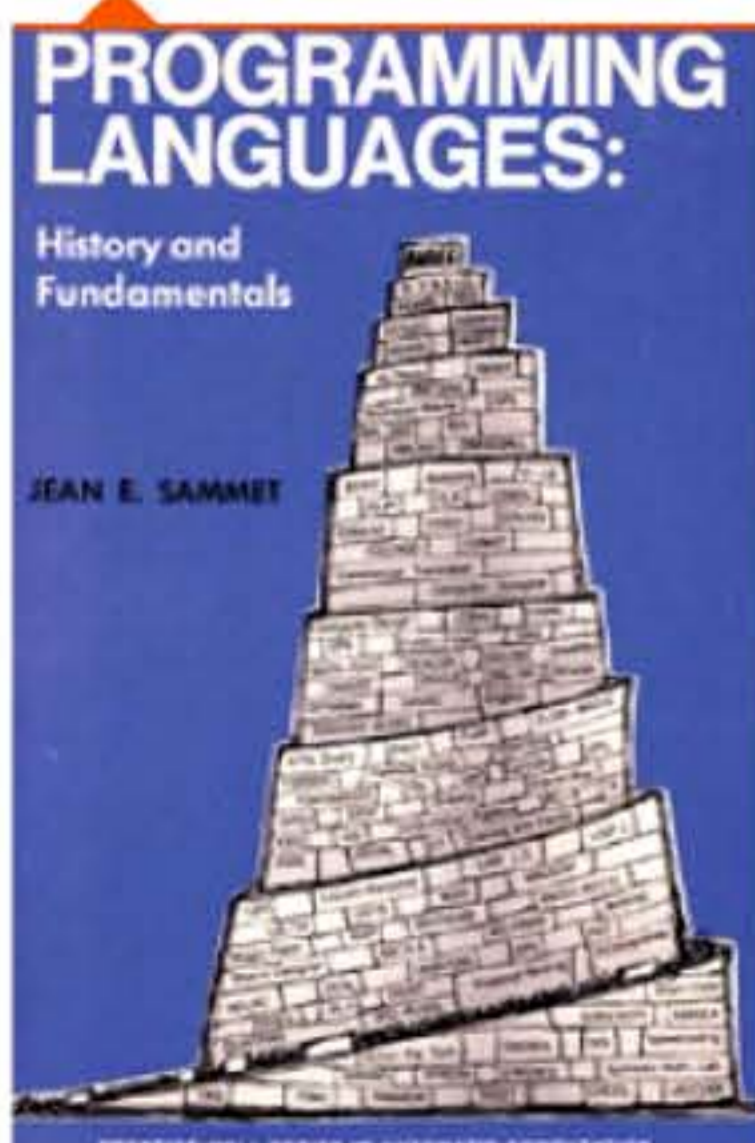
- certains clients préfèrent développer leurs propres applications et ne veulent plus payer pour un package complet ;
- de nombreuses sociétés de service se développent et dénoncent une concurrence déloyale de la part des constructeurs ; IBM y est d'autant plus sensible qu'elle doit faire des concessions face à de nouvelles actions anti-trust ;
- des discussions s'engagent concernant la brevetabilité des programmes : est-ce un simple ajout au matériel ou une marchandise comme une autre dont on aurait intérêt à développer le marché ?

En 1969 IBM annonce qu'elle va dissocier (*unbundle* en anglais) la facturation des matériels, des logiciels d'application et des services. Pour l'utilisateur, il en résulte une baisse de 3 % sur les prix des matériels IBM et une hausse de 10 à 20 % sur les services et le logiciel. Les autres constructeurs suivent progressivement. Le *software* a désormais un prix, ce qui ouvre un vaste marché à l'industrie du logiciel et va permettre l'éclosion de milliers d'entreprises capitalisant sur l'intelligence humaine sans nécessiter de ressources industrielles.

1969 ▶ Langages de programmation : une tour de Babel

Les années soixante ont vu d'innombrables langages informatiques apparaître. À côté des projets de langages universels comme Cobol, Algol ou PL/1, beaucoup de gens inventaient un langage optimisé pour tel type d'application. Ou afin d'explorer une piste de recherche, par exemple LISP conçu par John McCarthy pour l'intelligence artificielle. Les informaticiens ont bientôt comparé cette accumulation de langages à la légende biblique de la tour de Babel, construction Babylonienne dont les bâtisseurs ambitionnaient de monter jusqu'au ciel, mais que Dieu punit en leur faisant parler chacun une langue différente, rendant la communication impossible. Jean E. Sammet, l'une des grandes

Couverture du livre de J. Sammet (1969).



spécialistes mondiales du software, dirigeait le développement des langages de programmation chez IBM. Elle a présenté dans ce livre un panorama complet des systèmes de programmation élaborés dans les deux premières décennies de l'informatique.

1970 ▶ De « IBM et les 7 nains » au BUNCH

Dans les années soixante, la structure de l'industrie informatique était familièrement résumée par l'expression « *Blanche-Neige [IBM] et les sept nains* ». En 1970, après l'annonce de la série IBM/370, General Electric et Radio Corporation of America (RCA) perdent tout espoir de concurrencer le leader mondial de façon rentable et vendent leurs activités de construction d'ordinateurs. La structure de l'industrie informatique s'abrège désormais en « *IBM and the BUNCH* » (Burroughs, Univac, NCR, Control Data, Honeywell — *bunch* signifiant *bouquet*). Auquel s'ajoute ensuite l'étoile montante des minis, Digital Equipment, qui grimpera bientôt en deuxième position.

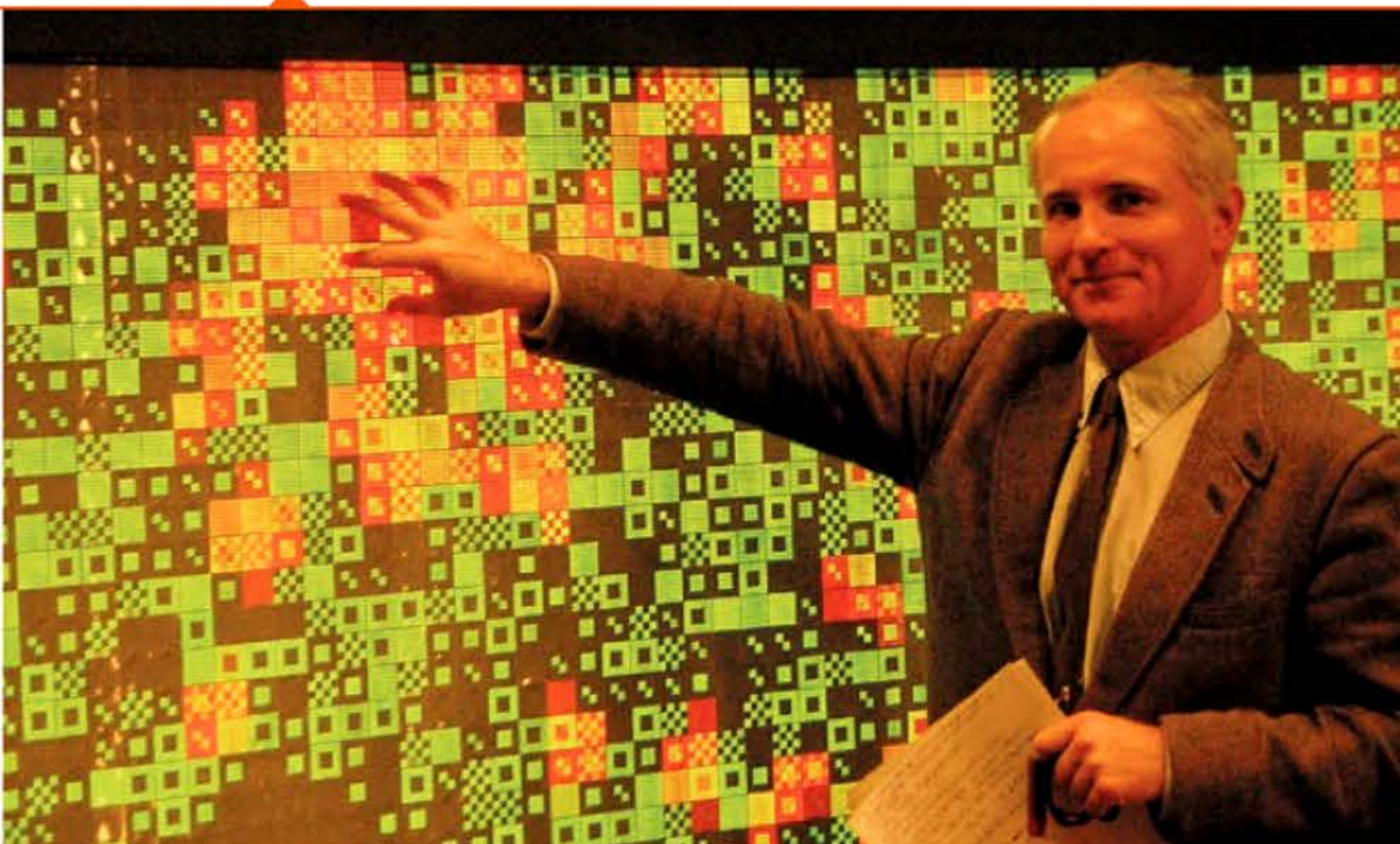
Parts du marché informatique américain en 1965 (%)			CA en 1971 (millions de dollars)		
1	IBM	65,3	1	IBM	7 503
2	Sperry-Univac	12,1	2	Univac	1 755
3	Control Data	5,4	3	NCR	1 450
4	Honeywell	3,8	4	Burroughs	893
5	Burroughs	3,5	5	Honeywell	859
6	General Electric	3,4	6	Control Data	580
7	RCA	2,9			
8	NCR	2,9			

NB : Ces statistiques sont discutables, ne serait-ce que parce que le « marché » considéré n'est pas défini — il s'agit principalement de construction d'ordinateurs et de périphériques. On ne trouve pour cette époque aucune statistique des parts du marché informatique mondial. La part d'IBM y est certainement inférieure à deux-tiers, car IBM affronte en Europe et au Japon des concurrents mieux implantés localement. Et les pays du bloc soviétique ont leur propre industrie informatique, bien que ne constituant qu'une petite part du marché mondial.

1970 ▶ Le jeu de la vie

Le jeu de la vie est né de la volonté de John Conway de simplifier la théorie des automates de von Neumann et de montrer qu'une organisation complexe pouvait émerger d'un système possédant

Biowall, automate similaire au jeu de la vie, fonctionnant à l'École Polytechnique fédérale de Lausanne. Les cellules se réorganisent en réaction aux stimuli extérieurs.



des règles très simples. Le magazine *Scientific American* en fait la première description en octobre 1970 et permet au jeu de connaître un succès immédiat, favorisé par l'émergence des mini-ordinateurs qui pouvaient faire tourner le programme simulant le jeu pendant les périodes d'inactivité.

1970 ▶ PDP-11 de DEC :

les minis transforment l'essai

En 1970, déjà bien établie sur les PDP-8, DEC peut se permettre de prendre un virage et annonce une famille de mini-ordinateurs 16 bits, les PDP-11. L'éventail des applications étant plus ouvert que celui des 12 bits, la société transforme l'essai. En une vingtaine d'années, environ 300 000 PDP-11 seront produits. Grâce au succès de ses minis et de ses plus gros calculateurs temps-réel, au milieu des années 1970, DEC se hissera au deuxième rang des constructeurs, derrière IBM, et attaquera le marché de la gestion.

1970 ▶ Unix

Le projet d'un nouveau système d'exploitation en temps-partagé, Multics, a été lancé en 1964 par le MIT, General Electric et les laboratoires Bell d'AT&T. Révolutionnaire pour l'époque, introduisant nombre d'innovations techniques tant matérielles que logicielles, le projet est ambitieux, trop ambitieux, et prend du retard. En raison de son coût, tant en ressources matérielles que humaines, les laboratoires Bell décident d'abandonner le projet en 1969. Voulant à la fois capitaliser sur les avancées déjà obtenues et faire plus simple, Malcolm McIlroy, Ken Thompson et Dennis Ritchie (1941-2011), de l'équipe Multics chez Bell, écrivent un petit système d'exploitation multitâches et multi-utilisateurs : Unix. D'abord développé sur PDP-7, Unix est rapidement porté sur le mini-ordinateur



▶ Dennis Ritchie et Ken Thompson (assis) devant leur PDP-11.

emblématique de la période, le PDP-11. Système d'exploitation efficace, Unix est adopté par les autres services de Bell. Puis, la loi anti-trust ayant empêché AT&T de le commercialiser, il sera diffusé à l'extérieur, entre autres dans les universités et en particulier à Berkeley. Majoritairement réécrit en langage C en 1972, Unix connaîtra une grande descendance via d'innombrables versions développées par des utilisateurs différents à partir d'un code source librement diffusable. Unix avec ses différentes versions est encore à l'heure actuelle l'un des systèmes d'exploitation les plus utilisés au monde, particulièrement sur les serveurs Internet.

1970 ▶ Disquette

David Noble met au point un disque magnétique souple pour les ordinateurs System/370 d'IBM. Originellement conçue pour contenir le code de microprogramme du système, puis envisagée pour distribuer des mises à jour logicielles aux clients, elle ne fonctionnait

Trois tailles de disquette : 8 pouces, 5,25 pouces et 3,5 pouces.



Lecteurs de disquettes de 8 pouces (1980), 5,25 pouces (1983) et 3,5 pouces (2004).

qu'en lecture seule avec une capacité de 80 kilo-octets de données pour une taille de 8 pouces de côté, soit une vingtaine de centimètres. Dès 1973, IBM commercialise des disquettes pouvant servir de support de stockage, accessibles en lecture et écriture, contenant presque 250 kilo-octets. De nombreux fabricants se lancent sur ce marché, améliorant progressivement la capacité de stockage mais sous des formats différents et incompatibles. Dès 1976, la taille diminuera à 5,25 pouces, puis à 3,5 pouces en 1984 avec une capacité de 1,44 Mo. Initialement dépourvus de disques durs, les micro-ordinateurs des années 1970 et 1980 utiliseront la disquette comme support de stockage de masse avant qu'elle ne soit concurrencée dans les années 1990 par les supports de plus grande capacité : disque magnétique de 100 Mo, disque magnéto-optique, disque laser... puis clés USB.

La disquette a révolutionné l'échange d'information entre systèmes, qui devait auparavant se faire via des cartes perforées ou des bandes magnétiques.



Le premier email a été envoyé entre ces deux ordinateurs qui, bien que côte à côte, ne communiquaient qu'à travers Arpanet.

1971 ▶ Premier email

Le réseau Arpanet s'étend progressivement avec l'adjonction de nouveaux nœuds et Ray Tomlinson expérimente l'envoi de message entre deux machines : c'est le premier email. Il utilise le signe @ (qui se lit *at* en anglais), présent sur les claviers mais inutilisé, pour séparer le nom d'utilisateur du nom de la machine hôte.

1971 ▶ Théorie de la NP-complétude

Lors d'une conférence d'informatique théorique, Stephen Cook publie son article fondamental sur la NP-complétude, ouvrant la voie à la théorie de la complexité.

La question fondamentale est de savoir si, lorsque l'on peut vérifier rapidement la solution d'un problème, l'on peut aussi la calculer « rapidement » ? C'est vrai pour certains problèmes, dits « faciles », qui forment l'ensemble P. En revanche, il existe des problèmes (formant

Niklaus Wirth,
le père de Pascal.

1970 ▶ Pascal

Afin de favoriser l'enseignement de l'informatique, Niklaus Wirth, alors à l'université ETH Zürich, invente le langage Pascal, qui oblige le programmeur à définir de manière rigoureuse ses types de variables et à utiliser la programmation structurée. Très utilisé dans l'enseignement universitaire jusqu'aux années 1990-2000 (où il a depuis été progressivement remplacé par C, Java, CAML ou Python), ce langage a difficilement percé dans l'environnement professionnel où on lui a souvent préféré des langages plus « efficaces » tel C. Niklaus Wirth développera de nombreux autres langages, comme Modula-2 ou Oberon, et écrira de nombreux manuels dont le très classique *Algorithms + Data Structures = Programs*.



Utilisation quotidienne de problèmes NP-complets.

MON PASSE-TEMPS : INTRODUIRE DES PROBLÈMES NP-COMPLETS LORSQUE JE COMMANDE AU RESTAURANT

RESTAURANT CHOTCHKIES	
ENTRÉES	
ASSORTIMENT DE FRUITS	2,15
FRITES	2,75
SALADE VERTE	3,35
AILES DE POULET	3,55
STICKS DE MOZZARELLA	4,20
ASSIETTE DÉGUSTATION	5,80
SANDWICHES	
BARBECUE	6,55

NOUS VOUDRIONS PRÉCISÉMENT 15,05€ D'ENTRÉES, S'IL VOUS PLAIT.

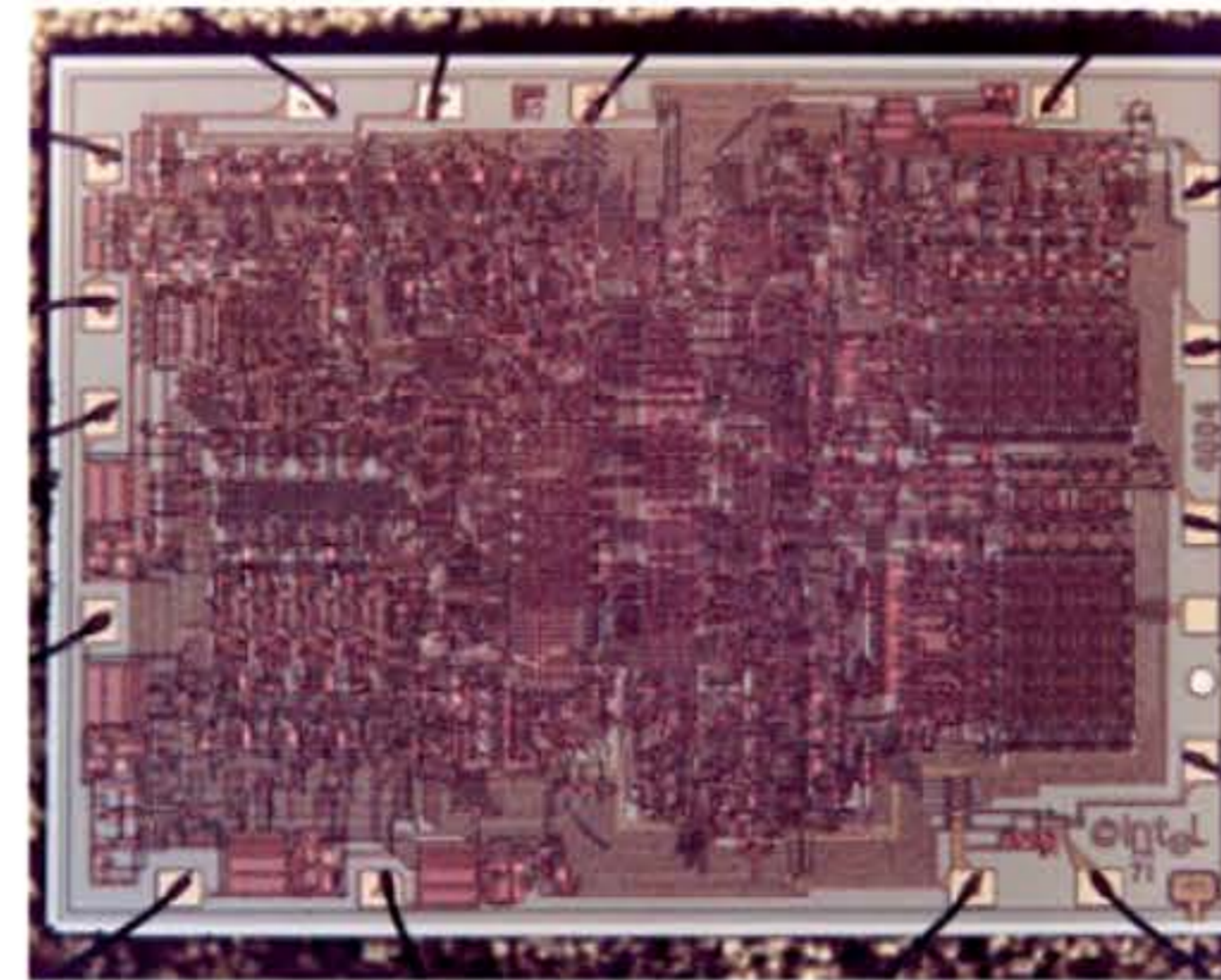
TENEZ CES DOCUMENTS SUR LE PROBLÈME DU SAC À DOS POURRAIENT VOUS ÊTRE UTILES.

PRÉCISÉMENT ? EUM

ÉCOUTEZ, JE DOIS ALLER VOIR SIX AUTRES TABLES

LE PLUS VITE POSSIBLE, JE COMPRENDS. VOUS VOULEZ DES INFOS SUR LE VOYAGEUR DE COMMERCE ?

l'ensemble NP) dont la vérification d'une solution donnée est simple, mais pour lesquels on ne connaît aucun algorithme de résolution « efficace », sans parvenir à montrer qu'il n'en existe pas. On espère un jour répondre à cette question, soit en exhibant un algorithme rapide pour ces problèmes NP (montrant alors que tous les problèmes peuvent se résoudre efficacement), soit au contraire en prouvant qu'ils sont intrinsèquement compliqués. L'intérêt de ces questions n'est pas uniquement théorique : de nombreux problèmes réels (logistique, planification, recherche dans des données...) peuvent se modéliser informatiquement. Et toute accélération dans le calcul d'une solution peut avoir un impact immédiat. L'interrogation « P = NP ? » est d'ailleurs l'un des sept problèmes du millénaire proposés en 2000 et dotés d'un prix d'un million de dollars.



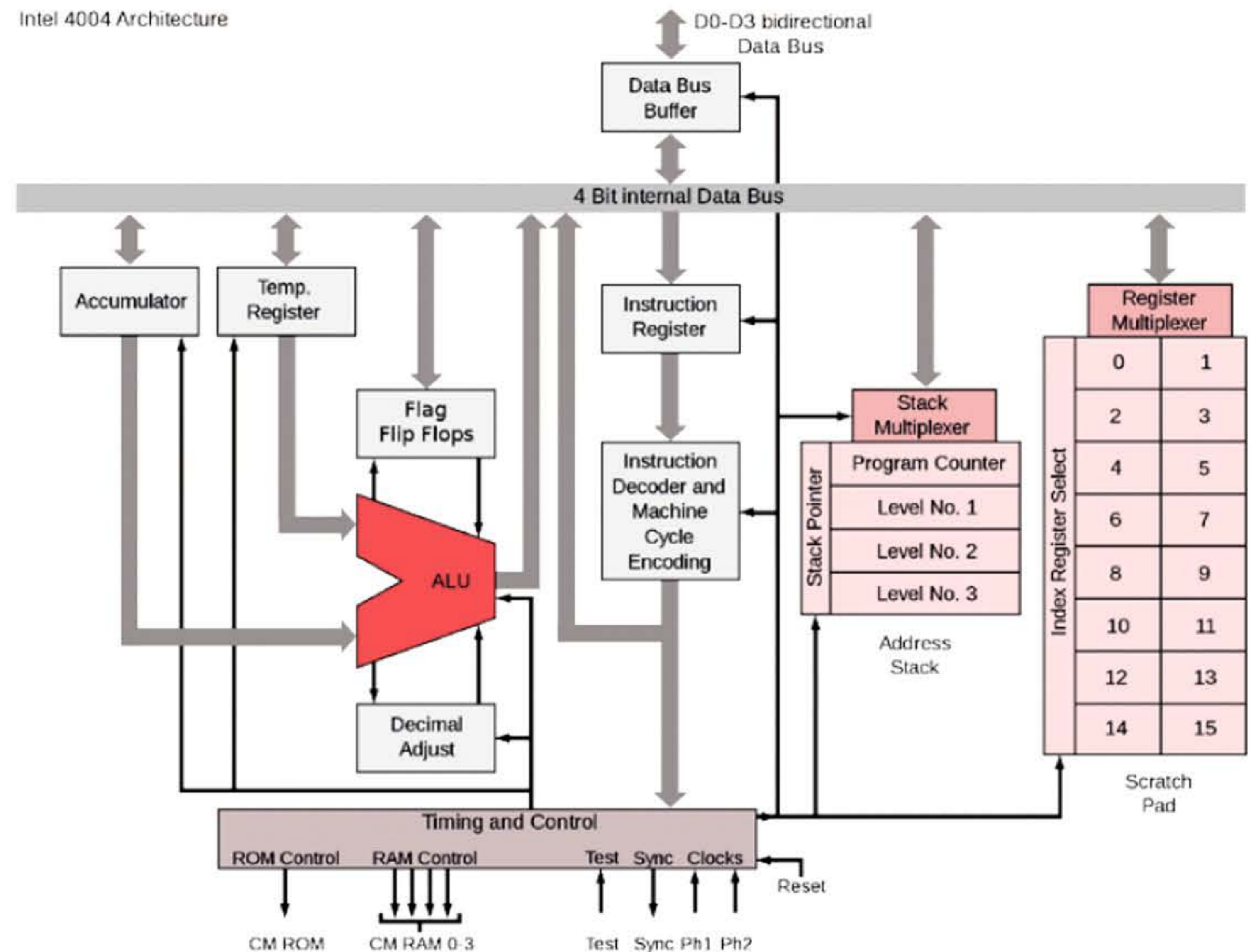
Circuit imprimé d'un 4004. Il porte les initiales F.F. du concepteur Federico Faggin.

Schéma de l'architecture interne du 4004.

1971 ▶ Microprocesseur 4004

En 1970, la société japonaise Busicom demande à Intel de développer plusieurs circuits intégrés pour sa prochaine calculatrice de bureau. Après étude du projet, les ingénieurs Ted Hoff et Stan Mazor proposent de remplacer la demi-douzaine de circuits spécifiques envisagés par Busicom par un processeur universel piloté par un jeu d'instructions et tenant sur une seule puce. Federico Faggin est embauché pour diriger le projet et réalise le microprocesseur 4004, assisté de Masatoshi Shima de Busicom, à l'aide de nouvelles méthodes de gravure des transistors de son invention. Ce premier microprocesseur (une unité centrale complète dans une puce) va entraîner une chute des coûts, une plus grande puissance et une meilleure fiabilité. Le nom 4004 provient du fait qu'il s'agit d'un microprocesseur 4 bits. Il comprend environ 2 300 transistors dans 10 mm² et atteint la puissance de l'ENIAC, pouvant additionner deux nombres de 4 bits en 10 µs. Busicom disparaît bientôt du paysage, mais Intel décolle et le 4004 inaugure une quatrième génération d'ordinateurs.

Le 4004 sera surtout vendu comme composant d'automatismes industriels, de périphériques et de petits calculateurs.



D'autres ingénieurs ont à l'époque conçu des puces ayant les mêmes fonctionnalités mais s'intégrant dans un système plus large sans être disponibles séparément. Dès 1970, la firme Garrett AiResearch a conçu l'ordinateur de contrôle de vol des avions F-14 Tomcat en y intégrant le processeur de signal numérique MP944, fonctionnant en parallèle sur des données de 20 bits. La même année, Four-Phase Systems a développé son ordinateur incorporant trois circuits AL-1, composé de registres et d'une unité de calcul sur 8 bits. Sans avoir été appelé *microprocesseur* lors de sa conception, son rôle sera admis en 1995 lors d'un litige concernant le brevet du premier microprocesseur : son antériorité sera reconnue et le brevet initial Intel invalidé.

L'idée de réunir tous les systèmes logiques d'une unité centrale sur une même puce était donc dans l'air du temps — un autre employé d'Intel, Wayne Pickett, avait même présenté une ébauche de schéma dès 1968. Il fallait toutefois attendre de pouvoir résoudre les problèmes d'encombrement des transistors, de consommation électrique et de dissipation thermique... et surtout avoir une équipe de direction confiante en la réussite du projet et prête à investir !

Première mention de la « Silicon Valley ».

SILICON VALLEY U.S.A.

This is the first of a three-part series on the history of the semiconductor industry in the Bay Area, a behind-the-scenes report of the men, money, and litigation which spawned 23 companies — from the fledgling rebirth of Shockley Transistor to the present day.

By DON C. HOEFLER

It was not a vintage year for semiconductor start-ups. Yet the 1970 year-end box score on the San Francisco Peninsula and Santa Clara Valley of California found four more new entries in the IC sweeps, one more than in 1969.

The pace has been so frantic that even hardened veterans of the semiconductor wars find it hard to realize that the Bay Area story covers an era of only 15 years. And only 23 years have passed since the invention of the transistor, which made it all possible.

For the story really begins on the day before Christmas Eve, Dec. 23, 1947. That was the day, at Bell Telephone Laboratories in Murray Hill, N.J., three distinguished scientists, Dr. John Bardeen, Dr. Walter Brattain and Dr. William Shockley, demonstrated the first successful transistor. It was made of germanium, a point-contact device that looked something like a crystal detector, complete with rat's whiskers.

The three inventors won the Nobel Prize for their efforts, but only one of them, Dr. Shockley, was determined to capitalize on the transistor commercially. In him lies the genesis of the San Francisco silicon story.

It was only by a quirk of fate, however, coupled with lack of management foresight, that Boston failed to become the major semiconductor center San Francisco is today. When Dr. Shockley left Bell Labs in 1954, he headed first for New England to become a consultant to Raytheon Co., with a view toward establishing a semiconductor firm there under its auspices.

1971 ▶ La « Silicon Valley »

Sur la suggestion de son ami Ralph Vaerst, le nom de *Silicon Valley* (vallée du silicium) est utilisé par un journaliste local, Don Hoefler, pour décrire la concentration d'entreprises de haute technologie et de semi-conducteurs implantées au sud de San Francisco autour de la ville de San José. Ce groupement a été favorisé par la proximité avec le milieu universitaire de Stanford et l'accès facile à des sources de financement via le capital-risque. C'est toujours, à l'heure actuelle, une pépinière de start-ups aussi bien que le siège de certaines des plus grandes entreprises mondiales liées à l'informatique.

1972 ▶ Pong

La miniaturisation des composants promettant toujours plus de puissance, il devient envisageable d'intégrer un clone de SpaceWar! dans un produit indépendant. Nolan Bushnell fonde Atari avec l'objectif de créer des jeux vidéo, à commencer par un simulateur de conduite. Son unique programmeur, Allan Alcorn, n'ayant pas une grande expérience du domaine, Bushnell lui propose comme exercice de développer une simulation très simpliste de tennis où chaque joueur doit renvoyer une balle à l'aide de sa raquette. Le prototype final faisant une forte impression, Atari décide de le commercialiser et installe une borne d'arcade permettant de jouer à Pong dans un bar local. Le succès est immédiat ; c'est le début de l'industrie du jeu vidéo. Atari sera le poids lourd du domaine jusqu'en 1983. La demande de consoles de jeu s'effondrera alors en raison d'erreurs marketing, de la saturation du marché et de la concurrence des logiciels de jeu vidéo sur les ordinateurs individuels. Le flambeau sera repris quelques années plus tard par des compagnies japonaises, principalement Nintendo.

Les deux premières bornes d'arcade — Pong et Computer Space — réunies lors d'une convention Atari en 2012.



1972 ▶ La HP-35 :

une calculatrice électronique scientifique

Les premières calculatrices entièrement électroniques sont apparues au début des années 1960. Elles étaient lourdes, encombrantes et chères, mais les progrès techniques corrigent progressivement ces défauts.

C'est l'invention du circuit intégré qui va véritablement permettre le développement des calculatrices de poche. En 1972 Hewlett-Packard présente la première d'entre elles, HP-35 — appelée ainsi car elle a 35 touches. Si les modèles précédents ne proposaient que les quatre opérations, celle-ci est capable de calculer les fonctions trigonométriques et exponentielles, indispensables aux ingénieurs. C'est un succès commercial qui rend les règles à calcul immédiatement obsolètes.



De haut en bas :

Première calculatrice de bureau ANITA Mark VIII, basée sur des tubes à vide (1961).

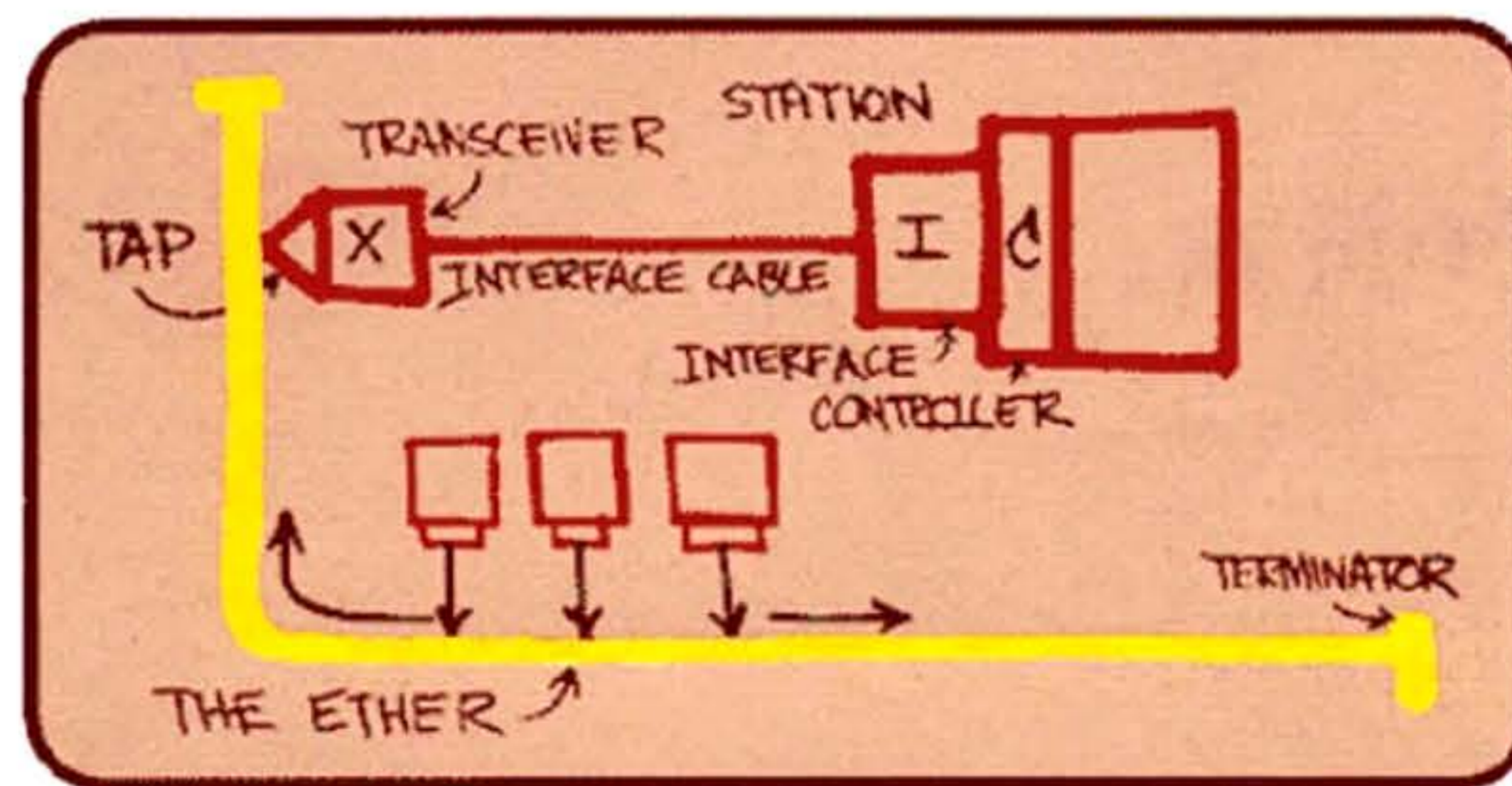
Une des premières calculatrices électroniques de poche : Busicom LE-120A Handy (1971).

La première calculatrice scientifique de poche : HP-35 (1972).

1973 ▶ Ethernet

Inspiré par le réseau radio ALOHAnet de l'université de Hawaï, Robert Metcalfe, au laboratoire Xerox à Palo Alto, publie un mémoire le 22 mai 1973 sur une technique de réseau local utilisant la commutation de paquets sur un bus. Les premiers essais se font avec l'aide de David Boggs. Rapidement un brevet est pris pour une norme de réseau, que l'on baptise Ethernet en référence à « l'éther » du XIX^e siècle supposé transmettre les ondes électromagnétiques. Dans les années 1980, Ethernet sera en concurrence avec d'autres normes de réseaux locaux portées par IBM, comme *token ring* ou *token bus*, mais son adaptabilité et son adoption par d'autres géants du secteur auront raison des autres standards dès 1990.

Utilisant à l'origine un câble coaxial comme support de communication, Ethernet a conquis le marché en s'adaptant aux divers médias — paires téléphoniques (permettant ainsi de profiter d'un câblage préexistant dans les bureaux), fibres optiques, liaisons radios WiFi... Et en montant régulièrement en débit : de 3 Mbit/s à l'origine, la norme offre en 2015 des liaisons à 100 Gbit/s.



Un des premiers schémas illustrant Ethernet.

1973 ▶ Invalidation des brevets de l'ENIAC

La construction de l'ENIAC souleva des questions de propriété intellectuelle des idées et du matériel. L'antagonisme fut patent entre la tradition universitaire de libre diffusion et la volonté militaire de favoriser le développement de ces machines, d'un côté, et de l'autre le souhait d'Eckert et Mauchly de rentabiliser leur invention, en tant qu'ingénieur et concepteur principaux, via la création d'une société commerciale. Devant l'impossibilité de concilier toutes les positions, le groupe initial éclata, laissant Eckert et Mauchly lancer leur entreprise, Univac, et déposer les premiers brevets en 1947, qui furent officiellement accordés en 1964.

En 1967 un litige opposa Sperry-Rand, titulaire des brevets depuis le rachat d'Univac, et Honeywell au sujet de la paternité de l'ordinateur et donc d'éventuelles redevances à payer. Concluant près de deux années de procès devant une cour du Minnesota, le juge Larson décida d'invalidier les brevets initiaux, favorisant ainsi largement le développement concurrentiel de l'industrie informatique américaine. Ses principaux arguments furent les suivants :

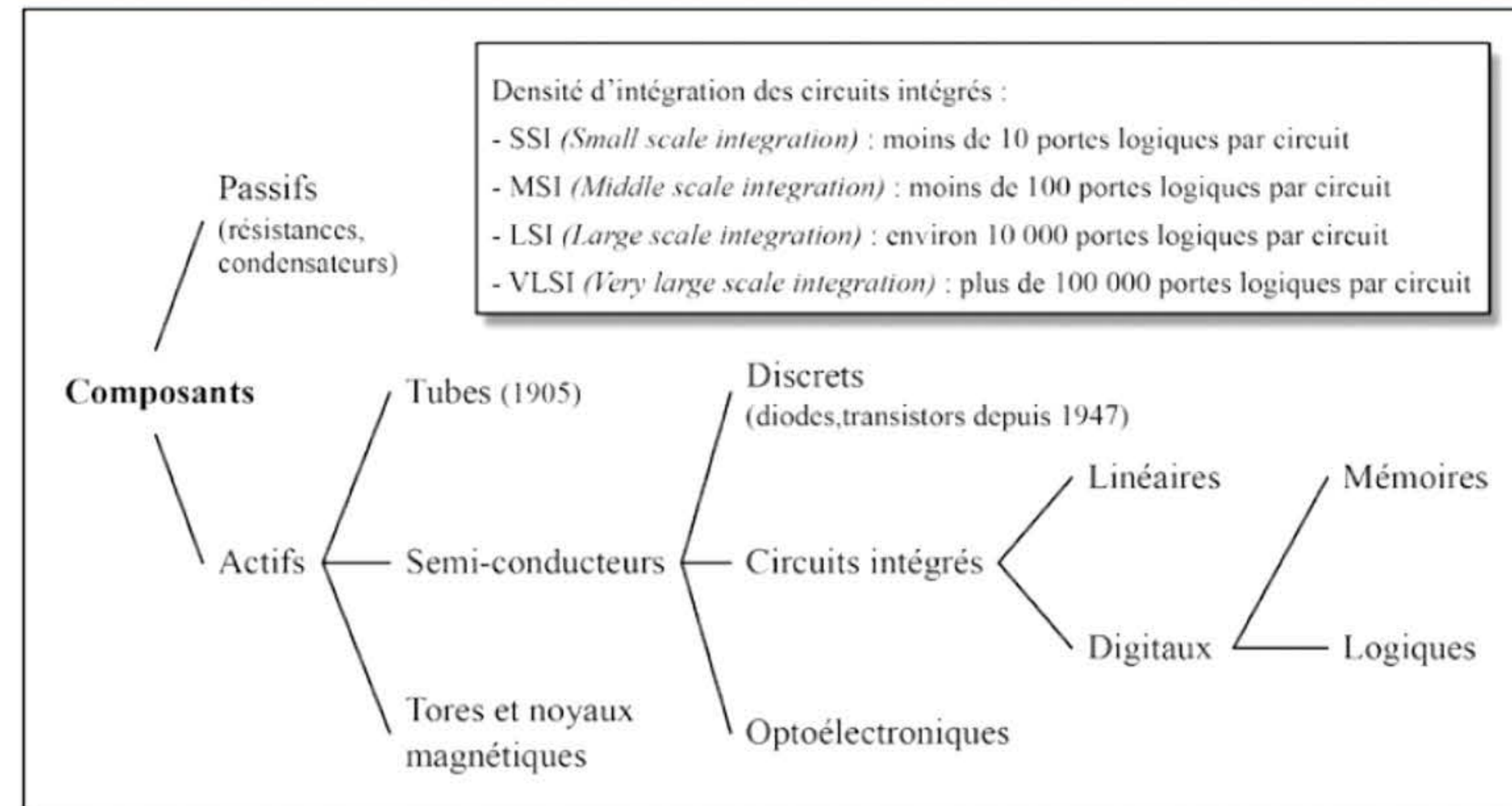
- les brevets furent demandés bien après les démonstrations publiques de l'ENIAC, qui relevait dès lors du domaine commun ;
- les concepts étaient déjà présents dans le rapport von Neumann, lui aussi public et largement antérieur aux brevets ;
- Mauchly s'inspira des travaux d'Atanasoff avec qui il avait correspondu en 1941, faisant de ce dernier le véritable père de l'ordinateur.

Ce dernier argument est encore aujourd'hui le plus controversé puisqu'il est difficile de prétendre que le calculateur ABC puisse être regardé comme l'égal de l'ENIAC : câblé, non programmable, il était restreint à un certain type de calcul et n'a jamais vraiment fonctionné de manière fiable ; Atanasoff n'a d'ailleurs pas cherché à poursuivre ses travaux ni à réclamer une quelconque antériorité sur le sujet.

1973 ▶ La miniaturisation

La *Large Scale Integration* (LSI) permet de placer 10 000 transistors par centimètre carré, ouvrant la voie à de plus puissants microprocesseurs et à des mémoires de capacité accrue.

Composants électroniques.



1973 ▶ Puce RFID

Un brevet est attribué à Mario Cardullo en 1973 pour un dispositif passif de réponse à une sollicitation radio. La même année, un autre brevet est accordé à Charles Walton pour le déverrouillage sans contact d'une porte par une carte portant l'identification voulue. C'est encore un brevet de Walton qui verra en 1983 la première utilisation de l'acronyme RFID (*Radio Frequency Identification*).

1974 ▶ Microprocesseur 8080

Après le 4004 et le 8008, Intel lance le microprocesseur 8080 qui intègre environ 6 000 transistors. Fonctionnant à 2 MHz et exécutant quelques centaines de milliers d'instructions par seconde, il est assez puissant pour piloter un micro-ordinateur et adresser

64 ko de mémoire. Il servira à construire la plupart des premiers micro-ordinateurs, vendus en kit ou assemblés. Son architecture interne et son jeu d'instructions seront à l'origine de toute la famille des processeurs Intel, laissant encore leur marque dans les modèles actuels !

From CPU to software, the 8080 Microcomputer is here.

Intel's new 8080 n-channel microcomputer is here — incredibly easy to interface, simple to program and with up to 100 times the performance of p-channel MOS microcomputers.



Best of all, the 8080 is real — in production at Intel and available in volume quantities, today. It's also available through distributors along with a growing line of peripheral circuits and a new version of the Intellec 8, a program and hardware development system for the 8080.

all supported with software packages, design documentation and manuals, and backed by more than 100 man years of microcomputer expertise.

The 8080 is the inevitable successor to complex custom MOS and many large discrete logic subsystems. It is the industry's first general purpose n-channel microcomputer and the first high performance single-chip CPU, with extremely simple interface requirements and straightforward programming. It runs a full instruction cycle in 2 microseconds.

As such, the 8080 extends the economic benefits of Intel's p-channel microcomputers to a new universe of systems that need fast, multi-port controllers and processors. These systems include intelligent terminals, point of sale systems, process and numeric controllers, advanced



calculators, word processors, self-calibrating instruments, data loggers, communications controllers, and many more.

You can use 256 input and 256 output channels, handle almost unlimited interrupt levels, directly access 64 kilobytes of memory, and put many satellite 8080 processors around a single memory.

Interfacing is minimal and design is easy with the 8080 because all controls are fully decoded on the CPU chip itself and inputs and outputs are TTL compatible. There are separate data, address and control buses.

The 8080 microcomputer has 78 basic instructions, including the 8008 set plus new ones that make possible such features as vectored multi-level interrupt, unlimited subroutine nesting and very fast decimal and binary arithmetic.

Program development for the 8080 can be done either on a large computer using the Intel software cross products (PL/M systems language compiler, macro-assembler and simulator), or on an Intellec 8 development system with a resident monitor, text editor and macro-assembler.

The new 8080 product family includes performance matched peripheral and memory circuits configured to minimize design effort and maximize system performance. Large, low cost RAMs, ROMs, PROMs and I/O devices are available now and we will soon announce other 8080 LSI support circuits.

The 8080 is easier to use and more economical than any high performance microcomputer in sight. It's here now, in volume, from the inventors of the microcomputer and the people who lead the industry in production and design support. Intel Corporation, 3065 Bowers Avenue, Santa Clara, California 95051 (408) 246-7501.

RAM MEMORIES		
8101	256 x 4 STATIC	AVL: 3RD Q
8111	256 x 4 STATIC WITH COMMON I/O	AVL: 3RD Q
8102	1024 x 1 STATIC	AVL: NOW
8107	4096 x 1 DYNAMIC	AVL: NOW
ROM MEMORIES		
8308	1024 x 8	AVL: 3RD Q
8316	2048 x 8	AVL: NOW
PROM MEMORIES		
8702	256 x 8	AVL: NOW
8704	512 x 8	AVL: 4TH Q
8904	512 x 8	AVL: 4TH Q
PERIPHERAL CIRCUITS		
8205	1 of 8 DECODER	AVL: NOW
8210	4K RAM CLOCK DRIVER	AVL: NOW
8212	8-BIT I/O LATCH	AVL: NOW
8216	BI-DIRECTIONAL BUS DRIVER	AVL: 3RD Q
8201	COMMUNICATIONS INTERFACE	AVL: 4TH Q

INTEL 8080 PRODUCT FAMILY

intel Microcomputers. First from the beginning.

Double page de publicité pour le 8080, parue en 1974 dans le magazine *Electronic News*.



