

# Histoire illustrée de l'informatique

3<sup>e</sup> édition

# Klee group

**P**our 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. Feuillotez-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](http://www.kleegroup.com)



**KLEE  
GROUP**

**Klee Group – Créateur de Solutions Digitales Métier.**



Emmanuel Lazard et Pierre Mounier-Kuhn

# LES HISTOIRE de l'informatique ILLUSTRÉE

3<sup>e</sup> édition

edp sciences

# Les auteurs

**Emmanuel Lazard**, ancien élève de l'École Normale Supérieure, est Maître de conférences à l'université Paris-Dauphine où il dirige l'un des centres informatiques. Passionné par les ordinateurs depuis plus de 30 ans, il est l'auteur de plusieurs ouvrages sur leur architecture et leur technologie :

- *Architecture de l'ordinateur, collection Synthex* (Pearson Education, 2006) ;
- *Pratique performante du langage C, collection TechnoSup* (Ellipses Éditions, 2013) ;
- *Architecture et technologie des ordinateurs* (Dunod, 2013), en collaboration avec Paolo Zanella et Yves Ligier.

**Pierre Mounier-Kuhn**, historien, est chargé de recherche au CNRS et à l'université Paris-Sorbonne. Il a consacré sa thèse et plus de soixante articles à l'histoire de l'informatique. Il est l'auteur de deux livres :

- *L'Informatique en France, de la seconde guerre mondiale au Plan Calcul. L'émergence d'une science* (PUPS, 2010) ;
- *Mémoires vives. 50 ans d'informatique chez BNP Paribas* (BNP Paribas, 2010).

Il prépare un ouvrage sur l'histoire de l'industrie informatique française.


Imprimé en France

ISBN : 978-2-7598-2704-6

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2022

# 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'algorithme — 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  $\lambda$ -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<sup>e</sup> 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 plus<sup>1</sup>.

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

## Introduction..... 13

## I. L'antiquité du calcul..... 16

### Introduction..... 13

4000 av. J.-C. ▶ Comptage..... 23

env. 1000 av. J.-C. ▶ Symboles binaires..... 23

env. 500 av. J.-C. ▶ Abaques, bouliers..... 24

330 av. J.-C. ▶ Logique grecque..... 24

env. 300 av. J.-C. ▶ Algorithmes grecs..... 24

II<sup>e</sup> siècle av. J.-C. ▶ Mécanisme d'Anticythère..... 25

I<sup>er</sup> siècle ▶ Automates de Héron d'Alexandrie..... 26

III<sup>e</sup>-VIII<sup>e</sup> siècle ▶ Numération indo-arabe..... 26

820 ▶ Al-Khwarizmi..... 28

IX<sup>e</sup> siècle ▶ Cryptanalyse..... 28

X<sup>e</sup> siècle ▶ Une théologie arithmétique..... 28

1202 ▶ Fibonacci et les nouvelles techniques de calcul..... 28

XIII<sup>e</sup> siècle ▶ Une machine logique :  
l'Ars magna de Raymond Lulle..... 29

XIII<sup>e</sup> siècle ▶ L'horlogerie..... 29

## II. Tables numériques et machines mécaniques..... 32

### Introduction..... 33

1614 ▶ Logarithmes et bâtonnets..... 35

1623 ▶ Ébauche de la première machine à calculer..... 36

1624 ▶ Tables logarithmiques de Briggs..... 37

1630 ▶ La règle à calcul..... 37

1645 ▶ La Pascaline..... 38

1669 ▶ Barrême publie ses barèmes..... 41

1694 ▶ L'œuvre fondatrice de Leibniz..... 42

1759 ▶ Nicole-Reine Lepaute, une marathonnienne du calcul..... 44

1770 ▶ Le Turc mécanique..... 44

1793 ▶ L'usine à calcul de Gaspard de Prony..... 45

1794 ▶ Le télégraphe Chappe..... 46

1804 ▶ Métier à tisser Jacquard..... 46

1820 ▶ Arithmomètre..... 47

1837 ▶ Machine analytique..... 48

1838 ▶ Le code Morse..... 50

1843 ▶ Lady Ada Lovelace..... 50

1844 ▶ Le Scarabée d'or..... 52

1844 ▶ Schwilgué : les calculatrices à touches..... 52

1846 ▶ Le ruban perforé..... 53

1854 ▶ Planimètre polaire d'Amsler..... 54

1854 ▶ La logique Booléenne..... 55

1864 ▶ Spam télégraphique..... 55

1865 ▶ CCITT..... 55

1866 ▶ Premier câble transatlantique..... 55

1867 ▶ La machine à écrire..... 57

1873 ▶ Arithmomètre d'Odner : le best-seller mondial  
des calculatrices de bureau..... 57

1875 ▶ Analyseur harmonique : l'invention  
du calculateur analogique..... 59

1876 ▶ Le téléphone..... 59

1876 ▶ Additionneur de Tchebychev..... 60

1885 ▶ L'Amérique entre en scène..... 60

1885 ▶ Linotype et Monotype : la composition  
de textes automatisée..... 61

1889 ▶ La multiplicatrice directe..... 62

1890 ▶ Début de la mécanographie..... 63

### III. Le début du xx<sup>e</sup> siècle ..... 66

<b>Introduction</b> .....	67
1904 ▶ Diode et triode.....	69
1905 ▶ Nomographie de M. d'Ocagne.....	70
1913 ▶ Percy Ludgate.....	71
1913 ▶ Totalisateur de paris mutuels.....	71
1918 ▶ Bascule « Flip-Flop ».....	72
1920 ▶ Leonardo Torres-Quevedo.....	72
1920 ▶ Calculateurs humains.....	72
1920 ▶ Apparition du robot.....	74
1927 ▶ Un cerveau d'acier.....	74
1928 ▶ Carte perforée à 80 colonnes.....	74
1928 ▶ Encodage de la voix.....	76
1928 ▶ Problème de la décidabilité.....	76
1930 ▶ Analyseur différentiel.....	76
1930 ▶ Paul Otlet et le Mundaneum : l'utopie de la documentation universelle.....	79
1933 ▶ Cartes perforées : la maturation des machines.....	80
1937 ▶ Alan Turing.....	81
1937 ▶ Premier circuit binaire.....	83
1938 ▶ Claude Shannon et les circuits binaires.....	83
1948 ▶ Calculatrices Curta.....	84

### IV. Les premiers ordinateurs ..... 86

<b>Introduction</b> .....	87
1940 ▶ Calculateur ABC : Atanasoff-Berry Computer.....	89
1940 ▶ Les calculateurs de Konrad Zuse.....	89
1941 ▶ Hedy Lamarr et les sauts de fréquence.....	90
1942 ▶ Les trois lois de la robotique.....	91
1938-1943 ▶ Décryptage d'Enigma.....	91
1943-1945 ▶ Colossus : décryptage des machines Lorenz.....	92
1944 ▶ Calculateur Harvard Mark I.....	94
1944 ▶ Lumitype : naissance de la photocomposition.....	98

1945 ▶ Vannevar Bush et l'hypertexte.....	98
1945 ▶ ENIAC.....	99
1945 ▶ Rapport de von Neumann.....	102
1946 ▶ Méthode de Monte-Carlo.....	104
1947 ▶ « Bug » sur le Mark II.....	104
1947 ▶ Transistor au germanium.....	105
1947 ▶ Tube de Williams-Kilburn.....	105
1948 ▶ Les pionniers britanniques : <i>Baby</i> , EDSAC et les autres ...	106
1948 ▶ Premier programme enregistré.....	110
1948 ▶ IBM 604.....	111
1948 ▶ Théorie de l'information.....	112
1948 ▶ Cybernétique de Wiener.....	112
1949 ▶ Dispositifs de mémorisation.....	113
1950 ▶ Les codes de Hamming.....	114
1950 ▶ Une révolution mondiale.....	114
1951 ▶ Premiers ordinateurs en URSS.....	118

### V. L'ère des « gros systèmes » : du Whirlwind à la loi de Moore ..... 120

<b>Introduction</b> .....	121
1950 ▶ Augmenter la productivité.....	123
1951 ▶ Premiers ordinateurs commerciaux : le Ferranti Mk1.....	123
1951 ▶ Premiers ordinateurs commerciaux : l'UNIVAC 1.....	124
1951 ▶ Premier ordinateur temps-réel : le Whirlwind au MIT.....	127
1951 ▶ Premiers ordinateurs IBM.....	128
1952 ▶ Calculateur Bull Gamma 3.....	129
1952 ▶ Premiers ordinateurs commerciaux : LEO, l'ordinateur des salons de thé.....	129
1952 ▶ Le tambour magnétique.....	130
1952 ▶ La reconnaissance vocale.....	130
1953 ▶ Mémoire à tores de ferrite.....	130
1954 ▶ <i>Théorie des Algorithmes</i> .....	131
1954 ▶ L'informatique avant les ordinateurs : un centre de traitement bancaire dans les années cinquante.....	131

1954 ▶ Premier ordinateur français : « CUBA » de la SEA .....	132	1962 ▶ Courbes de Bézier .....	159
1954 ▶ Le transistor bon marché .....	134	1962 ▶ Spacewar! .....	160
1954 ▶ Traduction automatique .....	134	1962 ▶ Système STRIDA : la défense aérienne .....	160
1955 ▶ Avènement des transistors : la « deuxième génération » ..	135	1962 ▶ Atlas et la mémoire virtuelle .....	160
1955 ▶ IBM 650 : apparition en France de l'ordinateur .....	138	1963 ▶ Infographie .....	162
1956 ▶ Le disque dur .....	140	1963 ▶ Pilotage et conquête spatiale .....	163
1956 ▶ Genèse des systèmes d'exploitation .....	142	1963 ▶ Code ASCII .....	164
1956 ▶ L'intelligence artificielle .....	142	1963 ▶ Formation des informaticiens .....	165
1956 ▶ <i>The General and Logical Theory of Automata</i> .....	143	1963 ▶ Chèque à lecture magnétique CMC7 .....	166
1957 ▶ Logic Theorist .....	143	1964 ▶ IBM System/360 .....	166
1957 ▶ FORTRAN .....	144	1964 ▶ Langage BASIC .....	171
1958 ▶ Maintenance et fiabilité .....	144	1964 ▶ Superordinateur CDC 6600 .....	171
1958 ▶ Ordinateur ternaire Setun .....	146	1965 ▶ <i>Alphaville</i> .....	172
1958 ▶ Premier circuit intégré .....	146		
1958 ▶ Début du traitement de texte .....	147		
1959 ▶ IBM 705 : le traitement de masse dans la banque .....	148		
1959 ▶ LISP .....	148		
1959 ▶ Parametron .....	148		
1959 ▶ PDP-1 de DEC .....	149		
1959 ▶ Quicksort .....	149		
1959 ▶ CAB 500 de la SEA : un ordinateur personnel interactif ..	150		
1960 ▶ Analyseur différentiel à EDF .....	150		
1960 ▶ Ordinateur analogique électronique .....	152		
1960 ▶ COBOL .....	152		
1960 ▶ Transistor à effet de champ .....	153		
1960 ▶ ALGOL 60 .....	153		
1960 ▶ Olivetti Elea 9003 .....	153		
1960 ▶ Bull Gamma 60 .....	154		
1960 ▶ IBM 1401 : le best-seller .....	155		
1960 ▶ Port RS-232 .....	156		
1961 ▶ IBM 7030 Stretch .....	156		
1961 ▶ CTSS : l'invention du <i>Time-Sharing</i> .....	157		
1961 ▶ Unimate, la robotique industrielle .....	158		
1962 ▶ Naissance du terme <i>informatique</i> .....	158		
1962 ▶ LINC .....	158		
1962 ▶ IBM SABRE : le premier système de réservation en ligne ..	159		
		<b>VI. Les mini-ordinateurs .....</b>	<b>174</b>
		<b>Introduction .....</b>	<b>175</b>
		<b>L'évolution des ordinateurs : une question de générations ? .....</b>	<b>178</b>
		1963 ▶ L'interface avec l'ordinateur : le téléimprimeur .....	179
		1965 ▶ Loi de Moore .....	179
		1965 ▶ Algorithme FFT .....	181
		1965 ▶ PDP-8 de DEC .....	183
		1965 ▶ Olivetti Programma 101 .....	184
		1965 ▶ L'ère des systèmes .....	184
		1965 ▶ ELIZA .....	185
		1965 ▶ Écran tactile .....	185
		1966 ▶ Le Plan Calcul .....	185
		1966 ▶ Invention de la DRAM .....	187
		1966 ▶ Modem acoustique .....	187
		1966 ▶ Star Trek .....	188
		1967 ▶ Langage Logo .....	188
		1967 ▶ Début d'une société de services .....	188
		1967 ▶ Simula 67, la programmation orientée-objet .....	189
		1968 ▶ <i>The Art of Computer Programming</i> .....	189



1968 ▶ Dendral, un système expert.....	190	1973 ▶ Playboy et la compression d'images .....	210
1968 ▶ Le génie logiciel .....	190	1973 ▶ L'Alto au Xerox PARC .....	211
1968 ▶ Dijkstra : de la crise du software à la programmation structurée .....	190	1973 ▶ Code-barres .....	211
1968 ▶ Démo de la souris.....	191	1974 ▶ Affaire SAFARI : création de la CNIL.....	212
1968 ▶ Mémoire cache .....	192	1974 ▶ Microprocesseur 8080 .....	212
1969 ▶ Logiciel.....	193	1975 ▶ Bases de données relationnelles, SQL.....	212
1969 ▶ ARPANET .....	193	1975 ▶ <i>The Mythical Man-Month</i> .....	214
1969 ▶ Margaret Hamilton et les missions Apollo.....	195	1975 ▶ Réseau Cyclades.....	214
1969 ▶ <i>Unbundling</i> : dégroupage du matériel et du logiciel.....	196		
1969 ▶ Langages de programmation : une tour de Babel .....	197		
1969 ▶ 2001, l'Odyssée de l'espace .....	197		
1969 ▶ Perceptrons.....	198		
1970 ▶ De « IBM et les 7 nains » au <i>BUNCH</i> .....	198		
1970 ▶ Le jeu de la vie .....	199		
1970 ▶ Disquette.....	199		
1970 ▶ Unix.....	201		
1970 ▶ PDP-11 de DEC : les minis transforment l'essai .....	201		
1970 ▶ Pascal .....	201		
1970 ▶ Fibre optique.....	201		
1971 ▶ Premier email .....	202		
1971 ▶ Théorie de la NP-complétude .....	203		
1971 ▶ Le « dispatching » à Électricité de France : contrôle, commande et synchronisation du réseau.....	203		
1971 ▶ Microprocesseur 4004.....	205		
1971 ▶ La « Silicon Valley » .....	206		
1972 ▶ Pong .....	206		
1972 ▶ Une nouveauté : l'écran-clavier .....	207		
1972 ▶ Nouveaux langages, nouveaux paradigmes de programmation .....	207		
1972 ▶ La HP-35 : une calculatrice électronique scientifique.....	208		
1973 ▶ Ethernet .....	209		
1973 ▶ Invalidation des brevets de l'ENIAC.....	209		
1973 ▶ La miniaturisation .....	210		
1973 ▶ Puce RFID.....	210		
1973 ▶ La téléphonie mobile analogique.....	210		
		<b>VII. La micro-informatique .....</b>	<b>218</b>
		<b>Introduction.....</b>	<b>219</b>
		1971 ▶ Kenbak-1 .....	221
		1973 ▶ Le Micral de R2E.....	221
		1973 ▶ Le MCM/70.....	223
		1974 ▶ Carte à puce mémoire .....	223
		1975 ▶ L'avènement des microprocesseurs .....	223
		1975 ▶ Premiers kits de micro-ordinateurs.....	224
		1975 ▶ Smaky, le petit Suisse.....	226
		1975 ▶ Revues informatiques .....	226
		1975 ▶ Microsoft .....	227
		1975 ▶ Système d'exploitation CP/M.....	229
		1975 ▶ Newell et sa thèière .....	229
		1976 ▶ Microprocesseur Z80.....	230
		1976 ▶ Cryptographie à clé publique .....	230
		1976 ▶ Imprimante laser .....	231
		1976 ▶ Cray I.....	232
		1976 ▶ Théorème des quatre couleurs.....	233
		1977 ▶ Apple II.....	234
		1977 ▶ Mini-ordinateur VAX-11/780.....	237
		1977 ▶ Premiers jeux d'aventure .....	238
		1977 ▶ Carte à microprocesseur Bull CP8.....	238
		1977 ▶ Numérique mobile .....	239
		1978 ▶ Rapport Nora-Minc.....	239
		1978 ▶ Les microprocesseurs 16 bits .....	240

- 1978 ▶ Transpac : un réseau numérique de données ..... 241
- 1978 ▶ Jeux vidéo d'arcade ..... 242
- 1978 ▶ Computerized Bulletin Board System ..... 243
- 1978 ▶ Premier « spam » ..... 243
- 1979 ▶ VisiCalc ..... 244
- 1979 ▶ ADA ..... 244
- 1979 ▶ 42 ..... 244
- 1980 ▶ Progiciels mathématiques ..... 245
- 1980 ▶ Usenet ..... 245
- 1981 ▶ Fondation de Logitech ..... 245
- 1981 ▶ Les premiers portables ..... 245
- 1981 ▶ IBM PC ..... 246
- 1981 ▶ ZX81 : le micro-ordinateur bon marché ..... 247
- 1981 ▶ Microprocesseur RISC ..... 249
- 1981 ▶ Ultima et les jeux de rôle ..... 249
- 1981 ▶ La cinquième génération ..... 250
- 1982 ▶ Le Minitel ..... 250
- 1982 ▶ Émoticônes ..... 251
- 1982 ▶ Semi-conducteurs : une guerre américano-japonaise ..... 251
- 1982 ▶ Commodore 64 ..... 251
- 1982 ▶ Magazine TIME : l'ordinateur « Man of the year » ..... 252
- 1982 ▶ TRON, le film ..... 252
- 1982 ▶ Shareware ..... 252
- 1982 ▶ Sun Microsystems ..... 253
- 1983 ▶ Wargames, le film ..... 253
- 1983 ▶ Le langage C++ ..... 254
- 1983 ▶ Le protocole MIDI ..... 254
- 1984 ▶ Le Cédérom ..... 254
- 1984 ▶ Psion Organiser I ..... 254
- 1984 ▶ Macintosh ..... 255
- 1984 ▶ Cyberpunk et Cyberspace ..... 256
- 1984 ▶ PostScript ..... 257
- 1984 ▶ Tetris ..... 257
- 1984 ▶ Skynet ..... 258
- 1985 ▶ Gigaflops ..... 258
- 1985 ▶ Manifeste GNU ..... 259

- 1985 ▶ Plan informatique pour tous ..... 259
- 1985 ▶ Symbolics.com ..... 259
- 1985 ▶ Le i386 et la miniaturisation ..... 260
- 1985 ▶ Connection Machine ..... 260
- 1985 ▶ Leet speak - 1337 5|\*34|< ..... 261
- 1986 ▶ Premier virus MS-DOS ..... 262
- 1987 ▶ OS/2 d'IBM ..... 262
- 1987 ▶ GSM ..... 262
- 1987 ▶ Taiwan monte en puissance ..... 262
- 1988 ▶ Premier ver internet ..... 263
- 1989 ▶ SimCity ..... 263
- 1990 ▶ Microsoft Office ..... 264
- 1990 ▶ ARM ..... 264
- 1990 ▶ Stations NeXT de Steve Jobs ..... 265
- 1990 ▶ Electronic Frontier Fondation ..... 266
- 1991 ▶ L'Inde entre en scène ..... 266
- 1991 ▶ Naissance de Linux ..... 267
- 1991 ▶ Le langage Python ..... 268

## VIII. L'ère des réseaux numériques ..... 270

- Introduction ..... 271
- 1992 ▶ JPEG ..... 278
- 1993 ▶ Le Web et l'ouverture de l'internet ..... 279
- 1993 ▶ Cisco ..... 279
- 1993 ▶ NCSA Mosaic ..... 280
- 1993 ▶ Architecture client-serveur ..... 280
- 1994 ▶ Netscape Navigator ..... 280
- 1994 ▶ Cookies ..... 280
- 1994 ▶ Algorithme quantique ..... 281
- 1994 ▶ QR-code ..... 282
- 1994 ▶ Factorisation du RSA-129 ..... 282
- 1994 ▶ Bug du Pentium ..... 283
- 1995 ▶ Le langage PHP ..... 283

1995 ▶ Le langage Java .....	284	2005 ▶ IBM cède ses PC à Lenovo .....	302
1995 ▶ Toy Story .....	284	2005 ▶ Peste du sang corrompu .....	302
1995 ▶ JavaScript .....	284	2006 ▶ Multiprocesseurs .....	303
1995 ▶ Protocole IPv6 .....	284	2006 ▶ Les « nano-ordinateurs » .....	304
1995 ▶ Yahoo! .....	285	2007 ▶ Réseaux sociaux .....	304
1995 ▶ altavista.digital.com .....	285	2007 ▶ Stockage flash .....	304
1995 ▶ Amazon.com .....	285	2007 ▶ iPhone .....	304
1995 ▶ Le DVD-ROM .....	286	2007 ▶ Wikileaks .....	305
1995 ▶ Windows 95 .....	286	2008 ▶ Pétaflops .....	305
1996 ▶ Le Network Computer .....	287	2008 ▶ Applications innovantes .....	307
1996 ▶ Explosion d'Ariane 5 : le coût du bogue .....	287	2008 ▶ Bitcoin .....	308
1996 ▶ La Chine entre en scène .....	287	2010 ▶ Le <i>big data</i> .....	308
1997 ▶ Deep Blue bat Kasparov .....	288	2010 ▶ L'apprentissage profond .....	308
1997 ▶ Bluetooth et WiFi .....	289	2010 ▶ Virus Stuxnet .....	309
1997 ▶ Google .....	289	2010 ▶ Flash crash boursier .....	309
1997 ▶ Téraflops .....	291	2010 ▶ Huawei : apparition d'une multinationale .....	309
1997 ▶ eSport .....	291	2011 ▶ Stockage en ligne : le <i>cloud computing</i> .....	311
1997 ▶ Papier électronique .....	292	2011 ▶ Watson gagne Jeopardy! .....	312
1997 ▶ Snake pour téléphones mobiles .....	292	2012 ▶ Imprimante 3D .....	313
1998 ▶ ICANN : la gouvernance de l'internet .....	293	2013 ▶ Réalité augmentée, réalité virtuelle .....	313
1999 ▶ Napster et le peer-to-peer .....	293	2013 ▶ La NSA et Edward Snowden .....	314
1999 ▶ Méthode B et METEOR .....	293	2013 ▶ Algocratie .....	315
1999 ▶ Développement collaboratif .....	294	2014 ▶ Objets connectés .....	316
1999 ▶ Naissance du terme « blog » .....	295	2017 ▶ Youtubeur .....	316
2000 ▶ Bogue de l'an 2000 .....	295	2018 ▶ « Hype cycle » .....	316
2000 ▶ La bulle internet éclate .....	296	2021 ▶ Téléphonie mobile en 5G .....	318
2000 ▶ Clés USB .....	296	2021 ▶ TSMC et l'industrie des semi-conducteurs .....	318
2000 ▶ Dénier de service distribué .....	297		
2001 ▶ iPod et iTunes d'Apple .....	297		
2001 ▶ Wikipédia .....	298	<b>Annexes</b> .....	<b>321</b>
2001 ▶ Manifeste agile .....	298	<b>Les performances au fil du temps</b> .....	<b>322</b>
2002 ▶ BOINC et SETI@Home .....	299	<b>Bibliographie</b> .....	<b>324</b>
2003 ▶ Passage aux 64 bits .....	299	<b>Musées et collections</b> .....	<b>327</b>
2003 ▶ L'effet Streisand .....	300	<b>Index</b> .....	<b>329</b>
2004 ▶ CAPTCHA .....	300		
2004 ▶ World of Warcraft et les MMORPG .....	300		

# 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* (pourant *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.

# 2017 I. 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<sup>e</sup> millénaire avant J.-C. Les plus anciennes traces de chiffres datent du IV<sup>e</sup> 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 coude, un pied, un pas n'avaient pas la même longueur à Babylone, à Memphis ou à Athènes. Une bonne part des calculs portait 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 <sup>xix</sup><sup>e</sup> 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 (IIIIIII).

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 <sup>iv</sup><sup>e</sup> 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, par exemple. En Amérique du Sud, les civilisations andines (Inca, etc.) ignoraient l'écriture mais enregistraient et communiquaient des informations numériques sous formes de nœuds disposés sur des cordelettes, les *quipus*. 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'étaient 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 ( $\pi$ ) ; 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<sup>e</sup> 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 s'initiaient 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 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<sup>e</sup> siècle av. J.-C., matérialisait une partie du savoir pythagoricien. On ne la connaît que par quelques fragments de rouages et de cadrans de bronze débarassés 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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 l'Extrême-Orient à l'Égypte, 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, ainsi qu'à la statique. 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, progresse 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<sup>e</sup> 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 le personnage 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 de 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 impressionnera Leibniz qui voudra les expliquer avec son arithmétique binaire. Il est cependant peu probable que les Chinois aient connu le calcul binaire : ces symboles logiques 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.



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

▶ Tablette (trouvée en 1920 en Irak), datée d'environ 1800 av. J.-C., listant 15 triangles rectangles en nombres entiers, plus exactement 15 triplets pythagoriciens. Noter la présentation en colonnes et en lignes : les Mésopotamiens ont inventé la table à double entrée, ancêtre de nos *spreadsheets*.

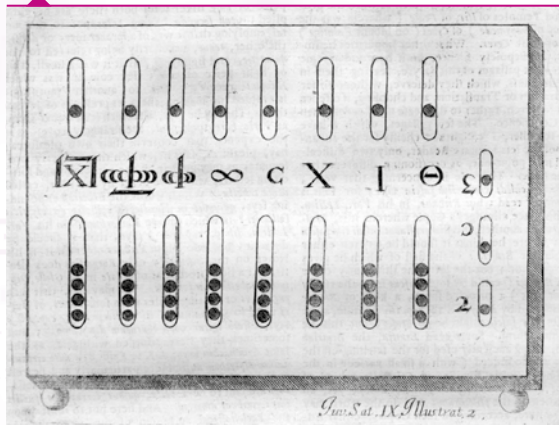


## env. 500 av. J.-C. ▶ Abaques, bouliers

Les premières aides au calcul et à la mémorisation des résultats apparaissent probablement au Proche-Orient et se répandent en Europe et en Asie. De l'abaque, simple support pour des jetons, naîtra le boulier à tige, dispositif autonome et complet servant au calcul. Ce n'est toutefois pas encore une « machine » car l'algorithme de calcul, par exemple le report des retenues, est exécuté par l'opérateur humain, non par l'appareil. Le boulier sera utilisé dans le monde entier jusqu'au milieu du  $xx^e$  siècle, suffisant notamment à répondre aux besoins arithmétiques de grands états comme la Chine ou le Japon. Il sera ensuite supplanté par les calculatrices électroniques.

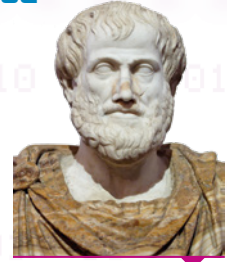
Toutefois, même une technique très ancienne peut être efficace entre les mains de qui sait bien s'en servir. En 1958 une géophysicienne japonaise travaillant à l'université d'Iowa pour le programme spatial américain, Sekiko Yoshida, analysa les données transmises par le satellite Explorer sur les rayonnements cosmiques. Ne disposant pas de moyens informatiques adaptés, elle effectua ses calculs sur un boulier pour décrire précisément le champ magnétique terrestre et déterminer la distribution et les mouvements des particules chargées en orbite. Ce travail contribua à la découverte par James Van Allen de la ceinture de radiations circumterrestre. En Asie, les championnats de calcul entre des virtuoses du boulier et des geeks utilisant une calculatrice électronique ont longtemps eu des résultats surprenants.

Aspect supposé d'un abaque romain, imaginé au  $xvii^e$  siècle.



## 330 av. J.-C. ▶ Logique grecque

Les premières règles de logique (syllogisme, techniques de réfutation des sophismes) sont définies par le philosophe grec Aristote. Mais la logique aristotélicienne, suffisante pour le raisonnement philosophique ou juridique, n'est pas assez puissante pour être applicable en mathématiques.



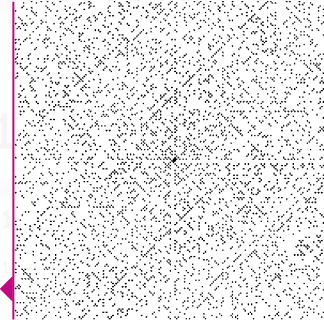
Buste d'Aristote en marbre, copie romaine d'un original grec en bronze.

## env. 300 av. J.-C. ▶ Algorithmes grecs

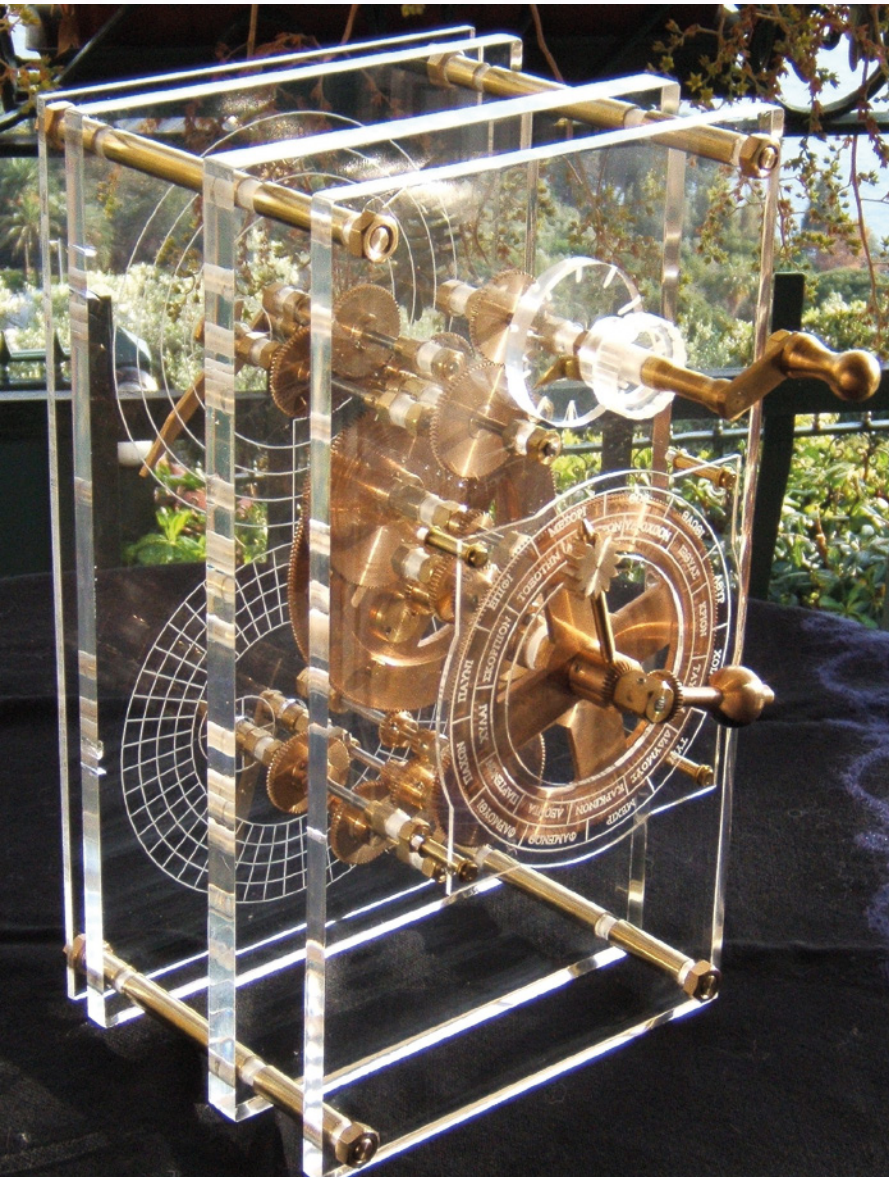
Les premiers « algorithmes » dont la description nous soit parvenue proviennent des Babyloniens ; ils concernaient la résolution des équations, mais étaient explicités sous forme d'exemples plutôt que par une liste d'étapes.

Dans le livre VII des *Éléments*, Euclide décrit une méthode pour calculer le plus grand diviseur commun de deux entiers dont on ne connaît pas les facteurs, en faisant explicitement référence à une itération. Il s'agit du plus vieil algorithme non-trivial connu qui soit encore utilisé de nos jours.

Un siècle plus tard, Ératosthène donne une méthode, le fameux crible d'Ératosthène, pour trouver les nombres premiers inférieurs à un nombre donné en procédant par élimination des multiples. Implémenter cet algorithme est toujours un exercice classique dans les cours d'introduction à la programmation.



Spirale d'Ulam illustrant d'étranges alignements de nombres premiers.



II<sup>e</sup> siècle av. J.-C.

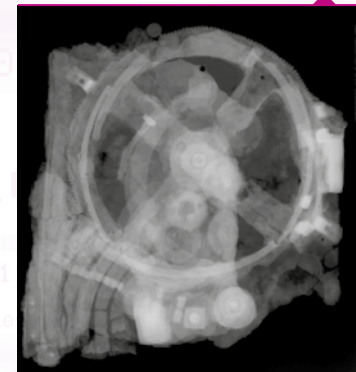
## ► Mécanisme d'Anticythère



► Fragment principal du mécanisme d'Anticythère, d'environ 20 cm de côté.

En 1901, au large de l'île grecque d'Anticythère, des fragments en bronze d'un mécanisme sont remontés d'une épave romaine datant de 87 avant J.-C. Des études réalisées tout au long du xx<sup>e</sup> siècle, et surtout à partir de l'an 2000 à l'aide d'un scanner à rayons X, ont conclu qu'il s'agissait des restes d'un calculateur astronomique analogique. Modélisant la course des astres à l'aide de plus d'une trentaine d'engrenages, il indiquait les positions passées et futures du soleil et de la lune, probablement aussi des cinq planètes connues, ainsi que les dates des éclipses. C'est le plus vieux mécanisme à engrenages connu et il faudra attendre plus d'un millénaire pour voir apparaître des systèmes comparables, dans les horloges du Moyen Âge.

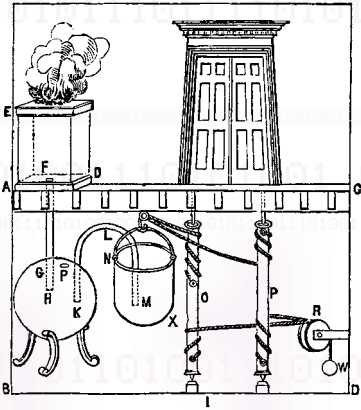
Radiographie du principal fragment.



► Réplique faite en 2007 du mécanisme d'Anticythère.



## 1<sup>er</sup> siècle ▶ Automates de Héron d'Alexandrie



Héron d'Alexandrie était l'un des ingénieurs les plus talentueux de l'Antiquité. Dans plusieurs de ses ouvrages, il décrit ses principes de l'automatisme et la réalisation de son théâtre mobile. Ce dernier était animé grâce à des mécanismes mobiles programmables : un poids descendant attaché à une corde fournissait l'énergie, tandis que le déroulement de la corde sur un essieu faisait avancer le « robot » ; des pions judicieusement placés sur l'axe — le programme — changeait la direction de la corde et le sens de rotation des roues, permettant un déplacement latéral. Même s'il ne reste aucune trace de ces machines, des reconstructions modernes ont montré leur faisabilité avec les techniques de l'époque.

**Ouverture de portes d'un temple commandée par l'allumage d'un feu.**  
L'augmentation de la pression envoie l'eau dans le seau et son poids fait tourner les cabestans ; le contrepois permet la fermeture automatique.

## III<sup>e</sup>-VIII<sup>e</sup> siècle ▶ Numération indo-arabe

Dès le III<sup>e</sup> siècle, des textes indiens en écriture Brahmi utilisent des signes particuliers pour représenter les chiffres au lieu de les représenter par des lettres. Ensuite apparaît une notation des nombres selon le principe positionnel, remplaçant la notation additive traditionnelle similaire à celle des Romains. Certains textes incluent aussi le mot *sunya* (« vide »), indiquant une absence de valeur, qui est l'origine du zéro. Ces trois éléments constituent un nouveau système, développé au VI<sup>e</sup> siècle par le grand astronome Āryabhaṭa et surtout, au VII<sup>e</sup> siècle, par le mathématicien Brahmagupta, le premier à considérer le zéro comme un nombre doté de propriétés et à l'intégrer aux « chiffres indiens », dont dérivent directement les nôtres. Cette notation décimale de position se diffuse ensuite vers la Chine et dans l'aire culturelle musulmane

grâce à des savants comme Al-Fazari ou Al-Khwarizmi ; puis en Europe via le pape Sylvestre II, le bénédictin Adélarde de Bath et Fibonacci, qui adoptent en même temps les mots d'origine arabe *chiffre/cypher*, zéro et d'autres.

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



# Anciens Caractères Arithmétiques.

1. Notes de Bocce.	{	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
2. De Plaute.	{	1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	10
3. Caractères d'Alsephadi.	{	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'Alsephadi.	{	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

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

## 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<sup>e</sup> anniversaire (789-1989).

## ix<sup>e</sup> siècle ▶ Cryptanalyse

Savant prolifique au service des califes de Bagdad, grand traducteur de textes scientifiques grecs en arabe, Abu Yusuf Al-Kindi a contribué à introduire la numération indienne dans l'Empire islamique. L'un de ses 290 ouvrages est consacré à *Déchiffrement des messages*. Il y expose une méthode fondée sur l'analyse de la fréquence des lettres dans une langue donnée et sur le comptage des lettres les plus fréquentes dans un message chiffré : le rapprochement des deux statistiques permet de déchiffrer celui-ci, en évitant de tester les millions de clés possibles ou de se contenter de l'intuition. Al-Kindi jette ainsi les bases de la cryptanalyse.

## x<sup>e</sup> siècle ▶ Une théologie arithmétique

La renaissance ottonienne, autour de l'an mille, est dominée par deux figures intellectuelles, Abbon de Fleury et Gerbert d'Aurillac, qui conçoivent la création en termes mathématiques. Ils s'inspirent d'un verset biblique affirmant que Dieu a tout créé selon « le nombre, la mesure et le poids » et professent que les nombres ou les proportions contiennent « le commencement de toutes choses », reprenant une conception pythagoricienne fondatrice. On a pu voir dans cette école une véritable « pensée computationnelle » qui sera développée plus tard par Leibniz.

## 1202 ▶ Fibonacci et les nouvelles techniques de calcul

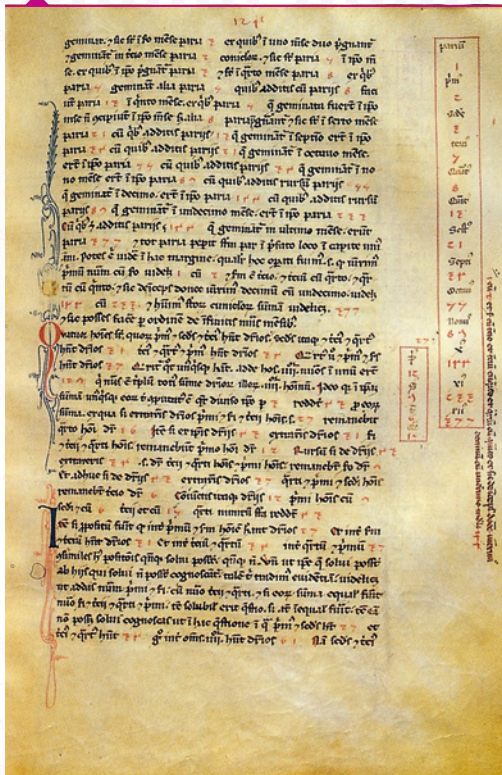
Léonard de Pise, dit Leonardo Fibonacci (1175-1250), est l'un des plus grands mathématiciens de son temps. Il est l'un des savants européens qui ont le plus contribué à introduire les nombres indiens et l'algèbre « arabe » en Occident. Son livre le plus connu, le *Liber abaci* (livre de l'abaque, autrement dit des techniques de calcul), présente et explique ces nouveautés venues des pays d'Islam. D'autre part, c'est en réfléchissant sérieusement à un problème récréatif comme le rythme de reproduction des lapins que Fibonacci conçoit la suite arithmétique qui porte son nom : une progression régulière, en relation avec le nombre d'or, et que l'on retrouve dans des phénomènes naturels aussi divers que la forme des coquilles d'escargots ou des pommes de pin – observation qui inspirera, huit siècles plus tard, Alan Turing. Fibonacci est un parfait exemple de ces nombreux chercheurs qui, au long de l'histoire, ont été à la fois des passeurs de savoir, des adaptateurs et des découvreurs.

Progressivement, les chiffres romains disparaissent au profit des nouveaux symboles et de la numérotation positionnelle. Fibonacci en est un fervent promoteur et encourage les commerçants



italiens à l'utiliser. 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.

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

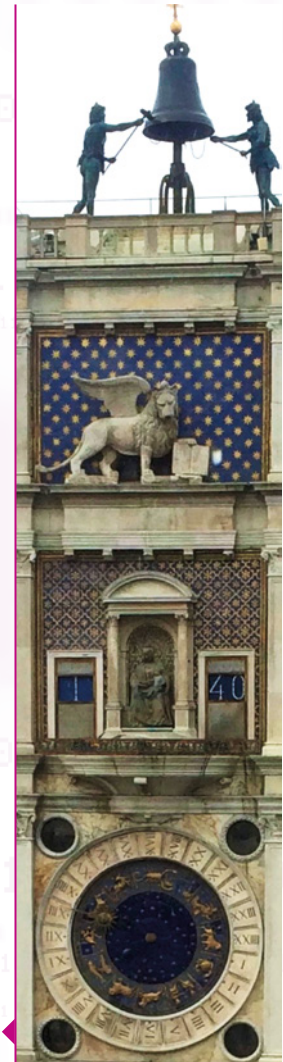


### xiii<sup>e</sup> siècle ▶ Une machine logique : l'*Ars magna* de Raymond Lulle

Conçu par le philosophe espagnol Raymond Lulle (1234-1315), l'appareil consistait en une série de cercles concentriques portant des mots significatifs rangés dans un certain ordre. En amenant une séquence donnée de mots formant une question, on voyait apparaître les mots qui formaient la réponse. La méthode était fondée sur l'idée que tout le savoir est commandé par un petit nombre de catégories fondamentales et nécessaires. On pouvait donc explorer la totalité des connaissances en réalisant toutes les combinaisons possibles de ces catégories. L'*Ars magna* était une tentative vers un langage complet et automatique pour le raisonnement.

### xiii<sup>e</sup> 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.



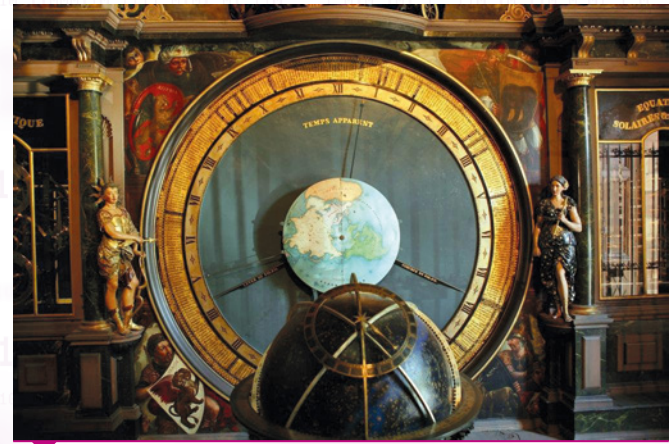
Analogique et numérique à la fois : l'horloge à jacquemarts de la place San Marco à Venise (1496).

**Horloge astronomique de la cathédrale de Strasbourg. Une première horloge fut construite en 1352, remplacée par une horloge planétaire au XVI<sup>e</sup> siècle, et par une troisième (l'actuelle) dans les années 1830.**

C'est en Europe, à la fin du XIII<sup>e</sup> 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 possibilités 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.



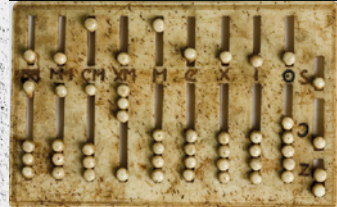
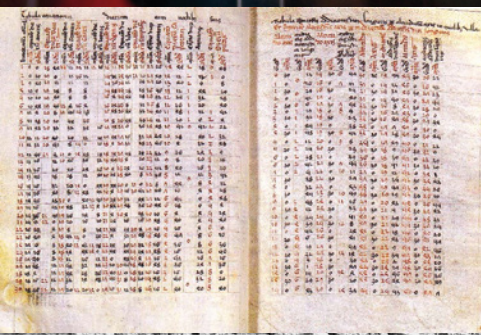
**Horloge de la cathédrale de Strasbourg (détail).**

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 ».

### Crédits

• P. 17 : David R. Tribble / Wikimedia Commons • P. 22 : Plimpton 322, Cuneiform Collection, Rare Book and Manuscript Library, Columbia University • P. 23 : British Museum ; Benoit Stella / Wikimedia Commons • P. 24 : 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 Decimus Junius Juvenalis and Aulus Persius Flaccus, translated by Barten Holyday, W. Downing for F. Oxlad, Senior; J. Adams, and F. Oxlad, Junior, 1673 ; Marie-Lan Nguyen / Wikimedia Commons ; Emmanuel Lazard • P. 25 : Mogi Vicentini / Wikimedia Commons ; © Antikythera Research Mechanism Project ; Antikythera Research Mechanism Project • P. 26 : Droits réservés ; Gregor Reisch, Margarita Philosophica, 1508 / Wikimedia Commons • P. 27 : Jean-Étienne Montucla, Histoire des Mathématiques, 1798 / Bibliothèque nationale de France • P. 28 : Wikimedia Commons • P. 29 : Otfried Lieberknecht / Wikimedia Commons ; Pierre Mounier-Kuhn • P. 30 : Photo by David Iliff. License: CC-BY-SA 3.0 / Wikimedia Commons ; iwallpapers.free.fr • P. 31 : Codex / Wikimedia Commons ; Droits réservés ; Bavarian State Painting Collections ; Droits réservés ; Museumslandschaft Hessen Kassel ; Pierre Mounier-Kuhn - Musée historique de Cologne ; Droits réservés ; P13.124 / Wikimedia Commons ; Droits réservés







II.

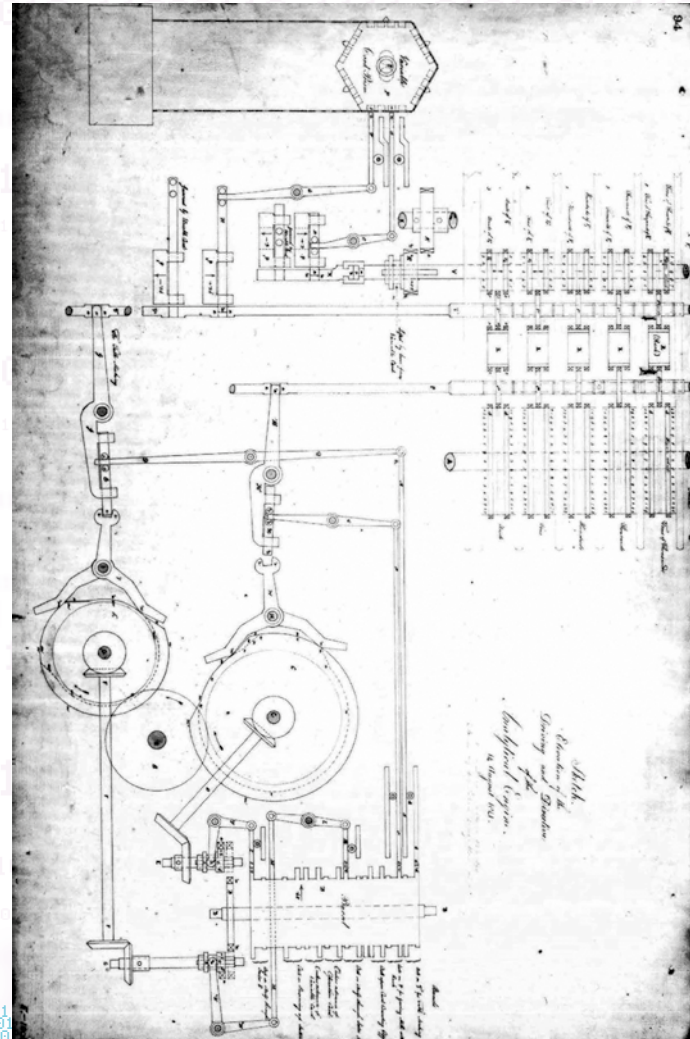
# Tables numériques et machines mécaniques

# 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.

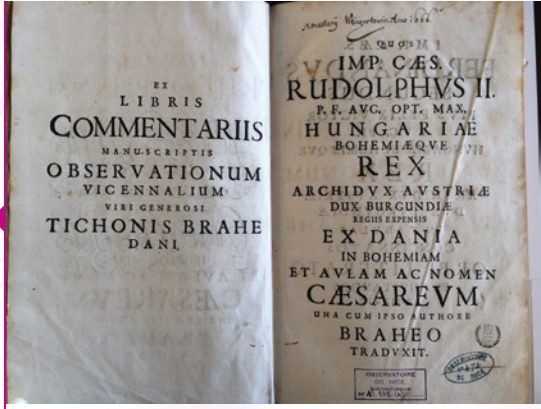
La demande en matière de traitement de l'information pour la gestion émerge parallèlement. Si Blaise Pascal conçoit dans les années 1640 sa « Pascaline », c'est pour aider son père, receveur des impôts d'une administration royale en plein développement, à effectuer ses fastidieux calculs fiscaux. Au 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.



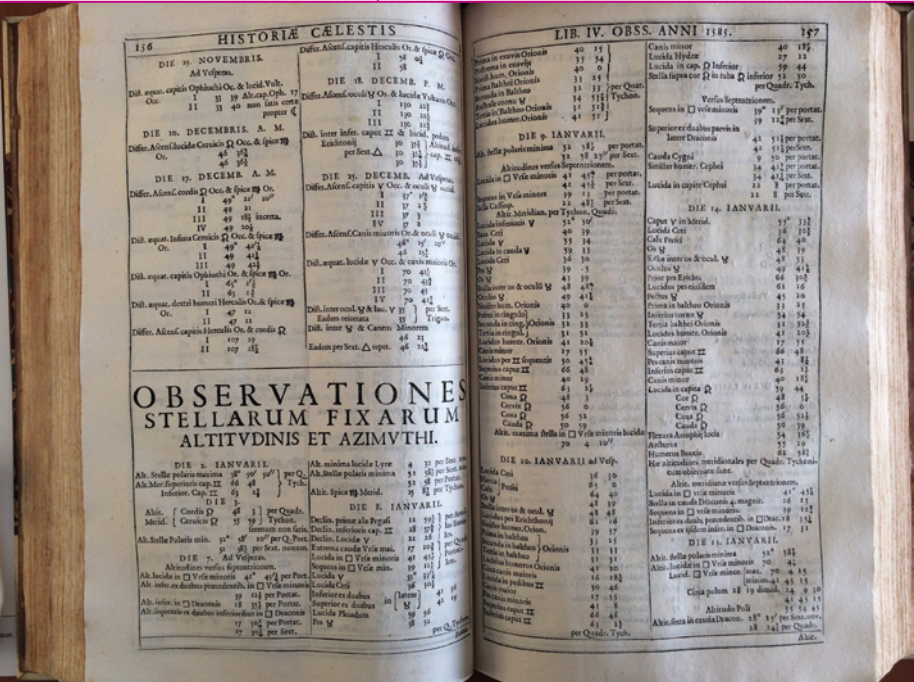
► Mécanisme de contrôle de la machine analytique de Babbage.



Tables rudolphines établies par Johannes Kepler sous la direction de Tycho Brahe (1627). Elles bénéficient de l'invention récente des logarithmes que Kepler utilise pour ses calculs. L'observation astronomique produit des masses de données de plus en plus précises, à partir desquelles on calcule des prédictions.



Vers 1740, un officier de police, Guillaute, 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 la *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... lesquelles 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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. À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, la carte ou la bande perforée est devenue un support universel de données, utilisée dans les machines à statistiques, les instruments de musique, le télégraphe alphanumérique Baudot, la Monotype dans l'imprimerie, etc. 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.

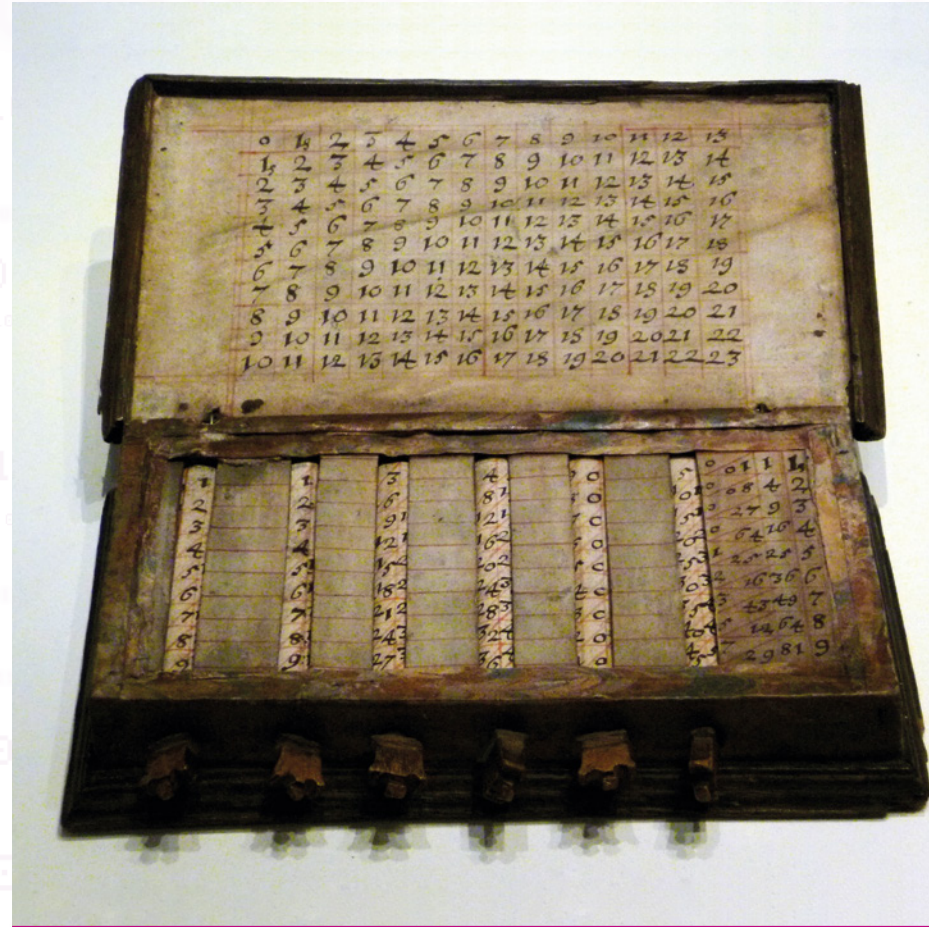
Pourquoi ne pas employer tout simplement des calculateurs humains prodiges, tels Jacques Inaudi et le vertigineux Paul Lidoreau qui extrayait mentalement en vingt secondes la racine carrée d'un nombre de 15 chiffres ? En fait, certains ont travaillé pour des observatoires astronomiques ou des bureaux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



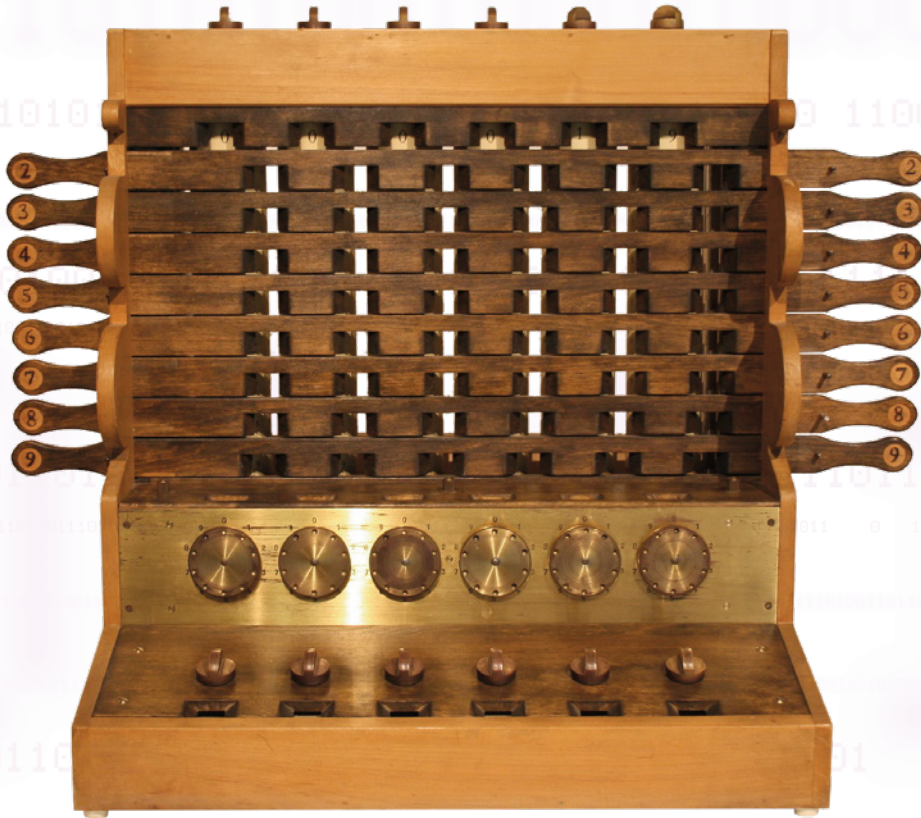
Après avoir inventé les logarithmes, l'Écossais John Neper (1550-1617) (ou John Napier en anglais) invente une aide au calcul sous forme de bâtonnets qui permettent de réduire une multiplication à une suite d'additions. Ces bâtonnets matérialisent des tables de multiplication portatives dont l'écriture facilite le calcul des retenues entre colonnes successives.

John Neper.



Un jeu de bâtonnets de Neper de 1680.

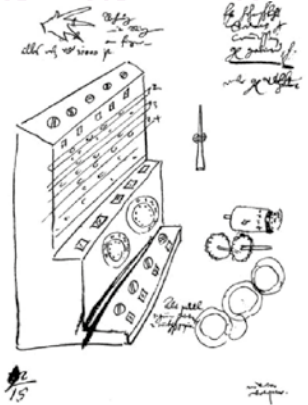




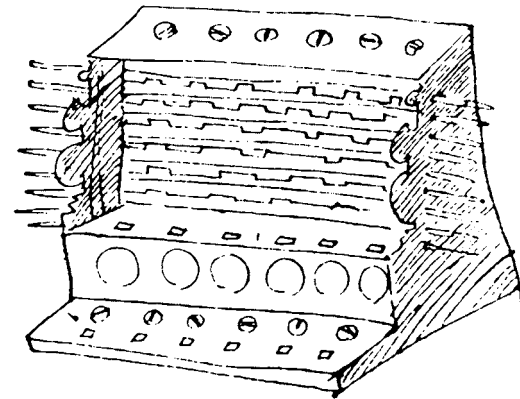
Réplique moderne de la machine de Schickard faite à partir des dessins laissés dans ses lettres à Kepler. Toute la partie supérieure de la machine correspond aux bâtonnets de Neper.

## 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<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> 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.

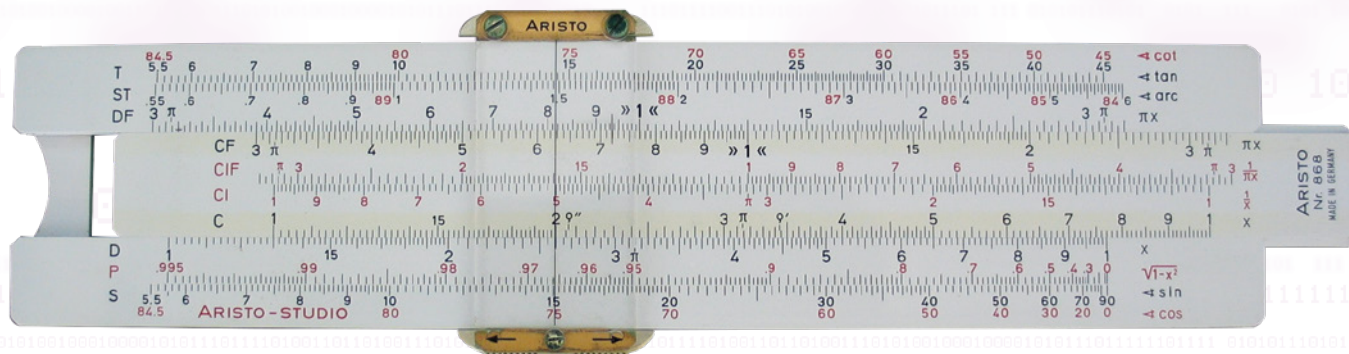
## 1624 ▶ Tables logarithmiques de Briggs

Ayant lu les travaux de Napier, le mathématicien anglais Henry Briggs (1556-1630) entreprend de produire des tables logarithmiques, puis trigonométriques ; son *Arithmetica logarithmica* (1624) indique les logarithmes de 30 000 nombres avec quatorze décimales. Une *Trigonometria Britannica* s'y ajoute en 1633. Ces

tables seront perfectionnées par de nombreux mathématiciens pendant trois siècles. Elles révolutionneront la pratique du calcul en facilitant de nombreuses opérations dans les sciences et les techniques.

## 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, portable et facile à utiliser, sera perfectionné aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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/

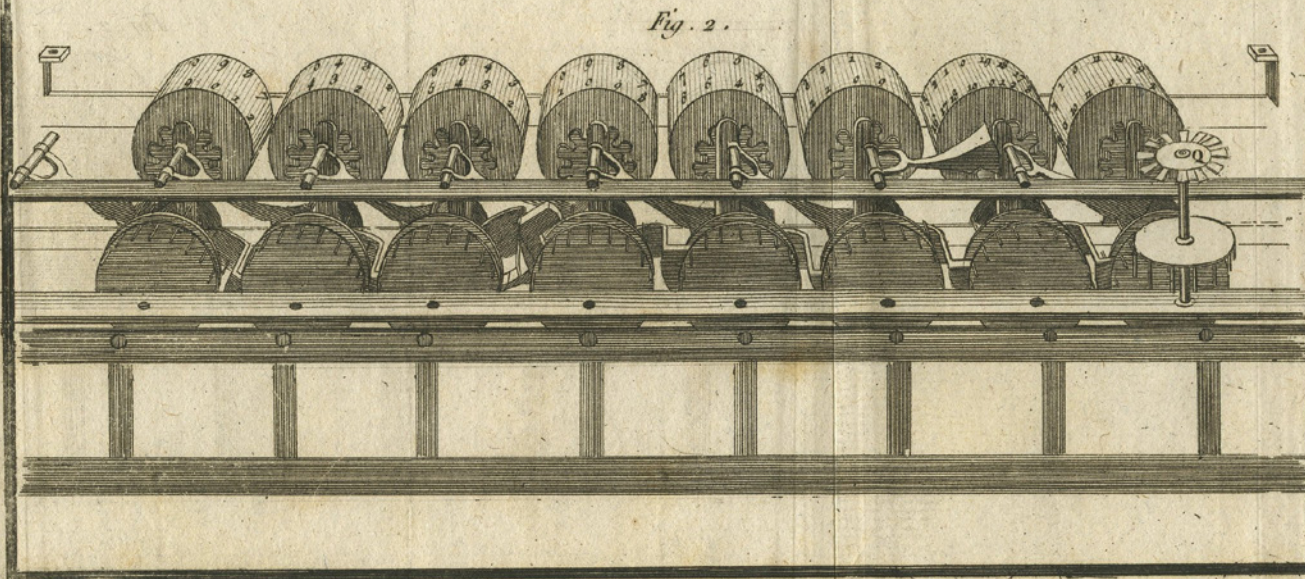
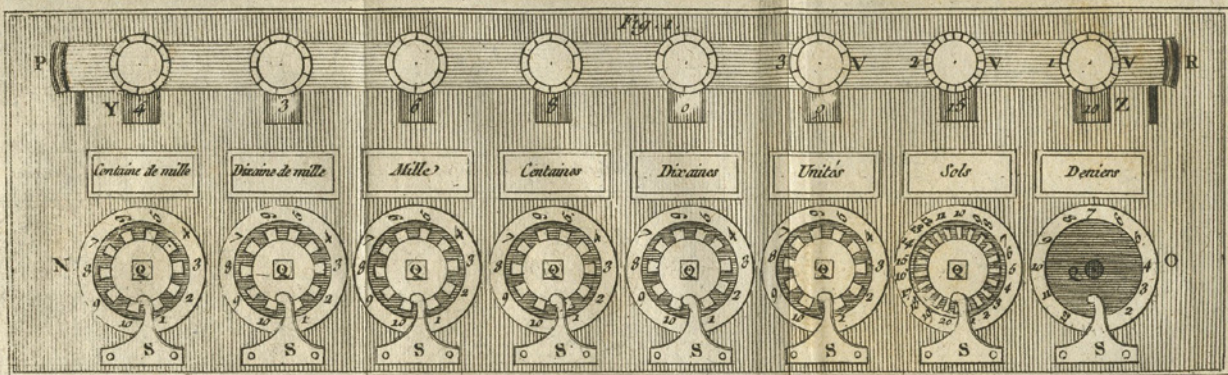
Machine à calculer  
de Blaise Pascal  
à six chiffres.



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

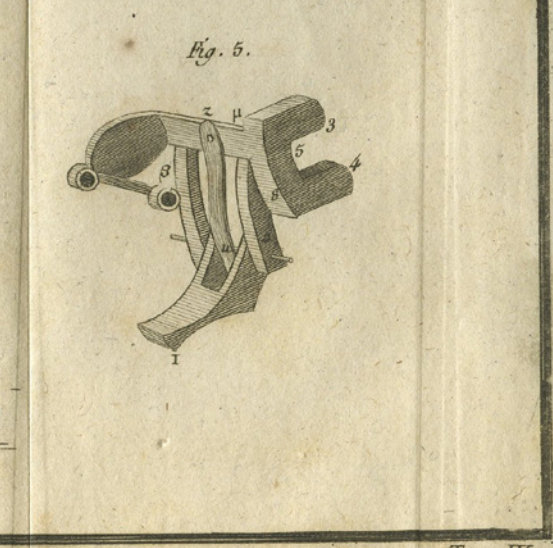
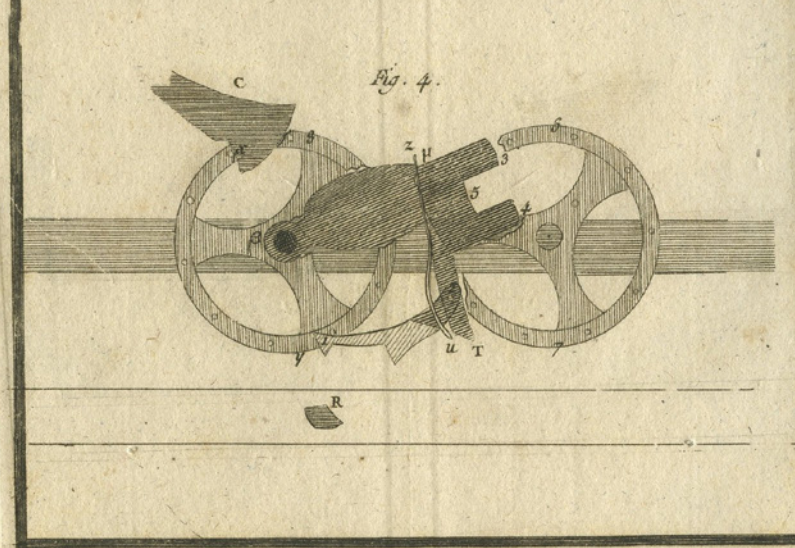
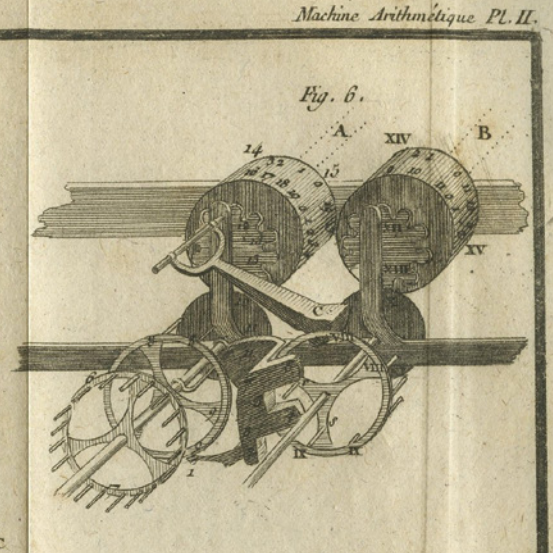
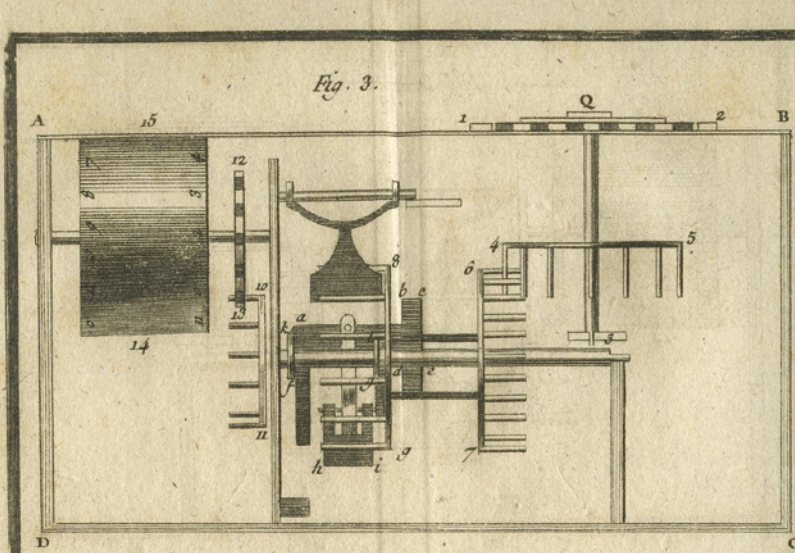
sous/deniers, sont construits à leur tour. La « Pascaline » est considérée comme la première machine à calculer ayant réellement fonctionné, la seule machine à calculer opérationnelle du XVII<sup>e</sup> siècle et la première à être commercialisée (une vingtaine d'exemplaires), même si son prix élevé 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. M. 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<sup>e</sup> 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  $\frac{7}{8}$  &  $\frac{1}{2}$  d'1 Denier.

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

A 1 Denier la chose.

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

1 d par jour, pour 1 An revient à 1 L 10 f 5 d

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

## 1694 ▶ L'œuvre fondatrice 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<sup>e</sup> siècle dans un grenier de l'université de Göttingen par une équipe d'ouvriers venue effectuer des réparations.



▶ Machine quatre opérations de Leibniz (1690).

Les réflexions de Leibniz vont beaucoup plus loin que la conception d'une calculatrice. Il a inventé un système de numération binaire, basé sur des combinaisons de 0 et 1, qui lui paraît très fécond pour la théorie des nombres et la confection des tables numériques. L'ayant envoyé en 1701 à un savant missionnaire jésuite en Chine, il reçoit en retour un tableau des 64 hexagrammes du Yi-Jing, système antique de signes binaires permettant de décrire les états du monde et leurs évolutions et qui, malgré la différence des symboles, repose sur une logique équivalente. Leibniz expose ce brillant rapprochement dans un mémoire à l'Académie royale des sciences (1703) : « Explication de l'arithmétique binaire, qui se sert des seuls caractères 0 et 1, avec des remarques sur son utilité et sur ce qu'elle donne le sens des anciennes figures chinoises de Fohy. »

Leibniz perçoit du même coup que l'arithmétique binaire pourrait convenir au calcul par machine. En explorant les usages possibles, il imagine le langage rigoureux d'une « science universelle », *characteristica universalis*, débouchant sur l'idée que le calcul peut s'appliquer non seulement aux nombres, mais aussi aux propositions logiques. Cette idée qui préfigure les systèmes formels, tombée dans l'oubli, sera développée de nouveau deux siècles plus tard par Augustus de Morgan, George Boole, Gottlob Frege et leurs successeurs.



Portrait de Gottfried Leibniz.