IBM/360-91 au laboratoire américain d'Oak Ridge.



1975 ▶ Bases de données relationnelles, SQL

Dès l'arrivée des systèmes de stockage à accès direct (disques durs essentiellement), les ordinateurs ont commencé à stocker de grandes quantités d'informations dans des bases de données. Leur utilisation technique (comment organiser les données sur le support de stockage ?) et pratique (comment interroger la base de données ?) restait largement empirique dans les années 1960 et chaque système était particulier.

Les travaux d'Edgar F. Codd (1923-2003), dont un article fondateur « A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks » (1970), ont permis de donner un cadre théorique aux bases de données : l'algèbre relationnelle. Elle permet d'interroger le système en indiquant ce que l'on souhaite chercher plutôt que la manière d'y arriver.

IBM, où travaillait Codd, mettra plusieurs années à implémenter ces idées, préférant préserver les revenus de ses anciens logiciels de bases de données. Parallèlement à des travaux effectués indépendamment à l'université de Berkeley (système Ingres), c'est en 1975 que les premiers prototypes de bases de données relationnelles verront le jour chez IBM (System R) incluant un nouveau langage d'interrogation, SQL (*Structured Query Language*), devenu depuis un standard incontournable. C'est pourtant une entreprise concurrente qui proposera en 1979 le premier logiciel commercial de base de données relationnelle incluant SQL : Oracle.

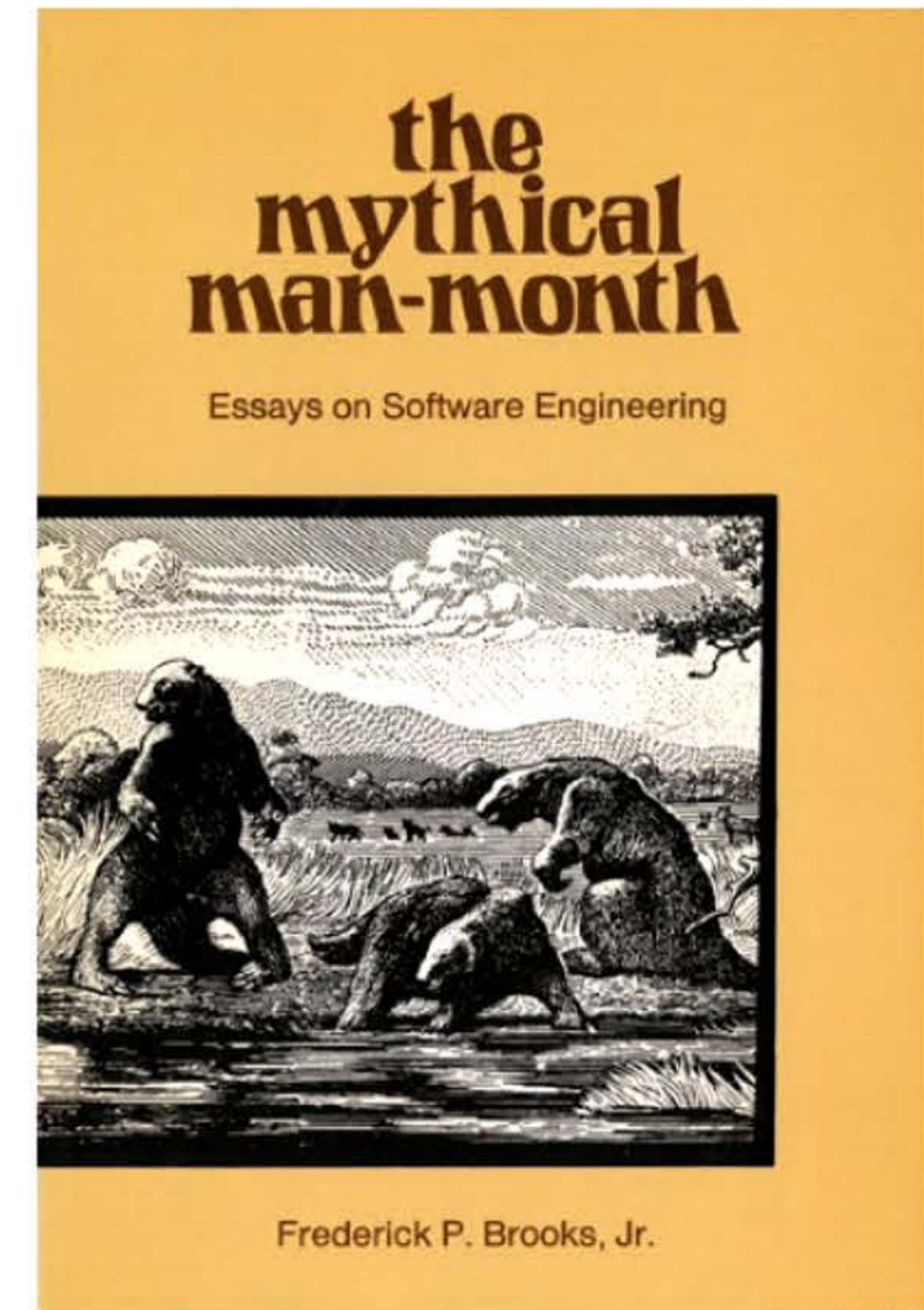
Même si le modèle relationnel est encore très utilisé en raison de sa simplicité et de son efficacité, il en existe d'autres, plus adaptés à des utilisations particulières : bases de données orientées-objets ou réparties, NoSQL, NewSQL...

1975 ▶ *The Mythical Man-Month*

Responsable du développement de l'OS/360, le principal système d'exploitation de la gamme IBM/360, Frederick P. Brooks présente dans un livre devenu classique son expérience du développement logiciel. Il met en pièces l'idée qu'il suffirait d'ajouter des ressources humaines à un projet en retard pour rattraper ce retard, car l'avantage qu'on en espère est annihilé par deux facteurs : le temps nécessaire à former les nouveaux arrivants et le nombre accru de canaux de communication entre les membres d'équipes plus grandes, qui en complexifie la gestion. Le retard du projet ne fait alors *qu'augmenter* !



▶ Fred Brooks en 2007.



▶ Couverture du livre de F. Brooks (1975).

1975 ▶ Réseau Cyclades

En France où le gouvernement gaulliste a lancé le « Plan Calcul » pour soutenir une informatique européenne indépendante, une équipe est formée en 1971 pour développer un réseau inspiré d'Arpanet : « Cyclades ». Son patron, Louis Pouzin, un polytechnicien qui a participé aux recherches américaines, développe et implémente systématiquement le concept de « datagramme » : les paquets de données adressés constituant un message ou un fichier n'ont pas besoin d'être transmis groupés ; dans un réseau d'ordinateurs, chacun d'eux peut librement emprunter la ligne la moins encombrée, pour n'être regroupé qu'en fin de parcours, chez le destinataire. Ce concept deviendra l'une des bases d'Internet.

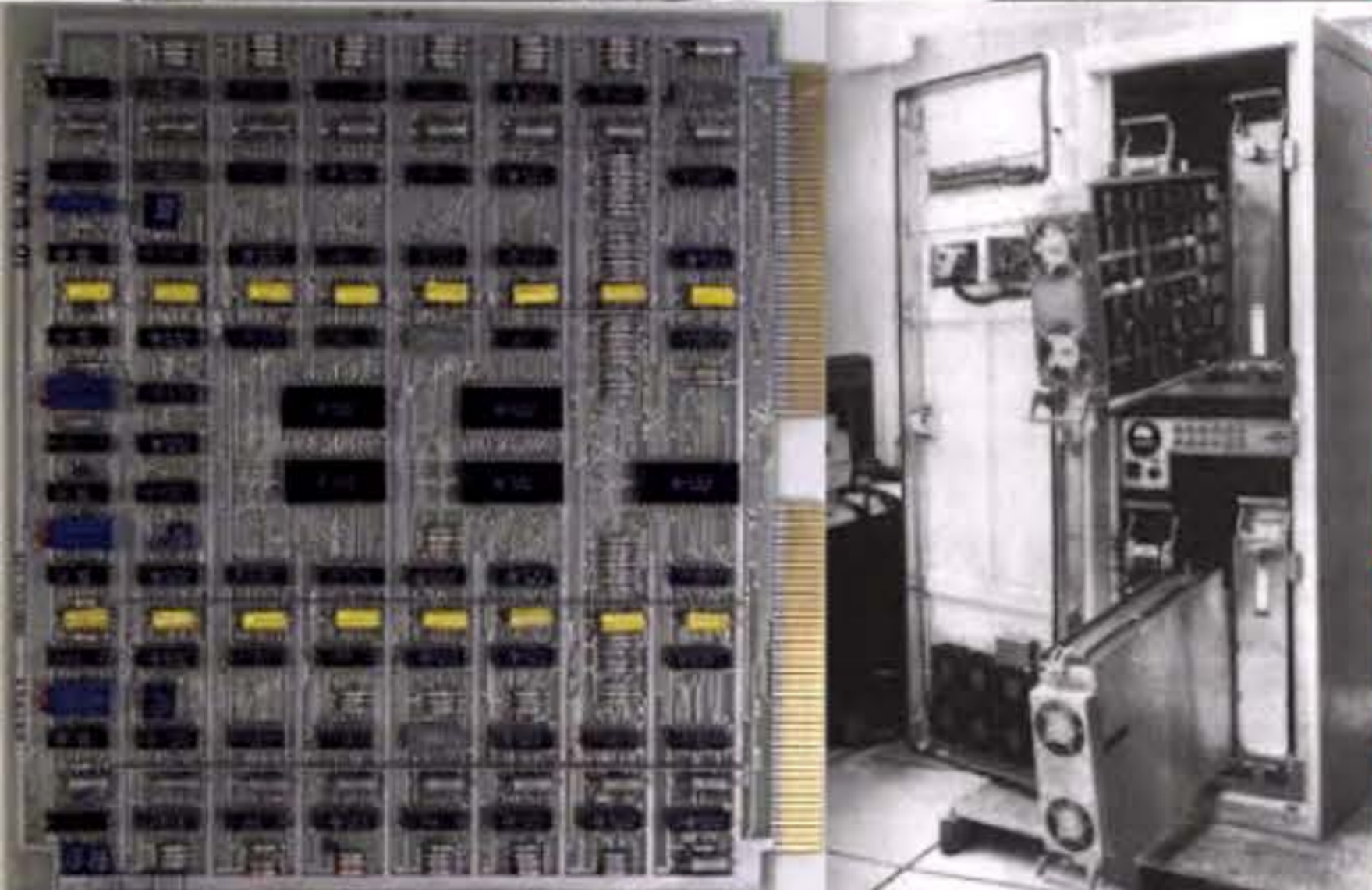
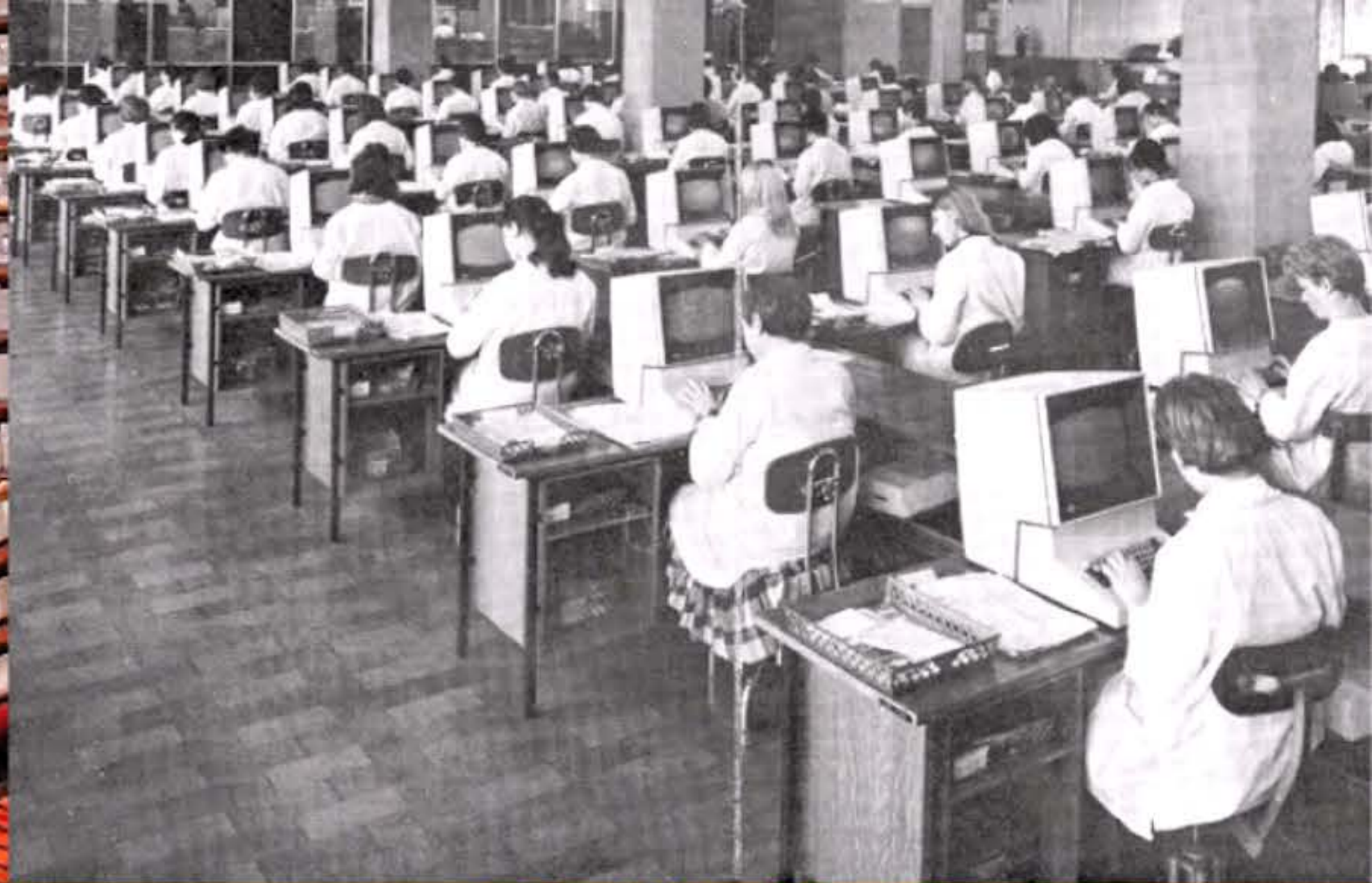
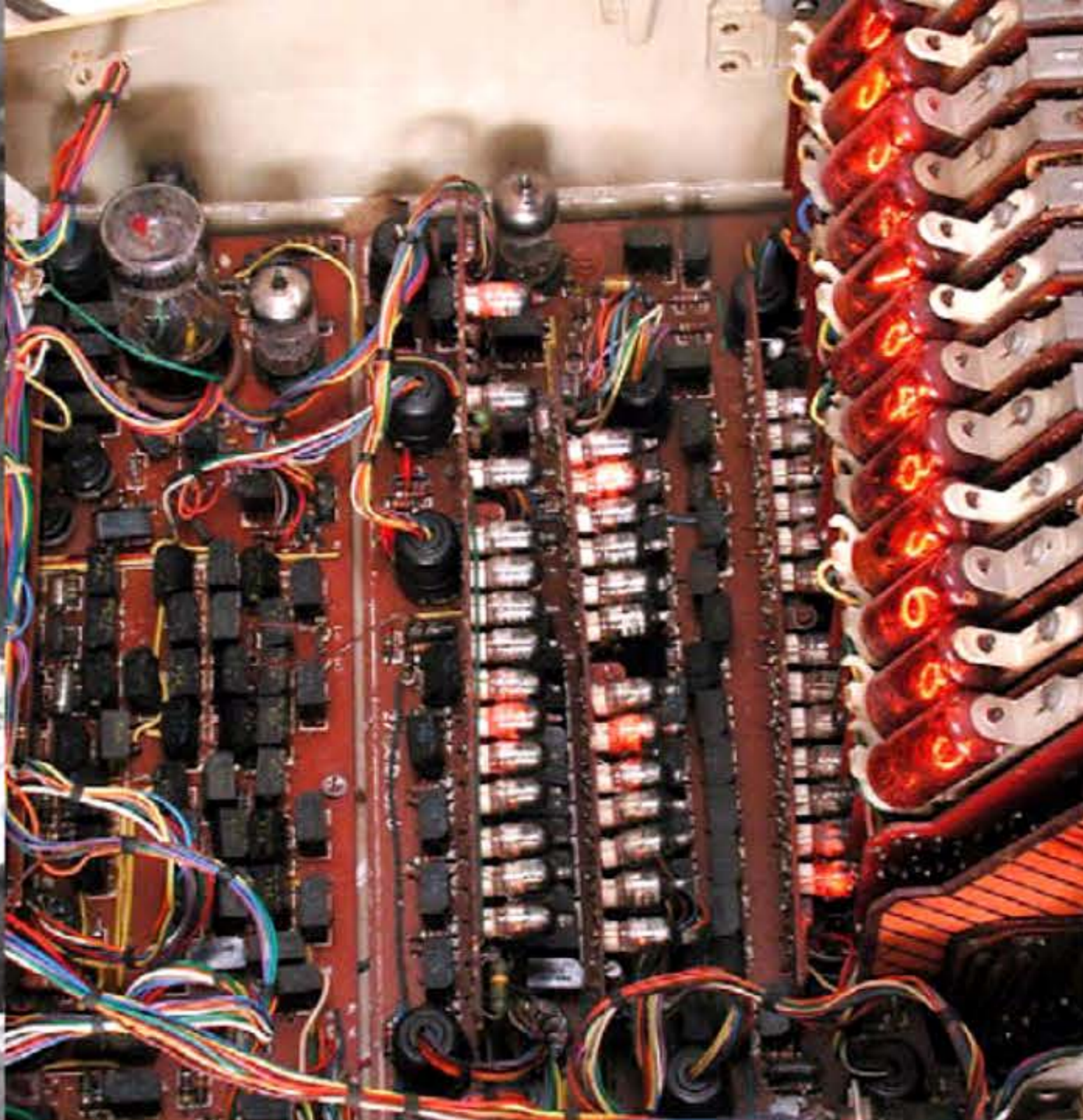
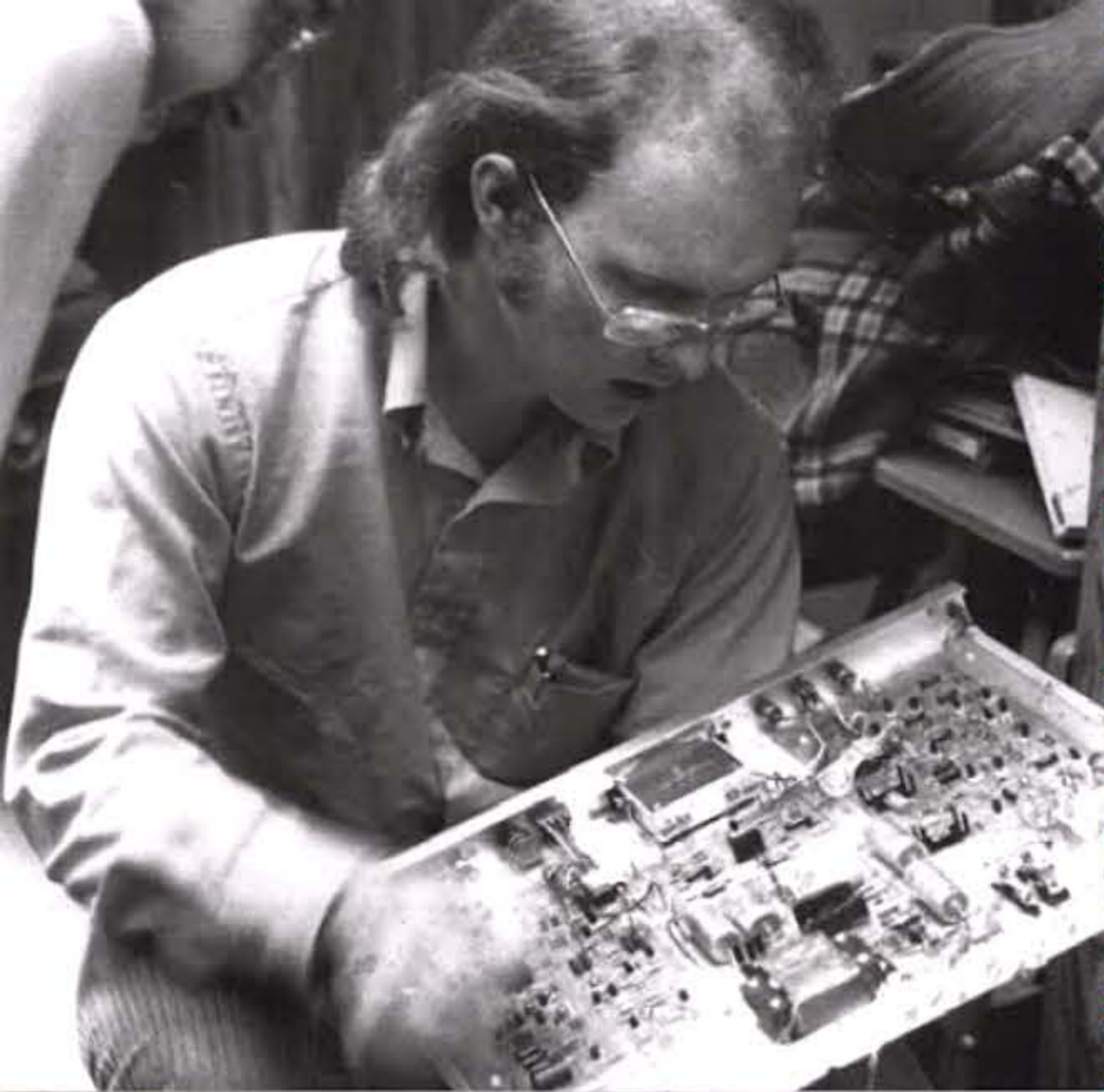
Testé dès 1973, Cyclades entre en service opérationnel en 1975, reliant d'abord 25 ordinateurs des laboratoires d'informatique en France, à Rome et à Londres, puis se connectant à d'autres réseaux du même type, tels Euronet et le NPLnet anglais. Mais en 1978 les pouvoirs publics décideront de l'arrêter pour concentrer tous les efforts sur Transpac.



Cyclades : nœud de réseau Mitra 15 à l'université de Grenoble (1975).

Crédits

P. 153 : Poil / Wikimedia Commons • P. 154 : Archives BNP Paribas ; Droits réservés • P. 158 : Adapté de Wgsimon / Wikimedia Commons • P. 159 : Stanford University • P. 160 : Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk> • P. 161 : David Gesswein (www.pdp8online.com) ; David Gesswein (www.pdp8online.com) • P. 162 : Olivetti ; Matéa Iliéva pour BNP Paribas • P. 163 : Archives historiques Bull ; Archives historiques Bull ; Thierry Dumont • P. 164 : Intel Corporation ; secretlondon123 / Wikimedia Commons ; • P. 165 : Droits réservés ; Dasha Slobozhanina • P. 166 : Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk> • P. 167 : Randall Munroe, xkcd.com ; Andreas F. Borchert • P. 168 : SRI International ; SRI International ; SRI International • P. 169 : National Security Agency • P. 170 : Heart, F., McKenzie, A., McQuillan, J., and Walden, D. Extrait de ARPANET Completion Report, Bolt, Beranek and Newman, Burlington, MA, January 4, 1978 • P. 171 : Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk> • P. 172 : J. Sammet • P. 173 : Antoine de Champeaux • P. 174 : AT&T Archives and History Center • P. 175 : George Chernilevsky / Wikimedia Commons ; Michael Holley / Wikimedia Commons • P. 176 : copyright by Daniel L. Murphy ; Zhaoyu Yong ; Randall Munroe, xkcd.com • P. 177 : Intel corporation ; Appaloosa / Wikimedia Commons • P. 178 : Don Hoefler, Electronic News ; Digital Game Museum / Wikimedia Commons • P. 179 : Archives historiques Bull ; NASA • P. 180 : Nigel Tout / Wikimedia Commons ; Cristian Arezzini ; Seth Morabito / Wikimedia Commons ; Alan Freier • P. 182 : Martin Cooper ; Le Monde, 21/03/1974 - Avec l'aimable autorisation du Groupe Le Monde • P. 183 : Intel • P. 184 : U.S. Department of Energy, Oak Ridge National Laboratory • P. 185 : SD&M ; BROOKS, FREDERICK P., MYTHICAL MAN-MONTH, THE: ESSAYS ON SOFTWARE ENGINEERING, 1st, ©1975. Printed and Electronically reproduced by permission of Pearson Education, Inc., NEW YORK, NEW YORK • P. 186 : Archives IMAG • P. 187 : Xerox corporation ; MaltaGC / Wikimedia Commons ; Droits réservés ; Pierre Mounier-Kuhn ; Frank Heart / UCLA ; Atari ; Droits réservés ; Popular Science ; Pierre Mounier-Kuhn



JULY 1973 60 CENTS

Popular Science

THE *What's New* MAGAZINE

NEW TAKE-ALONG TELEPHONES
Give You Pushbutton Calling to Any Phone Number

Detroit Hot Line - WHAT'S COMING IN THE '74 CARS

INGENIOUS INVENTIONS
From New York's Patent Exposition

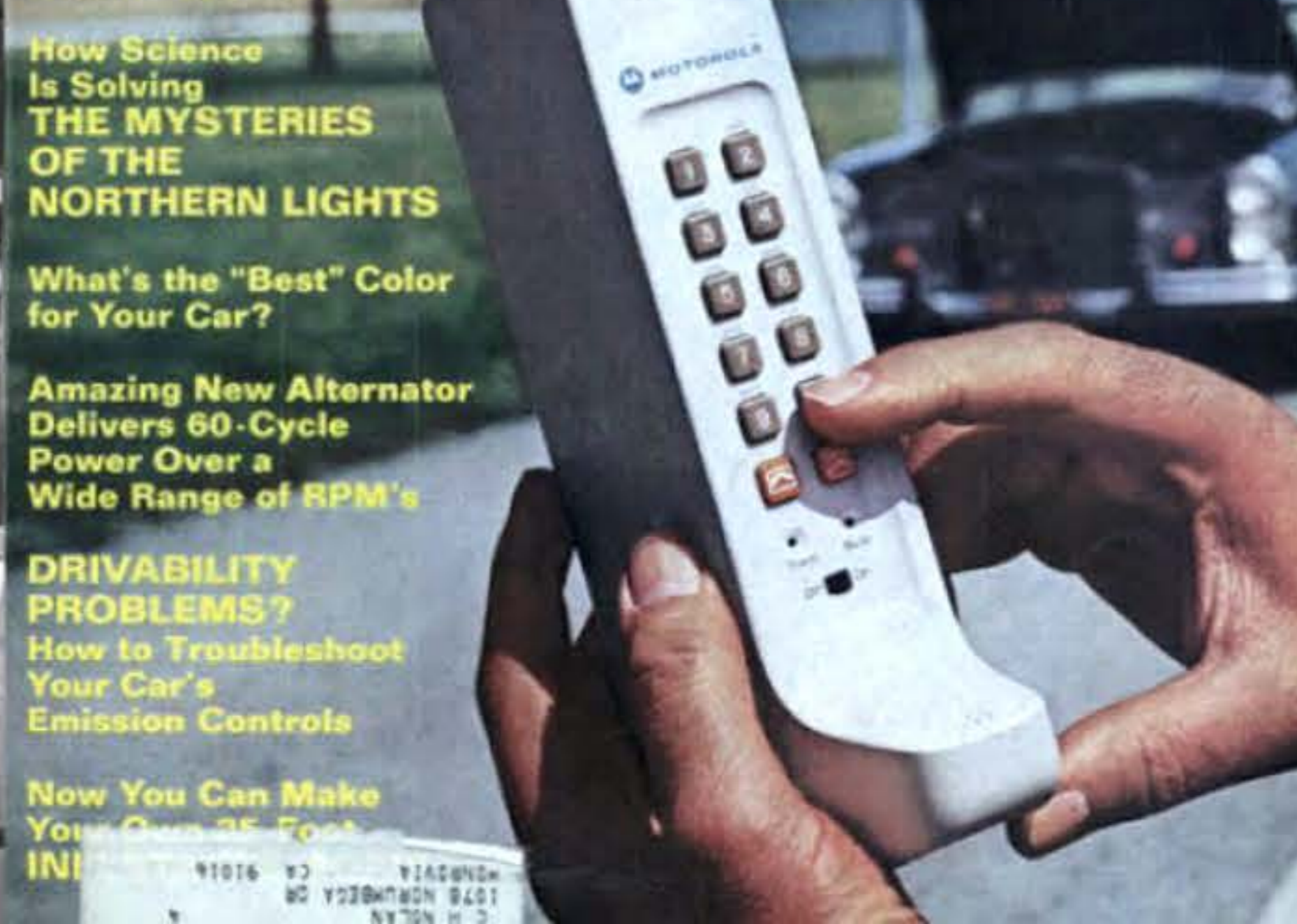
How Science Is Solving **THE MYSTERIES OF THE NORTHERN LIGHTS**

What's the "Best" Color for Your Car?

Amazing New Alternator Delivers 60-Cycle Power Over a Wide Range of RPM's

DRIVABILITY PROBLEMS?
How to Troubleshoot Your Car's Emission Controls

Now You Can Make Your Own 35 Foot INI



W.I.C.

La micro-informatique

Introduction

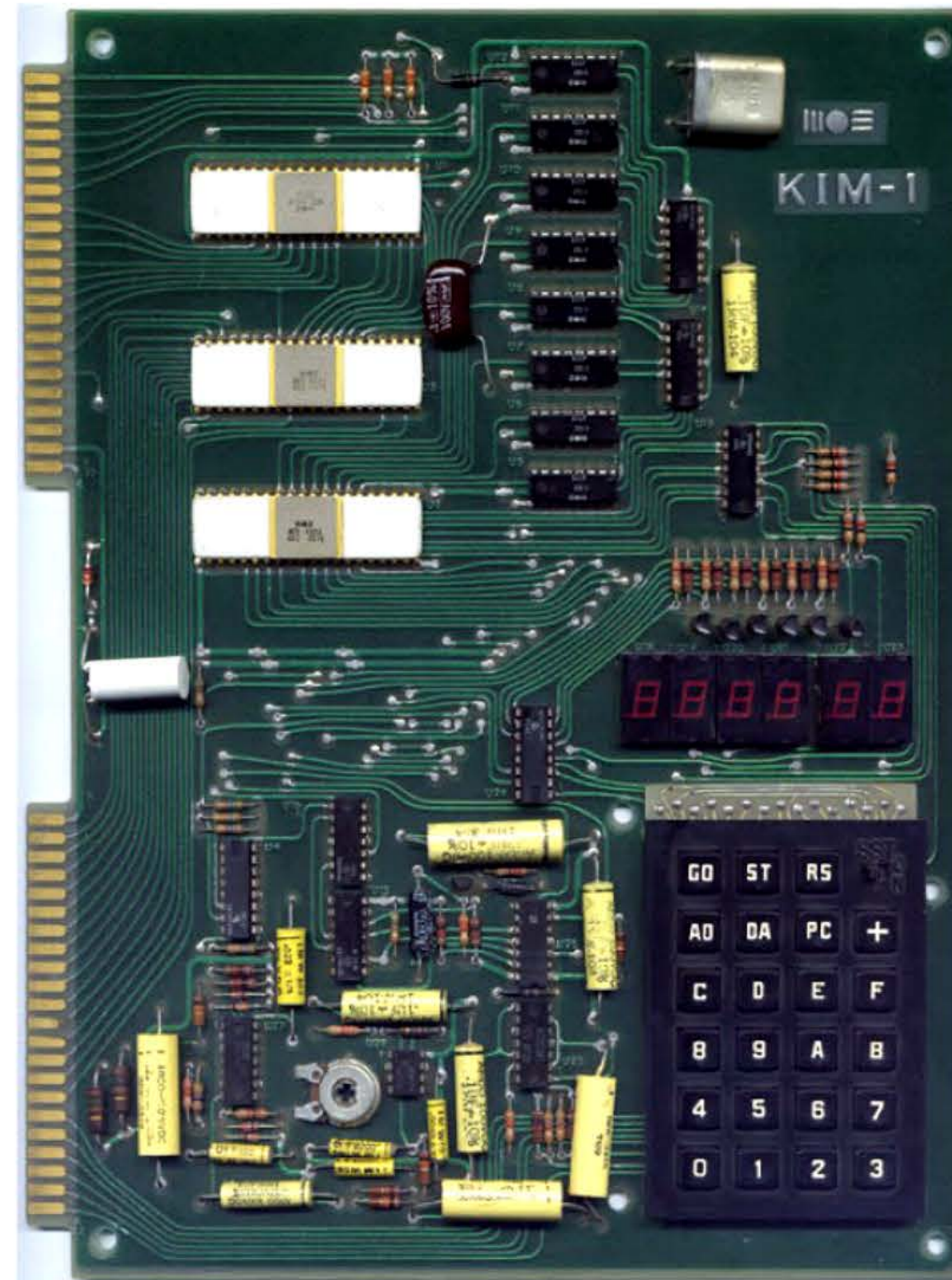
ans les années soixante, trois obstacles barraient l'accès d'un nouveau constructeur au marché des grosses machines :

- le coût de la R&D nécessaire pour mettre au point une gamme complète d'ordinateurs et de périphériques ;
- le coût du développement de programmes, notamment de systèmes d'exploitation ;
- le coût de création du réseau commercial nécessaire pour vendre en masse afin de réaliser des économies d'échelle.

Au cours des années soixante-dix, l'apparition de circuits intégrés relativement bon marché et de fournisseurs indépendants de périphériques et de logiciels réduit les deux premiers obstacles et favorise l'expansion des producteurs de mini-ordinateurs. Ceux-ci, débordant des applications principalement techniques, attaquent le marché « gestion ». Ceux qui savent constituer une force de vente connaissent une croissance très rapide et parviennent à figurer dans le groupe restreint des challengers d'IBM. C'est notamment le cas de Digital Equipment (DEC), qui avec son VAX, premier mini-ordinateur en 32 bits, peut désormais rivaliser avec les bas de gamme des *mainframes*.

Parallèlement, un processus comparable s'amorce avec les micro-ordinateurs.

Il y a plusieurs façons de raconter l'histoire du micro-ordinateur. La moins historique est celle des innombrables sagas qui glorifient les petits génies de la Silicon Valley triomphant face à des géants obtus et myopes. Certes il est toujours intéressant de voir recycler les vieux mythes — en l'occurrence ceux de David contre Goliath ou d'Ulysse contre Polyphème — à la sauce *high-tech*, mais cela nous apprend



Carte à microprocesseur KIM-1 avec clavier hexadécimal et six afficheurs numériques.

plus sur l'image qu'ils ont souhaité projeter que sur les réalités des possibles et des décisions. De plus, l'immense majorité de cette littérature se focalise sur deux *hobbits* devenus eux-mêmes géants, Apple et Microsoft, laissant dans l'ombre des pans entiers de cette grande aventure. Enfin elle suppose rétrospectivement que tous ses héros ont inventé un objet unique, commun, LE micro-ordinateur. Or il y avait plusieurs définitions possibles d'un micro-ordinateur — et c'est resté un sujet de débat entre les amateurs qui veulent à toute force savoir quel était « le premier ».

Bien loin d'un déterminisme technique, les micro-ordinateurs résultent de la rencontre entre plusieurs courants. Le microprocesseur bien sûr, lui-même fruit de la dynamique de l'intégration croissante chez Intel et ses concurrents, de la commande d'un fabricant de calculettes et de l'anticipation par les ingénieurs d'Intel d'un marché plus large, notamment le contrôle industriel. Mais aussi le désir de réaliser de très petits ordinateurs peu coûteux, avec ou sans microprocesseur. Enfin l'existence préalable d'objets, de cultures et de pratiques qui ont familiarisé des centaines de milliers d'utilisateurs à un usage personnel de l'ordinateur. On peut en évoquer au moins trois :

- Le *mini-ordinateur*. Développé depuis les années soixante par des start-ups comme Digital Equipment qui voulaient explicitement inventer un nouveau rapport à l'ordinateur, son prix relativement réduit et sa facilité d'utilisation ont permis à beaucoup d'apprendre à programmer et à inventer des usages inédits de la machine, par exemple de la faire jouer. S'ils restent toujours installés dans des environnements professionnels, ils sont souvent utilisés comme *ordinateurs personnels*.
- Le *terminal distant*. Les systèmes de *time-sharing*, connectant un gros ordinateur à de multiples consoles, offraient à tout individu un accès relativement bon marché à l'informatique et l'impression d'être l'unique utilisateur de la machine.
- Les *machines de bureau*, qui relevaient jadis de la petite mécanique de précision. Des calculettes aux machines dédiées au trai-

tement de texte, elles étaient par nature des appareils personnels de traitement de l'information.

Cette approche contextualisée n'enlève rien à l'inventivité des pionniers du micro-ordinateur, mais elle permet de mieux comprendre l'expansion rapide de celui-ci, dès que sa puissance et ses logiciels en ont fait un produit substituable aux solutions préexistantes. Ses pionniers s'appuyaient eux-mêmes sur des traditions, celle du bricolage électronique remontant aux anciens radioamateurs (bricolage favorisé par l'existence de nombreux magasins de pièces détachées), celle du jeu d'arcade, celle des clubs scientifiques. Et, notamment en Californie, sur des groupes sociaux partageant une « contre-culture » qui promouvait l'innovation locale, « ici et maintenant », et la réappropriation du pouvoir (donc de l'information) par le peuple face aux *Big Brothers* gouvernementaux ou industriels. Ce contexte inspire une kyrielle d'inventeurs et suscite une vague de création d'entreprises. La faiblesse des barrières à l'entrée de ce marché favorise le foisonnement de constructeurs ; la vive concurrence et l'inexpérience commerciale de la plupart des passionnés qui se lancent dans l'aventure expliquent les difficultés de ces PME, malgré la rapide croissance du marché : 149 % par an au niveau mondial entre 1976 et 1982, puis 65 % entre 1982 et 1984 (quatre fois plus que les minis et les *mainframes*). Cette diffusion est due non seulement aux baisses de prix des matériels, mais surtout à la mise au point de logiciels d'application où le contenu « culturel » est aussi important que la performance technique.

Vers 1980 existe une foule de constructeurs de micro-ordinateurs, à l'existence généralement éphémère. On en trouve une dizaine dans un pays moyen comme la France : R2E qui devient Bull-Micral, Alvan, MBC qui a présenté son Alcyane au Sicob 1975, Normerel, Goupil fondé en 1978 à partir de clubs de *hackers*, Léanord, l'une des plus anciennes *start-ups* françaises dans ce secteur, Logabax qui développe ses propres micros puis passe sous le contrôle d'Olivetti, bientôt la start-up grenobloise Symag, et d'autres. S'y ajoutent les grands groupes (Thomson, Matra...) en quête de diversification... et de subventions. Ce *baby-boom* d'entreprises et

d'inventeurs éclate dans tous les pays industrialisés, y compris en Europe de l'Est. Il durera moins d'une décennie, balayé dès le milieu des années 1980 par l'IBM PC et ses clones compatibles. Puis par la concurrence irrésistible des « petits dragons » asiatiques (principalement Taïwan, Singapour et la Corée du Sud) qui construisent sur leur savoir-faire en composants, en électronique grand public et en production à bas prix.

Les mini-ordinateurs ont englouti le marché des petits mainframes dès le début des années 1980, obligeant progressivement les anciens majors de l'informatique à se replier sur les hauts de gamme et les services, ou à fermer boutique (Control Data, Univac, etc.). Un phénomène comparable se produit ensuite avec les micro-ordinateurs. Évènement emblématique de cette nouvelle révolution, Compaq prendra le contrôle de DEC en 1998. Mais le monde de l'informatique aura profondément changé entre temps : non seulement la hiérarchie des constructeurs s'est redistribuée, mais, surtout, les rôles, les enjeux, le terrain même où s'exercent leurs talents techniques et stratégiques ont été bouleversés. L'architecture des unités centrales appartient presque entièrement à un oligopole fermé de fabricants de microprocesseurs, Intel en tête, où IBM n'est qu'un acteur parmi d'autres. Les constructeurs de serveurs et de grosses machines s'efforcent de combiner cette activité avec le service et le logiciel, secteur où règnent Microsoft, SAP et... IBM. Tous ces éléments se sont imbriqués depuis la fin du xx^e siècle dans des réseaux, réalisant la convergence, annoncée de longue date, de l'informatique et des télécommunications.

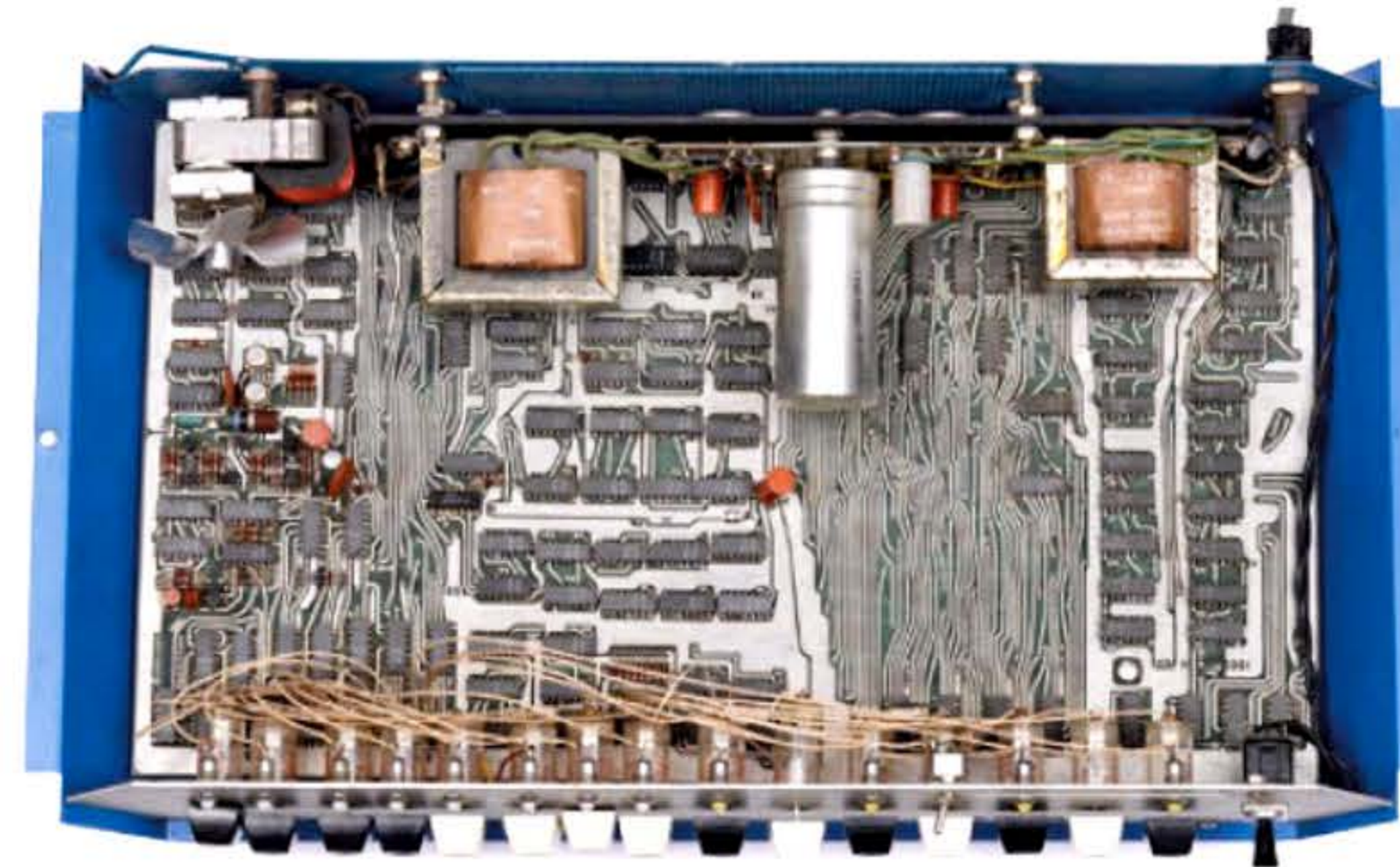
1971 ▶ Kenbak-1

John Blankenbaker conçoit et réalise le Kenbak-1, considéré par plusieurs musées de l'informatique comme le premier ordinateur personnel. Le Kenbak-1 n'a pas de microprocesseur (qui n'est pas encore inventé !) mais une logique de contrôle constituée d'une centaine de circuits intégrés classiques, avec une mémoire de 256 octets et une

vitesse de quelques centaines d'instructions par seconde. Il s'en est vendu 40 exemplaires (à 750 dollars, soit environ 4 000 euros de 2015), principalement à des établissements d'enseignement. Le Kenbak-1 n'est pas le seul « très petit ordinateur » conçu à l'époque. Par exemple en France, une équipe du groupe Thomson a développé l'année précédente une machine comparable, Callisto, projet stoppé quand l'équipe a été transférée à la CII pour participer au projet Mitra 15.



Micro-ordinateur Kenbak-1.



L'ensemble des circuits du Kenbak-1.

1973 ▶ Le Micral de R2E

La société française R2E (Réalizations et études électroniques), créée en 1971, produisait des équipements électroniques sur mesure pour les secteurs médical et nucléaire, dans une culture professionnelle marquée par la mini-informatique. Le responsable



Un micro-ordinateur Micral N.

des études, François Gernelle, répond en juin 1972 à une demande de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) en concevant un petit ordinateur autour du microprocesseur Intel 8008 qui vient d'être commercialisé.

La machine est développée en un temps record, entre septembre et décembre 1972, par une équipe de quatre personnes dans une cave de Chatenay-Malabry. Le programme d'application est écrit et testé sur un Multi-8 de récupération. Les mémoires sont entièrement en circuits intégrés MOS. L'horloge CPU tourne à 0,5 MHz seulement, mais il y a 8 niveaux d'interruption et une structure de pile. Objet de deux brevets mondiaux, le système est livré à

l'INRA le 15 janvier 1973. Rapidement industrialisée, la machine est commercialisée sous le nom de Micral N en avril de la même année. La version de base se vend 8 500 francs (un peu plus de 7 000 euros actuels), soit cinq fois moins qu'un DEC PDP-8. C'est tout de même le prix d'une 2 CV Citroën, ou un mois de salaire d'un ingénieur moyen.

Le Micral est exposé au Sicob 1973, et une publicité parue dans *Electronics Magazine* témoigne d'un effort précoce pour le lancer sur le marché américain. R2E, qui prévoyait de produire 100 Micral par mois, reçoit effectivement 500 commandes en cette première année. Un certain nombre équiperont des unités de production

chimique chez Rhône-Poulenc, d'autres sont installés aux bornes de péage de plusieurs autoroutes en France et en Italie.

Suivant l'apparition de nouveaux microprocesseurs, R2E présentera ensuite des versions successives du Micral, de plus en plus puissantes, bientôt orientées gestion et multi-utilisateurs. Le moniteur d'exploitation Sysmic deviendra Prologue en 1978. Un écran-clavier Sait (marque belge) est ajouté dès 1974, remplaçant le vieux système des télétypes et des cartes perforées ; puis un premier disque dur en 1975, un disque souple Seagate en 1979. Au total, un millier d'exemplaires de tous types de ces machines auront été construits et vendus par R2E à cette date. Manquant de capital, R2E passe alors sous le contrôle de CII-Honeywell-Bull. Celle-ci cessera en 1982 de développer le système original Micral, pour rejoindre le clan des compatibles IBM PC.

Le Micral est considéré comme le premier micro-ordinateur basé sur un microprocesseur. Matériel professionnel conçu pour des professionnels, carrossé dans une boîte d'acier, livré assemblé et prêt à l'emploi, il diffère nettement des micro-ordinateurs commercialisés deux ans plus tard en kit par des hobbyistes californiens. La culture d'informatique industrielle de ses concepteurs se reflète dans sa fiabilité : des Micral N fonctionnaient encore au milieu des années 1990, vingt ans après leur installation !

1973 ▶ Le MCM/70

Une entreprise d'électronique basée à Toronto (Canada), Micro Computer Machines, conçoit un très petit ordinateur voué à l'utilisation personnelle. Assemblé autour d'un Intel 8008 (alors le seul microprocesseur utilisable pour un ordinateur), ce MCM/70 est programmable en langage de haut niveau APL. Le prototype fait l'objet d'une démonstration publique en mai 1973 en vue de sa commercialisation, puis est présenté à Paris au Sicob où ses auteurs découvrent l'existence du Micral. À quelques semaines près, les deux machines sont parfaitement contemporaines.

1974 ▶ Carte à puce mémoire

Roland Moreno (1945-2012) dépose ses premiers brevets pour une carte à puce mémoire incorporant des dispositifs de sécurisation (protection des données stockées, code secret...). Une version simple, contenant des unités consommables, est adoptée dès la fin des années 1970 par l'administration des télécommunications, qui y trouve une bonne solution pour sécuriser les téléphones publics. Cette première application de masse permet à la carte à puce de décoller sur le plan industriel et d'en financer les développements ultérieurs. L'entreprise dirigée par Roland Moreno et titulaire de ses brevets, Innovatron, restera pendant trente ans un acteur central de l'innovation dans ce nouveau secteur.



Roland Moreno en 1994, présentant une carte téléphonique « collector » produite pour le 20^e anniversaire de son premier brevet, dont elle reproduit le schéma.

1975 ▶ L'avènement des microprocesseurs

L'Intel 8008, commercialisé en 1972, était le premier circuit intégrant sur une seule « puce » les éléments d'un processeur central d'ordinateur, capable de traiter des mots de 8 bits (octets). Rapidement des concurrents apparaissent : Motorola 6800, Mostek 6502, Zilog Z80. Intel réagit vite en lançant un successeur compatible, le 8080. Cette offre diversifiée suscite, en 1975, une kyrielle de réalisations de micro-ordinateurs à travers le monde.

La saga des micro-ordinateurs ne doit pas faire oublier les autres utilisations qui ont fourni aux premiers microprocesseurs des débouchés bien plus massifs : contrôleurs de périphériques, d'appareils de laboratoires ou de matériels médicaux, automatismes industriels...

1975 ▶ Premiers kits de micro-ordinateurs

À gauche :

Publicité pour une carte micro-ordinateur, parue en mai 1976 dans le magazine BYTE. Les entrées se font avec un clavier hexadécimal et l'affichage se résume à six afficheurs sept-segments ; la mémoire comporte 1 ko de RAM et 2 ko de ROM. De très nombreux systèmes identiques étaient vendus (Nascom 1, Mk-14, H8, SWTPC 6800...), soit « prêts à l'emploi », soit le plus souvent en kit, à souder soi-même.

À droite :

Couverture de janvier 1975 présentant l'Altair, sa construction étant détaillée en pages intérieures. L'unique exemplaire existant envoyé au magazine ayant été perdu par la poste, la photo de couverture a été faite avec une maquette vide dont le panneau frontal n'avait qu'un rapport lointain avec l'original !

- A COMPLETE MICROCOMPUTER
- ONLY \$245
- NOT A KIT!
 - FULLY ASSEMBLED
 - FULLY TESTED
 - FULLY WARRANTED
- OPERATES WITH
 - KEYBOARD & DISPLAY
 - AUDIO CASSETTE
 - TTY
- KIM-1 INCLUDES
 - HARDWARE
 - KIM-1 MODULE WITH
 - 6502 μ P ARRAY
 - 6530 ARRAY (2)
 - 1 K BYTE RAM
 - 15 I/O PINS
 - SOFTWARE
 - MONITOR PROGRAMS (STORED IN 2048 ROM BYTES)
 - FULL DOCUMENTATION
 - KIM-1 USER MANUAL
 - SYSTEM SCHEMATIC
 - 6500 HARDWARE MANUAL
 - 6500 PROGRAMMING MANUAL
 - 6500 PROGRAMMER'S REFERENCE CARD

USE THIS FORM TO ORDER YOUR KIM-1 TODAY!

Send to: **MOS TECHNOLOGY, INC.**
KIM-1, 950 Rittenhouse Rd.
Norristown, PA 19401

Please ship me _____ KIM-1 Systems at a cost of \$245.00 per system plus \$4.50 for shipping, handling and insurance (U.S. and Canada only) PA residents add 6% sales tax. (International sales subject to U.S. Commodity Control Regulations. Add \$20.00 per system for shipping and handling of international orders.)

My check or money order is enclosed for \$ _____

Name _____

Address _____

City _____ State _____ Zip _____

Les premiers plans d'ordinateurs à base de microprocesseurs paraissent dans des revues spécialisées, et les amateurs qui veulent les réaliser doivent se procurer eux-mêmes toutes les pièces. Ed

HOW TO "READ" FM TUNER SPECIFICATIONS

Popular Electronics

WORLD'S LARGEST-SELLING ELECTRONICS MAGAZINE JANUARY 1975/75¢

PROJECT BREAKTHROUGH!

World's First Minicomputer Kit to Rival Commercial Models...

"ALTAIR 8800" SAVE OVER \$1000

ALSO IN THIS ISSUE:

- An Under-\$90 Scientific Calculator Project
- CCD's—TV Camera Tube Successor?
- Thyristor-Controlled Photoflashers

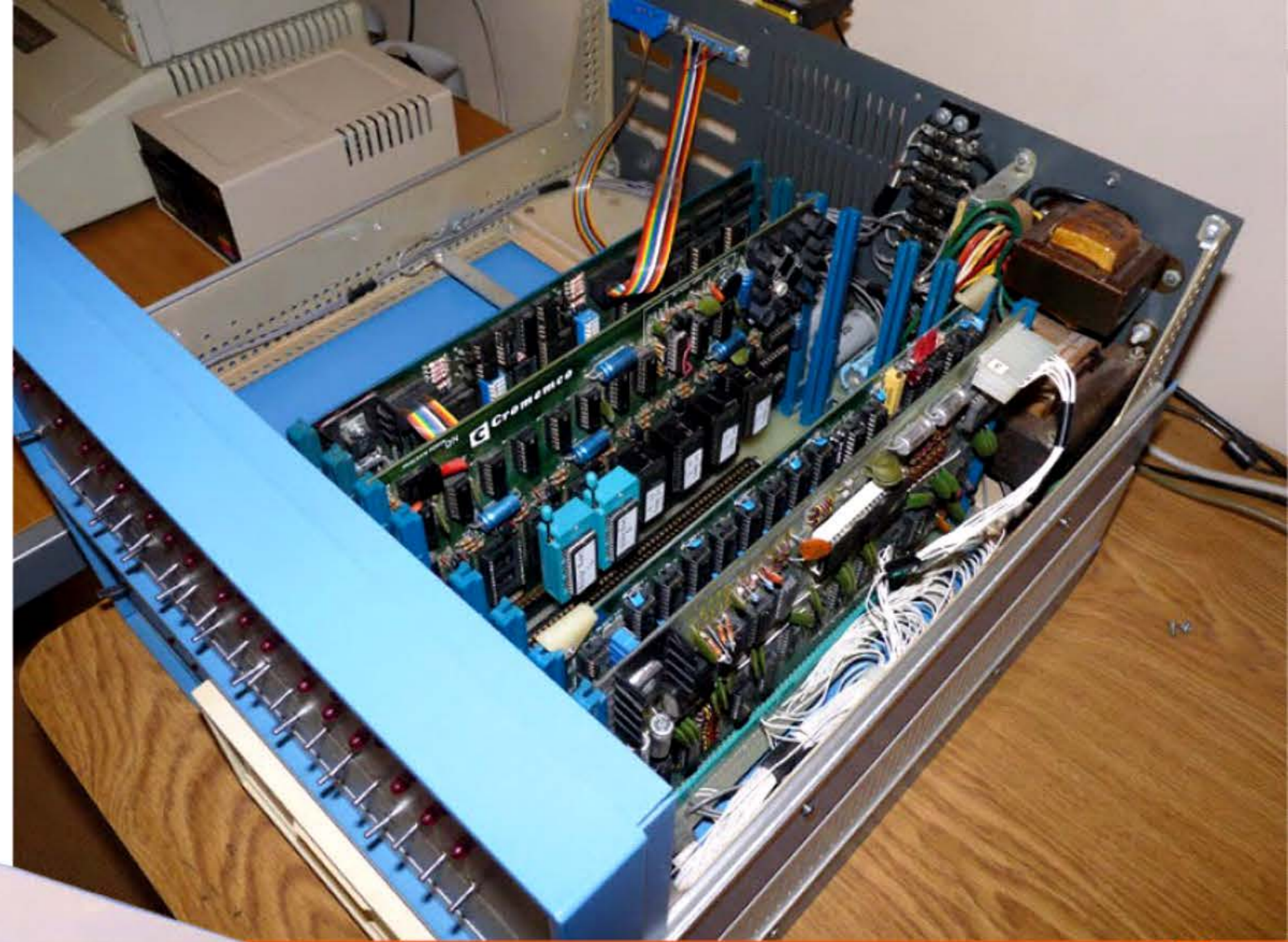
TEST REPORTS:

- Technics 200 Speaker System
- Pioneer RT-1011 Open-Reel Recorder
- Tram Diamond
- Edmund Scientific
- Hewlett-Packar

Roberts (1941-2010) et sa société d'électronique MITS leur facilitent la tâche en présentant un micro-ordinateur en kit basé sur le 8080 d'Intel : l'Altair 8800. Dans sa version de base, l'Altair a quelques

interrupteurs et diodes lumineuses sur le panneau avant, ainsi que 256 octets de mémoire extensibles à 8 ko pour un prix presque égal à celui du kit entier. Sans mémoire de stockage (disponible plus tard en option sous forme d'un lecteur de bande papier), l'utilisateur doit entrer son programme « aux clés », via les interrupteurs à chaque allumage. Rudimentaire, peu puissant, compliqué à utiliser, l'Altair met pourtant à la disposition de milliers de passionnés ce qui n'était auparavant visible que dans des laboratoires, pour un prix de \$400 (soit environ 1 500 euros en 2015).

Alors que MITS tablait sur quelques centaines de ventes par an, le premier article décrivant l'Altair, paru dans un magazine d'électronique en janvier 1975, déclencha une frénésie d'achats. Les commandes affluèrent au rythme d'environ un millier *par mois* (Ed Roberts en reçut près de 400 *le premier jour*), faisant de l'Altair le premier micro-ordinateur à succès populaire. Elles révélèrent une foule d'individus, souvent très jeunes, qui ne se satisfaisaient pas



L'Altair 8800 original avec ses diodes et ses interrupteurs de commande.

des systèmes partagés ou des appareils en réseau et voulaient un ordinateur à eux. Les amateurs prennent le risque d'envoyer un chèque à une compagnie inconnue, dans l'espoir de recevoir une boîte de composants qui, une fois soudés, leur permettront simplement de faire clignoter quelques diodes en fonction d'instructions péniblement entrées via des interrupteurs et d'élaborer quelques programmes très simples.

L'intérieur d'un Altair ;
les composants sont
à souder soi-même...



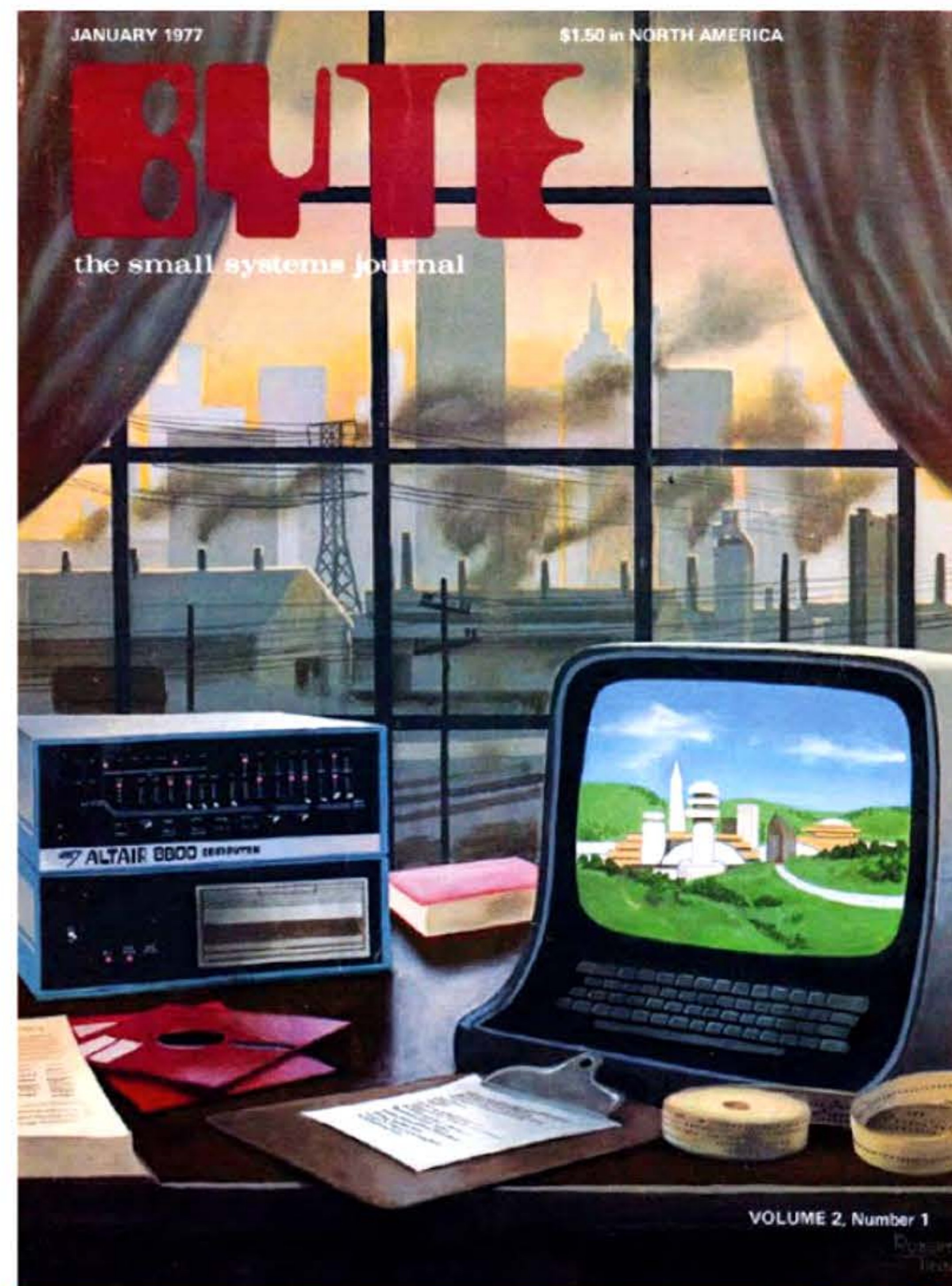
1975 ▶ Smaky, le petit Suisse

Jeune directeur du Laboratoire de calculatrices digitales à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Jean-Daniel Nicoud développe un SMART KeYboard (Smaky) autour du processeur Intel 8080. L'idée initiale est de caser tout un ordinateur dans le clavier, et de l'utiliser comme terminal graphique connecté aux mini-ordinateurs Digital Equipment, firme avec laquelle travaille Nicoud. Rapidement les applications se diversifient tandis que les modèles de Smaky se multiplient.

Une entreprise, Epsitec, est fondée pour les produire et les vendre à partir de 1978. Les Smaky sont fournis avec des logiciels. Son excellent système d'exploitation fait du Smaky un ordinateur puissant pour l'époque : dès le Smaky 8 (1980), il devient multitâche et dispose d'une interface graphique avec fenêtres. C'est pour le Smaky que J.-D. Nicoud met au point les souris industrialisées plus tard par Logitech. Une version portable est disponible avec une carte mère dans le clavier.

1975 ▶ Revues informatiques

La micro-informatique, ce n'est pas seulement les micro-ordinateurs. De nombreux magazines ont été lancés, offrant tests de matériels, listings complets de programmes — souvent de jeu —, schémas électroniques de cartes d'extension, conseils de montage, sans oublier les publicités et les petites annonces... À une époque où le web n'existait pas et où Internet se limitait à quelques laboratoires américains, les passionnés attendaient régulièrement leur numéro, fer à souder dans une main et clavier (hexadécimal) dans l'autre, afin de découvrir les nouveautés et de programmer les derniers jeux à la mode. Entre le fanzine et la revue technique, ces périodiques ont joué un rôle important dans la constitution de communautés d'utilisateurs-développeurs, d'un marché et d'une culture micro-informatique.



Couverture de *BYTE* de janvier 1977. On y retrouve un Altair 8800 avec une extension pour disquettes, deux disquettes et deux bandes de papier perforé portant les programmes.



Couverture du magazine *l'Ordinateur Individuel* de juillet/août 1979.

Les plus connus en France ont pour nom *Dr. Dobb's Journal*, *BYTE*, *l'Ordinateur Individuel*, *Microsystèmes*, *l'Ordinateur de Poche*, *Science et Vie Micro*...



Paul Allen et Bill Gates en 1970, travaillant sur un terminal de leur lycée.

1975 ▶ Microsoft

Passionnés d'informatique qu'ils pratiquèrent au lycée sur des terminaux en temps-partagé, Paul Allen et Bill Gates voient arriver l'Altair avec la conviction que l'ère de l'ordinateur personnel commence. Ils écrivent en deux mois un interpréteur BASIC et en proposent la distribution à MITS. C'est le début de l'entreprise Microsoft — appelée au départ Micro-Soft. Elle se développe les années suivantes en proposant des logiciels, d'abord de développement, puis applicatifs, pour les divers micro-ordinateurs disponibles. Bill Gates se distingue aussi en étant l'un des premiers développeurs confrontés au souci du piratage de ses logiciels (notamment de son interpréteur BASIC



L'équipe de Microsoft en décembre 1978. Bill Gates est en bas à gauche et Paul Allen en bas à droite.

pour l'Altair) par les membres de la communauté *geek*; et pour avoir protesté dans une lettre ouverte publiée en 1976 par plusieurs magazines d'informatique. Microsoft n'est qu'une petite entreprise de logiciel parmi bien d'autres, jusqu'à ce qu'IBM la choisisse pour réaliser le système d'exploitation de l'IBM PC. Décision qui, en une décennie, propulsera la firme de Seattle parmi les géants mondiaux.

Lettre de Bill Gates aux « hobbyistes » se plaignant du piratage de son BASIC pour l'Altair.

February 3, 1976

An Open Letter to Hobbyists

To me, the most critical thing in the hobby market right now is the lack of good software courses, books and software itself. Without good software and an owner who understands programming, a hobby computer is wasted. Will quality software be written for the hobby market?

Almost a year ago, Paul Allen and myself, expecting the hobby market to expand, hired Monte Davidoff and developed Altair BASIC. Though the initial work took only two months, the three of us have spent most of the last year documenting, improving and adding features to BASIC. Now we have 4K, 8K, EXTENDED, ROM and DISK BASIC. The value of the computer time we have used exceeds \$40,000.

The feedback we have gotten from the hundreds of people who say they are using BASIC has all been positive. Two surprising things are apparent, however. 1) Most of these "users" never bought BASIC (less than 10% of all Altair owners have bought BASIC), and 2) The amount of royalties we have received from sales to hobbyists makes the time spent of Altair BASIC worth less than \$2 an hour.

Why is this? As the majority of hobbyists must be aware, most of you steal your software. Hardware must be paid for, but software is something to share. Who cares if the people who worked on it get paid?

Is this fair? One thing you don't do by stealing software is get back at MITS for some problem you may have had. MITS doesn't make money selling software. The royalty paid to us, the manual, the tape and the overhead make it a break-even operation. One thing you do do is prevent good software from being written. Who can afford to do professional work for nothing? What hobbyist can put 3-man years into programming, finding all bugs, documenting his product and distribute for free? The fact is, no one besides us has invested a lot of money in hobby software. We have written 6800 BASIC, and are writing 8080 APL and 6800 APL, but there is very little incentive to make this software available to hobbyists. Most directly, the thing you do is theft.

What about the guys who re-sell Altair BASIC, aren't they making money on hobby software? Yes, but those who have been reported to us may lose in the end. They are the ones who give hobbyists a bad name, and should be kicked out of any club meeting they show up at.

I would appreciate letters from any one who wants to pay up, or has a suggestion or comment. Just write me at 1180 Alvarado SE, #114, Albuquerque, New Mexico, 87108. Nothing would please me more than being able to hire ten programmers and deluge the hobby market with good software.

Bill Gates

Bill Gates
General Partner, Micro-Soft

1975 ▶ Système d'exploitation CP/M

Gary Kildall (1942-1994) développe CP/M (*Control Program for Micro-computers*) qui deviendra le premier système d'exploitation standard sur les micro-ordinateurs naissants. On lui doit entre autres le système de nommage des disques (A:, B:, C:) et des fichiers incluant une extension sur trois lettres indiquant le type. Lors de la conception du PC, IBM, à la recherche d'un système d'exploitation existant, se tournera d'abord vers Kildall pour porter CP/M sur le nouvel ordinateur. Un désaccord sur les conditions de la licence amènera le développeur à rompre les discussions, laissant le champ libre à Microsoft et à son MS-DOS. Il est aussi possible que CP/M ait semblé potentiellement trop puissant, donc porteur d'une possible concurrence interne entre l'IBM PC et la ligne de petits systèmes IBM existants.

d'instructions plus complet, meilleur organisation des registres et des interruptions, interfaçage simplifié... Le Z80 dominera le marché jusqu'au milieu des années 1980, en étant l'un des micro-processeurs 8 bits les plus présents dans de nombreux modèles de micro-ordinateurs. Lui et ses descendants sont encore utilisés dans des systèmes embarqués ne nécessitant pas la puissance des microprocesseurs actuels.

Publicité pour le Z80 (mai 1976).

1976 ▶ Microprocesseur Z80

Gravés à 10 µm, les processeurs 8 bits du milieu des années 1970 ont environ 10 000 transistors cadencés à 2 MHz. On compte alors des dizaines de fabricants de microprocesseurs. En 1974, Federico Faggin, un des créateurs du microprocesseur 4004, quitte Intel et fonde Zilog. Deux ans plus tard, la société lance le microprocesseur Z80, compatible avec le 8080 mais incluant de nombreuses améliorations : jeu

The Battle of the 80's

Think of your next microcomputer as a weapon against horrendous inefficiencies, outrageous costs and antiquated speeds. We invite you to peruse this chart.


Features:	8080A	Z80-CPU	Features:	8080A	Z80-CPU
Power Supplies	+5, -5, +12	+5	Instructions	78	156*
Clock	24, +12 Volt	14.5 Volt	OP Codes	244	696
Standard Clock Speed	500 ns	400 ns	Addressing Modes	7	11
Interface	Requires 8222, 8228 & 8224	Requires no other logic and includes dynamic RAM Refresh	Working Registers	8	17
Interrupt	1 mode	3 modes; up to 64 faster	Throughput	Up to 5 times greater than the 8080A	
Non-maskable interrupt	No	Yes	Program Memory Space	Generally 50% less than the 8080A	

*Including all of the 8080A's instructions.

Announcing Zilog Z-80 microcomputer products. With the next generation, the battle is joined.

The Z-80: A new generation LSI component set including CPU and I/O Controllers.
The Z-80: Full software support with emphasis on high-level languages.
The Z-80: A floppy disc-based development system with advanced real-time debug and in-circuit emulation capabilities.
The Z-80: Multiple sourcing available now.

Your ammunition: A chip off a new block.




A single chip, 8-channel processor arms you with a super-set of 156 instructions that include all of the 8080A's 78 instructions with total software compatibility. The new instructions include 1, 4, 8 and 16-bit operations. And that means less programming time, less paper and less end costs.

And you'll be in command of powerful instructions. Memory-to-memory or memory-to-I/O block transfers and searches, 16-bit arithmetic, 9 types of rotates and shifts, bit manipulation and a legion of addressing modes. Along with this army you'll also get a standard instruction speed of 1.6 µs and all Z-80 circuits require only a single 5V power supply and a single phase 5V clock. And you should know that a family of Z-80 programmable circuits allow for direct interface to a wide range of both parallel and serial interface peripherals and even dynamic memories without other external logic.

With these features, the Z80-CPU generally requires approximately 50% less memory space for program storage

On standby: User support.

Zilog conducts a wide range of strategic meetings and design oriented workshops to provide the know-how required to implement the Z-80 Microcomputer Product line into your design. All hardware, software and the development system are thoroughly explained with hands-on experience in the classroom. Your Zilog representative can provide you with further details on our user support program.




Mighty weapons against an entrenched: The Z-80 development system.

You'll be equipped with performance and versatility unmatched by any other microcomputer development system in the field. Thanks to a floppy disc operating system in alliance with a sophisticated Real-Time Debug Module.

The Zilog battalion includes:

- Z80-CPU Card
- 16K Bytes of RAM Memory, expandable to 60K Bytes
- 4K Bytes of ROM/RAM Monitor software
- Real-Time Debug Module and In-Circuit Emulation Module
- Dual Floppy Disc System
- Optional I/O Ports for other High Speed Peripherals are also available.
- Complete Software Package including Z-80 Assembler, Editor, Disc Operating System, File Maintenance and Debug



Reinforcements: A reserve of technological innovations.


The Zilog Z-80 brings to the battle-front new levels of performance and ease of programming not available in second generation systems. And while all the others busy themselves with over-taking the Z-80, we're busy on the next generation—continuing to demonstrate our pledge to stay a generation ahead.

The Z-80's troops are the specialists who were directly responsible for the development of the most successful first and second generation microprocessors. Nowhere in the field is there a corps of seasoned veterans with such a distinguished record of victory.

Signal us for help. We'll dispatch appropriate assistance.

On standby: Software support.

All this is supported by a contingent of software including: resident microcomputer software, time sharing programs, libraries and high-level languages such as PL/Z.




Zilog MICROCOMPUTERS

170 Santa Street, Los Altos, California 94022
(415) 941-5055, (708) 950-370-7905

Circle 33 on reader service card
AN AFFILIATE OF EXXON ENTERPRISES INC.

BEYOND THE GARDEN OF WEAPONS IS YOURS.

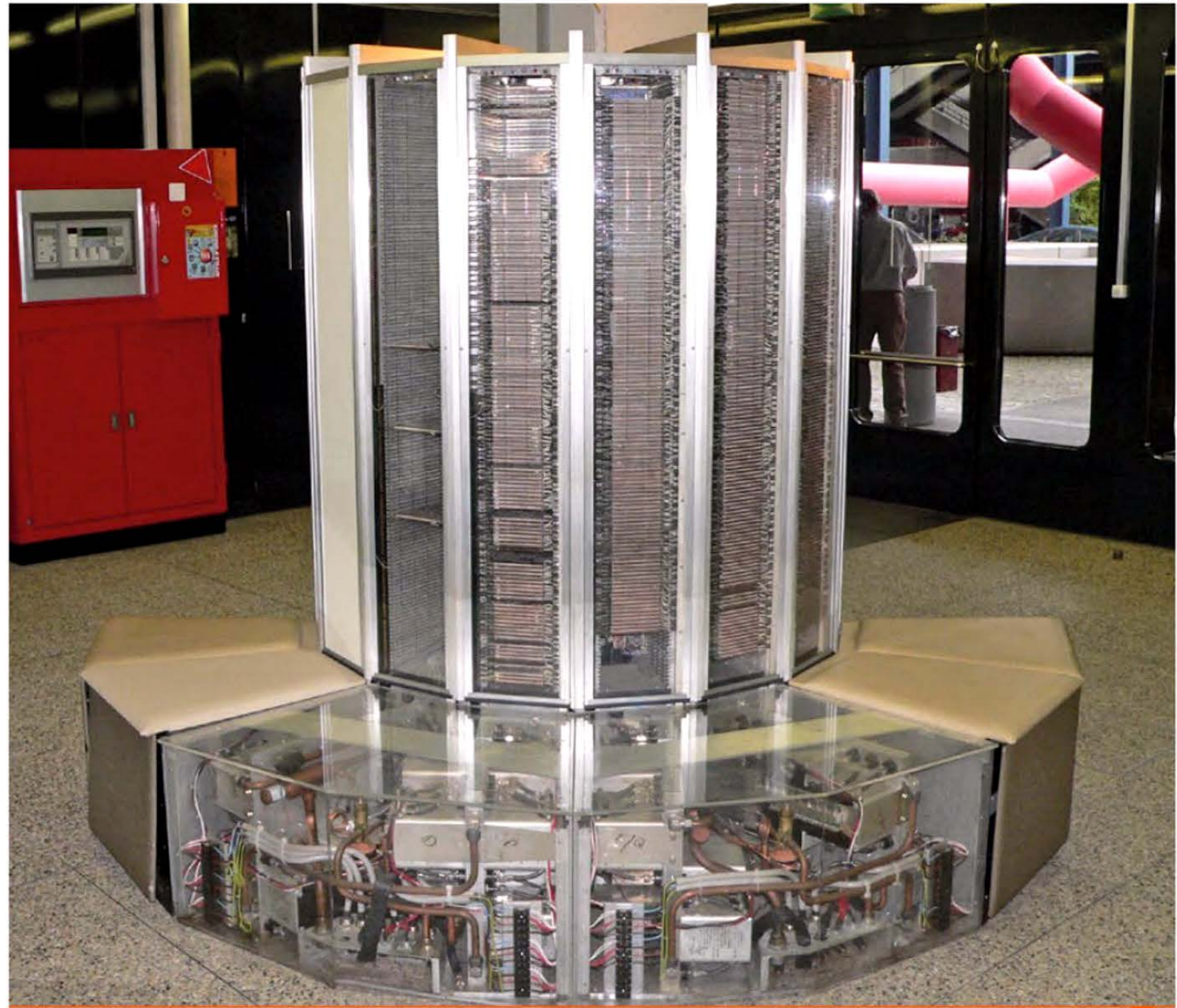


l'IBM 3800. Xerox reprendra alors les travaux de Starkweather pour commercialiser sa propre imprimante l'année suivante, la Xerox 9700.

En 1985, Apple lancera à un prix raisonnable la LaserWriter, première imprimante laser de bureau partageable entre plusieurs ordinateurs et utilisant le nouveau langage de description de page PostScript. La combinaison de l'interface graphique du Macintosh et de l'impression laser en réseau révolutionnera la PAO (publication assistée par ordinateur) en permettant à de toutes petites structures (association, cabinets d'architectes, TPME...) d'imprimer elles-mêmes des documents de qualité professionnelle.

1976 ▶ Cray I

Opposé aux orientations techniques prises par Control Data, Seymour Cray part en 1972 fonder sa propre entreprise, poursuivant son idée de réaliser l'ordinateur le plus rapide du monde. Après des années de développement, il présente le superordinateur Cray I, machine révolutionnaire utilisant avec succès l'architecture vectorielle, et de forme cylindrique pour minimiser les délais de propagation entre circuits. Entièrement à base de circuits intégrés classiques — les microprocesseurs n'étant pas assez rapides —, il coûte plus de cinq millions de dollars (l'équivalent de plus de 20 millions en 2015) pour une puissance d'environ 80 mégaflops (million d'opérations en virgule flottante par seconde). Soit la puissance qu'aura un microprocesseur Intel Pentium de 1992 et mille fois moins qu'un microprocesseur de 2015.



Cray-1 en exposition dans le hall de l'EPFL.



Alors que les prévisions étaient d'une douzaine de commandes, plus de 80 exemplaires seront vendus, renforçant la célébrité de Seymour Cray dans le milieu informatique. Dans les années 1990, après la chute du communisme et la fin de la guerre froide, la baisse des dépenses militaires et la concurrence de puissantes stations de travail fragiliseront les constructeurs de superordinateurs. Cependant, malgré des rachats successifs, l'entreprise Cray Research restera à la pointe du développement sur ce créneau. Ainsi, en novembre 2012, l'ordinateur le plus puissant du monde était le Cray Titan, installé au laboratoire national d'Oak Ridge (États-Unis), avec une performance d'environ 20 pétaflops, vingt millions de milliards d'opérations en virgule flottante par seconde.

La salle informatique du CERN en 1983 avec ses superordinateurs.



1977 ▶ Apple II

Steve Jobs (1955-2011), pour la partie commerciale, et Steve Wozniak, pour la partie technique, fondent la compagnie Apple en 1976 et commercialisent leur premier modèle, l'Apple I; la carte-mère portant le microprocesseur est vendue assemblée, mais l'utilisateur doit ajouter le boîtier, le clavier, l'alimentation et l'écran. En 1977, ils sortent



Steve Wozniak et Steve Jobs vers 1978 travaillant sur des Apple II.

Invitation pour la première réunion du Homebrew Computer Club de Fred Moore à Steve Dompier indiquant « qu'il y aura d'autres monteurs d'Altair ».

Steve

2/17/75

AMATEUR COMPUTER USERS GROUP
HOMEBREW COMPUTER CLUB . . . you name it.

Are you building your own computer? Terminal? T V Typewriter? I/O device? or some other digital black-magic box?

Or are you buying time on a time-sharing service?

If so, you might like to come to a gathering of people with like-minded interests. Exchange information, swap ideas, talk shop, help work on a project, whatever . . .

We are getting together Wednesday nite, March 5th, 7 pm at the home of Gordon French 614 18th Ave., Menlo Park (near Marsh Road).

If you can't make it this time, drop us a card for the next meeting.

Hope you can come. There will be other Altair builders there. See ya there, Fred Moore

The Texas Instruments Home Computer gives you a tutor, an accountant, a librarian, a file clerk and a pro football team in your own home.

Circle 351 on inquiry card.

Publicité pour le TI-99/4 (mai 1980).

Publicité pour le TRS-80 modèle III avec l'écrivain Isaac Asimov (janvier 1983).

"Radio Shack's TRS-80® Computer Is the Smartest Way to Write."

Our word processing system changed Isaac Asimov's mind about writing—and he's a renowned science and science fiction author! But you don't have to be an author to use a TRS-80. If you prepare memos, letters and reports—do what Isaac did. It will change your mind, too.

"I may never use a typewriter again!" Isaac likes the time he saves using SuperSCRIPSI™ (26-1590, \$199), our newest word processing program. "For example, I can assign frequently-used words and phrases to a user-defined key. So whenever I press that key, the word or phrase is displayed instantly!"

"SuperSCRIPSI gives me the advanced features I need, including true proportional spacing for even right and left margins, and automatic pagination." For professional-looking letters, SuperSCRIPSI supports underline, bold face, super and subscripts, and multiple column printing.

"A professional computer, too." Add VisiCalc™ (26-1569, \$199) for fast and accurate planning and forecasting. Or choose from a variety of other personal, management or entertainment programs, too.

"Surprisingly affordable!" This system includes the TRS-80 Model III computer with a built-in disk drive (26-1065), and the new DMP-200 dot-matrix printer (26-1254) that prints your documents correction-free at 520 words per minute and features a word processing mode for superb-looking correspondence. It has a graphics and data processing mode, too! With cable (26-1401), it all comes to just \$2687! Try it out today at a Radio Shack Computer Center, store or participating dealer near you—and be sure to ask to see our other TRS-80s, too.

Radio Shack
The biggest name in little computers™
A DIVISION OF TANDY CORPORATION

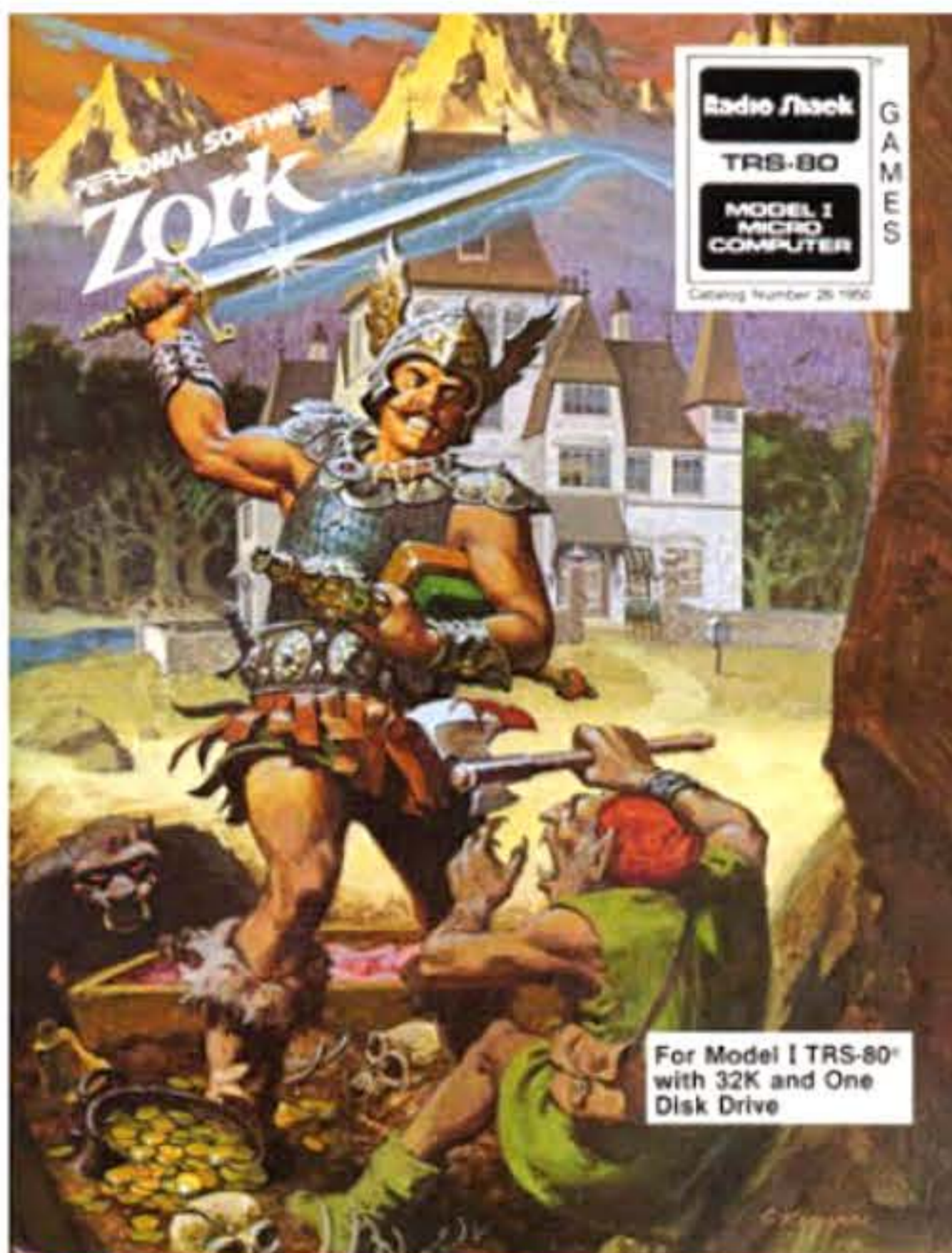
Send me a free TRS-80 Computer Catalog today!

Radio Shack Dept. 83-A-140 300 One Tandy Center Fort Worth, Texas 76102

NAME _____ PHONE _____
ADDRESS _____
CITY _____ STATE _____ ZIP _____

Circle 351 on inquiry card.

1977 ▶ Premiers jeux d'aventure



Boîte du jeu d'aventure Zork I illustrant des éléments de l'histoire même si le programme est entièrement textuel.



Écran d'accueil de Mystery House, premier jeu d'aventure graphique sorti en 1980 sur Apple II.

Le premier jeu d'aventure textuel, aussi appelé fiction interactive, est créé par William Crowther. Passionné de spéléologie et amateur du jeu de rôles Donjons & Dragons, Crowther développe en 1976 *Colossal Cave Adventure* afin de pouvoir distraire ses enfants lors de leurs fréquentes visites suite à son divorce. Le jeu consiste principalement en l'exploration d'un univers souterrain, inspiré de véritables cavernes cartographiées par Crowther, peuplé de quelques créatures magiques. Le logiciel est développé en Fortran sur un mini-ordinateur PDP-10 et est bien sûr dépourvu de graphismes, se contentant de descriptions textuelles et acceptant des commandes simples en langage naturel (*pick key, enter building, open door...*). Le programme est mis à disposition de tout le monde via Internet et un étudiant de Stanford, Don Wood, demande à Crowther la permission de le reprendre, de le déboguer et de l'étendre. Il va ainsi considérablement élargir le terrain de jeu et fortement augmenter la composante « magique » (créatures, objets, trésors...) et le nombre d'énigmes.

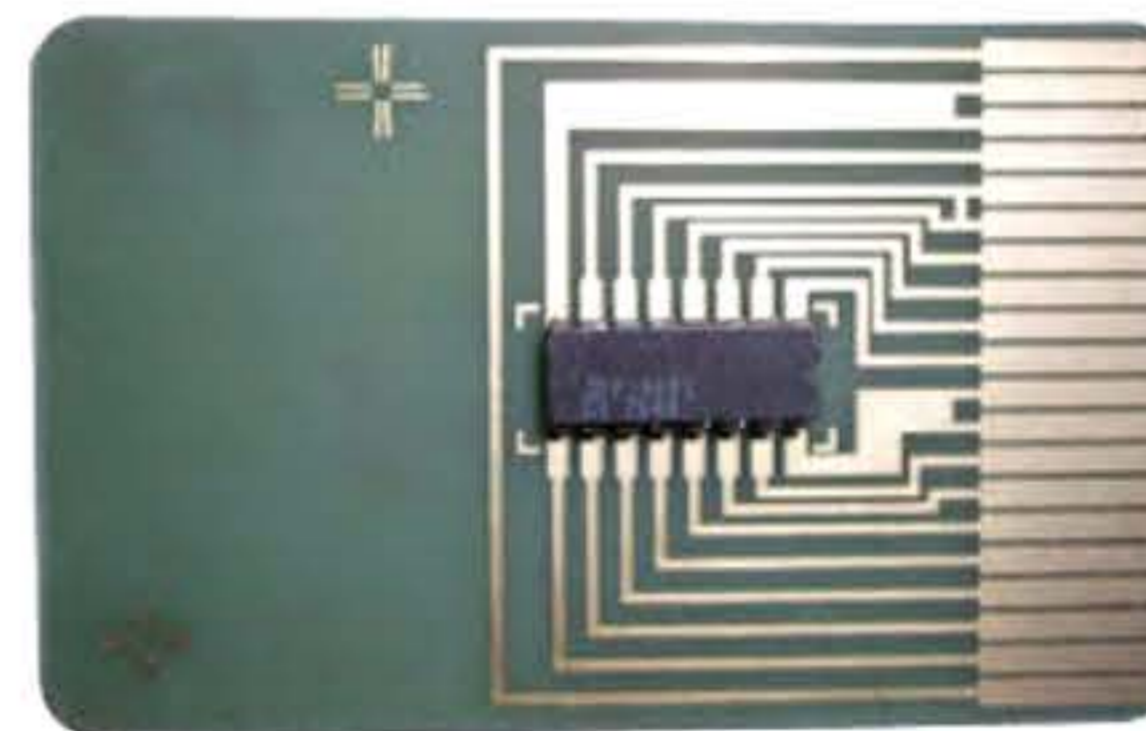
Plusieurs maisons d'édition de logiciels de jeu d'aventure pour micro-ordinateurs seront créées à la suite de la diffusion de *Colossal Cave Adventure* et contribueront ainsi au succès de ces machines parmi les amateurs : Scott Adams fondera Adventure International dont la douzaine de titres se vendra à plusieurs millions d'exemplaires sur TRS-80, Apple II, Atari ou Commodore ; plusieurs étudiants du MIT s'inspireront de l'aventure originale pour écrire

la trilogie *Zork* et la commercialiser via leur propre entreprise Infocom ; Roberta et Ken Williams lanceront la mode des aventures graphiques (*Mystery House, King Quest*) avec Sierra Online.

Ce style de jeu s'est constamment développé depuis ces années 1980 avec l'introduction de nouvelles fonctionnalités : graphismes enrichis, personnages gérés par l'ordinateur plus crédibles, mondes persistants, et surtout jeu en ligne avec d'autres participants via Internet.

1977 ▶ Carte à microprocesseur Bull CP8

Une carte à puce a été réalisée en 1974 au laboratoire de Honeywell-Bull à Saint-Ouen sous la direction de Karel Kurzweil. La puce est une mémoire PROM bipolaire contenant 1 kbit et possède un connecteur en bout de carte un peu comparable aux actuels PCMCIA. Destinée à remplacer les cartes de crédit classiques, cette carte est cependant plus épaisse (1,6 mm). Il faudra plusieurs années pour définir des normes permettant de l'ajuster aux standards préexistants des lecteurs de cartes magnétiques, déjà installés en grand nombre.



Carte à mémoire PROM Bull (1974).



Carte à microprocesseur Bull de Michel Ugon, développée en 1977. Elle combine trois technologies : puce, caractères OCR, et piste magnétique au verso.

Dans la même entreprise, c'est ensuite l'équipe de Michel Ugon qui développe des cartes à microprocesseurs. Son innovation cruciale est l'architecture MAM (Microcontrôleur auto-programmable monolithique), en anglais SPOM (*Self-Programmable One chip Microcomputer*), brevetée en 1978, qui permet d'intégrer à la fois le processeur et la mémoire dans une seule puce. La carte à microprocesseur a plus de potentiel que la carte à mémoire, mais des années de progrès technologique seront nécessaires pour qu'elle devienne utilisable à un prix accessible.

En 1980 commence l'expérimentation en France de la carte bancaire à puces. Le Groupement Carte Bleue lance un appel à la fabrication de cartes, auquel répondent Bull et Schlumberger, en concurrence-coopération avec Innovatron fondée sur les brevets Moreno. Il faudra encore près de dix ans pour que les banques françaises s'entendent sur un standard commun de carte à puce et organisent l'inter-bancarité des distributeurs automatiques, avec une admission dans le réseau VISA. Entre temps sera née une nouvelle entreprise, Gemplus, restée jusqu'à aujourd'hui le leader mondial sous le nom de Gemalto, concurrent d'Oberthur et de l'Allemand Gieseke.

1977 ▶ Numérique mobile

Conçu en France depuis les années soixante, le Réseau intégré des transmissions automatiques (RITA) est l'un des tout premiers réseaux numériques pensés pour des postes mobiles. Il applique les procédés de modulation par impulsions codées, de numérisation de la parole et de commutation électronique temporelle. Développé pour l'armée française, il sera aussi adopté par les armées de terre belge et américaine.