### 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<sup>e</sup> siècle, par exemple celles de Giovanni Poleni et de Philipp Matthäus Hahn. Mais elles resteront des curiosités de salon, sans développement commercial. Cela en raison de leur prix élevé ou 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.

### 1759 ▶ Nicole-Reine Lepaute, une marathonnienne du calcul

En 1757, l'astronome Jérôme de Lalande propose au mathématicien Alexis Clairaut de calculer le retour de la comète que l'Anglais Edmund Halley avait prévu pour la fin de l'année 1758 ou le début de 1759. Ce travail exige une masse de calculs pour préciser la position de la comète sur son orbite, jour après jour, compte tenu des perturbations gravitationnelles dues aux planètes Jupiter et Saturne. Pour entreprendre ces laborieux calculs, Lalande engage Nicole-Reine Lepaute, qui a déjà acquis une réputation en calculant des tables d'oscillations de pendule pour son mari horloger.

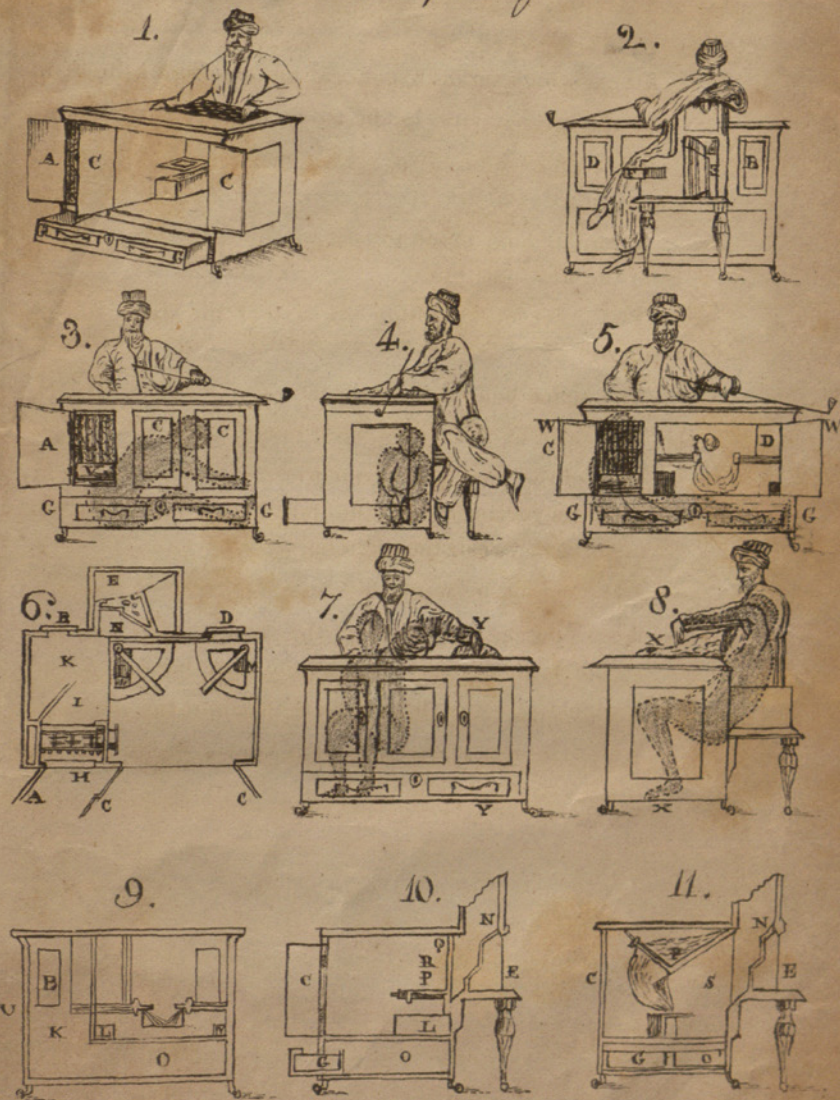
Le projet est une course contre la montre : il faut absolument avoir terminé avant le passage de la comète... dont la date est justement l'inconnue. Lalande écrit : « Pendant plus de six mois, nous [Mme Lepaute et moi] calculâmes depuis le matin jusqu'au soir, quelquefois même à table. » Tous les calculs sont effectués à la main, sans aucune machine. Finalement, en novembre 1758, Clairaut peut annoncer le retour de la comète pour le 13 avril suivant. En fait la comète passe à son périhélie un mois avant cette date, mais pour l'époque c'est un grand succès : non seulement l'équipe a confirmé que les comètes peuvent revenir, mais on sait désormais en prédire le moment avec une précision croissante.

Nicole-Reine Lepaute (1723-1788) continuera à élaborer des tables et des éphémérides astronomiques, et publiera plusieurs mémoires pour l'académie de Béziers dont elle sera élue membre associé. Elle est exemplaire de ces calculateurs savants sans lesquels les sciences et les techniques n'auraient pu progresser.

### 1770 ▶ Le Turc mécanique

Le jeu d'échecs a toujours eu une place particulière dans l'imaginaire intellectuel occidental et ses interactions avec l'informatique sont légion : automate de Torres-Quevedo, avancées de l'IA et pari de David Lévy, victoire de Deep Blue... Mais c'est dès 1770 qu'une « machine » s'essaie au noble jeu ! Cette année-là, Wolfgang von Kempelen (1734-1804), inventeur hongrois, présente à l'impératrice d'Autriche un automate capable de jouer aux échecs. Il se présente comme un mannequin habillé d'une cape et d'un turban, assis derrière un meuble sur lequel repose un échiquier. Plusieurs portes révèlent une mécanique et des engrenages internes qui s'animent. Il s'agit bien sûr d'une illusion permettant de masquer la réelle profondeur du meuble qui possède un compartiment secret dans lequel un joueur humain pouvait se glisser et manipuler le mannequin.

# The chess player.



Grâce au talent des joueurs cachés, le Turc mécanique remporta la plupart des parties d'échecs auxquelles il participa en Europe et en Amérique avant sa destruction dans un incendie en 1854. Durant toute cette période, même si de nombreux livres et articles essayèrent d'expliquer son fonctionnement, le secret de l'automate fut bien gardé, partagé uniquement par les présentateurs et les joueurs cachés. Ce n'est qu'en 1857 que le fils du dernier propriétaire du Turc révéla la supercherie dans un magazine d'échecs.

## 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.

► Extrait d'un livre publié en 1826 : « Histoire et analyse du supposé automate joueur d'échecs (...) illustrant la méthode probable avec laquelle ses mouvements sont dirigés. »



## 1794 ▶ Le télégraphe Chappe

Communiquer sur de longues distances a toujours été un besoin administratif et militaire. Alors que l'État utilisait encore le système d'estafette, Claude Chappe (1763-1805) propose en 1791 un système à base de sémaphores, grands mats à ailes mobiles, situés au sommet de tours relais espacées d'une quinzaine de kilomètres. En 1794, la première ligne de communication est testée sur Paris-Lille et la reddition autrichienne à Condé-sur-Escaut en août est

annoncée à Paris en quelques minutes, illustrant l'intérêt du système. Poussé par l'État, il se développe et comprend, à son apogée en 1844, 534 tours reliant les grandes agglomérations sur plus de 5 000 km, permettant des communications nationales à grande vitesse. En 1845, la première ligne de télégraphe électrique est installée entre Paris et Rouen, sonnant le glas des tours de Chappe.

La liaison Paris-Bordeaux donne lieu à la première affaire de piratage d'une ligne de communication. En 1834, deux hommes d'affaires bordelais, Louis et François Blanc, soudoient le directeur et un agent en poste au relais de Tours pour qu'ils ajoutent aux messages envoyés par l'État le cours du jour de la rente à 3 %, titre phare de la Bourse de Paris. Le message final est déchiffré par un complice qui

loue une chambre ayant vue sur la tour Chappe de Bordeaux. Ils ont ainsi connaissance de la clôture du cours en quelques heures, en avance sur l'annonce officielle qui arrivait après trois jours par la poste. Dénoncés deux ans plus tard par un proche de l'assistant du directeur, les frères Blanc passent sept mois en prison avant d'être acquittés lors de leur procès car aucune infraction ne peut leur être reprochée ! Ce dénouement a contribué au vote, dès 1837, de la loi sur le monopole public des télécommunications.

Peinture du XIX<sup>e</sup> siècle illustrant le télégraphe de Chappe.



## 1804 ▶ Métier à tisser Jacquard

Au XVIII<sup>e</sup> siècle, le doublement de la population européenne induit une forte demande de textiles. Des techniciens du tissage inventent des machines pour augmenter la productivité. Et bientôt germe l'idée de les automatiser : Basile Bouchon (1725) et Jean-Baptiste Falcon (1728), l'automaticien Jacques Vaucanson (1740). S'inspirant de Vaucanson, Joseph-Marie Jacquard (1752-1834) construit en 1801 le premier métier à tisser automatique programmable à l'aide de

cartes perforées. Ces dernières portent le « programme », c'est-à-dire la séquence d'enfilage des aiguilles correspondant aux différentes couleurs. C'est l'un des premiers exemples d'enregistrement d'une séquence d'opérations sur un support auxiliaire.

D'abord décriée par les canuts lyonnais qui craignent de perdre leur emploi et menacent de jeter Jacquard et sa machine dans le



Portrait de Jacquard tissé sur l'une de ses machines.



Rhône, l'invention est rapidement adoptée par les artisans et fait le succès et la fortune de Jacquard. À sa mort, son portrait sera tissé sur une de ses machines à l'aide de 24 000 cartes perforées.

En 1811-1812 à Nottingham, des ouvriers s'opposèrent aux employeurs qui favorisaient l'utilisation de métiers à tisser dans le travail de la laine et du coton. De violentes révoltes, accompagnées de destruction de machines, furent menées et « signées » par un leader probablement imaginaire, Ned Ludd. Avec l'avènement de la micro-informatique, le terme de luddisme ou néo-luddisme apparaît pour désigner tout mouvement s'opposant à la technologie pour des raisons idéologiques : mise au chômage d'ouvriers, risques sanitaires, atteintes aux libertés...

## 1820 ▶ Arithmomètre

L'Arithmomètre est une machine à calculer à addition et soustraction directes, qui permet de multiplier et de diviser rapidement par additions ou soustractions partielles, grâce à une platine mobile portant le résultat. L'assureur Thomas de Colmar (1785-1870) l'invente en 1820, puis s'en désintéresse pendant plus de 25 ans. Il en reprend le développement quand le modeste succès de deux autres calculatrices, l'additionneur de Roth et la machine à touches de Schwilgué, lui montre que le marché mûrit.

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



Charles Xavier  
Thomas de Colmar.

▶ Métier à tisser Jacquard.





Arithmomètre de Thomas, modèle T1878B fabriqué en 1881 par Louis Payen.

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 calculatrices électroniques de poche dans les années 1970.

## 1837 ▶ Machine analytique

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.



Charles Babbage  
(photo de 1860).

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.

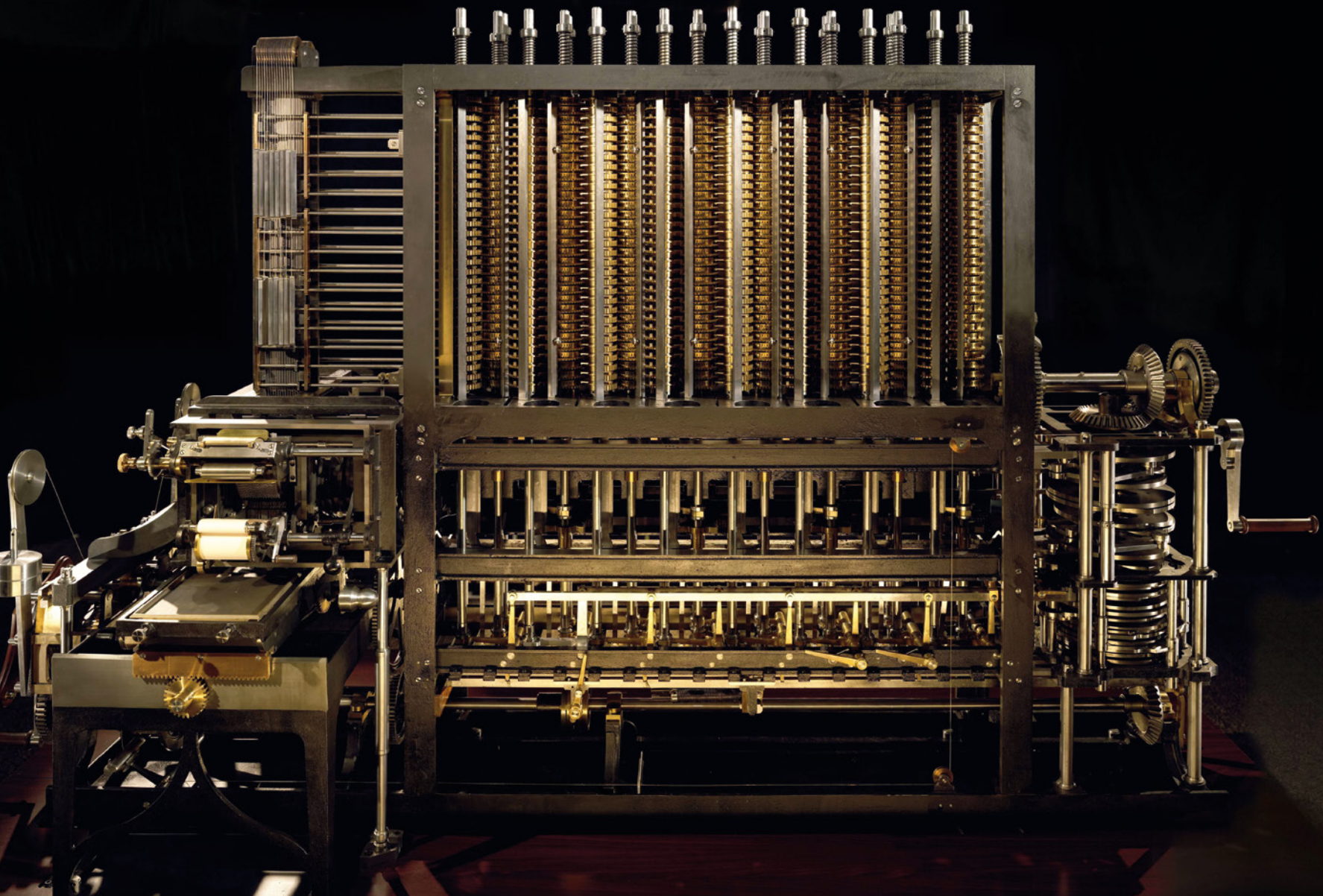
Cette machine analytique entièrement mécanique innove sur tous les plans, notamment par son architecture. Ayant une mémoire, une unité arithmétique et logique et un lecteur de cartes perforées (idée empruntée aux métiers Jacquard), elle est générale au sens où elle est programmée par des instructions 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).

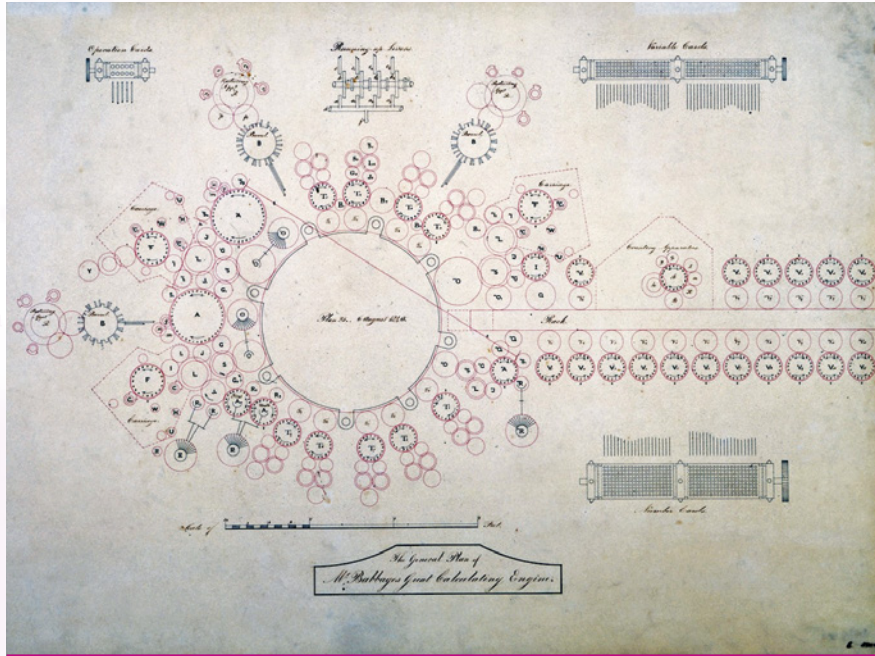
La machine de Babbage pourrait calculer jusqu'à 33 chiffres décimaux, beaucoup plus que les plus puissantes calculatrices mécaniques qui suivront.

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.

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







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

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.

## 1843 ▶ Lady Ada Lovelace



Augusta Ada King, comtesse de Lovelace.

La première description de la machine analytique de Babbage est rédigée par un mathématicien italien, le comte Luigi Federico Menabrea. Ayant discuté avec Babbage lors d'un congrès scientifique à Turin, il publie un article, « Notions sur la machine analytique de M. Charles Babbage », dans le 41<sup>e</sup> tome de la *Bibliothèque internationale de Genève* en 1842. Une amie de Babbage, la comtesse Ada Lovelace (1815-1852), fille du poète Byron, en publie une traduction anglaise largement enrichie







de ses propres commentaires. Dotée d'une sérieuse formation scientifique et n'étant pas accaparée par les détails techniques du projet, elle peut exposer clairement le concept nouveau d'un calculateur universel, qu'elle considère comme la matérialisation d'une « science des opérations ». Elle va jusqu'à imaginer l'ensemble de ses applications potentielles, y compris la composition musicale : la machine ne peut rien créer, mais applique les règles qu'on lui donne. Voulant en donner un exemple concret, Lady Lovelace ajoute un tableau des opérations successives que devrait effectuer la machine pour calculer un nombre de Bernoulli (B7) : c'est une analyse algorithmique débouchant sur un programme.

Ada comprend aussi que Babbage est mauvais manager et mène son projet dans une impasse : elle se propose d'en prendre la direction !

## 1844 ▶ Le Scarabée d'or

En 1843, Edgar Allan Poe fait paraître une nouvelle, le Scarabée d'or, et popularise la cryptographie, jusqu'alors restée très mystérieuse, auprès du grand public. Dans ce récit, le héros découvre un très vieux parchemin sur lequel est écrit un message secret. Par des méthodes statistiques d'analyse de fréquences, il parvient à décrypter le texte qui le lance à la poursuite du trésor du Capitaine Kidd.

## 1844 ▶ Schwilgué : les calculatrices à touches



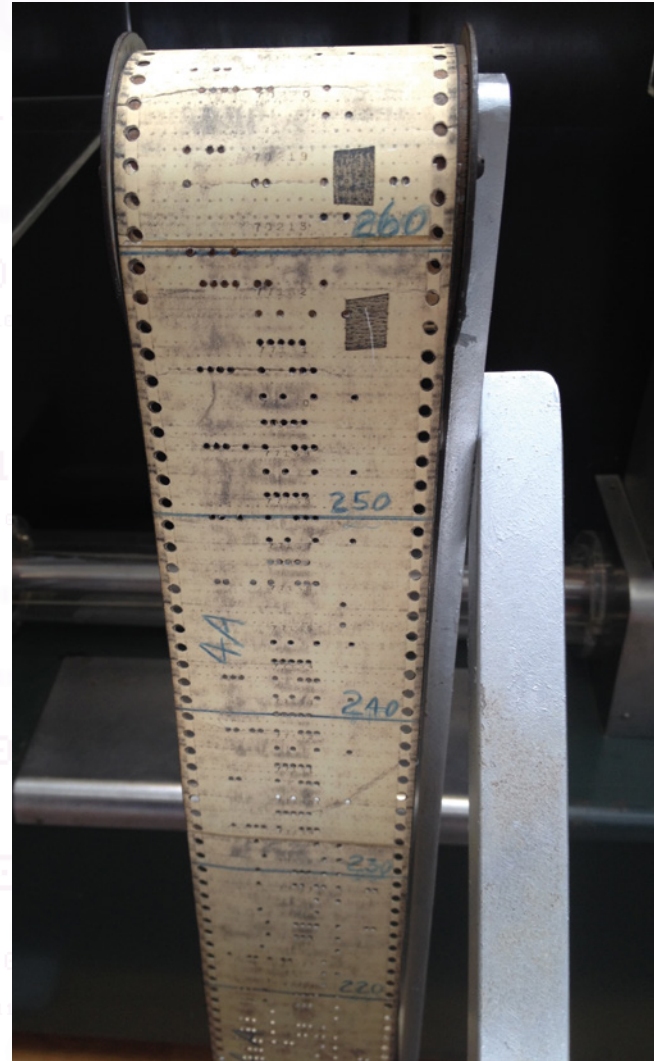
Additionneur à touches (1844) de J.-B. Schwilgué.

En 1844, l'horloger alsacien Jean-Baptiste Schwilgué (1776-1856) présente un additionneur de son invention, que l'on considère comme la première calculatrice à touches opérationnelle. Chargé de rénover l'horloge astronomique de la cathédrale Notre-Dame de Strasbourg, il a une expérience exceptionnelle dans la conception d'appareils reproduisant les phénomènes célestes (on retrouve ici des motivations proches de celles des auteurs de la machine d'Anticythère, 2 000 ans plus tôt). Schwilgué connaît les rares calculatrices existant à son époque. Il conçoit la sienne en fonction de ses besoins professionnels et de ceux d'autres artisans. L'entrée des chiffres à calculer s'effectue par une rangée de dix touches formant un clavier minimal ; pour le rendre fiable, Schwilgué a dû inventer un dispositif de « tout ou rien » empêchant une demi-frappe qui introduirait une erreur dans les données. Construit avec un grand savoir-faire professionnel, fiable et robuste, l'additionneur est breveté, commercialisé et présenté à une exposition à Londres.

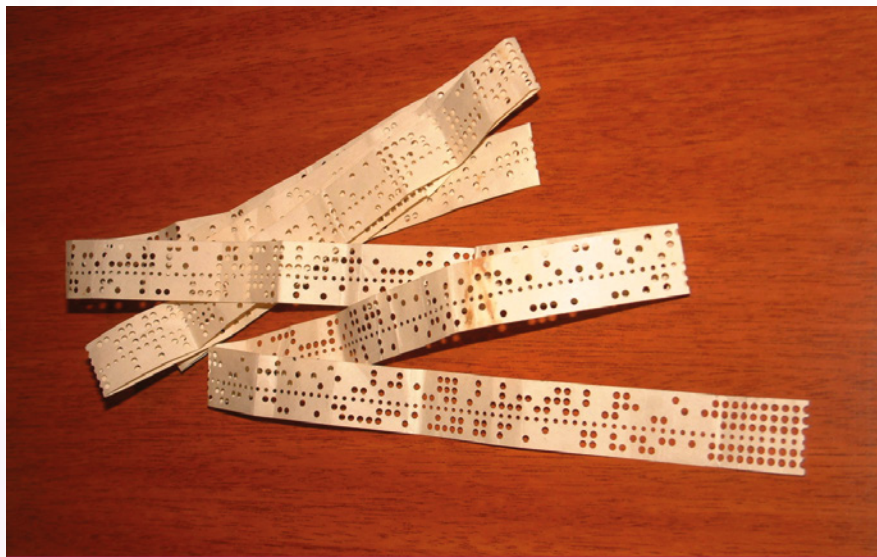
Mécanicien expérimenté, Schwilgué invente d'autres calculatrices, notamment pour déterminer la taille des roues dentées. Les résultats obtenus sur ces calculatrices sont destinés à configurer les machines-outils qui tailleront les engrenages. Loin du traitement de données dans l'assurance ou l'administration, on est ici dans un système technique industriel fondé sur le calcul, mais destiné à produire *in fine* de l'information sur l'écoulement du temps et les mouvements des astres.

## 1846 ▶ Le ruban perforé

Pour accélérer la transmission des télégrammes, on utilise du ruban perforé où chaque symbole est codé par une série de trous. Le code binaire pour la transmission y est introduit par le Français Émile Baudot en 1874. Avec le développement des perforateurs et lecteurs mécaniques, le ruban va rapidement devenir un support universel de données. Il sera ainsi utilisé en 1943 dans les machines à décrypter anglaises Colossus où des



Ruban perforé du Harvard Mark I en 1944 portant son programme ainsi que des patches correctifs.



Bande portant un message en code Baudot : chaque colonne de cinq emplacements, trous ou non, correspond à une lettre, chiffre ou symbole (la rangée centrale de petits trous est utilisée pour l'entraînement de la bande).

rubans défilant à 5 000 caractères par seconde introduisent les messages allemands interceptés.

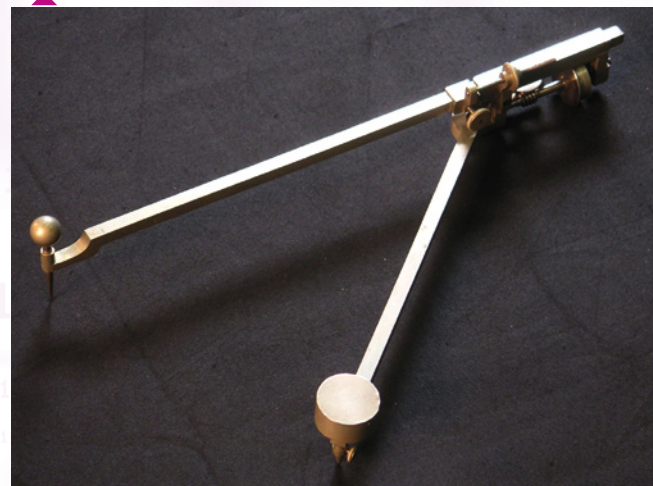
Les premiers mini- et micro-ordinateurs feront une forte consommation de rubans comme dispositif économique d'entrée/sortie pour porter programmes et données. Une modification mineure du code pouvait être faite en perforant un trou supplémentaire ou en posant un autocollant pour le boucher ; c'est l'origine du terme *patch* encore utilisé de nos jours pour des corrections *a posteriori* à un logiciel. Le terme de boucle algorithmique vient également de l'utilisation d'un ruban perforé portant le code : afin de répéter une séquence d'instructions, les deux extrémités du ruban étaient scotchées entre elles, créant une véritable boucle !

## 1854 ▶ Planimètre polaire d'Amsler

Fils d'un paysan, le Suisse Jakob Amsler (1823-1912) étudie la théologie et les mathématiques en Allemagne, puis revient enseigner en Suisse où il élabore une théorie mécanique de l'intégration. En 1854, il invente le planimètre polaire, appareil simple et bon marché qui permet de mesurer des surfaces délimitées par des courbes. Il fonde une entreprise qui en produira plus de 10 000 exemplaires.

Jakob Amsler, puis son fils conçoivent de nombreux modèles de planimètres adaptés aux besoins les plus divers – de la mesure des peaux de vache à la balistique. Dans les années 1880, par exemple, ces appareils s'imposent dans la construction navale où ils permettent de calculer rigoureusement la stabilité des navires. D'autres inventeurs continuent à perfectionner ces instruments, notamment le Polonais Bruno Abdank-Abakanowicz et le Zurichois Gottlieb Coradi qui développent les intégraphes. Ils ouvrent ainsi un nouveau chapitre de l'application des mathématiques aux techniques.

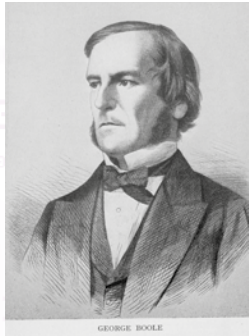
Planimètre polaire d'Amsler (1854).





## 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.

## 1864 ▶ Spam télégraphique

Lors d'une soirée de mai 1864, plusieurs hommes politiques britanniques se virent dérangés par l'arrivée impromptue d'un télégramme. La guerre était-elle déclarée ? La Reine se sentait-elle mal ? À l'ouverture de l'enveloppe, surprise ! Messieurs Gabriel, dentistes, les informent que leur cabinet sera ouvert jusqu'en octobre de 10h

### TO THE EDITOR OF THE TIMES.

Sir,—On my arrival home late yesterday evening a "telegram," by "London District Telegraph," addressed in full to me, was put into my hands. It was as follows:—

"Messrs. Gabriel, dentists, 27, Harley-street, Cavendish-square. Until October Messrs. Gabriel's professional attendance at 27, Harley-street, will be 10 till 5."

I have never had any dealings with Messrs. Gabriel, and beg to ask by what right do they disturb me by a telegram which is evidently simply the medium of advertisement? A word from you would, I feel sure, put a stop to this intolerable nuisance. I enclose the telegram, aud am,

Your faithful servant,  
Upper Grosvenor-street, May 30. M. P.

▶ Courrier d'un parlementaire se plaignant d'avoir reçu un télégramme publicitaire d'un dentiste.

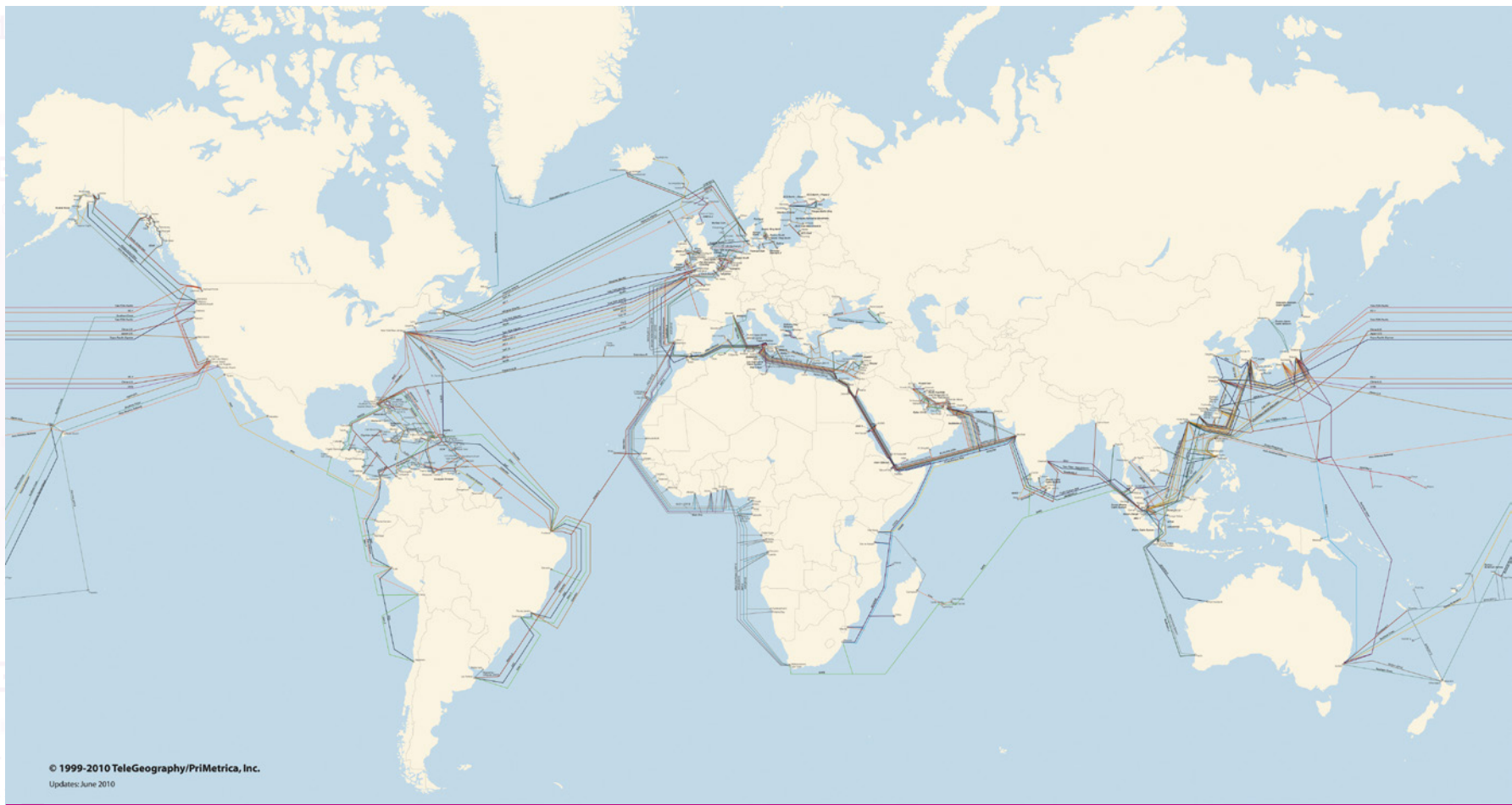
à 17h... Furieux, certains destinataires ont écrit au *Times* pour se plaindre, nous permettant ainsi de découvrir le premier exemple connu de message publicitaire non sollicité envoyé en masse, technique qui prendra de l'ampleur sur internet avec le spam.

## 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 de 450 câbles cumulant plus d'un million de kilomètres de fibres optiques posées sur le fond des océans, avec des débits dépassant le Térabit par seconde.



Carte des câbles optiques sous-marins en 2010.

## 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 que les paires de lettres successives les plus classiques en anglais correspondent à des barres d'impression éloignées, évitant ainsi les blocages de la machine. Un autre intérêt de la nouvelle disposition est de faciliter le travail des opérateurs télégraphistes devant taper un message reçu en morse.



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

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.

En avril 2019, l'AFNOR a proposé deux nouvelles normes de clavier : l'azerty amélioré, qui rend plus accessibles les caractères accentués et les ligatures, et la disposition bépo, plus ergonomique dans l'usage quotidien et la programmation.

L'adaptation de la machine à écrire à des langues non-alphabétiques, comme le chinois comportant plusieurs milliers de sinogrammes classiques, a nécessité d'autres modes de fonctionnement : tables de caractères (éventuellement interchangeables), dessin par succession de traits, analyse prédictive du mot...



Machine chinoise de 1971 avec sa table contenant environ 2 500 caractères. Les manettes permettent d'en choisir un (en couissant la table) et de l'imprimer.

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

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 ».

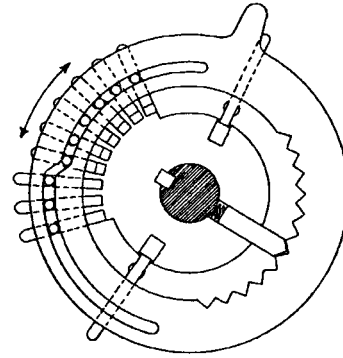


Willgodt Theophil Odhner.

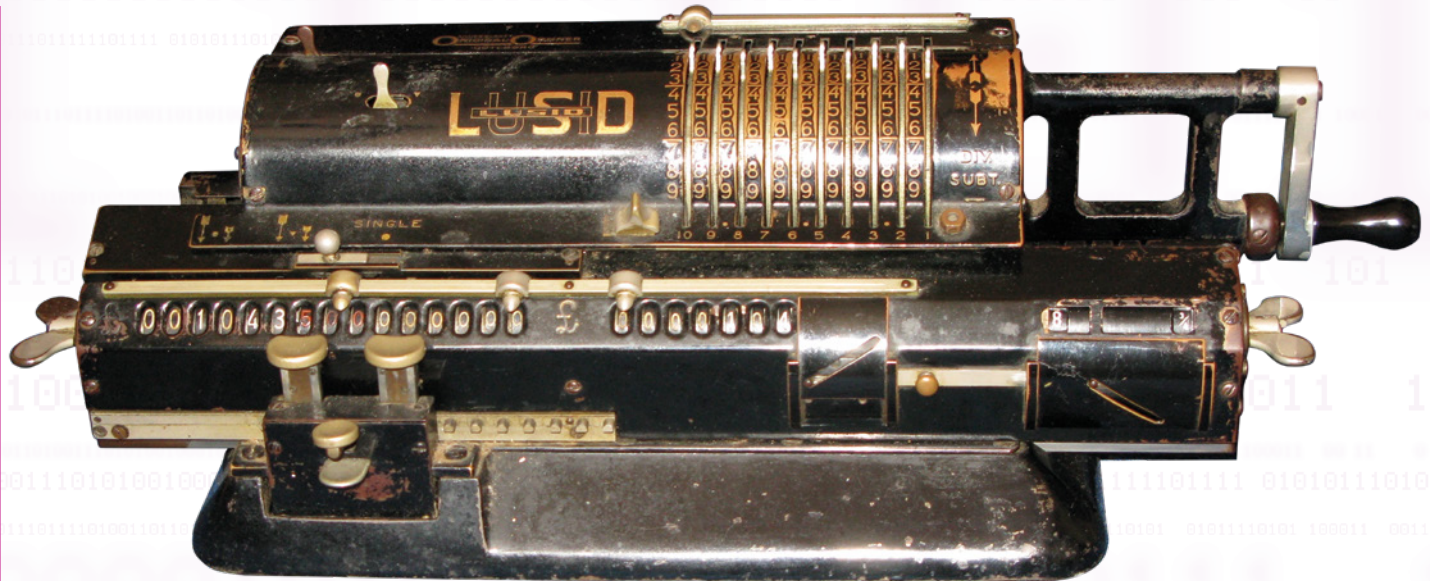


Protégée par des rafales de brevets (ce qui n'empêche pas d'innombrables contrefaçons), cette machine devient la calculatrice de bureau par excellence dans la première moitié du xx<sup>e</sup> siècle. On estime que 20 000 Brunsviga ont été produites entre 1886 et 1912. De nouvelles améliorations ont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

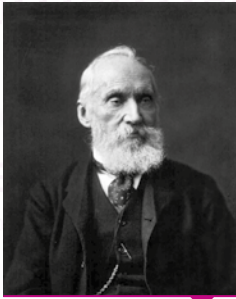


Lorsque la couronne interne tourne (attachée à une manette latérale mobile), les dents sont poussées en fonction de sa position.



Arithmomètre d'Odhner.

## 1875 ▶ Analyseur harmonique : l'invention du calculateur analogique



William Thomson,  
Lord Kelvin.

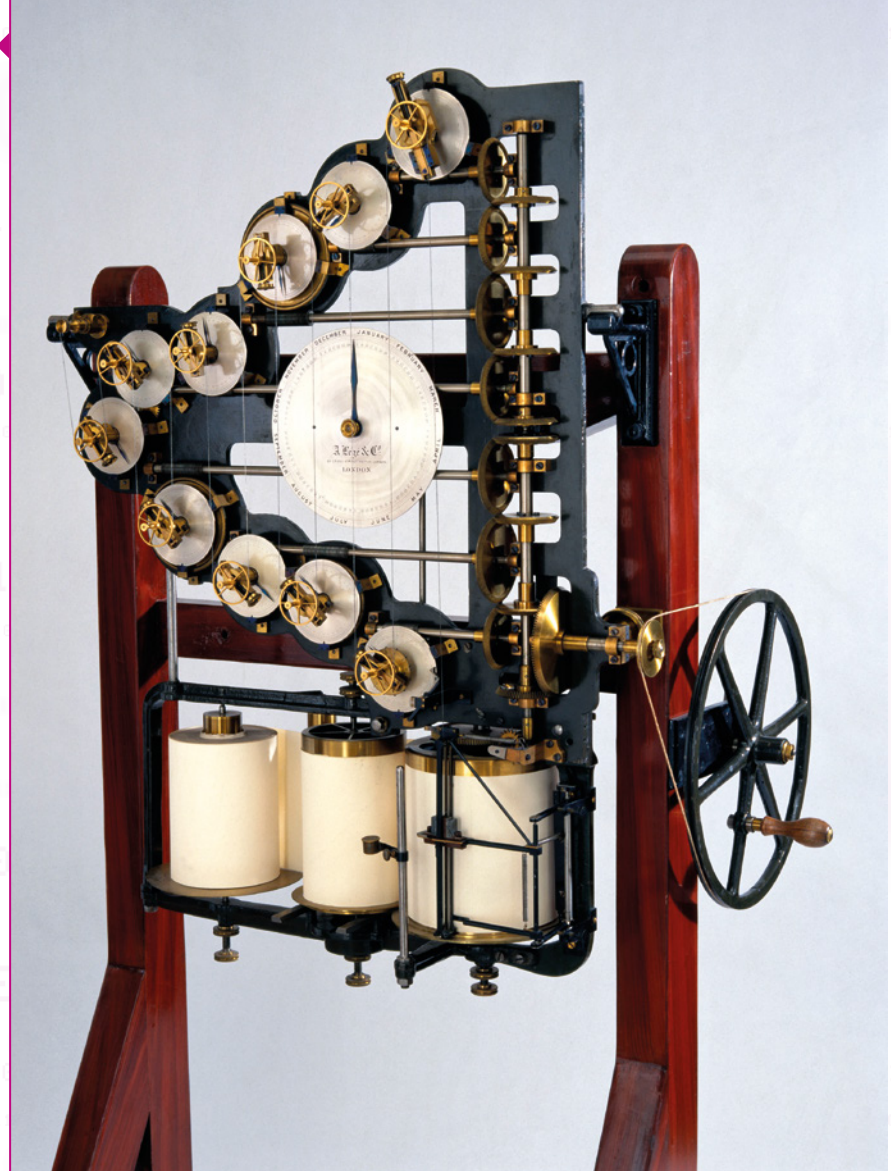
Le physicien William Thomson (1824-1907), devenu Lord Kelvin après son anoblissement, construit un analyseur harmonique, machine qui calcule les coefficients de Fourier d'une fonction à l'aide de disques, sphères et cylindres reproduisant une intégration mathématique ; puis un calculateur de marées, appareil effectuant l'opération inverse, c'est-à-dire la somme de fonctions sinusoidales 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.

## 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.





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<sup>e</sup> 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



Machine à écrire additionneuse Ellis (1910).



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



fois amorties sur le marché nord-américain, celles-ci inondent ensuite l'Europe où seule l'industrie allemande saura vraiment résister.

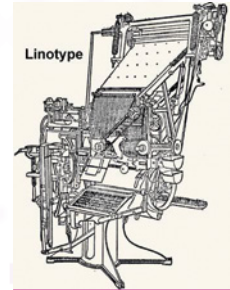
Les principaux constructeurs, comme Burroughs ou NCR, se convertiront à l'électronique dans la seconde moitié du xx<sup>e</sup> siècle et resteront des acteurs importants de l'industrie informatique.



Calculatrice Rheinmetall (1932).

Mergenthaler. Elle dominera au xx<sup>e</sup> siècle le marché de la composition typographique, particulièrement dans les journaux.

Ces deux types de machine décuplent la productivité dans ce métier. En une décennie, les techniques de composition font ainsi un bond en avant, d'un artisanat qui avait peu changé depuis Gutenberg, à un niveau d'automatisation qui ne sera pas atteint avant les années 1920 par les machines à cartes perforées, ni avant les années 1940 dans le machinisme industriel. Ces machines sont des facteurs décisifs de la massification de l'information, de l'éducation et de la culture, jusqu'à leur remplacement par des technologies électroniques et optiques dans le dernier tiers du xx<sup>e</sup> siècle.



Linotype de Mergenthaler (1885).

## 1885 ▶ Linotype et Monotype : la composition de textes automatisée

Dans l'imprimerie, la composition de textes était restée un travail manuel : le typographe choisissait les caractères en plomb dans des casiers et les disposait un par un sur une réglette pour constituer une ligne de texte. À la fin du xix<sup>e</sup> siècle, des innovateurs ont cherché à accélérer ce travail et à réduire les erreurs typographiques, donc à améliorer à la fois la productivité et la qualité – la même motivation qui avait inspiré Babbage.

Un progrès décisif est l'invention, quasi simultanée, de la Linotype et de la Monotype aux États-Unis. La Monotype est conçue par Tolbert Lanston, ingénieur autodidacte qui collabore aussi avec Herman Hollerith sur un projet d'additionneur. Elle comprend deux machines : la première est un grand clavier commandant une perforuse, qui code les caractères et les commandes de mise en page sous forme de trous sur une bande de papier – support d'information emprunté au métier à tisser. L'ouvrier transfère ensuite la bande perforée sur la seconde machine, qui lit la bande et produit des lignes de texte en plomb, prêtes pour l'impression. La Monotype s'impose bientôt dans l'édition de livres.

La Linotype, système d'automatisation différent basé sur un codage binaire mécanique, est développée à la même époque par Ottmar



Monotype : clavier et système de codage sur bande perforée (1887).

## 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.

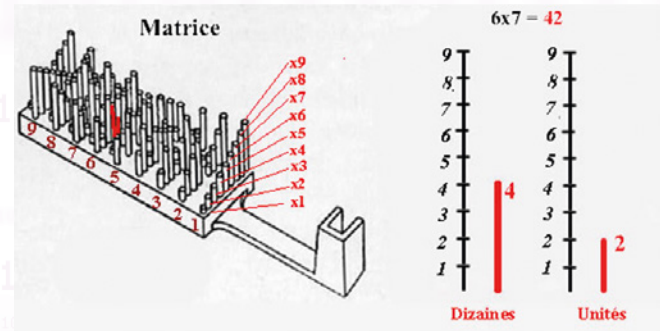
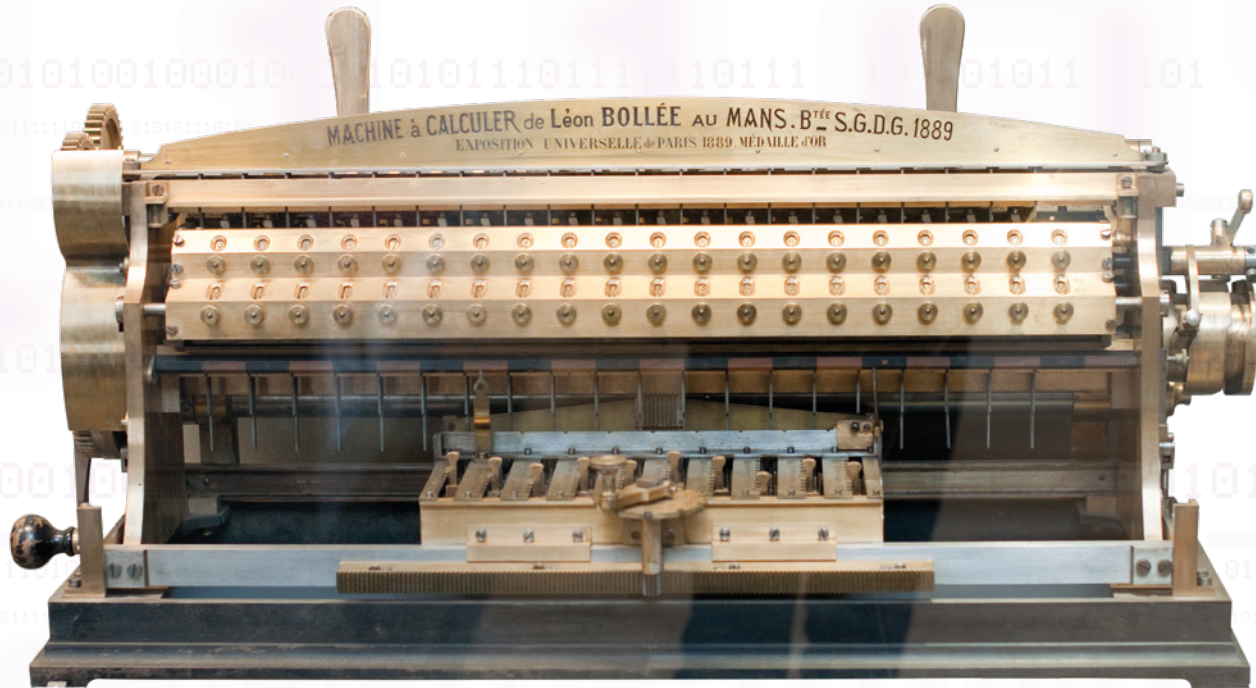


Table de Pythagore matérialisant tous les produits.



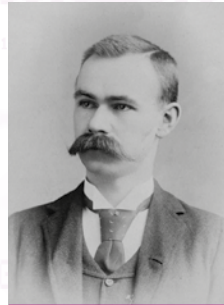
Multiplicatrice directe  
de Léon Bollée.



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 tabulatrices à compteurs.



Hermann Hollerith  
vers 1888.

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





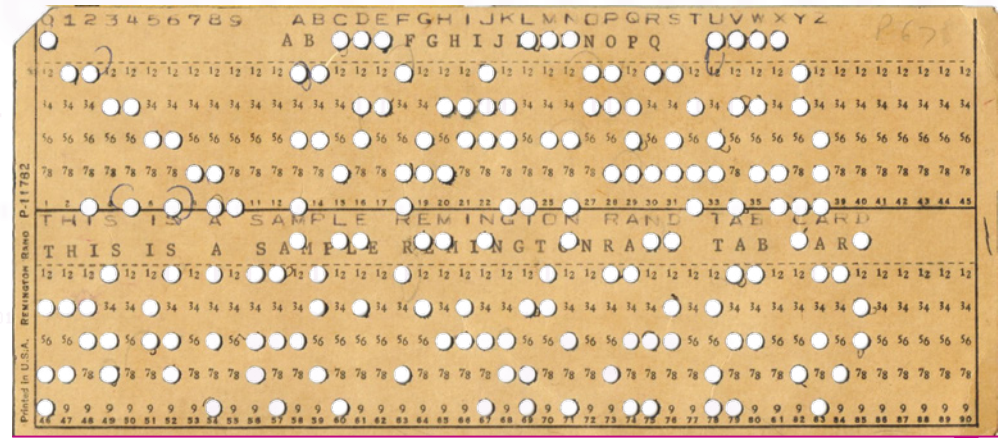


Tabulatrice et trieuse  
d'Hermann Hollerith  
utilisées pour le recensement  
américain de 1890.

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. 33 : Charles Babbage • P. 34 : Observatoire de la Côte d'Azur & Pierre Mounier-Kuhn • P. 35 : 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 ; Kim Traynor / Wikimedia Commons (Musée National d'Écosse) • P. 36 : Herbert Klaeren / Wikimedia Commons ; F. Seck (Editor) "Wilhelm Schickard 1592-1635, Astronom, Geograph, Orientalist, Erfinder der Rechenmaschine", Tübingen, 1978 • P. 37 : Roger McLassus / Wikimedia Commons • P. 38 : Tieum52 / Wikimedia Commons (Musée des Arts et Métiers, Paris) ; © 2015 by AUCTION TEAM BREKER, Cologne, Germany (www.Breker.com) • P. 39 : Wikimedia Commons. Extrait de Blaise Pascal, *Œuvres de Blaise Pascal*, Œuvres de Blaise Pascal, t. 4, Chez Detune, La Haye, 1779 • P. 40 : Wikimedia Commons. Extrait de Blaise Pascal, *Œuvres de Blaise Pascal*, t. 4, Chez Detune, La Haye, 1779 • P. 41 : Pierre Mounier-Kuhn ; Pierre Mounier-Kuhn • P. 42 : Science Museum / Science & Society Picture Library ; Herzog Anton Ulrich-Museum Braunschweig • P. 43 : BnF, Gallica • P. 45 : Department of Special Collections, Memorial Library, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI • P. 46 : Droits réservés • P. 47 : Clem Rutter / Wikimedia Commons (Museum of Science and Industry, Manchester) ; BastienM / Wikimedia Commons (Château de Maisons-Laffitte) • P. 48 : arithmometre.org ; Droits réservés • P. 49 : Nathan Myhrvold, Computer History Museum / xRez Studio • P. 50 : Charles Babbage ; Alfred Edward Chalton - Science Museum / Science & Society Picture Library • P. 51 : Ada Lovelace • P. 52 : Musée de l'œuvre Notre-Dame, Strasbourg • P. 53 : Arthur Reinhold / Wikimedia Commons • P. 54 : Ricardo Ferreira de Oliveira / Wikimedia Commons ; Musée des Arts & Métiers • P. 55 : Popular Science Magazine ; The Times • P. 56 : TeleGeography/PhiMetrica, Inc • P. 57 : Koblenz Technical Museum ; Courtesy of Thomas S. Mullaney ; Droits réservés • P. 58 : Geni / Wikimedia Commons ; Wassén, Henry: *The Odhner History - An Illustrated Chronicle of 'A Machine to Count on'*, Gothenburg, Wezåta, 1951 • P. 59 : Dickinson Brothers, publié par Photographische Gesellschaft ; Alain Groult ; Science Museum / Science & Society Picture Library • P. 60 : Alain Guyot & Musée national d'histoire de Saint-Petersbourg ; Droits réservés ; Archives historiques BNP Paribas • P. 61 : Pierre Mounier-Kuhn - Archives historiques BNP Paribas ; Pierre Mounier-Kuhn & Musée de l'imprimerie, Nantes ; Droits réservés • P. 62 : Tieum52 / Wikimedia Commons (Musée des Arts et Métiers, Paris) ; arithmometre.org • P. 63 : Charles Milton Bell / US Census Bureau ; Scientific American • P. 64 : US Census Bureau • P. 65 : Jeffrey S. Jonas



# III. Le début du xx<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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 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.



Alan Turing.

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 télégraphie sans fil (la TSF, qui deviendra plus tard la radio) 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<sup>e</sup> 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.

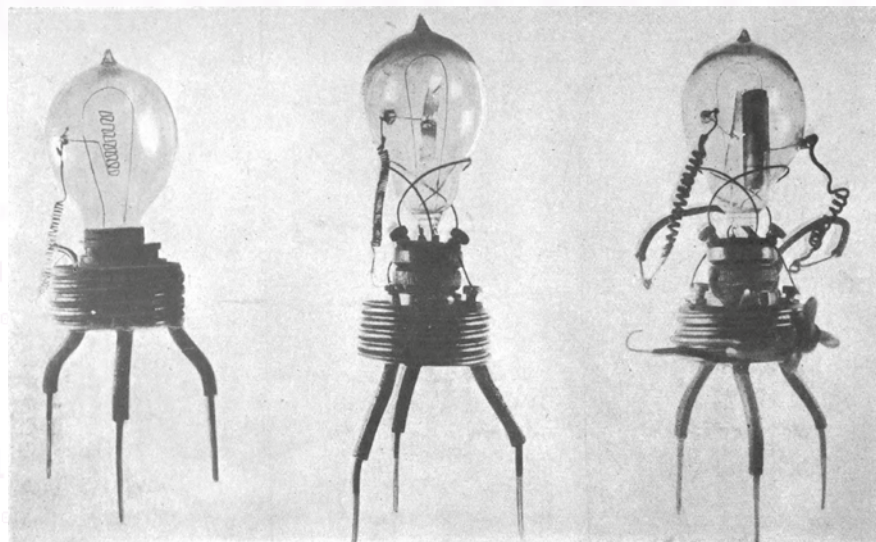
Très loin des bureaucraties et des intérêts économiques, quelques penseurs cogitent sur les fondements des mathématiques. Qu'est-ce qui garantit la véracité d'un énoncé, la rigueur d'une démonstration ? Les mathématiques s'étant développées dans toutes les directions depuis un ou deux siècles, comment 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 infaillible 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'algorithme. 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, l'Autrichien Robert von Lieben (1878-1913) en 1906 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 »). À l'intérieur du tube, une cathode est reliée à une source de courant externe. Si on la chauffe par un filament, la cathode émet alors des électrons qui sont reçus par une anode située un peu plus loin dans le tube. On a donc un passage du courant qui s'établit de la cathode vers l'anode, comme si elles étaient reliées par un fil. Cependant, il y a un contrôle directionnel du courant car le courant ne peut pas passer en sens inverse : l'anode n'étant pas chauffée, elle ne peut pas émettre d'électrons. Il s'agit de l'effet diode. L'effet triode arrive lorsque l'on intercale une troisième électrode, la grille, entre les deux premières. La grille va pouvoir, en fonction de sa tension, contrôler le flux d'électrons entre la cathode et l'anode. Plus la tension de la grille est élevée, plus les électrons sont accélérés et plus le flux entre les deux électrodes est important. Il y a donc contrôle et amplification d'un courant par une tension externe. 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.

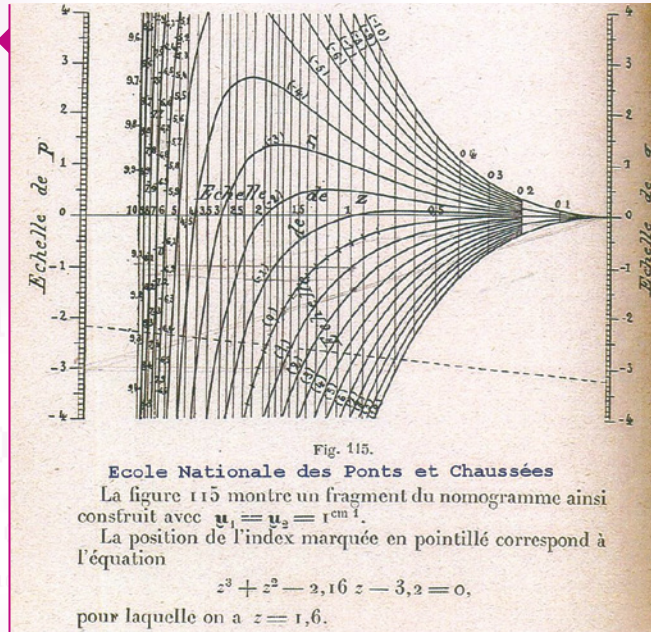
Échantillon de tubes à vide des années 1950-1960.



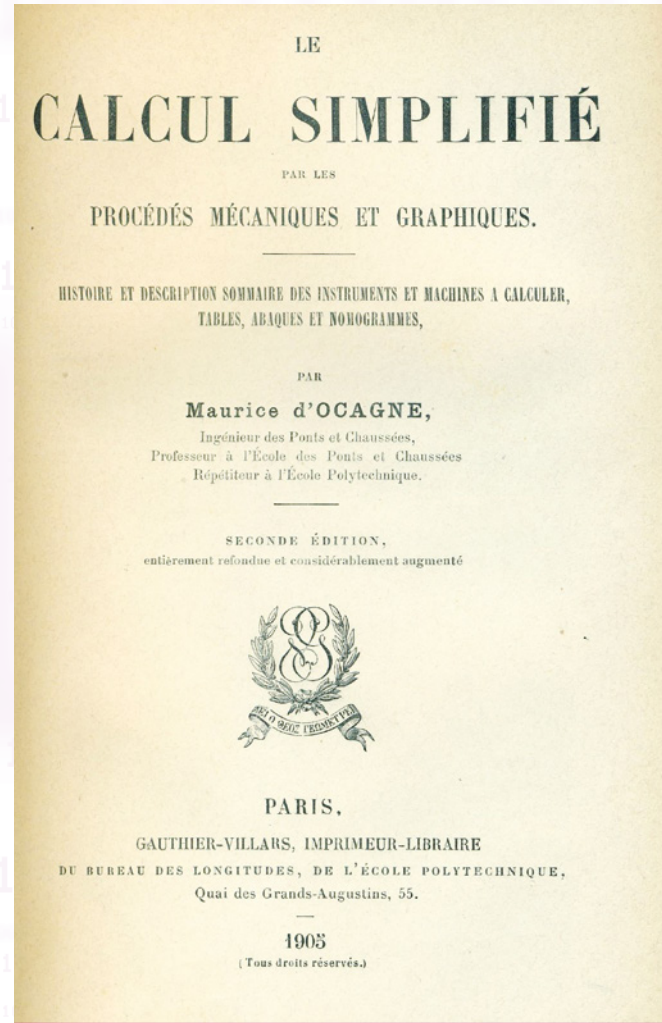
## 1905 ▶ Nomographie de M. d'Ocagne

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.



Maurice d'Ocagne en 1882.



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



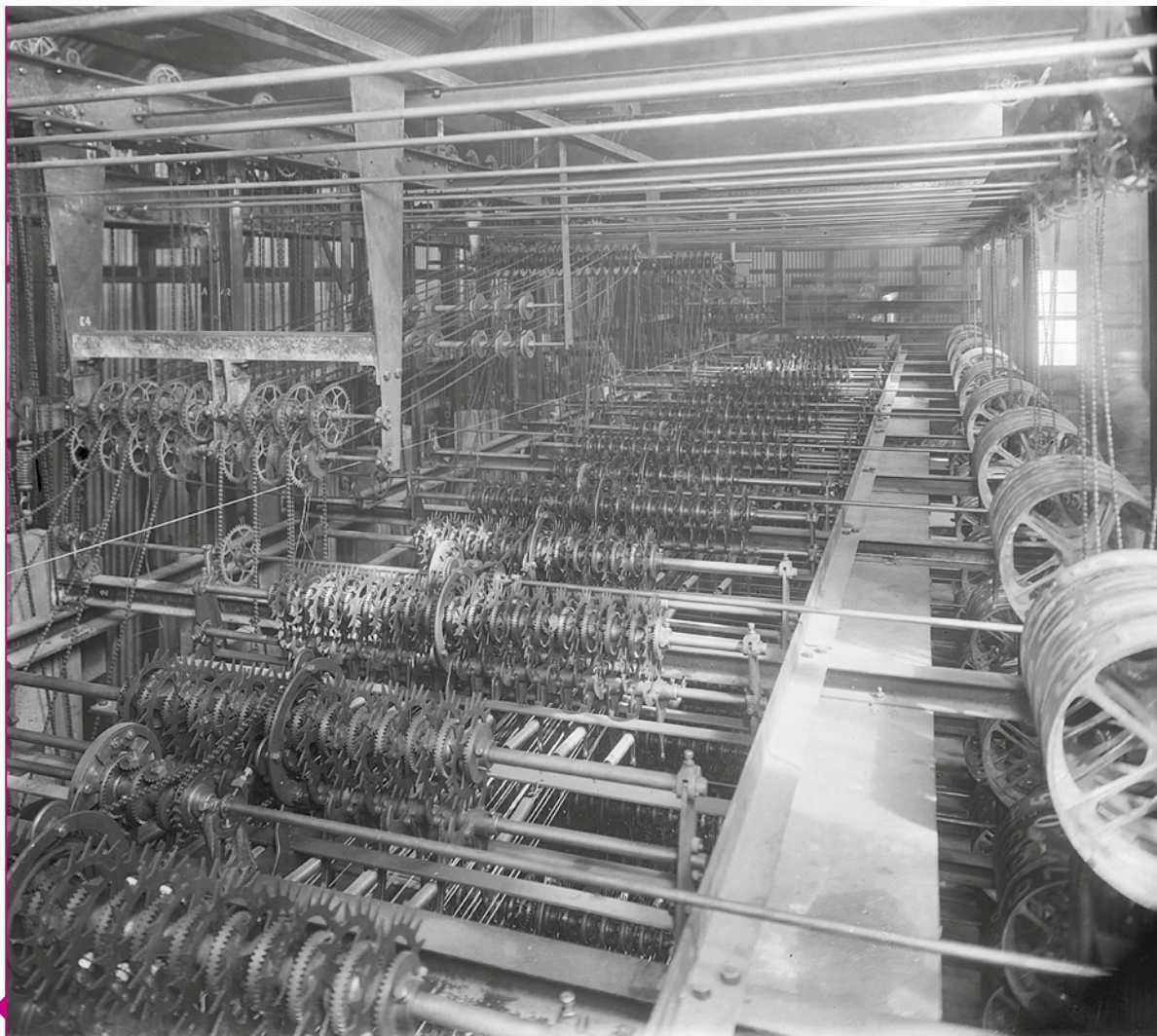
## 1913 ▶ Percy Ludgate

Percy Ludgate (1883-1922) est un scientifique amateur irlandais qui a conçu dès 1909 en solitaire les plans d'une machine analytique sans connaître l'œuvre précédente de Charles Babbage. Il invente une technique de multiplication via des logarithmes et une table de valeurs, un système de stockage à l'aide de cylindres concentriques et de nouveaux mécanismes pour contrôler le programme. Très peu de choses sont restées des travaux de Ludgate qui ont été découverts par hasard à la fin du xx<sup>e</sup> siècle grâce aux articles qu'il avait publiés.

## 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.

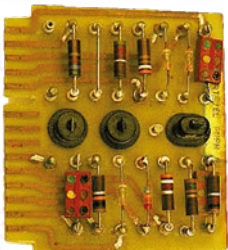
Totalisateur de paris mutuels à Sydney (Australie), 1913.



## 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.



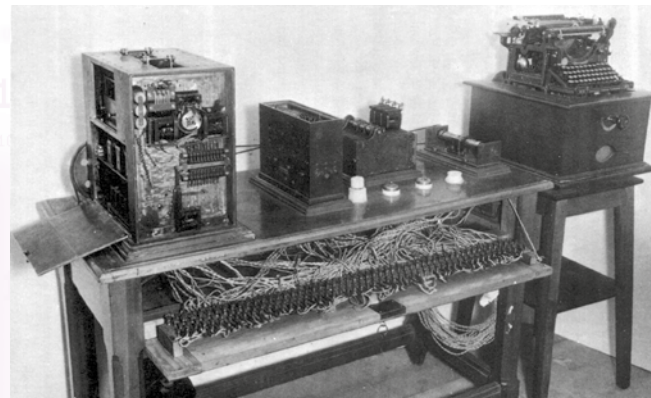
Carte réalisant un bistable (mémoire de 1 bit !) à base de trois transistors (situés au centre de la carte) utilisée dans l'ordinateur DRTE au Canada vers 1960.

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, introduisant même pour la première fois les nombres en virgule flottante ! 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<sup>e</sup> 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* !

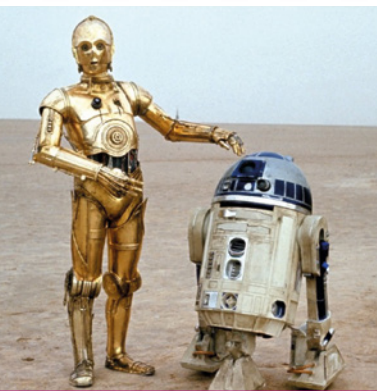




COMPUTING  
DIVISION  
COMPUTING  
SECTION

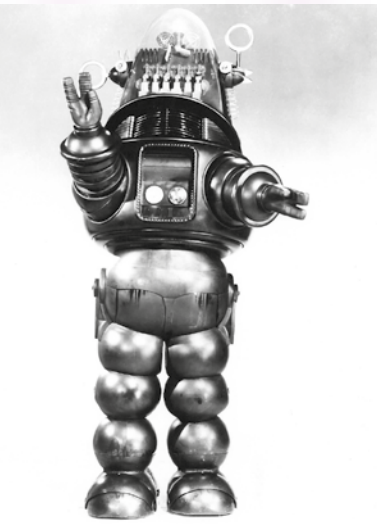
Salle des calculateurs dans un bureau gouvernemental américain vers 1920. ◀

## 1920 ▶ Apparition du robot



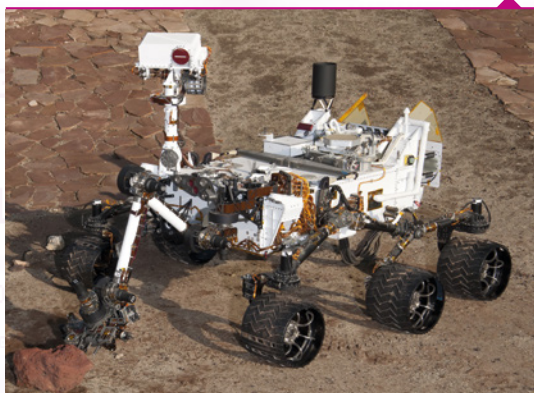
C3PO et R2D2, les robots les plus célèbres du cinéma (*La guerre des étoiles*, 1977).

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*.



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

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



## 1927 ▶ Un cerveau d'acier

La publicité de la Brunsviga, la calculatrice de table qui conquiert les marchés mondiaux, vante son infallible « cerveau d'acier » mécanique aux rouages infallibles. 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 ?



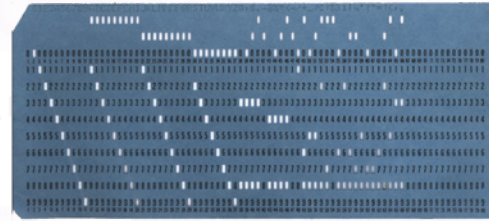
Brunsviga, cerveau d'acier.

## 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> siècle.



## 1928 ▶ Encodage de la voix

En 1928 Homer Dudley (1896-1980), ingénieur du son aux Bell Labs, développe un système d'encodage de la voix permettant sa transmission efficace sur le réseau téléphonique. Le vocoder, contraction de *voice encoder*, mesure l'amplitude de la voix suivant douze bandes de fréquences différentes et ne transmet que les coefficients correspondants ; à l'autre bout de la ligne, le signal est recréé en sommant les douze fréquences, pondérées de ces valeurs.

Au début de la guerre, un prototype de codage/brouillage de la voix est présenté à l'armée américaine par les Bell Labs avec l'assistance d'Alan Turing. Devant le succès, le système SIGSALY est développé. Il utilise le vocoder pour encoder la voix puis les composantes d'un bruit aléatoire sont ajoutées avant la transmission. Chez le destinataire, un bruit identique est retiré avant la synthèse vocale. Afin d'avoir le même bruit blanc des deux côtés, ce dernier est enregistré puis gravé sur deux disques phonographiques à usage unique, un disque à chaque extrémité de la ligne.

SIGSALY est utilisé pour sécuriser les communications au plus haut niveau entre britanniques et américains (par exemple entre Churchill et Eisenhower) mais ne peut pas servir sur le terrain car chaque équipement occupe une pièce entière climatisée, pèse 50 tonnes et consomme 30 kW...

David Hilbert vers 1912.



## 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 les formaliser ?



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

## 1930 ▶ Analyseur différentiel

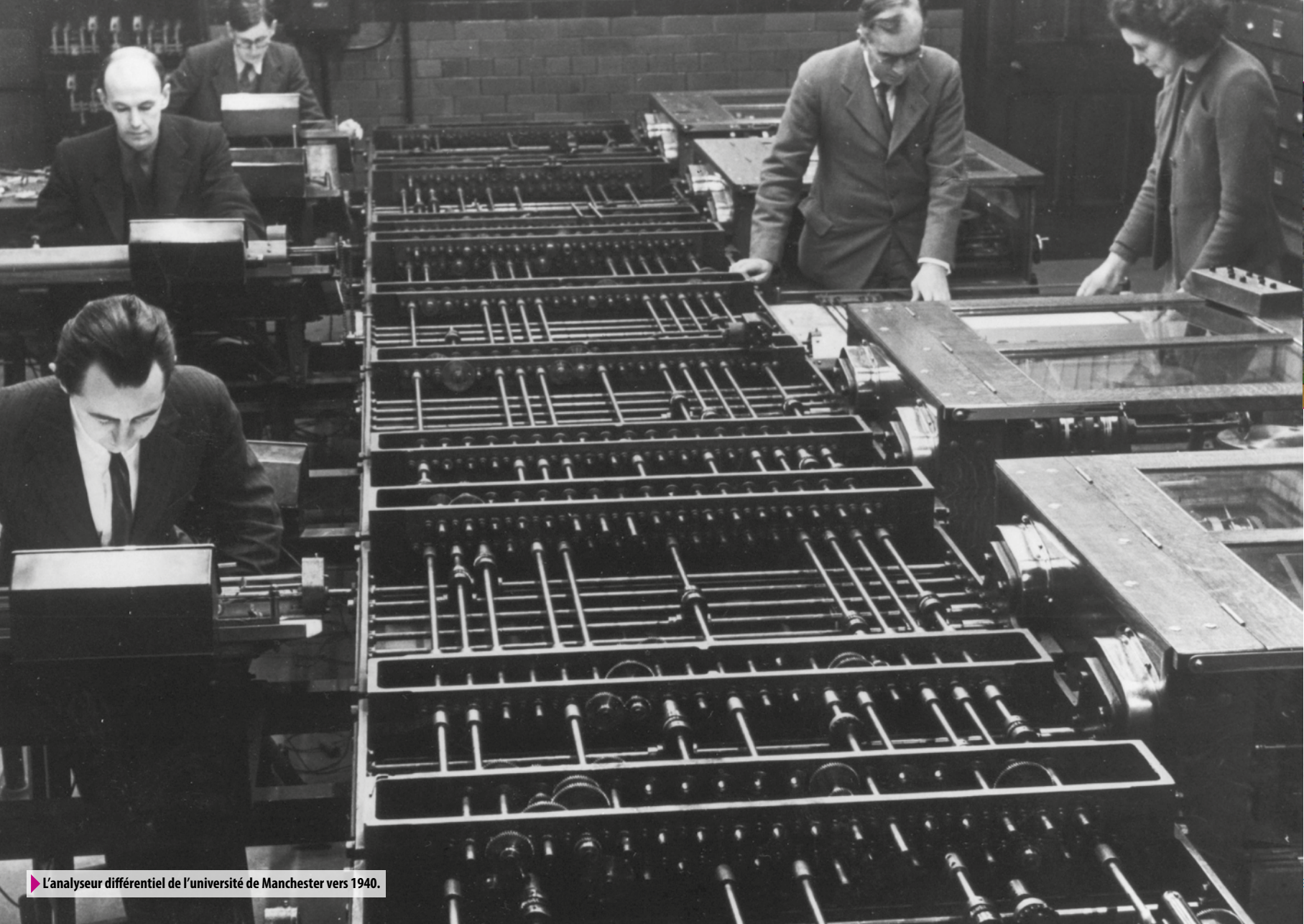
Jeune professeur au MIT, Vannevar Bush (1890-1974) construit un analyseur différentiel pour résoudre des problèmes d'électrotechnique. Grand appareil composé d'axes, d'engrenages, de disques et de volants, l'analyseur différentiel permet d'effectuer des intégrations et dérivations mécaniques (c'est-à-dire 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

Système SIGSALY de communication vocale sécurisée entre les autorités américaines et britanniques.



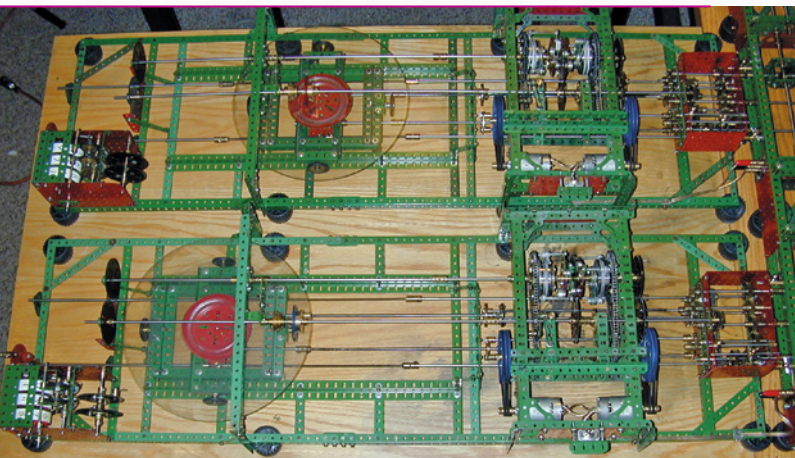






► L'analyseur différentiel de l'université de Manchester vers 1940.





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

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 du jeu entre les pièces. Une version hybride, remplaçant certaines pièces mécaniques par des tubes électroniques, sera conçue par Bush et le MIT et effectuera de nombreux calculs pour les militaires à partir de 1942. Rapidement rendus obsolètes par les nouveaux ordinateurs, ces calculateurs seront remplacés par des versions électroniques, analogiques puis numériques.

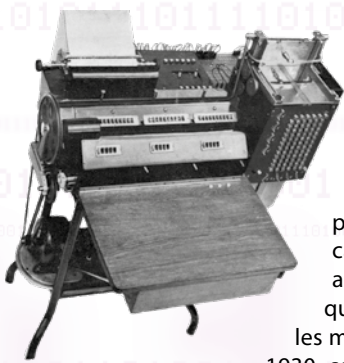
## 1930 ▶ Paul Otlet et le Mundaneum : l'utopie de la documentation universelle

« Père de la documentation moderne », le juriste Paul Otlet (1868-1944) n'a cessé d'innover sur les plans technique et institutionnel. Il a fondé en 1895, à Bruxelles, un Institut international de bibliographie avec l'avocat international Henri La Fontaine (1854-1943). La connaissance ne résidant pas seulement dans les livres, Otlet élargit son champ d'action à la documentation dans une perspective encyclopédique. Il invente la microfiche normalisée pour reproduire des imprimés, permettant de gérer la documentation. Le duo Otlet-La Fontaine élabore ensuite la classification décimale universelle (CDU), langage inspiré du bibliothécaire américain Melvil Dewey.

En 1934, Paul Otlet publie son *Traité de documentation*, synthèse magistrale sur l'organisation de la connaissance. Se fondant sur les technologies de son époque, telles que le téléphone, la radio ou la télévision naissante, il imagine une sorte de cerveau mécanique qui intégrerait texte, son et image, permettant de combiner les informations et de les partager en réseau. Il y évoque de futures techniques permettant la communication du savoir : vidéoconférence, reconnaissance vocale, livre « téléphoté »...

Entre-temps son institut est devenu le Mundaneum, centre de documentation universel et berceau d'institutions internationales vouées à la connaissance et à la paix. Ses collections, composées de milliers de livres, journaux, documents, affiches, plaques de verre, cartes postales et fiches bibliographiques, sont hébergées dans différents bâtiments bruxellois, notamment le Palais du Cinquantenaire. Les tiroirs bourrés de fiches s'alignent sur des centaines de mètres, couvrant des murs entiers. Un projet plus grandiose encore se dessine, celui d'une Cité mondiale dont Le Corbusier trace les plans. Elle réunirait les grandes institutions du travail intellectuel : bibliothèques, musées, universités. Ce projet se heurte à la difficulté de suivre l'augmentation accélérée de la production documentaire. La crise économique et la seconde guerre mondiale en auront raison. Le Mundaneum subsiste aujourd'hui sous une forme réduite, transféré à Mons et associé à... Google.

## 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.

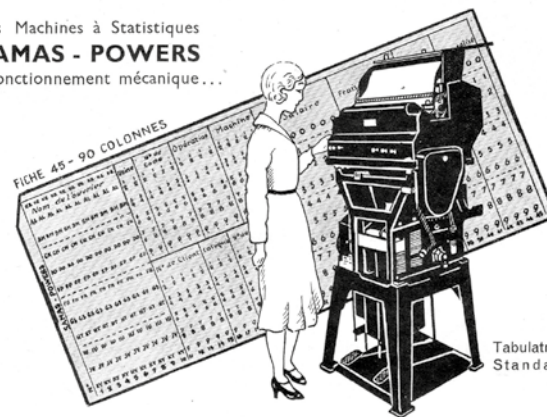


Atelier de perforation des cartes dans une banque française (années 1930).

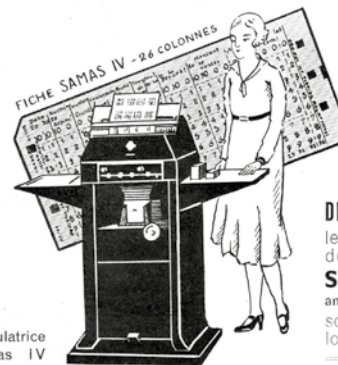
AVRIL 1933

L'ORGANISATION

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



Tabulatrice Standard



... convient aussi bien aux entreprises moyennes qu'aux firmes importantes et aux grandes administrations

Tabulatrice Samas IV

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<sup>e</sup> - ANJOU 50-70

193

Publicité pour les machines SAMAS-Powers (1933).



L'ORGANISATION

MARS 1934

**200**

*sous le signe du rendement*

Après les tabulatrices à vitesse min/m 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<sup>e</sup>)  
Téléph. (4 lignes groupées) Ménit. 62-85

AGENCES GÉNÉRALES À L'ÉTRANGER :

Belgique : Somers, 1, place du Congrès, Bruxelles.  
Suède : Karl Enderich, 36, Barenhofstrasse, Zurich.  
Suïse : Karl Enderich, 36, Barenhofstrasse, Zurich.  
Italie : Ing. Olivetti e C<sup>o</sup> (S.A.), 1, via Palermo, Milan.  
Argentine : Guillermo Kraft, Lissabon, Buenos-Aires.

La poinçonneuse automatique et en série Bull permet : la préparation préalable de la perforation des cartes ; la conservation des cartes après perforation ; la correction de la carte après perforation en 1/4 de seconde. Elle est munie d'une touche de rappel arrière et en perforation en série sa vitesse est de 200 cartes à la minute.

**BULL**  
GENÈVE-FRANCE

114

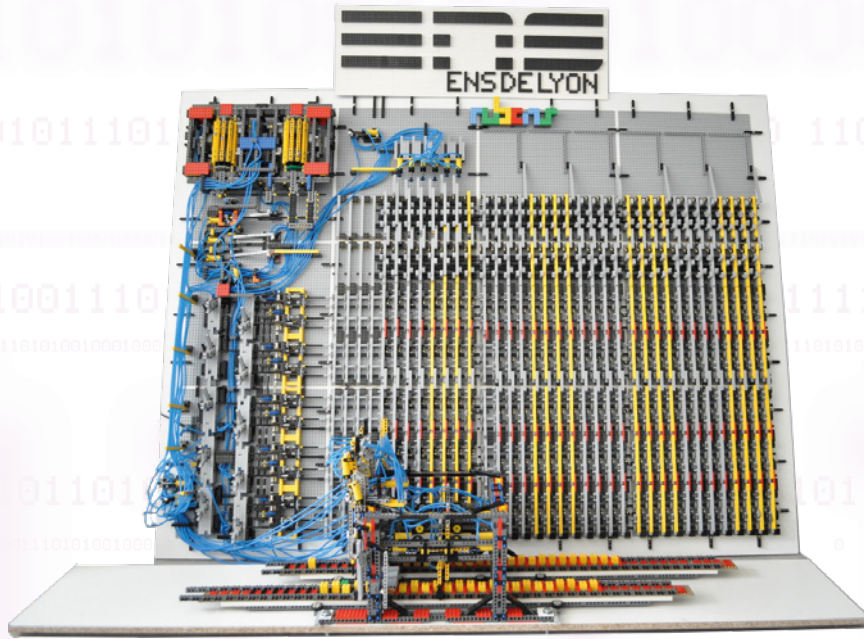
Publicité pour les machines Bull (1934).



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 ne pouvaient être « décidées » par une telle machine et



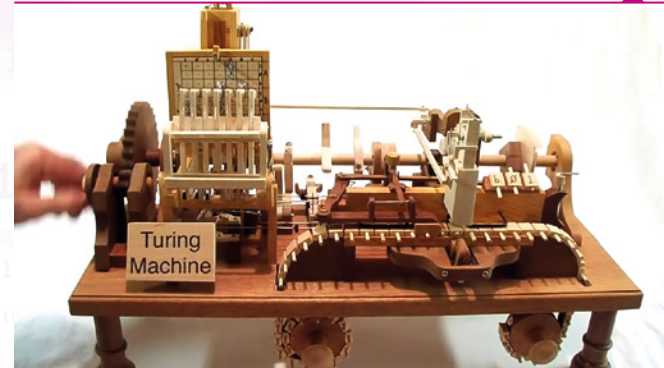
Machine de Turing entièrement mécanique faite en LEGO (2012).

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 morphogénèse et en intelligence artificielle.

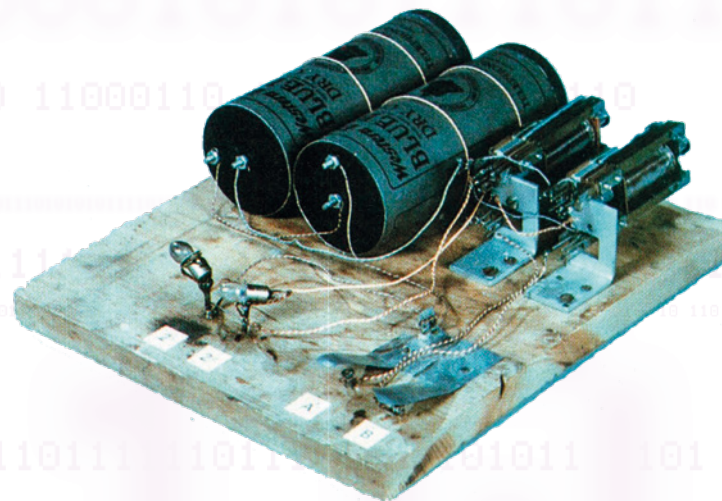
Il a ainsi lancé l'idée d'un test, appelé maintenant « test de Turing », censé décider de « l'intelligence » d'une machine. Le principe est pour un ordinateur d'essayer de se faire passer pour un humain à travers un échange textuel quelconque avec un opérateur. Le test est probant si l'opérateur croit 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 affirmé 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.

Machine de Turing en bois.





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 restèrent 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.



### 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.



George Stibitz.

Une réplique du model-K de Stibitz.

### 1938 ▶ Claude Shannon et les circuits binaires

Dans un courrier resté sans suite à un collègue en 1886, Charles Pierce, philosophe et logicien américain, suggérait d'utiliser des relais électriques pour réaliser des fonctions logiques. Cinquante ans plus tard, dans son mémoire universitaire, « Analyse symbolique des relais et commutateurs », le mathématicien américain Claude Shannon (1916-2001) rapproche également 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.

## 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 calculatrices électroniques de poche, qui entraîna l'arrêt de leur fabrication en 1972. De très nombreux exemplaires existent encore dans les mains des collectionneurs et fonctionnent aussi parfaitement qu'au premier jour.

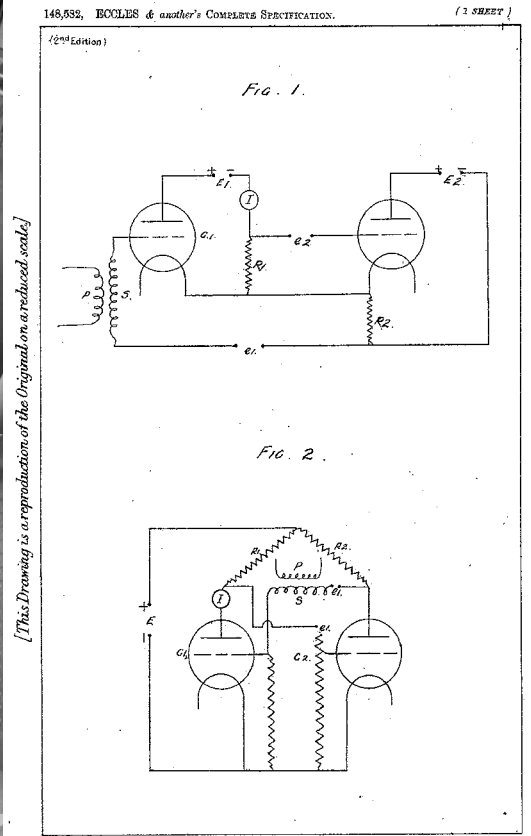
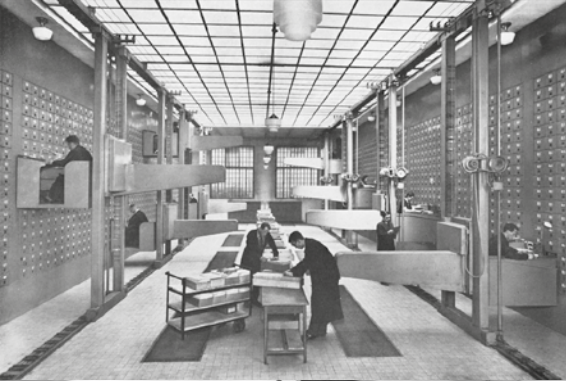


Calculatrice Curta de type I.

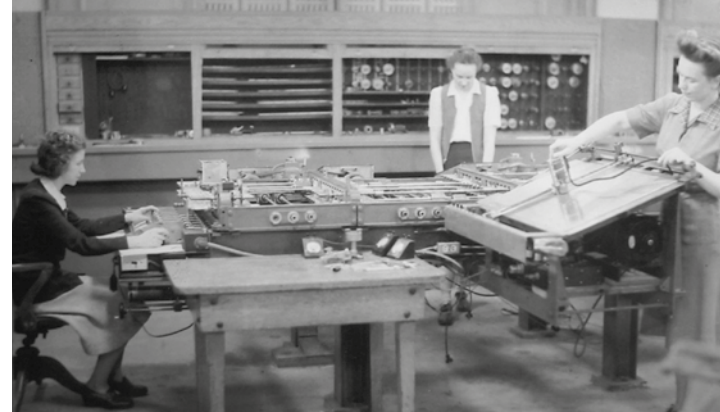
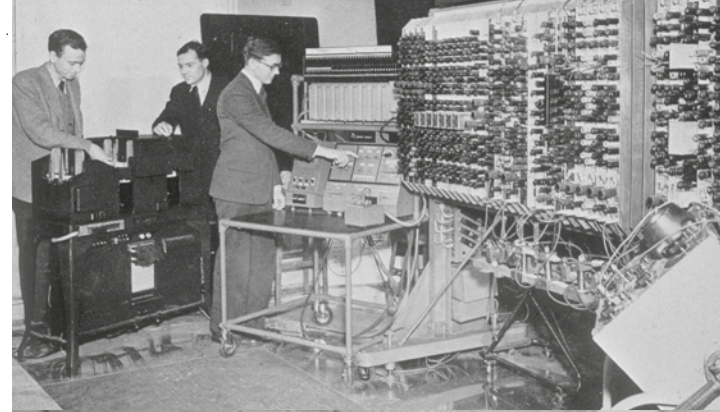
### Crédits

• P. 67 : King's college archives, Cambridge • P. 69 : 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. 70 : École Nationale des Ponts et Chaussées ; École Nationale des Ponts et Chaussées ; Éditions Gauthier-Villars • P. 71 : Museum of Applied Arts and Sciences, Sydney • P. 72 : John N. Vardalas, DRTE/CRC Image Collection ; L. Torres-Quevedo ; L. Torres-Quevedo • P. 73 : Library of Congress • P. 74 : Capital Pictures ; UniversallImageGroup ; NASA/JPL-Caltech ; Brunsviga GmbH • P. 75 : Bull ; Gwern / Wikimedia Commons ; Bull • P. 76 : Université de Göttingen ; Richard Arens photographer. From the Shelby White and Leon Levy Archives Center, Institute for Advanced Study, Princeton, NJ, USA • P. 77 : National Security Agency • P. 78 : Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk> • P. 79 : Tim Robinson (www.meccano.us) • P. 80 : Bull ; Archives historiques BNP Paribas ; Revue Mon Bureau • P. 81 : Bull ; Archives historiques BNP Paribas • P. 82 : Équipe RuBENS, ENS LYON ; Richard Ridet • P. 83 : Droits réservés ; Smithsonian • P. 84 : Thomas Schanz / Wikimedia Commons • P. 85 : Computer Laboratory, University of Cambridge. Reproduced by permission ; Bureau des brevets ; Science Museum / Science & Society Picture Library ; Droits réservés ; 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 an reduced scale]







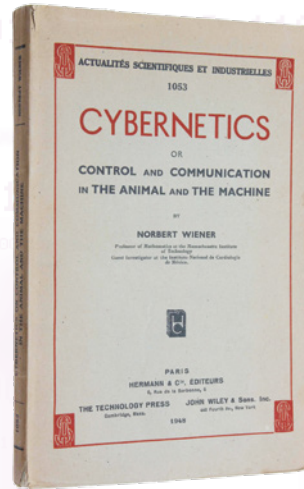


# Introduction

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 le nom bien pratique d'*ordinateur*. Le rapport von Neumann, publié dès



▶ **La bible de la cybernétique : Norbert Wiener, *La Cybernétique* : information et régulation dans le vivant et la machine (publiée simultanément en anglais et en français en 1948).**

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<sup>e</sup> 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 à programme enregistré 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. » *"As soon as we started programming, we found to our surprise that it wasn't as easy to get programs right as we had thought. Debugging had to be discovered. It was on one of my journeys between the EDSAC room and the punching equipment that 'hesitating at the angles of stairs' the realisation came over me with full force that a good part of the remainder of my life was going to be spent finding errors in my own programs."*

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 comprend des circuits logiques à tubes électroniques et une mémoire de données faite de condensateurs. Elle n'est ni programmable ni *general-purpose* et ne peut résoudre que 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. 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 !

## 1940 ▶ Les calculateurs de Konrad Zuse

Jeune ingénieur allemand travaillant sur la résistance des structures, Konrad Zuse (1910-1995) imagine un calculateur binaire pour effectuer ses longs calculs répétitifs. Un premier modèle purement mécanique Z1, achevé en 1938, fonctionne juste assez mal pour le



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

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 calculateur numérique contrôlé par programme qui entre en service opérationnel, plusieurs années avant le Colossus anglais, le Harvard Mark 1 ou l'ENIAC américains.

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

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 extrac-

tion 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 cédera 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.

## 1941 ▶ Hedy Lamarr et les sauts de fréquence

Hedy Lamarr (1914-2000) est une actrice autrichienne naturalisée américaine, surnommée un temps la « plus belle femme du monde ». C'est aussi une inventeuse récidiviste !

En 1940, elle décide de contribuer au futur effort de guerre américain en proposant de nouvelles idées à l'armée. Découvrant que les torpilles radioguidées étaient souvent mises hors-course par du brouillage, elle invente une technologie de sauts de fréquence qui utilise alternativement plusieurs canaux selon une séquence pseudo-aléatoire connue uniquement de l'émetteur et du récepteur, empêchant la détection et le brouillage par l'ennemi. Des difficultés techniques et la frilosité de l'armée devant les inventions civiles empêcheront son utilisation avant les années 1960.





En raison de sa robustesse aux interférences et de son efficacité dans l'utilisation de la bande passante, ce mécanisme sera repris dans le GPS et les normes Bluetooth, mobiles et WiFi, faisant entrer Lamarr à titre posthume au musée américain des inventeurs.

## 1942 ▶ Les trois lois de la robotique

Dans les années 1930, la plupart des histoires de science-fiction présentent les robots comme ennemis de l'homme, se retournant contre leur créateur comme la créature de Frankenstein. Profondément irrité par cela et confiant dans le futur de la robotique (terme qu'il invente), l'écrivain Isaac Asimov (1920-1992) renouvelle le genre en inventant des robots collaborant avec des humains et obéissant aux « trois lois de la robotique » qu'il énonce en 1942 :

1. un robot ne peut porter atteinte à un être humain ni, restant passif, laisser cet être humain exposé au danger ;
2. un robot doit obéir aux ordres donnés par les êtres humains, sauf si de tels ordres entrent en contradiction avec la première loi ;
3. un robot doit protéger son existence dans la mesure où cette protection n'entre pas en contradiction avec la première ou la deuxième loi.

Tout le jeu d'Asimov dans son œuvre est ensuite de montrer les failles et les interprétations de ses lois.

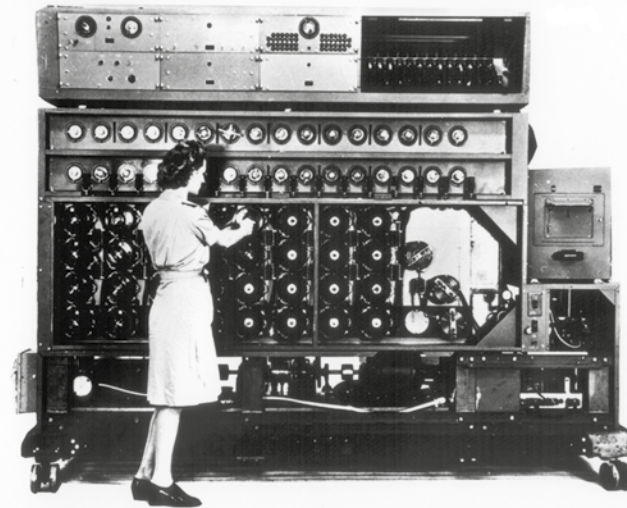
Avec les progrès récents de la robotique et de l'intelligence artificielle, l'éthique est revenue sur le devant de la scène et les juristes ont commencé à réfléchir aux « droits et devoirs » des robots et des algorithmes.

## 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. 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 ; ils parviennent dès 1932 à casser le chiffre Enigma. Le 2<sup>e</sup> 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. Jusqu'à la chute de la France en juin 1940, les services franco-polonais lisent couramment les messages militaires de l'ennemi.



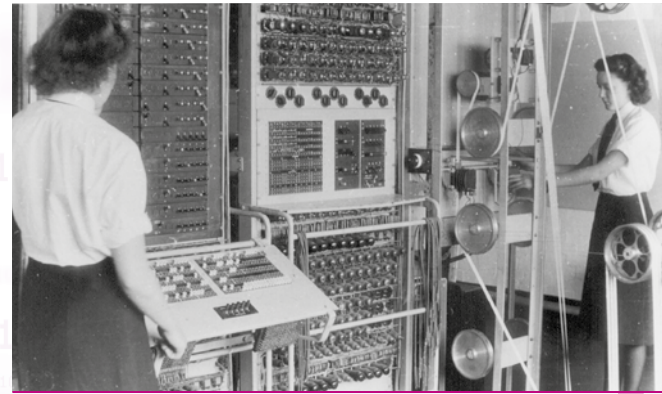
« Bombe » utilisée par l'armée américaine pour décrypter les messages allemands.

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 », à condition de capturer de temps à autre une machine Enigma et des documents en clair et codés. 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 téléscripteurs 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

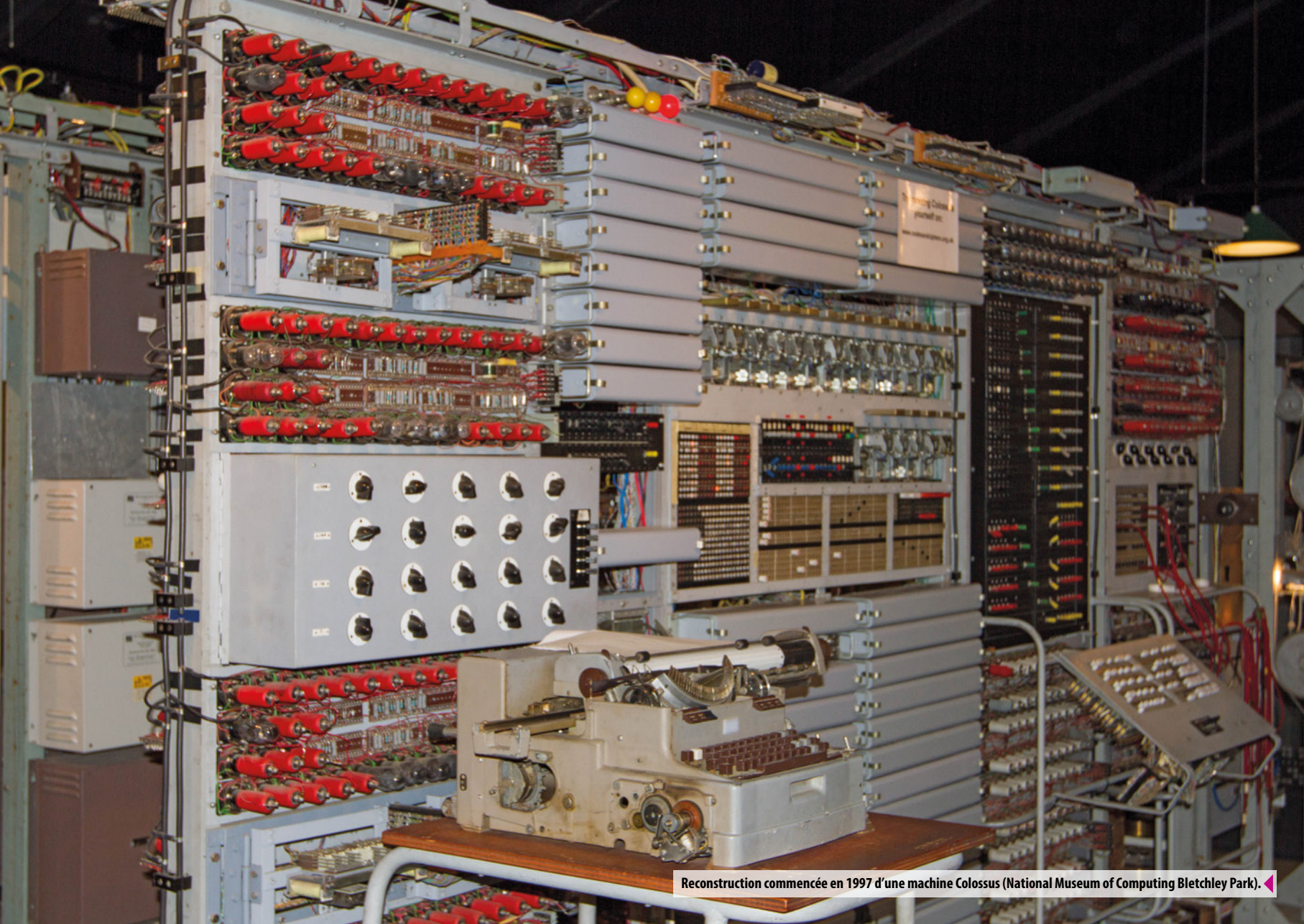


Colossus à Bletchley Park (1944).

environ 2 000 tubes électroniques travaillant en binaire, 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. Il n'effectue pas de calculs (le terme *computer* n'est jamais utilisé à l'époque pour le désigner) mais des comparaisons de chaînes de caractères (*pattern-matching*). 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 traitement 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.

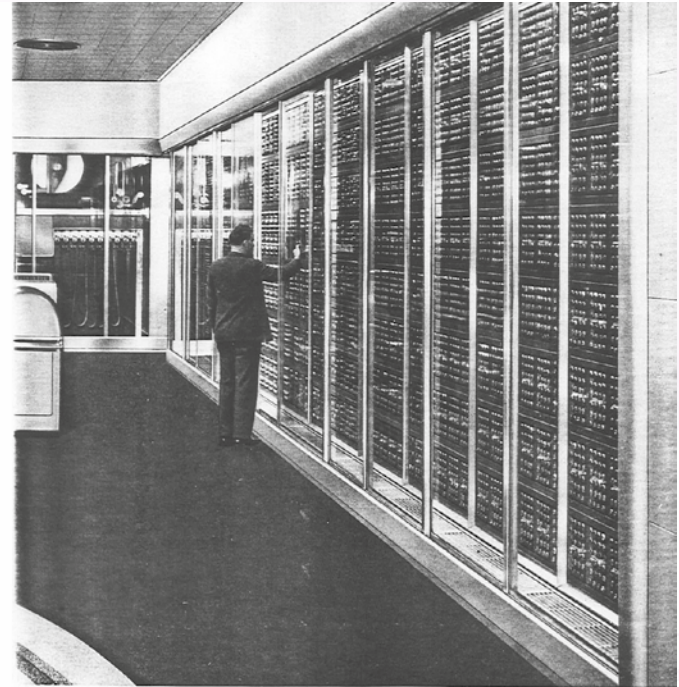


Diagram at left identifies and locates major units.

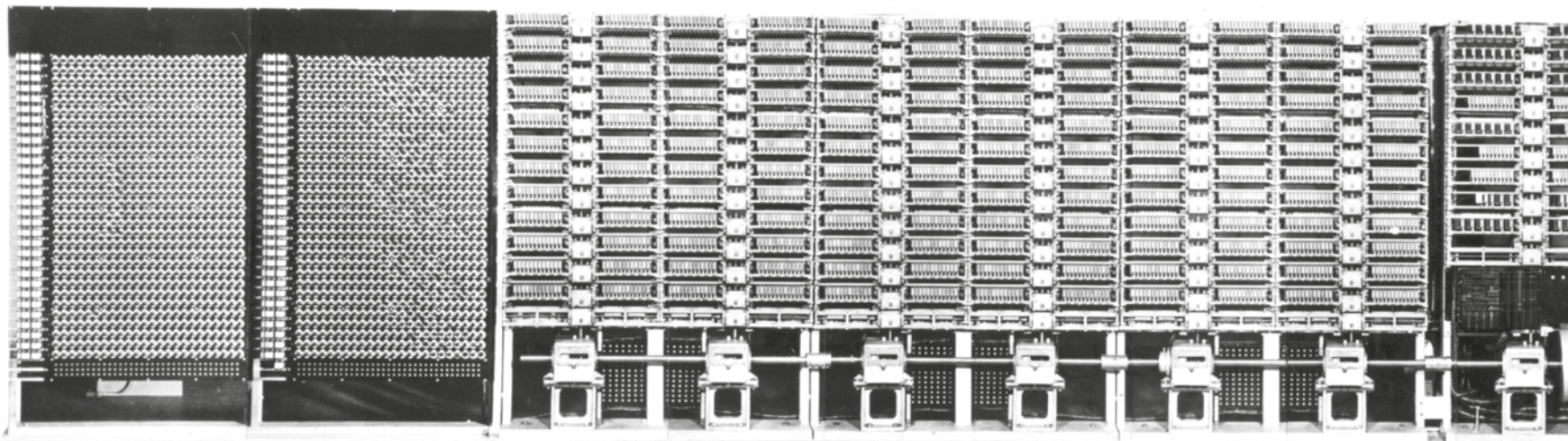




► Vue partielle du Harvard Mark I. Les lecteurs de bandes comportant le « programme » sont au centre de l'image.



# IBM AUTOMATIC SEQUENCER



60 CONSTANTS

72 STORAGE COUNTERS

MULTIPLE

DESIGNED BY ~

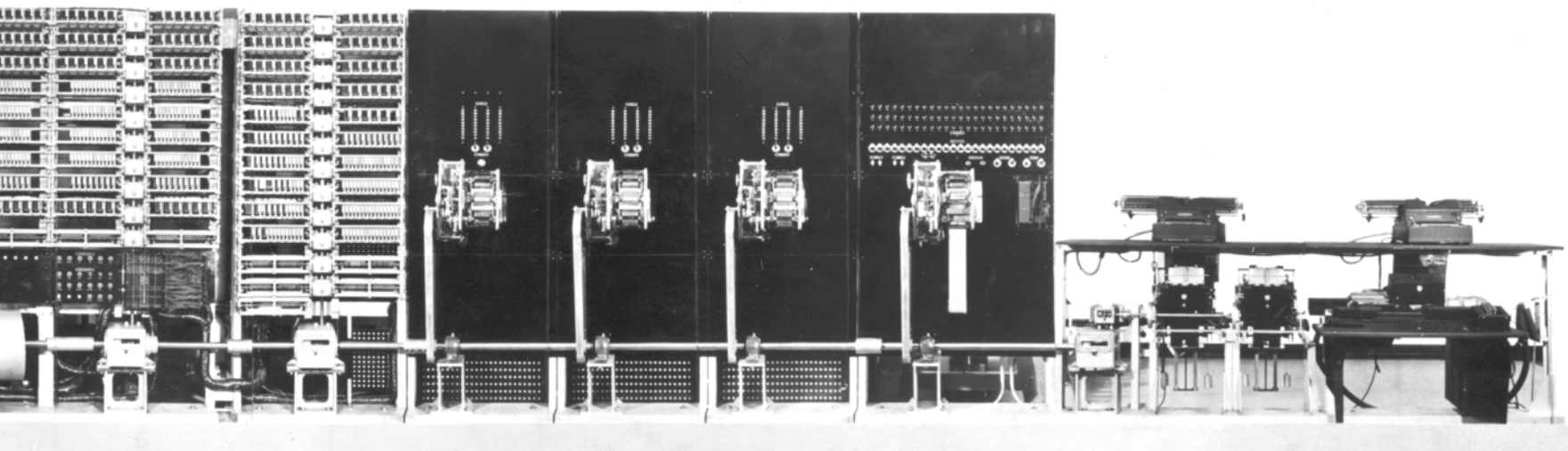
Comdr. Howard Aiken, USNR  
Mr. C. D. Lake, IBM Corp.  
Mr. F. E. Hamilton, IBM Corp.  
Mr. B. M. Durfee, IBM Corp.

PRESENTED TO HARVARD UNIVERSITY BY INT

Through the  
MR. THOMAS J.



# E CONTROLLED CALCULATOR



MULTI-DIVIDE UNIT

FUNCTIONAL  
COUNTERS

INTERPOLATORS - 1, 2, 3.

SEQUENCE  
CONTROL

TYPEWRITERS - CARD FEEDS - CARD PUNCH

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION

Photograph by the  
Courtesy of  
Dr. Howard A. WATSON, President.

AUG. 7, 1944

## 1944 ▶ Lumitype :

### naissance de la photocomposition

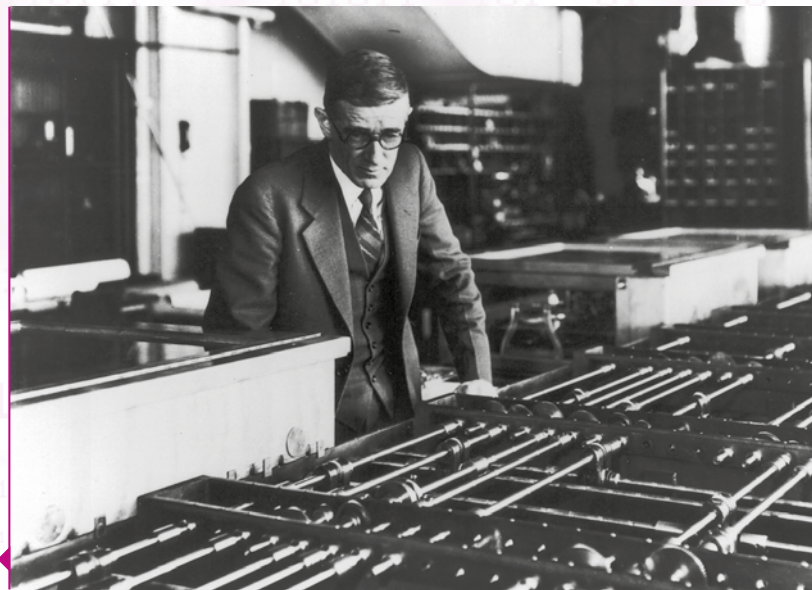
Brevetée en 1944 à Lyon par les ingénieurs français René Higonnet (1902-1983) et Louis Moyroud (1914-2010), la Lumitype remplace dans l'imprimerie le plomb par la lumière. La saisie s'effectue sur une machine à écrire électrique comportant des commandes de réglages de corps, chasse et styles. Chaque frappe est enregistrée dans une mémoire électrique. Une fois la ligne terminée, un calculateur binaire répartit les espaces entre les mots pour assurer la justification. Les signaux de commande sont envoyés à la « flasheuse ». Le cœur du système est un disque tournant à huit tours par seconde et portant l'ensemble des glyphes en négatif, correspondant à seize fontes différentes, disposées sur des lignes concentriques. Quand le caractère voulu se présente face à l'ouverture, une lampe émet un flash stroboscopique qui le traverse et va impressionner un film. Douze objectifs photographiques déterminent la taille des lettres, du corps 5 au 28. Le film impressionné passe ensuite dans une développeuse. Ce système apporte une souplesse inédite dans le choix des fontes. Les performances de saisie atteignent huit signes par seconde, soit trois ou quatre fois plus qu'une Monotype.

Higonnet et Moyroud partent bientôt aux États-Unis où des industriels ont les moyens d'investir dans leur invention. Le premier livre composé sur Lumitype paraît dès 1953, mais il faut une quinzaine d'années pour mettre au point le système et en tirer un produit commercial viable. Entre-temps une fabrication est également lancée en France. La Lumitype transforme ensuite une partie des métiers de l'imprimerie, avant d'être elle-même remplacée par de nouvelles technologies. L'importance historique de cette machine est qu'elle dématérialise la typographie, changement décisif qui s'accroîtra dans la seconde moitié du xx<sup>e</sup> siècle avec l'impression offset, puis l'informatisation de la composition, le traitement de texte et la PAO.

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

## 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.



1945



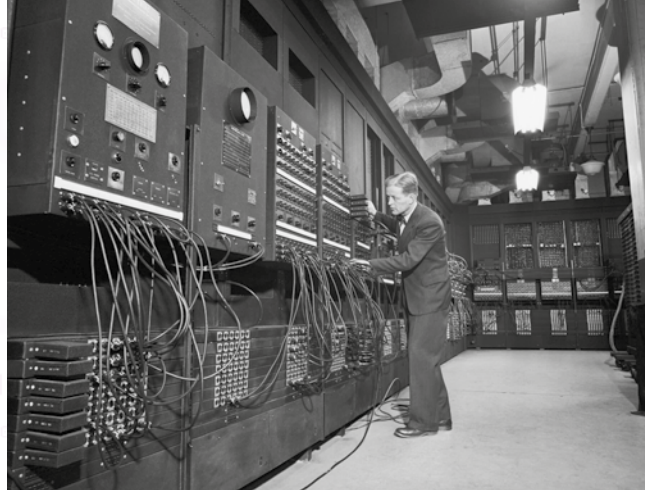
## 1945 ▶ ENIAC

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.

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.



▶ Travail sur l'ENIAC.

Sa fiabilité, comme celle de tous les premiers ordinateurs, n'a rien à voir avec celle des machines actuelles. De 1948 à 1955 (année où il fut déclassé), une fois passée la difficile mise en place des deux premières années, le taux moyen de disponibilité était d'environ 45 % ; 40 % était consacré à la maintenance et 15 % à la mise en configuration.

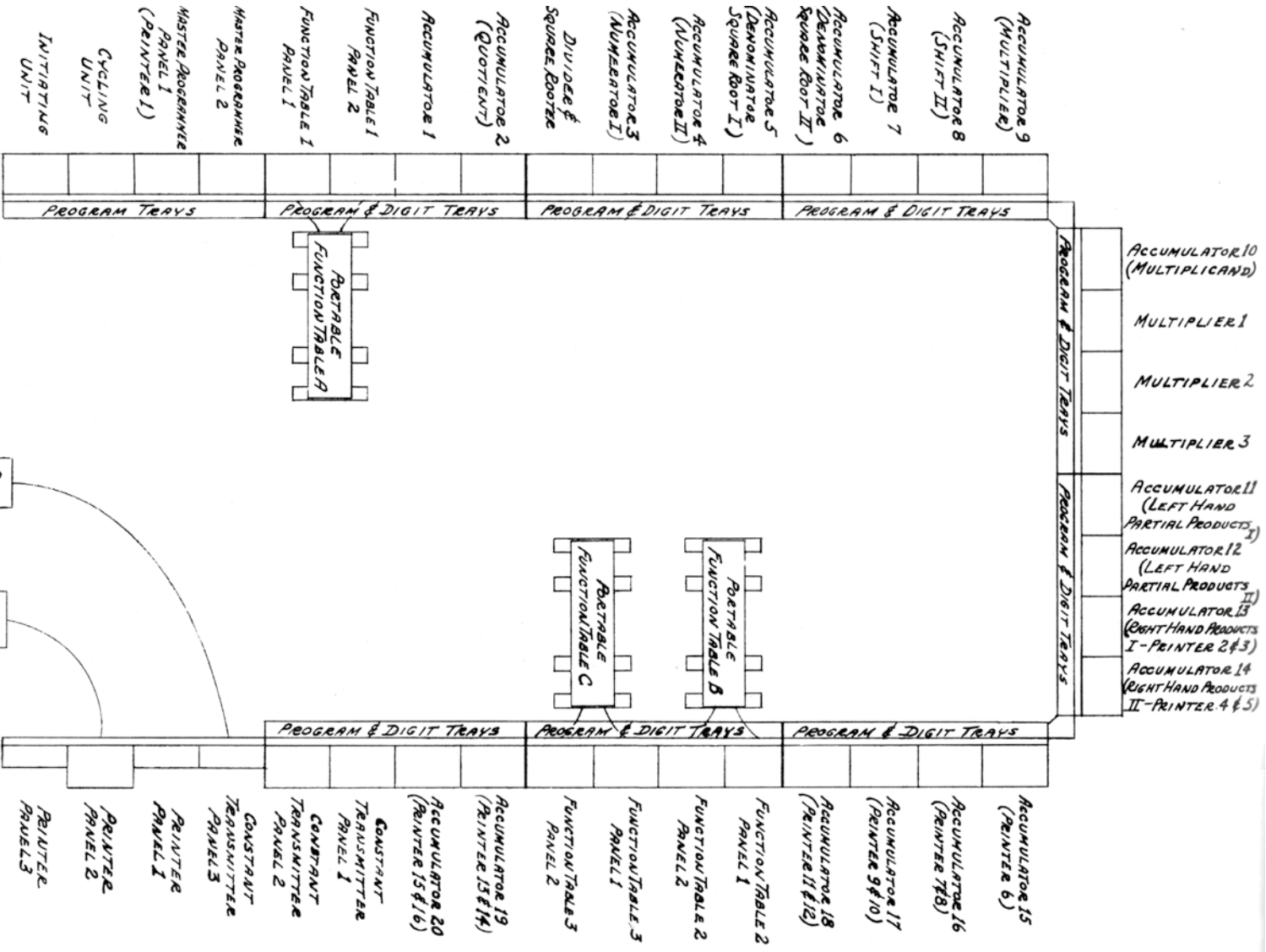
L'ENIAC constitue bien un calculateur d'usage général, comparable aux conceptions électromécaniques de Zuse ou électroniques des Colossus anglais. S'il n'est ni le premier calculateur électronique (l'ABC et les Colossus lui sont antérieurs), ni le premier calculateur programmable (le Z3 et le Mark I 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.

Notons que l'ENIAC fut profondément modifié en 1948, via une configuration permanente du câblage, pour intégrer la notion d'instructions et de programme dans un tableau auxiliaire faisant fonction de mémoire non-modifiable. Ce qui a permis de le rapprocher très fortement du modèle classique d'ordinateur dit « à programme enregistré » développé à la même époque par von Neumann et l'équipe de l'ENIAC.



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





MOORE SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING  
UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA

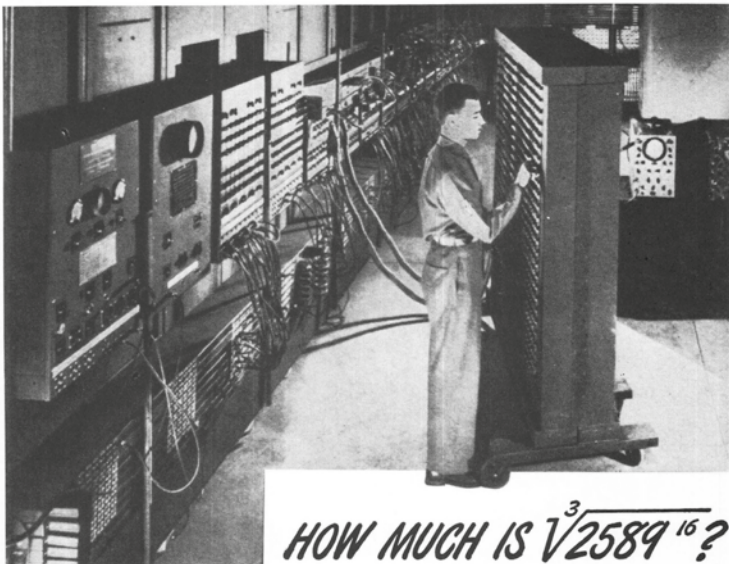
IBM CARD READER

IBM CARD PUNCH (SUMMARY PUNCH)

ENIAC  
FLOOR LAYOUT  
PX-1-302

Diagramme schématique des panneaux de l'ENIAC.

Affiche de recrutement pour l'armée américaine.



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!

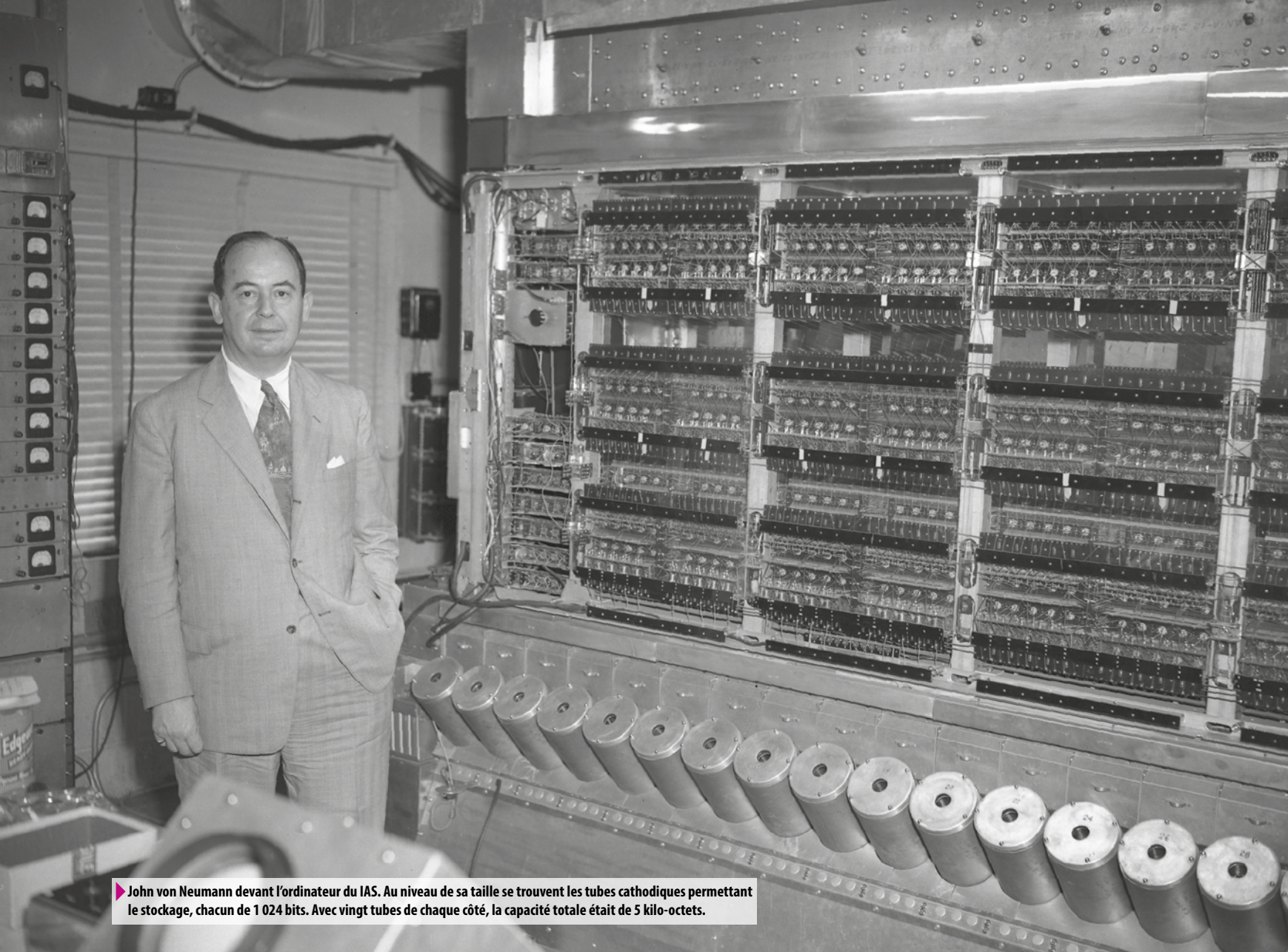
## 1945 ▶ Rapport de von Neumann

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<sup>e</sup> siècle, participe à ces réunions. Tirant les enseignements de l'expérience ENIAC, notamment du goulet d'étranglement que constitue 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 convient, 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 Study*) à Princeton, qui sera largement copié.





► 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.

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. Von Neumann, Werner von Braun et Edward Teller ont été les scientifiques membres du complexe militaro-industriel qui ont inspiré au réalisateur Stanley Kubrick le personnage du docteur Folamour.

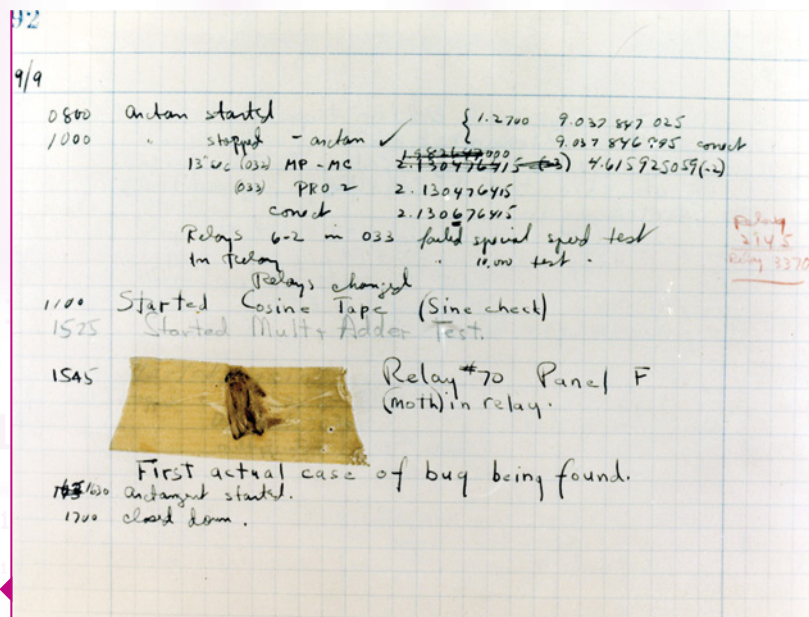
## 1946 ▶ Méthode de Monte-Carlo

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 électriciens depuis la fin du XIX<sup>e</sup> 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. Les techniciens le collèrent alors dans le 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 » !



## 1947 ▶ Transistor au germanium

Le transistor résulte de recherches menées simultanément depuis les années 1920 sur les semi-conducteurs en Allemagne et aux États-Unis (brevet Lilienfeld en 1925, Bell Laboratories et université de Purdue), ainsi qu'en France après la guerre. Ces recherches étaient motivées principalement, pendant le second conflit mondial, par la montée en fréquence, donc en précision, des circuits électroniques utilisés dans les radars.

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 à point de contact (le mot est l'abréviation

commerciale de *transfer varistor* ou *transfer resistor*). 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 filiale de Westinghouse, et produit en petite série pour les télécommunications. 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.



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

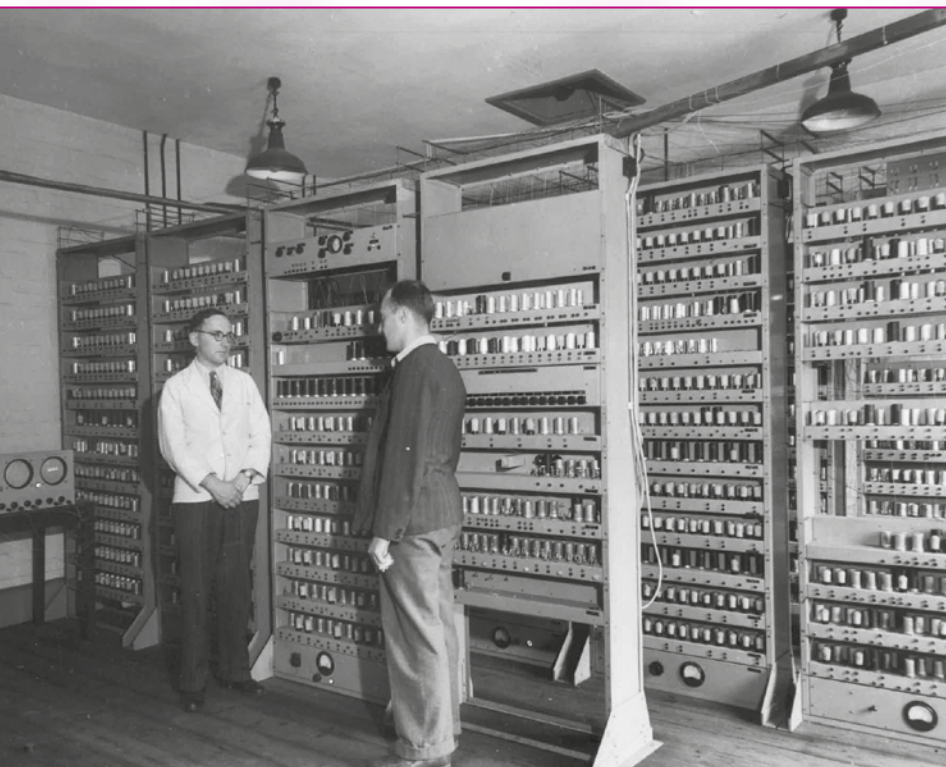
## 1947 ▶ Tube de Williams-Kilburn

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 ▶ 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.



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'acquiescer une expérience en hardware et de pouvoir rapidement apprendre la programmation. Son équipe invente un langage d'assemblage, code mnémotique 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*.

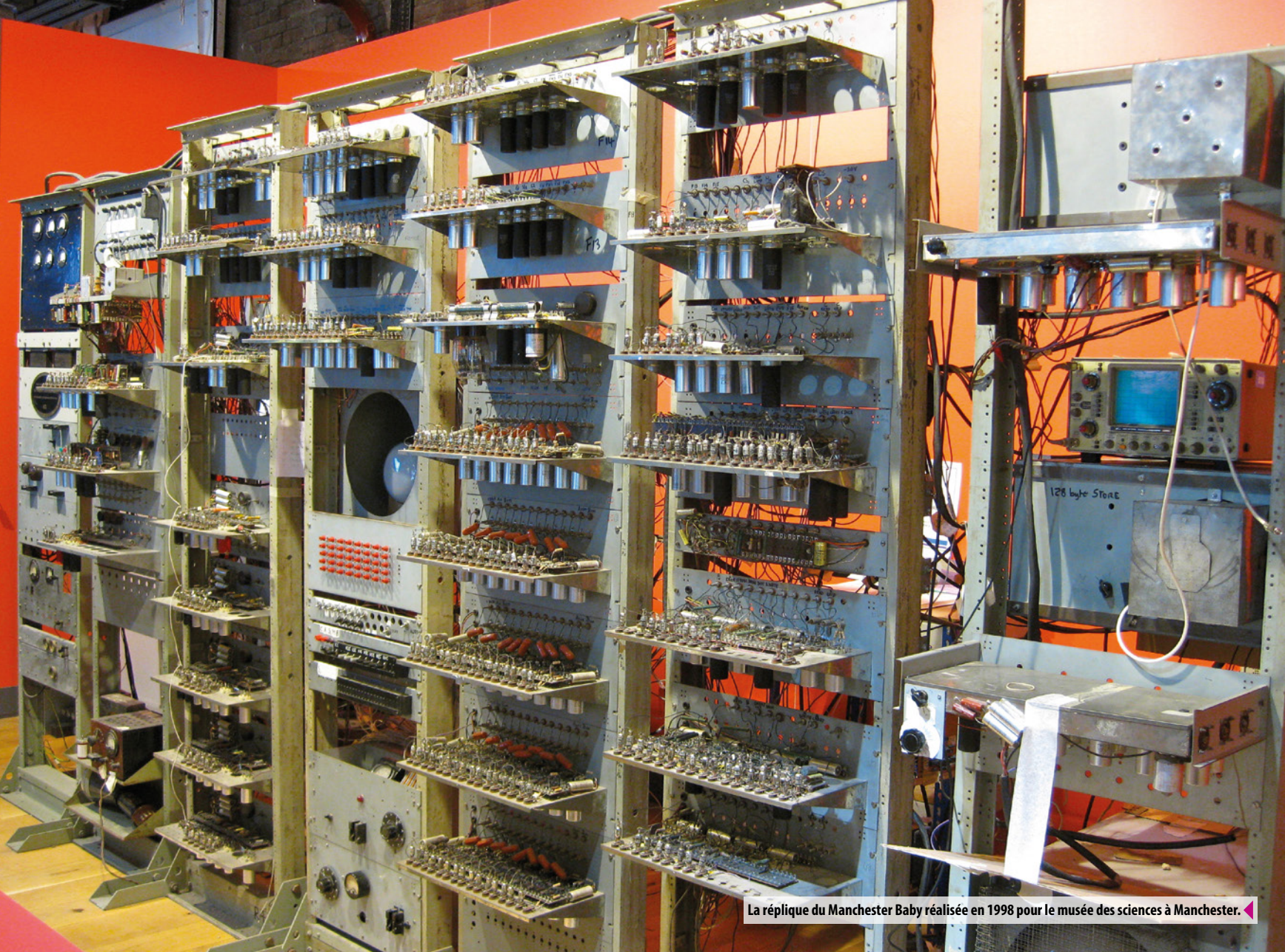
Deux autres ordinateurs pionniers sont construits simultanément en Angleterre. Au National Physical Laboratory, dès fin 1945, Alan Turing a dressé les plans détaillés d'un ordinateur conçu pour une efficacité maximale — beaucoup plus rapide avec nettement moins de matériel que les autres ; la réalisation 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.

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

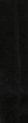
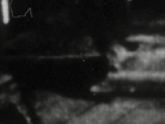
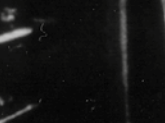
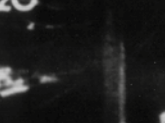
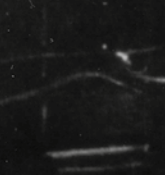
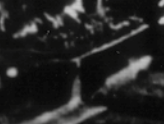
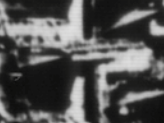
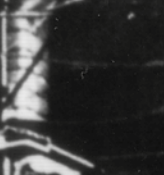
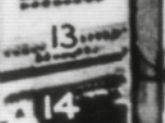
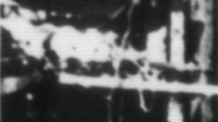
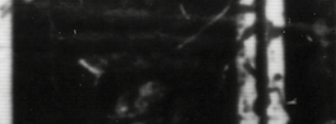
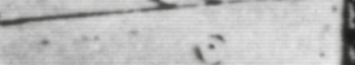
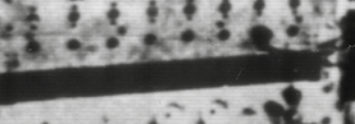
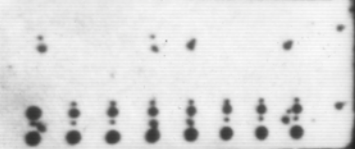
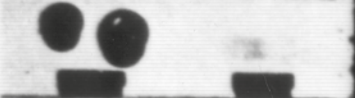
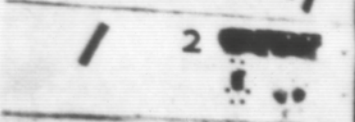
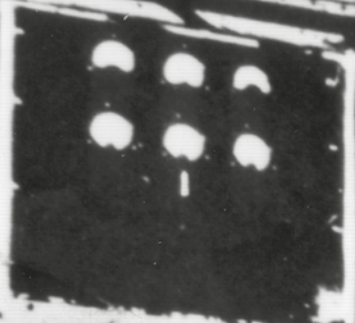
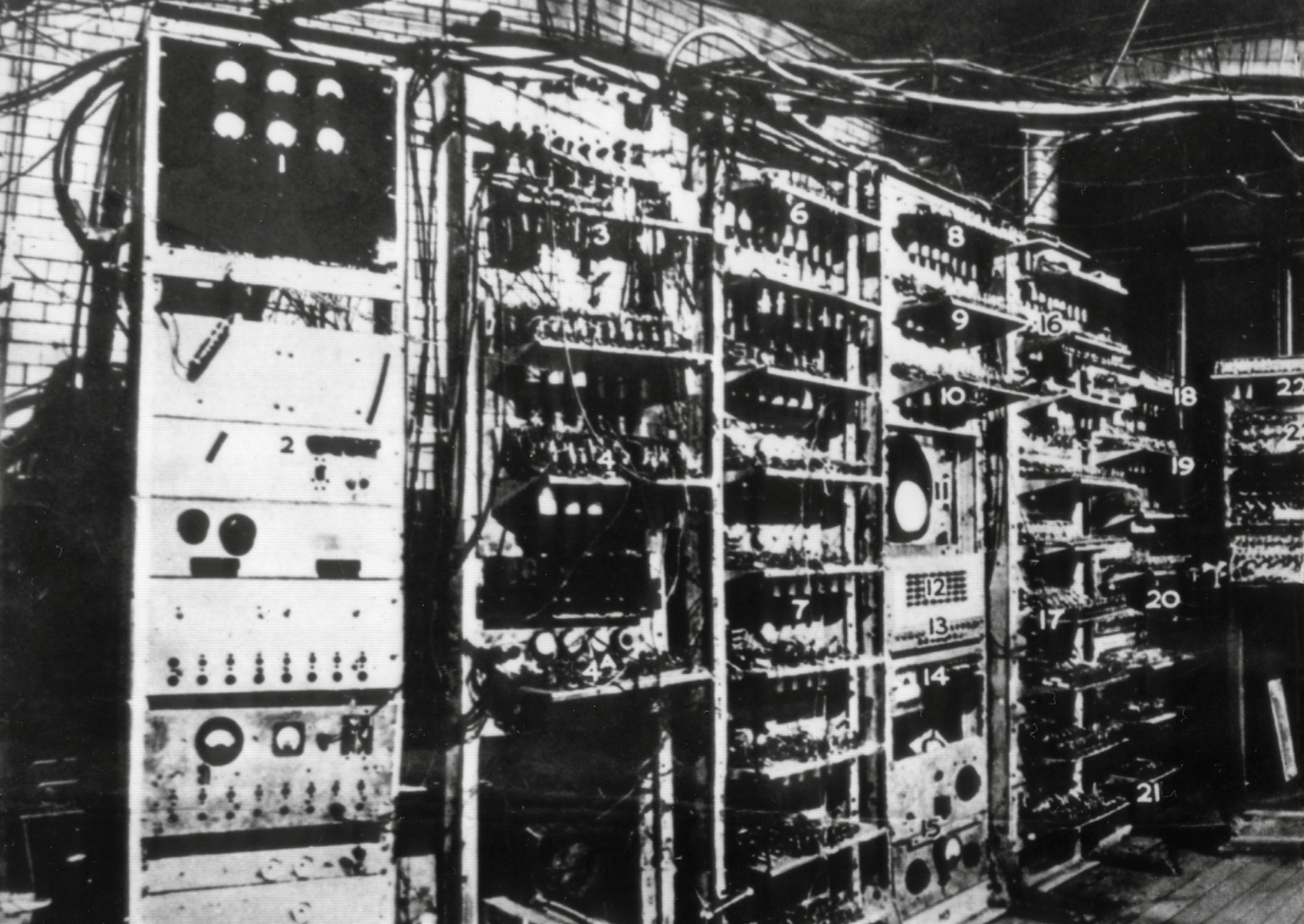


Computer Age  
1948



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









Le Manchester Mark I en cours de développement.

19/7/49  
Kilburn Highest Factor Routine (amended)

Instr.	C	25	26	27	line	012348	13415
-24 to C	-G <sub>1</sub>	-	-	-	1	00011	010
c to 26			-G <sub>1</sub>		2	01011	110
-26 to C	G <sub>1</sub>				3	01011	010
c to 27			-G <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>	4	11011	110
-23 to C	a	T <sub>21</sub>	-G <sub>N</sub>	G <sub>N</sub>	5	11101	010
Sub 27	a - G <sub>N</sub>				6	11011	001
Test					7	-	011
Addr 20 to G <sub>1</sub>					8	00101	100
Sub 26	T <sub>N</sub>				9	01011	001
c to 25		T <sub>N</sub>			10	10011	110
-25 to C					11	10011	010
Test					12	-	011
Stop	0	0	-G <sub>N</sub>	G <sub>N</sub>	13		111
-26 to C	G <sub>N</sub>	T <sub>N</sub>	-G <sub>N</sub>	G <sub>N</sub>	14	01011	010
Sub 21	G <sub>N+1</sub>				15	10101	001
c to 27	G <sub>N+1</sub>			G <sub>N+1</sub>	16	11011	110
-27 to C	-G <sub>N+1</sub>				17	11011	010
c to 26			-G <sub>N+1</sub>	G <sub>N+1</sub>	18	01011	110
22 to G <sub>1</sub>	T <sub>N</sub>	-G <sub>N+1</sub>	G <sub>N+1</sub>		19	01101	000

20	-3	10111 etc
21	1	10000
22	4	00100

23	-a
24	G <sub>1</sub>

25	init.	final
26	-	T <sub>N</sub> (0)
27	-	-G <sub>N</sub>
		G <sub>N</sub>

or 10100

### 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<sup>18</sup> 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.

La dématérialisation complète du programme, passant de cartes perforées ou de bandes de papier à des impulsions électroniques, permet d'augmenter énormément la vitesse de traitement des instructions et ouvre de nouvelles possibilités algorithmiques : il est beaucoup plus facile d'accéder à n'importe quelle adresse mémoire électronique que de dérouler et rembobiner en permanence une bande de papier !

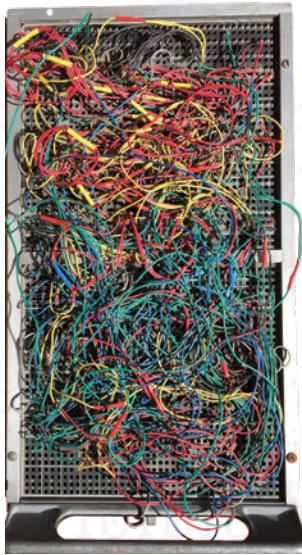
▶ Le premier programme enregistré de l'histoire dans sa version modifiée du 18 juillet 1948.



## 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 !

CALCULATRICE ELECTRONIQUE

IBM

## 1948 ▶ Théorie de l'information

Suite à ses travaux de cryptographie pendant la guerre, Claude Shannon publie « A Mathematical Theory of Communication », théorie servant à analyser la quantité d'information contenue dans un ensemble de messages. Shannon popularise le terme *bit*, contraction de *binary digit* (chiffre binaire), 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 modalités 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.

## 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 revient en vogue avec le développement des sciences cognitives et de la neuroinformatique.



▶ Norbert Wiener, Grey Walter et la tortue cybernétique Elsie, au congrès international « Les machines à calculer & la pensée humaine » (CNRS, janvier 1951).



## 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, 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'équilibre 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).

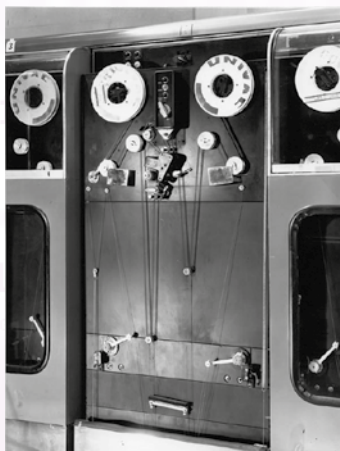
Sur l'UNIVAC I, Eckert et Mauchly vont utiliser pour la première fois une bande magnétique pour stocker les données. Ces bandes mises en armoires et visibles derrière des vitrines vont devenir emblématiques des installations informatiques des années 1960-1970 avant de laisser leur place à des cartouches 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.



M. Wilkes devant des lignes à retard à mercure.

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





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.

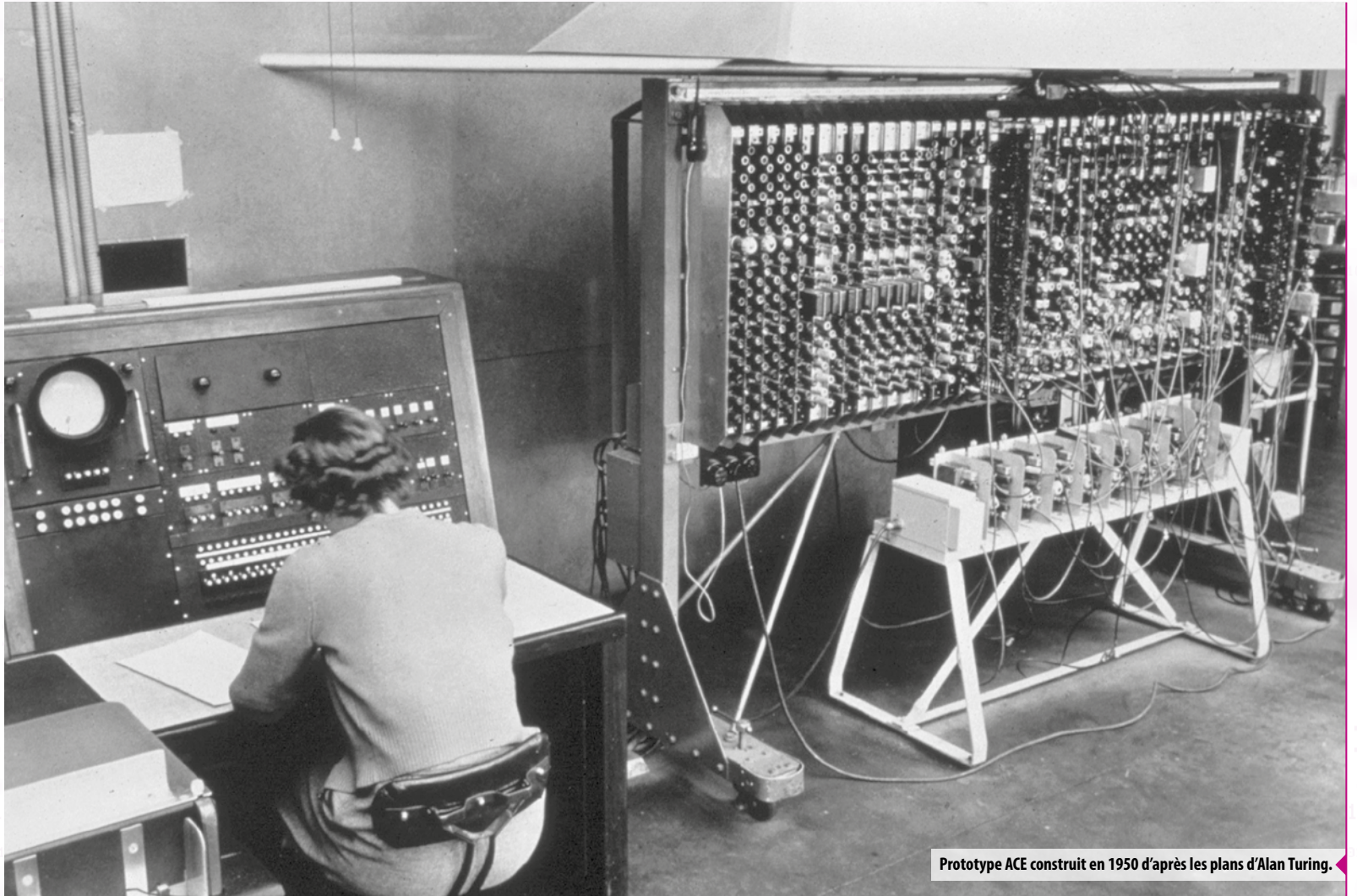
## 1950 ▶ Les codes de Hamming

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.