L'agence de recherche de la Défense américaine, l'Arpa, a financé un réseau d'ordinateurs communiquant par ondes hertziennes, *Packet Radio Network* (PRnet). En 1977 le Stanford Research Institute (SRI) installe dans un camion l'équipement électronique nécessaire pour

Poste téléphonique RITA AT-35 (1977).



Packet Radio Van du SRI, terminal mobile du Packet Radio Network (PRNET) de l'Arpa en 1977.

se connecter par radio, sous protocole TCP, avec les réseaux PRnet, Satnet et Arpanet. Ce *Packet Radio Van* fait le tour de San Francisco tout en parvenant à conserver une bonne liaison hertzienne. Là aussi, les perspectives d'applications militaires motivent la création de cet ancêtre de nos « objets connectés ».

1978 ▶ Rapport Nora-Minc

Mandatés par le Président de la République, Simon Nora (1921-2006) et Alain Minc produisent un rapport sur *L'Informatisation de la société*. Ces inspecteurs des finances connaissent peu l'informatique mais ont su interroger des experts bien choisis. Leur rapport expose brillamment une situation et des problèmes qui étaient déjà connus et discutés depuis le Plan Calcul, en les actualisant pour toucher une large audience. Une campagne de presse en fait un best-seller (près de 130 000 exemplaires) qui sera traduit et publié dans 35 pays. Ce livre-événement est suivi d'un colloque international « Informatique et société », inauguré par le président Giscard d'Estaing qui souhaite que la France apporte « une contribution exemplaire, novatrice et largement ouverte sur l'avenir, au débat international et à la réflexion sur l'impact de l'informatisation de la société ».

Le rapport prophétise l'explosion de la micro-informatique et son mariage avec les télécommunications, lançant un nouveau terme, *télématique* :

« Jusqu'à une période récente l'informatique était chère, peu performante, ésotérique, et de ce fait cantonnée à un nombre restreint d'entreprises et de fonctions : élitiste, elle demeurait l'apanage des grands et des puissants. [...] C'est une informatique de masse qui va désormais s'imposer, irrigant la société comme le fait l'électricité. [...] Il n'y avait autrefois que de grands ordinateurs. Il existe désormais une multitude de petites machines puissantes et peu coûteuses. Elles ne sont plus isolées, mais reliées les unes aux autres dans des réseaux. [...] Cette imbrication croissante des ordinateurs et des télécommunications — que nous appellerons la télématique — ouvre un horizon radicalement neuf. La « télématique », à la différence de l'électricité ne véhiculera pas un courant inerte, mais de l'information, c'est-à-dire le pouvoir. [...] La télématique constituera non pas un réseau de plus mais un réseau d'une autre nature, faisant jouer entre eux images, sons et mémoires : elle transformera notre modèle traditionnel. [...] Le téléphone véhicule aujourd'hui des signaux analogiques ; il sera demain fondé sur des signaux numériques. [...] Cette banalisation de plus en plus forte du signal connaîtra son apogée avec le développement des satellites de transmission. Multipliant les transmissions de données, les basculements de traitement de pays à pays, de continent à continent, les satellites feront progressivement naître un réseau télématique mondial. »

Le corps des télécommunications utilise habilement le rapport pour diffuser sa vision de l'avenir dans l'opinion : lancement des projets télématiques français, annuaire électronique puis Minitel et réseaux à intégration de services, ouvrant la voie à l'e-administration. Le rapport, écrit quatre ans après l'affaire des fichiers « Safari », évoque aussi les dangers d'une informatisation incontrôlée : exploitation non démocratique des données, destruction d'emplois suite aux gains de productivité, perte de souveraineté... Il annonce le transfert d'une partie croissante des flux économiques des acteurs traditionnels (poste, banques, services publics...) vers les acteurs du numérique, notamment les multinationales américaines. Des syndicats de postiers et d'employés de banques réagiront d'ailleurs par des grèves en 1979.

1978 ▶ Les microprocesseurs 16 bits

L'accroissement du nombre de transistors implantables sur une puce permet aux fabricants de proposer de nouveaux microprocesseurs 16 bits, c'est-à-dire capables d'adresser plus de mémoire et de travailler efficacement avec des nombres plus grands. Même si l'industrie des semi-conducteurs est éparpillée sur de très nombreuses compagnies, trois noms émergent : Motorola avec son microprocesseur 68000, Zilog avec son Z8000 et Intel qui sort le 8086. Ces processeurs ont quelques dizaines de milliers de transistors, tournent à environ 10 MHz et sont gravés aux alentours de 3 µm.

Fin 1979, afin de reprendre sa première place, Intel se lance dans une opération marketing sans précédent et met l'accent sur tout l'environnement du processeur (systèmes de développement, coprocesseurs, logiciels...) plutôt que sur les performances pures, où il est un peu à la traîne. C'est un succès complet qui permet à Intel de s'approprier une part de marché considérable et de revenir définitivement en tête du classement des fabricants.

Publicité pour une carte 8086 permettant d'installer ce processeur dans un micro-ordinateur 8 bits. On y propose aussi une carte « de support » avec moniteur, interface disquette, port série... ainsi qu'une extension mémoire de 16 ko.

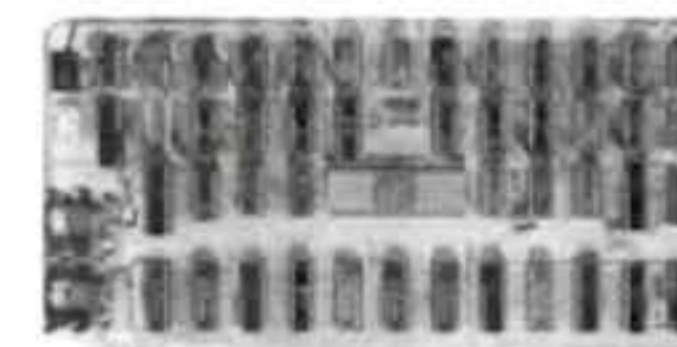
Now! For the S-100 bus

8086 Power

WITH 16-BIT WORD LENGTH

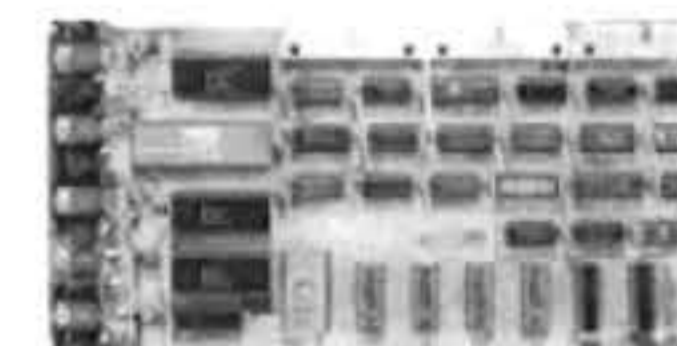
8086 CPU

This card brings state-of-the-art performance to the S-100 bus. It may be used to upgrade existing 8-bit systems by "swapping" the CPU's or it may form the foundation for a high performance 16-bit system. It will operate with 8-bit, 16-bit, or mixed memory and peripherals. It has a 1-megabyte addressing range. It can be factory upgraded at nominal cost from 4 MHz to 8 MHz when the faster CPU chip is available. Price — \$495.



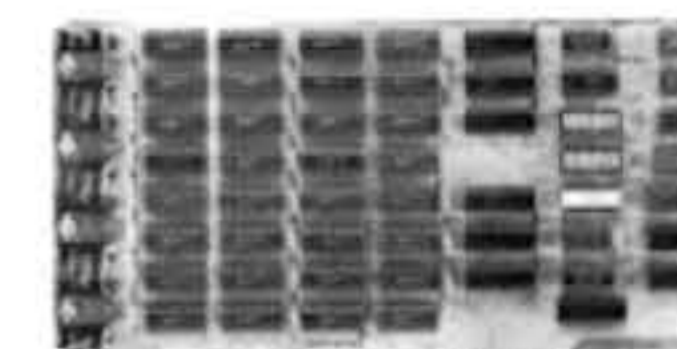
CPU Support Card

This is a companion to our 8086 CPU. It includes a 2K monitor with machine language debugger and disk bootstrap loader, serial port with software-selected baud rate, time of day clock with battery backup capability, two general purpose timers/counters, and a vectored interrupt controller with 7 interrupts generated on board and 8 accepted from the bus. Price — \$395.



8/16 Memory Card

Through the use of the 68TRG line of the proposed IEEE Standard, this memory board will appear to be 8K by 16 bits to our 8086 CPU or 16K by 8 bits to 8-bit CPUs. It is offered with 250 nsec. memory chips only and will perform without wait states with our 8086 CPU using an 8 MHz clock. It has 24 bit extended addressing. Price — \$295.



Z80/8086 Cross Assembler

This cross assembler runs under CP/M and its derivatives. Its mnemonics are the same as or similar to Intel's ASM-86. It is available in 5" soft-sectored, 5" North Star, or 8" soft-sectored (IBM) formats. Price — \$250.

Microsoft BASIC-86

Microsoft's BASIC interpreter for the 8086 is essentially identical in features to their 5.0 release for the 8080 and is ANSI compatible. It is a "stand-alone" version and includes all disk and terminal I/O drivers. Programs written for any earlier version of Microsoft BASIC will run under BASIC-86 with little or no modification. Price — \$350.

MCS-86 User's Manual

By Intel — Feb. 1979 edition. This is the primary hardware and software reference manual for the 8086 CPU. Price — \$6.25 (includes shipping).

AVAILABLE NOW!

STOCK TO TWO WEEKS

Call for more information
or the name of
our nearest dealer

 Seattle Computer Products, Inc.
1114 Industry Drive, Seattle, WA 98108
(206) 575-1830

Circle 333 on inquiry card

8075 November 1979 147


1978 ▶ Transpac : un réseau numérique de données

À la fin des années 1960, des dirigeants français ont pris conscience que le développement de l'informatique nécessiterait des services performants de transmissions de données. Le Ministère des PTT a entrepris à la fois de rattraper le retard national en équipement téléphonique et de développer des réseaux numériques de pointe. La Direction générale des Télécommunications a lancé en 1971 l'étude d'un réseau adoptant la technologie de commutation par paquets, expérimentée aux États-Unis et en Angleterre. Les recherches aboutissent début 1975 à la décision d'implémenter un réseau de type nouveau, Transpac.


L'objectif est à la fois de satisfaire les besoins informatiques des grandes entreprises et de permettre aux petites organisations ou aux particuliers d'accéder aux services d'information. On veut aussi présenter une alternative aux architectures « propriétaires » des constructeurs, comme SNA d'IBM. Ce service doit donc être reconnu au niveau international : la recommandation X25, décrivant le principe des circuits virtuels de Transpac, est élaborée par un petit groupe d'opérateurs de télécommunications très engagés dans cette technologie (Royaume-Uni, Canada, États-Unis avec Telenet, France) et adoptée à l'Union internationale des télécommunications en 1976.

Transpac ouvre officiellement fin 1978. Le cœur du réseau est réalisé par la société SESA. D'autres sociétés privées, telles Steria ou Bull, contribuent à sa mise en œuvre. Le service est rapidement utilisé par les grandes organisations (banques, administrations, recherche, etc.) qui apprécient son universalité, sa haute sécurité, la possibilité de le facturer sur la base de la durée et du volume des échanges. Simultanément, le gouvernement décide de créer un annuaire électronique utilisant l'infrastructure Transpac. En conséquence la France se dotera d'un réseau télématique utilisant des terminaux simples et peu coûteux : le système Télétel/Minitel.

Le but à terme est de constituer un Réseau numérique à intégration de services (RNIS), qui fonctionnera effectivement une décennie plus tard sous le nom de Numéris. Cette prolongation numérique du

TRANSPAC 

*Transmission de données
par paquets.*



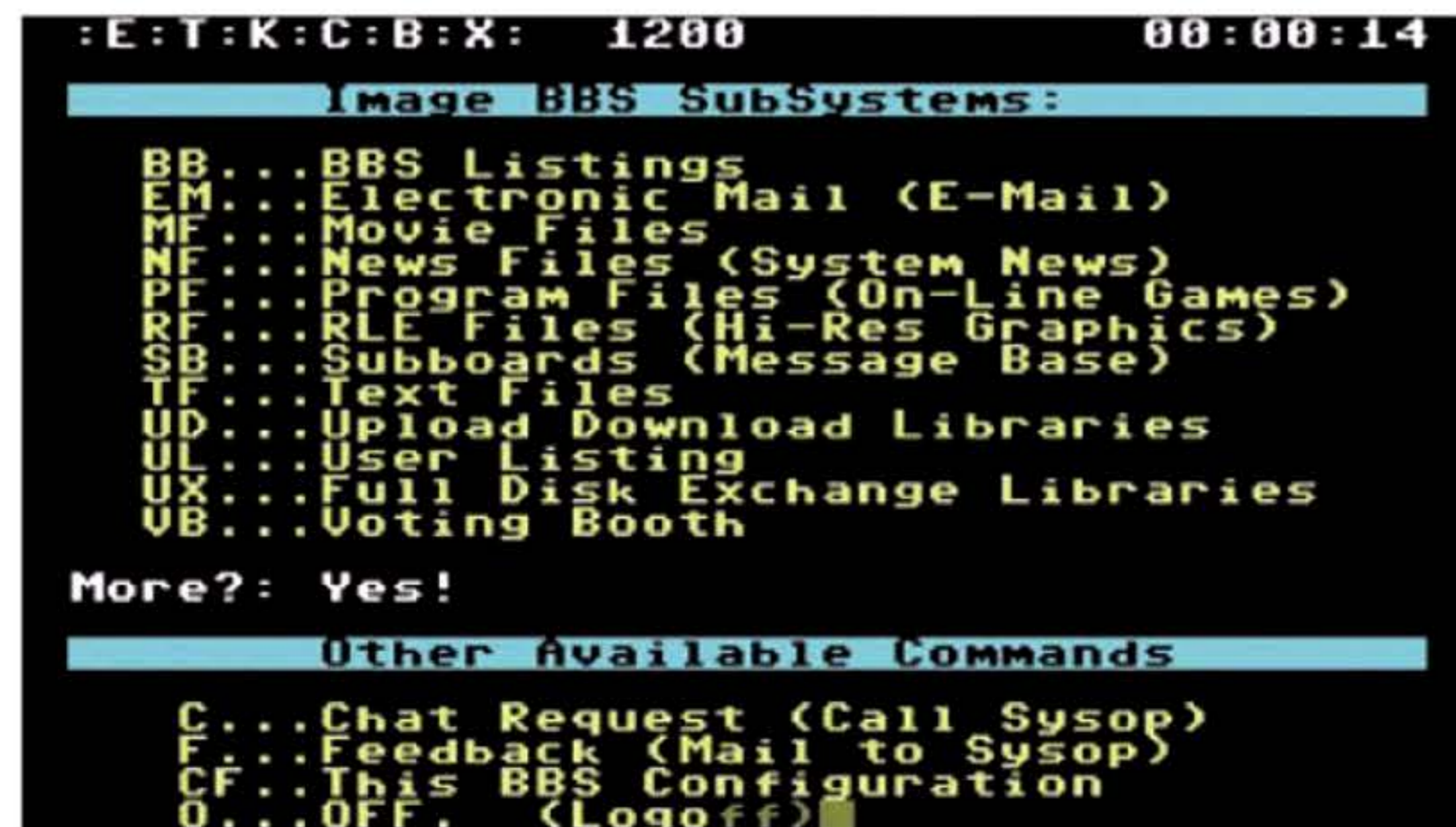
Transpac : l'autoroute de l'information du Minitel.

réseau téléphonique offrira à de nombreux utilisateurs un système plus avantageux que les réseaux spécialisés. Elle leur permettra aussi de connecter des réseaux locaux à l'Internet. Devant l'emprise croissante de celui-ci, le service Transpac fermera en 2012.

1978 ▶ Computerized Bulletin Board System

Le panneau de liège sur lequel chacun pouvait accrocher une affiche ou faire passer un message était très populaire dans les universités sous le nom de *Bulletin Board*. En janvier 1978, coincés chez eux pendant plusieurs jours par le blizzard historique de Chicago, Ward Christensen et Randy Suess développent le logiciel nécessaire pour que leur ordinateur puisse servir de centre d'échange de messages et de fichiers. Relié à un modem, leur ordinateur peut être contacté, via un numéro téléphonique, par un utilisateur distant (un à la fois) qui pourra ainsi prendre connaissance des derniers messages, déposer une annonce ou transférer des fichiers. Les Québécois trouvent rapidement un de ces mots français dont ils ont le génie : « *le babillard* ».

Tout au long des années 1980 et le début des années 1990, les BBS (*Bulletin Board Systems*) se multiplieront par dizaines de milliers, certains généralistes, d'autres spécialisés par communauté ou centres d'intérêt : échange de fichiers, jeux, politique, religion, geeks, rencontres... Le modem est alors un achat obligé pour tout possesseur de micro-ordinateur souhaitant se connecter à d'autres utilisateurs. Le déploiement des premiers accès Internet pour le grand public à partir de 1994 sonnera le glas des serveurs BBS puisque d'un seul coup l'ensemble des services mondiaux devenait accessible. L'esprit BBS perdure encore de nos jours avec les forums de discussion.



Écran d'accueil d'un BBS listant les différentes possibilités pour l'utilisateur connecté.

1979 ▶ VisiCalc

L'introduction du premier tableur pour l'Apple II, VisiCalc, par Dan Bricklin et Bob Frankston transforme le micro-ordinateur, qui n'est alors qu'un gadget pour programmeurs amateurs, en véritable outil commercial pour petites entreprises. C'est une formidable accélération donnée à l'industrie micro-informatique. Tout un écosystème économique se met en place incluant éditeurs de logiciels, développeurs indépendants, boutiques de vente grand public, magazines d'informatique... Disponible uniquement au départ sur l'Apple II, VisiCalc en deviendra la *killer app* : il s'en vendra plus d'un million d'exemplaires, bien des clients achetant le micro-ordinateur pour utiliser ce logiciel.



Bob Frankston (debout) et Dan Bricklin en 1982.



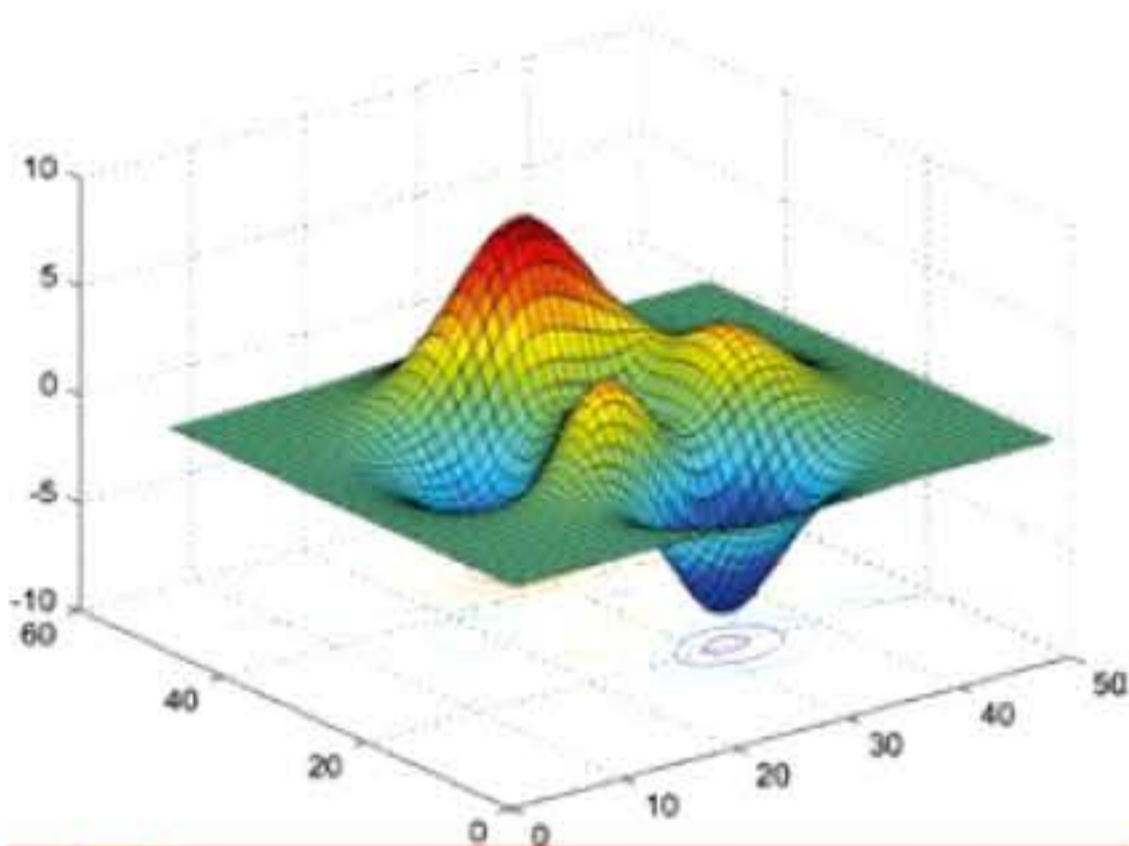
Copie d'écran de Visicalc sur Apple II.

1979 ▶ ADA

Le Pentagone décide de rationaliser les centaines de langages informatiques différents utilisés dans ses services et lance un cahier des charges. Le vainqueur est l'équipe dirigée par le Français Jean Ichbiah (1940-2007) qui crée le langage ADA — appelé ainsi en l'honneur de Ada Lovelace, la collaboratrice de Charles Babbage. Il a la particularité d'intégrer le traitement des instructions temps-réel, ce qui en fait un langage de choix pour les environnements temps-réels et les systèmes embarqués nécessitant fiabilité et sécurité : applications militaires, transport automobile et ferroviaire, domaines aéronautique et spatial... La contrepartie de sa puissance est une complexité certaine et une lourdeur d'implémentation qui le restreint à ces domaines très particuliers.

1980 ▶ Progiciels mathématiques

Même si l'invention de l'ordinateur est fortement liée aux applications mathématiques, ces dernières se développent pour tous les scientifiques grâce à l'apparition des premiers logiciels commerciaux de calcul numérique et de calcul formel (permettant la manipulation algébrique d'expressions mathématiques) : Maple en 1980, Matlab en 1984 et Mathematica en 1988. Pour la première fois, des scientifiques vont pouvoir faire des calculs sans avoir à apprendre les arcanes de la programmation informatique.



Une sortie du logiciel Matlab.

1981 ▶ Fondation de Logitech

L'histoire commence non dans un garage, mais dans une vieille ferme d'un village suisse nommé Apples. Un jeune développeur de logiciels graphiques met au point une interface conviviale dans le cadre d'un projet pour la firme Ricoh, et découvre les souris élaborées

depuis 1974 par le professeur J.-D. Nicoud de l'EPFL. Les premières souris Logitech sont fabriquées par une entreprise horlogère spécialisée dans la micromécanique de précision, Dubois Dépraz. La génération suivante est produite dans la ferme familiale à Apples. Bientôt une commande de Hewlett-Packard vient stimuler la production. Une usine est ouverte en 1986 à Taiwan pour résister aux turbulences sur les prix. En 1994, la majeure partie de la production sera transférée en Chine. En 2008 Logitech, devenue multinationale et diversifiée dans la production d'autres périphériques informatiques, fêtera la vente de sa milliardième souris.

1981 ▶ Les premiers portables

Dans la seconde moitié des années soixante-dix, les premiers constructeurs de micro-ordinateurs ont commencé à étudier des versions portables — ou plutôt transportables... Ils visaient notamment le marché des représentants commerciaux. Dès 1976, en Suisse, un professeur de Lausanne et la société Bobst Graphic ont réalisé un système de traitement de texte portable destiné aux journalistes : le Scrib (16 kg) muni d'un éditeur de texte et d'un bon système, construit à mille exemplaires. En France, R2E présente en 1981 une version portable du Micral, « Portal » (12 kg, petit écran plat, imprimante thermique incorporée). Outre-Manche, Osborne fait de même en 1981 avec un portable de 10 kg, alimentation non comprise.

L'Osborne 1 est le premier ordinateur « portable » qui rencontre un vrai succès commercial. Il n'a pas de batterie, mais doit être branché sur le secteur, a la taille d'une petite valise (il est explicitement prévu pour pouvoir se glisser sous un siège d'avion) et possède un écran de seulement 13 cm de diagonale. Mais il est accompagné de logiciels professionnels préinstallés. Son tarif étant très attractif pour l'époque (équivalent d'environ 4 000 euros de 2015), les ventes démarrent à plus de 10 000 exemplaires par mois. Mais des erreurs de gestion, comme l'annonce prématurée de son successeur, auront



Ordinateur « portable » Osborne 1. On voit les deux lecteurs de disquette et l'écran, accompagnés de divers connecteurs. ◀

raison de l'entreprise au bout de quelques années. Peu après, dès la sortie de l'IBM PC, Compaq apparaît avec un portable compatible bien conçu qui sera le début de sa remarquable ascension.

Les écrans de tous ces appareils sont à tube cathodique, donc relativement encombrants et lourds, ce qui limite la portabilité : on est très loin des *laptops* ! Il existait bien déjà des écrans plats, mais très petits, ceux des calculettes de poche ou des machines à écrire électroniques. Ce problème devient, les années suivantes, l'une des motivations déterminantes des investissements dans la R&D sur les écrans plats de grande dimension. À la fin des années quatre-vingt, Apple présentera son premier Macintosh portable ; bien conçu mais trop cher, il aura peu de succès. C'est avec la mise au point des écrans plats de dimensions sérieuses, au début des années quatre-vingt-dix, que commencera la diffusion massive des ordinateurs portables.

1981 ▶ IBM PC

En 1980, IBM est toujours l'acteur dominant sur le marché des gros ordinateurs centraux mais, englué dans une procédure judiciaire anti-trust dans les années 1970, a raté le virage du mini-ordinateur et se retrouve dépassé sur certains marchés par HP ou DEC. Un micro-ordinateur de bureau IBM 5100 a bien été commercialisé en 1975, programmable en Basic et en APL, mais il manque de logiciels applicatifs et, au prix de 9 000 dollars, ne rencontre pas une communauté de développeurs analogue à celle qui fait le succès de l'Altair.

Désireuse de reprendre la main dans le créneau émergent de l'ordinateur personnel, l'entreprise décide de lancer un projet interne pour développer en un an son propre modèle. La proposition finale est contraire à toute la tradition de *Big Blue* : l'architecture sera ouverte, fera appel à des logiciels et des composants standards d'autres fabricants, et ce nouvel ordinateur sera vendu et réparé en boutique, non par le service technico-commercial interne. L'IBM PC (pour *personal computer*) n'a rien de révolutionnaire dans ses choix

techniques. Mais son succès est immédiat. D'abord à cause de la politique de cession de licence qui permet à d'autres constructeurs de proposer leurs « compatibles », et surtout grâce à l'image rassurante de l'entreprise, associée depuis toujours au monde informatique professionnel : l'IBM PC donne une légitimité sans précédent au micro-ordinateur. IBM ayant demandé à Microsoft de lui fournir le système d'exploitation (PC-DOS), les chiffres colossaux des ventes de l'IBM PC assureront la croissance exponentielle de Microsoft.

Finalement, le début des années 1980 sera fatal aux *start-ups* qui n'ont pas su passer de l'ordinateur personnel de loisir pour amateurs techniciens à l'ordinateur professionnel ayant sa place dans les organisations. Apple et surtout IBM s'imposeront, tandis que la plupart des marques pionnières (Commodore, Tandy, Atari...) seront évincées par de nouveaux entrants comme Compaq ou Dell.

IBM PC original avec son écran monochrome et sa lourde documentation...



1981 ▶ ZX-81 :**le micro-ordinateur bon marché**

Alors qu'IBM s'adresse à sa cible habituelle, le monde professionnel, d'autres visent le grand public et cherchent à développer un ordinateur bon marché. Sir Clive Sinclair est l'un d'entre eux et son ZX-81 sera un immense succès. Il est petit, peu puissant, avec très peu de mémoire (1 ko par défaut, même si l'on peut ajouter des modules mémoire), se branche sur un moniteur de télévision pour un affichage graphique très grossier mais il est surtout très bon marché (son prix est équivalent à environ 300 euros en 2015) et vient avec un manuel très pédagogique. Il a permis à de très nombreux futurs informaticiens de faire leur apprentissage de la programmation.



Installation classique d'un ZX-81 avec le lecteur de cassette faisant office de mémoire de stockage.



1981 ▶ Microprocesseur RISC

À la fin des années 1970, l'intégration des composants atteint un plateau et les microprocesseurs plafonnent aux alentours de 100 000 transistors, principalement en raison du manque d'outils de conception permettant de développer des systèmes plus complexes. L'agence américaine des projets de recherche lance alors le projet VLSI (*Very Large Scale Integration*) ayant pour but d'améliorer les techniques de conception des puces en finançant plusieurs équipes de recherche universitaires. De nombreuses avancées en découleront comme les stations de travail graphiques, les logiciels de CAO, les sociétés de conception *fabless* (sans usine)... Un des projets se focalise sur l'accroissement des performances d'un processeur par la simplification de son contrôle interne. En effet, les chercheurs se sont aperçus que l'existence d'instructions trop complexes pénalise l'ensemble des performances alors que ces instructions ne sont que très rarement utilisées. En supprimant ces instructions « rares », il est alors possible de réaffecter les transistors correspondants à d'autres fonctions accélérant le décodage et l'exécution des instructions standards : exécution dans le désordre, pipeline, augmentation du nombre de registres, etc. Cette innovation architecturale est rendue possible par la diffusion des mémoires en semi-conducteurs, dont l'accès est beaucoup plus rapide que les anciennes en tores de ferrite. Ces nouveautés sont mises en œuvre aux universités de Berkeley et Stanford qui conçoivent les premières puces RISC (*Reduced Instruction Set Computer* ou microprocesseur à jeu d'instructions réduit), d'architecture interne complètement différente des processeurs classiques de l'époque. Depuis, ces nouvelles techniques ont été intégrées par tous les fabricants et permettent d'avoir des performances toujours plus importantes.

1981 ▶ La cinquième génération

Le Japon décide de financer des recherches en informatique visant à construire un ordinateur « de cinquième génération » (la quatrième étant celle à base de microprocesseurs) massivement

parallèle et utilisant des langages de programmation provenant des recherches en intelligence artificielle. Malgré une forte publicité, le projet est globalement un échec : les performances des circuits construits spécifiquement pour le projet se font dépasser par celles des microprocesseurs standards, tandis que la programmation se révèle nettement plus complexe que prévue. Les travaux seront interrompus au bout d'une dizaine d'années. Certaines des idées initiales seront réutilisées au début des années 2000-2010 : interrogations logiques de bases de données gigantesques disséminées sur Internet, programmation parallèle via les processeurs multi-cœurs... Le résultat le plus important est que l'ambition japonaise a inquiété les dirigeants américains, qui ont massivement investi dans la recherche-développement et réussi en une décennie à remettre les États-Unis en position de leader mondial incontesté.

1982 ▶ Le Minitel

Après avoir développé le réseau numérique Transpac basé sur la norme X25, le gouvernement donne le feu vert à un vaste projet : doter la France d'un réseau télématique utilisant des terminaux simples et peu onéreux chez l'utilisateur. Des expérimentations locales sont menées dès 1980, permettant d'identifier les demandes, de perfectionner les appareils et d'imaginer de nouveaux usages. En 1982, le Minitel est lancé à grande échelle. Il permet aux utilisateurs de se connecter, via le réseau téléphonique, à des services en ligne tels que l'annuaire électronique, la vente par correspondance, des messageries et des sites de rencontres. Le terminal passif, constitué d'un écran et d'un clavier, est fourni gratuitement par France Télécom, la facturation s'effectuant sur la ligne téléphonique proportionnellement à la durée de la connexion.

Le nombre de terminaux atteindra 6,5 millions en 1993, avec 90 millions d'heures de connexion. On recensera 24 600 services l'année suivante. Jusqu'à la fin des années 1990, le Minitel sera en concurrence avec Internet... et beaucoup plus rentable. Les avancées technologiques d'Internet (vitesse de connexion accrue avec l'ADSL,

possibilités d'affichage graphique sur ordinateur) finiront par avoir le dessus, mais le Minitel gardera des avantages comparatifs (rapidité d'accès, sécurité). Et sa suppression sera reportée plusieurs fois à la demande des utilisateurs, jusqu'à sa fermeture en 2012 due à l'arrêt du réseau Transpac.

Le Minitel est considéré comme l'une des expériences de services en ligne antérieures au web les plus réussies au monde. Il a permis de familiariser des millions de Français avec l'utilisation d'un terminal et des réseaux numériques. Et à des milliers de développeurs ou d'entrepreneurs français de créer des services, qui ont pu ensuite basculer sur Internet.

Minitel 2 vers 1990.



1982 ▶ Émoticônes

Même s'il existe quelques exemples antérieurs dans des articles ou revues, l'invention des émoticônes actuelles est généralement attribuée à Scott Fahlman, professeur à l'université Carnegie Mellon, qui créa les symboles :-) et :-(imitant un sourire ou une moue vus à 90°, afin d'étiqueter des messages circulant sur le forum de son université :

```
19-Sep-82 11:44 Scott E Fahlman :-)
From: Scott E Fahlman <Fahlman at Cmu-20c>
```

I propose that the following character sequence for joke markers: :-)

Read it sideways. Actually, it is probably more economical to mark things that are NOT jokes, given current trends. For this, use :-(

1982 ▶ Semi-conducteurs :

une guerre américano-japonaise

Jusqu'aux années 1980, les microprocesseurs représentaient un marché de niche par rapport aux circuits intégrés plus simples, principaux composants des mainframes et mini-ordinateurs. Ces circuits étaient conçus et fabriqués soit directement par les grands constructeurs de machines, soit par la très performante industrie japonaise ; les fabricants de microprocesseurs étaient eux marginalisés et soumis au bon vouloir des donneurs d'ordres qui leur imposaient des accords de cession de licence, favorisant encore plus les graveurs japonais qui récupéraient ainsi à bas prix les innovations techniques. Avec la complexité croissante des processeurs, le rapport de force s'est inversé et a permis aux



1983 ▶ Le langage C++

Afin de faciliter le développement et l'analyse de gros projets informatiques, Bjarne Stroustrup développe aux laboratoires Bell une extension orientée objet au langage C : le C++. Ce langage de programmation est toujours l'un des plus utilisés au monde.

1984 ▶ Le cédérom

Dès 1979, Philips et Sony développent conjointement le disque optique compact afin de supplanter le disque vinyle (microsilon) dans la diffusion de musique enregistrée. La version audio est commercialisée en 1982 tandis que 1984 voit la naissance du CD-ROM (*Compact Disc — Read Only Memory*) prévu pour le stockage de données numériques.

Avec une capacité record (pour l'époque) de près de 700 Mo, il supplante rapidement les disquettes dans la distribution des logiciels, avant d'être à son tour dépassé par les DVD puis par la diffusion directe sur Internet. Alors que le cédérom original est fabriqué en usine sans être modifiable par l'utilisateur final, des versions inscriptibles (une fois puis plusieurs) apparaissent en 1988, permettant l'utilisation du CD comme support de sauvegarde personnelle.

▶ Affiche pour le film *WarGames*.

1984 ▶ Psion Organiser I

La publicité le présente comme « le premier ordinateur de poche pratique ». Le Psion Organiser I a le format d'une calculatrice mais possède un clavier alphanumérique et un écran d'une ligne. Il sert de calculatrice, d'horloge et de base de données minimale. Le premier véritable assistant numérique personnel utilisable est la version Organiser II (1986), incluant un agenda et la gestion d'un carnet d'adresses (le terme PDA, *Personal Digital Assistant*, sera inventé en 1992 pour la présentation du Newton d'Apple). Progressivement, les PDA sont dotés de fonctionnalités supplémentaires : bureautique, synchronisation, accès Internet, téléphonie... Le Palm Pilot et ses descendants feront partie des PDA les plus réussis et les plus vendus au monde à la fin des années 1990. La convergence entre téléphone et PDA conduira ensuite au développement du *smartphone*, le terme PDA tombant lui-même en désuétude.



Psion II en version française.



Palm Pilot professionnel de 1997.

1984 ▶ Macintosh

Suite aux travaux de Douglas Engelbart, une première station de travail incluant une interface graphique commandée par souris, l'Alto, a été construite en 1973 dans les laboratoires de Xerox. Elle n'a jamais été commercialisée mais a servi d'outil de travail dans l'entreprise et dans quelques laboratoires universitaires. Fin 1979 l'Alto est présentée à Steve Jobs en visite chez Xerox. Émerveillé

Le Lisa 1 avec son disque dur au-dessus de l'unité centrale.



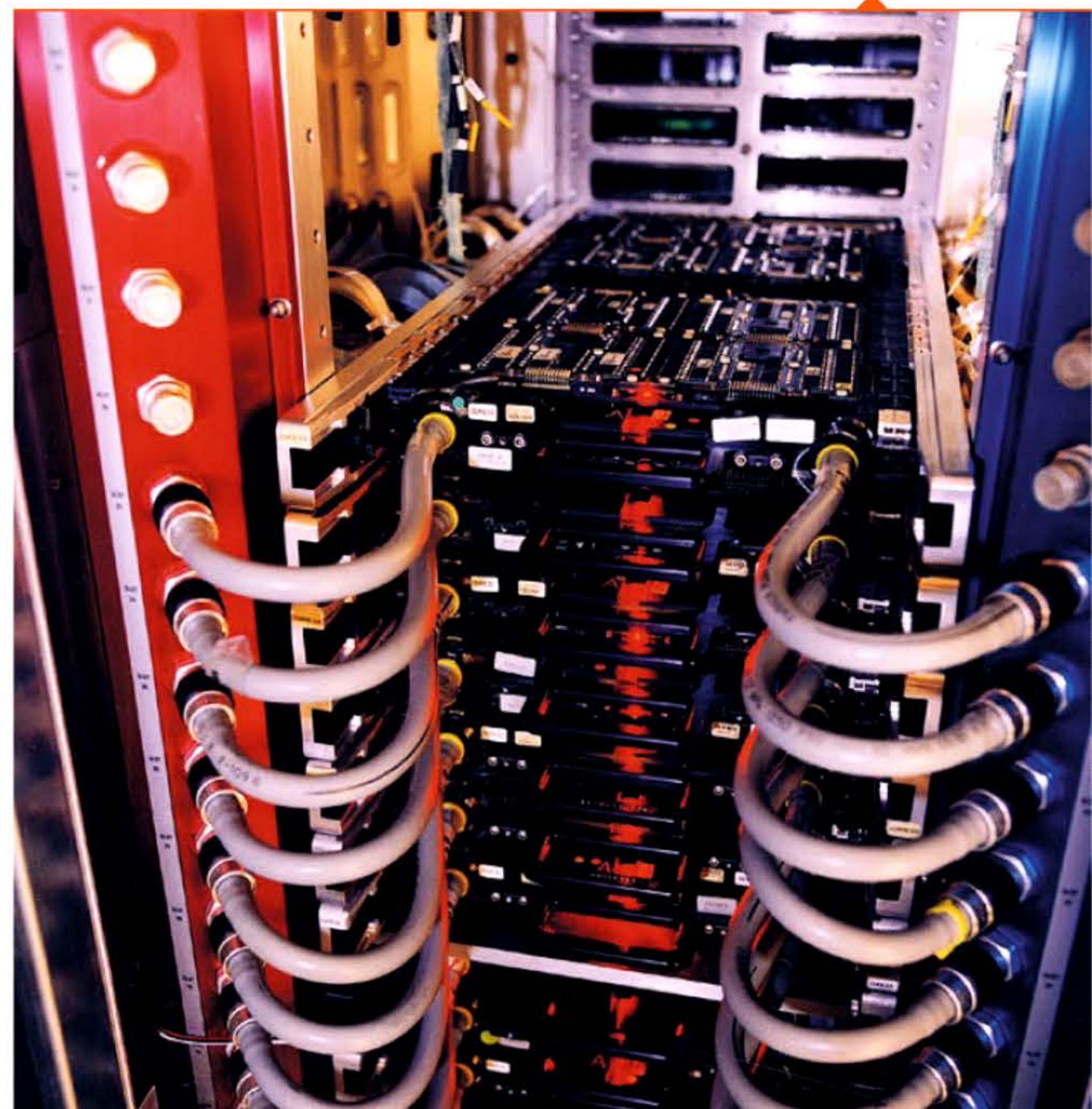
1985 ▶ Gigaflops

Le Cray-2 est le premier superordinateur à passer la barrière du gigaflops (un milliard d'opérations en virgule flottante à la seconde). Pour ce faire, en plus d'un parallélisme accru de ses processeurs, les modules portant les circuits intégrés sont empilés les uns sur les autres de manière très serrée afin de réduire le temps de propagation des signaux électriques. Un refroidissement par air étant impossible (il n'y a pas assez de place entre les modules !), le Cray-2 baigne dans un liquide inerte sous pression évacuant la chaleur dissipée. Il consomme quelques 200 kW et coûte environ 30 millions d'euros (valeur 2015). Sortie en 2012, une tablette iPad 2 standard possède la même vitesse de plus d'un gigaflops, pour une fraction de ce prix...

Un Cray-2 en 1986. L'ensemble transparent à droite est le système évacuant la chaleur récupérée par le liquide de refroidissement circulant autour des modules électroniques.



Caloducs de refroidissement sur un Cray T3E de 1996 au CEA, d'une puissance d'un téraflops.



1985 ▶ Manifeste GNU

Programmeur expérimenté, Richard Stallman quitte le MIT pour écrire un système d'exploitation compatible Unix : GNU (*Gnu is Not Unix*). Opposé au principe du logiciel « propriétaire », il publie début 1985 dans *Dr. Dobbs' Journal of Software Tools* le manifeste GNU. Il y expose ses idées de *logiciel libre*, permettant à chacun de s'approprier, de modifier et de diffuser le code source d'un logiciel. Depuis, Stallman milite pour le logiciel libre d'un point de vue non seulement pratique (développement) mais aussi politique, critiquant les notions mêmes de propriété intellectuelle, *copyright* ou brevet. Dérivé de cet activisme, le mouvement *open source*, qui met plus l'accent sur le développement proprement dit, a progressivement acquis une importance économique considérable, faisant par exemple jeu égal avec les solutions « propriétaires » dans le secteur public français.



Richard Stallman en 2014.

1985 ▶ Plan informatique pour tous

Plusieurs plans d'initiation à l'informatique avaient été mis en œuvre au cours des années 1970, aboutissant à la formation de nombreux enseignants et lycéens. En 1985 le Premier ministre français Laurent Fabius annonce un nouveau plan d'équipement des écoles afin d'initier les élèves à l'outil informatique. Plus de 120 000 machines sont prévues, sous forme de micro-ordinateurs familiaux reliés par un nanoréseau à un IBM PC plus puissant, associées à un développement de logiciels éducatifs et à la formation de plus de 100 000 enseignants. Malgré certains défauts



Micro-ordinateur M05 identique à ceux utilisés dans le plan informatique pour tous.

(choix politiques de matériels français parfois peu performants, enseignants laissés à eux-mêmes), le plan offre à de nombreux élèves et enseignants une première approche de la programmation et de l'utilisation d'un ordinateur. Ce sera malheureusement la dernière grande initiative gouvernementale, pendant une vingtaine d'années, visant à introduire le numérique dans l'éducation nationale.

1985 ▶ Symbolics.com

Les numéros IP étant assez peu mémorisables, les programmeurs du réseau ARPANET prennent rapidement l'habitude d'associer un nom de machine à chaque nœud du réseau, la correspondance entre dénomination et adresse numérique se faisant alors via un fichier maintenu manuellement. Devant la croissance ininterrompue du réseau, il devenait de plus en plus difficile de garder

ce système et en 1983, le système de noms de domaines avec bases de données hiérarchisées et réparties, automatiquement mises à jour, est proposé. Le premier nom du domaine *.com* est enregistré en mars 1985 par l'entreprise Symbolics, fabricant de machines Lisp.

1985 ▶ Le i386 et la miniaturisation



Compaq DeskPro 386,
le premier PC basé
sur un processeur Intel 80386.

L'augmentation du nombre de transistors intégrés sur une puce permet au début des années 1980 la conception de microprocesseurs 32 bits, manipulant des nombres plus grands et adressant plus de mémoire, avec des vitesses de fonctionnement toujours plus importantes grâce entre autres à des chemins de données internes plus larges.

Sans être les premiers, deux modèles ont marqué l'histoire des microprocesseurs 32 bits. Le Motorola 68000 est un hybride 32/16 bits, utilisé dans les micro-ordinateurs Apple Macintosh, Atari ST, Commodore Amiga. Ses variantes et descendants sont encore produits de nos jours pour des systèmes embarqués. L'Intel i80386, contenant presque 300 000 transistors gravés à 1 µm, est une évolution 32 bits de sa gamme 8086 (8 bits) et 80286 (16 bits). Il permet d'accroître les performances des micro-ordinateurs IBM PC et compatibles, qui peuvent ainsi continuer à progresser. C'est d'ailleurs un fabricant de « clones », Compaq, suivi du Taïwanais Multitech, qui propose dès l'année suivante le premier PC basé sur un 80386, détrônant au passage IBM comme leader dans l'innovation.

Le processeur 80486 d'Intel, en 1989, sera le premier à franchir la barre du million de transistors sur une puce. Le milliard sera dépassé en 2006 avec l'Itanium double-cœur. Même si la loi de Moore donne des signes d'essoufflement, on intègre en 2015 près d'une dizaine de milliards de transistors dans les processeurs et coprocesseurs graphiques les plus récents.

1987 ▶ OS/2 d'IBM

Il était clair pour IBM que le MS-DOS de Microsoft n'était pas un système d'exploitation sérieux, professionnel, mais simplement un expédient provisoire pour lancer en urgence l'IBM PC. IBM commence donc en 1985 à co-développer avec Microsoft un système plus robuste et plus puissant, OS/2, qui doit rétablir la prédominance de *Big Blue* sur son marché. La première version sort

fin 1987, mais OS/2 n'arrivera jamais à s'imposer, contrairement aux prévisions des analystes. Apparence graphique peu flatteuse, prix trop élevé, erreurs de marketing, absence de pilotes matériels, conservatisme technologique empêchant de profiter des processeurs récents, manque de logiciels applicatifs... l'histoire d'OS/2 est un désastre exemplaire. Il n'aura servi qu'à asseoir la domination de Microsoft, qui s'était bientôt concentré sur le développement de Windows en négligeant celui d'OS/2, sur le marché des logiciels systèmes pour PC.

1987 ▶ GSM

Des années de recherches et de négociations sur les standards, menées par les ingénieurs d'un groupe de travail franco-allemand, entraînent d'autres partenaires européens et aboutissent à un accord international qui définit la première norme cellulaire numérique : GSM (Groupe spécial mobile, puis *Global System for Mobile Communications*). Celle-ci spécifie tous les éléments d'un système complet de télécommunications. Y compris un module de spécification d'abonné, le *Subscriber Identity Module* (SIM), qui offre un élément important de sécurité. La norme GSM s'imposera sur le marché mondial de la téléphonie mobile, face à une norme américaine IS-95. Elle sera ensuite étendue pour prendre en charge les hauts débits et le transport de données.