## 1950 ▶ Une révolution mondiale

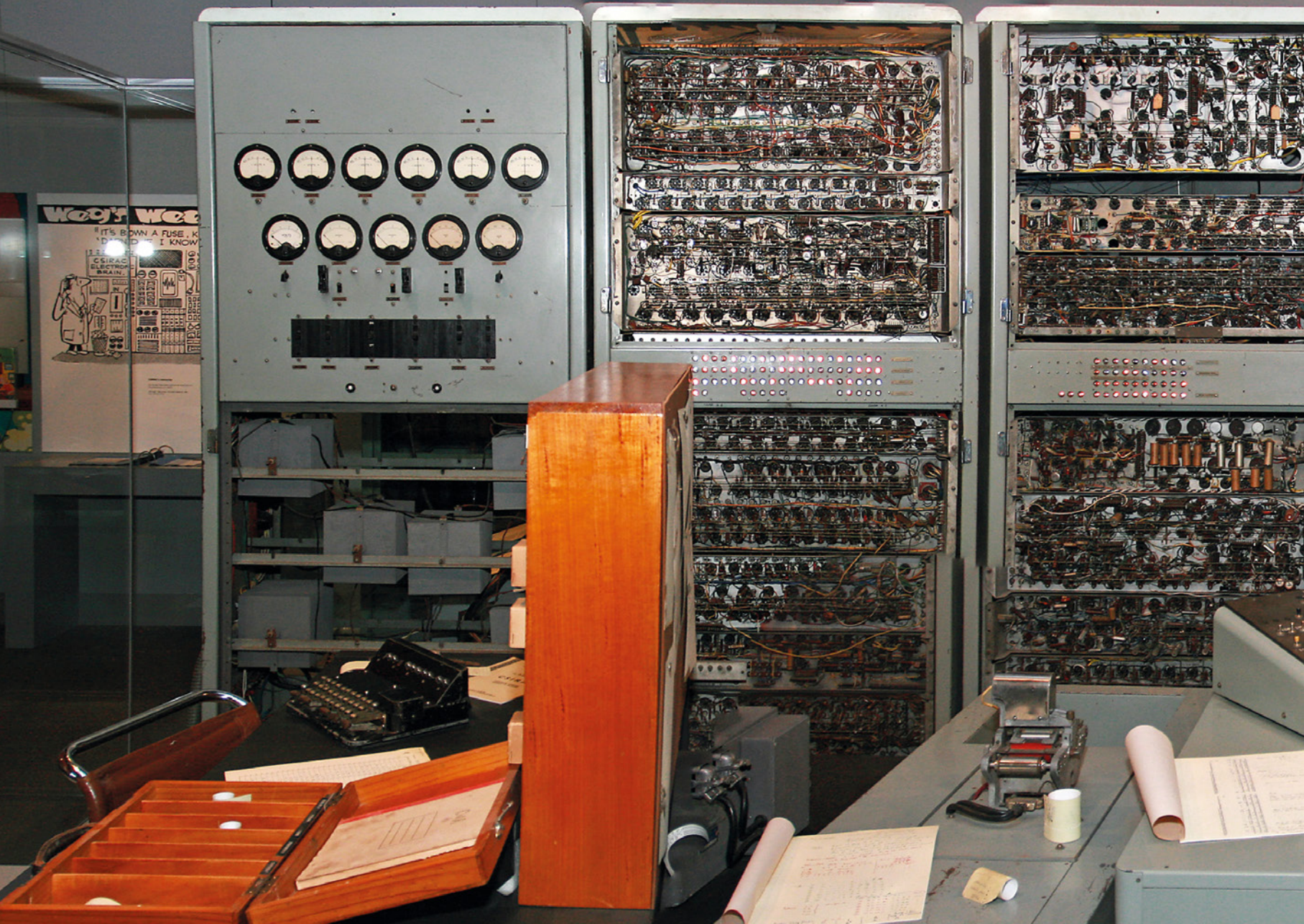
À travers le monde, des scientifiques prennent conscience de l'importance de ces machines et des nouvelles possibilités de calcul qu'elles offrent. Au cours de la décennie suivante, de nombreux laboratoires de recherches — principalement en mathématiques appliquées et en ingénierie électrique — développent 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.





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





Woo's Woo

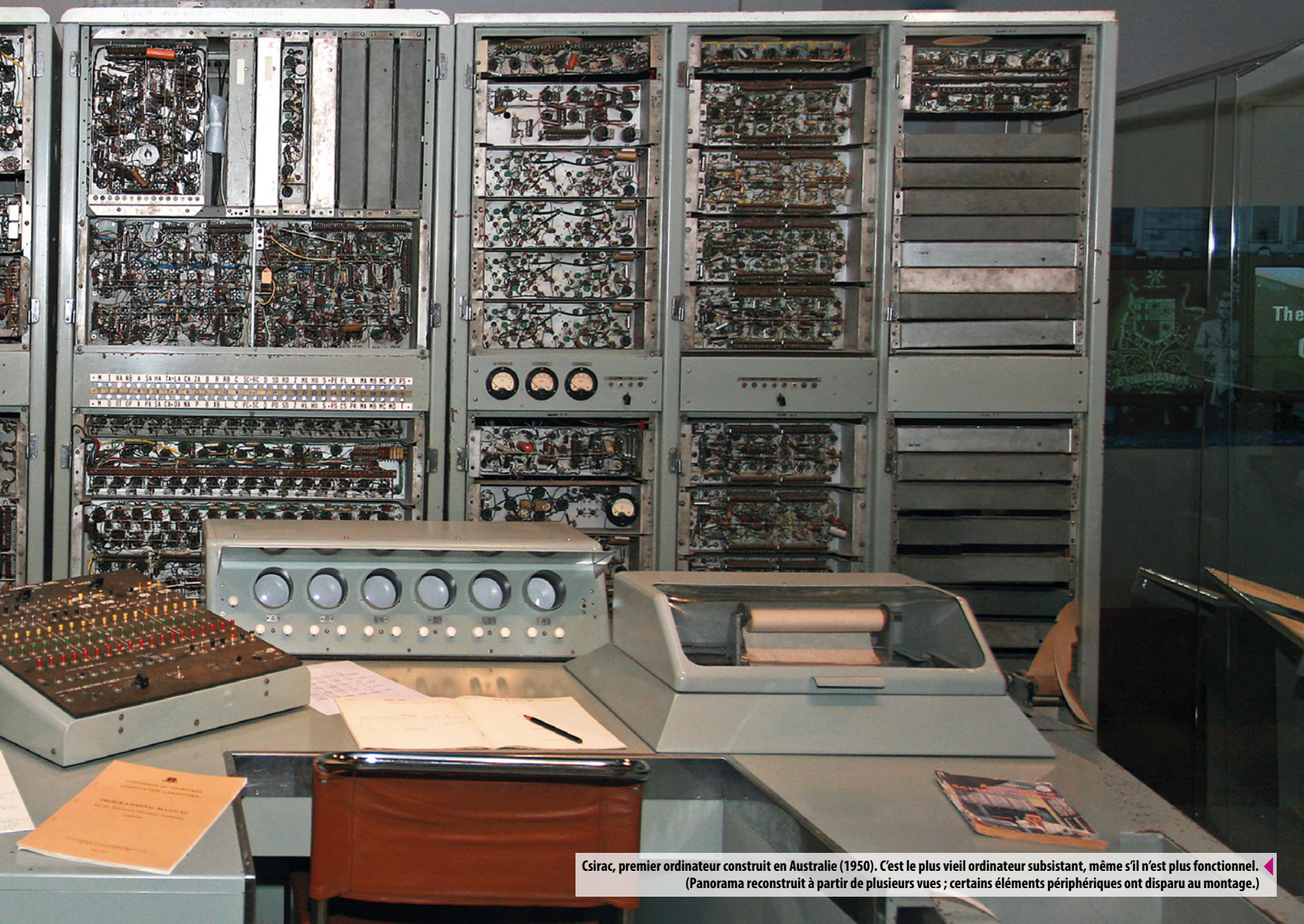
IT'S DOWN A FUSE, K  
TO FIND IT, KNOW

CSIRAC  
ELECTRIC  
BRAIN.



CSIRAC  
ELECTRIC  
BRAIN.





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



## 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 contient 6 000 tubes à vide – ce qui n'est pas « petit » – et peut effectuer environ 50 instructions par seconde. C'est le premier ordinateur à programme enregistré construit en Europe continentale. Des mathématiciens de toute l'URSS font le voyage à Kiev pour l'utiliser. Ses principales applications concernent la balistique

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.

et les fusées, ainsi que le problème qui préoccupait initialement Lebedev, le calcul de lignes de transmission téléphoniques. 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.

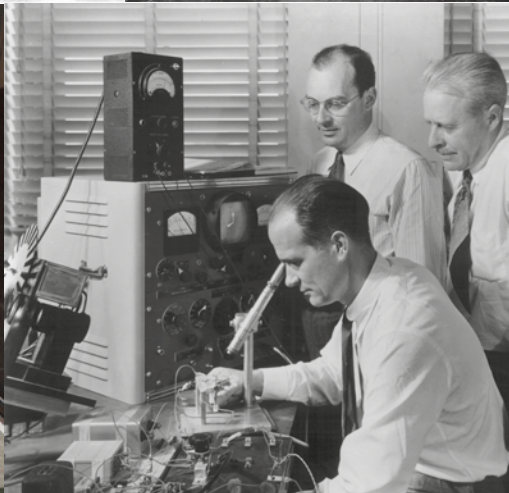
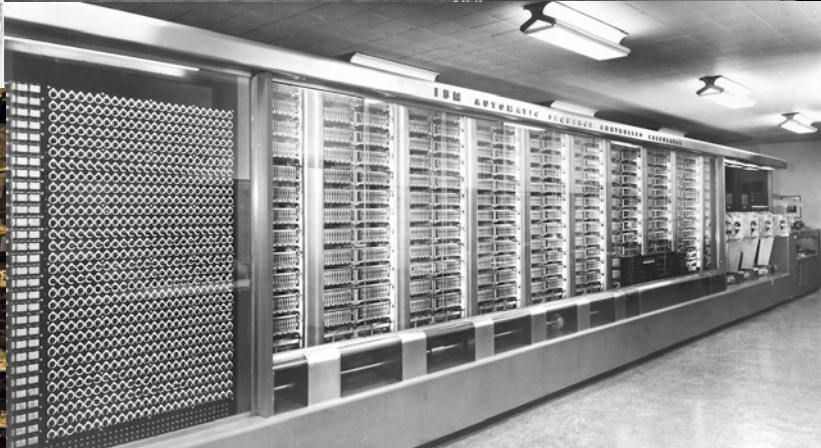
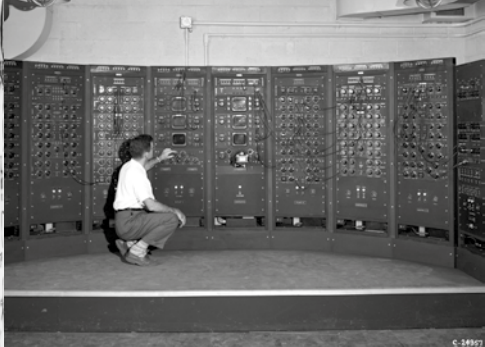
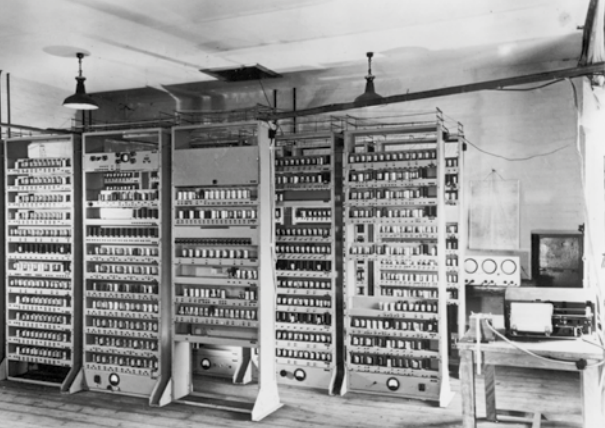
En concurrence avec BESM, un laboratoire dépendant du Ministère de la Mécanique construit Strela (flèche), prototype d'une première série d'ordinateurs soviétiques ; les mémoires sont à tubes cathodiques. D'autres modèles d'ordinateurs originaux (Ural, etc.) seront développés jusqu'en 1968. Les autorités soviétiques décideront alors de développer une série compatible en copiant la gamme IBM System/360.



### Crédits

• P. 87 : Sophia rare books • P. 88 : Special Collections Department/Iowa State University Library • P. 89 : Deutsches Museum / Clemens Pfeiffer / Wikimedia Commons • P. 91 : National Security Agency • P. 92 : Bletchley Park Trust, © Crown. Reproduced by kind permission, Director, GCHQ • P. 93 : © Raphael Kessler, www.rafaelkessler.com • P. 94 : IBM • P. 95 : Harvard University • P. 96-97 : Harvard University • P. 98 : MIT Museum • P. 99 : US Army photo • P. 100 : US Army photo • P. 101 : US Army photo, University of Pennsylvania • P. 102 : Popular Science, oct. 1946 • P. 103 : Alan Richards photographer. From the Shelby White and Leon Levy Archives Center, Institute for Advanced Study, Princeton, NJ, USA • P. 104 : Courtesy of the Naval Surface Warfare Center, Dahlgren, VA., 1988 • P. 105 : Bell Labs • P. 106 : Copyright Computer Laboratory, University of Cambridge • P. 107 : Lorette • P. 108-109 : School of Computer Science, The University of Manchester • P. 110 : School of Computer Science, The University of Manchester • P. 111 : Pierre Mounier-Kuhn ; IBM • P. 112 : CNRS et Musée des Arts & Métiers • P. 113 : Copyright Computer Laboratory, University of Cambridge ; Mark Richards, Computer History Museum • P. 114 : National Oceanographic Data Center ; Lawrence Livermore National Laboratory ; Hannes Grobe / Wikimedia Commons • P. 115 : Science Museum / Science & Society Picture Library • P. 116-117 : John O'Neill / Wikimedia Commons • P. 118 : Research Computing Center (RCC) of Lomonosov Moscow State University ; Archives Boris Malynovsky ; Archives Boris Malynovsky • P. 119 : Science Museum / Science & Society Picture Library ; NASA ; University of Illinois ; US Army photo ; 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**

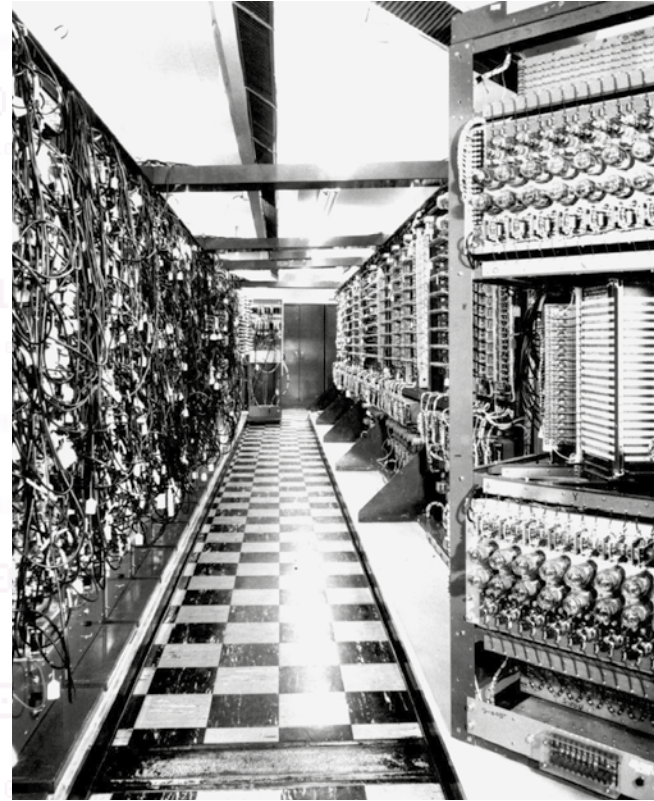


# Introduction

Dès 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.

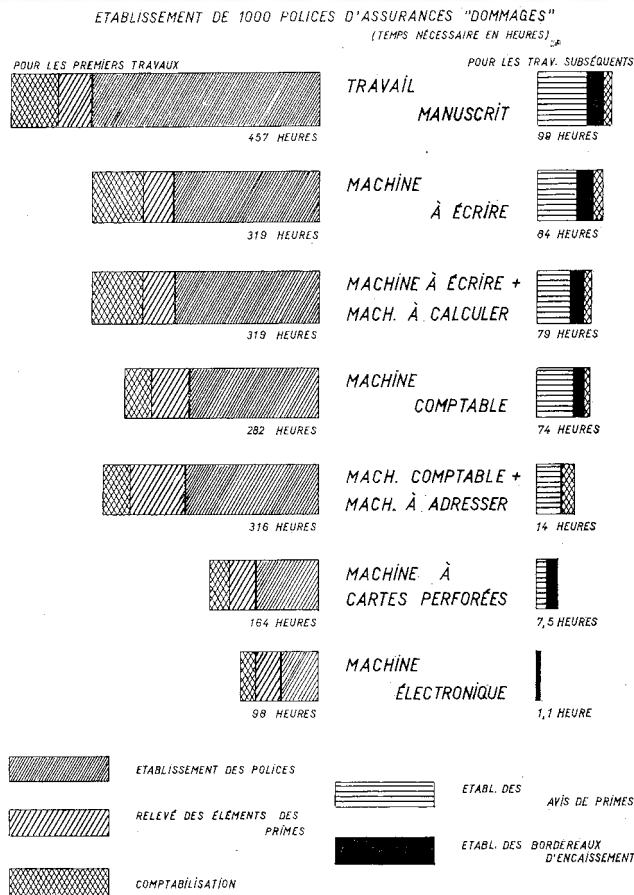
- Les grands groupes de construction électrique, tels General Electric, Siemens, Alcatel ou Fujitsu. Ces firmes ont de prestigieux laboratoires d'électronique et les moyens d'investir dans une technologie nouvelle ; elles entretiennent des contacts au plus haut niveau dans les milieux militaires ou nucléaires 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 Sicoab (1950).



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

Progress 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 morphogénèse, 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 (debout),  
Brian Pollard  
et Keith Lonsdale (Ferranti  
Computer Department)  
à la console du Ferranti Mk1  
(1951).



## 1951 ▶ Premiers ordinateurs commerciaux : l'UNIVAC 1

Eckert et Mauchly ont créé leur propre compagnie et commercialisent en mars 1951 leur premier ordinateur à programme enregistré, l'UNIVAC 1 (*Universal Automatic Computer*). Il comporte 5 200 tubes et utilise des lignes à retard comme mémoire rapide, des bandes magnétiques comme mémoire de stockage. Son prix est supérieur à un million de dollars (près de dix millions de dollars 2015). 46 UNIVAC 1 seront vendus jusqu'en 1957.

Tableau de commande  
de l'UNIVAC 1.



Un ordinateur UNIVAC  
en fonction au bureau  
américain du recensement,  
probablement vers 1970.

Grace Hopper avec d'autres programmeurs  
devant la console de l'UNIVAC 1.







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



Les débuts ne sont pas de tout repos : les clients sont rares, les difficultés de construction imprévues dépassent rapidement le budget initial ; il faut augmenter le prix de vente annoncé, ce qui fait renoncer les quelques acheteurs du secteur privé. Dès 1950, les deux ingénieurs en quête de capital ont dû vendre leur entreprise au constructeur de machines de bureau Remington-Rand. Ils continueront à y travailler, de plus en plus frustrés par la médiocrité du management qui perd rapidement l'avantage du premier entrant et laisse IBM reprendre le dessus.

En 1952, un UNIVAC I utilisé par la compagnie de télévision CBS prédit correctement les résultats de l'élection présidentielle américaine à partir d'un échantillon de votants — contrairement aux sondages publiés dans les journaux : le grand public découvre la puissance des ordinateurs.

Univac 1103 à la soufflerie de la NASA en 1964.

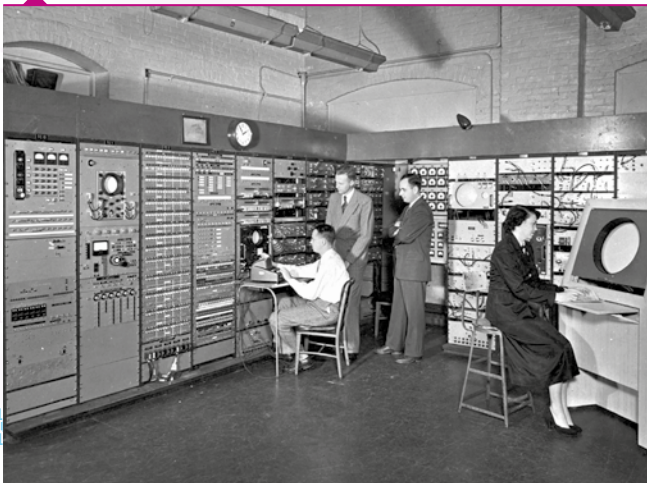


## 1951 ▶ Premier ordinateur temps-réel : le Whirlwind au MIT

Issu d'un projet de simulateur analogique d'avion, le Whirlwind devient le prototype d'un ordinateur relié à des stations radars pour alerter la défense américaine en cas d'attaque aérienne soviétique. Les énormes besoins en calcul amènent le laboratoire de servomécanismes du MIT à développer un ordinateur fourmillant d'innovations, notamment pour fonctionner en « temps-réel ». Whirlwind est ainsi le premier ordinateur utilisant une mémoire à tores de ferrite. Whirlwind est typiquement l'un de ces projets très risqués qui explosent budgets et délais, mais qui, menés par des chercheurs de pointe qui savent où ils vont, font faire à la technique des bonds géants et rapportent beaucoup plus qu'ils n'ont coûté. C'est le cas du Whirlwind comme du tour du monde entrepris par Magellan 450 ans plus tôt.

Une version améliorée sert de prototype à une série de 56 ordinateurs construits, sous contrat avec l'US Air Force, par IBM qui y gagnera une expérience considérable. Cet ensemble est intégré à partir de 1957 dans un système automatisé de défense aérienne : Semi-Automatic Ground Environment (SAGE).

Le prototype Whirlwind au MIT en 1950.



Une partie de l'installation SAGE au Computer History Museum de Mountain View (Ca.).

Opérationnel en 1963, SAGE est un vaste réseau où les ordinateurs traitent les informations fournies par les stations radar nord-américaines et en tirent des décisions de riposte envoyées aux aéroports, à la défense aérienne, aux navires et aux sites de missiles. SAGE, conçu pour détecter les attaques de bombardiers qui restent possibles, sera obsolète ou trop peu fiable face à la nouvelle menace des missiles stratégiques. Le dernier de ses ordinateurs à tubes sera arrêté en 1983.

## 1951 ▶ Premiers ordinateurs IBM

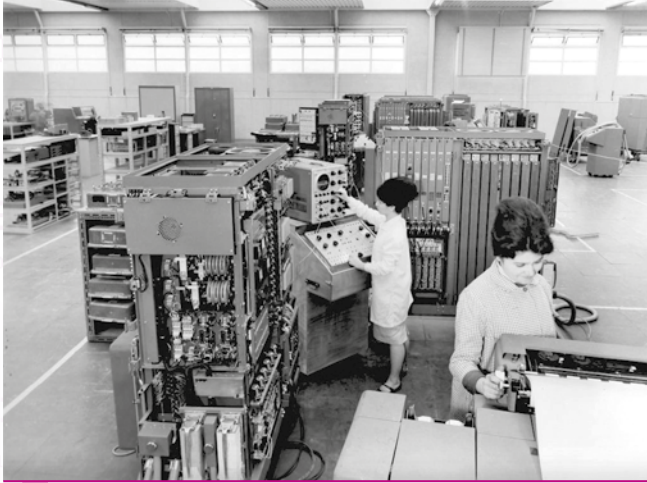
Avec ses calculatrices électroniques à programmation externe, qui renforcent ses ensembles mécanographiques, IBM domine déjà le marché. Ses dirigeants ne comprennent pas plus le potentiel du programme enregistré que leurs concurrents, de plus ils ne sont pas libres d'acquérir de petits constructeurs d'ordinateurs, à cause de la réglementation anti-trust aux États-Unis. Cependant IBM surveille attentivement les innovations dans ce domaine et recrute von Neumann comme consultant. En 1950, IBM saisit l'occasion du déclenchement de la guerre froide pour mettre sa puissance au service du complexe militaro-industriel américain en se lançant dans la construction d'ordinateurs. Ses ingénieurs développent deux familles de machines qui lui permettront de maintenir sa domination sur cette industrie. Son premier ordinateur scientifique est l'IBM 701 annoncé en 1952, ancêtre d'une longue lignée de gros calculateurs. Simultanément, IBM prépare des ordinateurs plus petits destinés à son marché habituel.

IBM 704 à la NACA (ancêtre de la NASA) en 1957. ▶





## 1952 ▶ Calculateur Bull Gamma 3

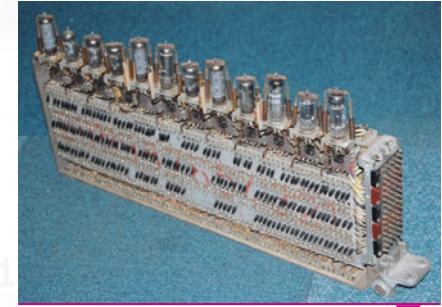


Montage et contrôle d'un Gamma 3 dans l'usine Bull à Paris.

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.

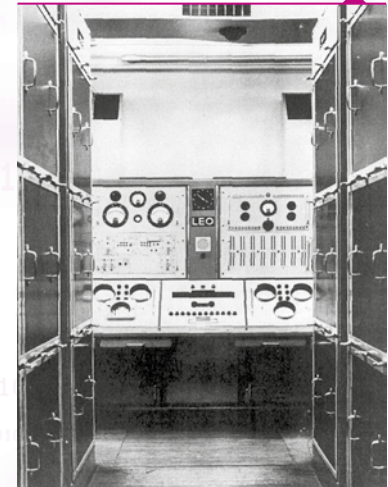


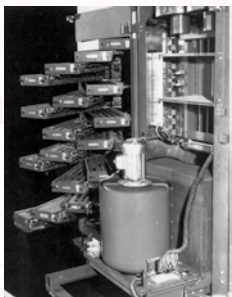
Circuit à diodes et tubes d'un Bull Gamma 3.

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

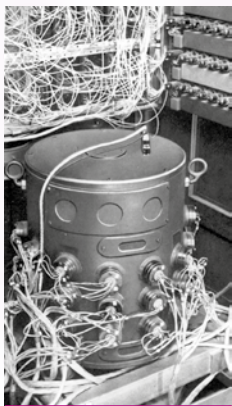
Aucune typologie n'étant parfaite, l'une des premières entreprises à construire des ordinateurs n'est pas un producteur de matériels électroniques ou bureautiques, mais un débiteur de boissons chaudes. Dès 1947 les dirigeants de J. Lyons & Cy, la célèbre chaîne de salons de thé, ont eu la curiosité de 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.





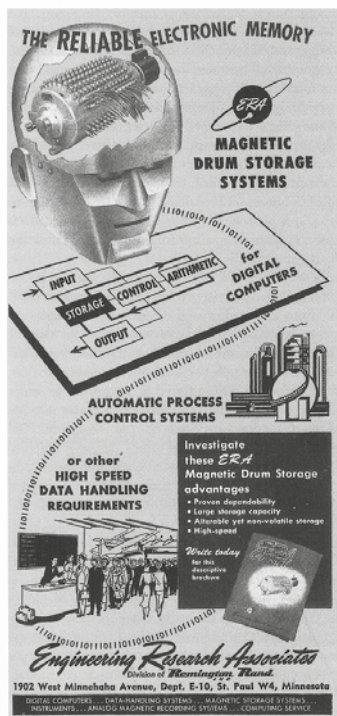
Tambour magnétique  
Bull.



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.

## 1952 ▶ La reconnaissance vocale

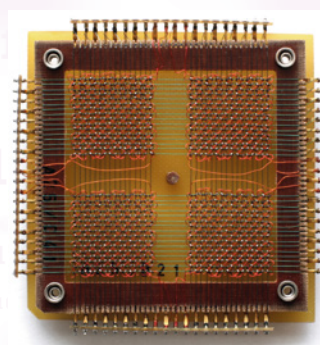
Nos assistants vocaux actuels font des prouesses en reconnaissance vocale : ils traitent des phrases entières en langage naturel et s'adaptent à tous leurs interlocuteurs. Mais pour en arriver là, une très grande puissance de calcul est nécessaire. En 1952, les ordinateurs naissants sont très loin de ces capacités. Cela n'empêche pas les Bell Labs de développer Audrey, un système de reconnaissance vocale. Audrey est une machine entièrement analogique à base de tubes à vide capable de reconnaître, après entraînement sur la voix souhaitée, les dix chiffres de 0 à 9, sous réserve qu'ils soient énoncés distinctement et séparément.

Occupant une armoire entière et consommant une forte puissance, Audrey était un prototype qui n'a pas eu de descendance industrielle mais a ouvert la voie en montrant que la reconnaissance vocale était possible.

## 1953 ▶ Mémoire à tores de ferrite

Après les travaux de An Wang en 1948, Jay Forrester (1918-2016) 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



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



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 dégingole quand elle est délocalisée dans le Sud-Est asiatique. Premier composant conçu spécifiquement pour les ordinateurs, les mémoires à tores de ferite 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. Le terme anglais, *magnetic-core memory*, a donné naissance à l'expression *core dump* ou vidage mémoire, correspondant à l'écriture dans un fichier de l'intégralité de la mémoire de travail (prenant ainsi un instantané de l'état du système) à des fins d'analyse suite à un plantage logiciel. L'expression est encore utilisée de nos jours bien que les mémoires à tores aient depuis longtemps disparu.

## 1954 ▶ Théorie des Algorithmes

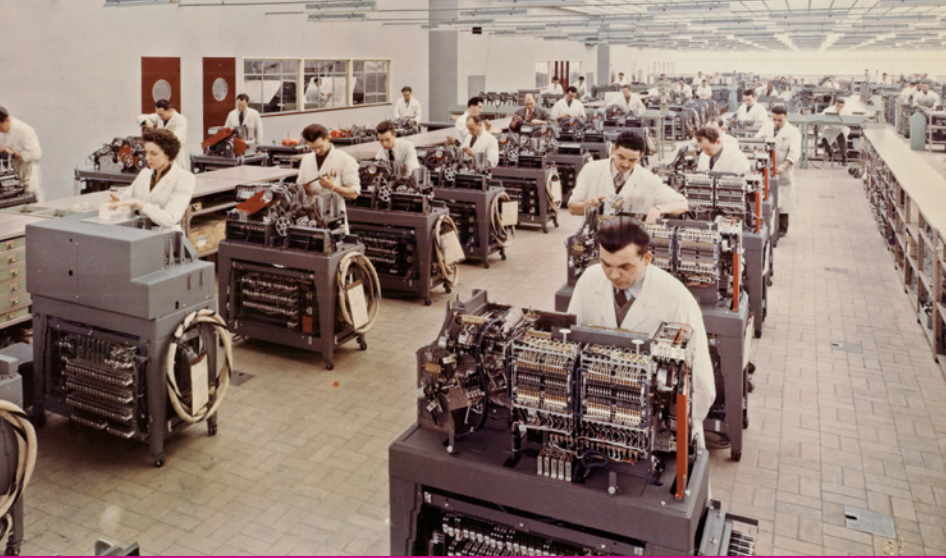
Le mathématicien, physicien et chimiste russe Andreï A. Markov (1903-1979) s'est orienté après la seconde guerre mondiale vers la logique et les fondements des mathématiques, créant l'école soviétique de mathématiques constructives. Après plusieurs articles marquants, il publie en 1954 un ouvrage magistral, *Teoria algoritmov*, 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.

Centre mécanographique de la BNCI à Paris (1954).





Montage des tabulatrices à l'usine IBM de Corbeil-Essonnes (1956).

### 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, 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.

La centralisation du traitement des données autour de grosses machines fait la preuve de son efficacité, au prix de contraintes gestionnaires — mais les cadres sont là pour s'en charger. La ques-

tion qui se pose est : jusqu'à quel degré de centralisation peut-on la pousser ? La réponse, qui varie d'une organisation à l'autre, déterminera l'adoption de l'ordinateur — et, plus tard, l'évolution vers les réseaux ou les petits systèmes.

Vers 1956, un ensemble mécanographique classique coûte environ 4 millions d'anciens francs — le prix de quatre Citroën DS avec options ! Un ordinateur commercial moyen vaut dix à quinze fois plus, de l'ordre de 50 à 75 millions ; c'est le prix d'un petit avion de ligne.

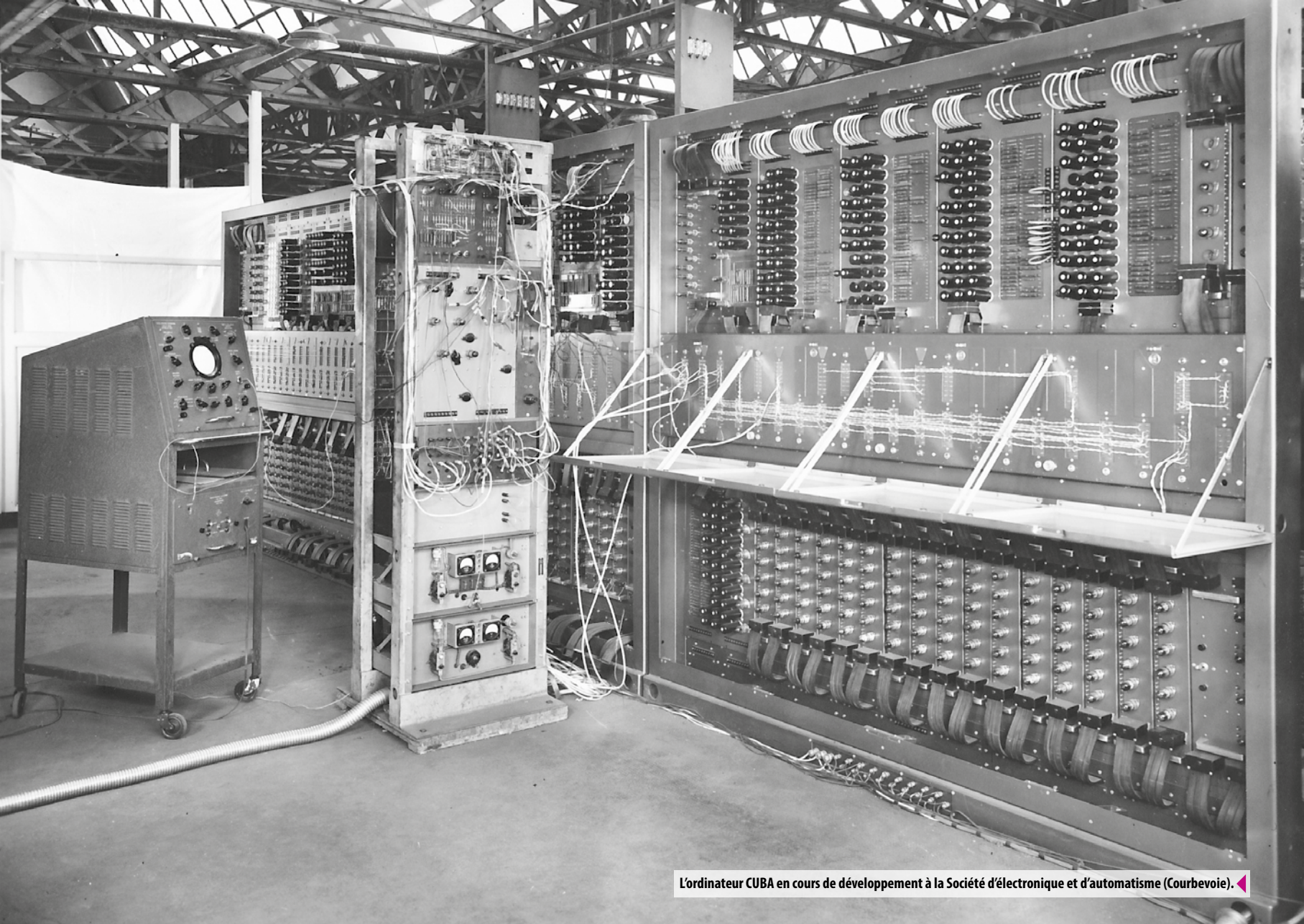
### 1954 ▶ Premier ordinateur français :

#### « CUBA » de la SEA

La Calculatrice universelle binaire de l'Armement (CUBA) a été commandée en 1951 par le laboratoire central de l'armement situé au fort de Montrouge à Arcueil. Le cahier des charges stipule des performances techniques élevées pour l'époque. Cette ambition s'avère excessive, pour un premier essai dans une technologie où il y a tant d'inconnues et où il faut presque tout inventer : architecture, technologies, composants de mémoires, méthodes de gestion de projet et de fabrication adaptées. Car pratiquement rien, sauf quelques composants, ne se trouve dans le commerce. Les ingénieurs de la Société d'électronique et d'automatisme (SEA) mettront quatre ans à développer cette grande machine, où chaque avancée entraîne des répercussions nécessitant de nouveaux ajustages, parfois la refonte complète d'un élément. La photo montre trois des sept racks occupés par l'ensemble arithmétique et logique et par la mémoire à tambour magnétique. On voit des nappes de câbles plats, l'une des innovations introduites en France par la SEA.

Du point de vue de l'histoire mondiale, CUBA n'est qu'un apprentissage technique difficile comme en ont vécu bien d'autres équipes. Ce qu'elle a de particulier, dans le contexte français, c'est que c'est une entreprise privée, non la recherche académique, qui assume tous les risques du développement d'un premier ordinateur.



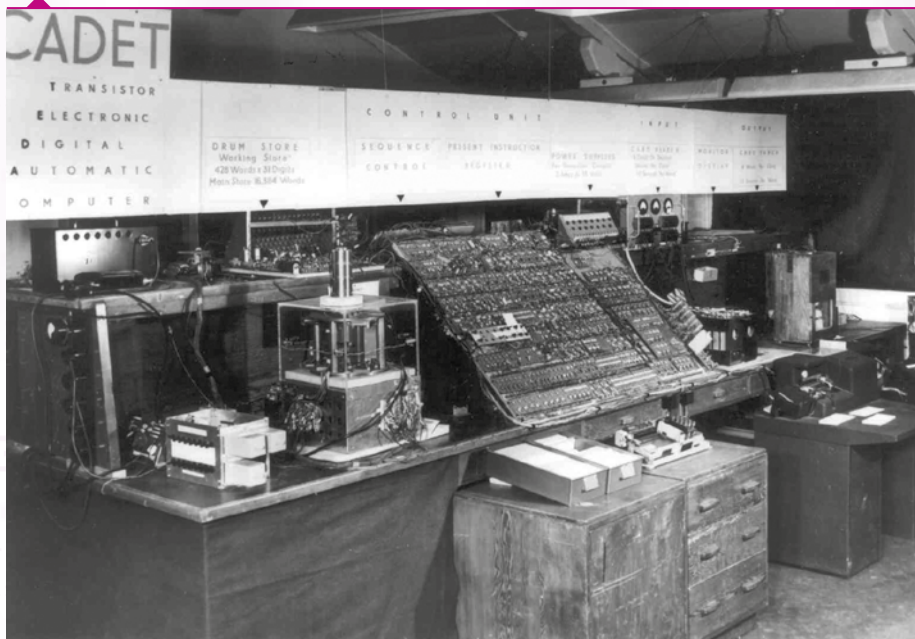




## 1954 ▶ Le transistor bon marché

Après l'invention du transistor bipolaire à jonction 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.**



## 1954 ▶ Traduction automatique

Dès les balbutiements de l'informatique, des scientifiques, mathématiciens ou linguistes, s'emparent de l'outil mais délaissent les calculs pour la manipulation de symboles en vue de la traduction automatique. En 1949, Warren Weaver (1894-1978), mathématicien impliqué dans le complexe militaro-industriel, publie un mémo fixant buts et méthodes en vue d'une automatisation de la traduction. Dans un contexte de guerre froide, l'objectif est pratique : pouvoir traduire des articles scientifiques et techniques du russe vers l'anglais. Des pistes de recherche sont lancées : faut-il du matériel spécialisé ? doit-on passer par une langue intermédiaire ? l'analyse syntaxique est-elle suffisante ?

En 1954, une première démonstration est organisée par IBM et son succès médiatique — la presse et le grand public s'exaltent devant les prouesses de la technique — est en décalage avec la médiocrité du résultat : le système est juste capable de traduire une cinquantaine de phrases choisies, avec un vocabulaire de seulement 250 mots, dans le domaine spécialisé de la chimie.

À la fin des années 1950, il existe une dizaine de laboratoires de traduction automatique aux États-Unis, financés par des organismes de recherche mais aussi par l'armée, et un nombre équivalent dans le reste du monde. En 1960, Yehoshua Bar-Hillel (1915-1975), un des premiers chercheurs à temps plein du domaine douche l'enthousiasme général en expliquant qu'une traduction complètement automatique est impossible car il faut un sens commun extra-linguistique pour distinguer entre plusieurs possibilités ; il prône une traduction humainement assistée.

Le coup fatal est porté par l'ALPAC, comité gouvernemental sur le traitement automatique des langages. Son rapport, publié en 1966, est très critique, déplorant le manque de progrès dans le domaine et estimant les coûts de la traduction automatique et assistée comme supérieurs à une traduction humaine ou à une formation en langue ; très rapidement, les financements étatiques s'assèchent. Il faudra attendre les années 1990, avec les



micro-ordinateurs, et surtout les années 2000 pour voir le retour de la traduction automatique, non plus basée sur une analyse symbolique mais sur un traitement statistique effectué à partir de gigantesques corpus de textes et utilisés comme exemples d'apprentissage pour des réseaux de neurones profonds.

## 1955 ▶ Avènement des transistors : la « deuxième génération »

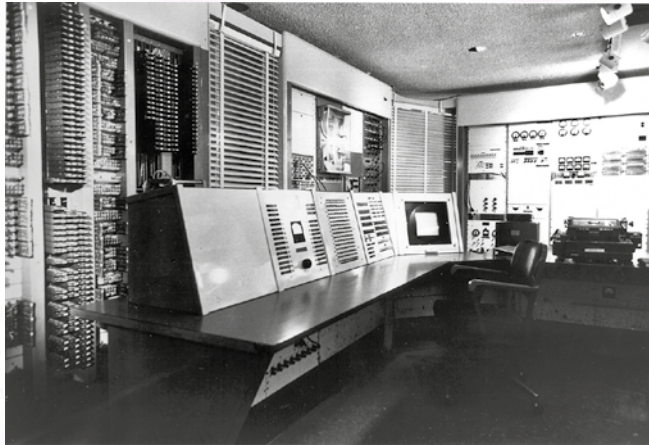
En Angleterre, une équipe de l'université de Manchester s'est lancée dès 1952 dans l'étude d'un petit ordinateur à transistors, opérationnel en novembre 1953 : c'est le premier ordinateur transistorisé de l'histoire. Une version plus puissante entre en service en avril 1955 (200 transistors, 1 300 diodes 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



IBM 7090 utilisé en recherche atomique au Lawrence Livermore National Laboratory, l'un des plus grands clients du calcul intensif.

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.

Entre temps aux États-Unis, la compagnie Bell Telephone (où le transistor a été inventé quelques années plus tôt) a réalisé début 1954 le TRADIC, calculateur destiné à être embarqué sur des bombardiers stratégiques. IBM commercialise son premier calculateur civil transistorisé, l'IBM 608, en 1957.



Le TX-0 du MIT.



Module mémoire d'un IBM 7090.



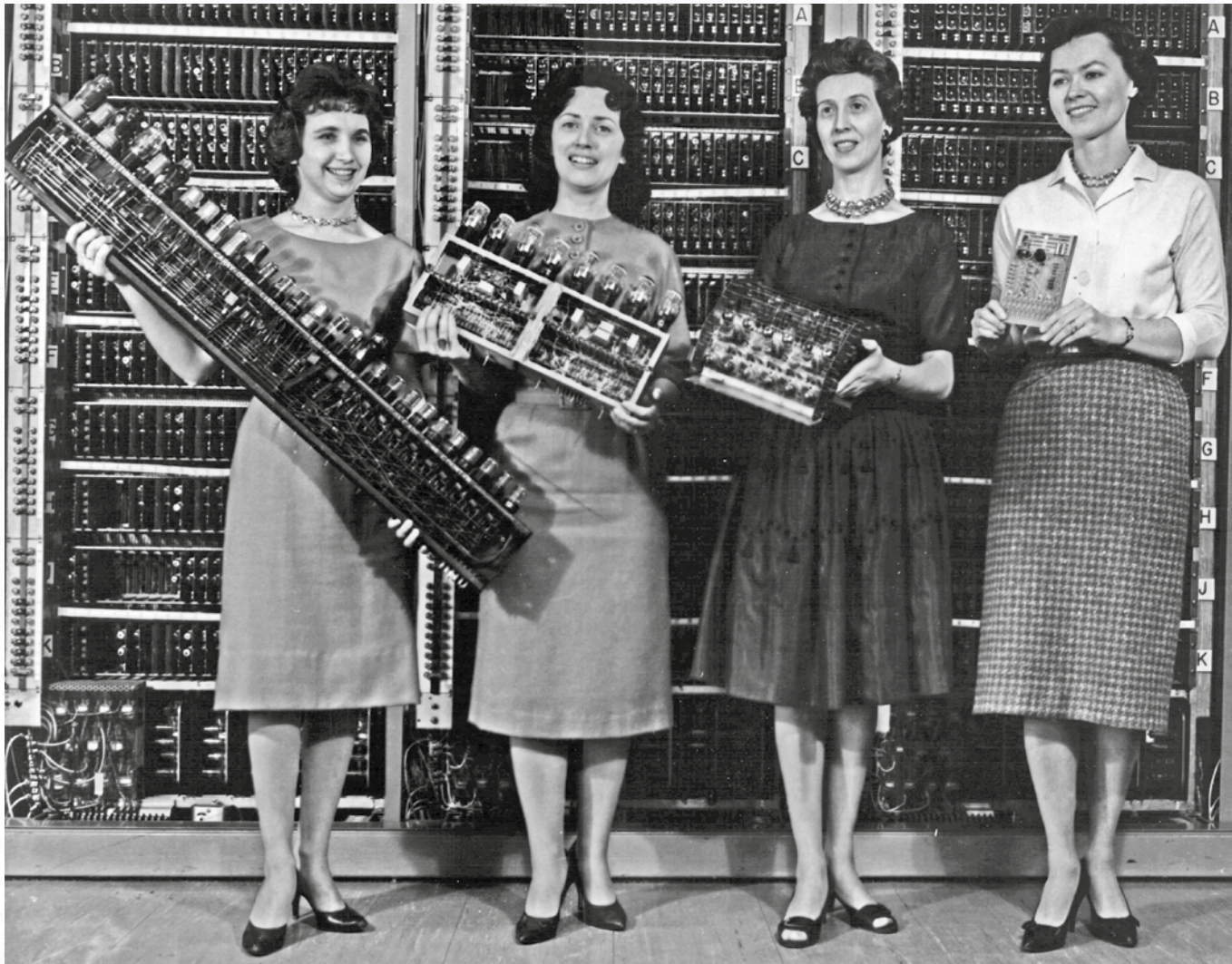
IBM 7094 à l'université de Columbia en 1965.

En Europe, une équipe constituée au sein d'IBM France développe des ordinateurs transistorisés pour le guidage de missiles et le traitement des signaux radars. Un assistant de l'université technologique de Vienne, Heinz Zemanek, construit le Mailüfterl (1956-1958). En Allemagne, Siemens réalise en 1956 le prototype de sa série Siemens 2002, commercialisée de 1959 à 1966.

Comme toujours, la notion de « première » est relative et n'a qu'un intérêt historique secondaire. Elle dépend largement de la définition de l'objet. Le premier ordinateur complètement transistorisé semble être le CADET construit en 1955 au centre atomique de Harwell (GB).

La réalisation la plus significative est sans doute le TX-0 construit au Lincoln Lab du MIT en 1955-1956. Nettement plus puissant que les précédents, c'est une version transistorisée du fameux Whirlwind.





Quatre générations successives de circuits, de fonction comparable, sur quatre modèles d'ordinateur : ENIAC (1946), EDVAC (1948), ORDVAC (1951) et BRLESC (1962).

Il incorpore 3 600 transistors produits par Philco, basés sur une nouvelle technologie permettant un fonctionnement à haute fréquence, convenant bien aux ordinateurs. Transféré en 1958 au nouveau laboratoire d'intelligence artificielle du MIT, le TX-0 et son descendant direct, le PDP-1 de Digital Equipment, deviendront des plates-formes pour les recherches en informatique temps-réel et les pratiques de ce que l'on appellera plus tard la culture des « hackers ».

L'important est aussi qu'avec ces diverses machines, beaucoup de gens voient advenir une « deuxième génération » d'ordinateurs, plus petits, plus puissants, moins chers, plus fiables. Ce qui contribue à ancrer la conviction que ces machines sont désormais bien là pour durer, pour se diffuser et pour continuer à progresser.

Dès 1959, IBM propose trois modèles d'ordinateurs entièrement transistorisés qui auront un grand succès : le 1401 pour des applications de traitement de données, le 7090 pour le calcul scientifique et le 1620, petit calculateur scientifique d'entrée de gamme qui sera très apprécié des universités. Les concurrents font de même, en Europe comme en Amérique du Nord. De façon moins visible, les militaires ont été les premiers à faire construire des ordinateurs transistorisés pour contrôler leurs systèmes d'armes.

Cependant, d'autres voies alternatives aux tubes sont explorées. Diverses entreprises au Japon, en Amérique et en France développent des circuits logiques à composants magnétiques (Parametron, Symmag, etc.), fiables et peu coûteux, pour construire de petits ordinateurs temps-réel. Ceux-ci remporteront des succès temporaires, mais leurs limites physiques intrinsèques ne leur permettront pas de poursuivre la lutte face aux progrès des semi-conducteurs.

Ordinateur IBM 650 au centre de calcul parisien d'IBM.

## 1955 ▶ IBM 650 :

### apparition en France de l'ordinateur

Conçu par les ingénieurs et le management d'IBM comme « *a machine for ordinary business* », par opposition aux calculateurs géants de l'époque, l'IBM 650 *Magnetic Drum Calculator* à tubes a été annoncé en 1953. En fonction d'un prix de location de 3 750 dollars par mois, son marché potentiel était alors estimé à 250 exemplaires. La légende selon laquelle le patron d'IBM aurait prédit que le monde n'aurait besoin que « d'une dizaine » de ces machines est sans fondement ; sa popularité s'explique sans doute par ce qu'elle confortait le jugement sévère des petites firmes de pointe envers IBM, trop engluée dans la mécanographie pour réussir vraiment à faire des ordinateurs.





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*.

Publicité d'IBM.

**IBM**  
FRANCE

l'automation  
par l'électronique

**IBM 650**

Calculateur  
à tambour magnétique

12.500 tours/minute.  
20.000 positions de mémoire.

## 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 m<sup>3</sup> contient 5 millions de caractères (sur 6 bits) répartis sur 50 disques d'environ 60 cm de diamètre. L'ordinateur complet, le RAMAC 305, occupe une pièce de 135 m<sup>2</sup> et pèse une tonne ! L'accès aux données est relativement lent (un temps d'accès d'environ une demi-seconde et un taux de transfert de moins de 10 000 caractères par seconde). 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

Le disque dur était déjà portable...

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.





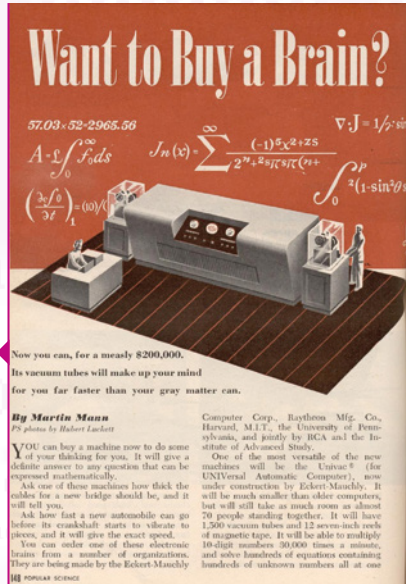
Une innovation de rupture :  
le disque magnétique  
IBM 305 RAMAC.

## 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 (1927-2016). 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, appelées *hivers de l'IA*, déclenchées à la fois par les désillusions et par des critiques de fond contre les présupposés de ces projets. Le processus reprend une génération plus tard — la génération pouvant être humaine ou technologique.

Herbert Simon (G) et Allen Newell (D) vers 1958.

### 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.

### 1957 ▶ *Logic Theorist*

Alors que le terme d'intelligence artificielle n'existe pas encore et que l'informatique est immanquablement associée au calcul scientifique, en 1956 Allen Newell (1927-1992), Herbert A. Simon (1916-2001) et Cliff Shaw (1922-1991) écrivent *Logic Theorist*, un programme capable de manipuler des symboles et d'automatiser le raisonnement via le développement d'un arbre de recherche et l'usage d'heuristiques pour le parcourir. Le programme arrive à redémontrer 38 des 52 premiers théorèmes de logique des *Principia Mathematica* de Whitehead et Russell, donnant parfois une preuve plus élégante que l'originale. *Logic Theorist* est souvent considéré comme le premier programme d'intelligence artificielle et ses auteurs seront pionniers dans le développement de l'IA symbolique.



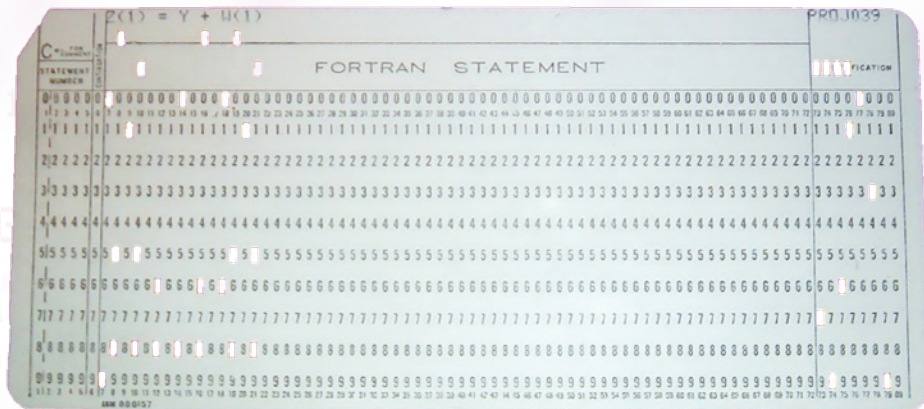


### 1957 ▶ FORTRAN

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. Les programmeurs étaient au départ sceptiques sur son utilité car ils pensaient qu'un code généré automatiquement par compilation ne pourrait jamais égaler les performances d'un programme codé « à la main » en assembleur ; un compilateur optimisé et la facilité d'utilisation ont rapidement convaincu les plus récalcitrants. Ce langage est encore mondialement utilisé, principalement à cause du grand nombre de bibliothèques de programmes disponibles.

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

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



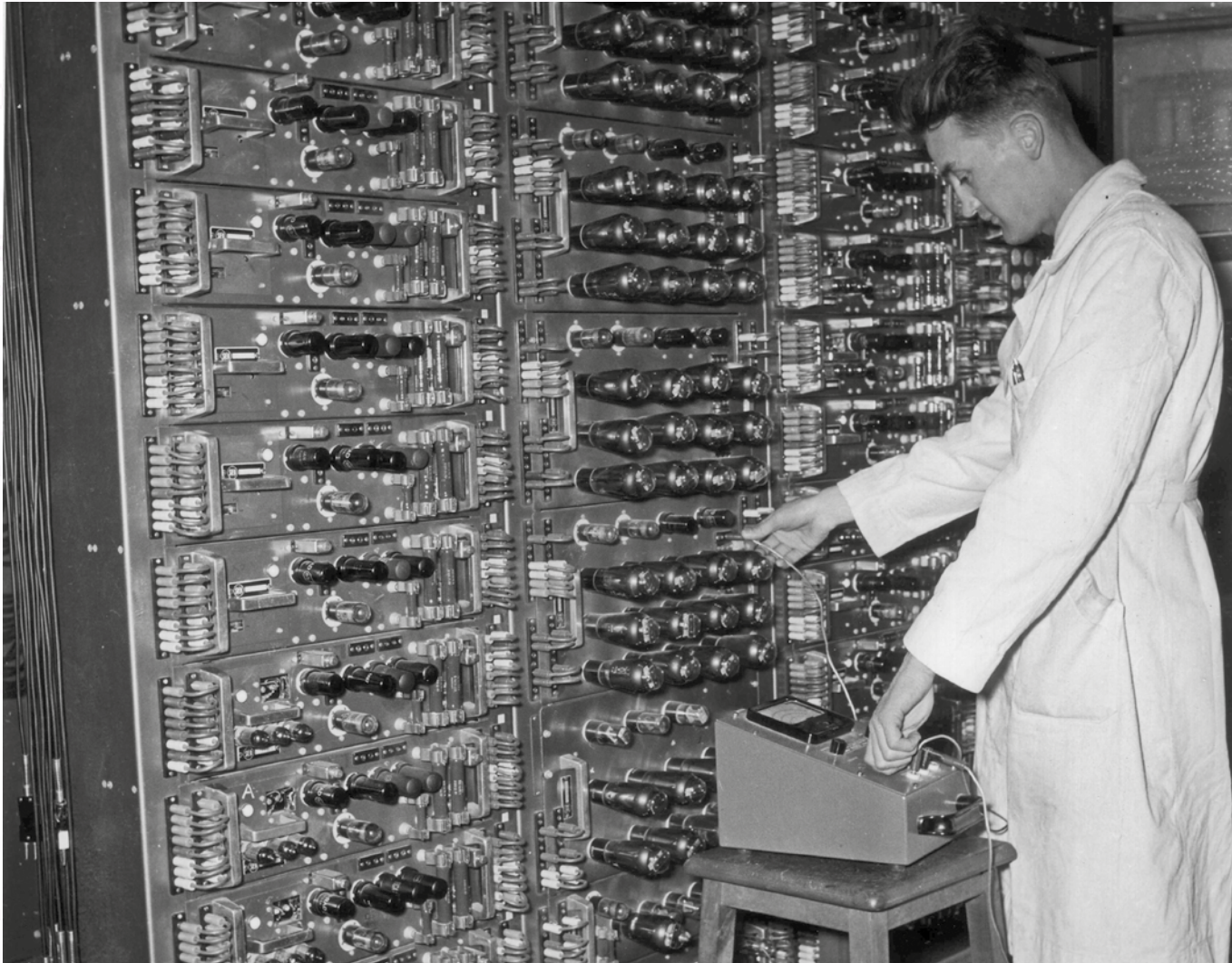
### 1958 ▶ Maintenance et fiabilité

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 ! ».





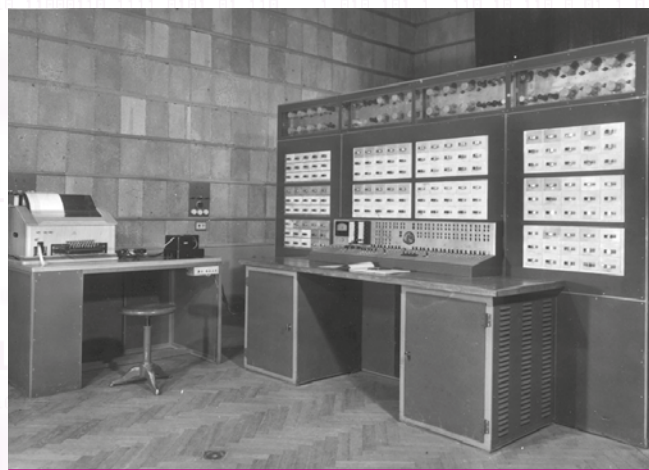


► Maintenance des circuits à tubes d'un ordinateur à l'université de Grenoble.

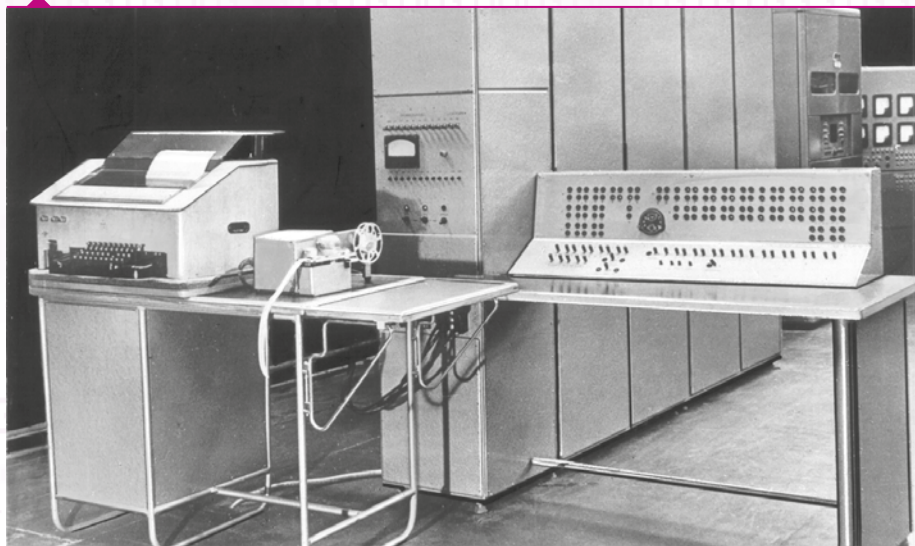
## 1958 ▶ Ordinateur ternaire Setun

Le concept de calculateur en base ternaire, imaginé dès le XIX<sup>e</sup> siècle par l'Anglais Fowler, est redécouvert et développé à l'université de Moscou par l'équipe de N.P. Brusentsov. Son ordinateur Setun entre en service en 1958 et démontre ses avantages : la logique ternaire (oui / non / incertain), inspirée d'Aristote, correspond bien à la pensée humaine et facilite la programmation. Du point de vue électronique, le système ternaire permet de traiter plus d'informations que le binaire, donc réduit le nombre de composants et par conséquent la consommation électrique. Réalisé en technologie à noyaux magnétiques, cet ordinateur petit et fiable entre en service en 1958. Il sera construit à une cinquantaine d'exemplaires seulement, la planification soviétique ayant confié sa production à une usine de calculateurs mécaniques qui ne s'y intéresse pas.

Ordinateur ternaire Setun à l'université de Moscou.



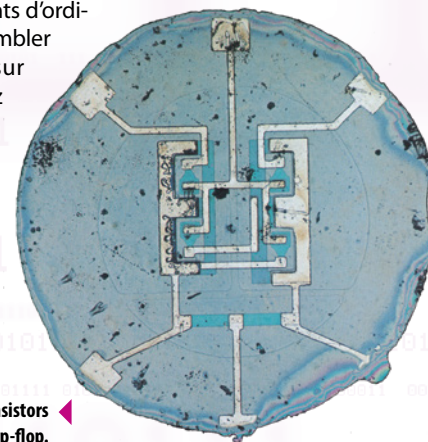
Ordinateur ternaire Setun à l'université de Moscou.



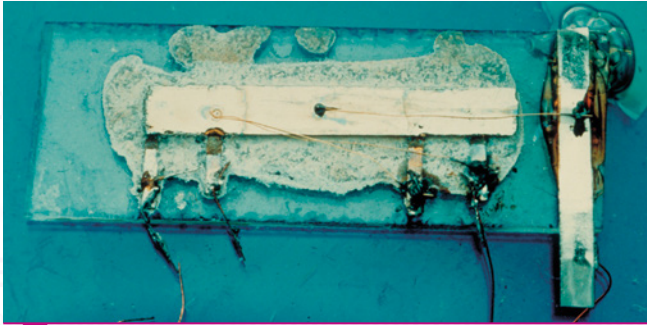
Premier circuit intégré industriel, fabriqué chez Fairchild en 1960. Il contient 4 transistors (cônes bleutés au centre) et 5 résistances (barres bleues). Il s'agit d'une bascule flip-flop.

## 1958 ▶ Premier circuit intégré

Paradoxe de l'industrie du hardware : les fabricants de composants découpent soigneusement leurs plaques de semi-conducteurs en mille fragments pour en faire des transistors ou des diodes, puis les fabricants d'ordinateurs s'acharnent à rassembler ceux-ci en les soudant sur des cartes. Ingénieurs chez Texas Instruments et chez Fairchild Semiconductor, Jack Kilby (1923-2005) et Robert Noyce (1927-1990) ont, séparément, l'idée de former directement sur une même plaque de silicium plusieurs







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

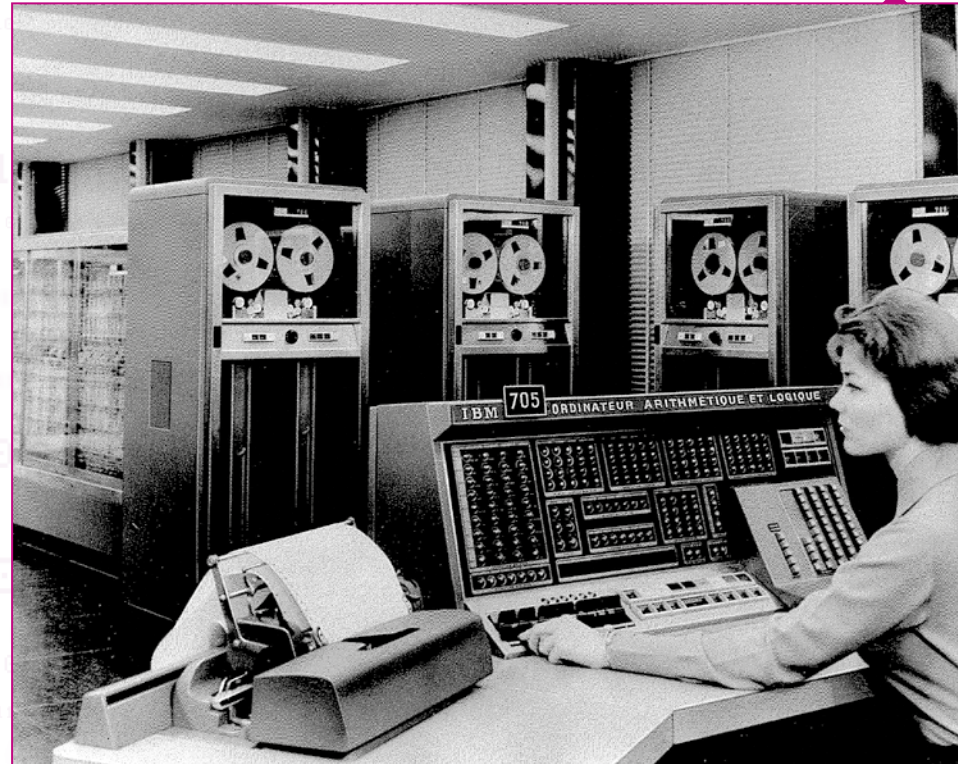
Les brevets d'un traitement de texte sont déposés dès 1954 par la Société d'électronique et d'automatisme (SEA) au nom de « BBR » (Bafour-Blanchard-Raymond). Le système est développé à Courbevoie sur un ordinateur CAB 2000 en coopération avec l'Imprimerie nationale,



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 BNCF.

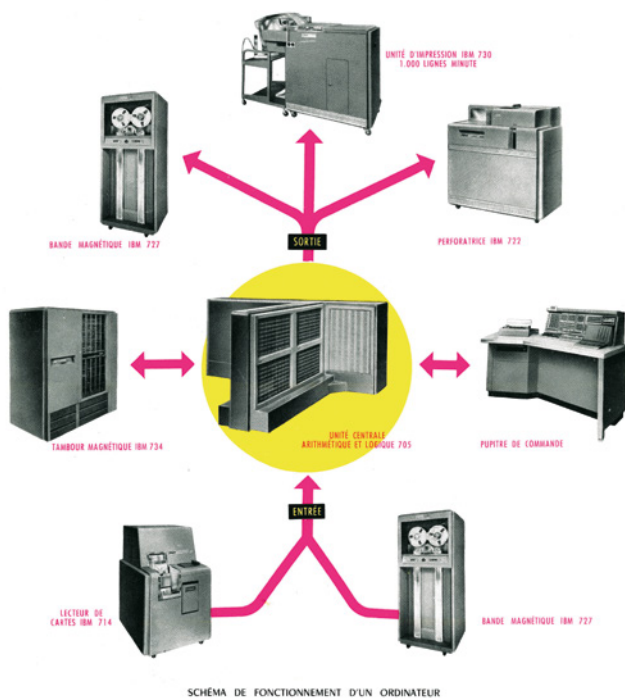


## 1959 ▶ IBM 705 :

## 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.

## L'AUTOMATION ADMINISTRATIVE PAR L'ORDINATEUR 705



Pédagogie d'IBM :  
l'automatisation administrative par l'ordinateur 705.

## 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. Basé sur un phénomène de résonance dans un circuit LC, le Parametron permet de représenter un bit sous la forme de la phase de l'oscillation du circuit. Remplaçant les tubes à vide, 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. Il a été abandonné au milieu des années soixante, concurrencé par le transistor dont la vitesse de commutation était nettement plus rapide.

Ordinateur FACOM 201 de Fujitsu, développé en 1960.





## 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.

## 1959 ▶ Quicksort

Il existe de nombreux algorithmes de tri et leur analyse fait les délices des cours d'algorithmique. En 1959, alors qu'il travaille sur un programme de traduction automatique qui doit trier les mots russes d'une phrase avant de les chercher dans un dictionnaire, Tony Hoare comprend que le tri par insertion initialement envisagé sera trop lent. Il invente alors l'algorithme Quicksort, ou tri rapide, basé sur la technique de « diviser pour régner » qui découpe un problème en sous-problèmes plus simples à résoudre. Grâce à la récursivité introduite dans le langage ALGOL en 1960, Hoare pourra publier son code l'année suivante et Quicksort deviendra l'un des algorithmes de tri les plus classiques et les plus utilisés.

Une implémentation de quicksort en Python.

```
from random import randint

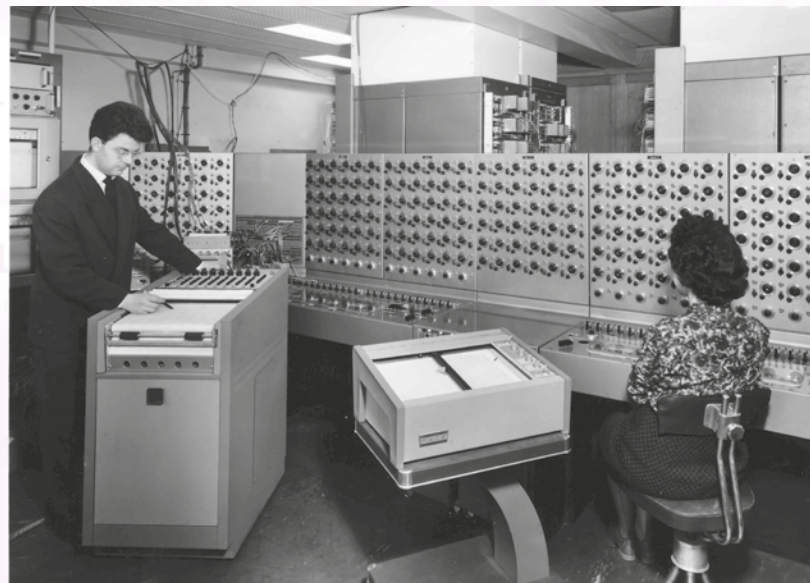
def partitionner(L, premier, dernier, pivot):
    L[pivot], L[dernier] = L[dernier], L[pivot]
    j = premier
    for i in range(premier, dernier):
        if L[i] <= L[dernier]:
            L[i], L[j] = L[j], L[i]
            j += 1
    L[dernier], L[j] = L[j], L[dernier]
    return j

def tri_rapide(L, premier, dernier):
    if premier < dernier:
        pivot = randint(premier, dernier)
        pivot = partitionner(L, premier, dernier, pivot)
        tri_rapide(L, premier, pivot-1)
        tri_rapide(L, pivot+1, dernier)
```

## 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.

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

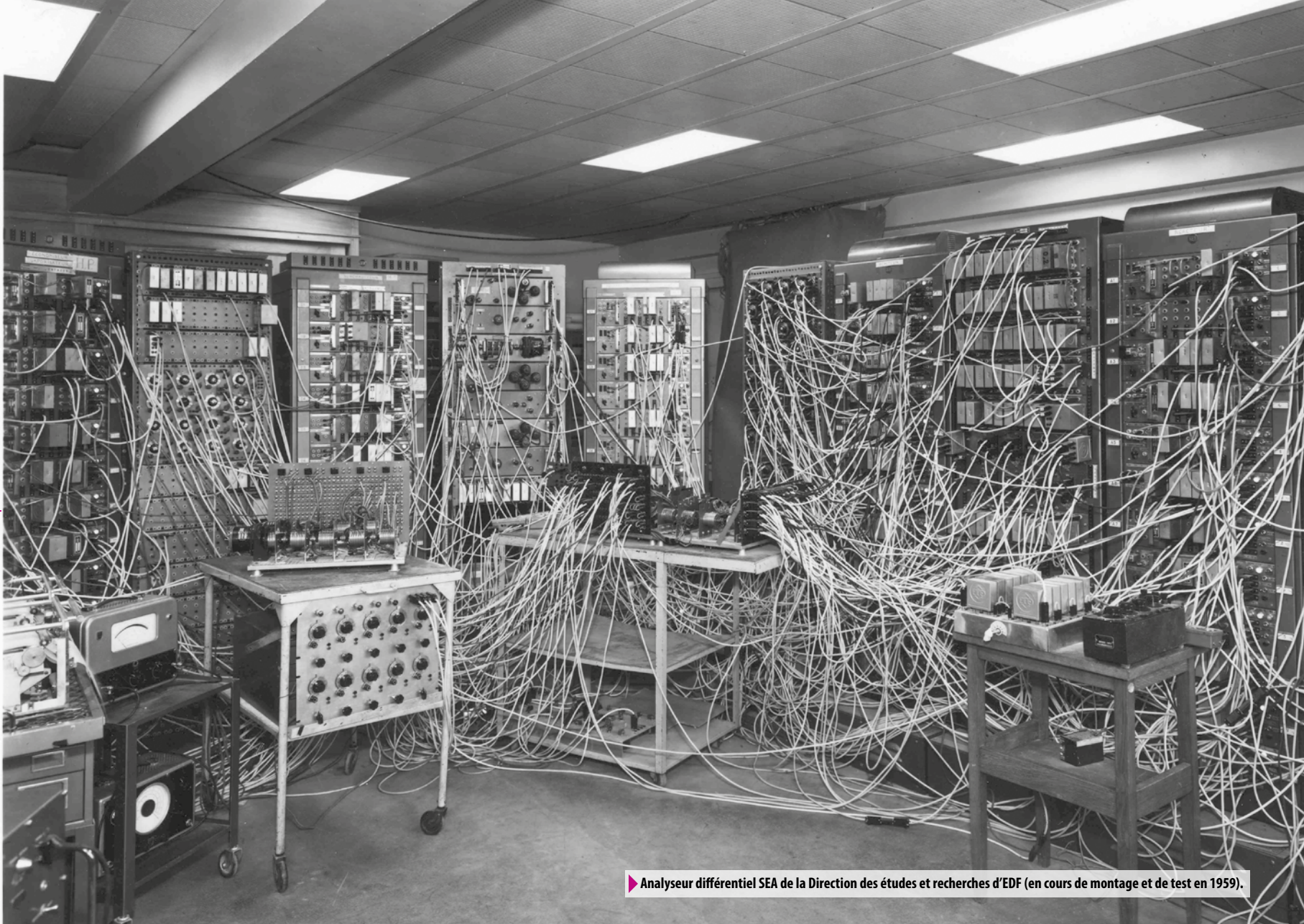


Analyseur différentiel SEA de la Direction des études et recherches d'EDF.

## 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





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



Calculateur analogique SEA Nadac100 (1963).



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

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.

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



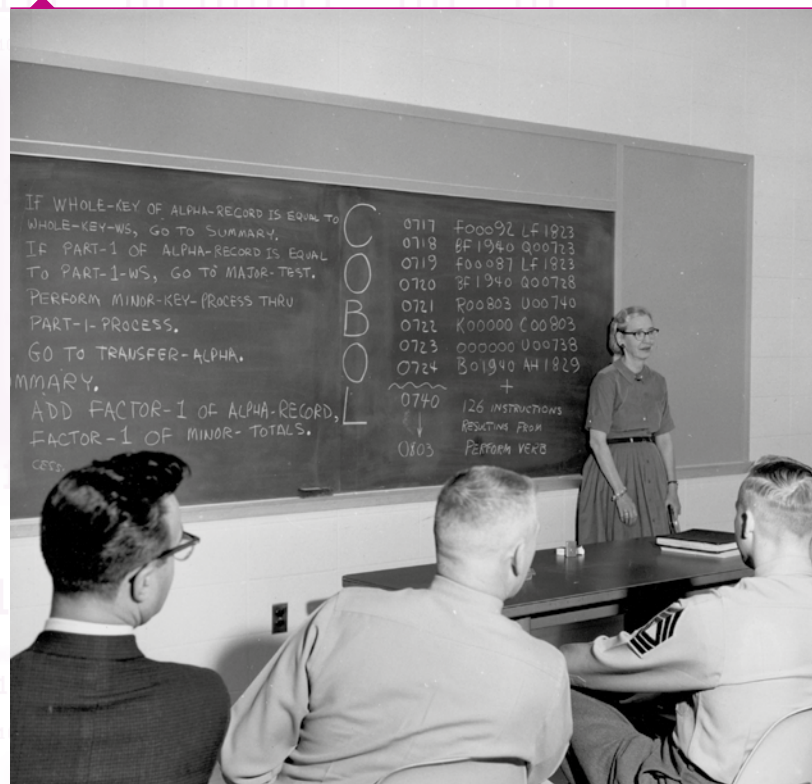
### 1960 ▶ Ordinateur analogique électronique

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.

### 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 donnant un cours de COBOL en 1961.

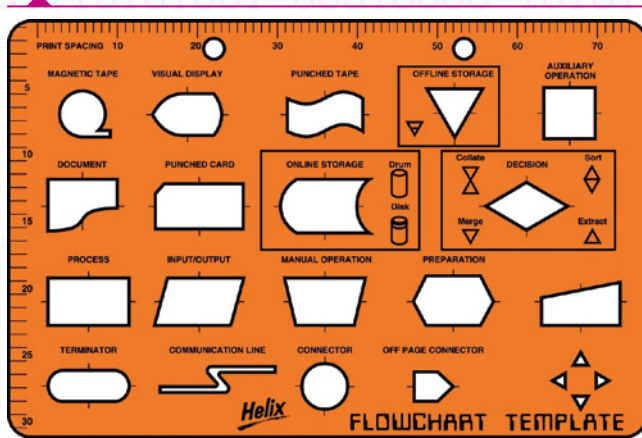


IF WHOLE-KEY OF ALPHA-RECORD IS EQUAL TO WHOLE-KEY-WS, GO TO SUMMARY.  
 IF PART-1 OF ALPHA-RECORD IS EQUAL TO PART-1-WS, GO TO MAJOR-TEST.  
 PERFORM MINOR-KEY-PROCESS THRU PART-1-PROCESS.  
 GO TO TRANSFER-ALPHA.  
 SUMMARY.  
 ADD FACTOR-1 OF ALPHA-RECORD.  
 FACTOR-1 OF MINOR-TOTALS.  
 COBOL  
 0717 F00092 LF1923  
 0718 BF1940 Q00723  
 0719 F00087 LF1923  
 0720 BF1940 Q00728  
 0721 R00803 U00740  
 0722 K00000 C00803  
 0723 000000 U00738  
 0724 B01940 AH1829  
 +  
 0740 126 INSTRUCTIONS  
 RESULTS FROM  
 0103 PERFORM VERB



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 *L*anguage) 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/I, Pascal, C...).

### 1960 ▶ Olivetti Elea 9003

Grand fabricant italien de machines à écrire et à calculer, renommé pour l'esthétique soignée de ses produits qui reflète une réelle volonté de « changer la vie », Olivetti s'est lancée au milieu des

années cinquante dans le développement d'ordinateurs, en collaboration avec l'université de Pise. Cet effort aboutit à la commercialisation d'une des premières séries transistorisées au monde, Elea 9003, conçue pour la multiprogrammation. Son succès commercial honorable entraîne le lancement d'autres modèles, mais ne génère pas une rentabilité convaincante. La division électronique d'Olivetti passera en 1963 sous le contrôle de l'Américain General Electric, qui continuera à diffuser de petits ordinateurs développés par les équipes italiennes.

**Olivetti Elea 9003 : une esthétique ergonomique très originale conçue par le designer Ettore Sottsass.**



**Bull Gamma 60 à la Banca Nazionale del Lavoro, à Rome.**

## 1960 ▶ Bull Gamma 60

Rompant avec les extensions de matériels mécanographiques, Bull s'est lancée en 1957 dans le développement d'un gros ordinateur universel, innovant sur tous les plans : transistors, mémoires à tores de ferrite, multiprogrammation... Les ingénieurs ont carte blanche et aucun cadrage financier ou stratégique. En 1960, tandis que le prototype fonctionne bien, on découvre qu'il lui faudrait des programmes et surtout un système d'exploitation pour être compétitif face à la marée de nouveaux produits IBM et Univac. On met les bouchées doubles pour y remédier, mais il est trop tard et certains clients annulent leurs commandes. Une quinzaine d'exemplaires seulement seront installés en clientèle. Cet échec managérial coûte cher à Bull, qui cherchera désespérément des appuis auprès de l'État et des grands constructeurs électriques français, puis préférera passer en 1964 sous le contrôle de General Electric.



## 1960 ▶ IBM 1401 : la 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.

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

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).

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.

## 1960 ▶ Port RS-232



Ports série et parallèle avec connecteurs à 9 et 25 broches.

Afin de standardiser l'interface de connexion entre terminaux et modems, l'association des industries électroniques, propose le protocole RS-232 (*Recommended Standard 232*) qui définit les connecteurs ainsi que la signification et les caractéristiques électriques des signaux échangés. En quelques années, le port RS-232, appelé port série, devient standard sur tous les micro-ordinateurs et permet de relier un périphérique (souris, modem) par une liaison série. Il est supplanté par l'interface USB au début des années 2000 mais est encore utilisé pour sa fiabilité et robustesse sur les systèmes industriels automatisés.

IBM 7030 Stretch au centre de recherche atomique anglais.



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

## 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.



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

Sur l'idée de Fernando Corbató (1926-2019), 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.

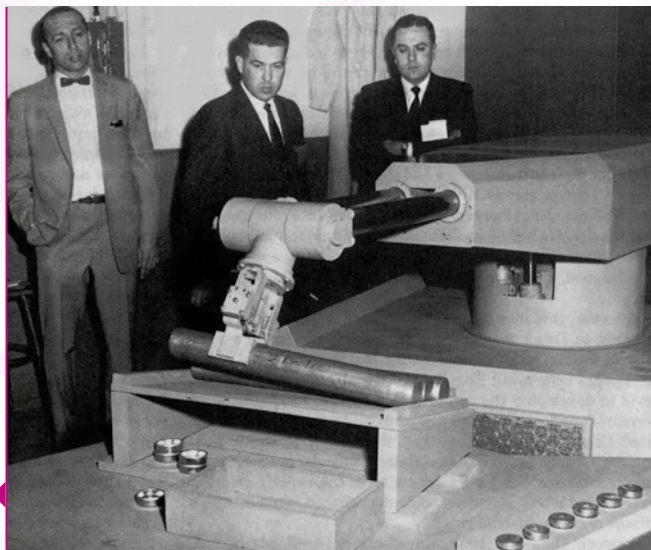
CTSS démontre la viabilité du temps partagé et inspirera la conception des systèmes ultérieurs tels Multics, puis Unix.



▶ Fernando Corbató au MIT dans les années 1960.

## 1961 ▶ Unimate, la robotique industrielle

Unimate, le premier robot industriel inventé par George Devol (1912-2011) et Joseph Engelberger (1925-2015), est mis en place sur une ligne d'assemblage de General Motors. Il y saisit des pièces métalliques à très haute température et les déplace vers des bains de refroidissement. La programmation du robot se fait par apprentissage avec un opérateur humain qui reproduit la séquence de mouvements et de contrôle avant mémorisation par l'appareil. Pour limiter les réactions de rejet (les ouvriers craignaient d'être mis au chômage), Engelberger multiplie les actions de promotions : démonstration lors de foires et même passage dans une émission de télévision où le robot joue au golf et ouvre une bière !



Joseph Engelberger (G) et le Unimate #001 en phase de tests.

## 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-franco-phones (*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 ▶ LINC

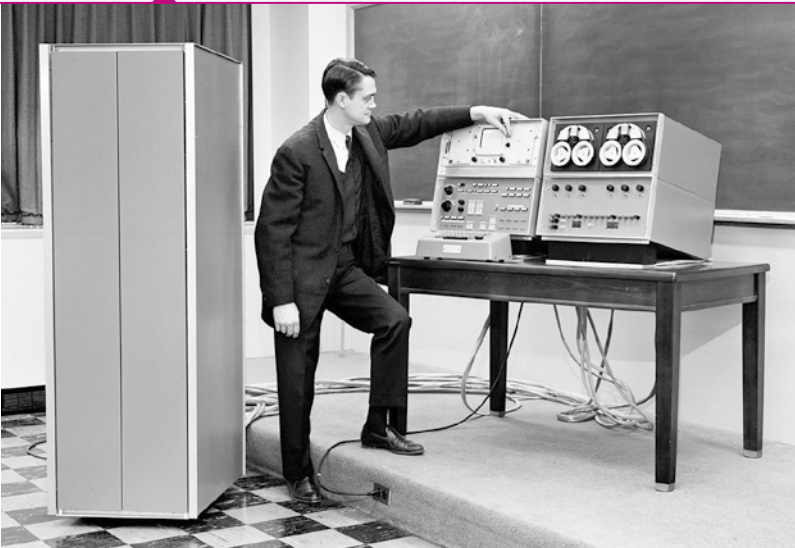
Au moment où l'ordinateur, forcément conséquent, se partage entre utilisateurs via le moderne *time-sharing*, des ingénieurs du MIT pensent qu'il vaut mieux adapter l'ordinateur aux scientifiques plutôt que l'inverse. Développé par Wesley A. Clarke (1927-2016), déjà architecte des TX-0 et TX-2 du MIT, et par Charles Molnar (1935-1996), le LINC (*Laboratory INstrument Computer*) est parfois considéré



comme le premier mini-ordinateur et un précurseur des ordinateurs personnels. Il s'agit d'un ordinateur transistorisé ayant une mémoire de 2 048 mots de 12 bits. Sa particularité est de tenir dans un armoire, associée à quatre modules d'entrées/sorties (un écran cathodique 256 par 256 pouvant servir d'oscilloscope, un lecteur de bandes magnétiques, un panneau de contrôle pour le débogage et une interface de connexion pour capteurs externes) complétés par un clavier.

Dédié à un utilisateur unique et piloté par le couple écran-clavier, le LINC était un ovni dans le paysage informatique de l'époque dominé par les *mainframes*. Destiné aux laboratoires de recherches biomédicales – d'où le module lié aux capteurs –, le LINC sera vendu à une cinquantaine d'exemplaires au prix unitaire d'environ 200 000 dollars actuels.

**Wesley A. Clarke et le LINC.** À gauche, l'armoire contenant les transistors de contrôle ; à droite, les quatre modules (écran, bandes, contrôle et entrées externes).



## 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 System/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.



Dan Edwards et Peter Samson jouant à Spacewar!.

## 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.



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 aéronaves ne sont plus, à la limite, que les « terminaux » mécaniques du réseau radioélectrique. C'est sans doute le premier réseau numérique européen.

## 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.

## 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.





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.







## 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
𐀠	𐀡	𐀢	𐀣	𐀤	𐀥	𐀦	𐀧	𐀨	𐀩	𐀪	𐀫	𐀬	𐀭	𐀮	𐀯
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
𐀠	𐀡	𐀢	𐀣	𐀤	𐀥	𐀦	𐀧	𐀨	𐀩	𐀪	𐀫	𐀬	𐀭	𐀮	𐀯
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

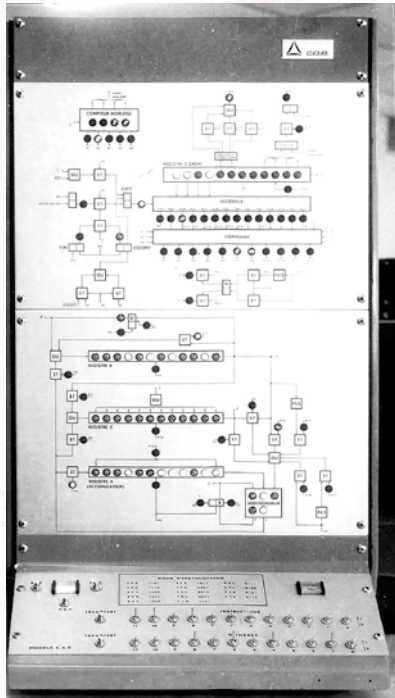
Exemple de table de codage Unicode pour représenter l'alphabet syllabique du linéaire B, utilisé pour l'écriture du mycénien, une forme archaïque du grec ancien.



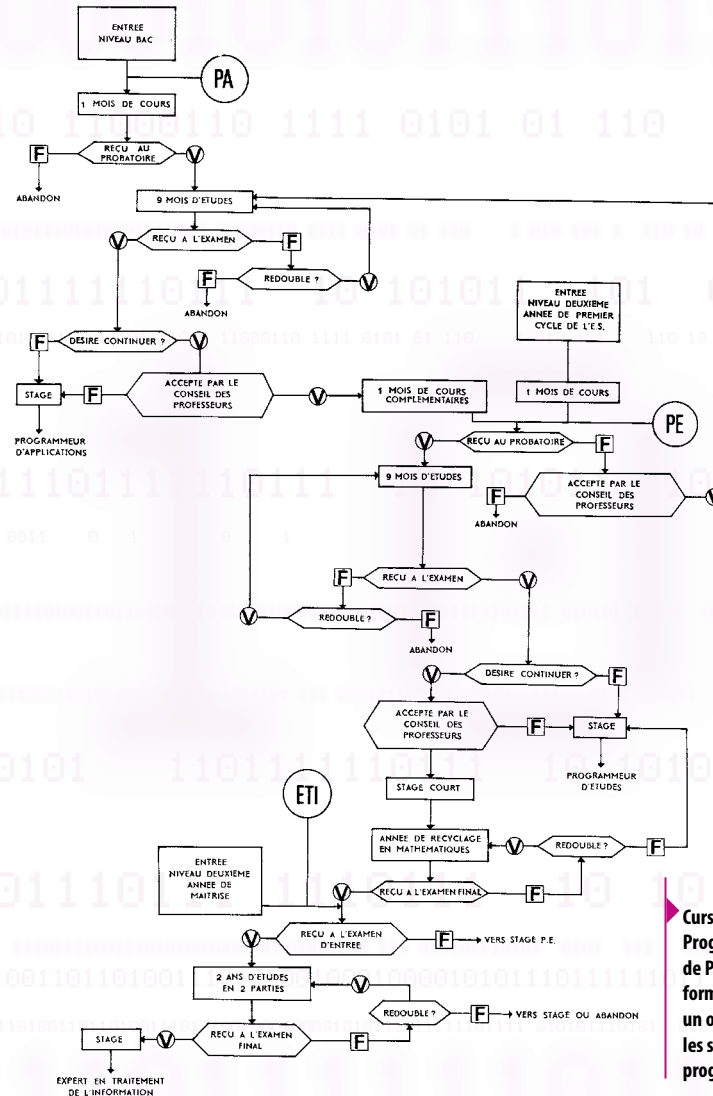
## 1963 ▶ Formation des informaticiens

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 (Instituts Universitaires de Technologie). D'autres diplômes s'y ajouteront plus tard pour répondre à la demande.



Calculateur minimal utilisé à Supelec en 1966 pour enseigner la programmation.



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**  
SIÈGE SOCIAL : 16, BOULEVARD DES ITALIENS - PARIS (9<sup>e</sup>)

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° \_\_\_\_\_

**246060004066430175**

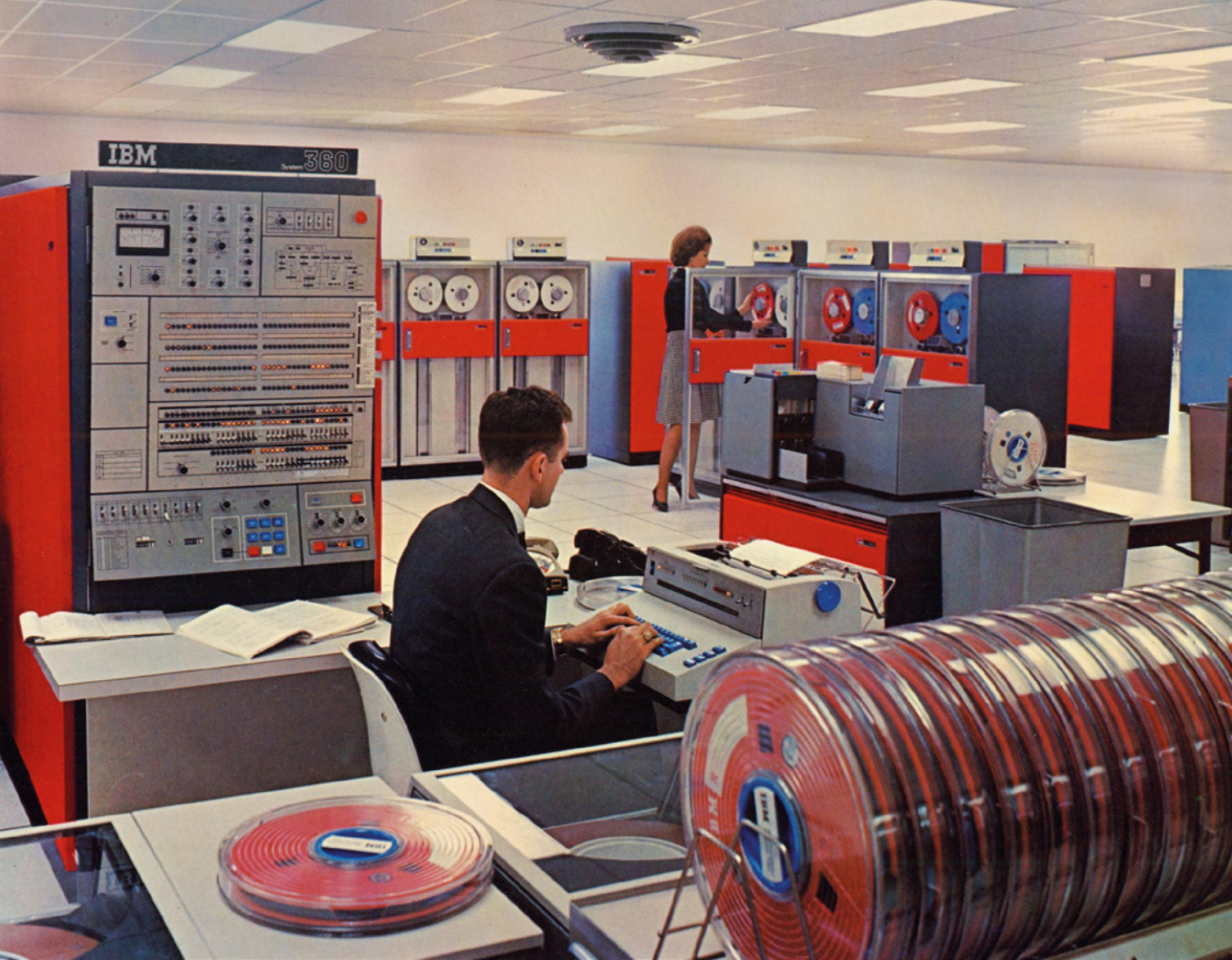
## 1964 ▶ IBM System/360



Installation IBM System/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.



Alors que les systèmes précédents avaient des tailles de représentation de données extrêmement variables, IBM introduit l'octet (8 bits) comme unité standard de description de données, qui deviendra un standard de fait encore universel aujourd'hui. Moins heureux, le langage PL/I (*Programming Language One*), développé par IBM pour remplacer Fortran et COBOL, est trop complexe. Ce qui freine son adoption et complique l'écriture de compilateurs efficaces, empêchant sa diffusion au-delà des mainframes où l'on peut encore le trouver.

Consoles de contrôle d'un IBM System/370 dans un centre de recherche de la NASA en 1981.



La principale difficulté s'avère être le développement du système d'exploitation pour disques (DOS), achevé avec deux ans de retard.

Ce qui était au départ un investissement et un pari très risqués de cinq milliards de dollars devient alors un immense succès commercial. La compatibilité se poursuivra avec la gamme IBM System/370 à mémoire virtuelle et circuits intégrés, introduite en 1970.

Installation IBM System/360 vers 1965.



Console de commande de l'IBM System/360 au CERN en 1967.



IBM

System 360





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

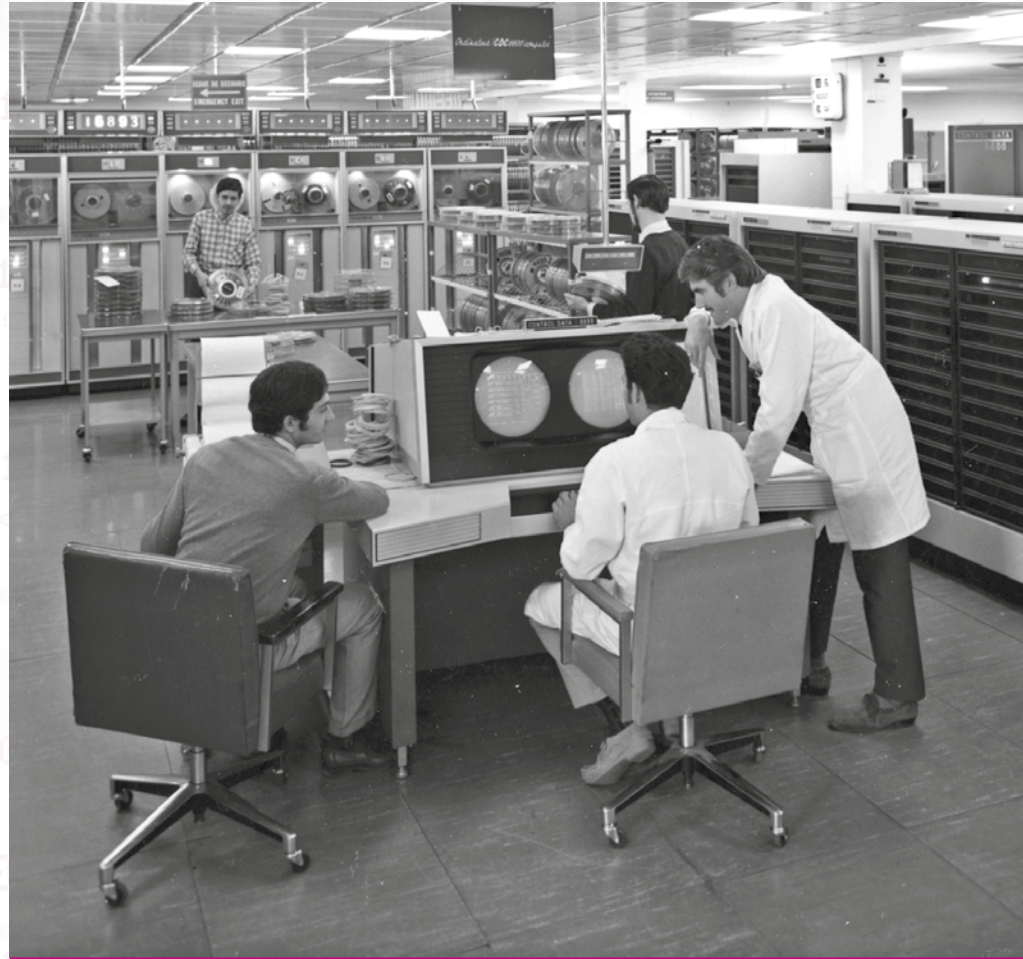


## 1964 ▶ Langage BASIC

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.

## 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.



Salle informatique au CERN en 1969 avec le CDC 6600.

## 1965 ▶ Alphaville

Alphaville est une cité déshumanisée, dans une autre galaxie. Lemmy Caution (Eddie Constantine) y est en mission pour détruire l'ordinateur Alpha 60, qui contrôle toute la ville, et neutraliser le professeur von Braun, tout-puissant maître d'Alphaville, qui y a aboli les sentiments humains. Ce film est l'un des premiers qui relie le pouvoir des systèmes numériques centralisés avec une dystopie totalitaire. Il contribuera à motiver l'utopie libératrice de la contre-culture micro-informatique dans la décennie suivante.

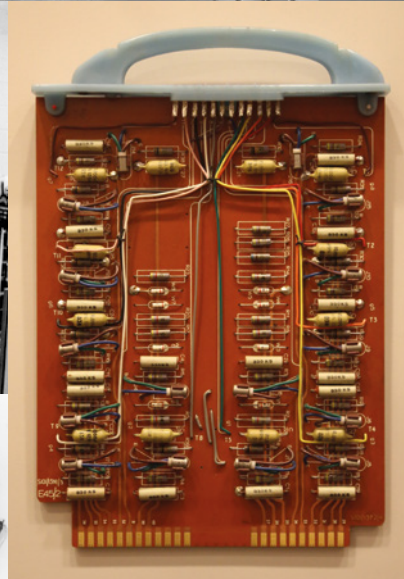


Scène d'*Alphaville* tournée au centre de calcul de Bull à Paris (1965).

### Crédits

• P. 121 : NASA • P. 122 : SICOB & Musée de l'informatique ; Gazette de Lausanne & A. de Mercurio • P. 123 : Ferranti • P. 124 : Lawrence Livermore National Laboratory ; U.S. Census Bureau, Public Information Office ; Unisys corporation • P. 125 : U.S. Census Bureau, Public Information Office • P. 126 : NASA • P. 127 : MIT ; CHM / Steve Jurvetson / Wikimedia Commons • P. 128 : NASA, Great Images in NASA • P. 129 : Bull ; Bull ; Science Museum, London (Crown Copyright) / Science & Society Picture Library • P. 130 : Archives Bull et F.-H. Raymond ; Archives Bull et F.-H. Raymond ; ERA-Univac ; Konstantin Lanzet / Wikimedia commons • P. 131 : Archives historiques BNP Paribas • P. 132 : IBM • P. 133 : photo Maurice Guérin (SEA) • P. 134 : Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk> • P. 135 : MIT ; Lawrence Livermore National Laboratory • P. 136 : Library of Congress Prints and Photographs Division Washington, D.C. ; University Archives, Columbia University in the City of New York • P. 137 : US Army photo • P. 138 : IBM • P. 139 : IBM • P. 140 : Courtesy of International Business Machines Corporation, © International Business Machines Corporation ; IBM • P. 141 : Arnold Del Carlo • P. 142 : Popular Science ; Radio-Television News magazine ; ©1961 Charles Addams. With permission of Tee and Charles Addams Foundation • P. 143 : Courtesy of Carnegie Mellon University • P. 144 : Christian Hammond / Flickr ; Arnold Reinhold / Wikimedia Commons ; Archives Jean Dieuzaide • P. 145 : IMAG • P. 146 : Archives Boris Malynovsky ; Archives Boris Malynovsky ; Fairchild Camera and Instrument Corporation • P. 147 : Image used with permission by Texas Instruments Incorporated ; SEA-BBR ; Archives historiques BNP Paribas • P. 148 : Gérard Bauvin & IBM ; Daderot / Wikimedia Commons • P. 149 : Lawrence Livermore National Laboratory ; Emmanuel Lazard • P. 150 : SEA ; SEA • P. 151 : SEA • P. 152 : SEA ; CHM / Michael Holley / Wikimedia Commons ; Unisys • P. 153 : Helix • P. 154 : Elisabetta Mori ; BNP Paribas BNL • P. 155 : BNP Paribas Fortis ; BNP Paribas Fortis • P. 156 : Droits réservés ; © CEA/CADAM ; Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk> • P. 157 : MIT • P. 158 : Droits réservés • P. 159 : MIT Lincoln Laboratory • P. 160 : MIT ; Armée de l'Air • P. 161 : Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk> • P. 162 : National Institute of Standards and Technology ; MIT ; Gilles Tran • P. 163 : flightsim.com ; Jnanna / Wikimedia Commons ; Honeysuckle station • P. 164 : Antonsusi / Wikimedia Commons • P. 165 : Pierre Mounier-Kuhn ; Institut de Programmation de l'université de Paris • P. 166 : BNP Paribas BNL ; Banque de France • P. 167 : Droits réservés • P. 168 : NASA ; Droits réservés • P. 169 : CERN • P. 170 : Dartmouth University • P. 171 : CERN • P. 172 : Archives historiques Bull • P. 173 : 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





J. ARSAC A. LENTIN M. NIVAT L. NOLIN

# algol

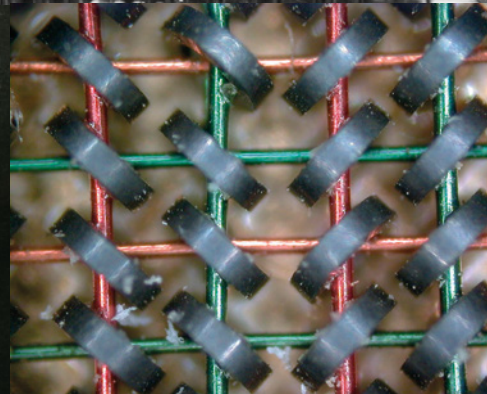
THEORIE ET PRATIQUE

```

début S ← 5 + 1;
K ← J + Ecart [S];
L ← J + Ecart [S - 2] sinon S + 6;
si A [K, L] alors aller à S;
T [N] ← S; J ← K; J ← L;
aller à ros
fin
sinon
début A [L, J] ← faux;
I ← J + Ecart [T [N]];
J ← J + Ecart [T [N]];
si N = 0 alors aller à fin;
N ← N - 1;
aller à sautpe
fin
impossible : ECRIRE ( impossible ); aller à sortie;
source : pour l' ECRIRE l' ( J, I );
fin

```

GAUTHIER-VILLARS PARIS







# Les mini-ordinateurs



# Introduction

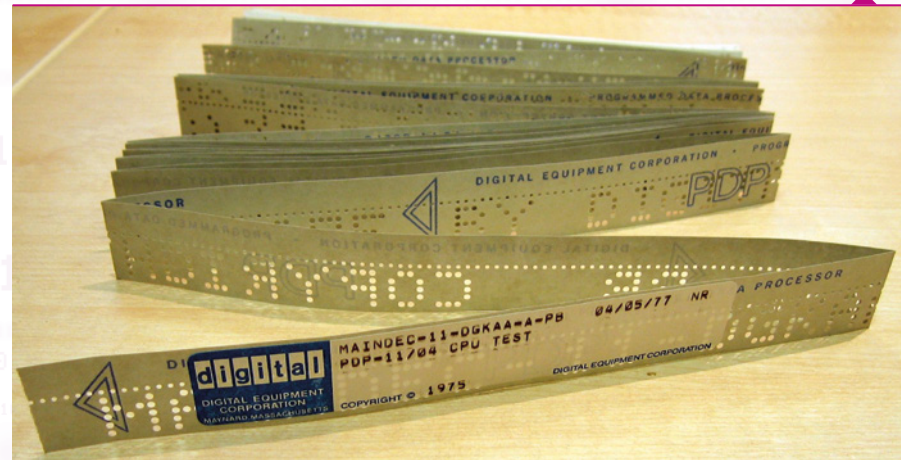
**IBM** domine le marché par un mix très élaboré de qualités techniques, d'efficacité commerciale et de prestige. On dit couramment qu'aucun directeur informatique n'a jamais été licencié pour avoir choisi IBM. L'annonce de sa série IBM System/360 n'a pas seulement renforcé cette emprise de *Big Blue* 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 System/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 System/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.

## L'évolution des ordinateurs : une question de générations ?

Le mot « génération », employé dès 1956 en Angleterre, signifiait alors que les ordinateurs à tubes les plus récents avaient des vitesses plus élevées, des champs d'application plus larges et une fiabilité plus grande que les premiers modèles. Il a été ensuite utilisé par IBM pour présenter ses séries transistorisées commercialisées vers 1960 (« deuxième génération »), puis la série System/360 (« troisième génération »). On a pris alors l'habitude de décrire l'évolution des ordinateurs avec ce terme popularisé par le constructeur dominant : la première génération serait celle des tubes électroniques, la deuxième celle des transistors, la troisième celle des circuits intégrés, la quatrième celle des microprocesseurs — sans parler de la cinquième, celle des processeurs parallèles...

« Génération » est donc devenu rapidement une expression à caractère publicitaire mettant l'accent sur les innovations matérielles, mais qui décrit assez pauvrement l'évolution des systèmes informatiques. D'abord, la différence entre les tubes et les transistors n'est pas de même nature que celle qui distingue les transistors des circuits intégrés et des microprocesseurs : ces trois derniers sont tous des semi-conducteurs.

De plus, pourquoi faudrait-il exclure de ce schéma les relais, voire les rouages mécaniques avec lesquels ont été construites de nombreuses machines qui jouèrent un rôle important à l'origine de l'informatique ? Où classer les calculateurs de 1960 où coexistent souvent tubes et semi-conducteurs, parfois avec des processeurs faits de composants logiques magnétiques ?

Plus gênant encore, cette description réduit l'ordinateur aux seuls composants de commutation de son unité centrale. Or les ordinateurs comportent aussi des organes de mémoire internes et externes... et les programmes qui y sont enregistrés : trois constituants tout aussi importants que l'unité arithmétique et logique. Et qui ont eu leur évolution propre. Même l'architecture, la conception générale de ces machines complexes, a pu varier à partir du schéma théorique défini en 1945, entre les architectures série et parallèle, puis pipeline, vectorielle, CISC ou RISC, etc. Tandis que certains des ordinateurs à tubes du réseau de défense aérienne SAGE, conçus vers 1955, fonctionneront jusqu'aux années 1980.

Un résumé historique en termes de générations doit donc être complété pour dessiner un schéma plus global :

Date*	Composants logiques	Mémoire interne	Mémoire externe	Programmation
1950	Tubes	Expérimentations**	Cartes ou bandes perforées puis bandes magnétiques	Code binaire, assembleurs
1959	Transistors	Tores de ferrite	Cartes, tambours	Premiers langages évolués
1966	Circuits intégrés ou hybrides	Tores de ferrite et disques rapides	Cartes, bandes, disques	Langages évolués
1973	Microprocesseur	Semi-conducteurs	Bandes disques, disquettes, cartouches	Langages évolués et communication graphique

\* : Les dates indiquées ne sont pas celles de l'invention des techniques, mais celles où les machines qui les incorporent se répandent sur le marché.

\*\* : Expérimentations et hésitations entre les tubes cathodiques, les tambours magnétiques, les lignes à retard au mercure, au nickel, à magnétostriction, etc.



## 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<sup>e</sup> 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 chiffrement des transmissions — par exemple la machine Lorenz, qui servait à chiffrer 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'ingénieries 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 5-300 system! The ECONORAM 8K™ (by Morrow's Micro-Stuff) comes fully assembled, tested to, sealed and fully warranted for one full year - just \$149!

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

Obviously, our new ECONORAM 8K™ (8K bit) is just another cheap kit. It's a design breakthrough in dynamic memory that gives you guaranteed reliability with tremendous savings in cost and power.

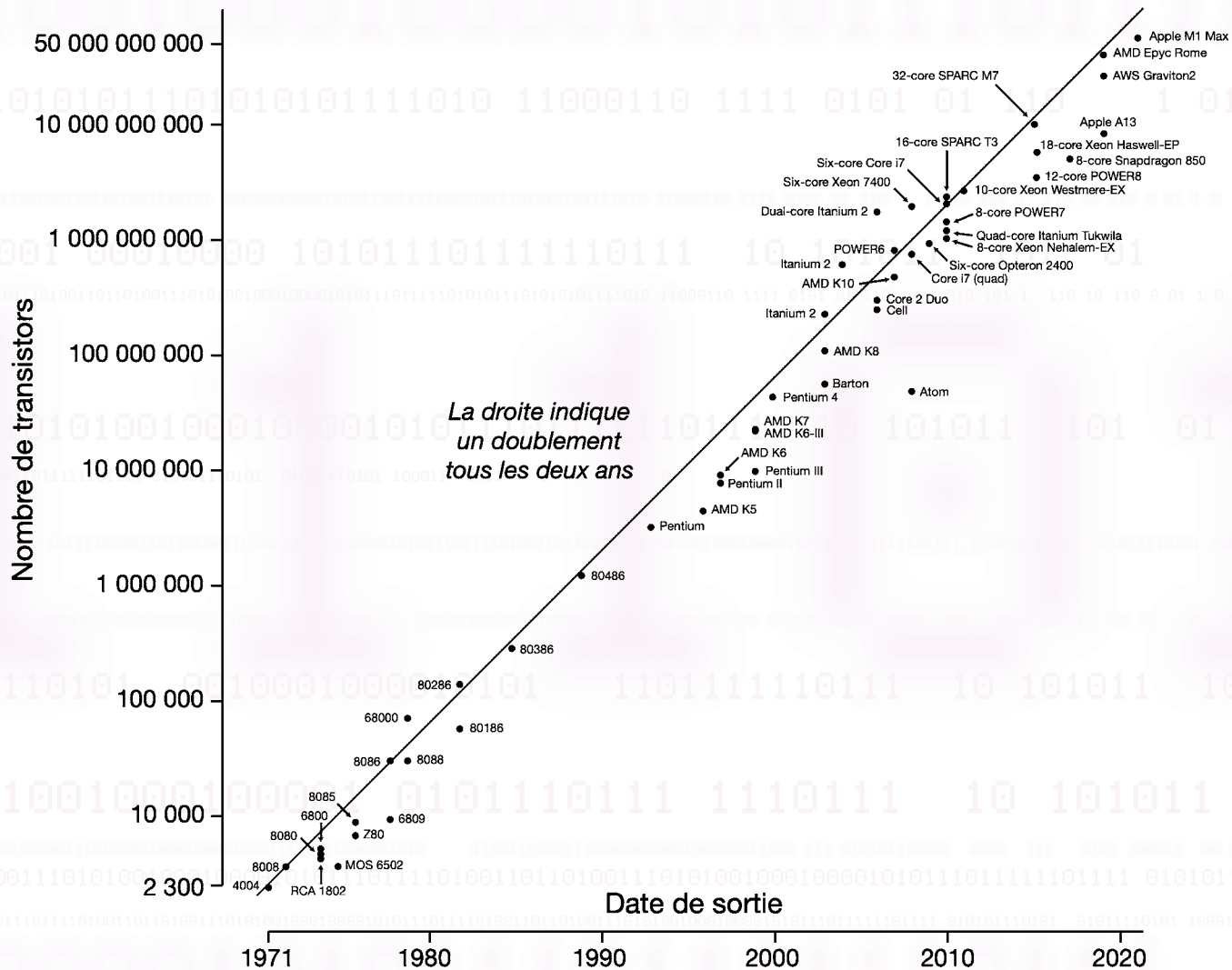
You save on cost and space because ECONORAM 8K™ is the first fully reliable dynamic memory. It's unique "Sense/Refresh" refresh circuitry senses itself into the natural timing of the 5-300 bus to provide simple, reliable and absolutely reliable refresh... with fewer parts, less power, lower cost and no interference with computer speed or timing.

You just plug ECONORAM 8K™ into your 5-300 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 bit) 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. BACNAC orders can be placed by phone to 415/527-7461 (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 Gelfand Electronics  
APRIL 1975 CIRCLE INQUIRY NO. 55 INTERFACE 52 53



Évolution du nombre de transistors dans les processeurs.



légèrement sa « loi », prévoyant désormais un doublement tous les deux ans de la densité d'intégration, croissance qui a été à peu près respectée jusqu'à nos jours grâce aux avancées technologiques des processus de fabrication, même si elle montre des signes d'essoufflement.

Il existe deux corollaires classiques à cette loi : le premier dit que les performances d'un système doublent tous les dix-huit mois, en raison de l'accroissement du nombre de transistors intégrables mais aussi de l'augmentation de leur vitesse ; le second indique en contrepartie que le coût d'une usine de production de circuits intégrés croît aussi exponentiellement.

En 2010, J. Koomey et ses collègues de Stanford ont proposé une nouvelle loi (appelée bien sûr loi de Koomey depuis) sur la base de constatations historiques : le nombre de calculs faits par unité d'énergie dissipée double à peu près tous les 18 mois, et ce depuis les années 1950. Si l'industrie arrive à suivre cette tendance, ce constat prendra de plus en plus d'importance avec le développement de l'informatique mobile et embarquée, où la problématique de l'énergie (autonomie ou échauffement) est primordiale. Autrement dit, si un micro-ordinateur d'aujourd'hui avait l'efficacité énergétique d'un portable d'il y a 20 ans, son autonomie se limiterait à... quelques secondes !

En 1968, Gordon Moore, Robert Noyce et Andrew Grove quittent Fairchild Semiconductor pour cofonder la société Intel qui deviendra le leader mondial des fabricants de semi-conducteurs en 1992.

## 1965 ▶ Algorithme FFT

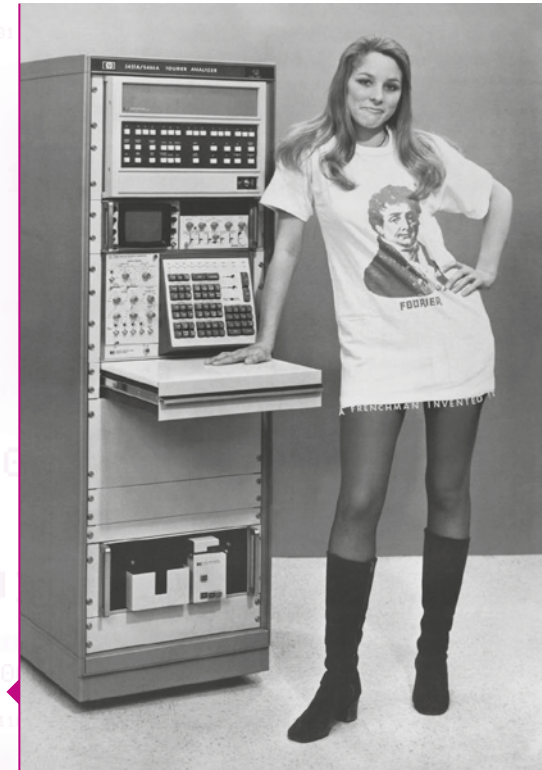
On résume trop souvent l'amélioration des performances des systèmes informatiques à une simple augmentation de vitesse des machines. C'est oublier qu'elles ne sont là que pour faire tourner des logiciels, eux-mêmes fondés sur des algorithmes. Toute amélio-

ration de ces derniers, toute réduction de leur complexité (au sens mathématique) peut entraîner des gains nettement plus importants que ceux procurés par l'avancée technologique.

La transformée de Fourier discrète est une opération mathématique classique, développée depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, utilisée en traitement du signal. Son calcul est assez long et les premiers ordinateurs ne pouvaient l'effectuer que sur des problèmes de taille réduite. La publication en 1965, par deux mathématiciens américains, de l'algorithme de la transformée de Fourier rapide (FFT : *Fast Fourier Transform*), c'est-à-dire la description d'une nouvelle méthode de calcul arrivant bien plus rapidement au résultat, révolutionne le domaine en permettant d'un coup son application à la compression et à l'analyse de données, à l'imagerie médicale, à l'holographie numérique, à l'étude des vibrations, etc. On découvrira plus tard que cet algorithme avait été décrit et utilisé par Gauss dès 1805, sans que la communauté scientifique ne se l'approprie — n'ayant fait l'objet que d'une publication posthume et confidentielle en latin.

L'invention de la FFT, permettant aux ordinateurs de remplacer les calculateurs analogiques jusque-là beaucoup plus efficaces dans cet ensemble d'applications, est un tournant capital dans l'histoire de l'informatique.

Calculateur HP5451 de 1972 effectuant sur un mini-ordinateur embarqué le calcul de la transformée de Fourier rapide...





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



## 1965 ▶ PDP-8 de DEC

Alors que le marché informatique est dominé par les moyens et grands systèmes d'IBM, Digital Equipment Corp. (DEC) sous la direction de Ken Olsen (1926-2011) développe le PDP-8, considéré comme l'archétype du mini-ordinateur. Moins cher et plus simple d'usage que les *mainframes*, son architecture a été définie en supprimant tout ce qui paraissait superflu et en compensant par des astuces logiques, par l'emploi des transistors au germanium très rapides et par la standardisation maximale des circuits, avec des périphériques et un packaging remarquables. Le nom de « mini-ordinateur » fait référence à la voiture « Mini » et aux mini jupes, mais aussi au prix de la machine, entre 18 000 et 25 000 dollars de l'époque (moins de 200 000 dollars 2015). Ce prix très bas parie hardiment sur des ventes massives, et pourra baisser de moitié après quelques années d'amortissement des chaînes de production et de chute des prix des composants (passage des transistors discrets aux circuits intégrés). Avec plus de 40 000 PDP-8 vendus en une décennie, cette machine révèle le potentiel d'expansion de ce segment de marché.

DEC ne domine pas le marché des minis comme IBM celui des *mainframes*. Ses concurrents ne cherchent pas à se positionner en termes de compatibilité logicielle. La vente n'a pas besoin d'être accompagnée d'investissements lourds en formation et en développement d'applications. Les facteurs décisifs de succès, sur ce marché, sont l'innovation — offrir des machines performantes, compactes et au prix le plus bas possible — et l'agressivité commerciale ciblant une clientèle de techniciens.



Mini-ordinateur PDP-8.



Mini-ordinateur PDP-8i. De haut en bas : appareil de laboratoire, disque dur (32 kmots de 12 bits), lecteur de bande papier, processeur.

## 1965 ▶ Olivetti Programma 101



Olivetti Programma 101 (1965).

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,

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.

## 1965 ▶ L'ère des systèmes

La compatibilité de la gamme IBM System/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 System/360 (1965). Les systèmes d'exploitation sont à l'époque tous écrits en langage machine, ainsi qu'une grande partie des applications.**





## 1965 ▶ ELIZA

Afin d'illustrer la superficialité de la communication entre l'utilisateur et la machine, Joseph Weizenbaum (1923-2008) met au point un des premiers chatbots, ELIZA. Ce programme simule un psychologue qui se contente de faire parler son patient en lui posant des questions. Évidemment, ELIZA ne comprend rien et n'a pas une once d'intelligence (même artificielle !). Le programme fonctionne par reconnaissance de mots-clés dans les phrases de l'utilisateur et association de réponses. En revanche, il fait très bien semblant et à sa grande surprise, Weizenbaum découvre que de nombreux utilisateurs, comme sa propre secrétaire, engagent une relation émotionnelle avec le programme, lui prêtant des sentiments, même en étant au courant de son fonctionnement. Ce phénomène se renouvellera dans les années 2010 avec les assistants vocaux.

### Une conversation avec ELIZA.

```
Welcome to
          EEEEE LL   IIII  ZZZZZ  AAAAA
          EE   LL   II    ZZ   AA   AA
          EEEEE LL   II    ZZ   AAAAAA
          EE   LL   II    ZZ   AA   AA
          EEEEE LLLLL IIII  ZZZZZ  AA   AA

Eliza is a mock Rogerian psychotherapist.
The original program was described by Joseph Weizenbaum in 1966.
This implementation by Norbert Landsteiner 2005.

ELIZA: Is something troubling you ?
YOU:   Men are all alike.
ELIZA: What is the connection, do you suppose ?
YOU:   They're always bugging us about something or other.
ELIZA: Can you think of a specific example ?
YOU:   Well, my boyfriend made me come here.
ELIZA: Is it important to you that your boyfriend made you come here ?
YOU:   He says I'm depressed much of the time.
ELIZA: I am sorry to hear that you are depressed.
YOU:   It's true. I am unhappy.
ELIZA: Can you explain what made you unhappy ?
YOU:
```

## 1965 ▶ Écran tactile

Après quelques prototypes à base de stylet, le premier écran tactile utilisable avec un doigt est mis au point par Eric Johnson dans un centre de recherche de l'armée de l'air britannique. Ces écrans seront initialement utilisés pour les systèmes de contrôle aérien mais la même technologie capacitive sera plus tard adaptée et améliorée dans les écrans tactiles de nos smartphones et tablettes modernes.



Écran tactile utilisé sur le système d'enseignement assisté par ordinateur PLATO IV vers 1973.

## 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



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



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



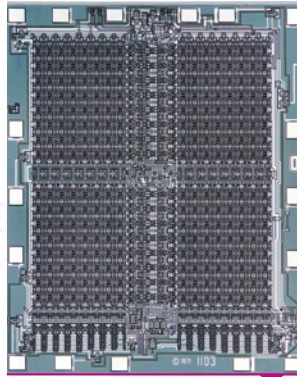
de recherches en informatique et automatique (IRIA, devenu l'Inria), seul survivant aujourd'hui de cet ambitieux programme.

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 Uni-data), 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 de l'internet.



## 1966 ▶ Invention de la DRAM

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.



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

## 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, chères et peu pratiques. Cette interdiction fut contournée, après une décision de justice, 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 l'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.



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.

## 1966 ▶ Star Trek

En 1964, Gene Roddenberry (1921-1991) vend à NBC son projet de nouvelle série de science-fiction comme une série classique d'aventure, mais il a déjà en tête l'idée d'utiliser ces situations futuristes – et leurs résolutions – comme analogies pour les problèmes contemporains. De ses débuts en 1966 à son arrêt en 1969, Star Trek ne rencontre qu'un succès d'estime, mais sa popularité grandit au fur et à mesure des rediffusions et des œuvres dérivées. L'influence culturelle de Star Trek est immense – problèmes raciaux, cohabitation, violence et diplomatie, sexisme... – mais son impact scientifique l'est tout autant. Communicateurs personnels, ordinateurs interactifs, bases de données, interface homme-machine... ces technologies imaginées ne verront le jour que bien plus tard mais nombreux sont les entrepreneurs et scientifiques ayant avoué avoir trouvé leur inspiration et leur vocation dans la série !

## 1967 ▶ Langage Logo

Afin de faciliter l'enseignement de la programmation aux enfants, Seymour Papert (1928-2016) 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

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

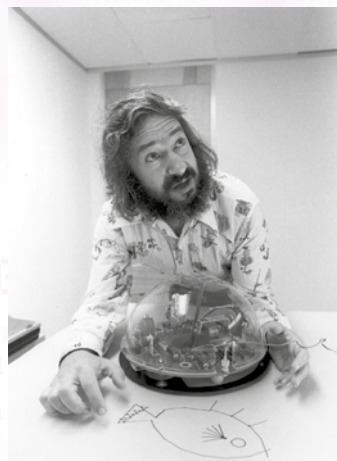
de ses commandes. Une version « expérimentale » était même disponible où des ordres étaient donnés à un petit robot « tortue » qui pouvait ainsi dessiner sur des feuilles de papier.

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.

## 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 sociétés de services parisiennes sont peu présentes. Quelques années plus tard, Serge Kampf prendra le contrôle de deux grands concurrents : le CAP (société franco-britannique) et Gemini, constituant un groupe qui figure aujourd'hui parmi les dix principales sociétés de service informatique au monde. D'abord appelées Sociétés de Services et de Conseil en Informatique, elles changent d'appellation au début des années 1980 pour devenir des Sociétés de Services en Ingénierie Informatique (SSII). En 2013, le syndicat professionnel du secteur a proposé de les baptiser ESN (Entreprises de Services du Numérique), sans que cette nouvelle dénomination ne fasse l'unanimité.





## 1967 ▶ Simula 67, la programmation orientée-objet

Les idées de base de la programmation orientée-objet sont nées à Oslo en Norvège.

En 1961, Kristen Nygaard (1926-2002) et Ole-Johan Dahl (1931-2002) conçoivent Simula I, une extension à Algol 60 afin de programmer des simulations à événements discrets pour un laboratoire de recherche norvégien. Ce langage spécialisé évolue en langage généraliste avec Simula 67, implémentant entre autres les concepts de classe d'objet, de sous-classe, d'héritage... La programmation orientée-objet va permettre de se focaliser sur un problème à partir de ses composants et de leurs interactions plutôt que d'essayer d'emblée d'écrire un algorithme de résolution.

De nombreux créateurs de langages objets (Alan Kay pour Smalltalk, Bjarne Stroustrup pour le C++ ou encore James Gosling avec Java) ont avoué avoir été fortement influencés par Simula lors de la conception de leurs langages.

## 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 « brico-



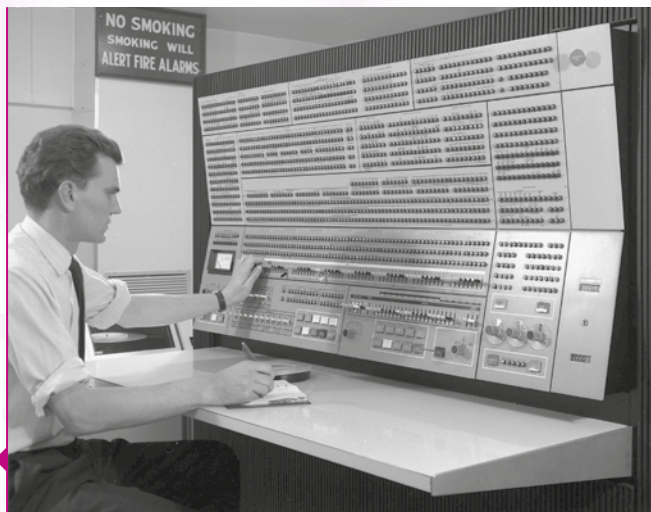
Donald Knuth en 2010 pendant une de ses fameuses conférences.

lage» 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 est parue en 2011, le volume 5 est prévu pour 2020. Les autres seront peut-être publiés ensuite, mais il a l'intention de revoir les trois premiers volumes dans l'intervalle...

Préparant la deuxième édition des trois premiers volumes en 1976, Donald Knuth a vivement critiqué la typographie et la mise en page utilisées par l'éditeur pour les formules mathématiques. Alliant ses compétences de mathématicien à ses talents de programmeur, il s'est alors attelé à la conception et à l'écriture d'un logiciel complet de mise en page de documents scientifiques, TeX, incluant typographie professionnelle et polices de caractères dédiées. Rapidement adoptés par la communauté, TeX et ses dérivés sont maintenant des outils indispensables dans le domaine de la publication scientifique.

## 1968 ▶ Dendral, un système expert

Alors que les ordinateurs sont principalement utilisés en calcul numérique et pour des applications de gestion, pour la première fois, un informaticien, Edward Feigenbaum, un chimiste, Carl Djerassi (1923-2015) et un biologiste, Joshua Lederberg, tous trois à Stanford, essaient d'appliquer les nouvelles théories de l'intelligence artificielle à un problème concret en mimant le raisonnement humain dans un logiciel. Ils développent Dendral, dont le but est de retrouver la structure de molécules organiques à partir des données obtenues en sortie d'un spectromètre de masse. Pour ce faire, le logiciel applique des règles d'inférence à partir d'une base de faits pour sélectionner les groupes chimiques les plus probables. La difficulté est bien sûr d'arriver à coder les règles à partir des connaissances plus ou moins explicites des experts humains. C'est la naissance du premier système expert et l'une des premières applications de l'informatique dans la recherche biomédicale.



Console de contrôle de l'IBM 360/75. Pas encore d'interface graphique...

## 1968 ▶ Le génie logiciel

L'expression « génie logiciel » (*software engineering*) a été popularisée en 1968 lors d'une conférence organisée par l'OTAN pour résoudre la crise du logiciel : en raison de l'accroissement de la puissance des ordinateurs lié à l'arrivée des circuits intégrés et des disques, la taille des projets informatiques (surtout ceux concernant les systèmes d'exploitation) augmentait en conséquence et il devenait de plus en plus difficile de les mener à bien. Est alors apparue la nécessité de faire reposer le développement des logiciels sur des fondements théoriques et des règles pratiques, à l'image des autres sciences de l'ingénieur. Le génie logiciel repose sur des normes et recommandations standards et couvre l'ensemble du cycle de vie d'un logiciel, depuis la demande initiale jusqu'à la phase de maintenance finale.

## 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 organisa-



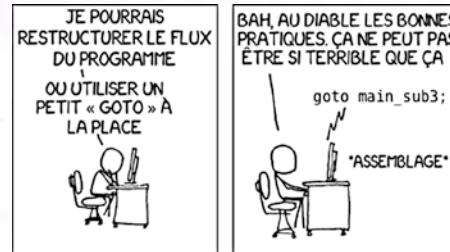


E.W. Dijkstra faisant cours à Zurich (1994).

tion 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.

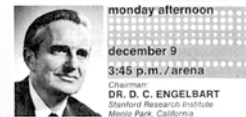
Recevant le prix Turing en 1972, il prononce un discours d'autodérision qui reste un morceau d'anthologie, « The Humble Programmer ».



### 1968 ▶ Démo de la souris

Chercheur visionnaire à Stanford, inspiré par les écrits de V. Bush, Douglas Engelbart (1925-2013), 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 collabo-

« Ne jamais utiliser goto. Jamais. »



a research center for augmenting human intellect

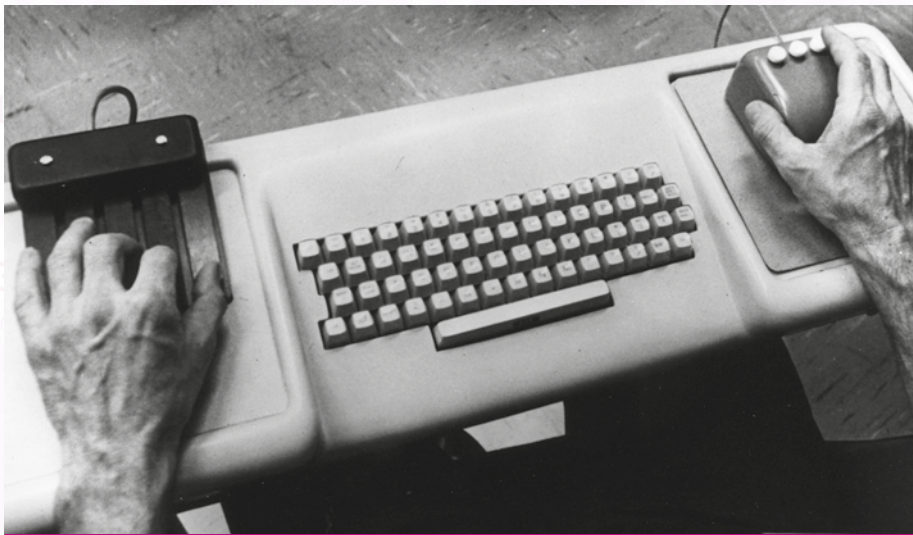
This session is entirely devoted to a presentation by Dr. Engelbart on a computer-based, interactive, multi-screen display system which is being developed at Stanford Research Institute under the sponsorship of AFOSR, NASA and DARPA. The system is being used as an experimental laboratory for investigating 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 in 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.

**Année originale de la conférence de Douglas Engelbart, depuis surnommée « The Mother of All Demos ».**



▶ 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.

ratif... 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.

## 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.

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.

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





## 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 ▶ ARPANET

Souvent considéré comme le principal « ancêtre » de l'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).

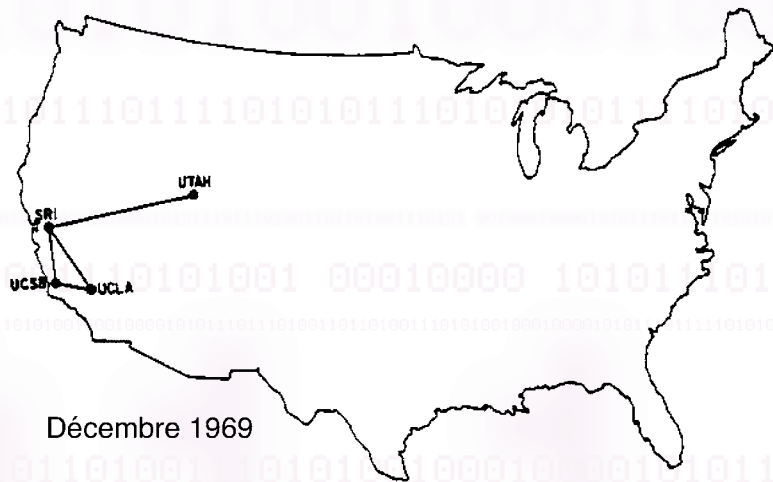
Le projet a été conçu initialement par Joseph Licklider (1915-1990), chercheur issu du MIT qui imaginait la possibilité d'un grand réseau reliant les calculateurs des universités, permettant aux scientifiques d'échanger des données. Donc d'augmenter l'efficacité des recherches qui peuvent avoir des retombées 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.

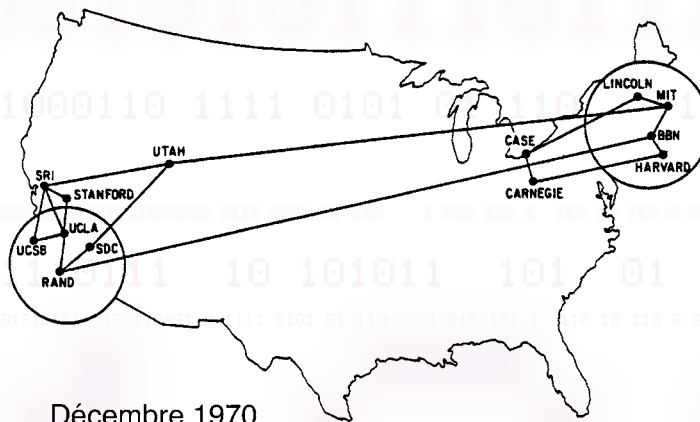
Fin 1969, les principaux problèmes d'un réseau d'ordinateurs hétérogènes étant résolus, le réseau entre en service avec quatre nœuds dans les universités partenaires (Los Angeles, Santa Barbara, Stanford Research Institute, Utah) et l'aide d'une entreprise de Boston, Bolt, Beranek et Newman (BBN), qui 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 informatiques 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 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.

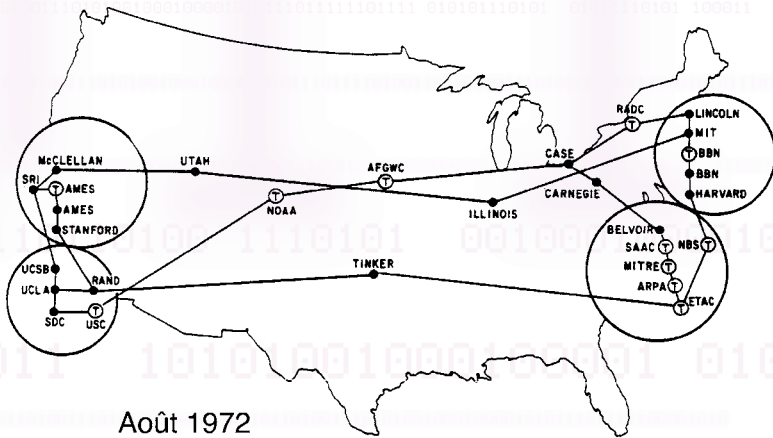
Quelques années plus tard, les protocoles de communications sont unifiés grâce aux travaux de Robert Kahn, Vinton Cerf et Louis Pouzin pour devenir le protocole TCP/IP, norme encore à la base du réseau internet actuel.



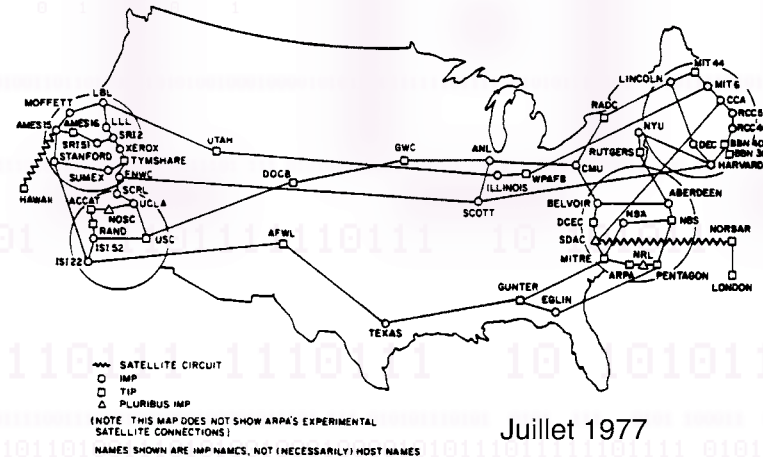
Décembre 1969



Décembre 1970



Août 1972



Juillet 1977

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







Margaret Hamilton en 1969 devant la pile de codes écrits pour le programme Apollo.

## 1969 ▶ Margaret Hamilton et les missions Apollo

Au début de l'informatique, le travail considéré comme le plus prestigieux était souvent lié à l'ingénierie matérielle, laissant le champ libre aux femmes dans le domaine de la programmation.

En 1962, après avoir travaillé sur le système SAGE, Margaret Hamilton rejoint le MIT pour travailler dans le laboratoire chargé par la NASA de l'écriture du logiciel des missions Apollo. Elle devient bientôt responsable de l'équipe qui développe le logiciel embarqué dans le module de commande et le module lunaire – technologie hautement critique puisqu'elle conditionne la réussite de l'alunissage et la vie de l'équipage ! Hamilton conçoit de nouvelles techniques de reprise sur erreur, d'ordonnancement de processus, de systèmes d'exploitation mais aussi de gestion de projets, de qualité logicielle ou de modélisation. Elle est d'ailleurs une des personnes qui ont inventé le terme de « génie logiciel » : elle voulait donner une légitimité aux développeurs et à leurs techniques.

À quelques minutes de l'alunissage d'Apollo 11, un défaut matériel provoqua une saturation du processeur du module de commande et un déclenchement d'alarmes sur l'écran interne. La qualité du logiciel écrit par l'équipe de Hamilton (priorisation des tâches, redémarrage après erreur) permit quand même à l'ordinateur de bord de compléter le vol et de faire alunir l'équipage.

Elle a reçu de nombreux prix et médailles, et a même eu l'honneur d'avoir une figurine LEGO à son image dans le cadre d'une boîte célébrant les femmes de la NASA !

Interface utilisateur  
de l'ordinateur de bord  
des missions Apollo.



## 1969 ▶ **Unbundling :** dégroupage du matériel et du 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 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.

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





La légende dit que le nom *HAL* vient du décalage alphabétique d'*IBM*, entreprise emblématique de l'informatique de l'époque, mais Arthur C. Clarke, co-auteur du scénario inspiré d'une de ses nouvelles, a toujours dit qu'il s'agissait d'une coïncidence et que le nom était l'acronyme de *Heuristically programmed ALgorithmic computer*.

## 1969 ▶ Perceptrons

Dès les débuts de l'intelligence artificielle, certains chercheurs pensent que l'avenir est dans les réseaux de neurones pour mimer le cerveau humain. Une première machine correspondante, le Perceptron, est réalisée en 1958 par Frank Rosenblatt (1928-1971) et la couverture de presse, un peu trop dithyrambique, y voit l'embryon d'une machine « pensante ». D'autres chercheurs suivent plutôt la voie de l'IA symbolique et les deux groupes se retrouvent régulièrement en concurrence pour le financement et les ressources.

En 1969, Marvin Minsky et Seymour Papert publient un livre – *Perceptrons* – où ils démontrent les limites du modèle de Rosenblatt. À la suite de cela, l'IA symbolique connaîtra sa première victoire – avant de décevoir elle aussi – et les réseaux de neurones passeront de mode jusqu'aux années 2010 où des avancées théoriques et l'amélioration du matériel leur permettront de revenir au premier plan.