1987 ▶ Taïwan monte en puissance

L'industrie électronique taïwanaise a démarré dans les années 1960 comme sous-traitante des constructeurs américains et japonais de matériels grand public. L'accumulation de savoir-faire et le bas coût de sa main d'œuvre lui a permis ensuite d'assembler des cartes-mères pour les grandes marques de micro-ordinateurs —

elle deviendra à la fin du siècle le principal producteur mondial de cartes-mères, d'écrans et de petits ordinateurs portables.

Certains Taïwanais ne se contentent pas de ce rôle de sous-traitant et investissent à la fois dans la R&D et dans le marketing pour construire sous leur propre marque. Multitech a été fondée en 1976 par l'ingénieur Stan Shih qui avait réalisé la première calculatrice de poche taïwanaise. En 1982 elle a présenté un clone d'Apple II, puis des PC compatibles IBM, tout en restant un acteur majeur de l'économie de la sous-traitance. En 1987 l'entreprise se rebaptise Acer et entame une expansion internationale, soutenue indirectement par le gouvernement taïwanais. Deux ans plus tard, un groupe d'ingénieurs quitte Acer pour fonder ASUSTek. Visant particulièrement le marché européen, ces deux firmes deviendront en une quinzaine d'années des leaders mondiaux dans l'industrie des ordinateurs portables.



Stan Shih, fondateur de Multitech et d'Acer.

1988 ▶ Premier ver Internet

Afin de mesurer la taille du réseau Internet, Robert Morris, alors étudiant à l'université Cornell, lâche un programme capable de se propager de machine en machine en profitant de failles de sécurité existant dans certains utilitaires Unix. Malheureusement, une mauvaise qualité du code entraîne des répliquions plus rapides que prévu et un fort ralentissement des ordinateurs infectés.

En plus des diverses pannes causées aux machines, le ver eut un très fort impact psychologique car il mit en évidence la fragilité du réseau et la nécessité de renforcer sa sécurité. Morris fut condamné

en appel à une peine de prison avec sursis, à des travaux d'intérêt général et à payer une amende. Avec l'accroissement gigantesque du réseau, la sécurité d'Internet est devenue un enjeu majeur aussi bien d'un point de vue économique (espionnage industriel, extorsion de fonds, paralysie de sites web...) que politique (espionnage militaire, attaques sur des services vitaux...).

1991 ▶ Naissance de Linux

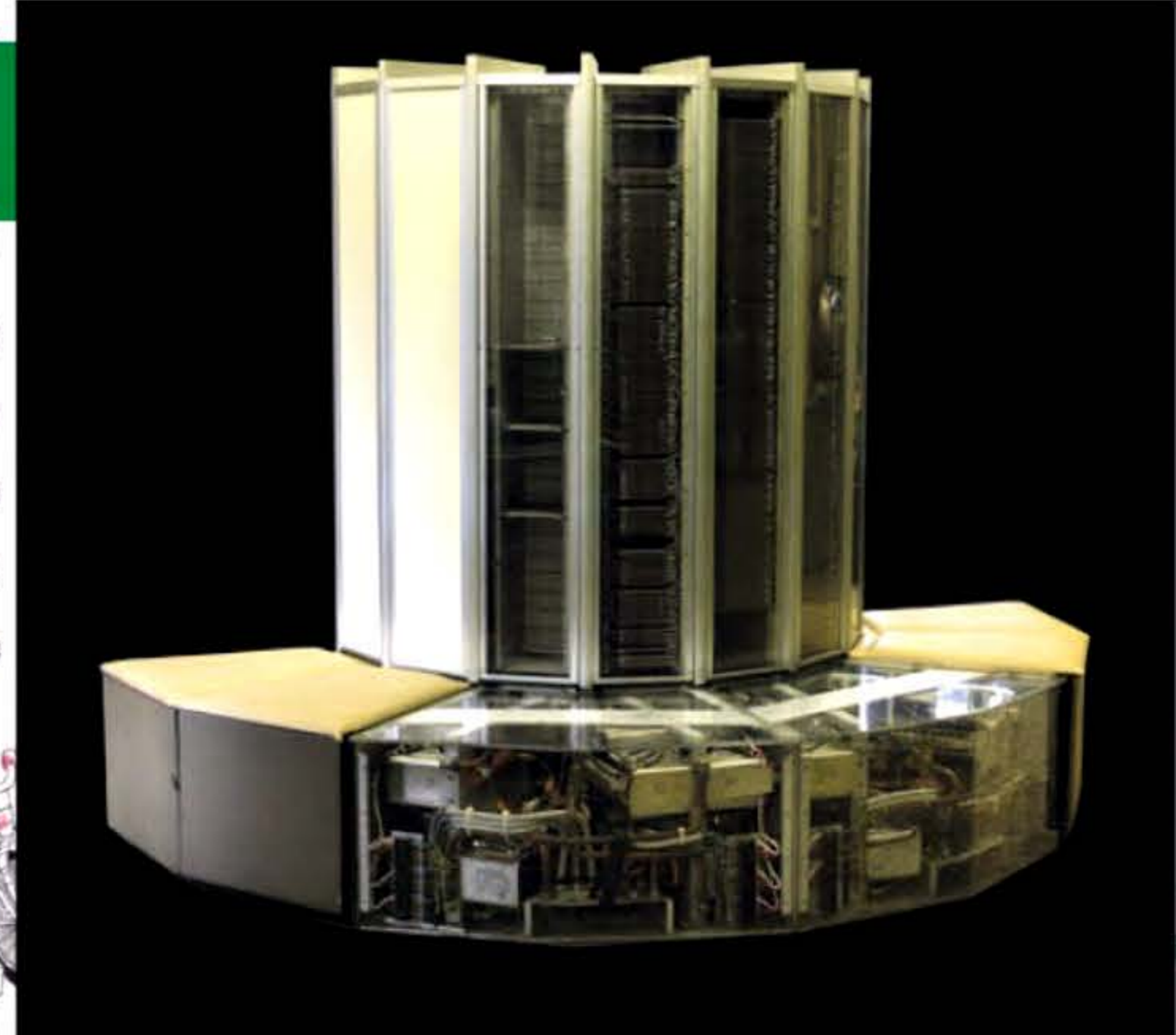
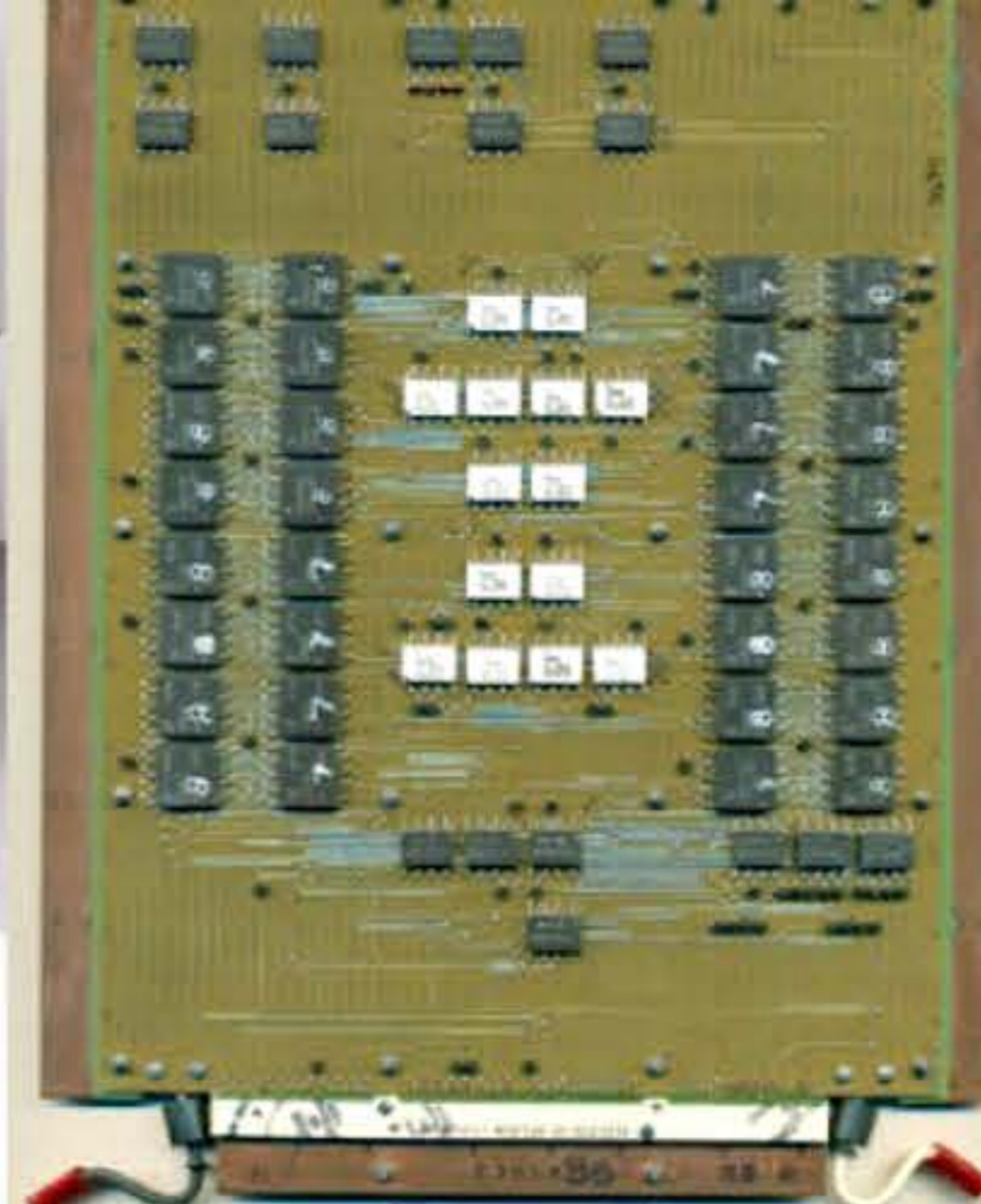
Linus Torvalds, étudiant norvégien, décide d'écrire un mini-système d'exploitation dérivé d'Unix pour son PC. Réputé pour sa stabilité mais aussi pour sa complexité d'installation, Linux est adopté par une communauté de bidouilleurs sur Internet qui étendent régulièrement ses possibilités. Sans publicité, il se répand doucement et finit par devenir une alternative crédible à la toute-puissance de Windows et au coût des Unix commerciaux. Au point d'intéresser les entreprises et de devenir l'un des systèmes d'exploitation les plus répandus au monde, illustrant la force du modèle de développement open source.

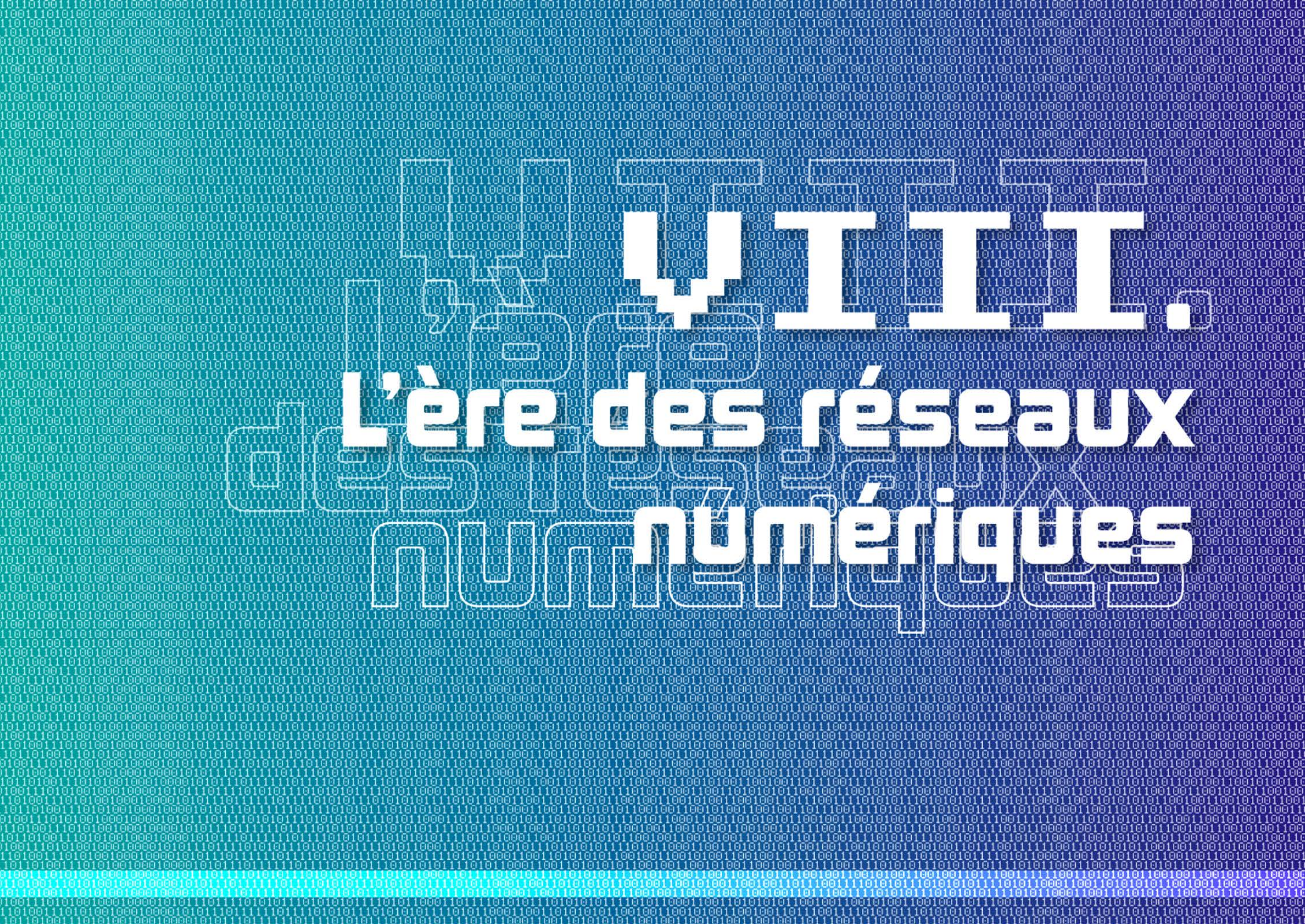


Linus Torvalds en 2014.

Crédits

P. 189 : Michael Steil • P. 191 : Computer History Museum ; 2015 by AUCTION TEAM BREKER, Cologne, Germany (www.Breker.com) • P. 192 : Rama / Wikimedia Commons • P. 193 : InnovatronWiki / Wikimedia Commons • P. 194 : MOS Technology Inc. Norristown, PA. ; Poptronix Inc. • P. 195 : Heinz Nixdorf MuseumsForum ; tkc8800.com • P. 196 : BYTE Magazine • P. 197 : Abandonware magazines / Treize ; Bruce Burgess Photo Archive • P. 198 : Used with permission by Microsoft ; Bill Gates • P. 199 : Zilog Inc. - Michael Holley / Wikimedia Commons • P. 200 : IBM • P. 201 : Photographie par Rama, Wikimedia Commons, Cc-by-sa-2.0-fr • P. 202 : CERN ; Apple computer, Inc ; Gotanero / Wikimedia Commons • P. 203 : Computer History Museum, Rama (Cc-by-sa-2.0-fr), Flominator, Evan-Amos, Telecarlos, Bill Bertram, PaulVernon1974, Emmanuel Lazard • P. 204 : Texas Instruments ; Radio Shack • P. 205 : Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk> • P. 206 : Personal Software ; Sierra Online ; Kurzweil ©2007 & FEB ; Bull • P. 207 : Musée des Transmissions ; Stanford Research Institute / SRI International • P. 208 : Seattle Computer Products • P. 209 : France Télécom / APH • P. 210 : Bandai Namco Entertainment ; © Taito Corp. 1978 • P. 211 : Droits réservés ; www.jimraycroft.com 1982 ; Gortu / Wikimedia Commons • P. 212 : CSME - SCGM • P. 213 : Bilby / Wikimedia Commons • P. 214 : Dave's Vintage PCs • P. 215 : Mike Cattell / Wikimedia Commons • P. 217 : France Telecom • P. 219 : MGM • P. 220 : Jaap Scherphuis (<http://www.jaapsch.net/psion/>) ; Letdorf / Wikimedia Commons ; © 2015 by AUCTION TEAM BREKER, Cologne, Germany (www.Breker.com) • P. 221 : Apple computer, Inc • P. 222 : Lawrence Livermore National Laboratory ; © CEA/CADAM • P. 223 : Thesupermat / Wikimedia Commons ; JohnClaudi - Flickr • P. 224 : www.ferra.ru • P. 225 : Rico Shen • P. 226 : Krd / Wikimedia Commons • P. 227 : Xerox ; Cray computers ; © 2015 by AUCTION TEAM BREKER, Cologne, Germany (www.Breker.com) ; Fondation Mémoires Informatiques ; L'Ordinateur Individuel ; Xerox ; L'ordinateur de poche ; BYTE Magazine ; Rama / Wikimedia Commons





WII.

L'ère des réseaux

NUMÉRIQUES

D'autre part, il s'agit de l'histoire du temps présent : que l'on soit historien, informaticien ou investisseur, on manque du recul nécessaire pour discerner les lignes de force. Il est difficile (et c'est heureux, sinon l'histoire serait déterminée) de distinguer, parmi tant d'innovations toutes claironnées comme « révolutionnaires », « de rupture » et « de nouvelle génération », lesquelles dureront plus qu'une mode jetable et auront une véritable signification historique. Il est encore plus difficile de connaître certains projets, ceux-là très discrets au contraire, mais qui influenceront profondément l'évolution technique.

Pour donner quelques points de repère dans cette histoire foisonnante, on peut rythmer sa chronologie par périodes décennales, où chaque troisième année (1973, 1983, 1993...) porte des changements significatifs.

Arpanet... et les autres (1963-1973)

Derrière les inventions astucieuses dont les dates jalonnent ce livre, la genèse d'Internet se comprend comme la longue quête d'une meilleure efficacité des systèmes d'information : optimiser l'emploi des ressources et supprimer les goulets d'étranglement. Démarche commune à l'économiste et à l'ingénieur.

On peut choisir comme point de départ les premiers systèmes d'exploitation en *time-sharing*, qui permettaient de mieux rentabiliser le gros ordinateur d'une université en optimisant la répartition des ressources du processeur entre les terminaux et entre les programmes d'applications. L'administration américaine de la Défense, ayant contribué à les financer, avait intérêt à soutenir des recherches qui visaient à poursuivre cette logique. Notamment à interconnecter plusieurs ordinateurs de plusieurs campus, afin de mettre à la disposition d'une communauté scientifique aussi large que possible des ressources rares et chères, comme les bases de données qui commençaient à proliférer dans les années 1960. C'est la justification première d'Arpanet et d'autres réseaux d'ordinateurs hétérogènes (académiques ou non) ultérieurs. L'étape suivante consistera à connecter ces réseaux entre eux, à créer un *inter-net*.

Arpanet a joué un rôle crucial dans ce processus intégrateur. D'une part à cause des visions d'avenir informationnel qui l'inspiraient, bien au-delà des aspects techniques — Licklider avait repris le flambeau allumé en 1945 par Vannevar Bush avec son projet Memex (voir chapitre 4), et cette idée de diffusion du savoir par des moyens nouveaux était partagée par divers groupes sociaux, à commencer par les universitaires. L'ARPA, agence militaire de soutien à la recherche civile, visant des objectifs à long terme, recrutait des responsables ayant à la fois une expérience professionnelle et une vision de l'avenir. Des hommes possédant ces rares mélanges de qualités : la rigueur et l'imagination, l'inventivité et l'aptitude à gérer un projet. Et, pour être efficace, elle leur laissait une grande liberté de décision, sans leur imposer de lourdes procédures bureaucratiques.

D'autre part, l'ARPA a financé des expériences d'interconnexion d'ordinateurs, permettant d'identifier en 1966 trois principaux problèmes qui conditionnaient le développement d'un réseau à grande échelle.

- Comment interconnecter tous les ordinateurs ? Si chacun devait être relié à tous les autres, le nombre de lignes télécom augmenterait géométriquement : mettre en réseau les dix-sept ordinateurs financés par l'ARPA nécessiterait déjà 17 fois 16/2, soit 136 lignes !
- Comment employer de façon économiquement optimale les coûteuses lignes à haut débit (pour l'époque) qui reliaient les ordinateurs ? Les mesures faites lors des expériences de *time-sharing* montraient que ces lignes n'étaient utilisées qu'à 2 % de leur capacité, pendant les brefs moments où les terminaux envoyaient ou recevaient des données — le reste du temps, l'utilisateur réfléchissait ou lisait les résultats sur l'imprimante.
- Comment connecter des ordinateurs incompatibles ? Les systèmes d'exploitation ayant été développés à grands frais depuis des années, au prix d'un travail harassant de débogage qui était loin d'être fini, il n'était pas question de les réécrire.

Les solutions à ces problèmes furent trouvées en moins de deux ans — la « transmission par paquets » et la fonction « d'interface réseau » confiée à des mini-ordinateurs — grâce, au-delà des individus créatifs, à la densité du tissu scientifique, congrès, séminaires, publications et télécommunications, qui leur permettait de partager rapidement idées et expériences. En 1968, tous les principes d'un réseau d'ordinateurs hétérogènes étaient maîtrisés et l'ARPA pouvait lancer le projet en grandeur réelle, avec 2,5 millions de dollars pour financer cinq équipes.

Des dizaines, bientôt des centaines d'étudiants, de programmeurs et de chercheurs furent ainsi mobilisés à temps partiel, tout en continuant leurs travaux personnels, pour « interfacer » l'ordinateur de leur campus au réseau. Cette participation suscita une culture nouvelle, où se mêlaient des universitaires financés par la Défense, des ingénieurs venus de l'industrie, des garçons et des filles en contact avec le mouvement hippie ou les diverses contre-cultures qui fleurissaient à l'époque. Cette culture techno-anarchique restera très vivace dans le monde de l'Internet jusqu'à nos jours.

Quel intérêt y trouve la Défense ? De ce côté le point de départ est un rapport de la Rand Corp., firme de consultants scientifiques liée à l'US Air Force. L'auteur, Paul Baran, recommandait en 1963 d'étudier la transmission de données par « paquets » en vue de constituer des réseaux numériques décentralisés, à la fois économiques et capables de fonctionner même après une attaque nucléaire.

Toutefois Arpanet n'a rien à voir avec un système militaire de contrôle et de commandement « durci » : il relie des centres universitaires de grandes villes qui seraient immédiatement anéantis en cas de conflit majeur. Du reste, des chercheurs français ont participé au développement d'Arpanet, ce qui aurait été impensable dans un projet militaire américain. On veut seulement qu'Arpanet soit robuste : d'abord au sens habituel, qu'il continue à fonctionner malgré les défaillances inévitables des transmissions et des ordinateurs ; et aussi au sens où son architecture — contrôle distribué dans le réseau avec une simple surveillance centrale — permet son ajustement dynamique aux configurations changeantes des commutateurs et des lignes.

En revanche, le Pentagone paye ces recherches en espérant bien qu'elles auront des retombées pour la Défense américaine. Ce qui sera le cas. L'ARPA finance deux autres réseaux expérimentaux d'ordinateurs : Packet Radio Network (PRNET) et Satnet. PRNET teste les transmissions numériques hertziennes destinées aux futurs systèmes mobiles de *Control and Command*. Satnet teste les transmissions numériques hertziennes par satellite, pour le renseignement militaire ; sa première application permettra de recevoir à Washington et de traiter en temps réel les données sismiques captées en Norvège, qui révèlent les essais nucléaires soviétiques. Tous deux influenceront le futur Internet.

Fin 1969, le réseau Arpanet entre en service expérimental avec quatre, puis cinq nœuds. Larry Roberts en devient l'apôtre, prêchant dans les congrès d'informaticiens pour gagner de nouveaux disciples. Du point de vue socio-économique, le succès d'un réseau se fonde en effet sur un processus cumulatif par « effet boule de neige » : plus les participants sont nombreux, plus on a intérêt à se connecter pour communiquer avec eux, profiter de leurs ressources et se faire connaître soi-même. Chaque individu a intérêt à augmenter l'abondance collective. Là aussi on retrouve la philosophie politique des Lumières, la recherche d'une synergie entre intérêts publics et intérêts privés.

D'autant qu'en 1971 un programmeur de la firme BBN a introduit dans Arpanet un dispositif de courrier électronique. Des e-mails existaient déjà dans des réseaux internes de *time-sharing*. Mais, dans un réseau « sans frontière », ils deviennent potentiellement substituables au téléphone, à la poste ou au fax. Alors que personne n'en a prévu le succès, ils constituent bientôt la majorité du trafic sur Arpanet et sur les réseaux similaires.

D'autres systèmes comparables sont en effet apparus simultanément. Dès 1969 ALOHAnet, lui aussi poulain de l'Arpa, a relié par radio les ordinateurs des îles Hawaï : les fichiers y sont fractionnés en « paquets » de 1 kbits commençant par l'adresse du destinataire ; chaque ordinateur, doté d'un périphérique radio à haute fréquence, « accepte » les paquets portant son adresse et refuse les autres. En

Angleterre, au NPL, le physicien Donald Davies — qui avait dirigé la construction de la machine ACE Pilot après le départ de Turing — a conçu et mis en service avec Roger Scantelbury un autre réseau à commutation de paquets. Concept dont il est l'inventeur, en même temps que l'Américain Paul Baran.

Bien d'autres réseaux numériques fonctionnent déjà sur des bases conceptuelles plus classiques. Ainsi les réseaux militaires, souvent les premiers à être opérationnels (SAGE, Strida, etc.) ; les réseaux de données des banques, des assurances, des compagnies de transport aérien ou ferroviaire. Les grands distributeurs d'électricité comme EDF ont été parmi les premiers à constituer des systèmes de *dispatching*, vastes réseaux téléinformatiques de contrôle de la production et du transport de l'énergie pour optimiser en permanence la répartition du courant et éviter qu'un petit déséquilibre ne dégénère en panne d'électricité à l'échelle d'un pays. Tous ces réseaux sont spécifiques à une institution et utilisent des lignes particulières, les fichiers y circulant en bloc de façon séquentielle, comme une conversation téléphonique. Une autre approche apparaît quand de grands opérateurs de télécommunications publics ou privés entreprennent de constituer des réseaux de données universels et définissent pour cela des normes comme X25.

Le développement de ces systèmes a formé des compétences humaines et poussé à la réalisation de matériels et de logiciels spécifiques. Depuis la fin des années soixante, les nouveaux ordinateurs sont conçus pour pouvoir fonctionner en réseaux, perçus comme l'horizon de l'informatique future. On songe surtout au *time-sharing* et à de vastes systèmes de management intégré, mais la convergence entre l'informatique et les télécommunications est déjà bien amorcée.

Vers l'interconnexion (1973-1983)

Une partie des recherches visent à définir des protocoles permettant à la fois la mise en communication des ordinateurs du réseau, le transfert de fichiers, la messagerie et d'autres fonctions. Elles vont

de pair avec d'innombrables expérimentations assorties de calculs comparatifs d'efficacité, pour déterminer les meilleurs compromis possibles en fonction des technologies existantes ou émergentes, et des visions qu'ont les ingénieurs des usages futurs.

En France, deux projets parallèles, bientôt concurrents, ont été lancés pour mettre en œuvre le concept prometteur de commutation de paquets. Le Centre national d'études des télécommunications intègre celui-ci dans son projet Hermès qui donnera naissance au réseau Transpac, infrastructure du Minitel et d'autres services ; puis à un réseau numérique intégré (RNIS) auquel on fixe d'emblée comme but d'acheminer conversations téléphoniques, images et données. Le Plan Calcul crée à l'Institut de recherche en informatique et automatique une équipe-projet qui conçoit le réseau Cyclades, inspiré directement d'Arpanet, et aboutit à des tests probants dès 1973 ; au-delà des frontières, Cyclades se connecte ensuite à Arpanet, à NPLNet et à un réseau européen de bases de données. Il produit aussi des innovations majeures, tel le concept de datagramme, qui seront apportées à l'œuvre commune. S'il disparaît prématurément, un autre réseau pour la recherche, Renater, renaîtra dix ans plus tard en France.

De leur côté, dès le milieu des années 1970, les grands constructeurs d'ordinateurs proposent des systèmes de réseaux « propriétaires » comme IBM SNA ou DECnet. Parmi les grands utilisateurs, 250 banques d'Europe et d'Amérique s'entendent pour constituer le réseau de données interbancaires SWIFT, opérationnel en 1977.

Ces déploiements de réseaux s'appuient non seulement sur des technologies en évolution rapide, mais aussi sur des visions de la société future : un management plus fluide et moins hiérarchique, fondé plus sur la communication instantanée que sur l'autorité hiérarchique ; une société sans paperasse et sans argent liquide ; et bien sûr un partage du savoir plus égalitaire, favorisant la compréhension entre les classes et les cultures.

Peut-être l'exemple le plus achevé — et le plus éphémère — de l'utopie communicationnelle est le réseau expérimental qui, en juillet 1977, met en liaison à travers le Rideau de fer des



scientifiques et des ordinateurs d'Autriche, des États-Unis, de Pologne et d'URSS. L'initiateur est Gennadij Dobrov, un chercheur soviétique qui souhaite rétablir la coopération scientifique internationale. Il utilise à fois la technologie et la zone franche Est-Ouest qu'essaie d'être à l'époque l'Institut international pour l'analyse des systèmes (IIASA) à Vienne.

Ce foisonnement de réseaux pose la question des normes. Celles-ci relèvent de deux organisations internationales, où s'engagent des négociations tendues, les enjeux étant considérables. Le CCITT, qui représente les administrations des PTT, adopte la vision des ingénieurs des télécommunications : circuits virtuels et standard X25, rassemblant assez de pays pour l'imposer face aux systèmes propriétaires des grands constructeurs comme IBM. L'ISO, instance de l'ONU plus proche des industriels, adopte en 1977 une norme plus conforme à la vision des informaticiens.

Sans trop s'en préoccuper, l'équipe Arpanet a entrepris en 1973 de remplacer son protocole interne NCP, pour permettre l'interconnexion des réseaux. Robert Kahn et Vinton Cerf reprennent le problème à la base, en collaboration avec deux Français de l'équipe Cyclades, Louis Pouzin et Hubert Zimmermann. Ils trouvent le moyen de « cacher » les différences entre protocoles particuliers sous un protocole commun et de confier la fiabilité de l'ensemble non plus au réseau, mais aux ordinateurs hôtes. Ces principes simples doivent permettre de connecter presque n'importe quel réseau de paquets à un autre. Et d'étendre le réseau à volonté, puisque « l'intelligence » réside dans les ordinateurs qu'il sera facile de faire évoluer.

Le résultat est une norme de fait, Transmission Control Protocol / Internet Protocol (TCP/IP), que l'on teste entre plusieurs réseaux dans la seconde moitié des années 1970. Le 1^{er} janvier 1983, Arpanet migrera définitivement vers TCP/IP qui deviendra une base durable du réseau Internet.

D'autres séries de développements, issues d'autres contextes, viennent renforcer le processus. Inventé en 1973 au Xerox Park, Ethernet a montré la voie des réseaux locaux. Développé simulta-

nément aux Bell Labs, le système d'exploitation Unix favorise des modes d'utilisation ouverts. Une fois le protocole TCP/IP adopté par l'équipe Arpanet et intégré dans Unix, quiconque exploite un réseau local sous Unix peut connecter celui-ci au réseau global.

La possibilité d'interconnecter les réseaux prend donc corps. Ainsi naît l'Internet, qui mettra encore deux décennies à s'imposer. Temps nécessaire pour qu'une technologie se diffuse, à partir de quelques milliers d'experts, dans le corps social sur cinq continents. Pour qu'une « gouvernance » adaptée se mette en place. Et pour que soient développées les applications susceptibles d'intéresser des millions d'utilisateurs.

De l'État au marché (1983-1993)

Aux États-Unis, des universitaires ne travaillant pas sous contrat militaire et n'ayant donc pas accès à Arpanet, ont créé leurs propres réseaux vers 1980 : CSNET, Bitnet, Usenet. Ils sont assez hétérogènes, l'un est influencé par IBM, l'autre est sous Unix...

En 1984 le Pentagone scinde Arpanet en deux réseaux. Milnet est réservé aux militaires pour leurs communications internes non secrètes. Arpanet continue à relier les centres universitaires. Il est bientôt transféré à l'agence de recherche civile, la National Science Foundation (NSF).

Or celle-ci a entrepris de créer un réseau à grande capacité, NSFNet, pour relier les superordinateurs des grands centres de calcul. La réalisation est sous-traitée à IBM, qui accepte le protocole TCP/IP (décision historique !), et à MCI (rachetée plus tard par Verizon) pour le câble « dorsal » (*backbone*) en fibres optiques. Les performances de l'infrastructure NSFNet sont telles qu'elles attirent les amateurs de connexion bien au-delà du petit monde du calcul intensif. Rapidement les réseaux universitaires, Arpanet inclus, basculent vers NSFNet et s'y fondent entre 1987 et 1990. C'est alors que l'on commence à utiliser couramment le mot *Internet*, dans les milieux concernés qui sont encore assez restreints.

Une autre chaîne d'événements vient rejoindre cette dynamique. Les micro-ordinateurs se sont fait une place, non sans oppositions, dans le monde professionnel. Dès le milieu des années 1980, certains grands constructeurs les ont reliés par des systèmes de réseaux locaux ou « LAN » (AppleTalk, TokenRing d'IBM) typiquement à la dimension d'un immeuble de bureaux ou d'un département universitaire. Il suffit qu'un individu prenne l'initiative de connecter son réseau local à l'Internet pour que de nombreux utilisateurs de PC y aient accès. Comme c'était déjà le cas avec Ethernet et les stations de travail. Tous ces affluents grossissent le fleuve.

Les réseaux numériques à vocation commerciale se sont développés parallèlement : Tymnet, Telenet, CompuServe, American OnLine, etc. Fondé en 1984 par IBM, les magasins Sears et la chaîne de TV CBS, Prodigy proposait aux abonnés au téléphone de leur installer un micro-ordinateur, un modem et des logiciels de communication incluant une interface graphique pour transmettre de la publicité. Ce qui en fait l'un des ancêtres de l'Internet d'aujourd'hui.

Ces réseaux commerciaux pouvaient se connecter à l'Internet, à condition de respecter la politique « d'utilisation acceptable » de la NSF : financée par le contribuable américain, celle-ci ne pouvait servir des intérêts particuliers. Les connexions servaient donc surtout au trafic de courrier électronique. Mais ce mélange d'intérêts, favorable en soi à l'expansion d'Internet, était instable. Le principe « d'utilisation acceptable » n'allait pas résister longtemps.

Le 23 novembre 1992, un amendement législatif promulgué par le président G.W. Bush autorise, par une formulation subtile, l'accès aux réseaux informatiques liés à la NSF « pour des fins venant *en sus* de la recherche et de l'enseignement ». En deux mots, le gouvernement américain a ouvert l'Internet au commerce. L'année suivante, la NSF en transfère la gestion au secteur privé — la gestion de l'infrastructure, comme celle des noms de domaine.

L'ouverture d'Internet et le Web (1993-2003)

On comptait dans le monde en 1990 environ cent mille ordinateurs connectés qui échangeaient des courriers électroniques, permettaient des recherches d'information dans des grosses bases de données et affichaient des forums de discussion. Ce nombre passe à 2 millions en 1993. Parmi eux, quelques centaines de serveurs. Une difficulté majeure est la recherche d'informations : l'Internet ressemble alors à une immense bibliothèque qui n'aurait pas de catalogue. Au point que beaucoup d'informaticiens se demandent à quoi il pourra bien servir, au-delà des échanges d'emails et des consultations de bases de données scientifiques.

La solution est trouvée par au moins trois équipes dans le monde. La plus connue est formée par Tim Berners-Lee et Robert Cailliau, alors chercheurs au Centre européen de recherches nucléaires (CERN). Ils ont développé les protocoles et logiciels nécessaires à l'échange et l'affichage d'informations via des liens hypertextes. Ce qui permet à chacun de publier un document en ligne en le reliant à d'autres sites ; et rend praticables les recherches d'information sur l'Internet. Encore faut-il développer l'outil pour ce faire, annuaire ou navigateur. Au début, ce World Wide Web n'est accessible qu'aux physiciens du CERN équipés d'une station de travail NeXt. Tout change en 1993 lorsque le Web s'articule au navigateur Mosaic, développé au National Center for Supercomputing Applications américain (notons à nouveau le rôle moteur des grands centres de calcul intensif). Le succès de leur système fait rapidement oublier Gopher, un logiciel similaire au Web, créé à l'université du Minnesota. Ce succès conduira même à confondre le Web avec l'Internet.

Le problème principal est d'adapter l'Internet au commerce. Les réseaux numériques préexistants (Minitel, Prodigy, AOL...) possédaient des formules de paiement des connexions et des transactions, qui n'existent pas dans l'ensemble Internet-Web. Des centaines de jeunes développeurs se mettent à inventer des logiciels *ad hoc*, souvent dans des universités américaines, puis créent leurs entreprises avec le soutien financier de capital-risqueurs. Une

concurrence féroce s'engage, qui stimule l'innovation et aboutit généralement à la victoire totale d'un des protagonistes suivant le modèle économique du *winner takes all*.

Des articles enthousiastes dans la presse font découvrir l'Internet et le Web au grand public. Les micro-ordinateurs s'étant déjà largement répandus dans les entreprises et les foyers, quiconque les utilise peut, en acquérant un modem et un abonnement à un serveur, accéder aux nouvelles « autoroutes de l'information ». Par effet de réseau, les premiers qui ont un accès Internet pressent leurs amis et connaissances de s'y connecter aussi, pour communiquer plus facilement qu'avec le courrier ou le fax.

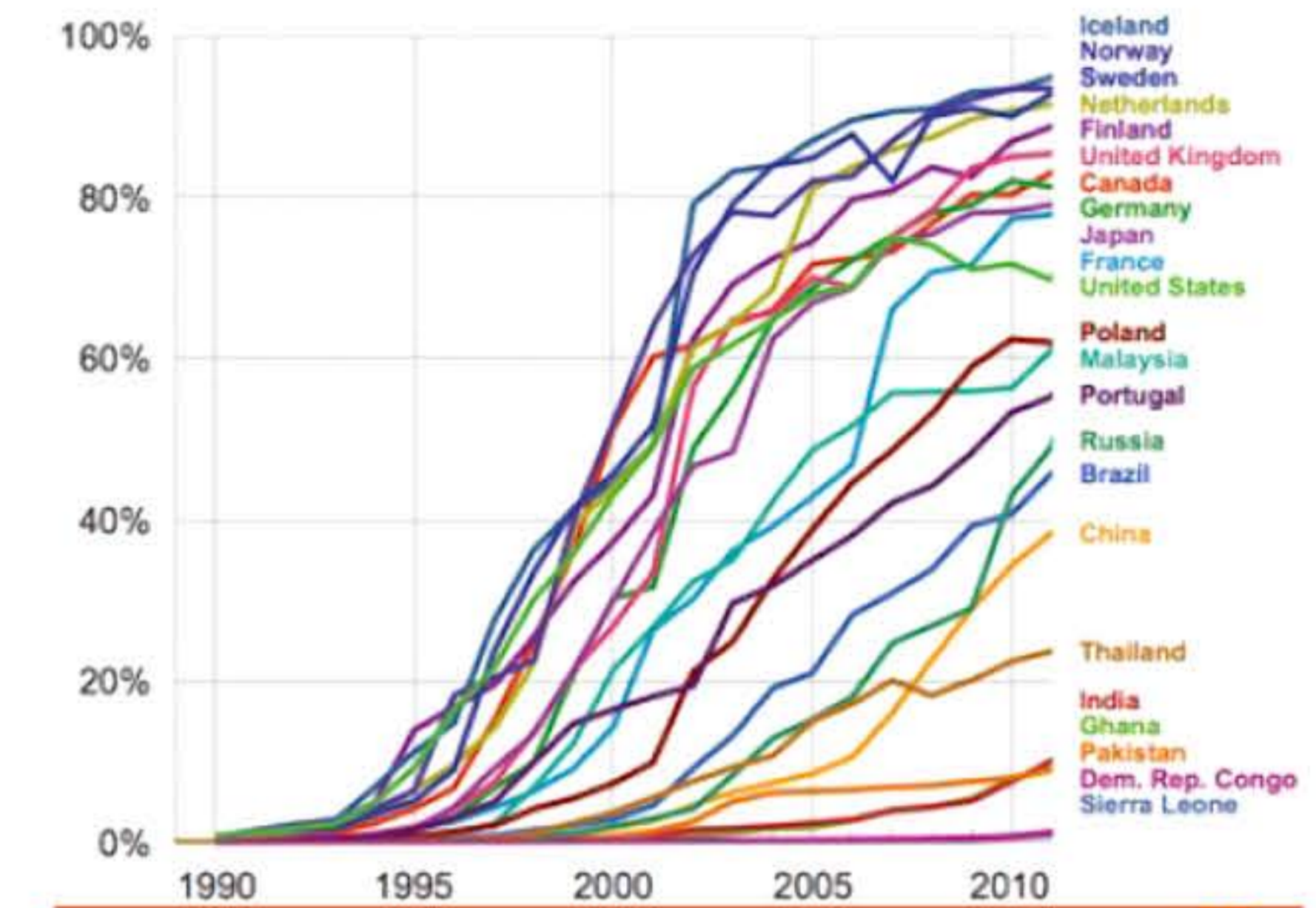
En 1995, la plupart des grandes organisations (administrations, banques, etc.) se rendent visibles sur l'Internet en y créant leurs sites d'information. Deux ans plus tard, elles élargissent les fonctionnalités de ces sites aux échanges interactifs, par exemple les transactions commerciales ou bancaires, qui nécessitent la mise au point de protocoles sécurisés. Notons que ce processus et ce calendrier d'adoption de la technologie reproduisent exactement celui qu'on avait observé quinze ans plus tôt avec le Minitel.

L'expansion d'Internet s'articule avec une profonde mutation de l'informatique. Il est évident que « l'économie numérique » d'aujourd'hui diffère profondément de l'industrie informatique telle qu'elle existait dans les années cinquante à quatre-vingt du xx^e siècle. Si IBM en reste l'un des grands acteurs, la firme qui conserve ce nom a profondément changé par rapport à ce qu'elle était il y a encore vingt ans. La mutation touche aussi les constructeurs de matériels pour opérateurs téléphoniques : ceux qui ne passent pas assez vite de la téléphonie aux appareils pour réseaux IP se vouent à l'extinction, aussi sûrement que les constructeurs mécanographiques de 1950 qui ne passaient pas à l'électronique.

En moins d'une génération humaine, l'informatique semble passer de processus industriels très coûteux, maîtrisés par une élite d'ingénieurs, à l'ubiquité débridée des objets connectés et à un Internet où chacun peut créer sa page web. Cette popularisation

des usages ne doit pas masquer que les investissements en production et en infrastructures sont gigantesques ; et qu'écrire un logiciel tel qu'Apache ou Firefox reste un exercice de haute technologie nécessitant plusieurs centaines d'années de travail cumulées pour des professionnels très qualifiés.

Une « nouvelle économie » ? L'expression a fait florès et motivé bien des investissements plus ou moins réfléchis à l'époque où gonflait la « bulle Internet » à l'approche de l'an 2000, avant d'éclater en causant surtout une nouvelle crise économique. Mais celle-ci n'a été qu'un accroc dans le processus de réorganisation de l'économie mondiale autour de l'informatique, dont l'Internet est l'une des manifestations : véritable révolution cyberindustrielle qui remet en cause les institutions de tous les pays et engendre un nouveau système de production.



L'expansion d'Internet : nombre d'utilisateurs pour 100 habitants, par pays. On voit que, dès avant 2010, la Chine compte plus d'internautes que tout autre nation au monde.

La maturation d'Internet (2003- ?)

Au début du xxi^e siècle, l'Internet a surmonté ses premières crises de croissance. Par essais et erreurs, controverses et affaires judiciaires, de « bonnes pratiques » se sont dégagées, ainsi que des modèles économiques possibles. Sa « gouvernance » est assurée en majeure partie par l'ICANN en ce qui concerne le nommage ; et, en ce qui concerne le routage, par des accords souvent secrets entre les opérateurs dont les 15 plus importants constituent le Tier 1. L'Internet a traversé la bulle spéculative et son éclatement — assorti de la disparition de maintes « e-entreprises » et de nombreux *business angels* qui étaient prêts naguère à y risquer leurs capitaux. Avec des fournisseurs d'accès bien rodés, une infrastructure réseau de plus en plus robuste, des prix en baisse, des internautes sans cesse plus nombreux et expérimentés, des matériels informatiques et des systèmes d'exploitation tous conçus

désormais pour les usages connectés, l'Internet fait maintenant partie de l'environnement de milliards de personnes. Qu'on soit un commerçant, un dirigeant politique ou administratif, un collégien ou un agriculteur sur l'un des cinq continents, la question n'est plus « si » on utilisera l'Internet, mais comment et pour quels usages.

À ces questions, l'industrie informatique répond avec empressement par ses offres innombrables. Industrie renouvelée par l'émergence de géants comme Google et Amazon, et par la métamorphose de firmes établies comme IBM, Apple ou Microsoft.

La maturation et l'expansion d'Internet sont encore favorisées par deux nouveautés techniques : le haut débit et le wifi. L'Internet ayant démontré son aptitude à servir le marché de masse et les services existant déjà, beaucoup d'acteurs sont prêts à payer un supplément pour avoir un accès plus rapide ou développer de nouvelles applications qui en profiteront. La maturation va de pair avec un cercle vertueux de l'incitation à investir. C'est ce que font les opérateurs de télécommunications ou de télévision par câble et d'autres firmes, comme les grandes banques qui remplacent leurs équipements de réseau par des matériels à haut débit pour faire face à l'explosion du trafic Internet qu'elles vont elles-mêmes alimenter en contenus.

Le concept de wifi remonte en partie au réseau hertzien ALOHAnet, dans le Pacifique, et à Ethernet inventé au Xerox Park. En 2003, un consortium d'industriels américains se constitue en *Wifi Alliance*. Intel annonce qu'elle intègre un dispositif de connexion sans fil, Centrino, dans tous les *notebooks* qu'elle équipe, contribuant à la diffusion des ordinateurs portables — et à l'encombrement des tables des cafés. Simultanément, le Blackberry devient un outil de travail et de prestige pour des millions de professionnels qui y trouvent une combinaison idéale de téléphone portable, d'agenda électronique et de terminal pour échanger des e-mails. Bien d'autres applications, objets et pratiques suivront, dont les images et les notices de ce chapitre offrent un aperçu représentatif.

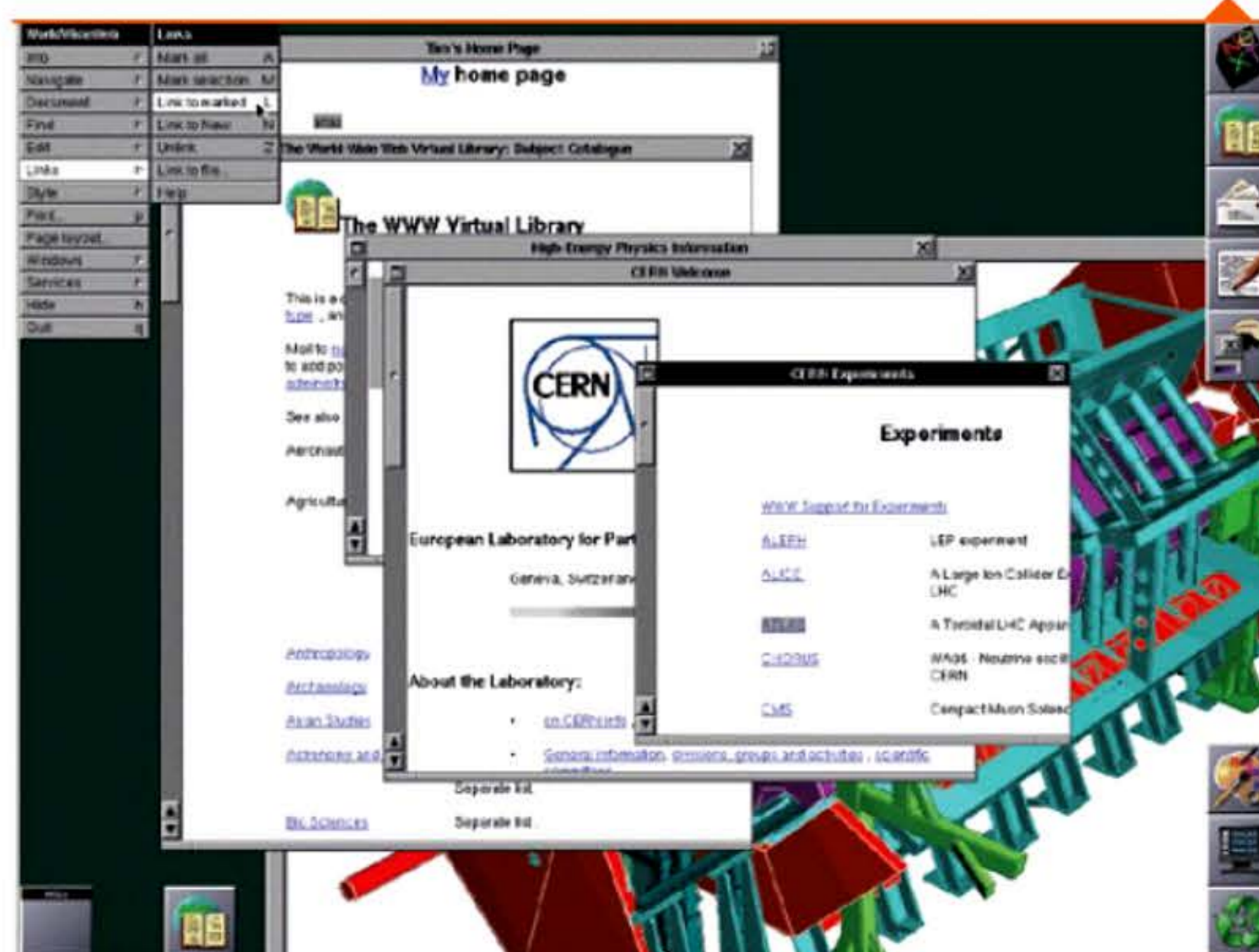
Comment caractériser la décennie commencée en 2013 ? Tout porte à croire qu'elle s'intitulera « l'Internet des objets ». . . Rendez-vous en 2023 !

1993 ▶ Le Web et l'ouverture d'Internet

Au début, l'utilisation d'Internet était limitée par la difficulté à y chercher l'information. Une solution est trouvée par deux chercheurs du Centre européen de recherches nucléaires (CERN) à Genève, Tim Berners-Lee et Robert Cailliau. Ils ont développé en 1989-1991 un ensemble de protocoles et de logiciels qu'ils ont nommé hardiment *World Wide Web*. Celui-ci combine un logiciel de serveur, un navigateur et un éditeur de documents permettant de créer des pages en ligne et d'y insérer des liens hypertextes avec d'autres documents situés sur n'importe quel autre site Internet dans le monde.

Le WWW initial n'est disponible que sur les stations de travail NeXt (un petit parc de 50 000 machines) et son navigateur est peu efficace — il ne gère d'ailleurs pas encore les images. Le CERN accordant peu de moyens à ce développement, il a été constitué en réutilisant des éléments logiciels préexistants, mais cette rusticité deviendra un avantage décisif. Tim Berners-Lee invente trois standards qui

La première page web dans le premier navigateur.



seront adoptés par les navigateurs ultérieurs : Hypertext Transfer Protocol (HTTP) qui permet au navigateur de demander une page sur le réseau et aux serveurs de la transmettre ; Hypertext Markup Language (HTML) qui code et décode les pages web et permet de les afficher ; l'Uniform Resource Locator (URL) qui étend le système de noms de domaines à des adresses explicites (par exemple `www.edpsciences.org/index.html`) au lieu de chiffres pour identifier des ressources et des ordinateurs connectés.

En 1993 le CERN décide de diffuser gratuitement ce système, qui se répand donc rapidement sur l'Internet à mesure qu'il est porté sur différentes plate-formes informatiques ; et que ses standards sont adoptés par de nouveaux navigateurs. Le « Web » éclipse bientôt Gopher, un système comparable inventé à l'université du Minnesota, mais que celle-ci a rendu payant.

Ce succès conduira même à confondre le Web avec l'Internet. Rappelons que celui-ci est essentiellement une infrastructure réseau, formée de moyens de transmission (câbles, ondes hertziennes dans des zones marginales) et de moyens de commutation (routeurs), avec les protocoles (TCP/IP, ATM) et les logiciels qui permettent à ceux-ci de fonctionner et de faire circuler les données entre les réseaux, en fonction du système d'adresses IP. Toute une industrie de câbliers et de fournisseurs d'accès (FAI) s'occupe aujourd'hui d'installer et de rentabiliser cet ensemble. Beaucoup d'objets connectés utilisent l'Internet sans passer par le Web.

1993 ▶ Cisco

Fondée par un couple d'informaticiens de l'université de Stanford, Cisco a gagné sa réputation au temps de l'Internet universitaire en développant de bons routeurs qui permettaient d'interconnecter des réseaux sous différents protocoles de communication. En 1993, Cisco est restructurée par une nouvelle direction qui entreprend d'en faire le leader mondial des matériels informatiques pour Internet, aussi bien pour les données que pour la voix ou

la vidéo. Aucun autre équipementier n'a alors une vision aussi claire de l'expansion à venir du réseau, et la stratégie de Cisco réussira pleinement.

1993 ▶ NCSA Mosaic

Développé au National Center for Supercomputing Applications américain (NCSA) et distribué gratuitement, Mosaic est le navigateur qui a le plus contribué, initialement, à répandre l'utilisation du World Wide Web. Apportant des fonctionnalités graphiques nouvelles, il est le premier navigateur à être disponible pour les principaux types de micro-ordinateurs et à inclure les formulaires interactifs dans les pages — innovation importante pour le développement du commerce électronique. Un an après sa sortie, les neuf dixièmes des internautes utilisaient Mosaic sous Unix. Son développement sera arrêté en 1997.

1993 ▶ Architecture client-serveur

La majorité des réseaux numériques avant Internet se composaient principalement d'un ou plusieurs ordinateurs centraux, chargés des données et de leurs traitements, et reliés à de nombreux terminaux « passifs ». La diffusion massive des PC et leur connexion aux réseaux met en œuvre une nouvelle architecture des applications. Celles-ci sont alors composées de deux logiciels (au minimum), coopérant à la réalisation d'un même traitement : un module client installé sur le poste de travail (micro-ordinateur, et maintenant téléphones ou tablettes), un module serveur implanté sur le ou les ordinateurs chargé(s) de rendre le service. Le serveur peut être un micro, un mini ou un grand système.

L'architecture client-serveur s'est d'abord développée dans des réseaux locaux, fermés, à l'intérieur des organisations : les *intranets*. Internet est considéré comme une architecture client-serveur



de taille mondiale. Les serveurs distribuent des pages hypertexte contenant textes, images, vidéos et sons. Ils jouent aussi le rôle de serveurs d'objets (*applets*). Le modèle client-serveur est omniprésent dans les « applis » de téléphone mobile, qui utilisent l'infrastructure Internet mais pas toujours à travers le web. Ces applis sont devenues un énorme marché de programmation et ont diffusé la pratique de la programmation distribuée.

1994 ▶ Netscape Navigator

Premier navigateur commercial diffusé à grande échelle, Netscape rencontre dès son lancement un succès fulgurant, éclipsant vite son prédécesseur Mosaic. Ses auteurs, une équipe issue de NCSA Mosaic qui proclame son ambition de supplanter Microsoft sur Internet, lui ajoutent vite des fonctionnalités convaincantes : les *cookies*, le protocole de sécurisation des échanges SSL, le langage JavaScript. Et plus tard Java, qui est à la fois un langage de programmation et une plate-forme d'applications à vocation universelle.

Netscape a le mérite d'être disponible pour la plupart des systèmes d'exploitation, en particulier MacOS, Unix et Windows. Mais celui-ci étant déjà prépondérant sur les PC et Microsoft déployant une offensive sur tous les fronts pour imposer son propre navigateur Internet Explorer, Netscape passera à son tour au second plan, pour réapparaître momentanément dans Mozilla Firefox.

1994 ▶ Cookies

Les *cookies* étaient initialement des paquets de données qu'un programme recevait et renvoyait inchangés. Leur utilisation sur le web est adoptée en 1994 dans le navigateur Netscape pour une application de e-commerce (un brevet sera obtenu en 1998). Les *cookies* permettent d'implémenter le panier d'achat virtuel d'un magasin et

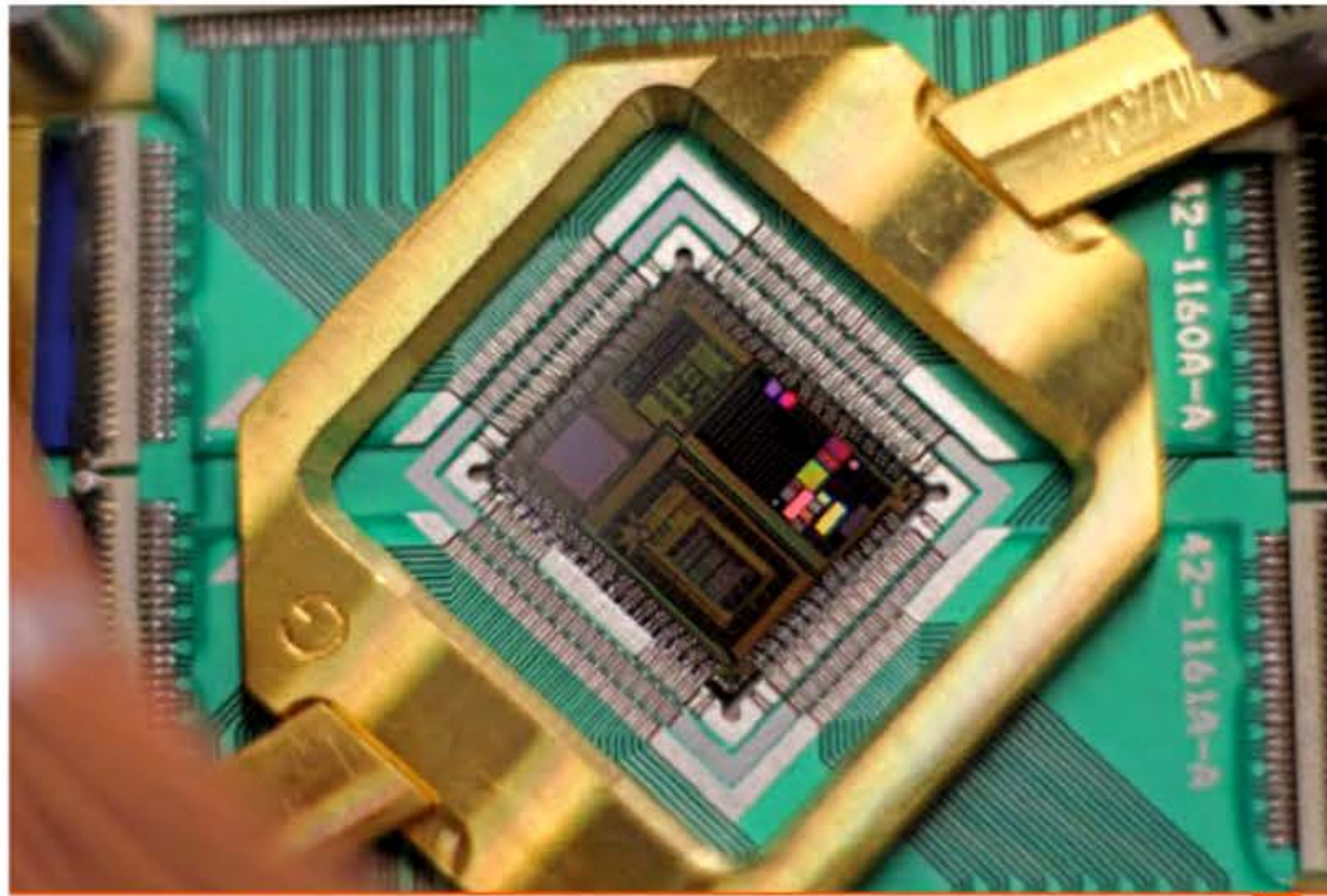
de déterminer si les visiteurs du site l'ont déjà visité auparavant — plus généralement de maintenir les données relatives à l'utilisateur durant sa navigation et lors de ses visites ultérieures.

Les *cookies* sont bientôt intégrés dans d'autres navigateurs. L'introduction des *cookies* se fait discrètement, et ce n'est qu'un ou deux ans plus tard que les médias commencent à évoquer de possibles intrusions dans la vie privée des internautes. Il faudra encore de longues années pour que ceux-ci en soient informés par les sites web qu'ils consultent et puissent sélectionner leurs « préférences » en la matière.

1994 ▶ Algorithme quantique

L'informatique quantique est le nouveau graal des chercheurs. Il ne s'agit plus de manipuler des bits pouvant valoir 0 ou 1 mais des qubits (*quantum bits*) qui se trouvent dans une superposition de ces deux états. Alors qu'une série de n bits peut prendre une valeur parmi 2^n possibles, un ensemble de n qubits est dans une superposition de ces 2^n états. Quand un opérateur est appliqué à l'ensemble de ces qubits, il est appliqué aux 2^n états en même temps, ce qui équivaut à un calcul parallèle sur 2^n données en même temps.

Le domaine de recherche des ordinateurs quantiques se réveille brutalement en 1994 lorsque Peter Shor, chercheur chez AT&T, invente un algorithme théorique permettant la factorisation d'un nombre entier en temps polynomial sur un éventuel ordinateur quantique alors que les meilleurs algorithmes classiques connus nécessitent un temps exponentiel. Cette difficulté de factorisation étant la raison principale de la validité de certains algorithmes de chiffrement (RSA par exemple), on comprend le soudain intérêt manifesté par les gouvernements et grandes entreprises, et le déblocage des crédits de recherche. Depuis, les avancées théoriques se heurtent aux difficultés techniques : construction des qubits et intrication, préservation de la superposition des états, mémorisation... Les



« Processeur » 512 qubits de D-Wave.

quelques petits « ordinateurs » quantiques existants sont encore des jouets de laboratoire sans applications concrètes (et peut-être le resteront-ils) mais les promesses sont immenses (augmentation importante des performances).

La société D-Wave a présenté en 2011 ses premiers ordinateurs quantiques spécialisés capables de résoudre certains problèmes d'optimisation à l'aide d'un circuit manipulant des qubits et effectuant un recuit simulé quantique à très basse température. Il ne s'agit pas d'un ordinateur quantique généraliste mais plutôt d'un optimiseur utilisant des propriétés quantiques pour accélérer le traitement.

1994 ▶ QR-code

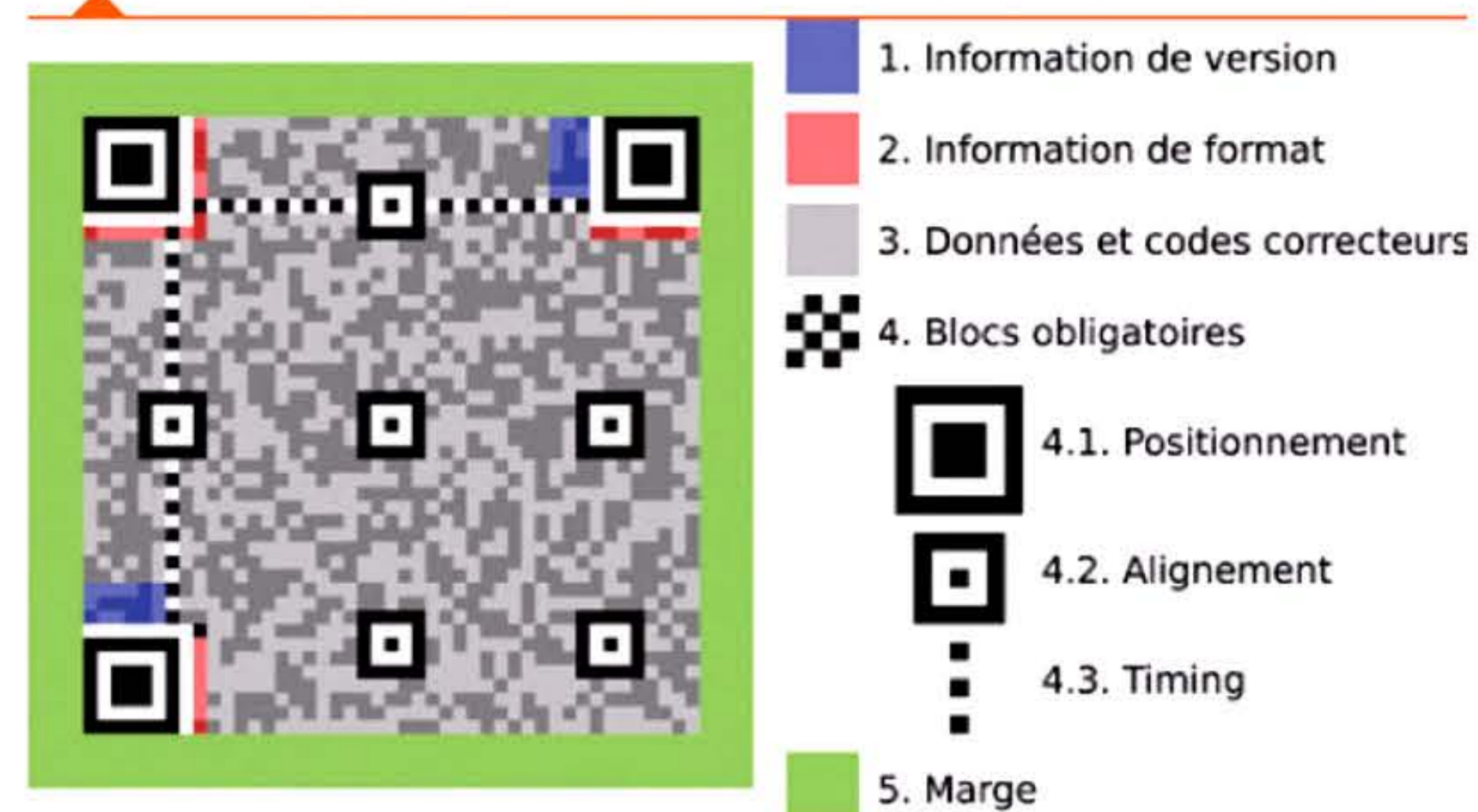
L'entreprise japonaise Denso-Wave crée le QR-code en 1994 afin de suivre des pièces détachées dans l'industrie automobile. Il s'agit d'un code-barres bidimensionnel codant des données numériques

ou alphanumériques. Ses spécifications ont été publiées en 1999 et il a rapidement été adopté par l'ensemble des acteurs économiques en raison de sa grande flexibilité (plusieurs tailles de QR-code existent pouvant coder des numéros d'identification, des URL, des coordonnées géographiques, du texte brut...), de sa fiabilité (les informations codées incluent un code correcteur d'erreurs permettant la lecture même lorsque le dessin est dégradé), et surtout de sa facilité d'utilisation liée à l'explosion des smartphones.



Exemple de QR-code.

Structure d'un QR-code.



1995 ▶ Le langage PHP

Le premier langage d'écriture de pages web, HTML, permettait la construction de pages statiques dont le contenu était fixe. Afin d'avoir des pages web variables incluant des éléments récupérés « au vol » lors de la connexion d'un navigateur, via une base de données par exemple, Rasmus Lerdorf commence en 1994 le développement d'outils qu'il appelle *Personal Home Page/Forms Interpreter*. Une fois le code rendu public un an après, de nombreux informaticiens vont l'améliorer pour aboutir à un langage complet de description de pages web dynamiques : PHP dont l'acronyme récursif signifie maintenant *PHP: Hypertext Preprocessor*.

1995 ▶ Le langage Java

Travaillant chez Sun, James Gosling développe le langage Java. C'est un langage objet, multi-plateforme car interprété par une machine virtuelle et adapté aux applications réseaux. Parmi les avantages qui en ont fait le succès, il est bien adapté au développement d'applications client-serveur, et les logiciels écrits en Java sont facilement portables sur plusieurs systèmes d'exploitation courants.

1995 ▶ Javascript

Développé en collaboration avec Sun et Netscape, JavaScript est un langage de scripts facilitant la production de pages web interactives en permettant au navigateur de manipuler directement les éléments d'une page. En 1995, Netscape intègre JavaScript dans son navigateur web. Le succès de ce navigateur contribue à l'adoption rapide du nouveau langage (qui diffère nettement de Java) dans le développement web côté client (mais aussi plus récemment côté serveur). Survivant à Netscape, Javascript est devenu le langage dominant du web (notamment dans les applications pour smartphones et tablettes), depuis que celui-ci n'est plus formé principalement de pages statiques mais de programmes client-serveur distribués.

1995 ▶ Yahoo!

Pour chercher de l'information sur Internet, il existe deux types de formules : l'annuaire et le navigateur. C'est la première, la plus évidente, qu'ont mise en œuvre des internautes qui voulaient rendre service à la communauté, en établissant des listes thématiques de pages web avec les liens correspondants. Parmi eux, deux étudiants de Stanford ont créé *Jerry and David's Guide to the World Wide Web*,

avec l'ambition de couvrir l'ensemble de la Toile. Mais la rapide croissance du nombre de serveurs (10 000 fin 1994, 23 000 six mois plus tard) rend le travail d'indexation de plus en plus lourd et oblige à employer beaucoup de main d'œuvre. David Filo et Jerry Yang transforment leur activité en entreprise, obtiennent du capital-risque et profitent de la publicité faite au web par les media. Yahoo affronte vite une forte concurrence, mais parviendra à y survivre jusqu'à nos jours.

1995 ▶ altavista.digital.com

Développé par des chercheurs de Digital Equipment, principalement Louis Monier et Michael Burrows, AltaVista est le premier moteur de recherche capable d'indexer rapidement la plupart des pages web, puis de lancer la quête d'images, de fichiers audio et de vidéos. Contrairement aux annuaires, il utilise un logiciel navigateur : celui-ci explore quelques pages web pertinentes en fonction de mots-clés, puis suit les liens vers d'autres pages, selon des modèles mathématiques conçus pour optimiser l'efficacité et la pertinence de la recherche.

Dès le début il parvient à indexer environ 20 millions de pages web, beaucoup plus que les autres logiciels concurrents (Lycos, Excite, InfoSeek...). Exploit rendu possible par l'enregistrement de la base de données entière en mémoire, sur une vingtaine d'ordinateurs totalisant 130 Go de mémoire vive et 500 Go sur disques dur (en 1998) — capacité gigantesque à l'époque et qui nécessite de gros investissements. AltaVista est également le premier moteur de recherche multilingue (la version française apparaîtra en février 2000). Il devient vite le plus important moteur de recherche textuelle utilisé dans le monde, avant d'être dépassé par Google. Depuis l'absorption de DEC par Compaq, AltaVista a en effet changé plusieurs fois de propriétaires qui n'ont pas toujours perçu son potentiel. Il finit chez Yahoo qui l'arrête en 2013 avec d'autres services web.



1995 ▶ Amazon.com

Ne voulant pas rater le boom du commerce électronique, Jeff Bezos crée la librairie en ligne Amazon.com. Aucun profit n'est réalisé les cinq premières années mais l'entreprise survit à l'éclatement de la bulle Internet en 2000, avant de voir arriver ses premiers bénéficiaires. Le succès n'a fait que se confirmer depuis, avec un élargissement progressif des ventes vers les DVD, fichiers MP3, appareils électroniques puis l'habillement, les jouets, la nourriture et les bijoux. Dernièrement, Amazon s'est lancé dans le stockage dématérialisé (*cloud computing*) en proposant des offres de stockage, d'hébergement et de calcul distribués.

En raison de sa position dominante dans le commerce sur Internet, Amazon est régulièrement au centre de polémiques sur les conditions de travail au sein de ses immenses entrepôts de stockage et sur sa capacité à échapper aux taxes via des montages fiscaux sophistiqués.

1995 ▶ Le DVD-ROM

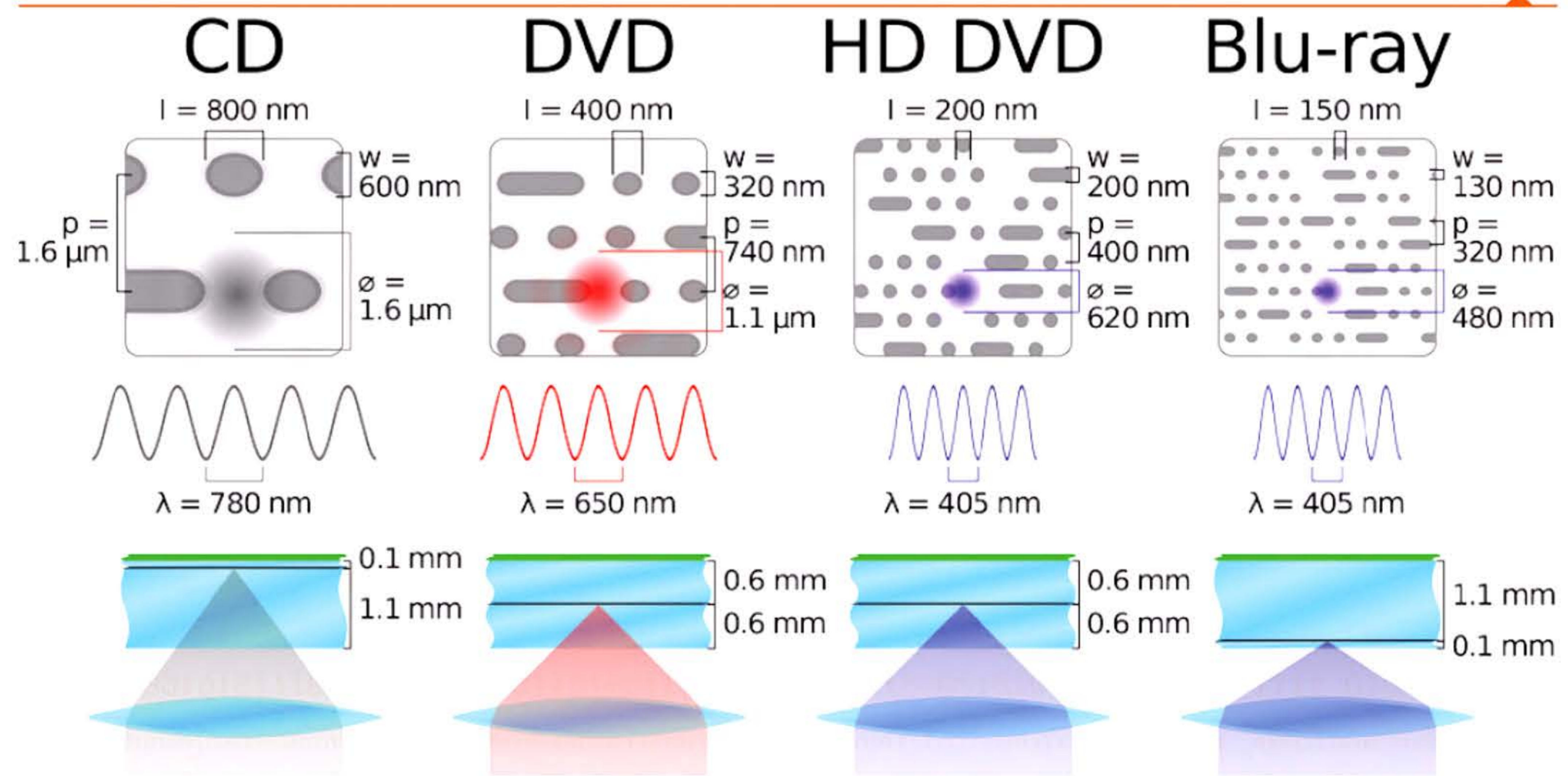
Le successeur du CD-ROM prend un essor fulgurant. Sa capacité aussi puisqu'elle passe à 4,7 Go pour les modèles les plus simples (mono-couche, mono-face). Sa capacité sera étendue en 2007 avec le DVD Blu-ray qui est surtout utilisé par l'industrie cinématographique comme support de films à haute définition ou en 3D.

1995 ▶ Windows 95

À grand renfort de publicité, Microsoft sort la nouvelle version de son système d'exploitation, Windows 95. Celui-ci est bien représentatif de deux phénomènes : le développement d'interfaces graphiques, pour rivaliser avec celles offertes depuis 10 ans par les Macintosh d'Apple et par IBM OS/2 ; et l'incertitude, courante alors dans la profession, sur la place qu'il convient d'accorder à Internet.

Microsoft réussit à intégrer ses produits précédents MS-DOS et Windows avec un environnement graphique, produisant un système convivial convaincant à un prix très inférieur à l'IBM OS/2. Porté par l'immense parc installé de PC compatibles, Windows

Évolution de la gravure sur les supports optiques. À chaque génération, la taille et l'espacement des trous portant l'information se réduisent, ainsi que la longueur d'onde du laser permettant la lecture.



95 remporte un énorme succès commercial. Deux ans après sa sortie, en 1997 il sera le système d'exploitation le plus diffusé au monde : 100 millions de copies vendues, soit 69,4 % de parts de marché contre 4,6 % pour Mac OS et 2,4 % pour Linux.

Ce succès n'est pas gêné par le manque initial de connectivité avec Internet. Les versions originales de Windows 95 ne sont vendues ni avec Internet Explorer, ni avec le protocole TCP/IP installé par défaut. Ces logiciels ne seront fournis qu'avec des versions spéciales ou lors des révisions ultérieures. Trois ans plus tard, Microsoft commercialisera Windows 98, intégrant d'emblée les fonctionnalités liées au web... et gagnant la « guerre des navigateurs » contre Netscape.

1996 ▶ Le Network Computer

Pour contrer l'hégémonie d'Intel (microprocesseurs) et de Microsoft (système d'exploitation Windows), plusieurs constructeurs lancent le projet de Network Computer, terminal intelligent récupérant programmes et données directement du réseau. Équipé d'un processeur moins puissant, sans disque dur, il devait faire baisser les prix des machines et faciliter l'accès à Internet. Mais il n'a jamais réussi à se faire une place, principalement en raison de la baisse de prix des PC, du manque de support logiciel et du faible débit des connexions réseaux de l'époque.

1996 ▶ Explosion d'Ariane 5 : le coût du bogue

Le 4 juin 1996, 37 secondes après le décollage, le vol inaugural du lanceur européen Ariane 5 se solde par l'explosion de la fusée. Cet échec est causé par un dysfonctionnement informatique lié à un dépasse-

ment de capacité dans une variable enregistrant un paramètre de vol. La valeur erronée enregistrée a provoqué la mise hors-service des calculateurs de bord et l'autodestruction de la fusée.

L'histoire informatique est jonchée de bogues ayant entraîné des pannes matérielles parfois graves : irradiations et décès de patients lors de dysfonctionnements de l'appareil de radiothérapie Therac-25 (1985-1987), décalage d'horloge empêchant un missile Patriot de détruire un missile Scud qui explosera en tuant 28 soldats pendant la guerre du Golfe (1991), perte de la sonde spatiale Mars Climate Orbiter en raison d'une incompatibilité d'unités entre systèmes métrique et anglais lors du passage de données entre deux programmes (1999)... Ces ratés informatiques peuvent souvent s'expliquer par des erreurs de conception ou de développement, par une mauvaise gestion du cahier des charges et des tests de qualité, ou par une réduction du budget de maintenance.

1996 ▶ La Chine entre en scène

La Chine communiste s'est d'abord appuyée, au début des années 1960, sur les technologies de son allié soviétique pour construire ses premiers ordinateurs à tubes. Puis, tout en essayant quelques développements internes, elle a recouru massivement aux importations de matériels informatiques des pays capitalistes, que ses ingénieurs analysaient minutieusement pour les copier ou s'en inspirer (famille de processeurs DJS). Après la parenthèse sanglante de la Révolution culturelle où elle s'était refermée sur elle-même, elle achète aussi des usines clés en main aux Occidentaux. Son premier ordinateur à circuits intégrés date de 1970. Son premier micro-ordinateur, le DJS-05 (1977), est entièrement équipé de circuits MOS LSI développés en Chine.

Le 7^e Plan quinquennal élaboré par le gouvernement pour la période 1996-2000 se donne pour objectif d'augmenter la part de composants nationaux dans les ordinateurs assemblés en Chine

et d'aider quelques fabricants de micro-ordinateurs à atteindre un chiffre d'affaires supérieur à un milliard de dollars. Pékin invite des entreprises multinationales à créer des partenariats avec des firmes locales et à leur transférer des technologies, en échange d'un accès à l'immense marché chinois. Y compris à la clientèle des administrations publiques qui pratiquent un patriotisme économique très contrôlé. Les constructeurs étrangers d'ordinateurs personnels couvrent rapidement 60% du marché chinois, mais reculent ensuite, les constructeurs nationaux devenant très compétitifs.

Toutefois la Chine ne possède pas (pas encore) les capacités de conception et de production des microprocesseurs les plus avancés (finesse de gravure inférieure à 32 nanomètres), technologies stratégiques soigneusement contrôlées par les pays qui les ont développées.

1997 ▶ Deep Blue bat Kasparov

Dès les débuts de l'informatique, les scientifiques se sont posés la question de la possibilité pour un ordinateur de jouer aux échecs. Les premiers progrès se font dès les années 1950 avec l'invention de l'alpha-beta améliorant l'algorithme minimax de recherche du meilleur coup. Dès 1962 apparaissent au MIT et en URSS les premiers programmes capables de jouer une partie crédible. Rendus optimistes par les progrès rapides du matériel, les chercheurs prédisent qu'un ordinateur deviendra rapidement champion du monde. Le maître international David Levy n'est pas de cet avis et parie avec eux en 1968 que, pendant dix ans, aucun programme ne remportera de match contre lui. Le pari est gagné en 1978 lorsqu'il bat Chess 4.7, alors le meilleur programme du moment, sur le score de 4,5 à 1,5. Le match fait cependant sensation car la victoire de l'ordinateur lors de la quatrième partie du match est la première défaite d'un maître en tournoi. Les progrès s'enchaînent et les amateurs peuvent jouer contre des programmes tournant sur du matériel dédié puis directement contre des programmes pour micro-ordinateurs.



Ordinateur spécialisé Mephisto Academy (1989).

La première victoire d'un programme contre un champion du monde (lors d'un match en six parties) aura lieu en 1997 lorsque Deep Blue, un ordinateur massivement parallèle associé à des circuits intégrés construits par IBM spécialement pour le jeu d'échec, l'emporte 3,5 à 2,5 contre Garry Kasparov. Depuis, le niveau des programmes n'a cessé de s'améliorer et les meilleurs d'entre eux, même exécutés sur des ordinateurs classiques, sont au-dessus du niveau des meilleurs humains.



Si Google domine en Amérique et surtout en Europe, les internautes restent libres de choisir d'autres moteurs qui présentent des avantages comparatifs — respect de la vie privée et des données personnelles — comme Duckduckgo, Exalead, Ixquick ou Qwant. En Russie, la moitié des requêtes passent par Yandex. En Chine, Baidu jouit d'un quasi-monopole. En Amérique du Nord, Bing et Yahoo totalisent 20 % du marché. Il existe en tout près d'une centaine de moteurs de recherche développés dans une dizaine de pays.

1998 ▶ ICANN : la gouvernance d'Internet

Divers organismes liés au gouvernement fédéral américain, tel l'Internet Assigned Numbers Authority, se chargeaient initialement d'allouer l'espace des adresses de protocole Internet, d'attribuer les adresses IP, de gérer le système de serveurs racines du DNS et les noms de domaine de premier niveau, génériques ou nationaux. En 1998, au terme de difficiles négociations avec les parties prenantes (universitaires, télécommunications, fabricants d'équipements, fournisseurs de contenus, administrations), l'administration Clinton crée une autorité de régulation : l'Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN, ou Société pour l'attribution des noms de domaine et des numéros sur l'Internet), de droit californien.

Avec ce régulateur central, rattaché au gouvernement d'une superpuissance et qui fixe les prix des noms de domaines, on est très loin de l'idéal décentralisateur que partageaient nombre de communautés de l'Internet premier. D'où des controverses très vives autour de la gouvernance d'Internet, de son utilisation par les intérêts d'une nation et du refus américain de la transférer à l'ONU ou à une autre organisation internationale.

Il existait en 2012 plus de 250 millions de noms de domaine dans le monde, dont la majorité sont encore des « .com » et des extensions nationales. L'ICANN a accepté de rouvrir cette nomenclature, notam-

ment en admettant des noms rédigés dans d'autres écritures que l'alphabet latin, ou représentant des « communautés » (comprendre « clientèles ») beaucoup plus variées.

1999 ▶ Napster et le peer-to-peer



Logo de Napster.

Étudiant à la Northeastern University de Boston, Shawn Fanning lance Napster, un service d'échange de fichiers musicaux fonctionnant en *peer-to-peer* (pair-à-pair ou P2P en français). Le logiciel Napster permet à l'internaute qui l'a téléchargé de copier les fichiers MP3 situés sur tout disque dur d'ordinateur possédant le même logiciel, n'importe où sur la planète. Il donne

donc accès gratuitement à une quantité de morceaux musicaux très supérieure à ce qu'offrent alors les rares sites payants. Au sommet de sa popularité, il compte plus de 26 millions d'utilisateurs par mois.

C'est un choc pour l'industrie de l'enregistrement musical, qui perçoit soudain une menace sur ses ventes de disques — menace qui se concrétisera en effet dans la chute des revenus des producteurs et des artistes. Elle réagit vigoureusement, bataillant dans les tribunaux, dans les media et auprès du milieu politique qu'elle pousse à légiférer pour protéger son commerce. Après deux ans de procédure, le serveur central Napster est fermé et son logiciel retiré. Shawn Fanning fonde la société Snocap, une plate-forme de vente de musique en ligne parmi d'autres.

Mais Napster a ouvert la voie à des échanges P2P décentralisés beaucoup plus difficiles à contrôler. Surtout, en familiarisant des millions de consommateurs avec les systèmes de vente de musique en ligne, il a contribué à bouleverser le marché de l'enregistrement sonore. Plus largement, il a fait brutalement prendre conscience que le « virtuel » pouvait désormais supplanter et ruiner des pans entiers de l'économie « matérielle », que l'on entrainait dans une « nouvelle économie ».

2000 ▶ Bogue de l'an 2000

En raison de la taille limitée du stockage dans les années 1960-1980, de nombreux logiciels exprimaient les années en se limitant aux deux derniers chiffres. Vers 1995, le monde informatique se rend compte que de nombreuses applications risquent de dysfonctionner en passant de l'an 99 (1999) à l'année 00 (interprétée comme 1900 au lieu de 2000). On parle dès lors du « bogue » de l'an 2000, alors qu'il ne s'agit pas d'une erreur de programmation, mais plutôt d'un défaut de conception initiale — les programmeurs des années 1960 qui devaient économiser la mémoire des ordinateurs n'imaginaient pas que leurs logiciels fonctionneraient encore 40 ans plus tard.

Ce problème risquait d'affecter des systèmes critiques, d'autant qu'il se conjugait en Europe avec le passage à l'Euro qui exigeait la modification de tous les logiciels contenant des instructions d'ordre financier : le 31 décembre 1999 à minuit, par exemple, les distributeurs automatiques bancaires ne se mettraient-ils pas à cracher des liasses de billets sur les trottoirs ? Plus grave encore, les systèmes de contrôle aérien ou ceux des centrales nucléaires pouvaient être affectés.

Sa résolution a nécessité la mise en place de nombreux groupes de pilotage, la réécriture d'applications, voire des migrations complètes vers de nouvelles plateformes matérielles et logicielles. Un

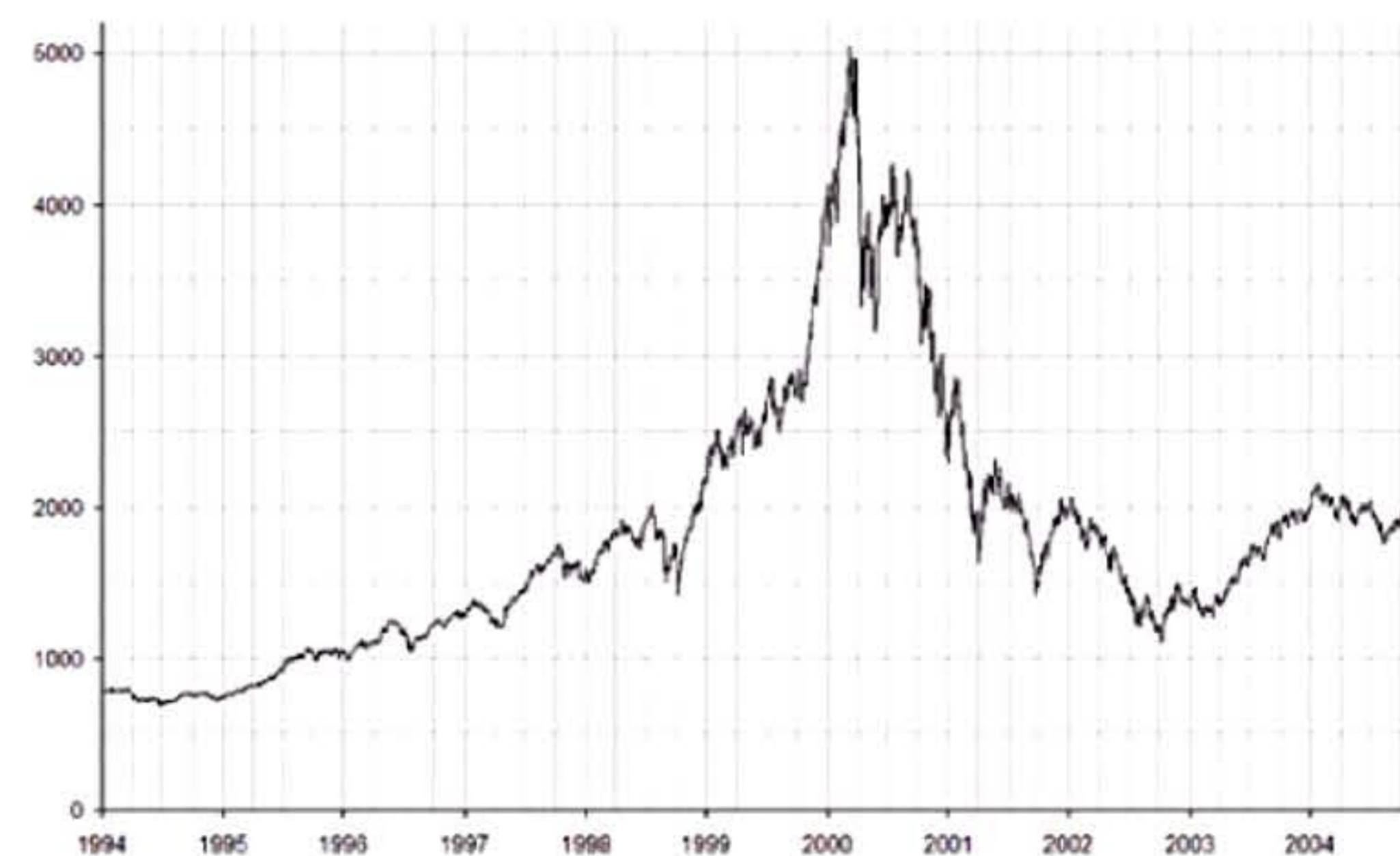


Bogue d'affichage...

énorme travail effectué à l'échelle mondiale, entraînant de lourds investissements financiers et humains, a permis de limiter les effets du bogue à quelques courriers administratifs mal datés sans autre dommage sur l'économie. Et de refaire à neuf de nombreux logiciels qui avaient trop longtemps survécu par de successifs rafistolages. Ce qui a amené certains à croire que l'annonce initiale du bogue était un simple coup marketing, alors que les risques étaient réels.

2000 ▶ La bulle Internet éclate

Dès 1995, l'ouverture du secteur des télécommunications à la concurrence, les investissements informatiques des entreprises (indirectement liés au bogue de l'an 2000) et les espoirs mirifiques liés à la popularité croissante du « nouveau » réseau Internet poussent les investisseurs à se ruer sur les valeurs technologiques, les fameuses « dot.com ». L'indice boursier du marché NASDAQ, spécialisé dans les hautes technologies, est multiplié par cinq en cinq ans et les valeurs des entreprises du secteur grimpent sans rapport avec leur chiffre d'affaires ou leurs bénéfices.



Cours de l'indice du NASDAQ entre 1994 et 2004.

La bulle éclate au premier semestre de l'an 2000 quand des sociétés font faillite ou ne peuvent tenir leurs promesses extravagantes de bénéfices. On découvre aussi que des comptes ont été maquillés pour masquer des pertes. Les investisseurs se retirent en masse, souvent « lessivés » eux-mêmes et laissant des épargnants ruinés. Fin 2002, l'indice boursier retombe à sa valeur de 1996. Il remontera ensuite.

2000 ▶ Dénî de service distribué

Pour mettre à genou un serveur, « il suffit » de le bombarder de fausses demandes de connexion, l'obligeant à les traiter en réservant des ressources. Avec un grand nombre de fausses requêtes, le serveur est saturé et ne parvient plus à répondre aux connexions légitimes ; il subit une attaque par « déni de service ». Cependant, si la puissance du serveur est assez importante, il sera difficile pour l'attaquant de disposer d'une bande passante suffisante. Il faut alors distribuer les attaques à partir de centaines, milliers ou dizaines de milliers d'ordinateurs afin que leurs bandes passantes sortantes s'additionnent et submergent le serveur visé ; c'est le déni de service distribué ou DDoS (*Distributed Denial of Service*), qui utilise des réseaux d'ordinateurs infectés par des logiciels malveillants pour lancer les attaques. La première attaque DDoS médiatisée a lieu en février 2000 lorsque Michael Calce, un jeune Canadien de 15 ans connu sous le pseudonyme de Mafiaboy, met hors service de gros sites web commerciaux comme Yahoo!, Amazon.com, Dell, E*TRADE, eBay et CNN à l'aide de logiciels ad-hoc créés par d'autres. Il sera condamné à huit mois de détention. Depuis, la puissance de ces attaques n'a fait qu'augmenter ; elles sont souvent effectuées en représailles ou pour exercer un chantage.