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

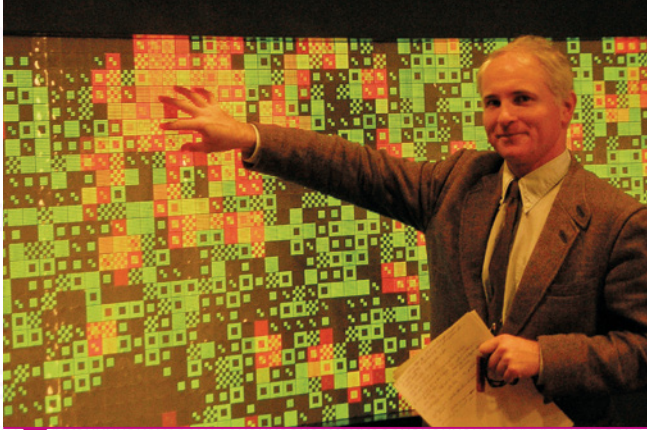
Dans les années soixante, la structure de l'industrie informatique était familièrement résumée par l'expression « *Blanche-Neige [IBM] et les sept nains* ». En 1970, après l'annonce de la série IBM System/370, General Electric et Radio Corporation of America (RCA) perdent tout espoir de concurrencer 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 *lot* ou *paquet*). 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.





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.

## 1970 ▶ Le jeu de la vie

Le jeu de la vie est né de la volonté de John Conway (1937-2020) de simplifier la théorie des automates de von Neumann et de montrer qu'une organisation complexe pouvait émerger d'un système possédant 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 ▶ Disquette

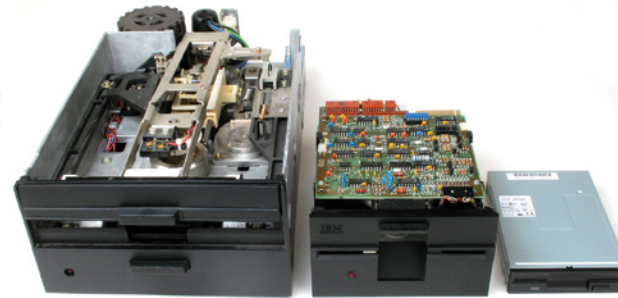
David Noble met au point un disque magnétique souple pour les ordinateurs System/370 d'IBM. Originellement conçue pour contenir le code de microprogramme du système, puis envisagée pour distribuer des mises à jour logicielles aux clients, elle ne fonctionnait qu'en lecture seule avec une capacité de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



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).



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



## 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. Vouant 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 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 ▶ 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 ▶ Pascal

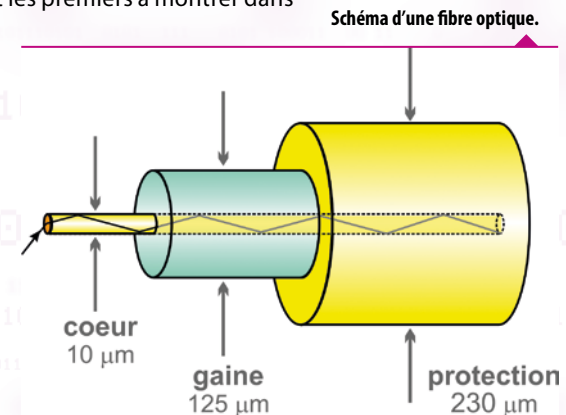
Afin de favoriser l'enseignement de l'informatique, Niklaus Wirth, alors à l'université ETH Zürich, invente le langage Pascal, qui oblige le programmeur à définir de manière rigoureuse ses types de variables et à utiliser la programmation structurée. Très utilisé dans l'enseignement universitaire jusqu'aux 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*.



Niklaus Wirth,  
le père de Pascal.

## 1970 ▶ Fibre optique

Dès le XIX<sup>e</sup> siècle, des expériences montrent le guidage de la lumière par réfraction dans de l'eau ou des tubes de verre mais il faudra attendre l'invention du laser en 1960 pour envisager de s'en servir dans les communications. Charles Kao (1933-2018) et George Hockham (1938-2013) sont les premiers à montrer dans un article de 1966 que dans le bon matériau, le verre de quartz, réduire l'atténuation à des valeurs utilisables est un problème d'impuretés du support et non une impossibilité théorique. C'est le départ d'une intense recherche. Les premières fibres optiques fonctionnelles sont fabriquées en 1970 et les progrès en qualité sont constants depuis, faisant de la fibre optique un atout indispensable dans les communications informatiques.



## 1971 ▶ Premier email

L'échange de messages électroniques était courant depuis 1965 sur les systèmes en temps partagé ou entre machines compatibles.

Le réseau Arpanet s'étend progressivement avec l'adjonction de nouveaux nœuds et Ray Tomlinson (1941-2016), alors ingénieur chez BBN à Boston, expérimente l'envoi de message entre deux



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



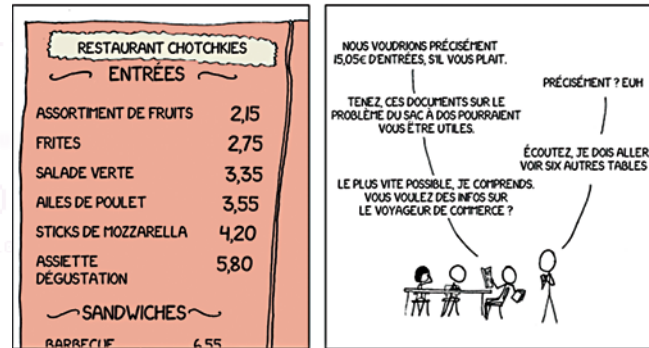
machines différentes situées sur le réseau : c'est le premier email sur un réseau de ce type. Il utilise le signe @ (qui se lit *at* en anglais car c'est au départ un symbole comptable signifiant *at the amount* or *price of*), présent sur les claviers mais inutilisé, pour séparer le nom d'utilisateur du nom de la machine hôte. L'usage de l'email est tout d'abord considéré comme marginal sur Arpanet qui est essentiellement employé pour consulter des bases de données distantes. Mais avec l'expansion du réseau, le courrier électronique devient rapidement une application très populaire, ce qui renforcera l'attractivité du réseau et attirera de nouveaux utilisateurs.

### 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 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.

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



Utilisation quotidienne de problèmes NP-complets.

### 1971 ▶ Le « dispatching » à Électricité de France : contrôle, commande et synchronisation du réseau

L'électricité produite par les centrales ne se stocke pas, tandis que la demande varie constamment – usines qui s'arrêtent le soir, chauffage que l'on monte lors d'un coup de froid – et que la production est parfois loin des zones de consommation et sujette à des aléas (disponibilité de l'eau dans les barrages, prix du fuel...). Pour gérer l'adéquation instantanée entre l'offre et la demande, les électriciens ont inventé un mode de régulation : le « dispatching », organisé en centres de répartition de l'électricité. Des prévisions de consommation définissent les besoins théoriques et des ajustements ont lieu en permanence. Au-delà des nécessités économiques, l'enjeu principal est d'éviter une surcharge sur un point du réseau de distribution, qui provoquerait une méga-panne à l'échelle nationale.

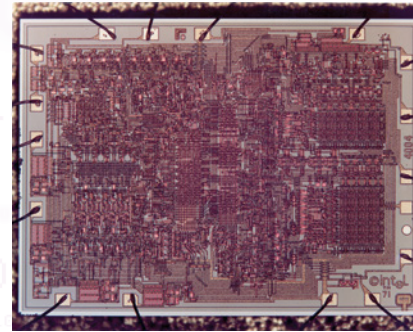
Au début des années 1960, Électricité de France a lancé un projet visant à confier à des ordinateurs la conduite de son réseau de



► Salle de contrôle régional EDF.



lignes à très haute tension. La capacité de traiter en temps réel des milliers de mesures et de signalisations devait permettre de faire face à la gestion de plus en plus complexe des lignes de transport interconnectées et des moyens de production d'électricité correspondants, en forte expansion pour répondre à la consommation électrique croissante. Il s'agit d'un ensemble de 16 calculateurs CAE-CII, reliés entre eux par un réseau téléinformatique et implantés dans huit centres régionaux et à Paris, dont la mise en service s'est achevée en 1971. Le système d'exploitation est réalisé par les fournisseurs, les logiciels d'application par les informaticiens d'EDF. L'ensemble a évolué constamment jusqu'à nos jours.



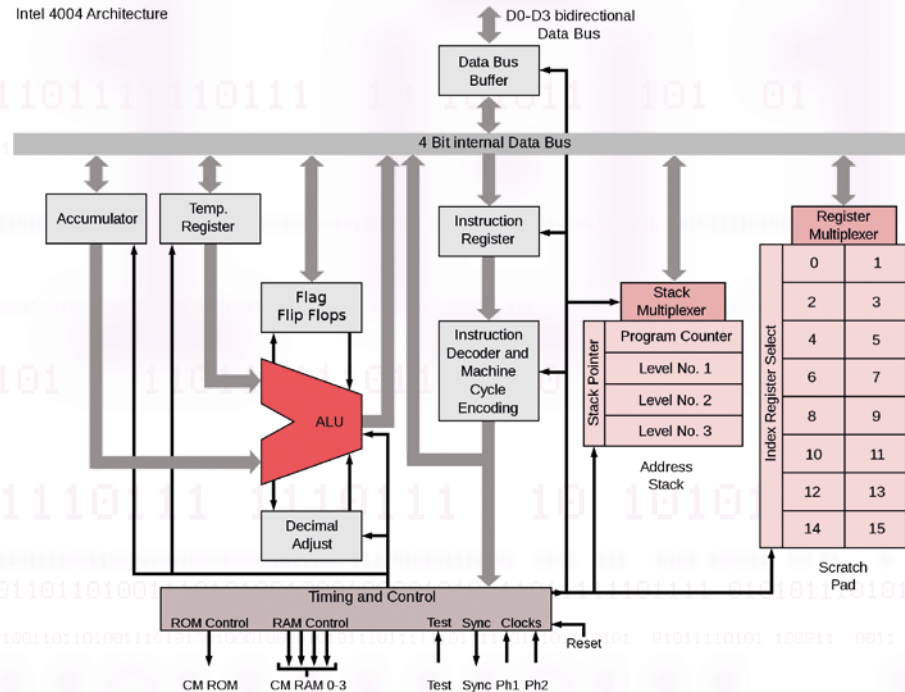
Circuit imprimé d'un 4004. Il porte les initiales F.F. du concepteur Federico Faggin.

### 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 mm<sup>2</sup> 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.

Schéma de l'architecture interne du 4004.



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 ! Ce projet était un vrai pari industriel pour Intel qui avait jusqu'alors la commercialisation de mémoires pour minis comme principale activité et allait donc concurrencer ses propres clients.

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 opened 23 companies — from the fledgling rebels 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 cat'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

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



1972





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.

Publicité de 1982 pour la console Atari 2600, alors numéro 1 des ventes.

Au début des années 1970, si le téléimprimeur est encore le dispositif d'entrée-sortie distant le plus répandu, les consoles alphanumériques se répandent avec des avantages comparatifs de plus en plus convaincants à mesure que leur prix baisse : meilleure adaptation au travail de bureau, fonctionnement silencieux comparé au « tac-tac-tac » du télétype, affichage immédiat du texte que l'on peut modifier avant de l'envoyer à l'ordinateur, fiabilité due à la suppression d'organes mécaniques, zéro papier... potentiel. Le principal inconvénient est la fatigue visuelle du travail sur écran. Le remplacement est facilité par la standardisation des connexions et des formats d'information. Évolution significative du vocabulaire, le terme *console de visualisation* disparaît au profit d'*écran*.

## 1972 ▶ Nouveaux langages, nouveaux paradigmes de programmation

Le développement d'Unix et le désir de le porter sur différentes machines amènent Ken Thompson et Dennis Ritchie à le réécrire en langage de haut-niveau — Unix étant initialement écrit en assembleur. Ils utilisent le langage B, version simplifiée d'un langage classique de l'époque, BCPL, mais se retrouvent coincés lors du portage d'Unix sur PDP-11 en raison d'une structure matérielle différente. Ils étendent alors leur langage en ajoutant des fonctionnalités et le rebaptisent C. Performant, proche du matériel, facile à compiler, permettant l'accès aisé aux primitives de bas niveau, le C a vite remplacé l'assembleur dans la programmation système. Il a inspiré de nombreux autres langages qui ont repris ses structures syntaxiques. C'est encore l'un des plus utilisés au monde.

Environnement graphique développé à la NASA, sur lequel tourne un programme d'échecs (fin 1970).



## 1972 ▶ Une nouveauté : l'écran-clavier



Console écran-clavier CII Iriscope (1972).

À l'université de Marseille-Luminy, Alain Colmerauer et Philippe Roussel conçoivent le langage Prolog (PROgrammation LOGique) pour le traitement en langage naturel dans les interfaces hommes-machines. Devenu un véritable langage de programmation pour l'intelligence artificielle, Prolog s'étend au calcul symbolique, à la résolution automatique de problèmes par inférence logique et au développement des systèmes experts. L'engouement pour Prolog culminera dans les années 1980 avec le projet japonais, jamais abouti, d'ordinateur de cinquième génération supposé utiliser de nombreuses techniques d'intelligence artificielle.

Chercheurs aux laboratoires Xerox à Palo Alto, Alan Kay, Adele Goldberg et Dan Ingalls créent Smalltalk, langage objet incorporant un environnement complet de développement graphique. Basé sur des idées provenant du langage Simula, Smalltalk est l'un des premiers langages permettant la programmation orientée objet, méthode qui, contrairement à la programmation procédurale classique, met plus l'accent sur les composants du problème et leurs interactions plutôt que sur une séquence très précise d'instructions.

sables aux ingénieurs. C'est un succès commercial qui rend les règles à calcul immédiatement obsolètes.

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



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, indispen-

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



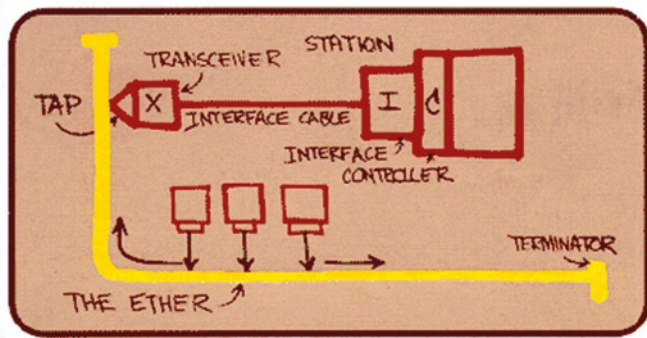
La première calculatrice scientifique de poche : HP-35 (1972).



## 1973 ▶ Ethernet

Inspiré par le réseau radio ALOHAnet de l'université de Hawaï, Robert Metcalfe, au laboratoire Xerox à Palo Alto, publie un mémo 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 (1950-2022). Rapidement un brevet est pris pour une norme de réseau, que l'on baptise Ethernet en référence à « l'éther » du <sup>XIX</sup><sup>e</sup> 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'invalider les brevets initiaux, favorisant ainsi largement le développement concurrentiel de l'industrie informatique américaine. Ses principaux arguments furent les suivants :

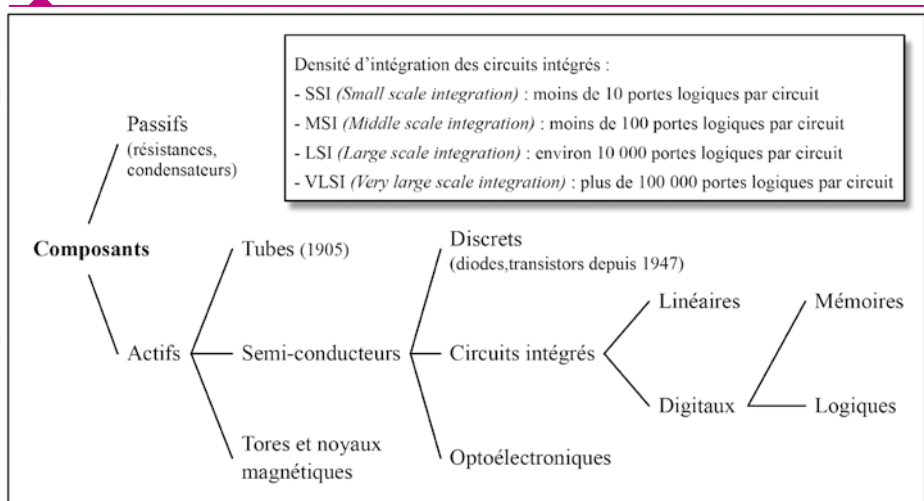
- les brevets furent demandés bien après les démonstrations publiques de l'ENIAC, qui relevait dès lors du domaine commun ;
- les concepts étaient déjà présents dans le rapport von Neumann, lui aussi public et largement antérieur aux brevets ;
- Mauchly s'inspira des travaux d'Atanasoff avec qui il avait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

## 1973 ▶ La téléphonie mobile analogique

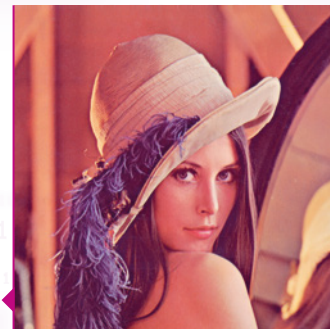
Avant 1973, la téléphonie mobile se résumait à des téléphones de voiture, encombrants et d'un usage limité (zone géographique restreinte et peu de canaux de communication). Ingénieur chez Motorola, Martin Cooper met au point le premier combiné « portable » et l'utilise pour passer le premier coup de téléphone mobile depuis la 6<sup>e</sup> avenue de New-York. Ce combiné pèse plus d'un kilo, mesure presque 25 centimètres et son autonomie ne dépasse pas la demi-heure. Il faudra attendre 1979 pour voir débiter le premier service de téléphonie cellulaire au Japon, tandis que les Américains patienteront jusqu'en 1983.



Martin Cooper passant son premier coup de téléphone cellulaire en 1973.

## 1973 ▶ Playboy et la compression d'images

Voulant illustrer un article sur le traitement d'images, des chercheurs d'une université californienne se mettent en quête d'une image à scanner. Lassés de leurs ennuyeuses images classiques et voulant donner de l'impact à leur publication, ils cherchent une



Scan original du haut de la playmate de novembre 1972...



photo frappante de figure humaine. Quelqu'un passe alors avec le numéro de novembre 1972 de *Playboy*... La photo de la playmate centrale est rapidement découpée pour ne garder que la partie supérieure, en raison du format limité du scan (notons que le reste de l'image n'était de toute façon pas diffusable aussi facilement...).

Grâce à ses caractéristiques (détails, aplats, textures, ombrages...), cette photo du mannequin suédois Lena Sjööblom-Soderberg est depuis devenue une icône classique de test des algorithmes de traitement et compression d'images, si importants dans la diffusion et l'échange d'images via un réseau.

En 1997, Lena a été invitée à une conférence d'imagerie et a découvert par la même occasion sa renommée ; certains l'ont même désignée « première dame de l'internet ».

## 1973 ▶ L'Alto au Xerox PARC

En 1969, Xerox décide de construire un second centre de recherche voué à créer « le bureau de demain » et l'installe en Californie, à Palo Alto, très loin du siège de l'entreprise situé sur la côte Est, ce qui lui permet une certaine indépendance. Le Xerox PARC (Palo Alto Research Center) est idéalement situé, proche des universités de Stanford et Berkeley, au cœur de ce qui s'appellera bientôt la Silicon Valley.

C'est là qu'est développée par Charles Thacker l'une des toutes premières stations de travail personnelles, le Xerox Alto. Prenant le contre-pied complet de l'informatique traditionnelle de l'époque, l'Alto a un clavier, une souris, mais surtout une interface réseau intégrée, Ethernet, et un écran associé à une interface graphique. C'est avec l'Alto que seront inventés les concepts de bureau, icônes, menus et autres fenêtres, pilotés par un système écrit en programmation objet, concept également développé sur place. Utilisé dans les laboratoires internes et donné à quelques universités, l'Alto

ne sera jamais vendu car, trop original et en avance sur son temps, il n'entrait pas dans le business plan de la firme. Il a inspiré de nombreux systèmes postérieurs comme Lilith de Niklaus Wirth en Suisse et bien sûr le Lisa et le Macintosh d'Apple, suite à une visite de Steve Jobs au Xerox PARC en 1979.

## 1973 ▶ Code-barres

À la demande d'une chaîne de supermarchés de Philadelphie (États-Unis), les premières tentatives d'étiquetage et de lecture automatique de produits avaient été initiées en 1948 par Bernard Silver (1924-1963) et Norman Woodland (1921-2012). Les prototypes et les essais se multiplient (encre ultra-violette, impression en cercles concentriques, étiquetage de wagons et de véhicules...) sans résultat commercial notable. En 1966, l'association américaine des chaînes de supermarchés relance l'idée et plusieurs entreprises se mettent sur les rangs. IBM se rappelle alors qu'elle emploie Woodland qui reprend le développement d'un code-barres linéaire avec George Laurer et remporte l'appel d'offre. Leur code universel des produits (UPC, *Universal Product Code*) devient un standard en 1973.

La première version du code-barres, sous la forme de cercles concentriques, devenait illisible en cas de bavure d'encre. En revanche, une coulée d'encre lors de l'impression d'un code-barres linéaire ne faisait que l'agrandir, sans poser de problème à la lecture.



Le Xerox Alto. De haut en bas : l'écran au format portrait, le clavier et la souris, le lecteur de disques magnétiques amovibles et l'unité centrale.

## 1974 ▶ Affaire SAFARI : création de la CNIL

En 1974, le ministère de l'intérieur autorise le croisement des fichiers informatiques administratifs en utilisant le numéro de sécurité sociale comme identifiant unique, créant une base de données centralisée de toute la population. C'est le projet SAFARI (Système Automatisé pour les Fichiers Administratifs et Répertoire des Individus). Révélé en mars 1974 par le quotidien *Le Monde* dans un article intitulé « SAFARI ou la chasse aux Français », le projet suscite une vive opposition et est finalement retiré par le gouvernement. Celui-ci crée une commission Informatique et Libertés afin de réfléchir « au devenir des libertés individuelles et publiques dans la quête permanente de l'information ». De la loi Informatique et Libertés naitra en janvier 1978 une autorité administrative indépendante, la CNIL, « chargée de veiller à ce que l'informatique soit au service du citoyen et qu'elle ne porte atteinte ni à l'identité humaine, ni aux droits de l'homme, ni à la vie privée, ni aux libertés individuelles ou publiques. »

Adopté en 2016 par l'Union Européenne, le RGPD – Règlement Général sur la Protection des Données – fait de ce territoire une exception en matière de protection des données à caractère personnel, parfois au détriment de l'intérêt stratégique des entreprises européennes !

## 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 !

## 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 fondamental « 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 incon-

... LE MONDE — 21 mars 1974 — Page 9

JUSTICE

### Tandis que le ministère de l'intérieur développe la centralisation de ses renseignements Une division de l'informatique est créée à la chancellerie

En outre, plusieurs des renseignements ministériels sont transférés à leur profit à leur service. L'administration de Paris, sous la direction de M. de la Porte, a été chargée de la mise en œuvre de ce projet. Elle a pour but de permettre au ministère de l'intérieur de disposer d'une base de données centralisée de toute la population.

Il s'agit de rassembler la masse énorme des renseignements administratifs de tout le territoire en un fichier unique, sous la direction de M. de la Porte, sous la direction de M. de la Porte, sous la direction de M. de la Porte.

Une telle base de données, qui sera alimentée par les fichiers administratifs de tous les ministères, permettra de disposer d'une vue d'ensemble de toute la population.

### « Safari » ou la chasse aux Français

Une telle base de données, qui sera alimentée par les fichiers administratifs de tous les ministères, permettra de disposer d'une vue d'ensemble de toute la population.

Une telle base de données, qui sera alimentée par les fichiers administratifs de tous les ministères, permettra de disposer d'une vue d'ensemble de toute la population.

Une telle base de données, qui sera alimentée par les fichiers administratifs de tous les ministères, permettra de disposer d'une vue d'ensemble de toute la population.

### Des vœux ambitieux

Une telle base de données, qui sera alimentée par les fichiers administratifs de tous les ministères, permettra de disposer d'une vue d'ensemble de toute la population.

Une telle base de données, qui sera alimentée par les fichiers administratifs de tous les ministères, permettra de disposer d'une vue d'ensemble de toute la population.

Une telle base de données, qui sera alimentée par les fichiers administratifs de tous les ministères, permettra de disposer d'une vue d'ensemble de toute la population.

### Le projet SAFARI

Une telle base de données, qui sera alimentée par les fichiers administratifs de tous les ministères, permettra de disposer d'une vue d'ensemble de toute la population.

Une telle base de données, qui sera alimentée par les fichiers administratifs de tous les ministères, permettra de disposer d'une vue d'ensemble de toute la population.

Une telle base de données, qui sera alimentée par les fichiers administratifs de tous les ministères, permettra de disposer d'une vue d'ensemble de toute la population.

### Le projet SAFARI

Une telle base de données, qui sera alimentée par les fichiers administratifs de tous les ministères, permettra de disposer d'une vue d'ensemble de toute la population.

Une telle base de données, qui sera alimentée par les fichiers administratifs de tous les ministères, permettra de disposer d'une vue d'ensemble de toute la population.

Une telle base de données, qui sera alimentée par les fichiers administratifs de tous les ministères, permettra de disposer d'une vue d'ensemble de toute la population.

### Le projet SAFARI

Une telle base de données, qui sera alimentée par les fichiers administratifs de tous les ministères, permettra de disposer d'une vue d'ensemble de toute la population.

Une telle base de données, qui sera alimentée par les fichiers administratifs de tous les ministères, permettra de disposer d'une vue d'ensemble de toute la population.

Une telle base de données, qui sera alimentée par les fichiers administratifs de tous les ministères, permettra de disposer d'une vue d'ensemble de toute la population.

Article du journal *Le Monde* révélant le projet du ministère.



# From CPU to software, the 8080 Microcomputer is here.

Intel's new 8080 n-channel microcomputer is here—incidentally 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 8080 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.



INTEL 8080	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		
	8300	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	
8604	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

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



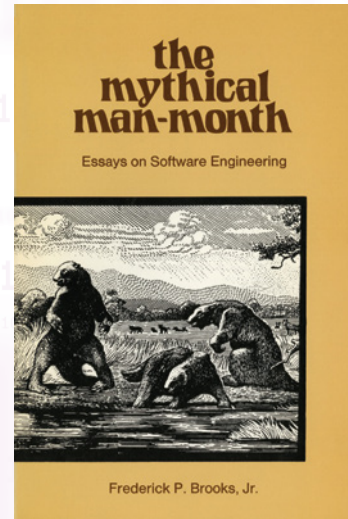
IBM 360/91 au laboratoire américain d'Oak Ridge.

tournable. 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 System/360, Frederick P. Brooks



Fred Brooks en 2007.

Couverture du livre de F. Brooks (1975).

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* !

### 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

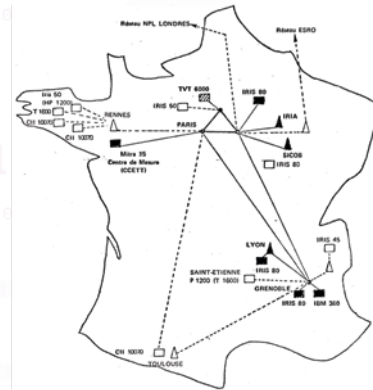


implémente systématiquement le concept de « datagramme » : les paquets de données adressés constituant un message ou un fichier n'ont pas besoin d'être transmis groupés ; dans un réseau d'ordinateurs, chacun d'eux peut librement emprunter la ligne la moins encombrée, pour n'être regroupé qu'en fin de parcours, chez le destinataire. Ce concept deviendra l'une des bases de l'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, leur nouveau réseau commercial de transmission de données par paquets.



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

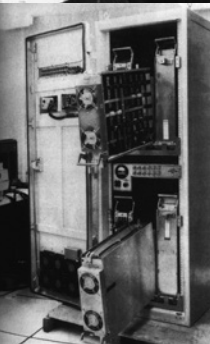
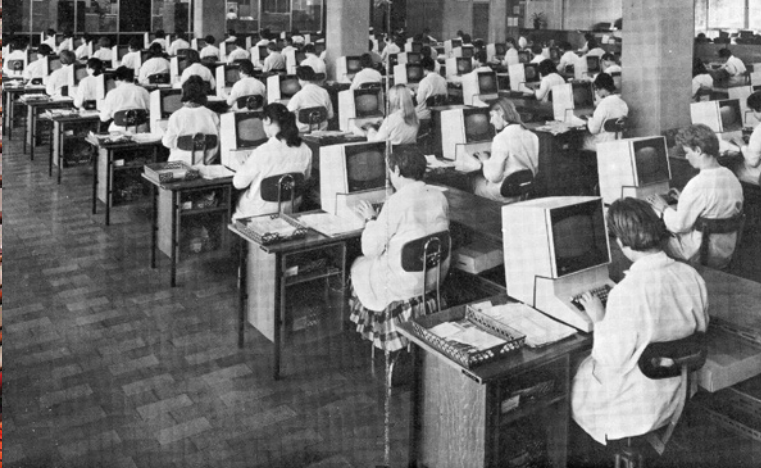
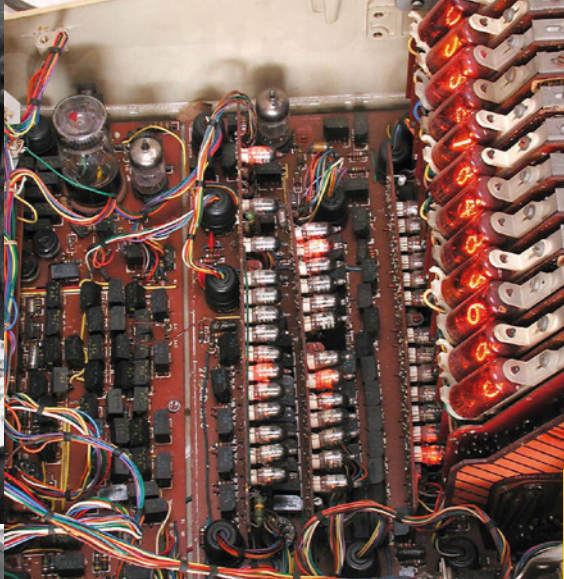


Carte du réseau Cyclades en 1975.

**Crédits**

• P. 175 : Poil / Wikimedia Commons • P. 178 : Archives BNP Paribas; Droits réservés • P. 180 : Adapté de Wgsimon / Wikimedia Commons • P. 181 : Stanford University • P. 182 : Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk> • P. 183 : David Gesswein ([www.pdp8online.com](http://www.pdp8online.com)) ; David Gesswein ([www.pdp8online.com](http://www.pdp8online.com)) • P. 184 : Olivetti ; Matéa Iliéva pour BNP Paribas • P. 185 : Droits réservés ; Courtesy of the University of Illinois Archives • P. 186 : Archives historiques Bull ; Thierry Dumont • P. 187 : Intel Corporation ; secretlondon123 / Wikimedia Commons ; • P. 188 : Droits réservés • P. 189 : Dasha Slobozhanina • P. 190 : Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk> • P. 191 : Andreas F. Borchert ; Randall Munroe, xkcd.com ; SRI International ; SRI International • P. 192 : SRI International ; National Security Agency • P. 194 : Heart, F, McKenzie, A., McQuillan, J., and Walden, D. Extrait de ARPANET Completion Report, Bolt, Beranek and Newman, Burlington, MA, January 4, 1978 • P. 195 : Draper Laboratory, MIT ; NASA • P. 196 : Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk> • P. 197 : J. Sammet ; Master Replicas • P. 198 : Antoine de Champeaux ; George Chernilevsky / Wikimedia Commons ; Michael Holley / Wikimedia Commons • P. 200 : AT&T Archives and History Center • P. 201 : Zhaoyu Yong ; Christophe Finot / Wikimedia Commons • P. 202 : copyright by Daniel L. Murphy • P. 203 : Randall Munroe, xkcd.com • P. 204 : Archives historiques EDF • P. 205 : Intel corporation ; Appaloosa / Wikimedia Commons • P. 206 : Don Hoefler, Electronic News ; Digital Game Museum / Wikimedia Commons • P. 207 : Atari ; Archives historiques Bull ; NASA • P. 208 : Nigel Tout / Wikimedia Commons ; Cristian Avezzi ; Seth Morabito / Wikimedia Commons • P. 209 : Alan Freier • P. 210 : Martin Cooper ; Playboy • P. 211 : Ken Shirriff • P. 212 : Le Monde, 21/03/1974 - Avec l'aimable autorisation du Groupe Le Monde • P. 213 : Intel • P. 214 : U.S. Department of Energy, Oak Ridge National Laboratory ; 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 ; SD&M • P. 215 : Archives IMAG ; Droits réservés • P. 216 : Xerox corporation ; MaltaGC / Wikimedia Commons ; Droits réservés ; Pierre Mounier-Kuhn ; Frank Heart / UCLA ; Atari ; Droits réservés ; Popular Science ; Pierre Mounier-Kuhn • P. 217 : © CEA/CADAM ; Emmanuel Lazard ; FastLizard4 / Wikimedia Commons ; Droits réservés ; Raymii.org ; Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk>





JULY 1973 80 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?**

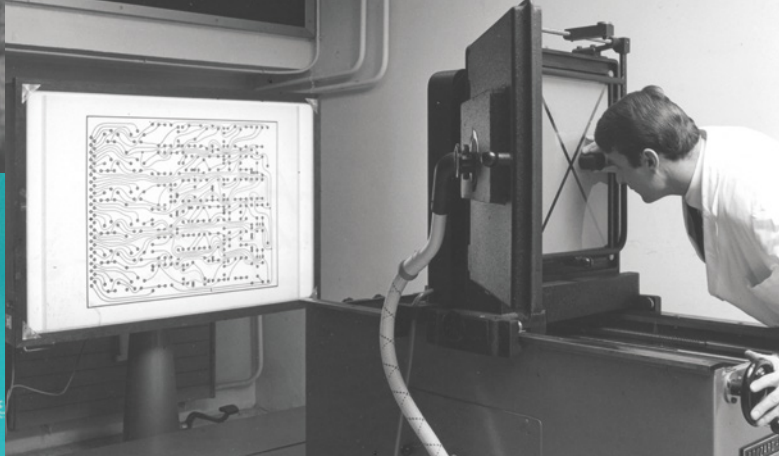
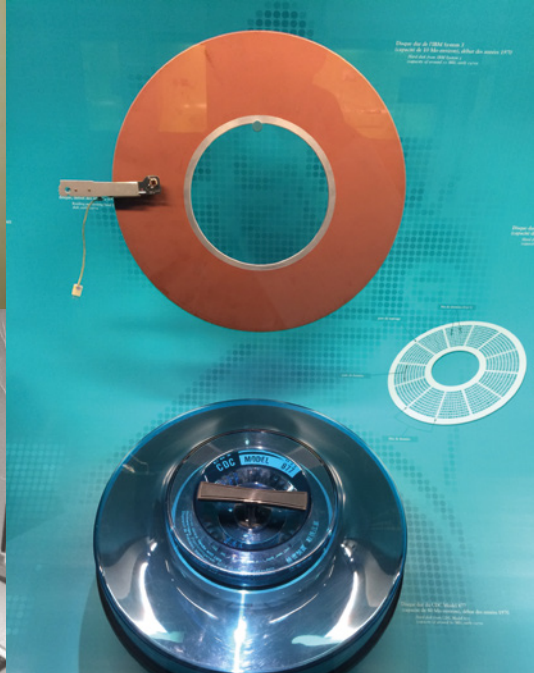
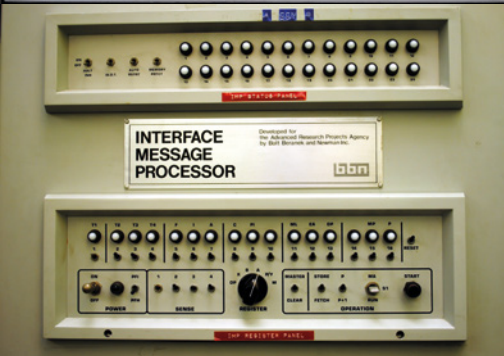
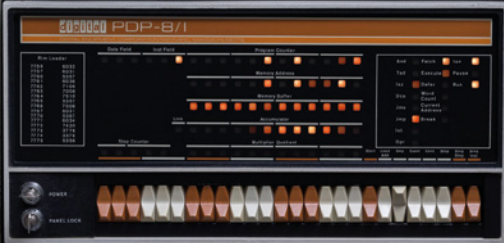
**Amazing New Alternator Delivers 60-Cycle Power Over a Wide Range of RPM's**


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

**Now You Can Make Your Own 95 Foot INH...**







# W.I.C.

# La micro-informatique



# Introduction

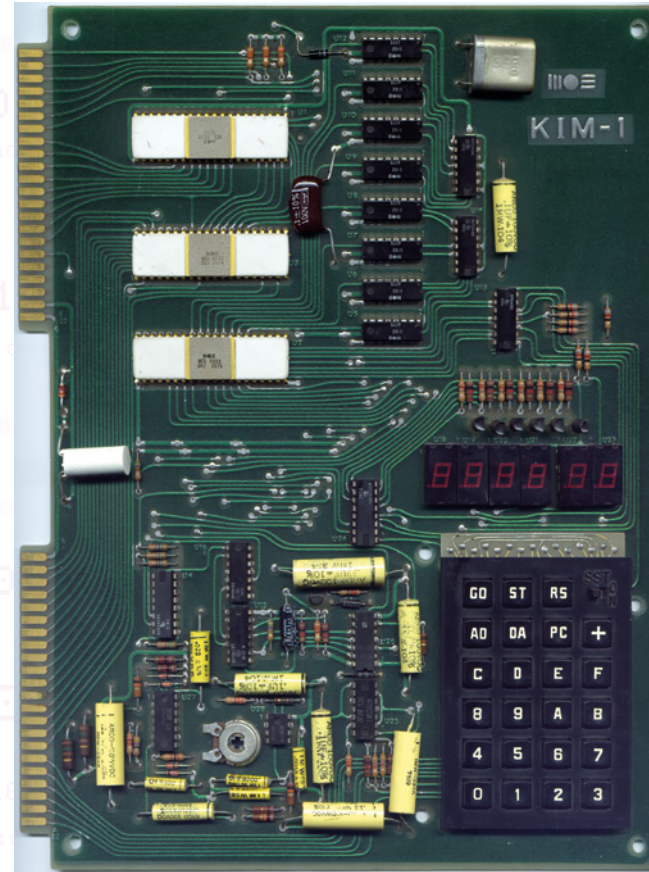
Dans les années soixante, trois obstacles barraient l'accès d'un nouveau constructeur au marché des grosses machines :

- 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 calculatrices 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 calculatrices 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. Événement 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<sup>e</sup> siècle dans des réseaux, réalisant la convergence, annoncée de longue date, de l'informatique et des télécommunications.

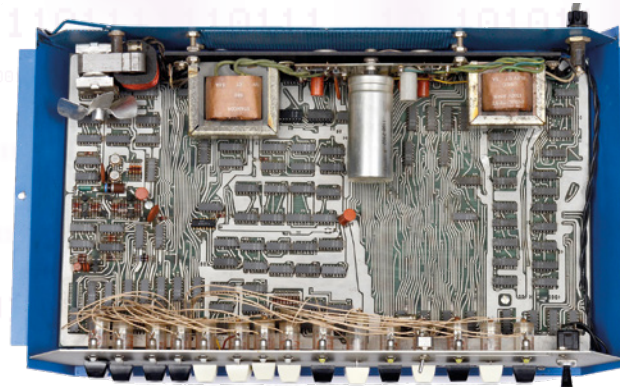
## 1971 ▶ Kenbak-1

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 équipt 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, Innovation, 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<sup>e</sup> 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 !

**MOS KIM-1 microcomputer system**

- 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  $\mu$ 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 for: **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!**

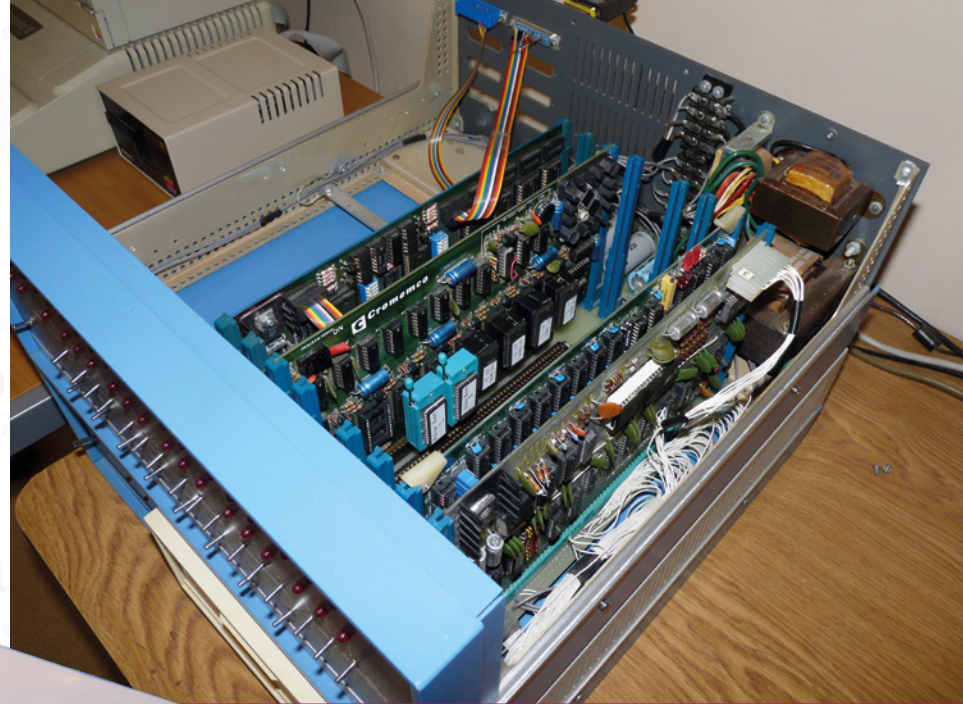
- Technics 200 Speaker System
- Pioneer RT-1011 Open-Reel Recorder
- Tram Diamond
- Edmund Scientific
- Hewlett-Packard

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. Sa console frontale s'inspire de celle des mini-ordinateurs de l'époque (Nova de DG ou PDP-8 de DEC).

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...

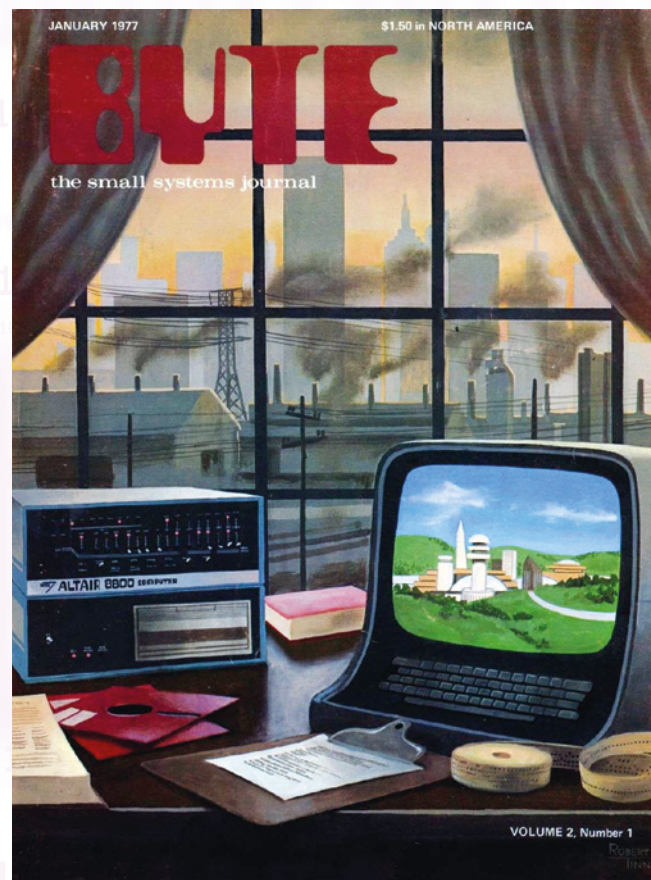
## 1975 ▶ Smaky, le petit Suisse

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 l'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.



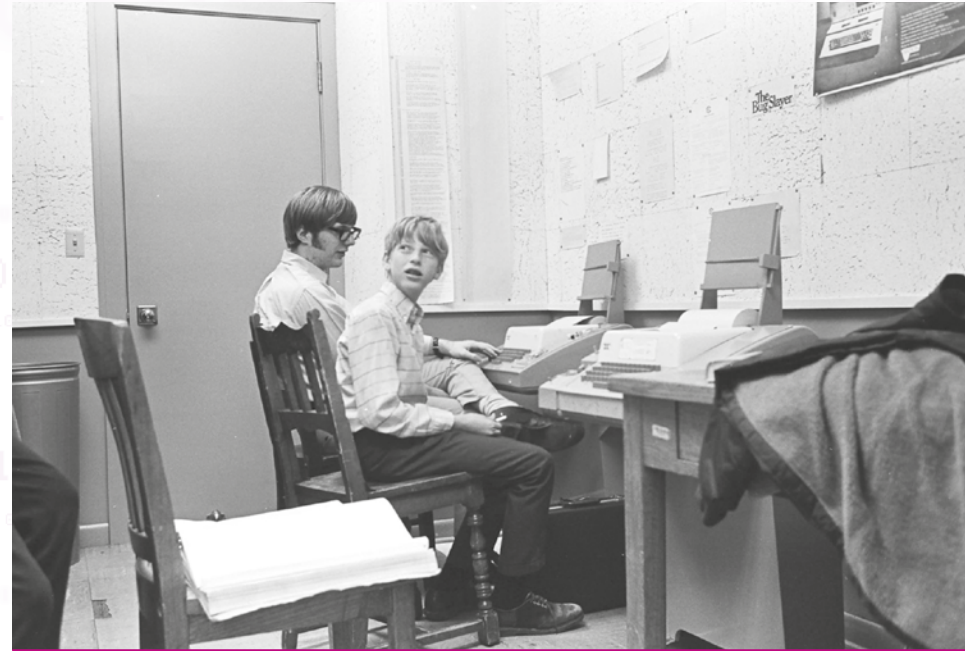
Couverture de **BYTE** de janvier 1977. On y retrouve un Altair 8800 avec une extension pour disquettes, deux disquettes et deux bandes de papier perforé portant les programmes.





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

Les plus connus en France ont pour nom *Dr. Dobbs' 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 (1953-2018) 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

February 3, 1976



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

son interpréteur BASIC 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.

### 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 Microcomputers*) 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.

## 1975 ▶ Newell et sa théière

Après les débuts de l'infographie 2D, les premiers essais de synthèse d'images 3D se développent, en particulier à l'université de l'Utah qui devient pionnière dans le domaine.

Alors qu'il cherche un objet un peu élaboré pour en faire un modèle mathématique, Martin Newell, thésard de l'équipe, se voit proposer par sa femme d'utiliser la théière présente sur la table devant eux. Après en avoir fait une esquisse à main levée, Newell retourne à son bureau pour reproduire le « squelette » de la théière à l'aide de courbes de Bézier.

En mettant en libre diffusion le modèle de la théière (c'est-à-dire l'ensemble des points la modélisant), Newell a permis aux autres équipes de tester facilement leurs algorithmes de synthèse d'images. La forme de l'objet, sans être trop compliquée, contient des éléments intéressants pour le domaine : elle est ronde, concave et convexe, a une anse, peut projeter une ombre sur elle-même et n'a pas besoin de texture élaborée pour être bien représentée.



Une des nombreuses images de la théière générées par ordinateur.

Même si l'évolution des techniques a fortement facilité sa représentation graphique, la théière de Newell est longtemps restée un objet standard de référence en synthèse d'images : toute nouvelle idée était d'abord testée sur le modèle de la théière. Elle a fini par basculer dans le folklore informatique, apparaissant régulièrement en arrière-plan dans des films d'animation (comme *Toy Story*, *Monstres & Cie* ou *Les Simpson*) ou des programmes informatiques (comme un ancien économiseur d'écran Windows).

La théière originale est maintenant au musée de l'histoire de l'ordinateur, aux côtés d'innombrables images informatiques de théières. Comme on peut le voir sur les photos, elle est plus haute que ses reproductions : le modèle original a été modifié pour illustrer les possibilités du logiciel et l'image finale a été préférée !



La théière originale.

Un article sur la synthèse d'images présentait en 1987 les six solides platoniques, incluant le « teapotahedron ».



## 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 nombreux amé-

Publicité pour le Z80  
(mai 1976).

liorations : jeu d'instructions plus complet, meilleure organisation des registres et des interruptions, interfaçage simplifié... Le Z80 dominera le marché jusqu'au milieu des années 1980, en étant l'un des microprocesseurs 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.

# 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.

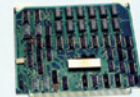
Features:	8080A	Z80-CPU	Features:	8080A	Z80-CPU
Power Supplies	+5,-5,+12	+5	Instructions	78	158*
Clock	24,+12 Volt	14.5 Volt	OP Codes	244	696
Standard Clock Speed	500 ns	400 ns	Addressing Modes	7	11
Interface	Requires no other logic and includes dynamic RAM Refresh	Requires no other logic and includes dynamic RAM Refresh	Working Registers	8	17
Interrupt	1 mode	3 modes up to 63 laster	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.



**A**nnouncing 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.

**Y**our ammunition: A chip off a new block.



A single chip, N-channel processor arms you with a super-set of 158 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 14.5 µs and all Z-80 circuits require only a single 5V power supply and a single phase 0V 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.

yet provides up to 800% more throughput than the 8080A. Powerful ammunition at a surprisingly low cost and ready for immediate shipment.

**M**ighty weapons against an enemy 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 copying 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.



**O**n standby: Software support.

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

**O**n 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 Micro-computer Product line into your design. All hardware, software and the development system are thoroughly explained with "hand-on" experience in the classroom. Your Zilog representative can provide you with further details on our user support program.



**R**einforcements: A reserve of technological innovations.

The Zilog Z-80 brings to the battlefield new levels of performance and ease of programming not available in second generation systems. And while all the others busy themselves with over-talking the Z-80, we're busy on this next generation—continuing to demonstrate our pride 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 micro-processors. 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.



**Zilog** MICROCOMPUTERS

170 State Street, Los Altos, California 94022  
415/941-2200 FAX 415/941-2700

Circle 33 on reader service card

AN AFFILIATE OF: **EXON** ENTERPRISES INC.

## 1976 ▶ Cryptographie à clé publique

Depuis l'Antiquité romaine et le chiffre de César, la cryptographie — ou l'art de chiffrer, déchiffrer et décrypter les messages — fait partie de l'art militaire, de la diplomatie et des affaires. Longtemps cantonnée aux études d'amateurs, la recherche de méthodes de chiffrement et de décryptage s'est systématisée au xx<sup>e</sup> siècle en s'appuyant sur les travaux de mathématiciens et d'ingénieurs. Turing et son cassage du code Enigma ou Flowers et son proto-ordinateur Colossus en sont les meilleurs exemples.

Jusqu'en 1976, tout envoi de message codé reposait sur un préalable: l'échange secret, entre l'émetteur et le destinataire, d'une clé de codage permettant le chiffrement. Si cette clé venait à tomber entre des mains ennemies, le système s'effondrait car l'adversaire pouvait alors déchiffrer sans peine les messages. Ce besoin de distribuer secrètement les clés



de codage a toujours été un véritable casse-tête pour les services secrets car cela revenait souvent à envoyer au destinataire un « livre de clés » en espérant qu'il ne soit pas intercepté par l'ennemi.

C'est pourquoi, « New directions in cryptography », l'article publié en 1976 par Whitfield Diffie et Martin Hellman, incluant un travail précédent de Ralph Merkle, fait l'effet d'une bombe dans le milieu de la cryptologie. Il montre la possibilité mathématique, basée sur des fonctions à sens unique, de procéder à un échange public de clé sur un canal potentiellement compromis sans que l'adversaire ne puisse la déduire des informations échangées. Un an plus tard, Ron Rivest, Adi Shamir et Leonard Adleman présentent l'algorithme RSA, première implémentation pratique de la cryptographie à clé publique. Ces avancées vont répandre la cryptographie bien plus que par le passé dans la sphère civile et commerciale, permettant quelques années plus tard l'essor du commerce électronique sécurisé.

En 1991, Phil Zimmerman, un activiste anti-nucléaire du Colorado et programmeur expérimenté, décide de populariser la cryptographie en l'appliquant aux communications par email. Très rapidement après la mise à disposition sur l'internet de son logiciel PGP (*Pretty Good Privacy*), Zimmerman est inquiet par les services gouvernementaux américains qui lui reprochent l'exportation d'armements, classe dans laquelle étaient rangés tous les logiciels de cryptographie ! Afin de contrer ces restrictions, Zimmermann décide de faire imprimer le code source de PGP et de le distribuer comme livre, profitant ainsi de la protection attachée à la liberté d'expression. Après plusieurs années d'enquête, le FBI abandonnera les charges et de nombreux gouvernements changeront leur législation dans les années 1990, afin de libéraliser ces outils auparavant classés comme « armes de guerre ».

Comme souvent en sciences, on a découvert a posteriori que plusieurs scientifiques s'étaient auparavant intéressés au problème. Dès 1874, Williams Jevons, un économiste anglais, s'est penché sur la factorisation comme fonction à sens unique : « *Can the reader say what two numbers multiplied together will produce the number 8,616,460,799? I think it unlikely that anyone but myself will ever know.* » (Le nombre sera indépendamment factorisé en 1889 et 1903.) Cette

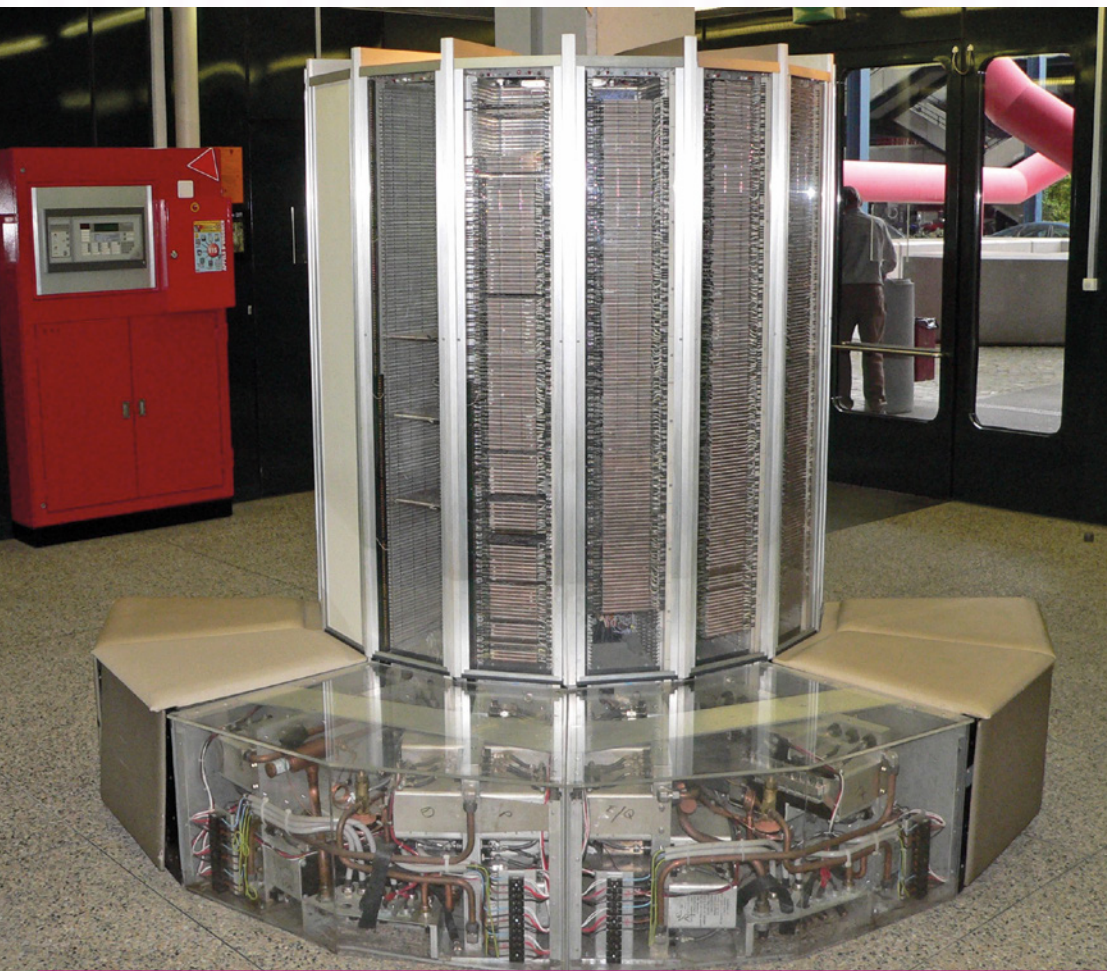
opération de factorisation est maintenant au cœur de plusieurs algorithmes de cryptographie. Lors de l'étude systématique des travaux d'Alan Turing en 2012, on a trouvé l'expression « clé publique » dans un de ses rapports, associée à un début d'algorithme de chiffrement semblable au RSA. Enfin, on a appris en 1997 que trois chercheurs travaillant pour les services secrets britanniques, Ellis, Cocks et Williamson, avaient dès 1973 inventé la cryptographie à clé publique avec un algorithme équivalent à RSA, mais que leur hiérarchie s'était contentée de classer leurs travaux secret-défense sans en percevoir toute l'importance pour les futures communications civiles.

## 1976 ▶ Imprimante laser

En 1972, Gary Starkweather, alors ingénieur chez Xerox, modifie un photocopieur maison en lui ajoutant un faisceau laser dessinant directement sur le tambour d'impression ; c'est la naissance de l'imprimante laser. Craignant une diminution de ses revenus sur le marché des photocopieurs, Xerox ne donne pas suite à cette invention. C'est IBM qui en 1976 proposera la première imprimante laser à ses

Imprimante Laser IBM 3800.





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

clients, 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 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, d'un logiciel de mise en page sophistiqué (Pagemaker), de la puissance de PostScript 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 1993 et mille fois moins qu'un microprocesseur de 2015.



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.



## 1976 ► Théorème des quatre couleurs

En 1852 est conjecturé le « théorème » des quatre couleurs : que toute carte planaire peut être coloriée sans que deux pays adjacents ne soient de la même couleur, et ce avec quatre couleurs au maximum. Il est démontré en 1976 mais pour la première fois, l'ordinateur s'invite dans une preuve mathématique majeure.

La démonstration s'appuie sur l'étude de plus d'un millier de configurations particulières dont le coloriage a nécessité plus de mille heures de calcul informatique. Cette preuve a tout de suite un statut controversé : contrairement aux précédentes preuves mathématiques, elle n'est pas vérifiable à la main et la correction du programme (au sens de l'absence de bug) n'est pas garantie. Pour ne rien arranger, elle ne satisfait esthétiquement pas les mathématiciens : obtenue par énumération exhaustive, elle prouve le théorème mais sans « expliquer » pourquoi il est vrai.

Si l'on ne peut rien contre ce deuxième inconvénient, le premier a été éliminé en 2005 lorsqu'est apparue une version entièrement formalisée de la preuve incluant déductions mathématiques et vérification formelle de la correction des programmes.

Depuis, d'autres théorèmes se sont retrouvés dans le même cas :

- En 1999, la conjecture de Kepler, vieille de 400 ans, a été prouvée, là encore à l'aide de calculs informatiques résolvant des centaines de milliers de cas. Et après plus de dix ans de travail, les démonstrations et programmes concernés ont été formellement vérifiés en 2014.
- La difficile démonstration du théorème de Feit-Thomson, établie en 1962 (sans ordinateur), a été formellement vérifiée en 2012 dans le logiciel Coq (un assistant de preuve).
- Enfin en 2016, la question de la coloration des triplets pythagoriciens a été réfutée en examinant plusieurs milliers de milliards de cas, totalisant deux jours de calcul sur un superordinateur et plus de 200 To de données ! Là encore, les programmes utilisés ont été en partie formellement vérifiés pour renforcer la recevabilité de la preuve.

Il est probable qu'à l'avenir, les liens se resserrent entre mathématiques et informatique, tant pour l'aide à la démonstration (contre-exemples, études de cas, visualisation...) que pour la vérification formelle à l'aide d'assistant de preuve. L'intelligence artificielle pourra peut-être un jour elle-même trouver de nouvelles preuves...

## 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 un micro-ordinateur entièrement intégré qui aura un succès mondial, l'Apple II. C'est l'un des pre-

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

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).

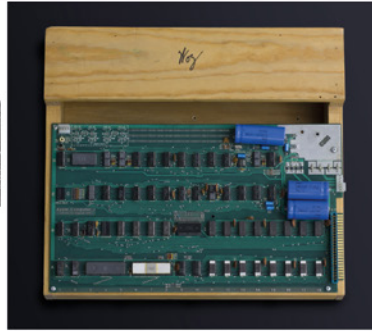
If you can't make it this time, drop us a card for the next meeting.

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

miers micros pouvant être utilisés tels quels et surtout ayant un affichage graphique en couleurs. Cette même année, deux autres modèles de micro-ordinateurs deviennent disponibles : le PET Commodore et le TRS-80. À eux trois, ils totaliseront des millions de vente et lanceront l'industrie de l'ordinateur personnel. C'est sur un Apple II au collège que l'un des auteurs de ces lignes a découvert l'informatique, avant que ses parents ne lui ramènent un TRS-80 en cadeau à la maison...

Dès le début des années 1980, des dizaines de micro-ordinateurs différents (Apple II, PET, TRS-80 puis plus tard Sinclair ZX81, TI-99, Commodore 64, Atari ST...) se font concurrence pour attirer l'attention d'ingénieurs, de hobbyistes et de passionnés qui se réunissent régulièrement dans des clubs d'informatique où ils échangent logiciels, trucs et idées. Le plus fameux de ces clubs est le *Homebrew Computer Club*, actif de mars 1975 à fin 1986 dans la Silicon Valley.





Collection de micro-ordinateurs célèbres :  
 IMSAI 8080 (1975),  
 Apple I (1976),  
 Apple II (1977),  
 PET 2001 (1977),  
 TRS-80 (1977),  
 Commodore 64 (1982),  
 Thomson T07 (1982),  
 Amstrad CPC 464 (1984),  
 Sinclair QL (1984),  
 Atari 1040ST (1986),  
 Acorn Archimedes (1987),  
 Amiga 500 (1987).

**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.**

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 SuperSCRIPT™ (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.

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

**“A professional computer, too.”** Add VisiCalc™ (26-1589, \$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!

NAME \_\_\_\_\_ PHONE \_\_\_\_\_  
ADDRESS \_\_\_\_\_  
CITY \_\_\_\_\_ STATE \_\_\_\_\_ ZIP \_\_\_\_\_

Radio Shack Dept. 83A-160 300 One Tandy Center Fort Worth, Texas 76102

Circle 351 on inquiry card.

Special prices may vary by individual store and dealer. Special order may require. VisiCalc is a registered trademark of VisiCorp.

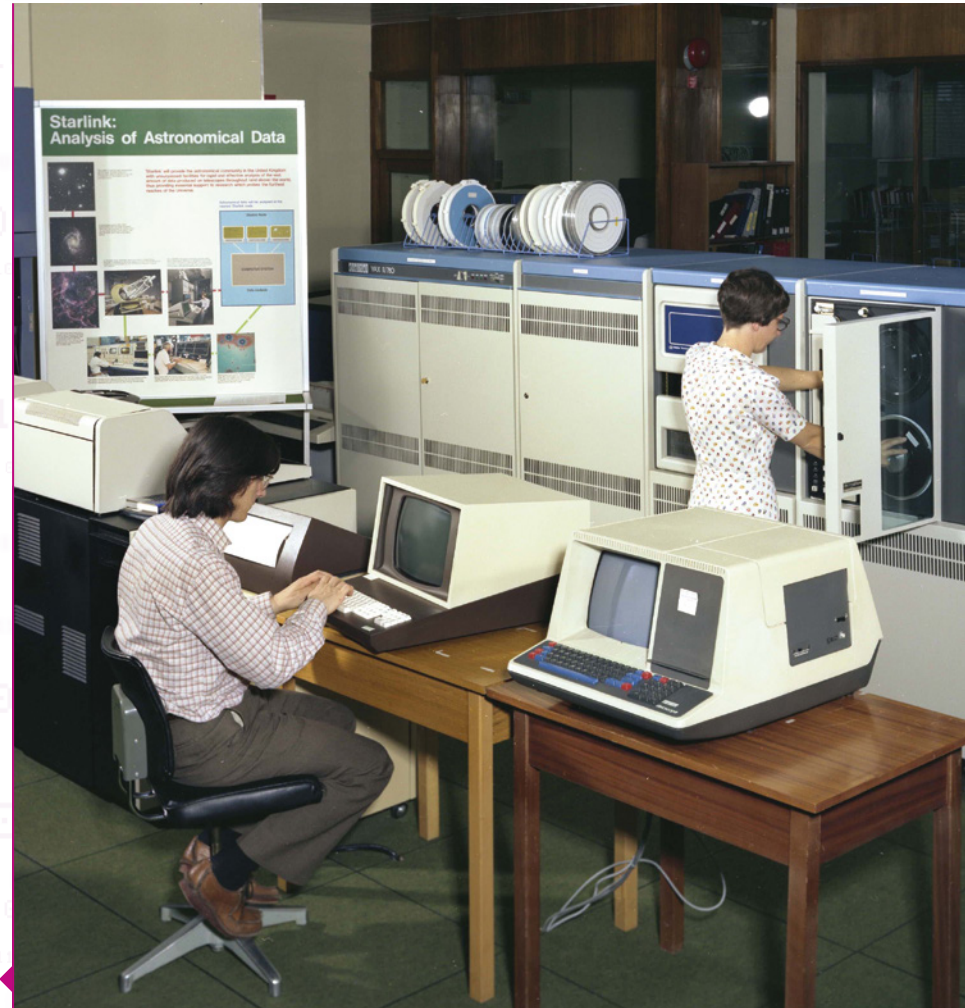


## 1977 ▶ Mini-ordinateur VAX-11/780

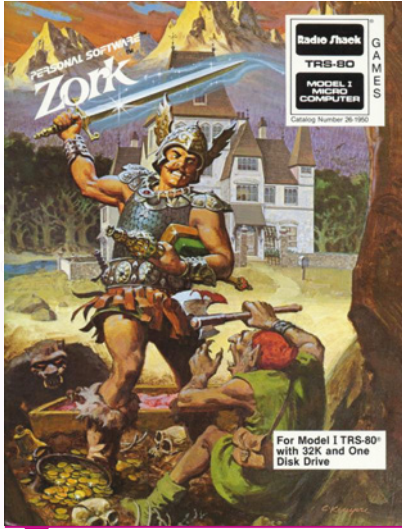
Tandis que se développe le micro-ordinateur fondé sur les micro-processeurs encore peu puissants, les laboratoires continuent de s'équiper en mini-ordinateurs. Fin 1977 DEC présente le successeur du PDP-11, le VAX-11/780, un « super mini » dont le succès dans les centres de recherche sera immédiat (100 000 exemplaires vendus au total). Aussi puissant qu'un IBM System/370 sorti huit ans auparavant, il coûte 10 à 50 fois moins. Comme dans les gros ordinateurs de l'époque, son unité centrale n'est pas assemblée autour d'un microprocesseur, mais faite de circuits intégrés plus simples et plus rapides, disposés sur des cartes électroniques, elles-mêmes enfichées sur des connecteurs permettant la communication entre composants. Le prix à payer est évidemment un encombrement plus important : le VAX-11/780 occupe une petite armoire. À une époque où beaucoup programment encore directement en assembleur, le jeu d'instructions de la machine est très complet, avec des instructions complexes et de nombreux modes d'adressage.

Cette architecture, appelée CISC (*Complex Instruction Set Computer*), atteindra ses limites à la fin des années 1980 pour être en partie remplacée par les architectures RISC basées sur des microprocesseurs plus simples mais beaucoup plus rapides. La taille mémoire d'un VAX-11/780 atteint 8 Mo, valeur importante pour l'époque. Et très largement supérieure à la mémoire d'un micro-ordinateur, souvent limitée à 16 ko, au mieux à 64 ko. L'omniprésence du VAX-11/780 dans les centres de calcul et les nœuds de réseau Internet l'a naturellement conduit à devenir un étalon de performances : sa vitesse annoncée était de 1 MIPS (million d'instruction par seconde) et tous les tests de performance s'effectuaient en comparaison — même si l'on s'est aperçu plus tard qu'il exécutait plutôt 500 000 instructions par seconde. Le VAX a contribué à la fois à éliminer les petits mainframes et à diffuser le système d'exploitation Unix.

◀ VAX-11/780 utilisé en réseau pour des analyses de données astronomiques.



## 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 l'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.

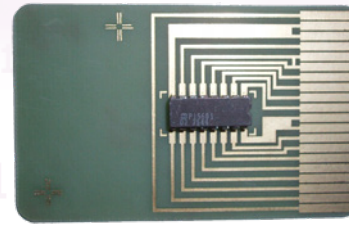
Plusieurs maisons d'édition de logiciels de jeu d'aventure pour micro-ordinateurs seront créées à la suite de la diffusion de *Colossal Cave Adventure* et contribueront ainsi au succès de ces machines parmi les amateurs : Scott Adams fondera *Adventure International* dont la douzaine de titres se vendra 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 l'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 (1940-2021) 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 tradition culturel. [...] 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

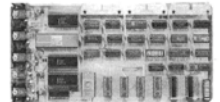
#### 8086 CPU

This card brings state-of-the-art performance to the S-100 bus. It may be used to upgrade existing 8-bit systems by "hooking" the CPU to a 16-bit bus. It will operate with 8, 16, 32, or 64K 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 — \$895.



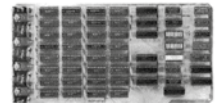
#### CPU Support Card

This is a companion to our 8086 CPU. It includes a 2K monitor with machine language debugger and data transfer loader, serial port with software-selected baud rate, timer of day clock with battery backup capability, two general purpose timers/counters, and a vertical 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 8086 bus, this card provides 8000 or 16000 bytes of memory. It is available in 8, 16, 32, or 64K configurations. It is a 16-bit bus only and will perform without wait states with our 8086 CPU units, or 8-bit clock. It has 24 bit extended addressing. Price — \$395.



#### Z80/8086 Cross Assembler

This cross assembler runs under CP/M and its derivative, to assemble the same or to assemble to Intel's 8086. It is available in 5" soft-sectored, 5" 8-inch Star, or 8" soft-sectored (SMD) 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 8086 compatible. It is a 16-bit version and includes an IDE and terminal. It works. Programs written for any other version of Microsoft BASIC will run under BASIC-86 with little or no modification. Price — \$350.

#### MCS-86 User's Manual

By Intel — Feb., 1978 edition. This is the primary hardware and software reference manual for the 8086 CPU. Price — \$6.25. (Includes shipping.)

Circle 305 on reader card.

### AVAILABLE NOW!

STOCK TO TWO WEEKS

Call for more information  
or the name of  
our nearest dealer

 **Seattle Computer Products, Inc.**  
1114 University Drive, Seattle, WA 98108  
(206) 375-1830

©1979 November 1981 347



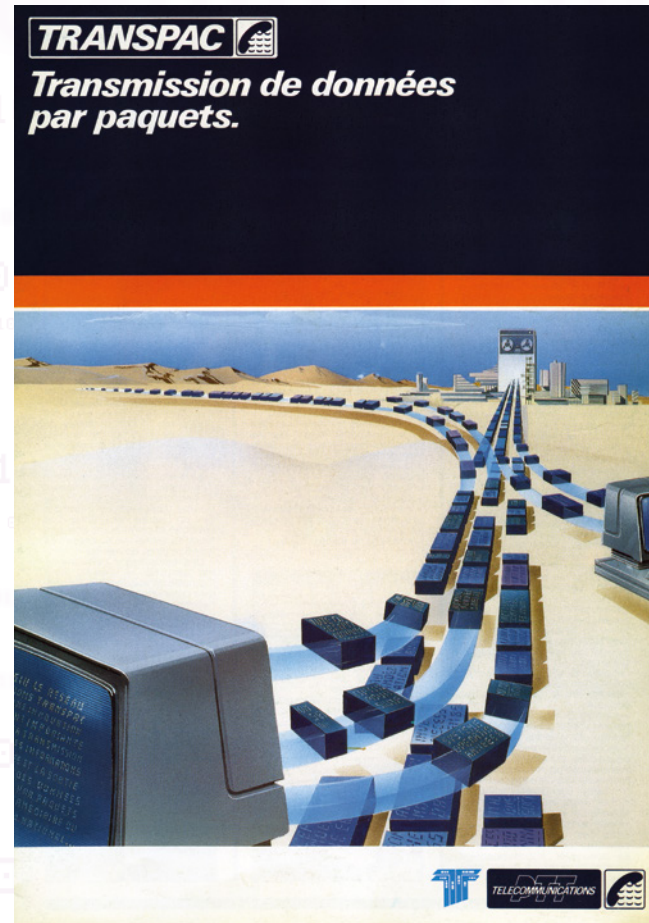
## 1978 ▶ Transpac : un réseau numérique de données

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 : 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'empirisme croissante de celui-ci, le service Transpac fermera en 2012.