2000 ▶ Clés USB

La clé USB est un bon symbole de la mondialisation, puisque son invention est attribuée à la fois à un ingénieur d'IBM, à un Malaisien et à un Israélien. Ce support de stockage amovible repose sur l'utilisation de la mémoire flash, pour la miniaturisation et la fiabilité, et se branche sur le port *Universal Serial Bus* (USB) d'un ordinateur ou d'un autre appareil numérique. Les premières clés USB sont produites par IBM avec une capacité de 8 Mo, soit cinq fois celle d'une disquette 3,5 pouces. En 2013, la capacité maximale a été portée à 512 Go, soit plus d'un doublement par an, supérieur à la loi de Moore.



Supports de stockage amovibles : disquettes 3,5 pouces, 5,25 pouces et 8 pouces ; sur cette dernière, clé USB, cartes mémoires et cartouche microdrive (1984) ; en haut à droite une cassette audio, utilisée comme support de sauvegarde des premiers micro-ordinateurs, et une bande magnétique ; en dessous, DVD et CD-R.

2001 ▶ iPod et iTunes d'Apple

Construisant sur le potentiel de ses ordinateurs Mac équipés dès 1986 de capacités d'enregistrement audio et de lecture MIDI, Apple fait une entrée fracassante sur le marché de la musique enregistrée en lançant un baladeur numérique. Ce premier iPod à micro-disque dur (5 Go) peut contenir mille chansons. D'autres constructeurs avaient déjà commercialisé des appareils comparables, mais de capacité moindre et peu conviviaux. Simultanément Apple offre iTunes, un logiciel de lecture bien adapté au format MP3.

iPod 3G, iPod 4G, iPod nano 1G, iPod nano 2G, iPod shuffle 3G, iPod shuffle 2G et iPhone 4.



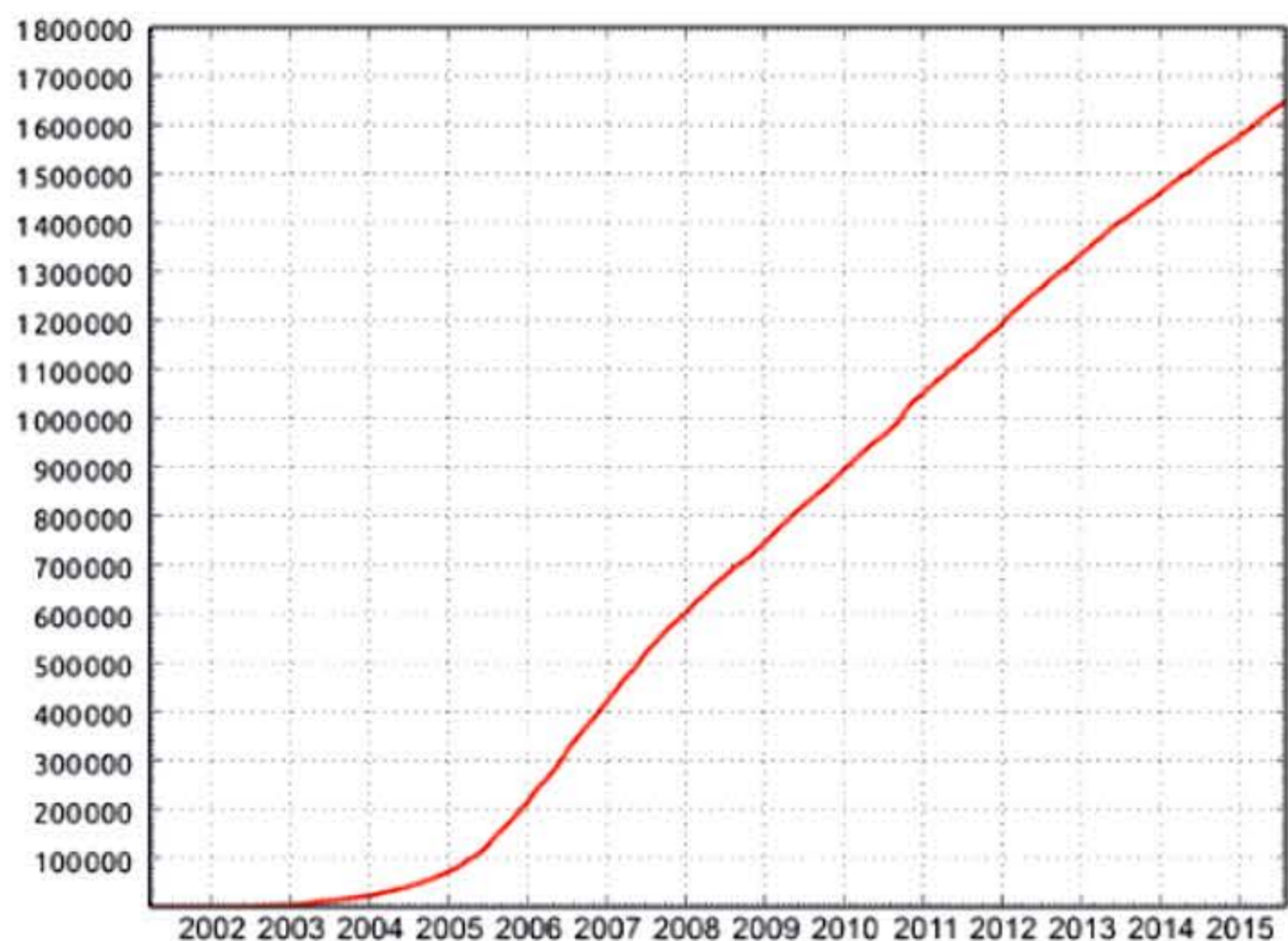
Les deux produits évoluent ensuite. L'iPod multiplie sa capacité en passant aux mémoires flash (2005). À partir de 2003, iTunes permet l'achat de musique en ligne et devient progressivement un gestionnaire de contenus multimédia très élaboré, un outil de pilotage de matériel et une plateforme de commerce en ligne. Régnant en maître sur les ventes de baladeurs numériques, Apple joue ainsi un rôle majeur dans la dématérialisation des contenus (musique puis vidéo) qui propulse l'industrie musicale dans l'ère Internet.

La firme à la pomme change de raison sociale en conséquence, passant en 2007 de *Apple Computer* à *Apple, Inc.* Ses fondateurs avaient obtenu jadis moyennant 80 000 dollars l'autorisation d'Apple Records, qui produisait les disques des Beatles, d'utiliser comme logo la pomme croquée à condition de rester à l'écart de l'industrie musicale, ce qui ne posait aucun problème aux inventeurs de l'Apple II. Il faut renégocier l'accord au terme d'un procès, mais le coût en est modique comparé aux profits pharamineux que génère le nouveau modèle économique d'Apple.

2001 ▶ Wikipédia

Wikipédia est une encyclopédie en ligne à vocation universelle, créée par l'homme d'affaires américain Jimmy Wales et par l'enseignant de philosophie Larry Sanger. Son principe est la participation des internautes à sa rédaction : quiconque accédant au site peut modifier la quasi-totalité des articles ou en créer de nouveaux. Wikipédia présume donc la bonne volonté constructive de tous les utilisateurs du Net, renouant avec l'imaginaire optimiste de l'Internet universitaire. Le résultat est une très grande facilité à la fois d'accès et de modifications, faisant de Wikipédia le sixième site le plus fréquenté sur Internet dans le monde entier. En 2015, avec plus de 37 millions d'articles en ligne, Wikipédia a dépassé les 500 millions de visiteurs par mois. Bien que son contenu ait alors été principalement en anglais, il est rapidement devenu multilingue (291 langues en 2015).

Nombre d'articles
de Wikipedia en français
depuis 2002.



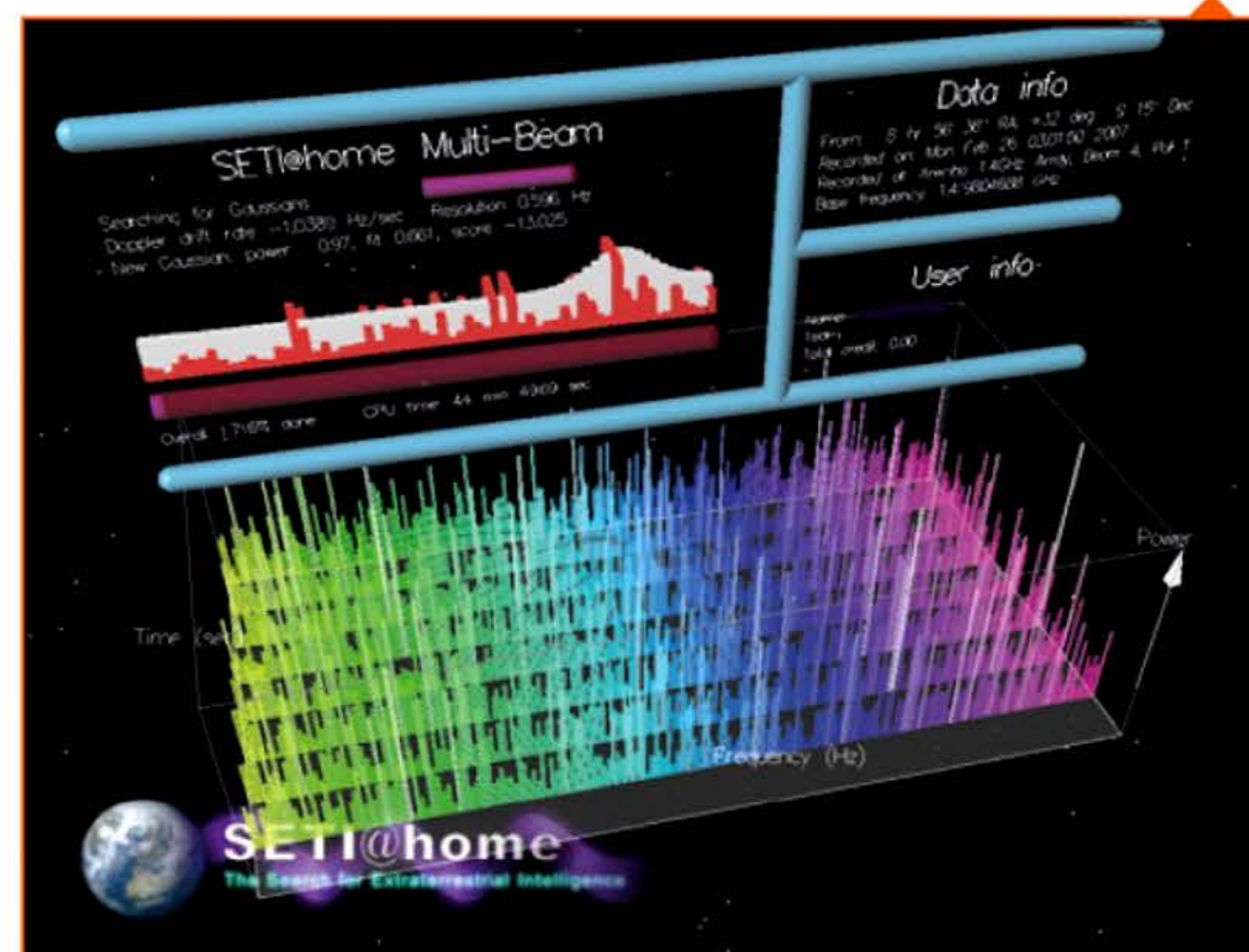
Toutefois la vocation universelle de Wikipédia reste discutée. Une grande partie des articles est souvent traduite de la version anglaise, contribuant à diffuser un point de vue et des biais culturels américains. Ensuite interviennent des ajouts et des modifications en tous sens. Les versions d'un même article sont supposées semblables d'une langue aux autres, mais elles présentent souvent de fortes différences de contenu et de techniques d'édition. Certains articles sont des sujets d'affrontement politiques et idéologiques permanents, et comme tels étroitement surveillés par les protagonistes et par le management de Wikipédia. Enfin la qualité très inégale des articles, parfois les erreurs grossières ou la propagande qui s'y glissent, font de Wikipédia une expérience intéressante plutôt qu'une référence fiable. Des enseignants reprochent aussi à Wikipédia d'offrir un accès *trop* facile à des savoirs apparents, favorisant un travail de copie de la part des étudiants au détriment d'une véritable réflexion personnelle. Les notices les plus sérieusement rédigées sont celles qui portent sur les sujets scientifiques, reflétant l'esprit du milieu socio-professionnel à l'origine d'Internet.

2002 ▶ BOINC et SETI@Home

Au début de l'informatique, la puissance de calcul était rare et chère ; elle devait être rentabilisée en ouvrant les centres de calcul 24 heures sur 24 et en optimisant les logiciels de manière à minimiser les temps d'inactivité des processeurs. Avec la diffusion de micro-ordinateurs de plus en plus puissants et leur mise en réseaux, le problème s'est inversé : il y a une puissance installée gigantesque, répartie sur toute la planète (domiciles, bureaux...) et disponible chaque fois que l'utilisateur ne se sert pas de sa machine, c'est-à-dire au moins la moitié du temps !

Partant de ce constat, des initiatives ont été lancées afin de profiter de cette puissance dormante pour résoudre des problèmes scientifiques nécessitant de très nombreux calculs. Une des premières tentatives, l'une des plus connues, est le projet SETI@home qui vise à analyser les données enregistrées par le radiotélescope d'Arecibo à la recherche de signaux extraterrestres, en effectuant de

Copie d'écran des calculs effectués par SETI@Home.



très nombreuses analyses numériques (transformées de Fourier) en variant durées et fréquences. Avec un petit logiciel téléchargeable, chacun est capable sur son ordinateur de participer à la recherche. Un serveur central distribue les signaux bruts et récupère le résultat des analyses effectuées dans le monde entier.

Les premières implémentations ont montré la viabilité du concept de calcul distribué. De nombreux autres projets se sont greffés sur la plate-forme qui a évolué afin d'élargir les domaines de recherche — elle s'appelle maintenant BOINC pour *Berkeley Open Infrastructure for Network Computing*. On y trouve des analyses en biologie (repliement des protéines, structures moléculaires...), en astronomie (signaux extra-terrestres, détection de pulsars, trajectoires d'astéroïdes...), en mathématiques (recherche de contre-exemples à des conjectures, recherche de nombres premiers...), en physique (simulations numériques, interactions atomiques...), en climatologie... Chaque participant choisit le ou les projets auxquels il participe et la fraction de la puissance de son processeur qu'il est prêt à leur consacrer.

La puissance totale moyenne de calcul offerte par les centaines de milliers de bénévoles approche maintenant la dizaine de pétaflops, soit l'équivalent d'un des cinq premiers superordinateurs mondiaux.

2003 ▶ Passage aux 64 bits

Les processeurs 64 bits, permettant d'adresser plus de mémoire et d'effectuer des calculs plus rapidement, équipaient depuis longtemps les superordinateurs (dès 1975) et les stations de travail (vers 1990). Les premiers microprocesseurs 64 bits pour ordinateurs personnels sortent en 2003 chez AMD puis en 2004 chez Intel. Ils sont rejoints en 2011 par ARM dont les puces seront utilisées dans le premier smartphone 64 bits, l'iPhone 5S, en 2013.

2005 ▶ IBM cède ses PC à Lenovo

Se réorientant de plus en plus sur les services informatiques, IBM transmet son activité « ordinateurs personnels » à Lenovo, qui en fabriquait déjà une grande partie en sous-traitance. Cette entreprise chinoise fondée en 1984 produisait aussi ses propres PC sous la marque « Legend », profitant de la politique protectionniste d'achats de son gouvernement. Elle a pour actionnaires l'État chinois (15 % du capital), IBM qui profite ainsi de la croissance du marché chinois, et les fonds d'investissement américains entrés à l'occasion du rapprochement avec IBM. En 2013, Lenovo deviendra le premier constructeur de PC au monde par unités vendues, devant Hewlett-Packard. Puis complètera son offre en acquérant une partie de la branche serveurs d'IBM, ainsi que Motorola Mobility cédée par Google. Globalement, de 2000 à 2008 la Chine a multiplié par dix ses exportations de matériels informatiques (de l'ordre de 170 milliards de dollars en 2008), aggravant d'autant le déficit commercial des pays de l'OCDE dans ce secteur.

2006 ▶ Multiprocesseurs

La course à l'augmentation des fréquences d'horloge des microprocesseurs commence à poser des problèmes de dissipation thermique. Elles plafonnent juste au-dessus de 3 GHz. Les fabricants de microprocesseurs décident alors de profiter de l'intégration toujours plus importante (en 2015, on grave à 14 nm, incorporant plusieurs milliards de transistors sur une puce) pour réaliser des processeurs réunissant deux cœurs d'exécution, ou plus, sur un même support. La puissance est théoriquement augmentée, mais les applications mettront longtemps à profiter réellement de ces « processeurs » multiples car la programmation parallèle nécessite de nouveaux modèles, de nouveaux algorithmes et de nouveaux langages.

2007 ▶ Réseaux sociaux

Les sites de partage « social » se multiplient : MySpace puis Facebook, LinkedIn, Twitter, Foursquare, Instagram, Flickr... et deviennent un véritable phénomène de société. La génération qui naît au numérique en même temps qu'eux considère l'email comme la Poste de la génération précédente.

2007 ▶ Stockage flash

Successeurs des EPROM, les mémoires flash EEPROM, inventées en 1984 et dont la commercialisation commence en 1988, s'imposent au rythme de la diminution de leur prix. D'abord dans le stockage des appareils photos numériques puis rapidement dans le stockage des données informatiques. Les clés USB sonnent le glas des disquettes puis des DVD comme support d'échange. Les disques SSD concurrencent les disques durs en étant plus rapides et plus fiables — mais plus chers et d'une capacité moindre. Pour encore quelques temps...

2007 ▶ iPhone

Exploitant magistralement la diversification vers le multimédia qu'elle a entreprise depuis 2001 (iPod et iTunes), Apple lance l'iPhone, smartphone qui par son ergonomie nouvelle révolutionne l'accès mobile à Internet, alors que ces types d'appareils étaient auparavant réservés au monde professionnel. En 2010 est lancée la tablette iPad, qui en complétant les produits précédents crée un nouvel écosystème.

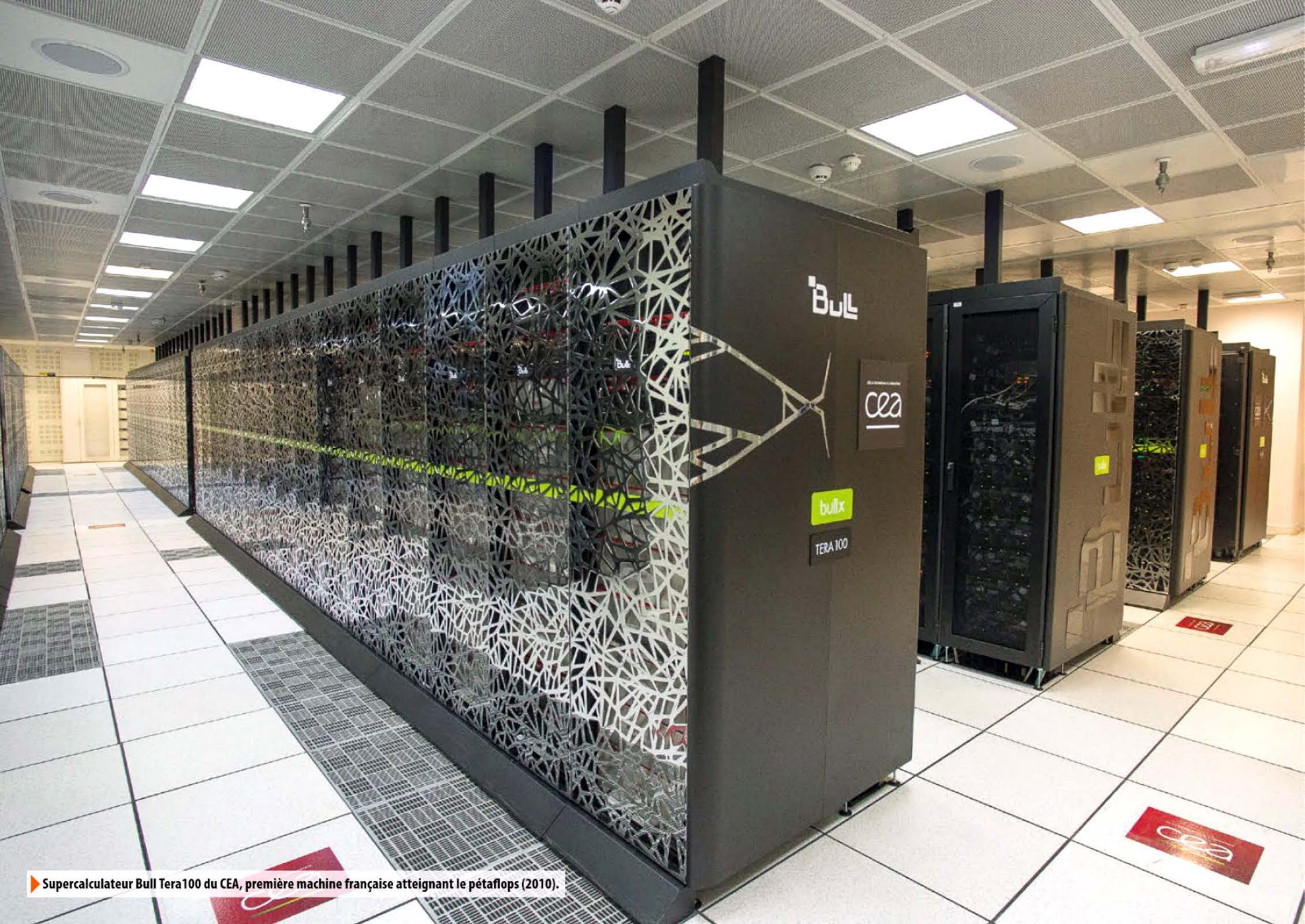
Paradoxalement, Apple est peut-être le seul constructeur d'ordinateurs qui ait repris, en l'actualisant, le modèle généraliste de l'ancienne IBM, produisant une vaste gamme d'appareils, de logiciels et de services autour d'un savoir-faire et d'un savoir-vendre très poussés. Et c'est aussi l'un de ceux qui ont su le mieux prendre le virage d'Internet et de cette « nouvelle économie ».



iPhone d'Apple et Galaxy de Samsung, deux smartphones à succès.

2007 ▶ Wikileaks

À partir de 2007, le site wikileaks.org commence à diffuser de manière anonyme des documents confidentiels obtenus auprès de lanceurs d'alerte. Il accède à la célébrité en 2010 lorsqu'il publie des documents militaires américains relatifs à la guerre en Afghanistan, puis s'associe à plusieurs organes de presse pour rendre public des dizaines de milliers de télégrammes diplomatiques américains. Le grand public découvre alors qu'Internet peut aussi servir aux ONG pour récolter, traiter et diffuser des informations confidentielles.



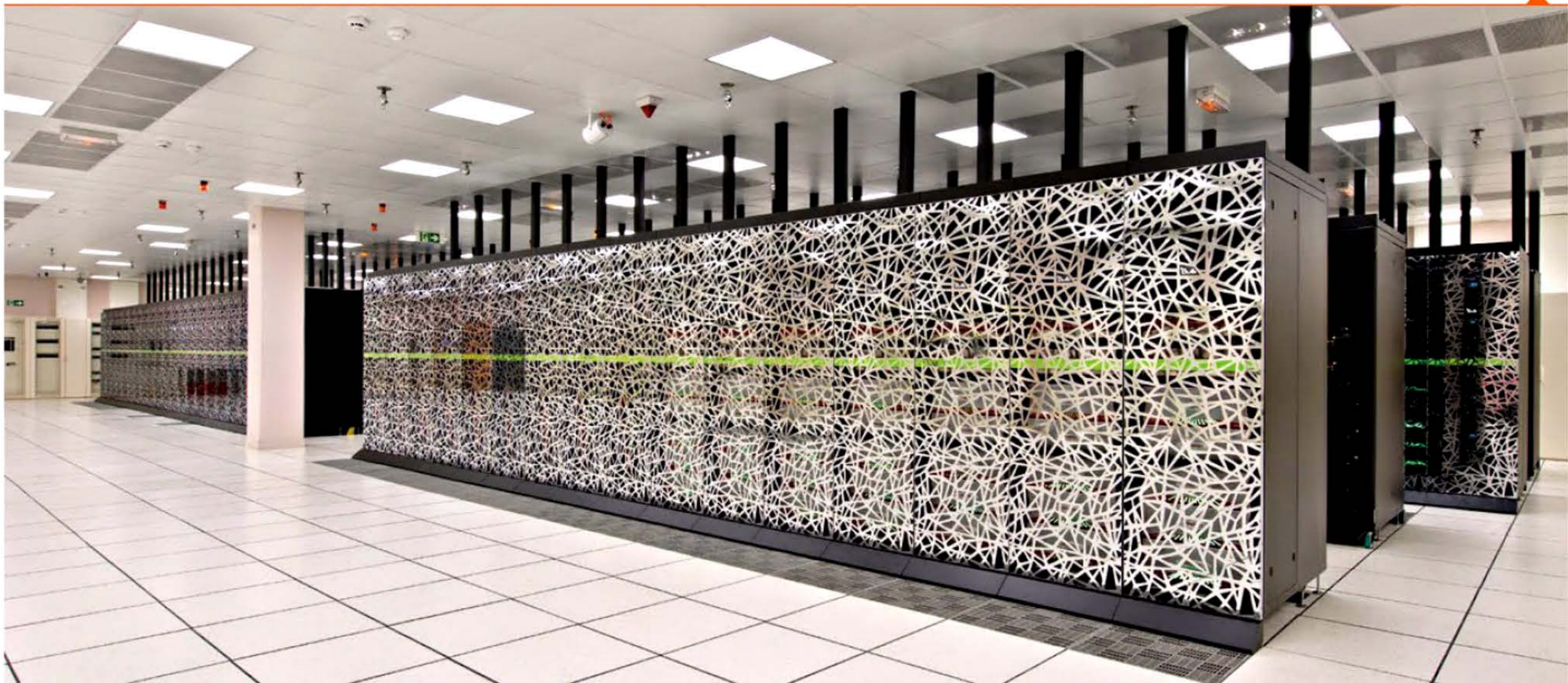
▶ Supercalculateur Bull Tera100 du CEA, première machine française atteignant le pétaflops (2010).

2008 ▶ Pétaflops

La barre du pétaflops, ou million de milliards d'opérations en virgule flottante par seconde, est franchie en mai 2008 par le superordinateur Roadrunner construit par IBM pour le département de l'énergie des États-Unis. Composé de près de vingt mille processeurs multi-cœurs, certains standards, d'autres spécialisés, il est utilisé pour des calculs de climatologie et de vieillissement d'armes nucléaires, mais aussi par l'industrie automobile et aéronautique. Il a été remplacé en mars 2013 par un autre superordinateur, plus petit mais énergétiquement plus efficace.

Au classement publié en juin 2015, l'ordinateur le plus puissant du monde est le Tianhe-2 chinois, avec une puissance totale estimée à presque 34 pétaflops répartis sur plus de trois millions de cœurs d'exécution, associés à une mémoire principale de 1 Po (un million de gigaoctets). Ce n'est toutefois pas le plus efficace du point de vue énergétique, sa puissance électrique consommée avoisinant 17 MW. Ce même classement de juin 2015 listait plus de 65 systèmes d'une puissance installée supérieure au pétaflops.

**Supercalculateur Curie
développé par Bull
et le CEA, le plus puissant
ordinateur en France lors
de son installation en 2012.**



2008 ▶ Applications innovantes

La généralisation des accès Internet fixes et mobiles, ainsi que l'explosion de l'usage des smartphones, a permis de nouvelles interactions commerciales entre entreprises et clients : localisation géographique et personnalisation pour améliorer le service (ou le marketing), réactivité et information sur les réseaux sociaux... De nouvelles start-ups se lancent, créant de nouveaux usages comme Reddit pour le partage de liens, Craigslist pour les petites annonces, Dropbox pour le partage de fichiers, Kickstarter pour le financement participatif, mais aussi des applications d'agrégation de données, de rencontres, de sécurité... D'autres concurrencent les acteurs historiques sur leur propre terrain à l'aide d'outils technologiques : AirBnB se heurte aux hôteliers en proposant des locations et réservations de logements entre particuliers, tandis que Uber bouscule le monopole des taxis en facilitant la location, via son téléphone, de voitures avec chauffeur. Ces nouveaux usages condamnent probablement à terme les anciens schémas commerciaux mais posent directement le problème de la destruction d'emplois existants. Voire de la concurrence déloyale, puisque certains de ces services ne se plient pas aux réglementations imposées aux professionnels.

peu retombé, ce qui n'empêche pas le bitcoin d'être de plus en plus accepté comme moyen de paiement sur des sites Internet et même dans des magasins ayant pignon sur rue. Il attire aussi l'attention des autorités par sa faculté à court-circuiter les systèmes bancaires et fiscaux traditionnels. C'est l'une de ses qualités, recherchée tant par ses utilisateurs honnêtes (rapidité de transactions et surtout absence de frais) que par les criminels (blanchiment d'argent, anonymat).

2010 ▶ Le *big data*

L'expression anglophone *big data*, traduite en français par *data-masse*, désigne des ensembles de données si gigantesques qu'ils nécessitent de nouveaux outils de collecte, de gestion, de stockage, de visualisation et de traitement. Ils offrent en revanche de nouvelles possibilités d'analyse à l'aide d'outils statistiques pour l'extraction d'informations pertinentes et la prise de décision, dans les domaines aussi bien scientifiques ou économiques que politiques.

Le bitcoin est accepté dans ce magasin.

2008 ▶ Bitcoin

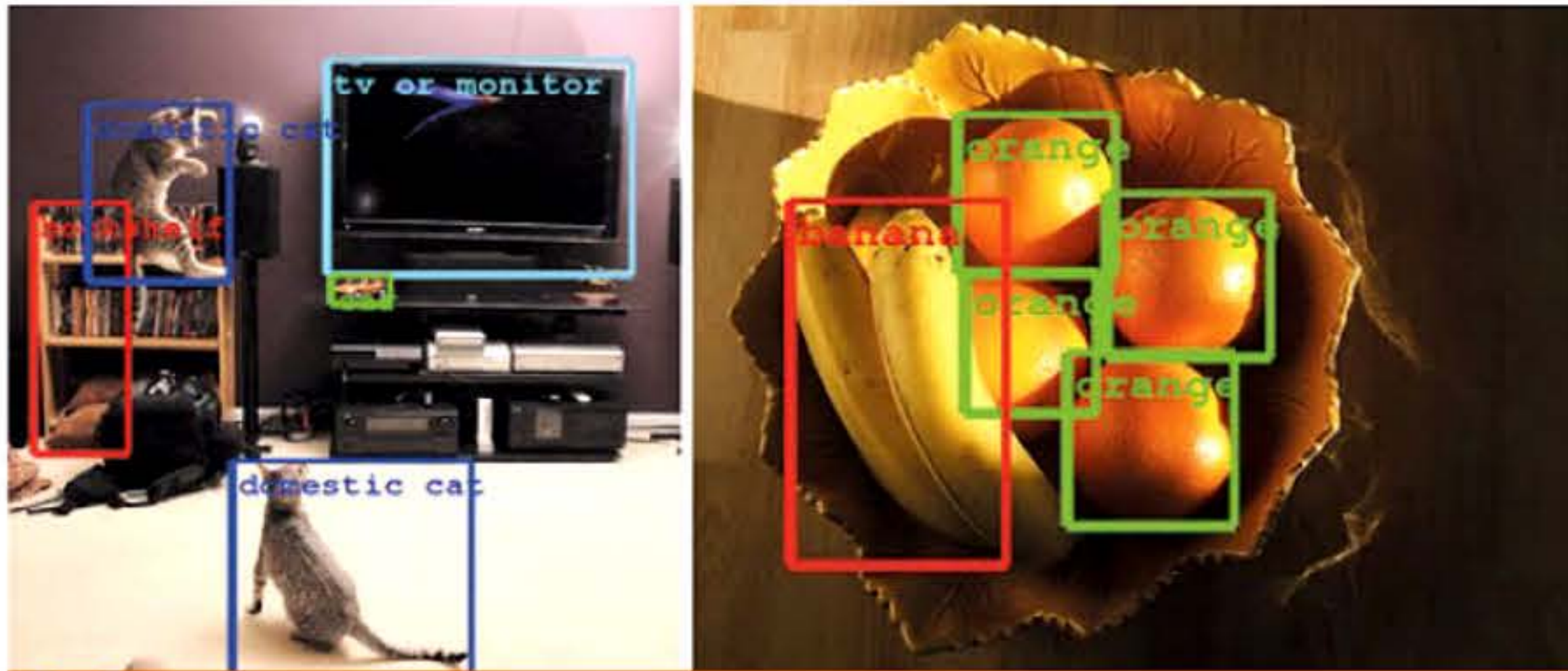


En 2008, un dénommé Satoshi Nakamoto (nom ou pseudonyme, personne physique ou groupe d'inventeurs, personne ne le sait jusqu'à ce jour) publie un article décrivant *bitcoin*, un moyen de paiement numérique décentralisé, et propose l'année suivante les logiciels adéquats pour l'utiliser. Restée quelque temps confidentielle, cette devise se fait connaître fin 2011 avec l'explosion de son nombre de transactions et la spéculation sur sa valeur monétaire. Depuis, le *buzz* médiatique est un

2010 ▶ L'apprentissage profond

Les réseaux de neurones artificiels, essayant de mimer le fonctionnement des neurones humains, sont longtemps restés, dans le domaine de l'intelligence artificielle, une technique prometteuse mais rarement couronnée de succès.

Avec l'arrivée de nouveaux algorithmes utilisant des couches empilées de neurones et l'augmentation de puissance des processeurs, la situation change progressivement sous l'impulsion du chercheur français Yann LeCun. On commence en 2010 à parler d'apprentissage profond ou *deep learning*.



Reconnaissance d'objets dans une image.

Correctement entraînés à partir de millions d'exemples, les programmes sont maintenant capables d'extraire les éléments conceptuels d'une photo, d'effectuer de la reconnaissance automatique de la parole et du traitement automatique du langage naturel.

Ces techniques aux résultats spectaculaires ont ravivé les craintes anciennes que l'intelligence artificielle ne finisse par dépasser l'intelligence humaine ; certains scientifiques ont même écrit des tribunes pour demander un contrôle de ces recherches.

2010 ▶ Virus Stuxnet

En 2010, le monde de la sécurité informatique découvre, stupéfait, qu'un virus très sophistiqué appelé Stuxnet infecte et détruit des systèmes industriels, visant spécifiquement les centrifugeuses iraniennes utilisées pour l'enrichissement d'uranium, indispensables à la fabrication d'une éventuelle bombe atomique par l'Iran. La complexité du logiciel est telle (estimée à près d'un an de développement pour une équipe d'une dizaine de personnes hautement qualifiées) que les soupçons se tournent rapidement vers des agences gouvernementales, plus particulièrement américaines et israéliennes. Il n'y a, à ce jour, toujours pas de preuves directes de

leur implication. Mais cela ne fait aucun doute pour les spécialistes que Stuxnet est le premier exemple connu de cyber-arme, délibérément fabriquée par des gouvernements pour attaquer une puissance ennemie. Depuis 2010, d'autres logiciels malveillants infectant systèmes industriels, réseaux bancaires ou logiciels de communication, tous probablement d'origine étatique et tout aussi sophistiqués et puissants, ont été découverts. Fin 2015, une importante coupure de courant s'est produite en Ukraine suite à l'action de logiciels malveillants situés sur les ordinateurs de la compagnie de distribution d'électricité. La cyber-guerre est maintenant une préoccupation de toutes les administrations de défense.

2010 ▶ Flash crash boursier

Le 6 mai 2010 à 14h45, l'indice du marché boursier américain chute de presque 10 % en moins de dix minutes, avant de remonter et d'effacer une bonne partie de sa perte. Aucune annonce particulière n'est à l'origine de cette chute mais simplement une anomalie dans les algorithmes de *trading* automatique ayant provoqué une réaction en chaîne.

Près de deux-tiers des transactions boursières sont maintenant effectuées automatiquement par des algorithmes de *trading* à haute-fréquence. Ceux-ci sont conçus pour profiter de micro-anomalies de cours existant pendant quelques secondes pour générer de minuscules plus-values appliquées à grande échelle. Les groupes financiers qui les contrôlent sont très friands de haute-technologie ; ils cherchent à avoir les ordinateurs les plus rapides et les plus puissants, ainsi que les meilleures connexions réseaux. En effet le gain sera souvent pour celui qui aura été le plus rapide dans l'envoi et l'exécution de son offre de vente ou d'achat. Il faut par exemple contacter au plus vite le serveur de centralisation des ordres de bourse, donc installer le matériel au plus près géographiquement : les vitesses de transaction sont maintenant de l'ordre de la centaine de microsecondes...

2010 ▶ Huawei : apparition d'une multinationale

Fondée en 1988 à Shenzhen comme fournisseur de réseaux de télécommunication pour le marché intérieur chinois, Huawei devient en 2010 le deuxième producteur mondial d'équipements de réseaux informatiques, après Ericsson et devant Cisco Systems, ZTE, Nokia-Siemens Networks et Alcatel-Lucent (ce dernier bientôt racheté par Nokia, tandis que Cisco gagne le 1^{er} rang). Ciblant les marchés émergents et occidentaux, Huawei réalise à l'exportation plus des deux tiers de son chiffre d'affaires (27 milliards de dollars en 2010).

Cette expansion a inspiré inquiétudes et controverses : copie des technologies des concurrents occidentaux, pratiques de dumping ou d'aides d'État, emploi d'enfants et d'ouvriers à très bas salaires dans les usines chinoises, risques de cyber-espionnage au profit du gouvernement et des milieux d'affaires chinois. Mais, recourant massivement à la sous-traitance pour ses productions, Huawei consacre plus de 45 % de sa masse salariale à la recherche-développement (environ 70 000 personnes dans le monde) et sait utiliser les compétences des pays clients dans ses centres de R&D répartis en Europe, aux États-Unis et en Asie.

2011 ▶ Stockage en ligne : le *cloud computing*

Les entreprises de service informatique proposent un stockage en ligne ou « dans les nuages », déportant l'enregistrement des données sur des disques situés dans de véritables usines-entrepôts d'informations numériques. En plus du stockage, le traitement des données peut lui aussi être déporté sur des serveurs distants, permettant un accès depuis n'importe quel poste ou un dimensionnement dynamique en fonction de la puissance nécessaire.

Datacenter IBM servant de stockage
pour le *cloud* en Italie.



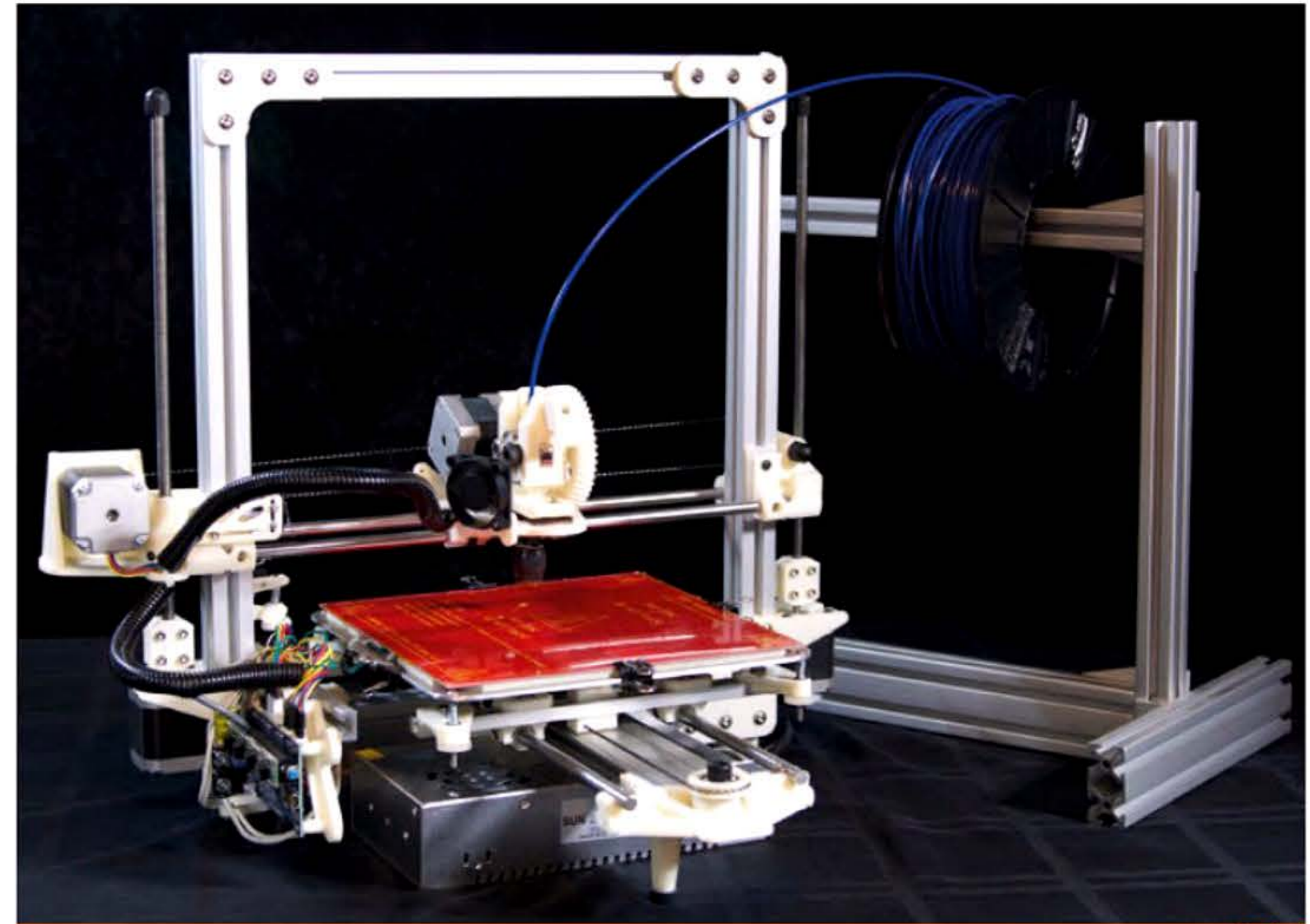


Watson est un logiciel spécialement conçu pour appliquer les résultats des recherches sur le traitement du langage naturel, la recherche d'information, le raisonnement automatisé, la représentation des connaissances et l'apprentissage automatique. Pour participer au jeu, il était installé sur une machine possédant près de trois mille cœurs d'exécution et 16 To de mémoire.

Le système est maintenant utilisé par plusieurs cliniques américaines comme aide au diagnostic et au traitement médical.

2012 ▶ Imprimante 3D

Les premières imprimantes 3D « bon marché » apparaissent. Ce sont essentiellement de petites machines-outils à commande numérique, rendues accessibles au grand public par la miniaturisation et des astuces de conception. Elles permettent de construire un objet par dépôts successifs de couches de résines, décrites par un fichier numérique. Après les problèmes de propriété intellectuelle sur les fichiers musicaux et vidéos, le problème du « piratage des objets » par échange de fichiers se profile...



Imprimante 3D open source.

2013 ▶ Réalité augmentée, réalité virtuelle

De nombreux projets utilisant la technologie cherchent à étendre les perceptions de l'utilisateur (réalité augmentée) voire à les remplacer (réalité virtuelle). Un smartphone pourra superposer à la vue prise par sa caméra des informations supplémentaires : chemin pour aller à un endroit visé, informations commerciales sur un produit, lien encyclopédique sur un monument... Les *Google glass* projettent directement sur la rétine de l'utilisateur des informations pertinentes en fonction de ce qu'il regarde et de ses demandes. Les premiers casques de réalité virtuelle sont au stade de prototypes et immergent le porteur dans un univers propre en remplaçant ses



Application immobilière ajoutant des informations à une vue prise en direct par la caméra.

perceptions visuelles et auditives par des images et sons générés par informatique. Les défis technologiques sont immenses : qualité de l'image (taille, couleurs, mais aussi latence et vitesse d'affichage), suivi du positionnement de la tête, poids total... Comme souvent en informatique, les premiers intéressés sont la Défense, les concepteurs de jeux vidéo et l'industrie pornographique...

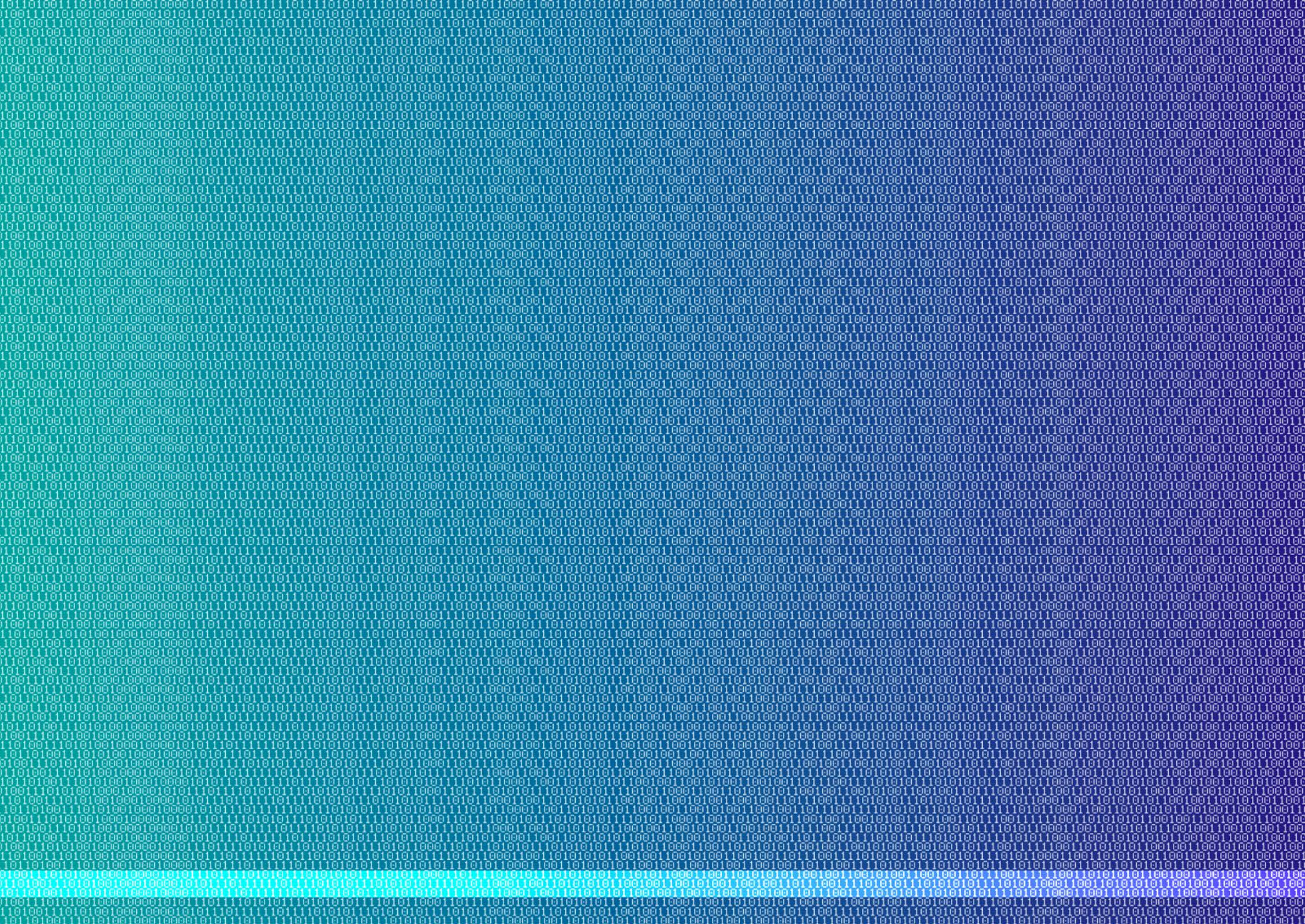
2013 ▶ La NSA et Edward Snowden

Lorsque l'informaticien Edward Snowden, ancien employé de la National Security Agency (NSA), rend publics les détails des programmes de surveillance américain et britannique, le monde entier découvre l'étendue des interceptions et systèmes d'écoute utilisés par ces gouvernements pour espionner l'ensemble des communications passant par l'Internet et les réseaux téléphoniques. Analyse de métadonnées, recherches contextuelles, recoupements, mais aussi implantation de logiciels espions, décryptage mathématique, ou même affaiblissement volontaire de normes cryptographiques, toutes les techniques de cyber-espionnage ont été ou sont utilisées par la NSA, souvent au mépris de la législation et de la vie privée de millions de citoyens.