Reproduction de l'écran de Pac-Man.

## 1978 ▶ Jeux vidéo d'arcade

L'augmentation de la puissance des microprocesseurs et des circuits intégrés (circuits sonores et graphiques) permet le développement de jeux vidéo de bonne qualité, mis à la disposition des joueurs sur des bornes d'arcade qui vont rapidement envahir les lieux publics (centres commerciaux, bars...) et les salles spécialisées réunissant de nombreuses bornes. Souvent originaires du

Japon, certains jeux auront un succès mondial et intégreront la culture populaire : Space Invaders (1978) est le premier *blockbuster* qui lancera l'âge d'or des jeux d'arcade ; viendront ensuite des titres connus comme Asteroids (1979), Pac-Man (1980) ou Donkey-Kong (1981). L'arrivée des consoles de jeu personnelles (sur lesquelles ces titres seront aussi disponibles) et des logiciels de jeu vidéo sur micro-ordinateur entrainera le déclin des bornes d'arcade à la fin des années 1980.

Reproduction de l'écran de Space Invaders.





## 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

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

```

:E:T:K:C:B:X: 1200 00:00:14
-----
Image BBS SubSystems:
BB...BBS Listings
EM...Electronic Mail (E-Mail)
MF...Movie Files
NF...News Files (System News)
PF...Program Files (On-Line Games)
RF...RLE Files (Hi-Res Graphics)
SB...Subboards (Message Base)
TF...Text Files
UD...Upload Download Libraries
UL...User Listing
UX...Full Disk Exchange Libraries
UB...Voting Booth

More?: Yes!
-----
Other Available Commands
C...Chat Request (Call Sysop)
F...Feedback (Mail to Sysop)
CF...This BBS Configuration
O...OFF. (Logoff)

```

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 mais quelques BBS existent toujours notamment sous forme de serveurs ssh ou telnet.

## 1978 ▶ Premier « spam »

La trace la plus ancienne d'un envoi massif d'un message publicitaire sur le réseau Arpanet est un mail prévenant de la disponibilité d'un nouveau modèle d'ordinateur DEC envoyé à environ 400 destinataires (sur les quelques milliers existant à l'époque sur le réseau) en mai 1978.

Très loin de l'informatique, le spam est depuis 1937 une marque de viande séchée à base de porc vendue en boîte de conserve aux États-Unis. Utilisé par les forces armées pendant la seconde guerre mondiale, le spam se répand au Royaume-Uni et fera l'objet d'un sketch des Monty Python en 1970, dans lequel le spam envahit la conversation et tous les plats d'un restaurant. Les geeks de l'époque connaissant les Monty Python, cette omniprésence du spam va se retrouver dans des newsgroups et des forums de discussion (sous forme de message parodique ou agressif) et finira par désigner, au début des années 1990, tout message indésirable inondant un large nombre de destinataires.

Alors que le terme « spam » est d'usage courant en Europe, on lui préfère « pourriel » au Québec, mot-valise construit à partir de poubelle et courriel.

Menu du restaurant des Monty Python.

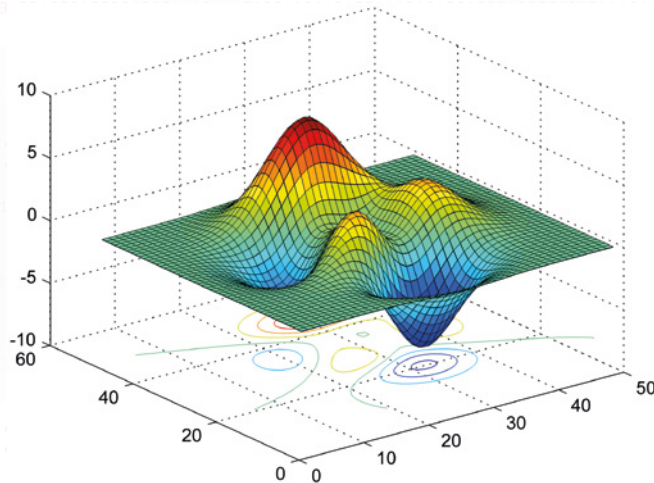






## 1980 ▶ Progiciels mathématiques

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.

## 1980 ▶ Usenet

Afin de remplacer leur système d'annonces locales à l'université de Duke, Tom Truscott et Jim Ellis (1956-2001) créent un logiciel de newsgroups et établissent une liaison avec une université voisine puis avec Arpanet en 1980. Usenet devient un ensemble de

groupes de discussions mondiale réparti sur tous les ordinateurs du réseau. Avec la croissance d'Arpanet, le nombre d'utilisateurs augmente considérablement jusque dans les années 1990 où Usenet sera progressivement délaissé au profit des forums de discussion créés sur le web naissant.

## 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



Ordinateur « portable » Osborne 1. On voit les deux lecteurs de disquette et l'écran, accompagnés de divers connecteurs.

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 attrayant 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 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

IBM PC original avec son écran monochrome et sa lourde documentation...



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.

## 1981 ▶ ZX81 :

### 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 (1940-2021) est l'un d'entre eux et son ZX81 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 ZX81 avec le lecteur de cassette faisant office de mémoire de stockage.



## 1981 ▶ Microprocesseur RISC

Jusque dans les années 1970, les concepteurs d'unités centrales pensaient que les progrès viendraient de jeux d'instructions plus riches et plus élaborés, effectuant des opérations plus complexes. Les machines et les processeurs emblématiques du début des années 1980 (VAX de DEC, 68000 de Motorola) offraient des jeux d'instructions très vastes, ce qui était supposé faciliter la tâche des programmeurs et des compilateurs. Malheureusement, cela avait un coût en termes de lenteur et de complexité interne, car un grand nombre de transistors était alloué au décodage et à l'exécution de ces instructions.

Au même moment, des statistiques faites par les chercheurs sur les programmes en langage machine avaient montré que ces instructions complexes n'étaient en fait que très peu utilisées et que la grande majorité du code était simplement composée de déplacements de données ou de branchements. Supprimer ces autres instructions « rares » permettrait alors de réaffecter les transistors correspondant à d'autres fonctions, accélérant le décodage et l'exécution des instructions standards : exécution dans le désordre, pipeline d'instructions, fenêtrage et augmentation du nombre de registres, etc. Cette innovation architecturale était rendue possible par la diffusion des mémoires en semi-conducteurs, dont l'accès était beaucoup plus rapide que les anciennes en tores de ferrite.

À la même époque, l'intégration des composants atteignait un plateau et les microprocesseurs plafonnaient 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 (la DARPA ou *Defense Advanced Research Projects Agency*) lança 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 focalisa sur l'accroissement des performances d'un processeur justement par la simplification de son contrôle interne.

Cette conjonction de facteurs permit aux universités de Berkeley (projet RISC de David Patterson) et Stanford (projet MIPS de John Hennessy) de mettre en œuvre ces idées en concevant les premières puces RISC (*Reduced Instruction Set Computer* ou microprocesseur à jeu d'instructions réduit). Leur architecture interne est complètement différente des processeurs classiques de l'époque, nommés *a posteriori* CISC, *Complex Instruction Set Computer*.

Les performances sont au rendez-vous et le concept devient commercialement viable. La société MIPS fondée par John Hennessy fut créée en 1985, tandis que Hewlett-Packard fut le premier grand constructeur d'ordinateurs à réaliser toute sa gamme en architecture RISC en 1986. Sun et DEC suivirent. Depuis, ces nouvelles techniques ont été intégrées par tous les fabricants, et même les processeurs Intel sont en fait constitués d'un noyau RISC autour duquel des circuits supplémentaires et du microcode simulent l'ancienne architecture CISC afin de préserver la compatibilité avec les systèmes et les programmes existants.

## 1981 ▶ Ultima et les jeux de rôle

Ultima est une série de jeux de rôle informatique créée par Richard Garriott et librement inspirée des jeux de rôle sur table comme *Donjons et Dragons*. Contrairement aux jeux d'aventure qui consistent principalement à résoudre des énigmes, le jeu de rôle incite le joueur à incarner un personnage dont l'évolution (force, endurance, pouvoirs...) dépendra de



Écran de Ultima Underworld (1992).

ses actions. Considérée comme l'un des premiers succès du jeu de rôle sur ordinateur, la série Ultima s'étendra de 1981 à 1999 à travers neuf titres. C'est avec Ultima IV qu'apparaît l'avatar, terme d'origine indienne signifiant « incarnation divine » dans la religion hindoue. Le mot est maintenant couramment utilisé pour désigner l'incarnation numérique d'un utilisateur dans un monde virtuel, ou un pseudonyme sur l'Internet ou un réseau social.

## 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 l'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 termi-

naux 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.



Minitel 2 vers 1990.

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 l'internet... et beaucoup plus rentable. Les avancées technologiques de l'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). 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 l'internet.



## 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

architectes de ces puces (et principalement à la société Intel) de se retrouver en position dominante et de dicter leurs règles au reste de l'industrie.

Par ailleurs, l'industrie américaine avait pris d'autres mesures pour enrayer son déclin. Les principaux industriels du secteur avaient créé dès 1977 la *Semiconductor Industry Association*, qui elle-même créa en 1982, une filiale destinée à organiser et à financer la recherche précompétitive, *Semiconductor Research Corp. (SRC)*. Les statuts de SRC prévoyaient explicitement le refus d'accepter des membres non-américains. La SIA et SRC ne furent en aucun cas des organisations potiches. Elles reçurent des financements importants en provenance des industriels et des pouvoirs publics, notamment du ministère de la défense, et s'engagèrent dans une politique de collaboration active avec les universités ; ces actions eurent pour fruit de nombreuses innovations techniques et le redressement de la courbe de progrès de l'industrie américaine dès le début des années 1990, innovations et progrès dont le bénéfice était explicitement réservé aux entreprises américaines.

## 1982 ▶ Commodore 64

L'ordinateur personnel Commodore 64 est lancé et devient très rapidement un succès commercial dans la catégorie des ordinateurs de loisir (son prix de vente est à peu près équivalent à 1 200 euros en 2015) grâce à ses performances graphiques et sonores inédites, ainsi qu'en raison du grand nombre de logiciels de jeux disponibles. Il est considéré comme l'un des ordinateurs les plus vendus au monde avec, suivant les estimations, entre 12 et 17 millions d'exemplaires écoulés sur une douzaine d'années. Un de ses successeurs, le Commodore Amiga, sorti en 1985, fut le premier micro-ordinateur vraiment multimédia, doté de capacités audio et vidéo très au-dessus de la concurrence grâce à des circuits intégrés conçus sur mesure allégeant le travail du processeur (rendant ce dernier de facto plus performant), épaulé par un système d'exploitation efficace.

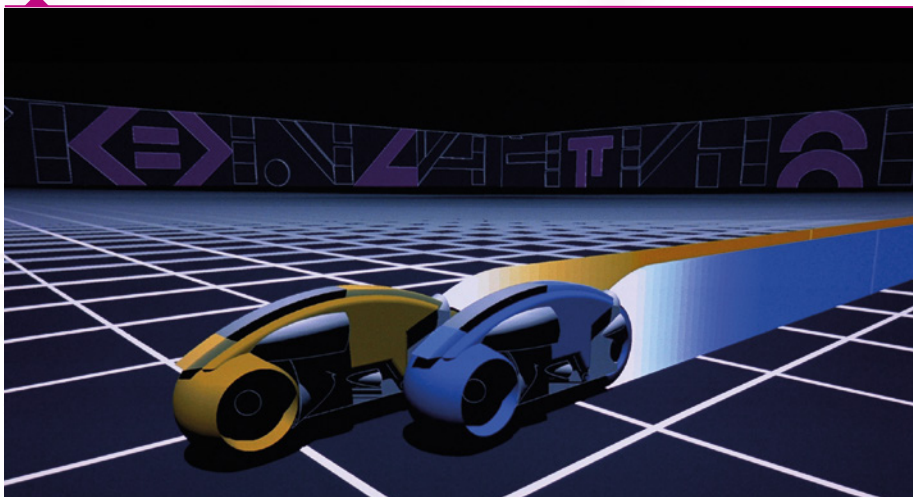
## 1982 ▶ Magazine TIME : l'ordinateur « Man of the year »

Pour la première fois, le titre de « personnalité de l'année », décerné à Noël par le magazine *TIME*, est attribué à un objet, l'ordinateur, sous le titre de « *Machine of the year* ». Les journalistes ne reconnaissent pas ainsi le début de l'informatique personnelle (qui a démarré vers 1976 avec les premières machines grand public) mais plutôt l'impact économique grandissant qu'elle va avoir dans les années à venir.

## 1982 ▶ TRON, le film

En 1982 sort *TRON*, film d'aventure et de science-fiction américain dans lequel les personnages humains se retrouvent physiquement plongés dans un monde logiciel piloté par une intelligence artificielle incontrôlable.

Image extraite de *TRON*, entièrement réalisée sur ordinateur.



Le film est célèbre, non seulement pour avoir traité du monde informatique alors que les micro-ordinateurs se répandaient à peine, mais surtout pour avoir été le premier long-métrage dont une partie des scènes a été conçue par ordinateur en synthèse d'images. La puissance limitée des machines de l'époque ne permettant pas l'animation en temps réel, chaque image a été générée individuellement (prenant plusieurs heures à chaque fois), puis l'ensemble mis bout à bout.

L'Académie des Oscars a refusé de nommer le film dans la catégorie des effets spéciaux car elle considérait que l'équipe avait « triché » en utilisant un ordinateur...

## 1982 ▶ Shareware

Alors que les logiciels étaient auparavant vendus en circuit commercial classique, Andrew Fluegelman, Jim Button et Bob Wallace décident indépendamment de distribuer leurs programmes suivant un schéma marketing original : les utilisateurs peuvent d'abord essayer le logiciel et sont encouragés à verser une contribution s'il leur plaît. Deux ans plus tard, le terme *shareware* sort vainqueur d'un concours proposé par une revue d'informatique pour nommer ces logiciels. En 1989, Phil Katz invente le format de compression Zip et son logiciel, PKZIP, deviendra l'un des sharewares les plus distribués, lui rapportant des millions de dollars. Doom, sorti fin 1993, a popularisé le jeu de tir à la première personne (*First-person shooter*) grâce à ses graphismes, son mode multijoueur mais aussi sa distribution en shareware. Le jour de sa sortie, il y a eu tellement de tentatives de connexion pour le télécharger que le réseau du site de dépôt n'a pas tenu la charge et a constamment crashé.

Un shareware peut être entièrement fonctionnel et ne demander qu'une contribution volontaire, mais certains limitent les possibilités du logiciel avant paiement : publicité intrusive, durée limitée d'utilisation, fonctionnalités désactivées, licence restrictive...



## 1982 ▶ Sun Microsystems

Alors étudiants à Stanford, Andy Bechtolsheim, Scott McNealy et Vinod Khosla fondent en 1982 avec Bill Joy l'entreprise Sun Microsystems (dont le nom est dérivé de *Stanford University Network*) pour vendre leur station de travail graphique sous Unix. Pendant plus de vingt ans, Sun sera à l'origine de nombreuses innovations technologiques, tant matérielles que logicielles, et un grand contributeur au logiciel libre : évolution des processeurs RISC puis SPARC, langage Java, système d'exploitation Solaris, systèmes de fichiers NFS et ZFS, client léger, virtualisation... Victime de la bulle internet après les années 2000, Sun dut réduire la voilure et finira rachetée en 2009 par Oracle qui put ainsi récupérer de nombreuses technologies.

## 1983 ▶ Wargames, le film

Dans le film *Wargames*, un jeune « hacker » brillant mais mal dans sa peau, se connecte, par inadvertance, avec son modem sur le superordinateur contrôlant le réseau de défense américain et plus précisément le système chargé de gérer la réponse nucléaire à une attaque surprise venant du bloc soviétique. Pensant se trouver face à un jeu vidéo, il lance la simulation et manque de déclencher la troisième guerre mondiale. Ce film a popularisé l'image du jeune pirate informatique, adolescent génial maîtrisant parfaitement les techniques informatiques avancées (connexion à distance, contournement des sécurités, programmation de bas-niveau...) et qui n'a aucune intention malveillante. Cliché qui perdure malheureusement encore aujourd'hui alors que la grande majorité des actes de piratage sont le fait de groupes criminels ou étatiques (détournement ou blanchiment d'argent, extorsion de fonds, espionnage, dégradation d'infrastructures...). Il a cependant également illustré pour le grand public la mise en réseau d'ordinateurs et les connexions à distance, préfigurant la télématique naissante. Peu de temps



après avoir visionné le film, le président Ronald Reagan s'est enquis auprès de son chef d'État-Major si une telle situation pouvait arriver. Une semaine plus tard, la réponse fut « M. le président, le problème est bien pire que vous ne l'imaginez ». Cela a déclenché la publication de rapports et d'études, culminant un an et demi plus tard à l'officialisation de directives liées à la sécurité des systèmes informatiques.

### 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.

### 1983 ▶ Le protocole MIDI

Alors que le marché des instruments de musique électroniques (claviers, synthétiseurs...) tente de se développer, le manque de standard de communication empêche l'interopérabilité entre fabricants, freinant la croissance de l'industrie musicale électronique. Ikutaro Kakehashi (1930-2017), Dave Smith et Tom Oberheim, tous trois fondateurs de leur propre entreprise d'instruments, mettent au point le protocole MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*) autorisant la communication entre instruments, claviers, synthétiseurs, contrôleurs, séquenceurs et logiciels de musique indépendamment de leur marque. Il ne s'agit pas d'un codage audio mais de messages de commandes indiquant quelles notes jouer, avec le son de quel instrument et quelles caractéristiques (vélocité, durée, pédale...).

Grâce à ses prises MIDI standard et à la qualité de son électronique associée, le micro-ordinateur Atari ST, lancé en 1985, contribue

à l'adoption de la norme et à l'essor de la musique assistée par ordinateur, tant pour le grand public que chez les professionnels. Ce standard et ses évolutions sont toujours utilisés actuellement.

### 1984 ▶ Le Cédérom

Dès 1979, Philips et Sony développent conjointement le disque optique compact afin de supplanter le disque vinyle (microsilicon) 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 l'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.

### 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, télé-



phonie... 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.

## 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 par l'interface et y voyant l'avenir de l'informatique, Jobs décide



Palm Pilot professionnel de 1997.



Psion II en version française.



Le Lisa 1 avec son disque dur au-dessus de l'unité centrale.

de l'intégrer aux futurs produits d'Apple. Le premier à l'incorporer est le Lisa (1983), grosse station de travail graphique qui n'est pas un succès commercial car trop chère, trop lente et quelque peu boguée. Apple en tire les leçons et lance en janvier 1984 le Macintosh. Son interface graphique révolutionnaire positionne ce premier micro-ordinateur convivial nettement au-dessus des IBM PC, qui sont moins chers et possèdent déjà plus d'applications. La gamme Macintosh restera un segment minoritaire du

marché, mais avec une clientèle enthousiaste et très fidèle, dans la recherche et la création. Ce qui permettra à Apple de vivre dans les décennies suivantes, avant de trouver un relais de croissance en se diversifiant avec l'iPod et l'iPhone.

## 1984 ▶ Cyberpunk et Cyberspace

Alors que l'Internet n'est encore qu'un réseau de machines universitaires et que le Minitel vient à peine d'être lancé à grande échelle, William Gibson imagine, dans son premier roman *Neuromancien*, un monde futuriste ultraconnecté. Les multinationales ont supplanté les gouvernements et la technologie omniprésente permet de se connecter au cyberspace – terme inventé par l'auteur – à l'aide d'implants physiques. Les personnages naviguent dans le réseau informatique global, la matrice, dont les données se transforment pour eux en perceptions visuelles et sensorielles. Mais revers de la médaille, tout dommage ou accident dans ce monde virtuel leur laissera des séquelles physiques... Ce monde technophile, noir, violent et pessimiste est emblématique du mouvement cyberpunk fondé par ce roman et qui nous donnera les films *Terminator*, *Le cinquième élément* ou la trilogie *Matrix*.

Auteur d'un véritable roman d'anticipation, William Gibson a imaginé le futur développement gigantesque de l'informatique, s'immisçant dans la vie quotidienne tout en renforçant le pouvoir de contrôle des autorités.

▶ Macintosh original de 1984 avec un second lecteur de disquette externe.





## 1984 ▶ PostScript

Au début des années 1980, le matériel professionnel de publication numérique est encombrant, cher et incompatible entre les différents constructeurs. Quant à l'ordinateur personnel, il n'a que des imprimantes bas de gamme à aiguilles à sa disposition.

Alors qu'ils sont aux laboratoires Xerox, John Warnock et Charles Geschke (1939-2021) développent dès 1982 un langage de contrôle des imprimantes laser de la maison. Échouant à convaincre Xerox de le transformer en logiciel commercial, ils décident de fonder leur propre société, Adobe. Renonçant à leur idée initiale de fabriquer leur propre imprimante, ils décident au contraire de développer des outils permettant aux autres constructeurs de piloter plus efficacement leurs matériels et lancent le langage PostScript en 1984.

En 1985, alors qu'il cherche un moyen de relancer les ventes du Macintosh, Steve Jobs noue un partenariat avec Adobe et propose la première imprimante laser personnelle compatible PostScript. Équipé du logiciel PageMaker sorti en même temps, ce trio rencontre un énorme succès et sera à l'origine de la démocratisation de la publication assistée par ordinateur.

Le format PDF (*Portable Document Format*), version simplifiée et optimisée de PostScript pour l'échange et la visualisation de documents (la fameuse dématérialisation), sera lancé par Adobe en 1993 et deviendra un standard en quelques années.

## 1984 ▶ Tetris

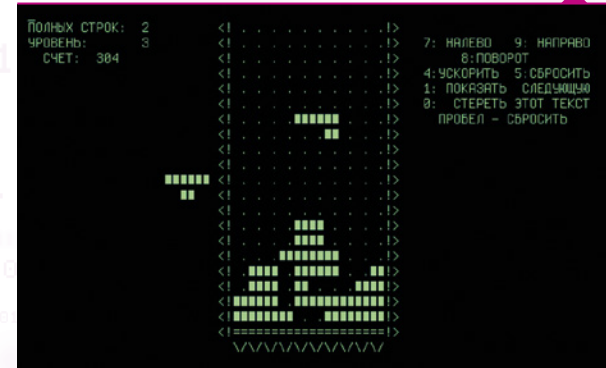
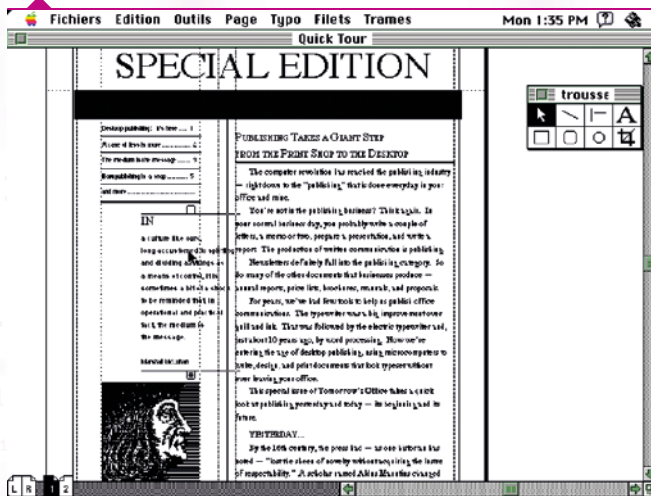
Le célèbre jeu Tetris est imaginé par le chercheur russe Alekseï Pajitnov alors qu'il cherche à reproduire le jeu de pentomino. Rapidement, sa création connaît un succès dans tous les services informatiques de Moscou. Avec l'aide de Vadim Guerassimov, il porte le jeu sur IBM PC en l'améliorant.

Sa spectaculaire diffusion mondiale se fera de manière chaotique à travers des contrats de licence et des cessions de droits effectués par des agents peu scrupuleux n'ayant pas reçu d'autorisation formelle de négociation : l'auteur ne percevra aucune rémunération pendant une quinzaine d'années.

Trente-cinq ans après, le jeu a été porté sur toutes les plateformes, des championnats du monde sont organisés et on y a même joué sur des façades de gratte-ciel !

Écran du premier Tetris.

Copie d'écran du logiciel PageMaker 1.0.



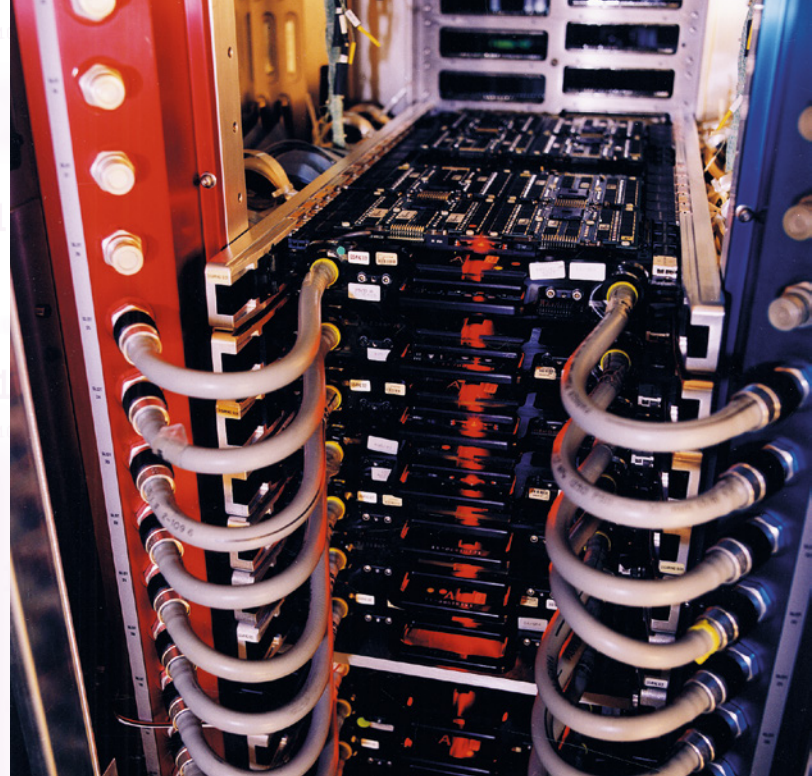
## 1984 ▶ Skynet

Sorti en 1984, le film de science-fiction Terminator raconte la lutte, dans le futur, du reste de l'humanité contre les machines, dirigées par Skynet, une intelligence artificielle consciente. Depuis, Skynet est passée dans la culture populaire comme l'illustration du supposé danger de l'intelligence artificielle qui finira un jour par dépasser l'humain et cherchera alors à l'exterminer.

## 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

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.

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...



## 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, appelé HOSTS.TXT. 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 par John Postel (1943-1998) et Paul Mockapetris. Le premier nom de domaine *.com* est enregistré en mars 1985 par l'entreprise Symbolics, fabricant de machines Lisp. Le domaine de premier niveau *.fr* sera délégué à l'INRIA en 1986.

## 1985 ▶ Le i386 et la miniaturisation

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 2019 plus d'une dizaine de milliards de transistors dans les processeurs et coprocesseurs graphiques les plus récents.



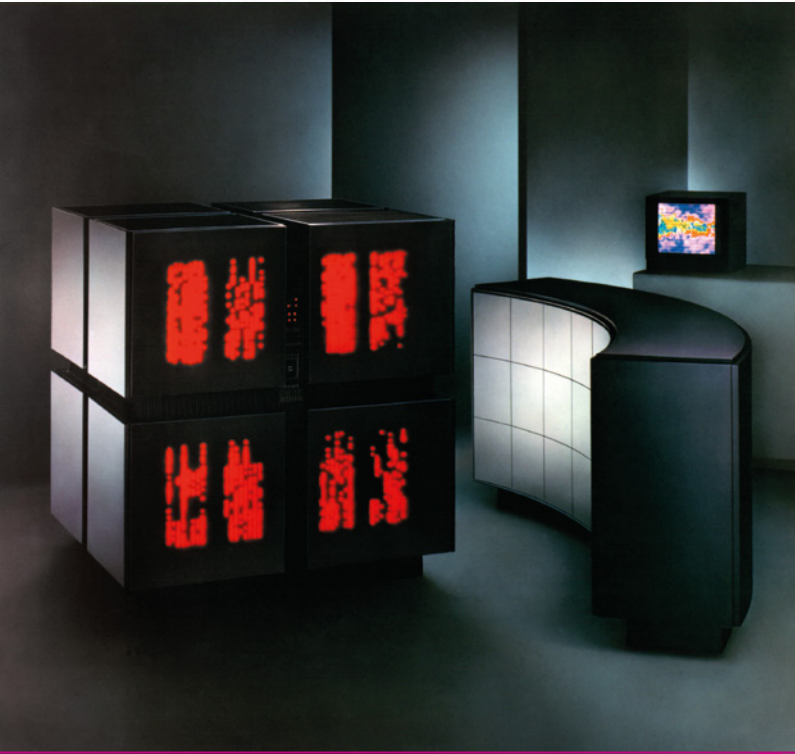
Compaq DeskPro 386,  
le premier PC basé  
sur un processeur Intel 80386.

## 1985 ▶ Connection Machine

Depuis le début de l'informatique, des tentatives sont régulièrement faites pour dépasser l'architecture de von Neumann et construire des ordinateurs parallèles. Malheureusement, l'amélioration des performances est souvent beaucoup plus faible qu'escomptée, la programmation plus difficile que prévue, et rapidement, le progrès des machines classiques renvoie ces prototypes au cimetière des bonnes idées.

En 1985 au MIT, Danny Hillis termine son doctorat consacré aux alternatives à l'architecture traditionnelle et suggère la construction d'une machine massivement parallèle. Il fonde sa propre entreprise,





Superordinateur CM-2 et son système de stockage DataVault.

Thinking Machines Corporation, et commercialise la Connection Machine 1, gros cube de plus d'un mètre de côté, doté de 65 536 processeurs très simples conçus en interne. Visant au départ le domaine de l'intelligence artificielle, cette machine sera en fait beaucoup plus utilisée pour le calcul scientifique où son parallélisme permettra d'accélérer l'étude de nombreuses équations. Suivront en quelques années la CM-2 et la CM-5 qui sera en 1993 le superordinateur le plus rapide du monde.

Même si ces machines n'éurent pas de descendance directe, leurs innovations (programmation et stockage parallèle, communication entre processeurs...) furent largement reprises dans les technologies postérieures et influencèrent de nombreux informaticiens : Steve Jobs s'est inspiré du design de la CM-1 pour créer le NeXT, tandis que Sergey Brin, l'un des fondateurs de Google, a pratiqué la programmation parallèle sur une CM-2.

### 1985 ▶ Leet speak - 1337 5[\*34]<

Dans les années 1980, les BBS se répandent et certains utilisateurs s'en servent pour échanger des fichiers plus ou moins illégaux. Afin d'éviter le filtrage automatique, ils prennent l'habitude de changer l'écriture des mots en remplaçant certaines lettres par des chiffres ou des symboles au dessin similaire. Ces utilisateurs, souvent chevronnés, ont accès à une zone spéciale du BBS en ayant un statut « élite », soit *elite* en anglais rapidement abrégé en *leet* puis écrit 1337 ou 1337. Leur « orthographe créative » est devenue le *leet speak* ou 1337 5[\*34]<. Il n'y a bien sûr pas de graphie unique, chacun étant encouragé à procéder à ses propres substitutions. Le *leet speak* est passé dans la culture populaire et certaines références sont des clins d'œil d'initié pour geek : le titre de la série télévisée Numb3rs ou le 13h37 affiché sur les publicités Freebox.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z		
4	8	(	)	3	6	/	-	1	_	x	1	[v]	[N]	0	!	*	(,)	2	5	7	(_)	√	∞	h	3	2	
Λ	6	0	)	h	ph	&	+	(-)	1	_	/	<	em	-	"/	()	{	}_	12	5	+		√	>	<	7	-
@	13	<	10	€	(+)	-	(-)	1		{	_	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
^	13	(	)	€	9	-	(	e	eye	z	b		(T)	/	/	()	"	(o)	<	/	2	5	1	L			
^	13	(	)	€	C-	(-)	3y3	<	/	_		(V)	(N)	p	>	9	12	ehs	"	]]	"						
aye	h	0	>	>	gee	-	1	1	/	/	12																
è	p>	>	>	>	(y,	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
ci	1	7			(-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
λ	13	7			cj	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Z	(3	0			3																						
3	0				3																						
33	eL				)-	(																					
=					#																						
13																											

Un exemple d'alphabet leet indiquant les possibilités de remplacement pour chaque lettre.

## 1986 ▶ Premier virus MS-DOS

Les années 1970 ont vu les premiers vers et chevaux de Troie se répandre via Arpanet ou l'échange de bandes magnétiques. Elk Cloner, écrit en 1982 par un lycéen de 15 ans, est le premier virus pour micro-ordinateur – un Apple II – à s'être largement répandu. Le nom « virus informatique », désignant un programme qui en « infecte » d'autres pour se reproduire, est proposé en 1983.

En 1986, le premier virus infectant MS-DOS est créé par deux frères informaticiens pakistanais qui voulaient protéger leur logiciel médical. Comme Elk, il se reproduit en infectant le secteur de boot des disquettes et se propage, lentement, par l'échange de disquettes infectées entre programmeurs. Contrairement à l'immense majorité des malwares actuels, ce virus n'avait aucune intention malveillante et ne procédait à aucune destruction. Les concepteurs avaient même intégré leur adresse et leur téléphone dans le code !

## 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



Stan Shih, fondateur de Multitech et d'Acer.



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.

## 1988 ▶ Premier ver internet

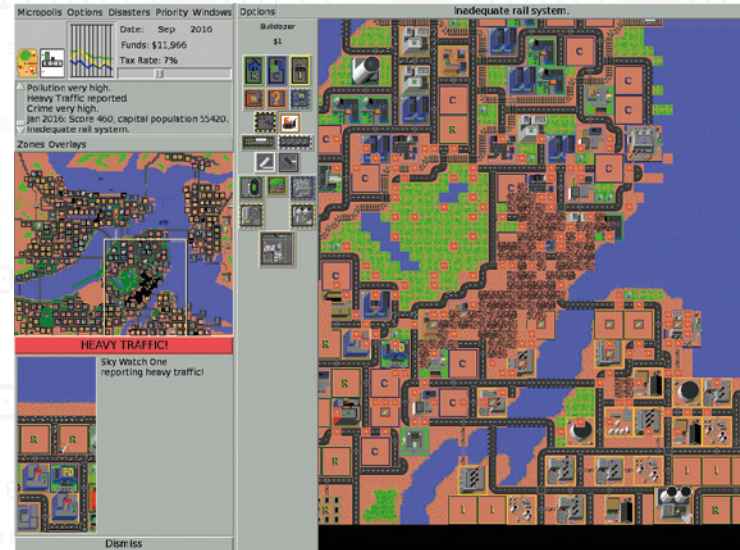
Afin de mesurer la taille du réseau internet, Robert Morris, alors étudiant à l'université Cornell et dont le père travaille en sécurité informatique à la NSA, lâche un programme capable de se propager de machine en machine en profitant de failles de sécurité existant dans certains utilitaires Unix. Malheureusement, une mauvaise qualité du code entraîne des réplifications plus rapides que prévu et un fort ralentissement des ordinateurs infectés.

En plus des diverses pannes causées aux machines, le ver eu un très fort impact psychologique car il mit en évidence la fragilité du réseau et la nécessité de renforcer sa sécurité. En réaction, la DARPA créa le premier centre national d'alerte et de réaction aux attaques informatiques. Morris fut condamné en appel à une peine de prison avec sursis, à des travaux d'intérêt général et à payer une amende ; il est depuis 2006 professeur titulaire d'informatique au MIT. Avec l'accroissement gigantesque du réseau, la sécurité de l'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...).

## 1989 ▶ SimCity

Alors qu'il développe un jeu de bataille d'hélicoptères, Will Wright s'aperçoit qu'il apprécie plus de construire la carte du jeu que l'action elle-même. Comme il est fasciné par les théories de planification urbaine, il expérimente et améliore son outil de création de ville jusqu'à en faire un nouveau jeu. Évidemment, aucun éditeur n'accepte de publier cet ovni ludique et Wright finit par fonder sa propre compagnie pour commercialiser son jeu avec succès en 1989. De nombreuses versions du logiciel ont suivi, ajoutant du graphisme supplémentaire et de la complexité de gestion.

De nombreux architectes urbains et officiels locaux ont avoué avoir été inspirés par SimCity dans leur jeunesse au point d'en faire leur métier. SimCity a également été le précurseur des jeux vidéo de simulation sans objectif ni fin prédéfinis.



Capture d'écran de Micropolis, clone de SimCity basé sur le code source original.

## 1990 ▶ Microsoft Office

Au début des années 1980, le marché des logiciels bureautiques sur PC était éparpillé entre de nombreux acteurs. Dans le domaine des traitements de texte, WordPerfect (1982) et Microsoft Word pour DOS (1983) étaient les principaux concurrents, le premier cité ayant une longueur d'avance et des parts de marché plus conséquentes.

Tout changea profondément en 1989 avec le lancement de Microsoft Word pour Windows qui profitait pleinement de la nouvelle interface graphique. Devant l'incapacité de WordPerfect de proposer une version Windows, les courbes de vente s'inversèrent et le succès de Microsoft s'amplifia avec la sortie de Microsoft Office en 1990, regroupant traitement de texte, tableur et logiciel de présentation. Les entreprises appréciaient de pouvoir se reposer, pour leurs logiciels principaux, sur un vendeur unique, gage d'intégration poussée entre les composants et avec le système du même fournisseur.

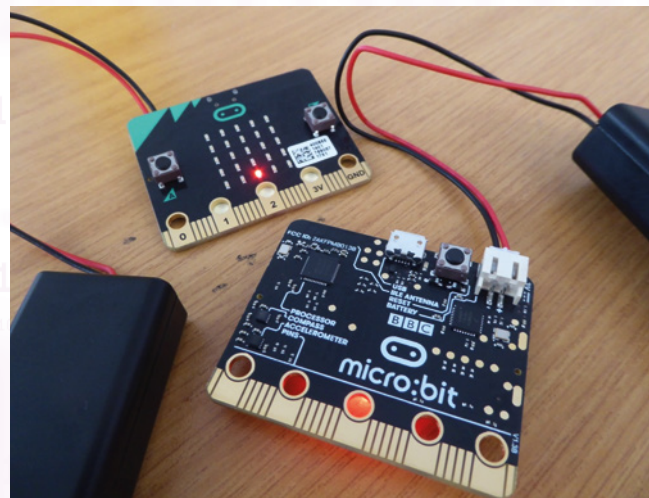
Depuis la fin des années 1990, l'hégémonie des logiciels bureautiques de Microsoft est quasi totale, lui assurant des revenus faramineux.



▶ The Microsoft Office.

## 1990 ▶ ARM

En 1981, la BBC, la société de production radio anglaise, décide de lancer une série d'émissions éducatives sur l'informatique. Pour ce faire, elle cherche un micro-ordinateur performant qui pourrait être utilisé dans les émissions pour illustrer des sujets aussi variés que



Cartes BBC Micro bit avec deux boutons, connecteur et afficheur 25 LED.

la programmation, le graphisme, la musique ou le contrôle d'appareillages externes. La société Acorn, basée à Cambridge, qui avait déjà construit quelques micro-ordinateurs, propose son nouveau prototype et, début 1982, présente le BBC Micro qui aura un énorme succès au Royaume-Uni, où il équipera près de 80 % des écoles. Le projet éducatif de *Computer literacy* (alphabétisation informatique) piloté par la BBC a d'ailleurs l'intelligence de s'adresser à tous, sans exclusion, contrairement aux programmes français similaires dont la communication cible « les jeunes ».

Pour concevoir la génération suivante, et peu satisfaits des CPU disponibles, les architectes de Acorn, Steve Furber et Sophie Wilson, décident d'implémenter leur propre microprocesseur et s'inspirent de la nouvelle architecture RISC qui leur semble très prometteuse. Les premières puces du projet Acorn RISC Machine sont produites en 1985 et l'Acorn Archimedes, l'un des micro-ordinateurs les plus performants de l'époque, sort en 1987.



En 1990, Acorn se sépare de l'équipe de développement et une nouvelle compagnie, Advanced RISC Machines, qui deviendra ARM en 1998, est créée avec le soutien financier d'Apple qui utilisera ces puces dans son PDA Newton. Depuis, ARM développe des microprocesseurs caractérisés par leur simplicité et leur efficacité énergétique. Les résultats de la compagnie ont explosé au cours des années 2000 avec l'expansion du marché mobile pour lequel les performances énergétiques des circuits sont prioritaires sur les performances calculatoires. Plus de 20 milliards de puces ARM ont été vendues en 2017 dans des téléphones mobiles, box de télévision, voitures autonomes, montres et objets connectés...

Le modèle économique d'ARM est original : l'entreprise ne fabrique aucune puce physique elle-même, ce qui l'exonère des coûts farineux des usines de production ; elle vend des licences permettant d'utiliser et/ou de personnaliser le design de ses cœurs. Les clients – Apple, Samsung, Qualcomm, Huawei, pour ne citer que les plus connus – peuvent ainsi fabriquer eux-mêmes leur processeur inspiré d'ARM.

En 2015, la BBC est revenue sur le terrain de l'éducation à l'informatique en développant un minuscule système, bien sûr à base de CPU ARM : le BBC Micro bit ou micro:bit. Plus d'un million d'exemplaires ont été distribués dans les écoles.

## 1990 ▶ Stations NeXT de Steve Jobs

Éjecté d'Apple en 1985, Steve Jobs crée sa société NeXT dans le but de construire des ordinateurs graphiques haut de gamme pour l'enseignement scolaire et supérieur. Rapidement, l'innovation, matérielle au départ, s'étend au logiciel et NeXT développe son propre système d'exploitation intégrant de nombreuses nouveautés à ce niveau : programmation orientée objet, interface de développement rapide, serveur graphique... Malheureusement, des coûts de production élevés limiteront le succès commercial

des stations NeXT (environ 50 000 machines seront vendues entre 1990 et 1993) et la société finira rachetée par Apple en 1997, permettant le retour de Steve Jobs dans son entreprise première. Malgré son modeste succès et aussi grâce au charisme légendaire de son fondateur, l'aventure NeXT a eu un impact certain dans l'industrie informatique en favorisant l'arrivée de technologies logicielles innovantes dans les systèmes d'exploitation des micro-ordinateurs.

Station NeXTcube, le premier serveur web français, et environnement graphique de l'époque.



## 1990 ▶ Electronic Frontier Fondation

L'Electronic Frontier Foundation a été créée en juillet 1990 par John Gilmore, John Perry Barlow (1947-2018) et Mitch Kapor (co-créateur du logiciel Lotus 1-2-3) suite à leur interaction avec des agences de sécurité. Constatant l'ignorance des autorités quant aux différentes formes de communication en ligne, ils ont fondé une ONG de défense des libertés civiles sur l'internet, comme la liberté d'expression et la vie privée des utilisateurs. L'EFF travaille à exposer les abus du droit encadrant l'internet, se bat contre le dépôt abusif de brevets technologiques, organise des actions politiques et intervient dans des procès en apportant expertise et fonds.

## 1991 ▶ L'Inde entre en scène

Dès la période coloniale, avant 1947, des scientifiques indiens avaient fondé plusieurs instituts de recherche et écoles d'ingénieurs où se formeront plus tard des compétences en informatique. Devenue indépendante, l'Inde a organisé une économie contrôlée par l'État, protectionniste et planifiée, en relation commerciale avec l'URSS et ses satellites. Cela n'a pas empêché IBM de s'y établir en 1951 et d'y gagner rapidement 80 % du marché, en formant des milliers de techniciens à l'utilisation de ses machines.

Au milieu des années 1960, le gouvernement entreprend de favoriser une industrie nationale des télécommunications et de l'informatique, espérant parvenir à l'autosuffisance. En 1967, le groupe Tata conclut un partenariat avec Burroughs pour fonder une société de services informatiques à Bombay (Mumbai). Six ans plus tard est créée, dans la même ville, une zone franche vouée à la production de matériels électroniques, Santacruz Electronics Export Processing Zone (SEEPZ), sur un modèle similaire à celui de Singapour : le but est à la fois d'acquérir les techniques

modernes et d'exporter sur un marché mondial en pleine croissance, en profitant de coûts de main-d'œuvre très bas. SEEPZ élargira plus tard ses activités au logiciel... et à la joaillerie.

Le ministère de l'Industrie et son département de l'Électronique engagent alors un bras de fer avec les multinationales. Ils reprochent notamment à IBM d'installer en Inde de vieux matériels, déjà amortis sur d'autres marchés, que la firme américaine re-loue au prix du neuf aux administrations indiennes. Parallèlement, IBM est attaquée pour infraction au contrôle des changes. Dans ce contexte, IBM décide en 1978 de fermer sa filiale indienne. Elle cède à ses clients tous ses équipements installés pour l'équivalent de 10 dollars, garantit pour cinq ans la fourniture de pièces de rechange, transmet son profitable Service Bureau à ses employés et licencie les autres dans de bonnes conditions : tout indique qu'IBM veut laisser un bon souvenir pour revenir plus tard sur cet immense marché.

De 1984 à 1991, une série de réformes mène l'Inde à une économie beaucoup plus ouverte. L'État cible désormais ses interventions sur des secteurs de pointe, notamment les satellites de télécommunications et le développement de parcs technologiques exempts d'impôts. IBM, qui a toujours maintenu des contacts, revient en Inde en créant avec Tata une *joint-venture*, Tata Information Systems Ltd., vouée principalement à l'installation de matériels informatiques, en concurrence avec les autres constructeurs étrangers et avec des fabricants nationaux.

Le principal effet de la libéralisation est le basculement de l'industrie du logiciel, qui jusque-là servait surtout le marché intérieur, vers le marché mondial. Cette politique est pilotée par une agence gouvernementale, l'Indian National Task Force on Information Technology and Software Development, où se concertent les représentants des administrations, des universités et de l'industrie informatique, tirant les leçons de politiques similaires menées dans d'autres pays et suivant les recommandations de l'Organisation mondiale du commerce.



En 1991, le ministère de l'Industrie crée Software Technology Parks of India (STPI), structure publique qui établit des parcs technologiques, des « technopoles » dans les principales villes des états fédérés, s'inspirant de l'expérience acquise dans SEEPZ à Mumbai. L'un des premiers se constitue à Bangalore, où Texas Instruments avait, malgré de lourds obstacles bureaucratiques, installé une liaison satellite entre sa filiale locale et son siège à Dallas. STPI offre des communications par satellite de plus en plus performantes, qui sont bientôt ouvertes aux firmes privées installées dans ces parcs. Les entrepreneurs indiens peuvent alors persuader les clients occidentaux qu'il est aussi efficace et moins cher de confier des tâches aux informaticiens de ces parcs que d'effectuer le travail en interne.

Les fournisseurs européens et américains de logiciel organisent rapidement la sous-traitance de la programmation en Inde qui en devient une source majeure. Ce *software outsourcing*, notamment dans le développement d'applications, profite de la vogue des *Enterprise Resource Planning* (ERP), puis de la forte demande induite par la perspective du bug de l'an 2000. En 1991-1996, l'industrie indienne du logiciel croît dix fois plus vite que le PIB de ce pays – qui augmente déjà de 6 % par an. Dès 1998, 158 des 500 premières sociétés classées dans *Fortune* sous-traitent des projets logiciels en Inde. Ce secteur souffre ensuite de l'éclatement de la bulle internet, mais reprend sa croissance deux ans plus tard. Sa contribution au PIB indien est passée de 1,2 % en 1998 à 7,7 % en 2017, avec un chiffre d'affaires total de 160 milliards de dollars, dont les deux tiers viennent de l'exportation.

## 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 l'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.



## 1991 ▶ Le langage Python

Alors qu'il travaille à un micro système d'exploitation dans un laboratoire de recherche universitaire à Amsterdam, Guido van Rossum ressent le besoin de développer son propre langage de programmation pour l'aider dans son projet. Il s'inspire de langages classiques (Algol, Pascal), ainsi que d'un langage développé au laboratoire dont il cherche à « régler les problèmes ».

Première question, comment l'appeler ? Il décide simplement de prendre la première référence lui passant par la tête : le Monty Python Flying Circus. Les premières versions utilisables du langage apparaissent en 1991 et très rapidement, Python gagne en popularité aussi bien dans le milieu académique que professionnel, grâce à sa syntaxe simple mais offrant des outils de haut niveau. Depuis, Guido van Rossum n'a cessé de contribuer au développement et à l'utilisation du langage à travers son travail dans des organismes publics (NIST) et privés (Google, Dropbox...)

En 2018, Python fait partie des langages majeurs (comme C, C++, Java, PHP, JavaScript...) utilisés dans d'innombrables projets de toutes les petites et grandes entreprises. Il est aussi de plus en plus utilisé pour l'apprentissage de la programmation au lycée et dans le supérieur.

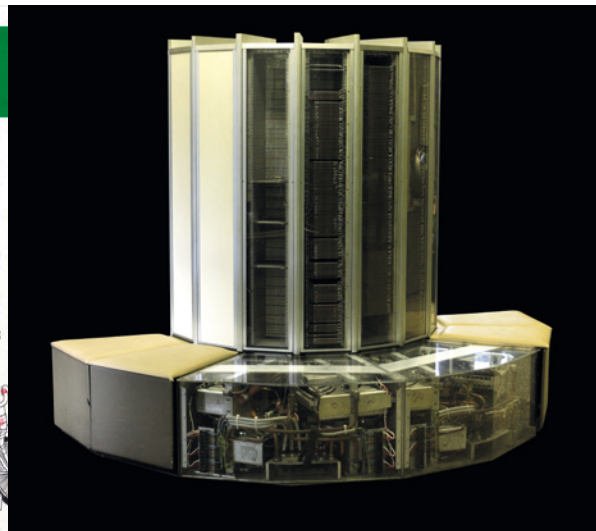
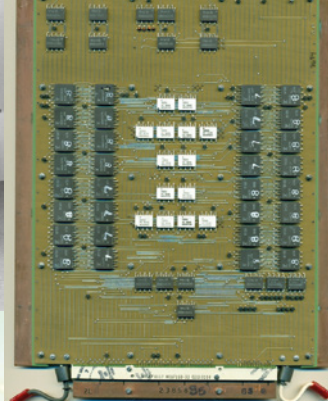


Guido van Rossum en 2006.

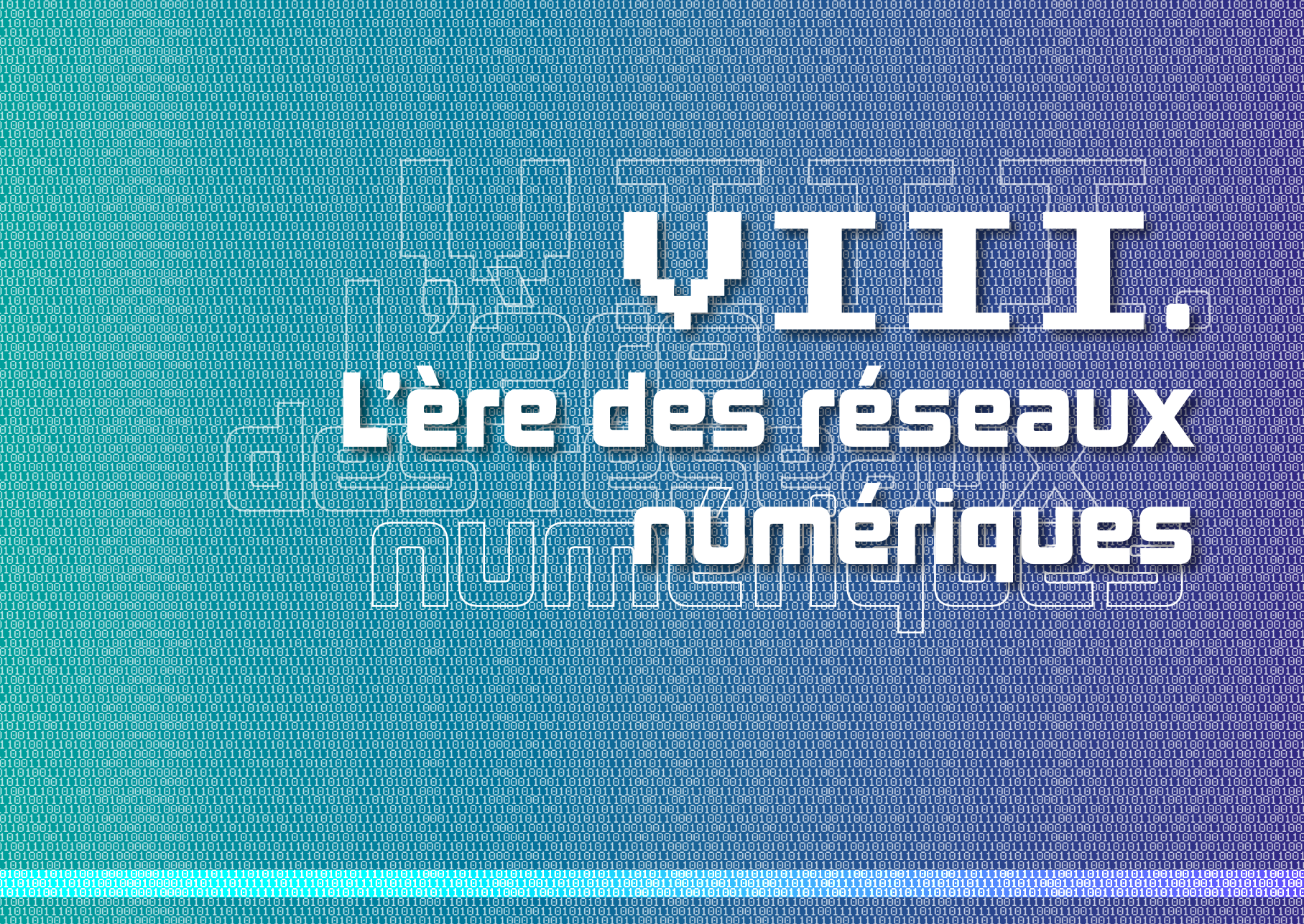
### Crédits

• P. 219 : Michael Steil • P. 221 : Computer History Museum ; 2015 by AUCTION TEAM BREKER, Cologne, Germany (www.Breker.com) • P. 222 : Rama / Wikimedia Commons • P. 223 : InnovatronWiki / Wikimedia Commons • P. 224 : MOS Technology Inc. Norristown, PA ; Poptronix Inc. • P. 225 : Heinz Nixdorf MuseumsForum ; tkc8800.com • P. 226 : BYTE Magazine • P. 227 : Abandonware magazines / Treize ; Bruce Burgess Photo Archive • P. 228 : Used with permission by Microsoft ; Bill Gates • P. 229 : Dhatfield / Wikimedia Commons ; Marchall Astor / Wikimedia Commons ; Association for Computing Machinery • P. 230 : Zilog Inc. - Michael Holley / Wikimedia Commons • P. 231 : IBM • P. 232 : Photographie par Rama, Wikimedia Commons, Cc-by-sa-2.0-fr • P. 233 : CERN • P. 234 : Gotanero / Wikimedia Commons ; Apple computer, Inc • P. 235 : Computer History Museum, Rama (Cc-by-sa-2.0-fr), Flominator, Evan-Amos, Telecarlos, Bill Bertram, PaulVernon1974, Emmanuel Lazard • P. 236 : Texas Instruments ; Radio Shack • P. 237 : Rutherford Appleton Laboratory and the Science and Technology Facilities Council (STFC). <http://www.chilton-computing.org.uk> • P. 238 : Personal Software ; Sierra Online ; Kurzweil ©2007 & FEB ; Bull • P. 239 : Musée des Transmissions ; Stanford Research Institute / SRI International • P. 240 : Seattle Computer Products • P. 241 : France Télécom / APH • P. 242 : Bandai Namco Entertainment ; © Taito Corp. 1978 • P. 243 : Droits réservés ; Eduardo Unda-Sanzana / Wikimedia Commons • P. 244 : www.jimraycroft.com 1982 ; Gortu / Wikimedia Commons • P. 245 : CSME - SCGM • P. 246 : Bilby / Wikimedia Commons • P. 247 : Dave's Vintage PCs • P. 248 : Mike Cattell / Wikimedia Commons • P. 249 : BagoGames • P. 250 : France Telecom • P. 252 : Walt Disney • P. 253 : MGM • P. 255 : Letdorf / Wikimedia Commons ; Jaap Scherphuis (<http://www.jaapsch.net/psion/>) ; © 2015 by AUCTION TEAM BREKER, Cologne, Germany (www.Breker.com) • P. 256 : Apple computer, Inc • P. 257 : James C. Suleki ; Alekseï Pajitnov • P. 258 : Lawrence Livermore National Laboratory ; © CEA/CADAM • P. 259 : TheSupermat / Wikimedia Commons ; JohnClaudi - Flickr • P. 260 : www.ferra.ru • P. 261 : Copyright Thinking Machine Corporation, 1987. Photo by Steve Grohe, courtesy of Tamiko Thiel ; Droits réservés • P. 262 : Rico Shen • P. 263 : Tomhannen / Wikimedia Commons • P. 264 : Microsoft ; Julia Chandler/Libraries Taskforce • P. 265 : IN2P3 • P. 267 : Krd / Wikimedia Commons • P. 268 : Doc Searls / Wikimedia Commons • P. 269 : 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









# WIIII. L'ère des réseaux numériques

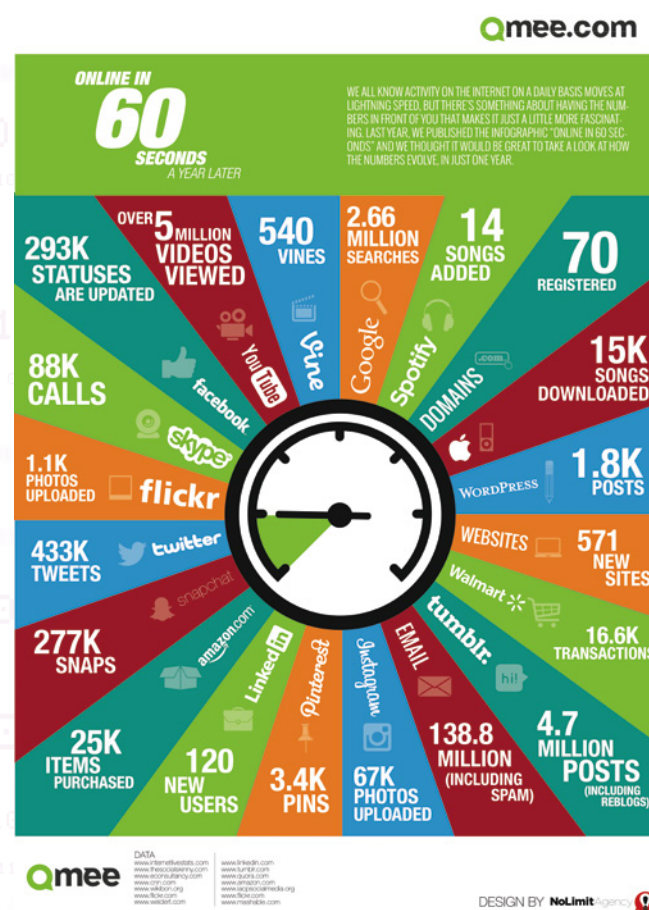


# Introduction

Un adage dit que la victoire a beaucoup de pères, tandis que la défaite est orpheline. L'internet étant une réussite mondiale, ses ancêtres sont nombreux. Il a bien sûr des origines techniques, notamment Arpanet et d'autres réseaux numériques. Mais il résulte aussi de projets politiques et culturels. Ainsi les auteurs d'un bon ouvrage d'histoire de l'informatique, Bill Aspray et Martin Campbell-Kelly, commencent par évoquer l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert, l'utopie d'un partage universel du savoir, chère à la philosophie politique des Lumières. Celle-ci s'est combinée avec l'utopie informaticienne d'augmenter les moyens mis au service de l'intelligence humaine — par exemple au Stanford Research Institute — et avec les préoccupations stratégiques de la guerre froide comme de la guerre économique. Préoccupations qui motivaient aux États-Unis et ailleurs des investissements massifs pour être à la pointe des technologies de l'information, vues comme le « système nerveux des nations ». Enfin ces projets se sont conjugués à l'utopie financière de la société sans monnaie (*cashless society*), où les transactions dématérialisées favoriseraient une désintermédiation du commerce... ou des transferts massifs de valeur au profit de nouveaux acteurs.

Écrire l'histoire des réseaux numériques revient en partie à écrire l'histoire du monde contemporain, du point de vue de l'information et de la communication. C'est aussi une entreprise risquée, pour au moins deux raisons.

D'une part l'internet a déjà sa légende, sa mythologie avec ses héros fondateurs, ses bons et ses mauvais ; les récits sont inévitablement orientés par les biais mémoriels, par les intérêts des personnes et des organisations impliquées, en fonction d'enjeux économiques et stratégiques devenus aujourd'hui gigantesques. « Qui contrôle le passé contrôle l'avenir », cette formule n'a jamais été aussi vraie.



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 de l'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 relieraient 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 kbit 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 *National Physical Laboratory*, le laboratoire des poids et mesures, le physicien Donald Davies — qui avait dirigé la construction de la machine Pilot ACE après le départ de Turing — a conçu et mis en service avec Roger Scantelbury un autre réseau à commutation de paquets. Concept qu'il a inventé, 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 constitué 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.

La commutation de paquets constitue la rupture technologique fondamentale. Les services applicatifs ne sont plus directement plaqués sur les réseaux téléphoniques analogiques. Une virtualisation devient possible avec les technologies de transmission numérique (paquets de bits) sur des liaisons analogiques, qui introduisent une couche intermédiaire salubre pour assurer des fonctions qui devaient être assurées auparavant par les utilisateurs : prise en compte des traitements d'erreur, de contrôle de flux, de reconnexion automatique sur incident, etc. Une conséquence directe est la possibilité de connecter des équipements hétérogènes, voire des réseaux hétérogènes.

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 ordi-

nateurs 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'uto pie 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<sup>er</sup> 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 PARC (Palo Alto Research Center), Ethernet a montré la voie des réseaux locaux. Développé simultanément 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 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.

Entre temps, CSNET a inauguré une internationalisation des réseaux. CSNET relie des départements universitaires d'informatique ne travaillant pas pour la Défense, donc peu contraints par les soucis de sécurité nationale. CSNET établit une première connexion extérieure avec Israël en 1982, et rapidement d'autres avec la France, l'Allemagne de l'Ouest et le Japon. Puis les efforts de quelques scientifiques aboutissent à des liaisons avec la Chine et la Corée. CSNET devient un modèle pour le programme de connexions internationales mené par NSFNET en 1987-1994.

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, America 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 de l'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 de l'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.

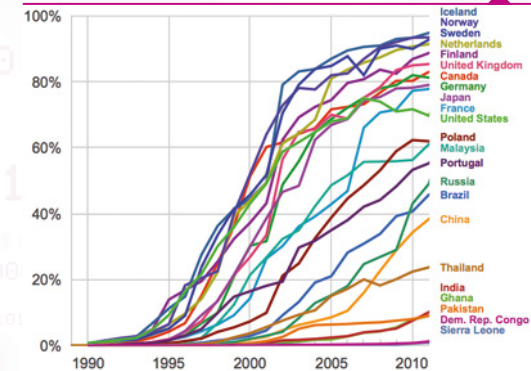
En 1995, la plupart des grandes organisations (administrations, banques, etc.) se rendent visibles sur l'internet en y créant leurs sites d'information. Deux ans plus tard, elles élargissent les fonctionnalités de ces sites aux échanges interactifs, par exemple les transactions commerciales ou bancaires, 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 de l'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 de l'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 de l'internet (2003- ?)

Au début du <sup>xxi</sup><sup>e</sup> 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 de l'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 PARC. 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 !

## 1992 ▶ JPEG

Alors que se développent les premiers réseaux télématiques grand public avec des capacités graphiques comme le minitel, se pose la question du format des images numériques. Avoir des images de bonne qualité implique une grande quantité d'information qu'il va falloir stocker et surtout envoyer sur le réseau. Pour gagner de la bande passante, il faut compresser les images et pour cela trouver le meilleur algorithme, celui qui va réduire le plus possible la taille tout en préservant au maximum la qualité photographique. C'est la proposition d'un consortium européen, incluant des chercheurs du CCETT de Rennes, qui l'emporte en 1988 et dans la foulée, le JPEG (*Joint Photographic Experts Group* – Groupe mixte d'experts photographiques), réunion d'experts télécoms et informatique, travaille sur le futur standard. La norme JPEG, du nom du comité, est publiée en 1992 sous forme libre de droits et devient rapidement le format d'image le plus utilisé, permettant ainsi une explosion du contenu photographique sur le web naissant.



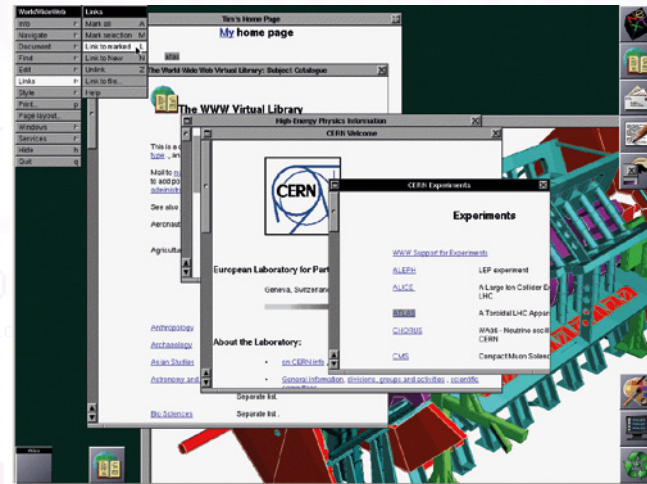
## 1993 ▶ Le Web et l'ouverture de l'internet

Au début, l'utilisation de l'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 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](http://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 plates-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),



La première page web dans le premier navigateur.

avec les protocoles (TCP/IP, ATM, Ethernet) 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 entend 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 par Marc Andreessen et Eric Bina 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 avec l'affichage des images en ligne, 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

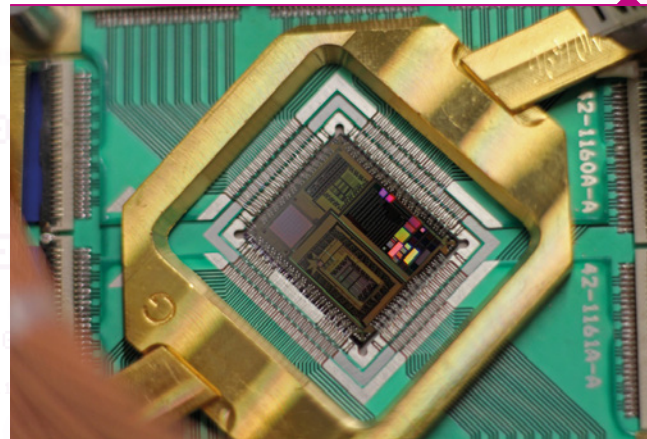
L'informatique quantique est le nouveau graal des chercheurs. Il ne s'agit plus de manipuler des bits pouvant valoir 0 ou 1 mais des qubits (*quantum bits*) qui se trouvent dans une superposition de ces deux états. Alors qu'une série de  $n$  bits peut prendre une valeur parmi  $2^n$  possibles, un ensemble 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 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 calculateur quantique généraliste mais plutôt d'un optimiseur utilisant des propriétés quantiques pour accélérer le traitement.

En 2019, l'état de l'art en informatique quantique ressemble fortement aux débuts de l'informatique traditionnelle : plusieurs technologies sont testées (ions, atomes froids, photons, supraconducteurs... contre, à l'époque, tubes à vide, lignes à retard, tubes cathodiques, mémoires magnétiques...) et personne ne sait encore laquelle s'imposera ; la fiabilité n'est pas au rendez-vous et reste un paramètre crucial dans l'éventuelle réussite finale ; et tout reste à inventer en matière de programmation des machines quantiques, totalement différente de la programmation classique.

« Processeur » 512 qubits de D-Wave.



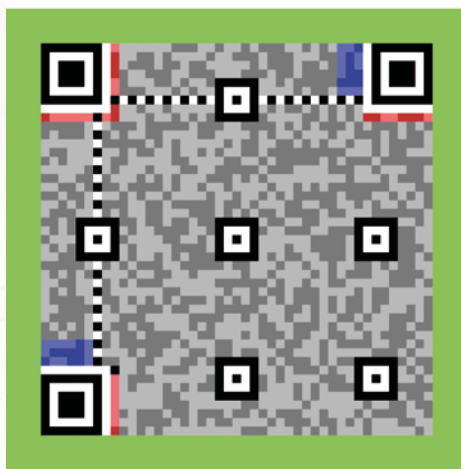
## 1994 ▶ QR-code



Exemple de 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.

Structure d'un QR-code.



1. Information de version
2. Information de format
3. Données et codes correcteurs
4. Blocs obligatoires
  - 4.1. Positionnement
  - 4.2. Alignement
  - 4.3. Timing
5. Marge

## 1994 ▶ Factorisation du RSA-129

En août 1977, Martin Gardner présente la cryptographie à clé publique et le chiffrement RSA, inventés un an auparavant, dans sa chronique mensuelle de récréations mathématiques de Scientific American. Au passage, il lance un défi à ses lecteurs : décrypter un message chiffré à l'aide d'une clé de 129 chiffres (soit 426 bits). Ron Rivest, un des inventeurs de RSA, estime dans l'article que la factorisation de ce nombre, donnant la clé privée et permettant ainsi le déchiffrement, nécessiterait environ 40 millions de milliards d'années avec les meilleurs algorithmes et ordinateurs de l'époque.

Mais au fil du temps, les machines accélèrent et de nouveaux algorithmes de factorisation sont inventés (en 1981, puis au début des années 1990), raccourcissant d'autant les calculs nécessaires. En 1994, une équipe conduite par Derek Atkins, alors étudiant au MIT, s'attaque au problème et lance un des premiers projets d'informatique distribuée via Internet en réunissant la puissance de calcul d'environ 1 600 ordinateurs de 600 volontaires du monde entier ; en six mois, le nombre est factorisé et le message initial dévoilé : « *The Magic Words are Squeamish Ossifrage* ». En 2015, ce même nombre a été factorisé en un jour sur un service de cloud commercial classique coûtant moins de 30 euros.

Le dernier record est la factorisation par une équipe française de l'INRIA en février 2020 du RSA-250, un nombre de 250 chiffres (soit 829 bits). Les agences de sécurité recommandent depuis plusieurs années d'utiliser des clés RSA de longueur minimum 2048 bits, probablement sûres encore jusqu'en 2030...

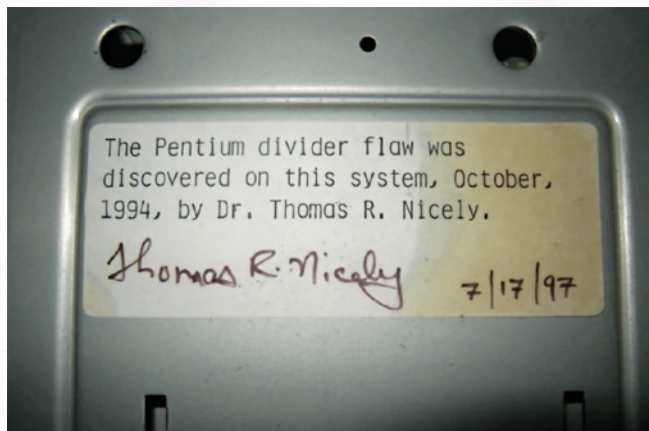
Le même phénomène s'est reproduit avec l'algorithme de chiffrement symétrique DES, standard américain pour les entreprises à partir de 1977, possédant des clés de 56 bits (plus ou moins équivalent à des clés RSA de 512 bits). En 1998, une machine spécialisée coûtant 250 000 dollars et construite par Electronic Frontier Foundation casse une clé en décryptant un message en quelques jours, montrant ainsi que le standard n'était plus sûr. L'algorithme AES, proposé par deux chercheurs belges, deviendra le nouveau standard en l'an 2000.