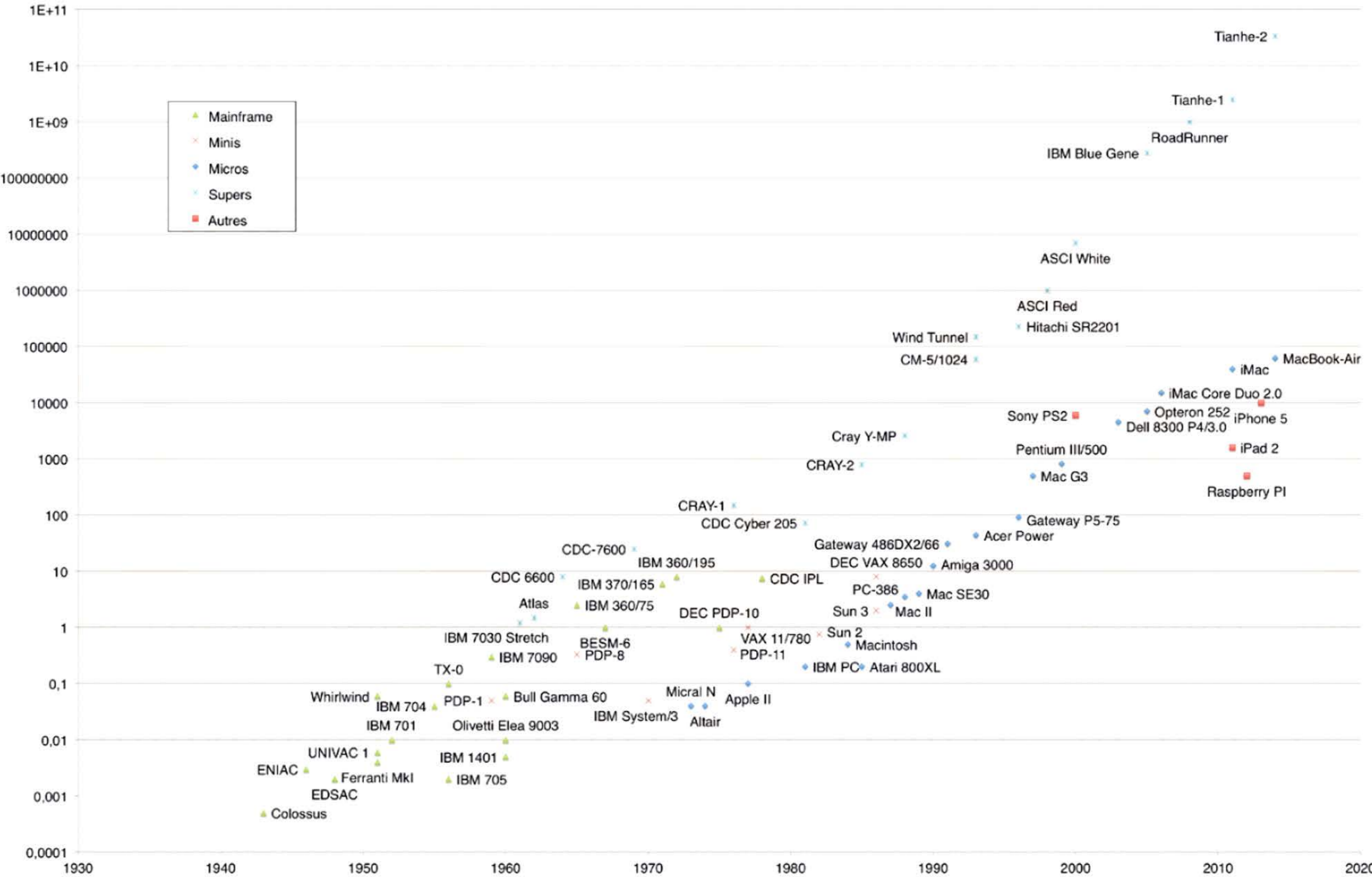
Créée en 1952, la NSA a eu pour objectif l'interception et le décryptage des télécommunications de l'ennemi, principalement soviétique à cette époque-là. Ce travail nécessitant d'énormes capacités de traitement, la NSA a toujours été consommatrice de superordinateurs, investissant dans les technologies de pointe afin de disposer du meilleur matériel. La rumeur, probablement vraie, affirme que pour chaque nouveau type de superordinateur américain, le premier exemplaire serait livré à la NSA. Très discrète dans ses opérations, la NSA est souvent suspectée de posséder des ordinateurs surpuissants, voire quantiques, capables de prouesses cryptographiques. Ou d'avoir obtenu des avancées théoriques non divulguées sur les algorithmes de décryptage, permettant d'espionner n'importe quel trafic chiffré.



Superordinateur Cray X-MP/24 utilisé à la NSA de 1983 à 1993, exposé au National Cryptologic Museum (Maryland).



Annexes



Bibliographie

Il existe une centaine d'excellents livres et certainement un millier de bons articles sur l'histoire du calcul et de l'informatique — et encore plus de médiocres, publiés sur papier ou sur Internet. Une bibliographie complète occuperait un livre entier, de la taille de celui-ci, et devrait être mise à jour quotidiennement. Nous nous sommes limités ici à une sélection de bons ouvrages généraux.

ABBATE, Janet, *Inventing the Internet*, Cambridge (Mass.), The MIT Press, 2000.

AIHTI & Musée national des techniques (Arts et Métiers), Catalogue de l'exposition *Interférences. Deux siècles de communication à distance*, Paris, CNAM, 1985.

Revue du Musée des Arts et Métiers, janvier 1993, n°2 consacré aux instruments de calcul et au patrimoine informatique.

ALDERMAN John, Mark RICHARDS & Dag SPICER, *Core Memory, A visual survey of vintage computers*, San Francisco, Chronicle books, 2008.

ALLAN Roy A., *A History of the Personal Computer*, London, Ontario, Allan Publishing, 2001.

ASPRAY William (dir.), *Computing before Computers*, Iowa City, Iowa State University Press, 1990.

ASPRAY William et Martin CAMPBELL-KELLY (avec Nathan ENSMENGER & Jeffrey YOST pour la 3^e édition), *Computer: A History of the Information Machine*, New York, Basic Books, 1996.

ASPRAY, William, et Paul E. CERUZZI (ed.), *The Internet and American Business*, Cambridge (Mass.), The MIT Press, 2008.

AUGARTEN Stan, *Bit by bit. An Illustrated History of the Computer*, New-York, Ticknor and Fields, 1984.

BASHE Charles J., Lyle R. JOHNSON, John H. PALMER & Emerson PUGH, *IBM's Early Computers*, Cambridge (Mass.), The MIT Press, Series in the History of Computing, 1986.

BEAUCLAIR Wilfried de & F. GENSER, *Vom Zahnrad zum Chip: eine Bildgeschichte der Datenverarbeitung*, Balje, Superbrain-Verlag, 2005.

BERTHO Catherine, *Télégraphe et Téléphone, de Valmy au microprocesseur*, Paris, Hachette, 1981.

BERTRAND Gustave, *Enigma ou la plus grande énigme de la guerre 1939-1945*, Paris, Plon, 1973.

BLOCH Laurent, *Les Systèmes d'exploitation des ordinateurs*, Paris, Vuibert, 2003.

BLOCH Laurent, *Révolution cyberindustrielle en France*, Economica, coll. Cyberstratégie, 2015.

BRETON Philippe, *Une histoire de l'informatique*, Paris, La Découverte, 1987.

BRUDERER, Herbert, *Meilensteine der Rechentechnik. Zur Geschichte der Mathematik und der Informatik*, Berlin, de Gruyter & Oldenburg, 2015.

CAMPBELL-KELLY Martin, *Histoire de l'industrie du logiciel — Des réservations aériennes à Sonic le Hérisson*, (trad. P. Mounier-Kuhn), Paris, Vuibert, 2003.

CARE Charles, *Technology For Modelling: Electrical Analogies, Engineering Practice and the Development of Analogue Computing*, Londres, Springer History of Computing Series, 2010.

CERUZZI Paul E., *Reckoners: The Prehistory of the Digital Computer, from Relays to the Stored-program Concept, 1935-1945*, Westport, Connecticut, Greenwood Press, 1983.

CERUZZI Paul E., *Computing, a concise history*, Cambridge (Mass.), The MIT Press, 2012.

CHABERT Jean-Louis, Evelyne BARBIN, Michel GUILLEMOT et al., *Histoire d'algorithmes — Du caillou à la puce*, Paris, Belin 1994.

- COQUERY Natacha, Florence WEBER & François MENANT (dir.), *Écrire, compter, mesurer. Vers une histoire des rationalités pratiques*, Paris, ENS Ulm, 2006.
- CORTADA James W., *The Digital Flood: The Diffusion of Information Technology Across the U.S., Europe, and Asia*, Oxford University Press, 2012.
- COUFFIGNAL Louis, *Les Machines à calculer, leur principe, leur évolution*, Paris, Gautier-Villars, 1933.
- DASGUPTA Subrata, *It began with Babbage, the genesis of computer science*, Oxford University Press, 2014.
- DAUMAS Maurice, *Le Cheval de César, ou le mythe des révolutions techniques*, Paris, Éditions des Archives contemporaines, 1991.
- DAVIES Martin, *The Universal Computer, the Road from Leibniz to Turing*, CRC Press, 2011.
- DENOYELLE Philippe, Hans PUFAL et al., *Des objets qui racontent l'histoire. L'Informatique*, ACONIT et CNAM-Musée des Arts et Métiers, EMCC, Lyon, 2004.
- DRÉAN Gérard, *L'Industrie informatique. Structure, économie, perspectives*, Paris, Masson, 1996.
- EAMES Charles & Ray, *A Computer Perspective*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press, 1990.
- ENSMENGER Nathan L., *The Computer Boys Take Over: Computers, Programmers, and the Politics of Technical Expertise*, Cambridge (Mass.), The MIT Press, 2010.
- FLICHY Patrice, *L'Imaginaire d'Internet*, Paris, La Découverte, 2001.
- FRASER Craig G. *Calculus and Analytical Mechanics in the Age of Enlightenment*, Burlington (VT), Ashgate, 1997.
- FRAUENFELDER Mark, *L'Ordinateur, une histoire de l'informatique*, Paris, Gründ, 2005.
- GEROVITCH Slava, *From Newspeak to Cyberspeak: A History of Soviet Cybernetics*, Cambridge (Mass.), The MIT Press, 2002.
- GEROVITCH Slava, « InterNyet: Why the Soviet Union did not Build a Nationwide Computer Network », *History and Technology*, 2008, vol. 24, n°4, p. 335-350.
- GRIER, David Alan, *When Computers Were Human*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2005.
- HAFNER Katie & Matthew LYON, *Where wizards stay up late, the origins of the Internet*, New York, Simon & Schuster, 1996.
- HASHAGEN Ulf & ROJAS Raül (dir.), *The First Computers. History and Architectures*, Cambridge (Mass.), The MIT Press, 2002.
- HEIDE Lars, *Punched-card Systems and the Early Information Explosion, 1880-1945*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 2009.
- HERRENSCHMIDT Clarisse, *Les Trois Écritures : Langue, nombre, code*, Paris, Gallimard, 2007.
- IFRAH Georges, *Histoire universelle des chiffres*, Paris, Robert Laffont, 1994.
- IMPAGLIAZZO, John, Timo JARVI & Petri PAJU (dir.), *History of Nordic Computing 2*, Berlin & Heidelberg, Springer, 2009.
- ISAACSON Walter, *The Innovators: How a Group of Hackers, Geniuses and Geeks Created the Digital Revolution*, Simon & Schuster, 2014.
- JEANNENEY Jean-Noël, *Quand Google défie l'Europe : plaidoyer pour un sursaut*, Paris, Mille et une Nuits, 2005.
- KIDWELL Peggy A. & Paul E. CERUZZI, *Landmarks in Digital Computing*, Washington DC, Smithsonian Institution Press, 1994.
- LANDES David S., *L'Heure qu'il est. Les horloges, la mesure du temps et la formation du monde moderne*, Paris, Gallimard, 1987.
- LAVINGTON Simon, *Alan Turing and His Contemporaries: Building the World's First Computers*, Londres, Computer Conservation Society (BCS), 2012.
- LÉCUYER Christophe, *Making Silicon Valley: Innovation and the Growth of High Tech, 1930-1970*, Cambridge (Mass.), The MIT Press, 2006.
- LÉVY Pierre, *La Machine univers : création, cognition, et culture informatique*, Paris, La Découverte, 1986.
- LIGONNIÈRE Robert, *Préhistoire et histoire des ordinateurs*, Paris, Laffont 1987.
- MAHONEY, Michael Sean (Thomas HAIGH ed.), *Histories of Computing*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press, 2011.
- MALINOVSKY Boris N. & Anne FITZPATRICK (ed.), Emmanuel ARONIE & Kate MALDONADO, *Pioneers of Soviet Computing*, Electronic book, 2010.
- MARGUIN Jean, *Histoires des Instruments et Machines à Calculer. Trois Siècles de Mécanique pensante*, Paris, Hermann, 1994.

- MATTELART Armand, *Histoire de la société de l'information*, Paris, La Découverte, 2000.
- METROPOLIS Nicholas, Jack HOWLETT, Giancarlo ROTA, *A History of Computing in the 20th Century*, New York, Academic Press, 1980.
- MINDELL David, *Between Human and Machine: Feedback, Control, and Computing Before Cybernetics*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 2002.
- MOREAU René, *Ainsi naquit l'informatique*, Paris, Dunod, 1984.
- MOUNIER-KUHN Pierre, *L'Informatique en France, de la seconde guerre mondiale au Plan Calcul. L'émergence d'une science*, Paris, Presses de l'Université Paris-Sorbonne, 2010.
- MOUNIER-KUHN Pierre, *Mémoires vives. 50 ans d'informatique chez BNP Paribas*, Paris, BNP Paribas, 2013.
- NÉRON DE SURGY Olivier & Stéphane TIRARD (dir.), *La Science des sixties*, Paris, Belin, 2014.
- NITUSOV Alexander Y. & Georg TROGEMANN, *Computing in Russia*, Morgan Kaufmann, 2001.
- PETZOLD Hartmut, *Rechnende Maschine. Eine historische Untersuchung ihrer Herstellung und Anwendung vom Kaiserreich bis zur Bundesrepublik*, Düsseldorf, VDI Verlag, 1985.
- PIGUET Christian & Heinz HÜGLI, *Du zéro à l'ordinateur, une brève histoire du calcul*, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2004.
- PORTER Theodore M., *Trust in Numbers: The Pursuit of Objectivity in Science and Public Life*, Princeton University Press, 1995.
- RAMUNNI Girolamo, *Physique du calcul*, Paris, Hachette, 1989.
- RANDELL Brian, *The Origins of Digital Computer*, Berlin & New-York, Springer Verlag, 1982.
- REILLY Edwin D., *Milestones in Computer Science and Information Technology*, Greenwood Press, 2003.
- SCHAFFER Valérie, *La France en réseaux, années 1960-1980*, Paris, Nuvis, Cigref, 2012.
- SPERANZA René, *Manettes & Pixels. Histoire du jeu vidéo & Retrogaming*, Toulouse, La Vallée Heureuse, 2015.
- TATON René, *Le Calcul Mécanique*, Paris, PUF Que-sais-je?, 1957.
- TOURNÈS Dominique (dir.), *History of Numerical Tables*, New York, Springer (Series: Sources and Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences), 2016.
- TYMPAS Aristotelis, *Calculation and Computation in the Pre-electronic Era. The Mechanical and Electrical Ages*, New York, Springer, History of Computing Series, 2010.
- VOLLE Michel, *De l'informatique. Savoir vivre avec l'automate*, Paris, Economica, 1982.
- WEXELBLATT Richard L. (dir.), *History of programming languages*, New-York, Academic Press, 1981.
- WILLIAMS M. R., *A History of Computing Technology*, Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1985.
- YATES, JoAnne, *Structuring the Information Age: Life Insurance and Technology in the Twentieth Century*. Baltimore, Johns Hopkins University Press, 2005.
- ZANELLA Paolo, Yves LIGIER & Emmanuel LAZARD, *Architecture et technologie des ordinateurs*, Paris, Dunod, 2013.



Musées et collections

La plupart des grands musées des sciences ou des techniques présentent depuis longtemps des collections de machines à calculer mécaniques, auxquelles ils ont ajouté une partie informatique depuis une trentaine d'années. D'autre part, des musées spécialisés dans le calcul, le traitement et la communication de l'information se sont constitués, souvent à l'initiative de collectionneurs passionnés. Cette liste ne saurait être exhaustive, mais donne un aperçu du patrimoine visitable.

En France

Musée des arts et métiers, Paris : www.arts-et-metiers.net

Cité des sciences et de l'industrie, Paris-La Villette : www.cite-sciences.fr

ACONIT, Association pour un conservatoire de l'informatique et de la télématique, Grenoble : db.aconit.org

Fédération des équipes Bull (région parisienne, Mulhouse et Angers, plus des collections FEB associées en Belgique et en Allemagne) : www.feb-patrimoine.com

Homo Calculus (Bordeaux), initiative privée de Michel Mouyssinat en partenariat avec l'université de Bordeaux : www.leon-bollee.edu.vn/page-hc_sommaire-fr.html

Musée de l'informatique de l'IN2P3 (Lyon), dans le cadre de cet institut de physique nucléaire du CNRS : www.festivalparticule.com

AMISA, Association pour un Musée international du calcul, de l'informatique et de l'automatique (Sophia Antipolis) : interstices.fr

Une belle collection liée à l'histoire de l'écriture et du calcul est gérée par la ville de Lillers (Pas de Calais).

Musée des Transmissions (Cesson-Sévigné) : www.espaceferrie.fr

Cité des Télécoms (Pleumeur-Bodou) : www.cite-telecoms.com

Collection Historique de France Télécom (devenue Orange) : www.remut.fr/musee/collection-historique-de-france-telecom

NB : Il existait un musée de l'informatique, installé dans le toit de l'Arche de la Défense de 2005 à 2010. Depuis, l'administration a récupéré les locaux et la collection se détériore dans des caisses au fond d'un hangar...

Hors de France

Allemagne

Deutsches Museum (Munich) : www.deutsches-museum.de

Deutsches Technikmuseum (Berlin) : www.sdtb.de/Startseite.63.0.html

Heinz Nixdorf MuseumForum (Paderborn, Westphalie) : www.hnf.de/en/home.html

Belgique

NAM-IP réunit depuis 2014 trois collections mécanographiques et informatiques belges, dont celles d'Unisys et de Bull-FEBB (Namur-Salzinnes) : histoireinform.com/Histoire/NAM_IP_page_Web

Hongrie (pays natal de John von Neumann)

Musée hongrois des sciences, des techniques et des transports (Budapest) : www.mmkm.hu/index.php/en

Des réserves visitables bien tenues, dans un bâtiment moderne à la périphérie de la capitale, contiennent une intéressante collection de matériels informatiques, soit locaux ou soviétiques, soit construits sous licence occidentale.

Italie

Museo per gli Strumenti di Calcolo (Pise) : www.fondazionegalileogalilei.it/museo/museo.html

Museo della Tecnica Elettrica (université de Pavie) : info@museotecnica.it

Pologne

Musée d'histoire des calculateurs et du traitement de l'information (Katowice)

Royaume-Uni

Science Museum (Londres), l'une des plus riches expositions permanentes sur le calcul et l'informatique : www.sciencemuseum.org.uk

National Museum of Computing (Bletchley Park) : www.tnmoc.org

Centre for Computing History (Cambridge) : www.computinghistory.org.uk

Museum of Science and Industry (Manchester) : msimanchester.org.uk

Mentionnons aussi le travail persévérant de restauration et de mise en valeur du patrimoine informatique britannique mené par la Computer Conservation Society : www.computerconservationsociety.org

Pays-Bas

Computer Museum (université d'Amsterdam) lié à une *History Of Computing Project Foundation* (THOCP) : ub.fnwi.uva.nl/computermuseum

Russie

Musée Polytechnique / Politekhnikheskiy Muzey (Moscou) : polymus.ru/eng

Suède

Musée des techniques (Stockholm) : www.tekniskamuseet.se/1/192_en.html

Le Tekniska Museet mène un projet d'histoire de l'informatique avec l'Institut Royal de Technologie et la Société Suédoise des Informaticiens.

Suisse

Musée Bolo — Fondation Mémoires Informatiques (École Polytechnique Fédérale de Lausanne) : www.bolo.ch

États-Unis

Computer History Museum (Mountain View, California) : www.computerhistory.org

National Museum of American History (Washington) : americanhistory.si.edu

Museum of Air & Space (Washington) : airandspace.si.edu

American Computer & Robotics Museum (Bozeman, Montana) : www.compustory.com

Mentionnons aussi le Charles Babbage Institute (University of Minnesota, Minneapolis), grand centre de recherches et de conservation d'archives sur l'histoire de l'informatique : www.cbi.umn.edu

Japon

Le IPSJ Computer Museum est un « musée virtuel » : museum.ipsj.or.jp/en/computer

Australie

Monash Museum of Computing History (Monash University) : www.infotech.monash.edu.au/about/museum



Index

A

@, 176
 68000, microprocesseur, 208, 224
 8080, microprocesseur, 183, 193, 194
 Abaque, voir Boulier
 ABC, calculateur, 75, 84, 86, 181
 Abraham, Henri, 60
 ACE, Pilot, 92, 99, 232
 Acer, 225
 Ada
 • langage, 212
 • Lovelace, voir Lovelace
 Adams, Scott, 206
 Adleman, Leonard, 200
 Aiken, Howard, 73, 80
 Al-Khwarizmi, 21, 26
 Alcorn, Allan, 178
 Algèbre, 26
 Algèbre de Boole, 46, 69
 ALGOL, 134, 167, 172
 Algorithmes, 24, 26, 45, 64, 67, 115, 134, 159, 165
 • quantique, 238
 Allemagne, 34, 40, 64, 76
 Allen, Paul, 197
 ALOHAnet, 180, 231, 236
 Altair, 194, 197, 202
 Altavista, 240
 Alto, Xerox, 220
 Amazon, 241
 AMD, 251
 Amiga, 203, 224
 Analyseur différentiel, 64, 84, 133
 Angleterre, 32, 43, 46, 48, 57, 67, 91, 92, 114, 118, 140, 232
 Antémémoire, 168
 Anticythère, mécanisme, 20, 25
 APL, 193
 Apollo, missions, 143
 Apple, 168, 201, 202, 206, 211, 214,

224, 249, 253
 Arduino, 252
 Ariane 5, 242
 Aristote, 24
 Arithmomètre, 42, 47
 ARPA, 169, 207, 230
 Arpanet, 84, 169, 223, 230
 ASCII, code, 144, 157
 AT&T, 164, 174, 238
 Atanasoff, John, 75, 181
 Atari, 139, 178, 203, 214, 224
 Atlas, 140
 Australie, 59, 101
 Automates, 126

B

B, langage, 179
 Babbage, Charles, 31, 43, 212
 Baby, 92, 96
 Backus, John, 126, 134
 Baldwin, Frank, 47
 Baran, Paul, 231
 Bardeen, John, 90
 Barrême, Jean-François, 39
 Bascule, 60
 Base de données, 185
 Base sexagésimale, 18
 BASIC, 150, 197
 Bâtonnets de Neper, 32, 34
 BBN, 169, 231
 BBS, 211
 BCPL, 179
 Bell labs, 69, 90, 98, 119, 173, 233
 Bell, Alexander Graham, 48
 Berkeley, université de, 175, 216
 Berners-Lee, Tim, 234, 236
 Berry, Clifford, 75
 BESM, 102
 Bézier, Pierre, 139
 Bezos, Jeff, 241

Big data, 256
 Bistable, circuit, voir Bascule
 Bit, 69
 Bitcoin, 256
 Blankenbaker, John, 191
 Bloch, Eugène, 60
 Bluetooth, 245
 BNCI, 67, 115
 Boggs, David, 180
 BOINC, 250
 Bollée, Léon, 50
 Boole, George, 46
 Boulier, 16, 24
 Bourse, 247, 257
 Brattain, Walter, 90
 Bricklin, Dan, 211
 Brin, Sergueï, 245
 Brooks, Frederick, 146, 185
 Brunsviga, 43, 47, 62, 114
 Bug, 90, 167, 242
 Bug de l'an 2000, 63, 136, 247
 Bull, 56, 62, 67, 91, 113, 114, 115, 135, 138, 146, 155, 163, 193, 206
 Bulle internet, 247
 BUNCH, 172
 Bush, Vannevar, 64, 84, 230
 Bushnell, Nolan, 139, 178
 Busicom, 177
 BYTE (revue), 196

C

C, 175, 176, 179
 C++, 219
 CAB 500, 131
 CADET, 118
 Cailliau, Robert, 234, 236
 Calcul analogique, 48, 59, 64, 84, 133
 Calcul binaire, 23, 69, 76
 Calcul ternaire, 128
 Calculateurs humains, 32, 60

Calculatrice, 180
 Calculi, 19
 Cambridge, université de, 74, 92, 113
 CAO, 142
 Capek, Karel, 62
 Cardullo, Mario, 181
 Carte à puce, 193, 206
 Carte perforée, 42, 53, 62, 66
 CCITT, 46
 CD-ROM, 219
 CDC 6600, 150
 CEA, 137, 222, 255
 Cerf, Vinton, 171, 233
 CERN, 149, 150, 202, 234, 236
 CFAO, 139
 Chèque, 146
 Chine, 23, 243, 258
 Christensen, Ward, 211
 Church, Alonzo, 68
 CII, 163
 Circuit intégré, 128, 143, 177, 217
 CISC, 205
 Cisco, 237
 Clé USB, 175, 248
 Cloud computing, 241, 258
 CMC7, 146
 CNIL, 182
 COBOL, 134, 148, 172
 CODASYL, 134
 Codd, Edgar, 185
 Code-barres, 182, 239
 Colmerauer, Alain, 179
 Colossal cave adventure, 206
 Colossus, 78, 86, 200
 Commodore 64, 203, 218
 Compaq, 214, 224, 240
 Complex number computer, 69
 Complexité, théorie de la, 176
 Conway, John, 173
 Cook, Stephen, 176
 Cookie, 238

Cooper, Martin, [182](#)
 Couffignal, Louis, [73](#)
 CP/M, [199](#)
 CP8, [206](#)
 Cray [1](#) - Cray [2](#), voir Cray Research
 Cray Research, [201](#), [222](#)
 Cray, Seymour, [150](#), [201](#)
 Crowther, William, [206](#)
 Cryptographie, [200](#), [243](#), [262](#)
 CSIRAC, [101](#), [107](#)
 CTSS, [138](#)
 CUBA, [116](#)
 Cunéiforme, [23](#)
 Curta, [43](#), [70](#)
 Cybernétique, [96](#)
 Cyclades, [163](#), [186](#), [232](#)

D

D-Wave, [239](#)
 Davies, David, [232](#)
 DDoS, [248](#)
 DEC, voir Digital Equipment
 Deep Blue, [243](#)
 Dégrouper, voir Unbundling
 Dell, [214](#)
 Dendral, [166](#)
 Dennard, Robert, [164](#)
 Diffie, Whitfield, [200](#)
 Digital Equipment, [119](#), [139](#), [153](#), [161](#),
[172](#), [173](#), [189](#), [196](#), [205](#), [240](#)
 Dijkstra, Edsger, [167](#)
 Diode, [57](#)
 Disque dur, [123](#)
 Disquette, [175](#), [248](#)
 DNS, [223](#)
 Dobrov, Gennadji, [233](#)
 Donjons et dragons, [206](#)
 Dr. Dobb's Journal (revue), [197](#), [223](#)
 DRAM, [164](#)
 DVD, [219](#), [241](#)

E

Eccles, William, [60](#)
 Échecs (jeu), [243](#)
 Eckert, Presper, [84](#), [97](#), [109](#), [181](#)
 EDSAC, [74](#), [92](#), [113](#)
 Éducation, [145](#), [223](#)

EDVAC, [89](#), [121](#)
 Électronique, [57](#)
 Email, [176](#)
 Émoticônes, [217](#)
 Engelbart, Douglas, [168](#), [220](#)
 ENIAC, [84](#), [121](#), [177](#), [181](#)
 Enigma, [68](#), [77](#), [200](#)
 EPFL, [196](#), [201](#), [212](#)
 Epsitec, [196](#)
 Équations, [26](#)
 Espagne, [60](#)
 États-Unis, [45](#), [49](#), [51](#), [57](#), [64](#), [69](#), [69](#) et
 suivantes
 Ethernet, [180](#), [233](#)
 Euclide, [24](#)

F

Faggin, Federico, [177](#), [199](#)
 Fahlman, Scott, [217](#)
 Fairchild Semiconductor, [128](#), [143](#),
[157](#)
 Fanning, Shawn, [246](#)
 Feigenbaum, Edward, [166](#)
 Ferranti, [92](#), [107](#)
 FFT, [159](#), [251](#)
 Fibonacci, Leonardo, [26](#)
 Fleming, John, [57](#)
 Flip-flop, voir Bascule
 Flops, [202](#), [222](#), [245](#), [255](#)
 Flowers, Tommy, [78](#), [200](#)
 Forest, Lee de, [57](#)
 Forrester, Jay, [114](#)
 FORTRAN, [126](#), [134](#), [148](#)
 Four-Phase Systems, [178](#)
 France, [36](#), [42](#), [50](#), [58](#), [113](#), [131](#), [135](#),
[140](#), [145](#), [165](#), [186](#), [206](#), [209](#), [216](#),
[223](#)
 Frankston, Bob, [211](#)

G

Gamma [3](#), Bull, [113](#)
 Gamma [60](#), Bull, [135](#)
 Garrett AiResearch, [178](#)
 Gates, Bill, [197](#)
 Gauss, Carl Friedrich, [159](#)
 Gemplus, [206](#)
 General Electric, [135](#), [172](#), [173](#)

Généralisations, [156](#), [177](#), [179](#), [216](#)
 Génie logiciel, [162](#), [166](#), [185](#)
 Germanium, [118](#)
 Gernelle, François, [192](#)
 GNU, [223](#)
 Gödel, Kurt, [64](#)
 Google, [240](#), [245](#)
 Gosling, James, [240](#)
 Goto, [167](#)
 Grèce, [24](#), [25](#)
 Grove, Andrew, [159](#)
 GSM, [225](#)
 Guillaudé, [32](#)

H

Hamming, Richard, [98](#)
 Harvard Mark [1](#), [80](#), [86](#), [90](#)
 Heathkit, [133](#)
 Hellman, Martin, [200](#)
 Herzstark, Curt, [70](#)
 Hewlett-Packard, [159](#), [162](#), [180](#), [212](#)
 Hilbert, David, [64](#), [67](#)
 Hoefler, Don, [178](#)
 Hoerni, Jean, [129](#)
 Hoff, Ted, [177](#)
 Hollerith, Hermann, [51](#)
 Homebrew Computer Club, [202](#), [203](#)
 Honeywell, [181](#)
 Hopper, Grace, [90](#), [108](#), [126](#), [134](#)
 Horlogerie, [28](#)
 HTML, langage, [237](#)
 HTTP, protocole, [237](#)
 Huawei, [258](#)

I

IAS, [88](#)
 IBM, [53](#), [62](#), [66](#), [80](#), [91](#), [97](#), [112](#), [114](#),
[119](#), [122](#), [126](#), [130](#), [131](#), [136](#), [153](#),
[164](#), [171](#), [180](#), [182](#), [185](#), [201](#), [241](#),
[243](#), [258](#), [260](#)
 • 5100, [214](#)
 • PC, [197](#), [199](#), [214](#), [221](#), [224](#), [251](#)
 • SABRE, [138](#), [164](#)
 • Stretch, [137](#)
 • System/360, [146](#), [162](#), [166](#), [168](#),
[184](#), [185](#)
 • System/370, [148](#), [175](#), [205](#)

ICANN, [246](#)
 Ichbiah, Jean, [212](#)
 ICL, [113](#), [155](#)
 IMP, [169](#)
 Imprimante 3D, [261](#)
 Infographie, [142](#)
 Informatique (terme), [138](#)
 Innovatron, [193](#)
 INRIA, [163](#)
 Institut de programmation, [145](#)
 Intel, [159](#), [164](#), [177](#), [183](#), [193](#), [208](#), [224](#),
[245](#), [251](#)
 Intelligence artificielle, [125](#), [165](#), [166](#),
[179](#), [216](#), [256](#)
 Interface homme-machine, [168](#),
[221](#), [224](#)
 Internet, [169](#), [211](#), [229](#), [233](#)
 iPhone, [253](#)
 IRIA, voir INRIA
 Iris [50](#), [163](#)
 Italie, [26](#), [135](#), [162](#)

J

Jacquard, Joseph-Marie, [42](#)
 Japon, [130](#), [179](#), [182](#), [210](#), [216](#), [217](#)
 Java, [176](#)
 Java, langage, [240](#)
 Javascript, [238](#), [240](#)
 Jeu de la vie, [173](#)
 Jeux d'aventure, [206](#)
 Jeux vidéo, [178](#), [210](#)
 Jobs, Steve, [202](#), [220](#)
 Jordan, Frank, [60](#)

K

Kahn, Robert, [171](#), [233](#)
 Kampf, Serge, [165](#)
 Kasparov, Garry, [243](#)
 Kay, Allan, [179](#)
 Kelvin, Lord, [48](#)
 Kemeny, John, [150](#)
 Kenbak-1, [191](#)
 Kilburn, Tom, [91](#), [96](#), [97](#)
 Kilby, Jack, [128](#)
 Kildall, Gary, [199](#)
 Kim-1, [189](#), [194](#)
 Kleinrock, Leonard, [169](#)



Knuth, Donald, [165](#)
 Kronkite, Walter, [109](#)
 Kurtz, Thomas, [150](#)
 Kurzweil, Karel, [206](#)

L

L'Ordinateur individuel (revue), [197](#)
 Lambda-calcul, [68](#)
 Larson, Juge, [181](#)
 Laser, imprimante, [200](#)
 Laurer, George, [182](#)
 Lebedev, Sergueï Alexeïevitch, [102](#)
 LeCun, Yann, [256](#)
 Leibniz, [23](#), [31](#), [40](#)
 Lenovo, [251](#)
 LEO, [113](#)
 Léonard de Pise, voir Fibonacci
 Lerdorf, Rasmus, [239](#)
 Levy, David, [243](#)
 Licklider, Joseph, [169](#), [230](#)
 Lilienfeld, Julius Edgar, [134](#)
 Linux, [226](#)
 LISP, [130](#), [172](#)
 Logarithmes, [32](#)
 Logiciel, [171](#)
 Logiciel libre, [223](#)
 Logique mathématique, [24](#), [46](#), [64](#), [67](#)
 Logitech, [196](#), [212](#)
 Logo, [165](#)
 Lorenz, machine de , [78](#), [157](#)
 Lovelace, Ada, [45](#), [212](#)
 LSI, [181](#)

M

Machine à différences, [43](#)
 Machine analytique, [43](#)
 Macintosh, [168](#), [201](#), [220](#)
 Maintenance, [127](#)
 Manchester

- Mark I, [92](#)
- université de, [65](#), [92](#), [107](#), [118](#)

 Maple, [212](#)
 Markov, Andreï, [115](#)
 Mathematica, [212](#)
 Matlab, [212](#)
 Mauchly, John W., [84](#), [181](#)
 Mazor, Stan, [177](#)

McCarthy, John, [125](#), [130](#)
 McIlroy, Malcolm, [173](#)
 MCM/70, [193](#)
 Memex, [84](#), [230](#)
 Mémoire, [91](#), [97](#), [164](#), [168](#)
 Mémoire cache, voir Antémémoire
 Mémoire virtuelle, [140](#)
 Menabrea, Luigi Federico, [45](#)
 Merkle, Ralph, [200](#)
 Metcalfe, Robert, [180](#)
 Méthode de Monte-Carlo, [89](#)
 Métier à tisser, [42](#)
 Metropolis, Nicholas, [89](#)
 Micral, [191](#)
 Micro-ordinateur, [150](#), [183](#), [189](#)

- kit, [189](#), [194](#)

 Microprocesseur, [177](#), [183](#), [193](#), [251](#)
 Microsoft, [197](#), [199](#), [214](#), [224](#), [241](#)
 Microsystèmes (revue), [197](#)
 Minc, Alain, [207](#)
 Mini-ordinateur, [161](#), [173](#)
 Minitel, [209](#), [216](#), [232](#)
 Minsky, Marvin, [125](#)
 MIT, [64](#), [84](#), [111](#), [119](#), [125](#), [131](#), [138](#),
[139](#), [142](#), [169](#), [173](#), [206](#), [223](#)
 MITS, [194](#)
 Model-K, [69](#)
 Modem, [164](#), [211](#)
 Modula-2, [176](#)
 Moore

- Gordon, [159](#)
- loi de , [157](#), [164](#), [224](#)

 Moreno, Roland, [193](#)
 Morris, Robert, [225](#)
 Morse

- code, [45](#)
- Samuel, [45](#)

 Mosaic, [237](#)
 MOSFET, [134](#)
 Mostek, [193](#)
 Moteur de recherche, [240](#)
 Motorola, [182](#), [193](#), [208](#), [224](#)
 MS-DOS, [199](#), [224](#)
 MSI, [157](#), [181](#)
 MTBF, [127](#)
 Multics, [173](#)
 Multiplicatrice, [40](#), [50](#)
 Mystery House, [206](#)

N

Napster, [246](#)
 NASA, [110](#), [112](#), [129](#), [143](#), [148](#), [179](#)
 Naur, Peter, [134](#)
 NCR, [49](#), [56](#)
 Neper, John, [32](#)
 Netscape, [238](#), [240](#)
 Neumann, John von, [73](#), [89](#), [126](#), [181](#)
 NeXt, [234](#), [236](#)
 Nicoud, Jean-Daniel, [196](#), [212](#)
 Noble, David, [175](#)
 Nom de domaine, voir DNS
 Nomographie, [58](#)
 Nora, Simon, [207](#)
 Noyce, Robert, [128](#), [159](#)
 NP-complet, [176](#)
 NSA, [262](#)
 Numérotation positionnelle, [26](#)

O

Oberon, [176](#)
 Objet connecté, [263](#)
 Ocagne, Maurice d', [58](#)
 Octet, [148](#)
 Odhner, [47](#)
 Olivetti, [135](#), [162](#)
 Olsen, Ken, [131](#), [161](#)
 Open source, [223](#)
 Oracle, [185](#)
 Ordinateur, [123](#)
 OS/2, [224](#), [241](#)
 Osborne, [212](#)
 Oughtred, William, [35](#)

P

P=NP ?, [177](#)
 P2P, [246](#)
 Pac-Man, [210](#)
 Page, Larry, [245](#)
 PAO, [201](#)
 Papert, Seymour, [165](#)
 Parametron, [130](#)
 Pascal

- Blaise, [31](#), [36](#), [41](#)
- langage, [176](#)

 Pascaline, voir Pascal

Pays-Bas, [167](#)
 PDA, [220](#)
 PDP-1, [119](#), [131](#), [139](#)
 PDP-10, [206](#)
 PDP-11, [173](#), [174](#), [179](#), [205](#)
 PDP-15, [160](#)
 PDP-8, [153](#), [161](#), [173](#), [192](#)
 Pentagone, [212](#), [231](#), [257](#)
 Perret, Jacques, [123](#)
 PET Commodore, [203](#)
 pgcd, [24](#)
 PHP, langage, [239](#)
 Pickette, Wayne, [178](#)
 PL/1, [134](#), [148](#), [172](#)
 Plan calcul, [163](#), [186](#), [207](#), [232](#)
 Pong, [178](#)
 Popular Electronics (revue), [194](#)
 Postscript, [139](#), [201](#)
 Pouzin, Louis, [171](#), [186](#), [233](#)
 Prix Turing, voir Turing, prix
 Programmation objet, [179](#), [219](#)
 Programmation structurée, [167](#)
 Programme enregistré, [96](#), [102](#)
 Prolog, [179](#)
 Prony, Gaspard de, [41](#)
 Psion, [220](#)
 Pythagore, [20](#)
 Python, [176](#)

Q

QR-code, [239](#)
 Qubit, [238](#)
 Quipus, [19](#)
 Qwerty, clavier, [46](#)

R

R2E, [191](#)
 RAMAC, [123](#)
 Rapport Nora-Minc, [207](#)
 Raspberry Pi, [252](#)
 Réalité virtuelle, [261](#)
 Règle à calcul, [35](#)
 Relais, [60](#), [76](#), [80](#)
 Remington-Rand, [49](#), [56](#)
 République tchèque, [62](#)
 Réseau, [169](#), [180](#), [207](#), [209](#), [231](#)

Réseaux sociaux, 253
 Revues informatiques, 196
 RFID, 181
 RISC, 205, 216
 RITA, 206
 Ritchie, Dennis, 173, 179
 Rivest, Ron, 200
 RNIS, 209, 232
 Roberts, Ed, 194
 Roberts, Larry, 169, 231
 Robot, 62
 Roussel, Philippe, 179
 RSA, 200, 238
 Russell, Steve, 139
 Russie, [49](#), 102, 115, 128

S

SABRE, voir IBM, Sabre
 Safari, affaire, 182
 SAGE, 111, 156, 164, 232
 Sanger, Larry, 249
 Satoshi, Nakamoto, 256
 Scheutz, Pehr et Edvard, [45](#)
 Schickard, Wilhelm, [31](#), [34](#), [41](#)
 Schockley, William, 90, 118
 Scholes, Christopher Latham, [46](#)
Science et Vie Micro (revue), 197
 SEA, 114, 116, 129, 131, 133
 SETI@Home, 250
 Setun, 128
 Shamir, Adi, 200
 Shannon, Claude, 69
 Shih, Stan, 225
 Shima, Masatoshi, 177
 Shor, Peter, 238
 SICOB, 106, 123, 192
 Siemens, 77, 106, 119, 129, 155, 258
 Sierra Online, 206
 Silicium, 118, 128, 178
 Silicon Valley, 178
 Sinclair, 203, 215
 Sketchpad, 142
 Smaky, 196
 Smalltalk, 165, 179
 Smartphone, 220

Snowden, Edward, 262
 Souris, 168, 212
 Space invaders, 210
 Spacewar!, 139
 Spirale d'Ulam, voir Ulam
 SQL, 185
 SSD, 253
 SSEC, 80
 SSEM, 92
 SSI, 134, 181, 247
 SSII, 165, 171
 Stanford, université de, 166, 168, 178, 206, 207, 216, 240
 Starkweather, Gary, 200
 Stibitz, George, 69, 73
 STRIDA, 140, 232
 Stroustrup, Bjarne, 219
 Stuxnet, 257
 Suède, [47](#)
 Suess, Randy, 211
 Suisse, 176, 196, 212
 Sun, 240
 Superordinateur, 150, 201, 222, 245, 255, 262
 Sutherland, Yvan, 142, 169
 Système expert, 166, 179
 Systèmes d'exploitation, 125, 138, 148, 162, 167, 173, 196, 199, 224

T

Tables arithmétiques, [19](#)
 Tableur, 211
 Tabulatrice, [53](#), 66
 Taïwan, 225
 Tambour magnétique, 92, 98, 114
 Tandy Radio Shack, 204, 214
 TAOCP, 165
 Tchebychev, Pafnouti, [49](#)
 TCP/IP, [46](#), [171](#), 233
 Teal, Gordon, 118
 Téléimprimeur, 157
 Télématique, 208, 209
 Téléphonie mobile, 182, 225
 Teletype, 157
 TeX, 166

Texas Instruments, 118, 128, 143, 203, 204
 Théorie de l'information, 69
 Thomas de Colmar, Charles Xavier, [42](#)
 Thomson (entreprise), 203, 223
 Thomson, Ken, 173, 179
 Thomson, William, voir Kelvin
 TI-99, 203, 204
 TIME (magazine), 218
 Token ring, 180
 Tomlinson, Ray, 176
 Tores de ferrite, 111, 114
 Torres-Quevedo, Leonardo, [60](#)
 Torvalds, Linus, 226
 TRADIC, 119
 Transformée de Fourier, [48](#), 159, 251
 Transistor, 90, 118, 134, 164, 224
 Transpac, 186, 209, 216, 232
 Trigrammes, [23](#)
 Triode, voir Tube à vide
 TRS-80, 203, 204
 Tube à vide, [57](#), [60](#), 84
 Tube cathodique, 91
 Tube de mercure, 97
 Turing, Alan, [55](#), 62, 67, 73, 89, 92, 107, 200

- machine de, 68, 126
- prix, 68, 167
- test de, 68

 TX-0, 119

U

Ugon, Michel, 206
 Ulam, Stanislaw, [24](#), 89

- spirale d', [24](#)

 Unbundling, 171
 Unicode, 144
 Univac, 75, 91, 98, 108, 172, 181
 Unix, 173, 179, 205, 223, 225, 226, 233
 UPC, 182
 URL, 237

V

Vaucanson, Jacques, [42](#)
[VAX-11](#), 189, 205

Virus, 225, 257
 Visicalc, 211
 VLSI, 181, 216

W

Wales, Jimmy, 249
 Walton, Charles, 181
 Wang, An, 114
 Wargames, 218
 Watson, 260
 Web, 234, 236
 Wheeler, David, 92
 Whirlwind, 111, 114, 119, 131
 Wiener, Norbert, 73, 96
 Wifi, 236, 245
 Wikileaks, 253
 Wikipedia, 249
 Wilkes, Maurice, 74, 92, 113, 168
 Williams, Freddie, 91, 97
 Williams, Roberta et Ken, 206
 Windows, 241
 Wirth, Niklaus, 176
 Wood, Don, 206
 Woodland, Norman, 182
 Wozniak, Steve, 202

X

X25, 209, 216, 232
 Xerox, 168, 179, 180, 200, 220, 233

Y

Yahoo!, 240

Z

Z3, Z4, 76, 86
 Z80, 199
 Zéro, [18](#)
 Zilog, 193, 199, 208
 Zimmermann, Hubert, 233
 Zork, 206
 Zuse, Konrad, 73, 76
 ZX-81, 203, 215, [6](#)