Le DES provient d'un algorithme proposé par IBM et modifié à la demande de la NSA. On a longtemps cru que cette dernière modification rendait le DES plus fragile, permettant ainsi à la NSA de casser certains codes. Mais lors de la découverte, à la fin des années 1980, de l'attaque par cryptanalyse différentielle, on s'est aperçu que le DES était étonnamment résistant à cette technique. On sait depuis que cette méthode d'attaque était secrètement connue d'IBM et de la NSA dès les années 1970 et que la modification effectuée par cette dernière avait au contraire pour but de renforcer le DES, protégeant ainsi les entreprises américaines, tout en gardant une attaque inconnue des autres services à disposition pour casser d'autres méthodes de chiffrement.

## 1994 ▶ Bug du Pentium

En octobre 1994, Thomas R. Nicely (1943-2019), professeur de mathématiques américain, trouve un bug dans l'implémentation de l'algorithme de division en virgule flottante de certains processeurs Pentium d'Intel. Une initialisation incomplète d'une



« Le défaut du diviseur du Pentium a été découvert sur ce système, en octobre 1994, par Thomas R. Nicely. »

table de valeurs provoque dans de très rares cas de légères erreurs de résultat. La nouvelle fait quelques titres dans la presse mais Intel commence par nier le problème puis en minimise l'importance, ne proposant l'échange de processeur qu'aux utilisateurs prouvant être impactés par le bug. Cette communication négative, et son large écho médiatique, a un effet désastreux immédiat sur l'image d'Intel, qui finit deux mois plus tard par accepter le remplacement sur demande et sans condition des processeurs.

La réponse initiale d'Intel reste un exemple de décision ayant eu un impact de relations publiques beaucoup plus important que l'importance du problème initial, relativement mineur. Suite à ce bug, les techniques de vérification formelle ont connu un regain d'intérêt pour valider la conception des architectures matérielles des circuits électroniques.

## 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 ▶ Toy Story

Produit par Pixar, alors dirigé par Steve Jobs, *Toy Story* est le premier film d'animation entièrement conçu et réalisé sur ordinateur sans dessin à la main. C'est une révolution au pays des acteurs et Pixar – et son cinéma d'animation – deviendra rapidement un poids lourd d'Hollywood, pour finir racheté par Disney en 2006.

## 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 ▶ Protocole IPv6

En prévoyant 32 bits pour les adresses IP, les concepteurs des protocoles TCP/IP pensaient avoir vu large : qui peut imaginer arriver à plus de quatre milliards de nœuds quand en 1981 on en compte quelques centaines sur le réseau ? Mais la croissance exponentielle de l'internet et du web a rapidement eu raison de cet optimisme. Dès le début des années 1990, on est obligé de faire des ajustements techniques aux protocoles (translation et agrégation d'adresses) pour augmenter artificiellement le nombre d'adresses disponibles, tout en prévoyant leur épuisement à la fin des années 2000. Les comités responsables de l'internet (IAB et IETF) lancent alors en parallèle le chantier de la refondation des protocoles afin de résoudre les problèmes de la saturation de l'espace d'adressage et de l'augmentation démesurée des tables de routage.

Fin 1995, sortent les spécifications initiales du protocole IP de nouvelle génération, IPv6 (la version 4 était la version classique et la version 5 faisait référence à un autre protocole).

L'adressage a été étendu à 128 bits, permettant d'envisager la connexion d'un nombre gigantesque d'appareils (ordinateurs, téléphones, objets connectés...), mais introduisant aussi la rationalisation de l'affectation des adresses en regroupements hiérarchiques simplifiant le routage. IPv6 augmente également les fonctionnalités tout en introduisant de nouvelles possibilités : intégration des protocoles de sécurité (chiffrement, authentification...) directement dans la norme ; prise en compte de la mobilité (raccordement d'un nœud à des réseaux successifs sans changer d'identifiant ni perdre de connexion).

Mais l'adoption du nouveau protocole a été beaucoup plus lente que prévue. Complexité de sa mise en œuvre, nécessité de la mise à jour (pas toujours possible) du matériel réseau et des applications, réticence des opérateurs et indifférence des utilisateurs ont poussé tous les acteurs à maintenir IPv4 le plus longtemps possible. En 2019, la majorité du trafic Internet se



fait encore en IPv4 plutôt qu'en IPv6, mais la pénurie d'adresses devrait de plus en plus faire pencher la balance.

## 1995 ▶ Yahoo!

Pour chercher de l'information sur Internet, il existe deux types de formules : l'annuaire et le moteur de recherche. 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

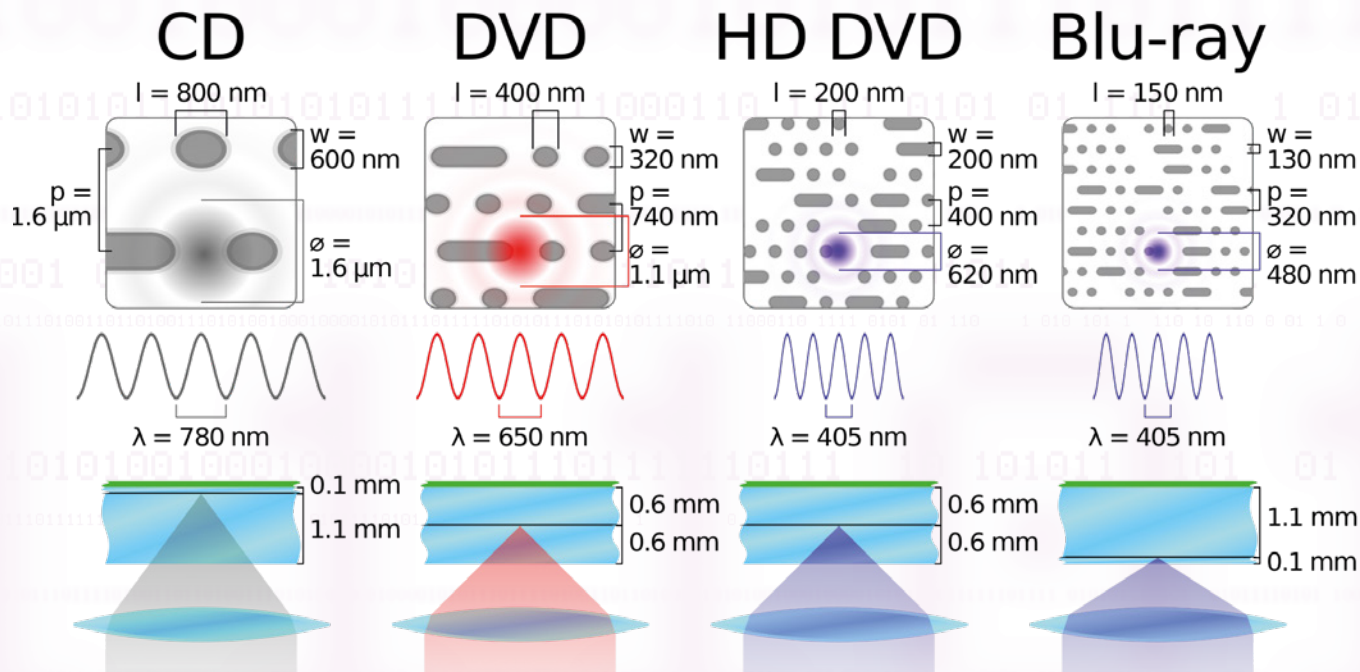
Développé par des chercheurs de Digital Equipment, principalement Louis Monier et Michael Burrows, AltaVista est le premier moteur de recherche capable d'indexer rapidement la plupart des pages web, puis de lancer la quête d'images, de fichiers audio et de vidéos. Contrairement aux annuaires, il utilise un logiciel robot d'indexation : 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 disque 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 bénéfices. 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.



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.

### 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 disque 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 l'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 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 l'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 l'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

dépassement 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<sup>e</sup> 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 10 nanomètres), technologies stratégiques soigneusement contrôlées par les pays qui les ont développées. Les autorités chinoises mettent cependant les bouchées doubles, et les investissements colossaux nécessaires, pour rattraper leur retard.

## 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



Ordinateur spécialisé Mephisto Academy (1989).

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.

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.

Les chercheurs en intelligence artificielle se sont ensuite tournés vers le jeu de go, dont l'explosion combinatoire des possibilités de jeu empêche une exploration utilisant des techniques de force brute (analysant, à chaque niveau, tous les coups légaux) utilisées aux échecs. Le challenge, arriver au niveau des meilleurs joueurs professionnels, était considéré comme extrêmement difficile, voire impossible pour certains, et les plus optimistes visaient un succès pour 2025-2030. Première alerte fin 2015 lorsque AlphaGo, programme développé par Google DeepMind, bat le champion européen sur le score sans appel de 5 parties à 0. C'est la première victoire de l'ordinateur sur un joueur professionnel dans une partie sans handicap. Nouveau coup de tonnerre en mars 2016 lorsque AlphaGo bat 4 parties à 1 le Coréen Lee Sedol, un des tout premiers joueurs mondiaux. Le programme est basé sur des algorithmes de parcours de graphes pilotés par réseaux de neurones, ces derniers ayant eux-mêmes été préalablement entraînés par apprentissage profond à partir de millions de parties de bons joueurs.

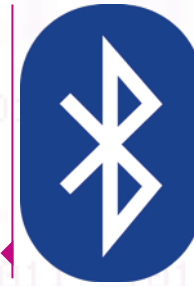
En plus de l'aspect symbolique – victoire d'une machine dans un domaine jugé emblématique de l'intelligence humaine –, cette réussite relance l'intérêt des recherches en intelligence artificielle puisqu'après des décennies d'annonces et de déceptions, les résultats sont enfin là : reconnaissance d'images, traitement du langage, conduite autonome... sont envisagés ou même réalisés.

## 1997 ▶ Bluetooth et WiFi

Les réseaux sans-fil se développent, le WiFi en 1997 et le Bluetooth en 1999 pour les liaisons entre appareils électroniques. Bluetooth est une référence au roi danois du x<sup>e</sup> siècle « Harald à la dent

bleue » qui a, selon la légende, unifié les tribus scandinaves, à l'image de Bluetooth essayant d'unifier les protocoles en un standard universel. Le symbole du Bluetooth est formé des deux initiales royales écrites en alphabet runique.

Logo Bluetooth.



## 1997 ▶ Google

Mécontents des moteurs de recherche, Sergueï Brin et Larry Page créent Google en 1997, qui fonde les résultats de la recherche sur les relations entre sites web et une analyse fine du contenu des pages. Rapidement, les utilisateurs plébiscitent ce nouveau moteur dont la pertinence des résultats est inégalée. La montée en puissance de l'entreprise est ininterrompue. Elle se diversifie dans les services annexes (mail, imagerie aérienne, services vidéo, bureautique et stockage en ligne, hébergement d'applications, réseau social, mobiles...) financés en grande partie par la publicité ciblée. Google est maintenant l'une des plus grandes entreprises mondiales, mais sa position dominante inquiète de plus en plus d'acteurs : concurrence, vie privée, violations de droits d'auteur, partage inégal de valeur ajoutée, changement de législation... Les sujets de fâcherie ne manquent pas entre les particuliers, les gouvernements, les autres entreprises et Google.

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.



► Superordinateur ASCI Blue Mountain d'environ 3 TFlop/s, composé d'environ 6 000 processeurs, installé au Los Alamos National Laboratory en 1998 et démantelé fin 2004.





Un système international se met en place avec tournois officiels financés par des sponsors, la diffusion en direct et la publicité. Comme pour le sport classique, on retrouve des athlètes, des fans, des commentateurs sportifs, des marques et des organismes de formation dans le domaine sportif comme dans celui du management eSport.

La plupart des pays reconnaissent maintenant ce statut professionnel et la prochaine étape pour les acteurs de ce domaine est de se faire accepter par la famille sportive « historique », par exemple via une participation aux jeux olympiques, ce qui reste pour l'instant une utopie.

## 1997 ▶ Papier électronique

Le premier prototype d'encre et papier électroniques est développé dès les années 1970 au Xerox PARC mais sans avoir de suite en raison des difficultés de fabrication. C'est en 1997 que deux étudiants du MIT, J.D. Albert et Barrett Comiskey, et leur professeur Joseph Jacobson inventent la première technologie efficace basée sur des microcapsules remplies de particules blanches électriquement chargées, plongées dans de l'huile colorée. Des électrodes contrôlent la migration verticale des particules à l'intérieur de chaque capsule qui peut ainsi apparaître blanche (particules vers le haut) ou noire (couleur de l'huile).

Le papier électronique offre un affichage modifiable, plus reposant pour l'œil et sans consommation permanente d'énergie. Il a permis l'avènement des liseuses électroniques mais aussi des étiquettes électroniques, en magasin ou en site de production.

Affichage d'une liseuse montrant les microcapsules.



## 1997 ▶ Snake pour téléphones mobiles



Snake II sur Nokia 3310 (sorti en 2000).

En 1996, Nokia et Motorola se font la guerre pour la suprématie sur le marché naissant des téléphones mobiles. S'ils ne sont pas encore aussi doués que nos smartphones actuels, tous les appareils incorporent des applications simples (agenda, calculatrice, répertoire...) et le marketing de Nokia demande au programmeur finlandais Taneli Armanto d'ajouter quelques petits jeux pour la sortie du prochain modèle prévue l'année suivante. Un désaccord de licence empêche le portage de Tetris et Armanto s'inspire alors de jeux d'arcade existants pour développer Snake, un jeu simple mais addictif où le joueur doit diriger un serpent pour manger des friandises sans heurter les murs. C'est le premier jeu à grand succès installé sur portable ayant touché des millions de personnes. Il préfigure la grande mode des jeux sur smartphone.

En 2010, Angry Birds, un autre jeu finlandais pour mobiles, connaîtra lui aussi un succès planétaire et de nombreux produits dérivés (films, séries, jeux, peluches, parcs d'attraction...).



## 1998 ▶ ICANN : la gouvernance de l'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 de l'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, notamment 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

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 ».

## 1999 ▶ Méthode B et METEOR

Le problème des bugs est apparu dès l'écriture des premiers programmes et les théoriciens se sont rapidement interrogés sur la possibilité de prouver la correction du code, c'est-à-dire de prouver de manière formelle l'absence de bugs.

Dès 1949, lors de la conférence de présentation de l'EDSAC, Alan Turing a proposé une méthode pour vérifier un programme. Le problème est longtemps resté cantonné aux cercles académiques : travaux de Floyd (1936-2001) et de Hoare dans les années 1970. Mais



Logo de Napster.

la multiplication des bugs ayant entraîné des pannes matérielles graves et l'omniprésence du logiciel dans les systèmes critiques (transports, centrales nucléaires...) ont poussé l'industrie « collaborer avec les chercheurs et à développer des méthodes « d'analyse et de preuve de programme », non pas *via* des tests, qui ne pourront jamais être exhaustifs, mais par une modélisation formelle du logiciel permettant d'en déduire son comportement.

Une première méthode, l'analyse statique, consiste à prendre un code existant et à effectuer une série de vérifications à partir de sa sémantique, c'est-à-dire des spécifications de chaque instruction.

- Le model-checking modélise (et simplifie) le programme par un automate dont une analyse permet ensuite de prouver qu'il vérifie certaines propriétés (par exemple « l'ascenseur ne peut pas partir si les portes sont ouvertes »). Comme l'automate décrivant le programme peut être très gros, des variantes de model-checking existent qui compressent et simplifient encore plus les états, permettant ainsi une analyse en un temps raisonnable.
- L'interprétation abstraite, quant à elle, approxime l'exécution du programme en simplifiant sa sémantique, permettant ainsi d'en déduire des preuves de son comportement – qu'il n'y a pas de dépassement arithmétique ou de division par zéro par exemple. Formalisée par Radhia et Patrick Cousot, l'interprétation abstraite est à l'origine du projet ASTRÉE, système d'analyse de programmes C permettant de prouver l'absence d'erreur d'exécution dans le code. Il a ainsi certifié en 2003 et 2004 les logiciels critiques de contrôle de vol des Airbus A340 et A380.

Une deuxième méthode part de spécifications formelles du problème (ce qu'on veut que le programme fasse) pour aboutir progressivement et automatiquement à un modèle concret dans un langage de programmation. Chaque étape de cette transformation va être validée par une preuve formelle permettant ainsi d'assurer la cohérence complète de la chaîne. En résumé, on certifie le modèle abstrait initial et la conformité de l'implémentation avec ce modèle.

Un des pionniers de cette méthode est Jean-Raymond Abrial, concepteur de la méthode B en 1999, qui a permis de modéliser, prouver et générer le logiciel embarqué de la ligne 14 du métro parisien (METEOR). La RATP a utilisé la même méthode en 2005 pour l'automatisation de la ligne 1 ; de nombreux projets ou réalisations de métros automatiques dans le monde font appel à la méthode B.

Ces différentes techniques ne sont malheureusement pas suffisantes, car même si le code source d'un programme est certifié correct, rien n'empêche un compilateur d'ajouter des bugs ! Des études ont ainsi montré que presque tous les compilateurs existants généraient du code objet parfois erroné dans certains cas très précis. Une grande étape dans la vérification des programmes a été la réalisation en 2008 par l'équipe INRIA de Xavier Leroy du premier compilateur C certifié correct. Les différentes étapes réalisées par le compilateur ont été écrites sous forme de preuves mathématiques, preuves qui ont ensuite été vérifiées par le logiciel d'assistance de preuve Coq. On est donc sûr que le code généré se comporte de la même manière que le code source.

L'ensemble de ces techniques permet donc d'étendre la chaîne de vérifications depuis les spécifications formelles jusqu'au code exécutable.

Tous les logiciels ne tirent malheureusement pas parti de ces méthodes pour des raisons de temps de développement : il est long, difficile, et pas toujours possible d'établir des modèles formels de programmes et de les prouver.

## 1999 ▶ Développement collaboratif

Les gros projets informatiques réunissent de nombreuses personnes : développeurs bien sûr mais aussi chefs de projets, graphistes, traducteurs, ergonomes... La collaboration sur des logiciels libres, impliquant des acteurs géographiquement éloignés,



ne peut se faire qu'en ligne, via des sites web dédiés appelés forges. La première réunissant le maximum d'outils nécessaires (contrôle de versions, suivi de bugs, listes de diffusion, documentation, jeux de données...) et développée à grande échelle est SourceForge, créée fin 1999 par VA Research, spécialisée dans la vente de petits systèmes Linux et connaissant bien le milieu open source.

En quelques années, SourceForge a réuni des centaines de milliers de projets donc certains sont devenus des logiciels professionnels. Le développement collaboratif, pour lequel il existe maintenant d'innombrables forges, est un passage obligé pour tout développeur, ne serait-ce que pour publier son code.

### 1999 ▶ Naissance du terme « blog »

La publication de journaux personnels en ligne a débuté peu après les débuts du web en 1990. En 1997, Jorn Barger invente le terme *WebLog*, contraction de *web log* ou *journal/registre/enregistrement* en ligne. Deux ans plus tard, Peter Merholz coupe le mot en deux et écrit *we blog*, rapidement abrégé en *blog*, utilisé comme verbe (*to blog*) ou comme nom (*a blog*). En Français, les noms « blog » ou « blogue » sont utilisés, ce dernier ayant permis les dérivations comme blogueur, bloguer, blogosphère...

### 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 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.



Le bug de l'an 2000 sur un timbre.



▶ Bogue d'affichage...

## 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.

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.

Cours de l'indice du NASDAQ entre 1994 et 2004.



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.

## 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.



## 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.

## 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.

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 ges-

tionnaire 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.



iPod 3G, iPod 4G, iPod nano 1G, iPod nano 2G, iPod shuffle 3G, iPod shuffle 2G et iPhone 4.

## 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 2021, avec plus de 57 millions d'articles en ligne, Wikipédia a dépassé les 2 milliards de visiteurs par mois et se classe régulièrement dans les 15 sites web les plus populaires. Bien que son contenu ait alors été principalement en anglais, il est rapidement devenu multilingue (325 langues en 2021).

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

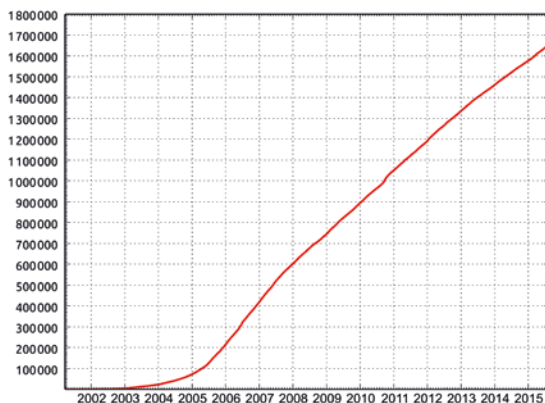
aux autres, mais elles présentent souvent de fortes différences de contenu et de techniques d'édition. Certains articles sont des sujets d'affrontement politiques et idéologiques permanents, et comme tels étroitement surveillés par les protagonistes et par le management de Wikipédia. Enfin la qualité 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 de l'internet.

## 2001 ▶ Manifeste agile

Alors que les premières méthodes de génie logiciel copiaient les autres sciences de l'ingénieur et installaient le développement dans des modèles très figés (modèle en cascade, cycle de vie en V ou en spirale...), certains développeurs conçoivent des méthodes innovantes, plus adaptées aux grands projets, à travers une plus forte réactivité aux changements de spécifications et une collaboration étroite et constante entre l'équipe et le client. Dans les années 1990, on commence à parler de RAD (*Rapid Application Development*), *Scrum*, *Extreme Programming*, *Feature-Driven* ou *Test-Driven Development*, *Continuous Integration*...

En 2001, dix-sept de ces développeurs se réunissent pour tenter d'unifier leurs méthodes et dégagent les critères communs devant, selon eux, contribuer à la direction de projets et à la conception de logiciels. Ils publient le Manifeste [pour le développement] agile [de logiciels] qui regroupe quatre valeurs et douze principes de développement : privilégier les individus, la collaboration, l'adaptabilité, les fonctionnalités... De nombreuses entreprises ont depuis adapté ces méthodes de développement qui sont en constante évolution pour suivre les avancées technologiques et organisationnelles.

Nombre d'articles  
de Wikipedia en français  
depuis 2002.



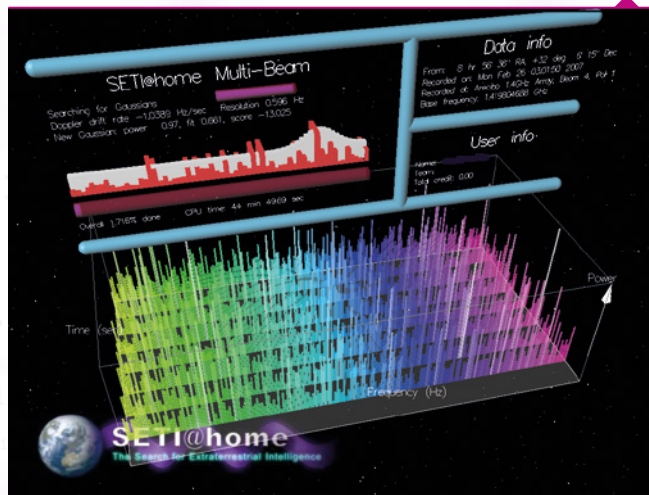


## 2002 ▶ BOINC et SETI@Home

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'Arcibo à la recherche de signaux extraterrestres, en effectuant de très nombreuses analyses numériques (transformées de Fourier) en

Copie d'écran des calculs effectués par SETI@Home.



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. Ces techniques de calcul distribué ont connu un regain d'intérêt en 2020 lors de la pandémie de Covid-19 avec le projet Folding@Home, permettant une analyse des configurations 3D des protéines virales et une accélération des études sur les molécules antivirales.

La puissance totale moyenne de calcul offerte par les centaines de milliers de bénévoles dépasse maintenant la dizaine de pétaflops, soit l'équivalent d'un des vingt 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.

## 2003 ▶ L'effet Streisand

En 2003, la chanteuse Barbra Streisand attaque en justice l'auteur d'une photographie aérienne de sa villa californienne, prise dans le cadre d'un projet scientifique sur l'érosion du littoral, souhaitant limiter la diffusion des clichés. La publicité apportée à la procédure aboutit alors à l'effet inverse lorsque de nombreuses personnes consultent le site en question.

Le nom d'effet Streisand a depuis été donné à ce phénomène médiatique pervers : vouloir empêcher la diffusion d'une information ne fait que renforcer l'intérêt du public pour ladite information, contribuant ainsi à maximiser son exposition. Benjamin Bayart a lancé en France l'expression de « l'effet Flanby », en référence à l'éclatement du flan lorsqu'on tente de l'écraser.

Depuis 2003, de nombreux exemples ont illustré cet effet. En France, citons en 2013 la requête de la DGSI faisant supprimer de Wikipédia l'article sur une station hertzienne militaire. En l'espace de quelques heures, l'article en question, jusqu'alors relativement ignoré devient le plus consulté, pour être ensuite traduit dans de nombreuses autres langues.

## 2004 ▶ CAPTCHA

À la fin des années 1990, la prolifération des logiciels robots sur internet commence à poser des problèmes aux fournisseurs de services (compte mail, espace de stockage...) qui voient ces intrus multiplier les inscriptions. Plusieurs groupes à Altavista ou Sanctum essayent alors indépendamment de résoudre ce souci en ajoutant, lors du processus, une étape consistant à reconnaître une forme ou un mot dans un environnement bruité, tâche très difficile à réussir pour un programme. Mais c'est la publication d'un article en 2003 qui donne une large visibilité au mécanisme CAPTCHA (acronyme de *Completely Automated Public Turing Test To Tell Computers and Humans Apart* – Test de

Turing public complètement automatisé pour différencier les humains des ordinateurs). Depuis cette date, les développeurs de robots et les administrateurs systèmes se livrent à une course aux armements. Tandis que les machines utilisent des techniques d'intelligence artificielle pour résoudre le test, les CAPTCHA se perfectionnent : reconnaissance d'images, véritable puzzle à reconstituer à l'écran, question mathématique ou même analyse des mouvements de la souris et de l'historique de navigation pour détecter un utilisateur humain !

Google s'est servi de ses CAPTCHA pour améliorer et accélérer sa numérisation de vieux documents : les mots illisibles par le logiciel de reconnaissance d'écriture étaient présentés aux utilisateurs qui effectuaient ainsi bénévolement le travail de relecture.

L'accessibilité des CAPTCHA est un souci pour les personnes handicapées, par exemple malvoyantes, qui peuvent se trouver empêcher d'accéder à un site web. Dans certains pays, son utilisation est encadrée pour les sites d'administrations publiques.

## 2004 ▶ World of Warcraft et les MMORPG

En parallèle au succès des jeux d'aventure sur micro-ordinateurs, les premiers logiciels réunissant online plusieurs joueurs au sein d'un même univers se développent. Ce sont les MUD ou *Multi-Users Dungeons*, qui s'inspirent de l'univers Heroic-Fantasy des jeux de rôles comme Donjons et Dragons, mais restent purement textuels, limitant l'immersion.

Le premier jeu de rôle online graphique multi-joueurs (MMORPG ou *Massively Multiplayer Online Role-Playing Game*) est *Neverwinter Nights* en 1991. Malheureusement, le coût élevé des appels téléphoniques nécessaires pour se connecter au serveur (l'internet n'a pas encore atteint le grand public) limite l'usage et empêche le développement du jeu.



Un exemple de mots sur un CAPTCHA.





Illustration pour une extension de WoW.

Dans les années qui suivent, la démocratisation de l'internet permet aux développeurs de proposer à des milliers de joueurs de se connecter simultanément dans un univers virtuel persistant. Ultima Online (1997) et Everquest (1999) sont des succès, mais pour un public de niche.

Au début des années 2000, la culture geek n'est plus inconnue et de nombreux films associés (*Le Seigneur des anneaux*, *Harry Potter*...) touchent un public immense. Ajouté à sa qualité graphique et narrative, cela favorise le succès de World of Warcraft, MMORPG de Blizzard Entertainment sorti en 2004.

Avec près de 13 millions d'abonnés en 2011, au pinacle de son succès, WoW est devenu un jeu culte, révolutionnant le jeu en ligne. Il est toujours parmi les MMORPG les plus joués avec encore plus de 6 millions de joueurs, qui forment une vraie communauté se retrouvant en ligne mais aussi dans la vraie vie *via* des rencontres, des salons...

Poussant la technologie matérielle mais aussi l'imagerie à leurs limites, les entreprises proposant des MMORPG sont confrontées à des problèmes techniques non triviaux : présence de très nombreux et puissants serveurs, connexions venant du monde entier, nécessité d'avoir des débits gigantesques et une faible latence pour garantir la réactivité... De plus, elles réunissent des talents provenant d'univers très divers : informaticiens bien sûr mais aussi graphistes, écrivains ou conteurs qui imaginent les aventures proposées aux joueurs.

Dans un tout autre domaine, le jeu Minecraft, sorti en 2011, connaît lui aussi un très gros succès avec plus de 100 millions d'exemplaires vendus. Le joueur est plongé dans un monde virtuel formé de blocs, collectant des ressources (sous forme de matériaux) et fabriquant des objets et artefacts, un peu à la manière d'un jeu de construction. Une ressource spéciale « énergétique » permet d'animer les blocs et de concevoir ainsi des machines. Évidemment, il n'a pas fallu attendre longtemps pour que des passionnés construisent dans leur monde des calculatrices et même une machine de Turing à l'aide des blocs...

## 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.

## 2005 ▶ Peste du sang corrompu

En septembre 2005, les programmeurs de World of Warcraft introduisent un ennemi de haut niveau doté d'un pouvoir affaiblissant le joueur au fil du temps. À l'image d'une maladie contagieuse, ce sort se transmet entre personnages à proximité, mais est prévu pour rester cantonné à la zone de niveau supérieur d'où il est issu. À cause d'un bug – des personnages non-joueurs et les familiers d'un joueur pouvaient rester infectés tout en se téléportant hors de la zone –, l'incident se propage rapidement à l'ensemble des zones, tuant de nombreux personnages de bas niveau et des centaines de cadavres jonchent les villes du jeu.

Dans le chaos qui s'ensuit, les joueurs adoptent des comportements variés. Des personnages dotés de sorts de soins offrent leurs



services, d'autres guident les joueurs hors des zones infectées. À l'inverse, certains propagent volontairement la maladie en se rendant dans des villes densément peuplées. Se rendant compte de son erreur, l'éditeur du jeu met en place des zones de quarantaine mais des joueurs les ignorent sans prendre le risque au sérieux.

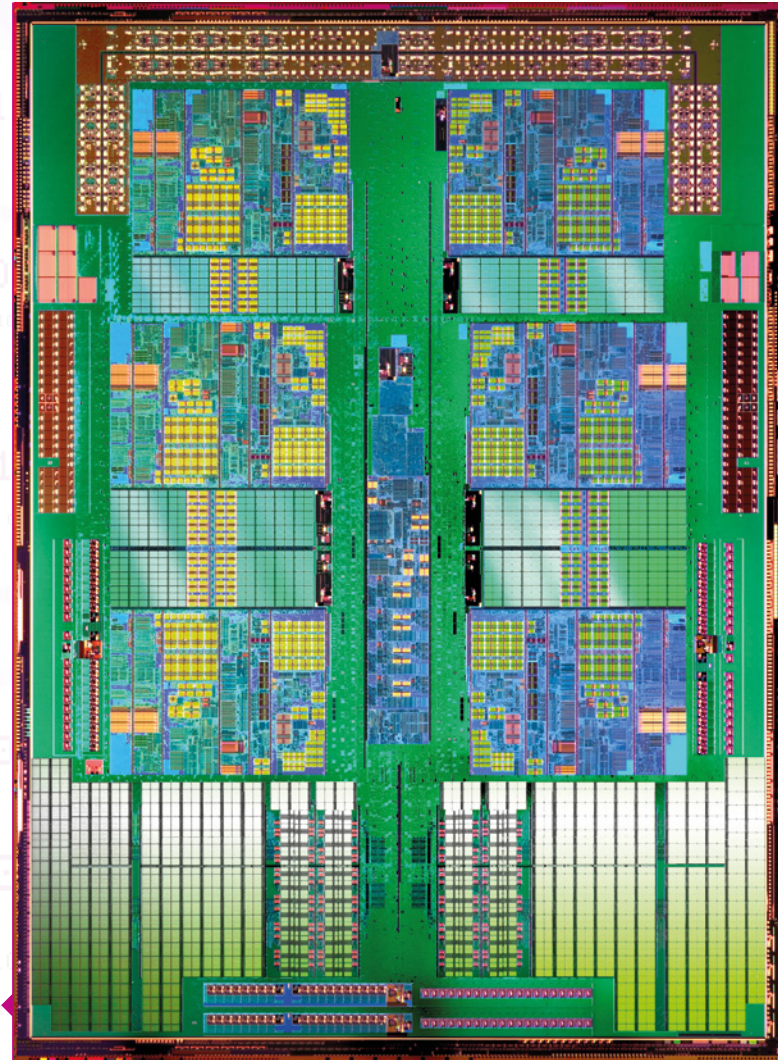
Un mois plus tard, après application de patches logiciels et redémarrage des serveurs, la situation redevient normale.

Cet événement, aussi appelé « l'incident du sang vicié », a été très étudié par les épidémiologistes et les sociologues qui ont pu mesurer l'impact du comportement humain sur la propagation d'une épidémie. Depuis, la réalité a dépassé le virtuel...

## 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.

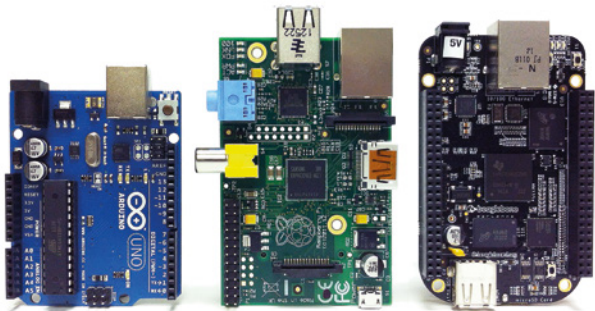
Microprocesseur AMD Opteron  
à six cœurs visibles sur les deux-tiers de la photo.



## 2006 ▶ Les « nano-ordinateurs »

Devant la complexité croissante des environnements de développement, des ingénieurs cherchent à favoriser l'apprentissage de la programmation, notamment à l'école, et à retrouver l'esprit « bidouille » des premiers micro-ordinateurs. Plusieurs petites cartes de développement très bon marché

Cartes Arduino, Raspberry Pi et BeagleBone.



(quelques dizaines d'euros pour quelques dizaines de cm<sup>2</sup>) sont conçues à partir de microprocesseurs basiques : système Arduino, Raspberry Pi inspiré du BBC Micro d'Acorn Computer... Tout un écosystème de kits et de cartes d'extension se met en place pour ces nano-ordinateurs et rencontre un franc succès.

## 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 (*Solid State Drive*) 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 de l'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.

## 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.



▶ Supercalculateur Bull Tera100 du CEA, première machine française atteignant le pétaflops (2010).





► Supercalculateur Curie développé par Bull et le CEA, le plus puissant ordinateur en France lors de son installation en 2012.





## 2008 ▶ Bitcoin



Le bitcoin est accepté dans ce magasin.

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 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.

## 2010 ▶ L'apprentissage profond

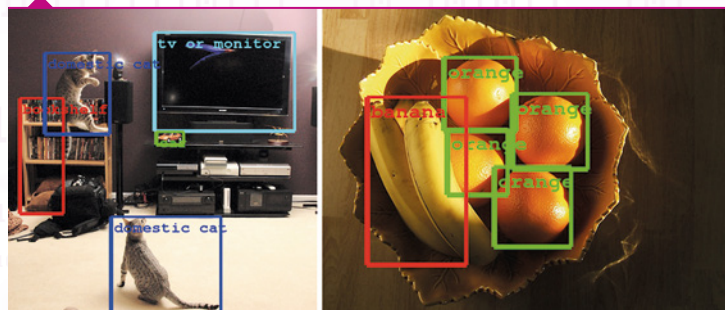
Les réseaux de neurones artificiels, essayant de mimer le fonctionnement des neurones humains, sont longtemps restés, dans le domaine de l'intelligence artificielle, une technique prometteuse mais rarement couronnée de succès.

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*.

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.

Reconnaissance d'objets dans une image.





## 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<sup>er</sup> 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-



► Datacenter IBM servant de stockage pour le *cloud* en Italie.





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. En 2019, inquiet des risques d'espionnage et engagé dans une guerre commerciale avec la Chine, le président américain a interdit les échanges commerciaux avec les sociétés de télécommunications chinoises, handicapant ces dernières, dont Huawei, qui dépendent de leurs fournisseurs américains pour les composants mais aussi les logiciels.

### 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.

Ce type de dispositif reproduit, avec des technologies nouvelles, les grands systèmes centralisés développés dans les années 1970 : on est à l'opposé de l'ordinateur « personnel » ! Il offre à l'utilisateur mobile un accès permanent et à jour à ses données... à condition qu'il ait accès au réseau. Des questions sont soulevées : que se passe-t-il en cas de crash du serveur ? Les données sont-elles chiffrées et protégées des accès malveillants ? Qui est légalement responsable des données ? Un gouvernement peut-il forcer un hébergeur à les lui communiquer ? Ces questions, théoriques, sont venues sur le devant de la scène lors de l'incendie du datacenter strasbourgeois d'OVHcloud le 10 mars 2021. La destruction complète d'un des quatre centres de données a occasionné des interruptions de service et des pertes de données définitives pour des milliers d'entreprises et services publics, dont certains, éblouis par les promesses du stockage en ligne, n'avaient prévu ni sauvegardes, ni plan de reprise d'activité.

## 2011 ▶ Watson gagne Jeopardy!

En février 2011, Watson, programme d'intelligence artificielle conçu par IBM, participe au jeu télévisé Jeopardy! et remporte la victoire face à deux champions humains. Pour ce faire, le programme devait être capable de comprendre les questions énoncées en langage naturel, de trouver les réponses en quelques secondes en parcourant son immense base de données, d'énoncer les réponses en synthèse vocale et de choisir le thème des questions suivantes.

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.



À la fin d'une des parties du jeu télévisé Jeopardy!, la victoire est pour l'avatar du logiciel IBM Watson au centre.

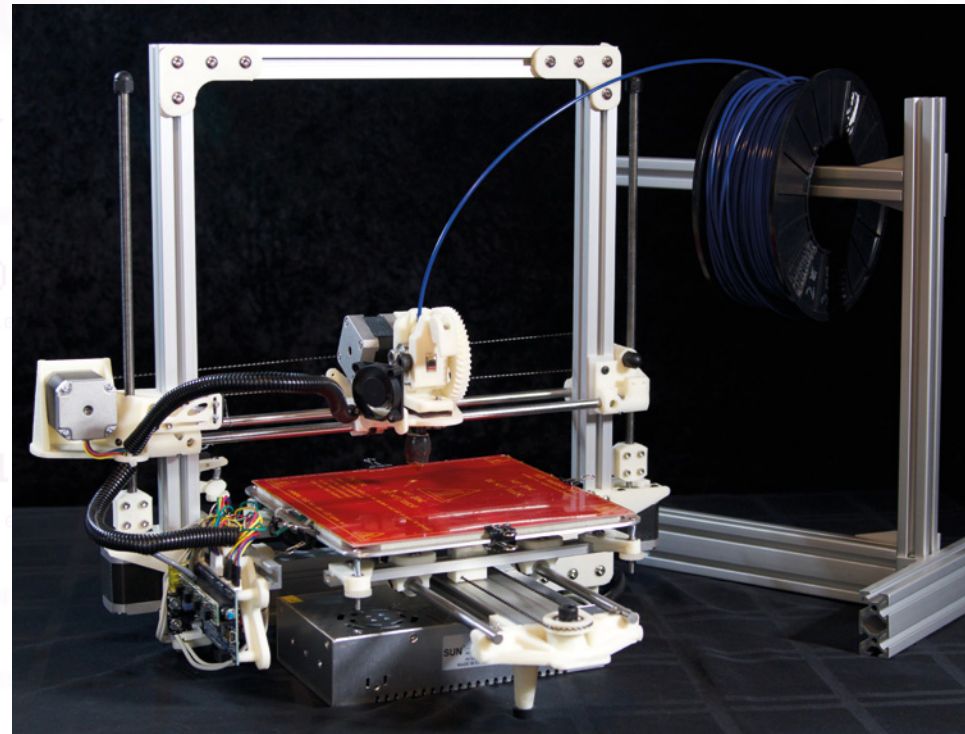


## 2012 ▶ Imprimante 3D

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...

## 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). Les premiers essais ont lieu en 1968 quand Ivan Sutherland et son équipe mettent au point un casque de réalité



Imprimante 3D open source.

▶ Application immobilière ajoutant des informations à une vue prise en direct par la caméra.

virtuelle. La technologie de l'époque ne permet pas de graphismes élaborés et le système est si lourd qu'il doit être suspendu au plafond, gagnant au passage le surnom d'épée de Damoclès. Il faudra attendre le <sup>xxi</sup>e siècle pour que la miniaturisation et la puissance de calcul permettent des dispositifs portables, réactifs et suffisamment immersifs. 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 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.

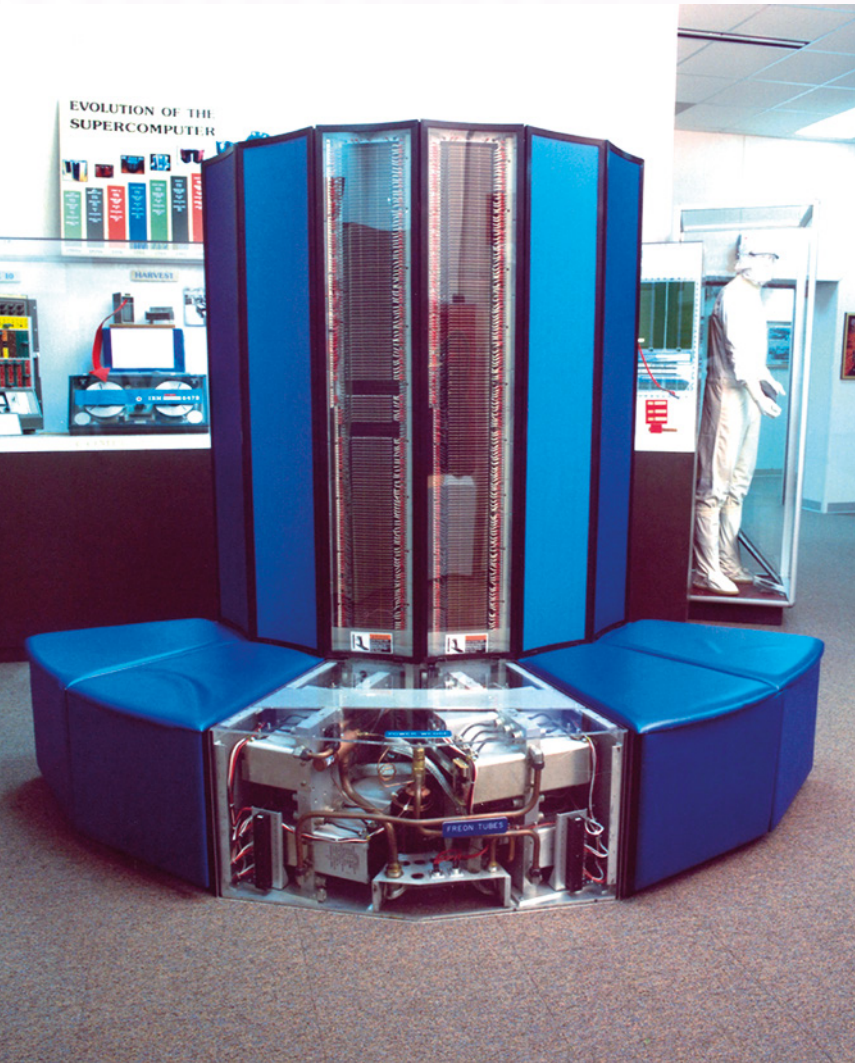
Créée en 1952, la NSA a eu pour objectif l'interception et le décryptage des télécommunications de l'ennemi, principalement sovié-

tique 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.

Hélas, même la cuirasse des maîtres espions a des défauts. Suite à une fuite de données d'origine inconnue (piratage ? employé indélicat ?), de nombreux outils utilisés par la NSA pour pénétrer les systèmes, via des failles de sécurité non divulguées aux constructeurs, se sont retrouvés sur la place publique. Ils ont été mis à profit en mai 2017 par un groupe criminel – peut-être d'origine étatique – pour diffuser à grande échelle (plusieurs centaines de milliers d'ordinateurs touchés) un rançongiciel chiffrant les données des disques durs. Ont ainsi été affectés, entre autres, les affichages en gare des trains allemands, mais surtout le système d'information des hôpitaux anglais, créant un certain chaos dans les services : retour à une saisie manuelle, non-acès aux dossiers des patients, report d'opérations... ; en 2019, des dommages se chiffrant en millions de dollars ont été occasionnés aux services informatiques de grandes villes américaines par des attaques issues de ces outils payés à l'origine par le contribuable américain. Ces malwares, appelés *EternalBlue*, *WannaCry* ou *NotPetya*, sont maintenant sur la place publique et utilisés comme armes par les services américains, russes, coréens, chinois...

Faut-il laisser les services de renseignement profiter des failles invisibles ou installer des portes dérobées, au risque de voir ces outils tomber entre de mauvaises mains, ou faut-il collaborer avec les constructeurs pour sécuriser les logiciels, mais se priver ainsi de moyens de surveillance supplémentaires ?





## 2013 ▶ Algocratie

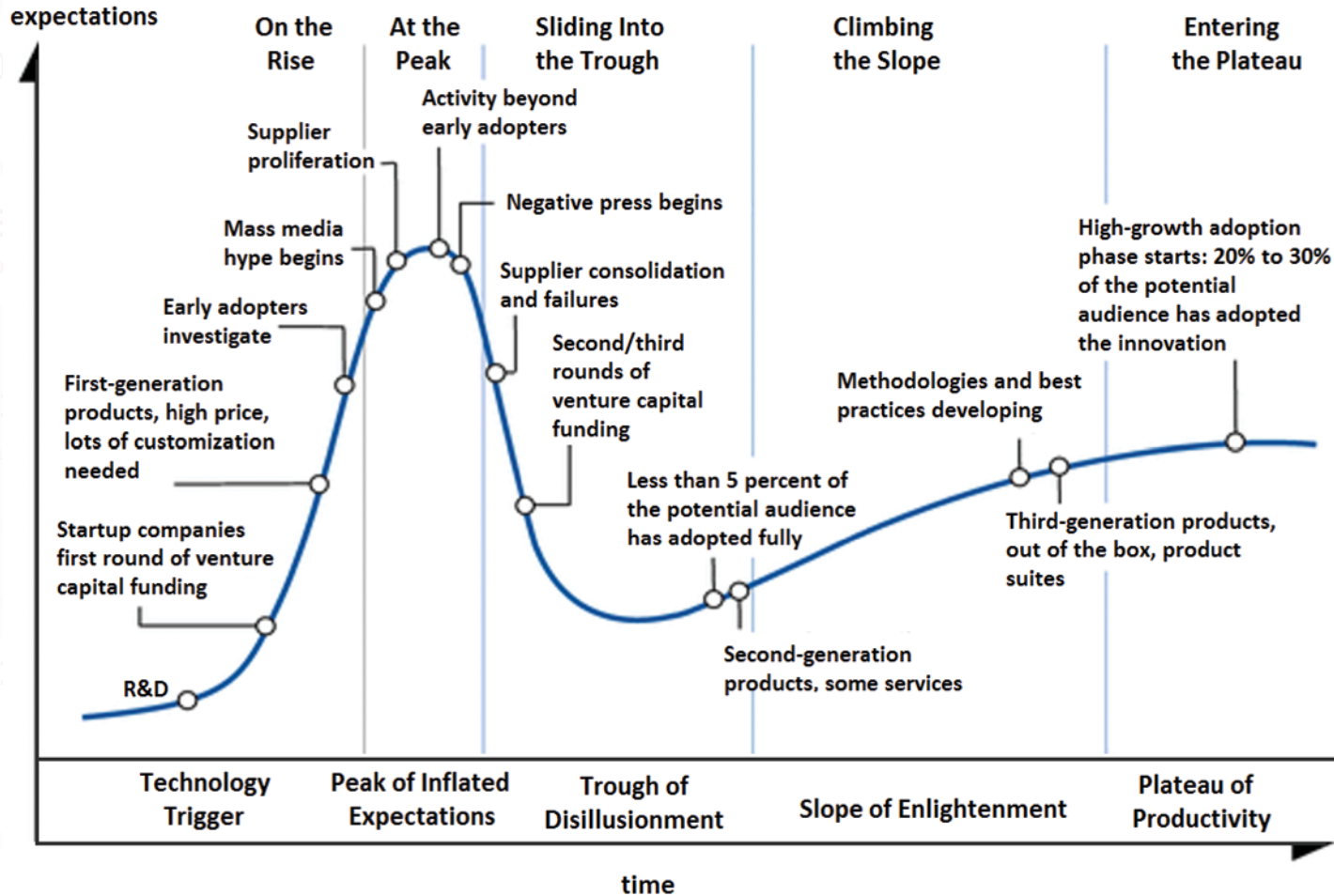
En février 2013, Eric Loomis fut condamné par un tribunal du Wisconsin pour avoir conduit une voiture impliquée dans une fusillade. Pour déterminer la sentence – 6 ans de prison – le juge s’est servi du casier judiciaire mais également d’un score attribué par un algorithme développé par une société privée, supposé mesurer le risque de récidive. Loomis fit appel, en vain, prétextant que cette méthode violait les droits de la défense qui ne pouvait contester ni l’exactitude, ni le caractère scientifique du programme dont le code source était secret. Depuis, un certain nombre d’algorithmes d’aide à la décision ont été développés et John Danaher, juriste irlandais, parle même d’algocratie ou « système de gouvernance, organisé et structuré sur la base d’algorithmes programmés par ordinateur ».

Se reposer sur des algorithmes pour la prise de décision se heurte à quelques problèmes : Comment justifier le résultat si on ne peut pas expliquer le processus en raison de la complexité ou du secret de l’algorithme ? Comment se prémunir des biais liés aux données initiales d’entraînement ou introduits, volontairement ou non, par le programmeur ? Comment garantir la responsabilité et la légitimité d’un décideur si c’est l’algorithme « qui décide » ? Avec le développement de l’IA et son application à de plus en plus de domaines pratiques, ces questions vont devenir importantes pour l’avenir de notre démocratie.

▶ Superordinateur Cray X-MP/24 utilisé à la NSA de 1983 à 1993, exposé au National Cryptologic Museum (Maryland).







Un exemple des différentes étapes de développement d'une technologie.

Ce schéma assez classique a été théorisé depuis quelques années par une firme de conseil sous le nom de hype cycle, que l'on pourrait traduire par « cycle de la médiatisation ».

On y distingue cinq phases :

- lancement : les premiers prototypes d'une technologie prometteuse apparaissent ;
- pic des espoirs excessifs : l'emballement médiatique génère des attentes irréalistes ; des startups se créent et commercialisent les premiers produits ;
- gouffre de la désillusion : les produits s'avèrent moins performants que prévu ; les médias se retournent et mettent au pilori ce qu'ils avaient adoré ;
- montée de l'illumination : l'entêtement de certaines entreprises permet de mieux comprendre les avantages et les applications de la technologie, le marché se développe lentement ;
- plateau de la productivité : la technologie, qu'elle soit grand public ou produit de niche, mûrit et s'intègre à l'écosystème, disparaissant de l'espace médiatique.

Ce schéma – qui n'est pas un cycle ! – est bien sûr trop généraliste et ne peut pas s'appliquer à toute technologie. Mais il résume assez bien les différentes annonces que l'on entend régulièrement chaque fois qu'une nouvelle application fait le « buzz ».

Un résumé de ce schéma se retrouve dans la loi d'Amara : « *On surestime les effets d'une technologie à court terme mais on les sous-estime à long terme.* ».

## 2021 ▶ Téléphonie mobile en 5G

Depuis ses débuts, la téléphonie mobile n'a cessé de proposer de nouvelles technologies de connexion ouvrant à de nouveaux usages : après la voix et les messages textes sont arrivés les photos, les vidéos

puis l'accès à Internet, tout en augmentant les débits. La dernière version du protocole, la 5G (pour cinquième génération), ne déroge pas à la règle. Si les conséquences pour le grand public devraient se limiter à une moindre saturation des réseaux et peut-être à quelques applications autour de la vidéo et des jeux en réseaux, plus d'usages innovants sont attendus dans le milieu professionnel. La 5G propose des débits plus performants mais surtout une latence moins grande et une garantie de service. Une usine connectée simplifiera la maintenance et la logistique de sa chaîne de production. Une ville pourra gérer en temps réel un réseau de capteurs (congestion, pollution...), affinant le pilotage de ses réseaux de distribution et de transport. On peut aussi citer les véhicules autonomes, la médecine connectée, la réalité virtuelle, les bâtiments intelligents...

Comme toujours, les innovations attendues ne seront peut-être pas au rendez-vous mais d'autres, non planifiées, verront sans doute le jour, parfois pour un mauvais usage comme la télésurveillance de masse. Avant de multiplier les déploiements, il faudra aussi maîtriser les problèmes de sécurité, de fiabilité et de dépenses énergétiques.

## 2021 ▶ TSMC et l'industrie des semi-conducteurs

Les premiers travaux sur les semi-conducteurs datent de 1874 quand Karl Ferdinand Braun (1850-1918) découvre la conduction asymétrique dans un cristal de galène (sulfure de plomb). Ces travaux lui permettent dès le début du siècle d'imaginer le redresseur, ancêtre de la diode moderne, et de l'utiliser dans les premiers postes récepteur radio appelés justement postes à galène.

En 1987, Morris Chang, alors vice-président de Texas Instruments, revient à Taïwan à la demande du gouvernement local qui veut créer une industrie microélectronique. C'est la fondation de TSMC qui se dirige tout de suite vers la sous-traitance de fabrication de puces. TSMC est maintenant numéro un mondial et



produit des circuits intégrés pour tous les grands concepteurs dont AMD, Apple, ARM, Broadcom ou Nvidia. L'entreprise est ainsi devenue un enjeu stratégique majeur dans les rapports de force USA-Chine.

L'industrie mondiale des semi-conducteurs a maintenant une taille gigantesque avec un marché de plusieurs centaines de milliards de dollars par an. La fabrication des puces les plus performantes, gravées en technologie inférieure à 28 nm, se concentre dans six entreprises situées aux États-Unis (Intel, GlobalFoundries), Corée du Sud (Samsung), Taiwan (TSMC, UMC) ou Chine (SMIC). Avec la diminution de la taille de gravure, le prix du ticket d'entrée a atteint

des montants faramineux : le coût d'une usine de fabrication aux meilleures normes est de l'ordre de dix à vingt milliards de dollars et ceci avant toute fabrication. Il est donc impossible de s'adapter en temps-réel en multipliant les sites de production !

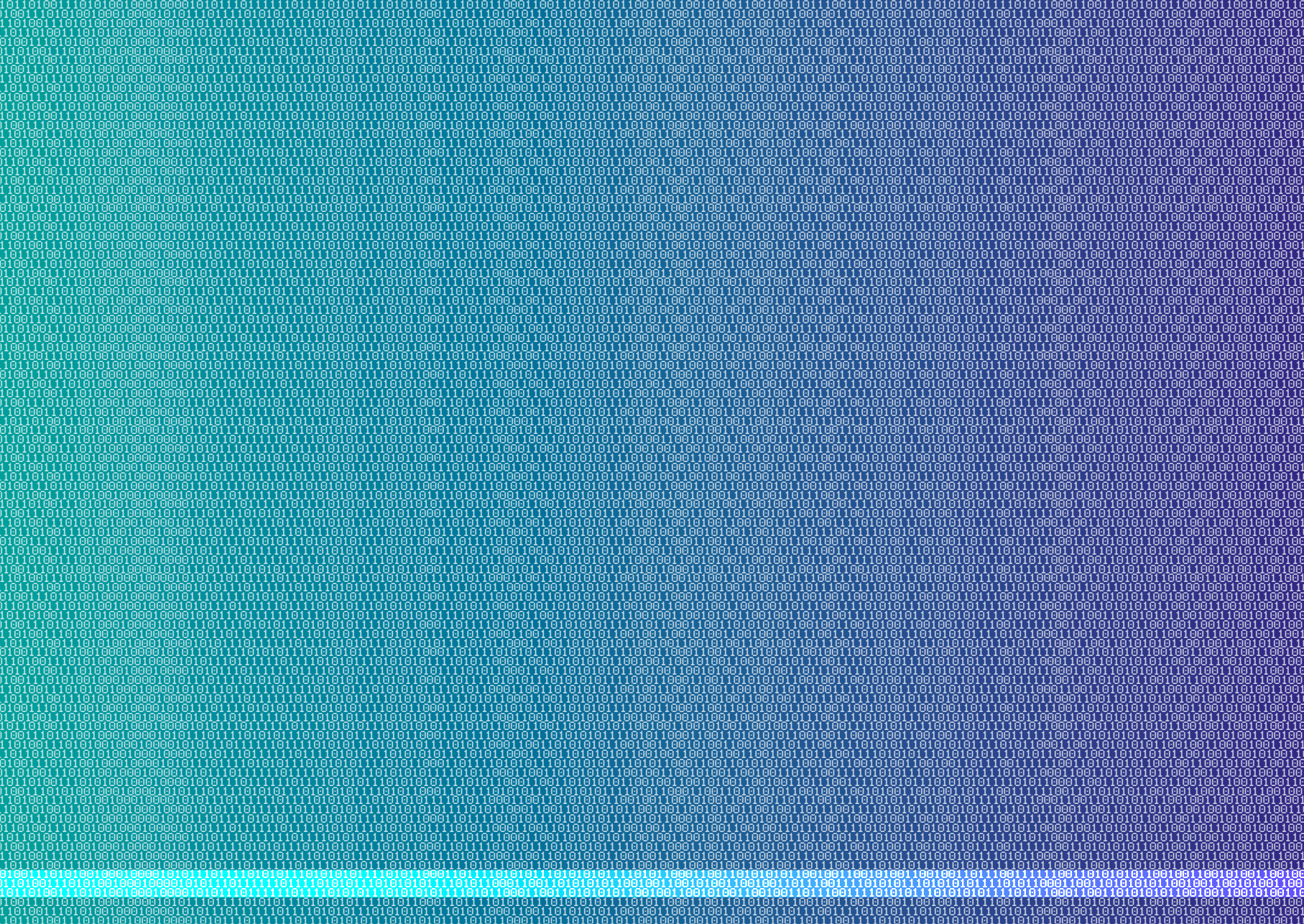
En 2020, les variations de la demande liées à la crise sanitaire (hausse des ventes de matériel informatique), la guerre commerciale sino-américaine, ainsi que des incidents dans des usines de production ont provoqué une pénurie de puces obligeant de très nombreuses industries consommatrices (informatique bien sûr mais aussi automobile) à ralentir leur production et à allonger leurs délais, sans solution à courte échéance.

Évolution des protocoles de téléphonie mobile.



**Crédits**

P. 271 : qmee.com • P. 273 : Banque Mondiale • P. 278 : CERN • P. 281 : Courtesy of D-Wave Systems Inc. • P. 282 : Emmanuel Lazard ; Bobmath / Wikimedia Commons • P. 283 : Thomas R. Nicely • P. 286 : Cmglee / Wikimedia Commons • P. 288 : Morn / Wikimedia Commons • P. 289 : Jnmasek / Wikimedia Commons • P. 290 : Los Alamos National Laboratory • P. 291 : Jakob Wells / Wikimedia Commons • P. 292 : Gjijs, noorlander / Wikimedia Commons ; Droits réservés • P. 293 : Napster / Wikipedia • P. 295 : Bug de l'an 2000 / Wikimedia Commons ; République d'Indonésie • P. 296 : ed g2s / Wikimedia Commons ; avaragado / Wikimedia Commons • P. 297 : VinciArt • P. 298 : Wikipedia • P. 299 : Namazu-tron / Wikimedia Commons • P. 300 : Emmanuel Lazard • P. 301 : Blizzard Entertainment • P. 303 : Advanced Micro Devices, Inc. (AMD) • P. 304 : MCM ; GoMoinCher.com • P. 305 : © CEA/CADAM • P. 306 : © CEA/CADAM • P. 308 : Droits réservés ; Google Research Blog • P. 310 : Courtesy of International Business Machines Corporation, © International Business Machines Corporation • P. 312 : "Jeopardy!" photos courtesy Jeopardy Productions, Inc. • P. 313 : MeilleursAgents.com ; Deezmaker / Wikimedia Commons • P. 315 : NSA Photo Gallery • P. 316 : objetconnecte.net • P. 317 : NeedCokeNow / Wikimedia Commons • P. 319 : ARCEP







# Annexes

# Les performances au fil du temps

On ne parlait de performances, pour les machines à calculer mécaniques, qu'en mesurant l'efficacité combinée de l'utilisateur et de sa machine. Celle-ci permettait simplement de gagner du temps et de réduire les erreurs. C'est véritablement l'électronique qui, en accélérant et en automatisant de plus en plus d'opérations, a fait entrer le calcul dans une ère nouvelle, offrant aux mathématiciens, physiciens et ingénieurs la possibilité de résoudre numériquement des problèmes auparavant insolubles. L'ENIAC a d'ailleurs été « vendu » à l'armée américaine sur la promesse de démultiplier la production des tables de tir.

La « performance » d'une machine est ainsi devenue un critère important dans les choix de développement ou les décisions d'achat. Les spécialistes des ordinateurs ont, dès les années 1950, entrepris de mesurer et de comparer les aptitudes des machines à partir des caractéristiques architecturales, des tests à des bancs d'essai logiciels standards et des chiffres publicitaires fournis à l'époque par les constructeurs ; ces évaluations comportaient toujours une part d'estimation au « doigt mouillé » ou au pifomètre — et parfois une dose de biais subtils pour présenter favorablement l'ordinateur que l'on voulait acquérir.

Malheureusement, il est impossible de présenter une mesure utile de performance pouvant satisfaire tous les utilisateurs : comment comparer un ordinateur scientifique optimisé pour l'exécution des instructions de calcul et une machine de gestion dont les capacités d'entrées/sorties — lecture de cartes perforées, accès disque, impression — sont les caractéristiques principales ? De plus, une mesure ne peut exprimer que l'efficacité individuelle de quelques composants, alors que l'expérience utilisateur sera beaucoup plus affectée par l'architecture globale du système.

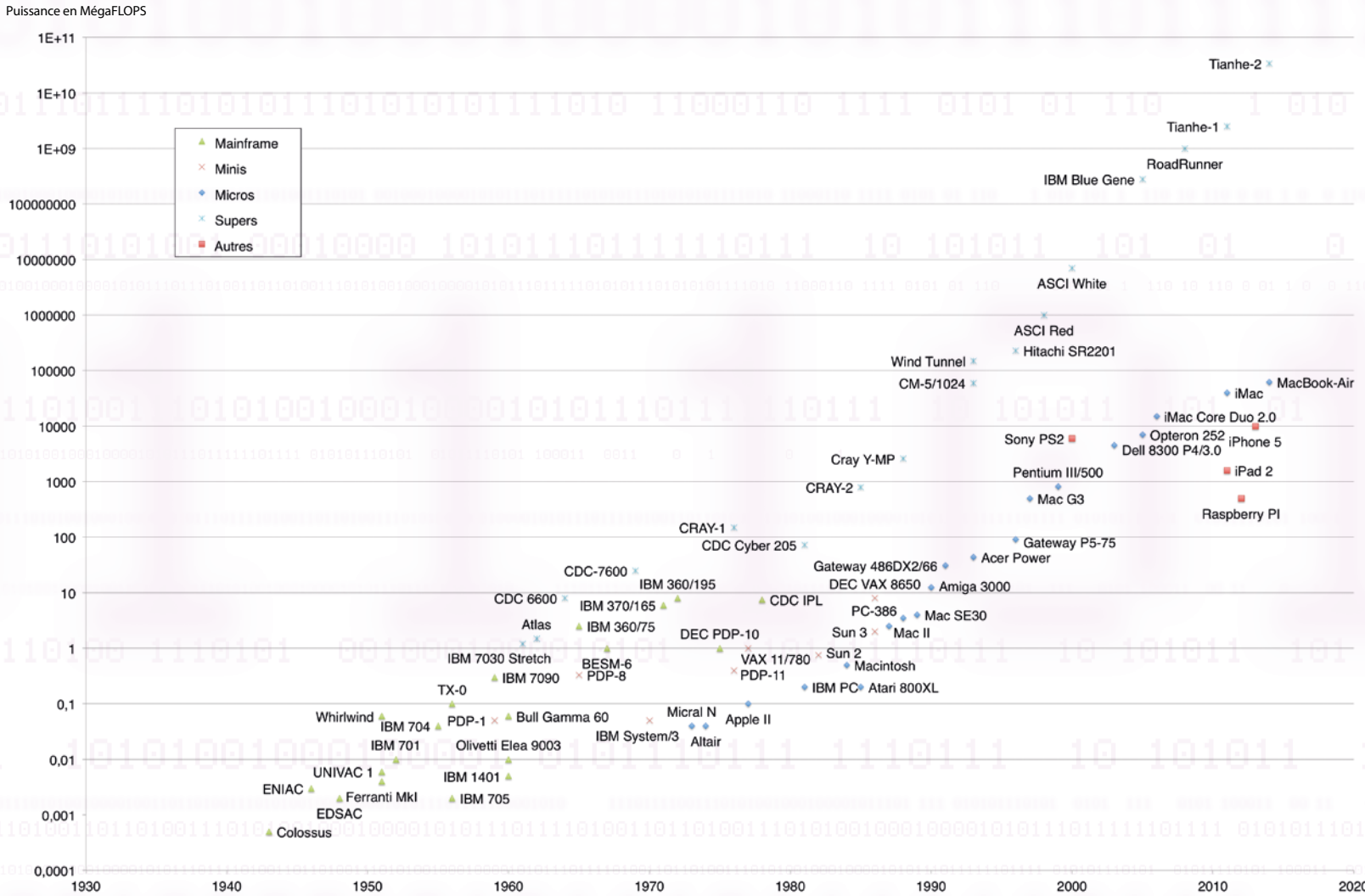
Avec ces réserves, nous avons néanmoins reporté sur le graphique ci-contre un « indicateur de performances » principalement basé sur les capacités de calcul — ce qui explique la place un peu basse de certains ordinateurs « de gestion ». Il faut s'attacher aux ordres de grandeur et à leur évolution au cours du temps, plus qu'aux valeurs numériques.

La puissance des grands calculateurs électroniques (représentée ici en échelle logarithmique) a été multipliée par plus de dix mille milliards en 70 ans. Un téléphone portable d'aujourd'hui a des performances supérieures aux plus gros super-ordinateurs des années quatre-vingt, qui coûtaient des dizaines de millions de dollars.

Ce gain repose à la fois sur l'évolution des composants, sur l'invention de nouvelles architectures et sur le perfectionnement des mémoires magnétiques. Progrès qui résultent de l'interaction constante entre la recherche, les industries informatiques et quelques grands secteurs clients comme la Défense ou la Banque. Les utilisateurs finaux n'y ont joué pratiquement aucun rôle direct. Ils ont en revanche contribué à l'extension des applications et à l'évolution du logiciel.

Outre le simple constat de cette progression spectaculaire, ce graphique nous fait voir des phénomènes décisifs. Par exemple, visualiser la faible puissance des micro-ordinateurs, au milieu des années 1970, permet de comprendre pourquoi les grands constructeurs leur accordaient peu d'importance. Voir qu'ils atteignaient ensuite les performances de mainframes beaucoup plus coûteux sortis quelques années plus tôt permet de comprendre comment ces produits devenaient « substituables » et contribuèrent à bouleverser l'économie.





# Bibliographie

**I**l existe une certaine 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 ENSMINGER & Jeffrey YOST pour la 3<sup>e</sup> 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.

BEAULAIR 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.

BRUDERER Herbert, *Konrad Zuse und die Schweiz : Wer hat den Computer erfunden? Charles Babbage, Alan Turing und John von Neumann*, Munich, Oldenbourg Verlag, 2012.

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. & Thomas HAIGH, *A New History of Modern Computing*, Cambridge (MA), MIT Press, 2021.

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.



- CORRY Leo & Raya LEVIATHAN, *WEIZAC: An Israeli Pioneering Adventure in Electronic Computing (1945–1963)*, New York, Springer Verlag, 2019.
- CORTADA James W., *The Digital Flood: The Diffusion of Information Technology Across the U.S., Europe, and Asia*, Oxford University Press, 2012.
- CORTADA James W., *A History of IBM*, Cambridge (Mass.), The MIT Press, 2019.
- 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.
- DREAN 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.
- GARFINKEL Simson L. & Rachel H. GRUNSPAN, *The Computer Book: From the Abacus to Artificial Intelligence, 250 Milestones in the History of Computer Science*. New York, Sterling, 2018.
- 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.
- HAIGH Thomas, Mark Priestley & Crispin Rope, *ENIAC in Action*, Cambridge (Mass.), The MIT Press, 2016.
- HAIGH Thomas (dir.), *Exploring the Early Digital*, New York, Springer, 2019.
- HASHAGEN Ulf & Raúl ROJAS (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.
- LEVY Pierre, *La Machine univers : création, cognition, et culture informatique*, Paris, La Découverte, 1986.
- LIGONNIERE Robert, *Préhistoire et histoire des ordinateurs*, Paris, Laffont 1987.
- MCCULLOUGH Brian, *How the Internet Happened: From Netscape to the iPhone*, Liveright, 2018.

- 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 & Benjamin THIERRY, "Web history in context", in Niels Brügger & Ian Milligan, *The SAGE handbook of Web history*, London, 2019, pages 59-72.
- SCHAFFER Valérie, *La France en réseaux, années 1960-1980*, Paris, Nuvis, Cigref, 2012.
- SHARMA Dinesh C., *The Outsourcer: The Story of India's IT Revolution*, Cambridge (Mass.), The MIT Press, 2015.
- 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.
- THOMAS Marc, *La Règle à calcul, la longue histoire d'un instrument oublié*, Presses Universitaires de Limoges, 2018.
- TOURNÈS Dominique (dir.), *History of Numerical Tables*, New York, Springer (Series: Sources and Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences), 2016.
- TYPAS 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*, IEEE Computer Society Press, 2<sup>nd</sup> edition, 1997..
- 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, 6<sup>e</sup> édition, 2018.



# 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](http://www.arts-et-metiers.net)

Cité des sciences et de l'industrie, Paris-La Villette : [www.cite-sciences.fr](http://www.cite-sciences.fr)

ACONIT, Association pour un conservatoire de l'informatique et de la télématique, Grenoble : [db.aconit.org](http://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](http://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](http://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 : [cc.in2p3.fr/musee](http://cc.in2p3.fr/musee)

Association WDA (Mathieu Charreyre), fondée en 1988, pour « collecter, préserver et restaurer le patrimoine numérique dans toute sa diversité » : [wda-fr.org](http://wda-fr.org)  
[history-computer.com/index.html](http://history-computer.com/index.html)

AMISA, Association pour un Musée international du calcul, de l'informatique et de l'automatique (Sophia Antipolis) : [interstices.fr](http://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](http://www.espaceferrie.fr)

Cité des Télécoms (Pleumeur-Bodou) : [www.cite-telecoms.com](http://www.cite-telecoms.com)

Collection Historique de France Télécom (devenue Orange) : [www.remut.fr/musee/collection-historique-de-france-telecom](http://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. Une partie de la collection se détériore dans des caisses au fond d'un hangar...

## Hors de France

### Allemagne

Arithmeum, Lennéstrasse 2, 53113 Bonn (l'un des plus beaux musées du calcul et de l'informatique en Europe) : [www.arithmeum.uni-bonn.de/en/arithmeum.html](http://www.arithmeum.uni-bonn.de/en/arithmeum.html)

Deutsches Museum (Munich) : [www.deutsches-museum.de](http://www.deutsches-museum.de)

Deutsches Technikmuseum (Berlin) : [www.sdtb.de/Startseite.63.0.html](http://www.sdtb.de/Startseite.63.0.html)

Heinz Nixdorf MuseumForum (Paderborn, Westphalie) : [www.hnf.de/en/home.html](http://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](http://histoireinform.com/Histoire/NAM_IP_page_Web)

### Chine

China Internet Museum / 中国互联网博物: [en.internet.cn](http://en.internet.cn)

**Hongrie (pays natal de John von Neumann)**

Musée hongrois des sciences, des techniques et des transports (Budapest) : [www.mmkm.hu/index.php/en](http://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](http://www.fondazionegalileogalilei.it/museo/museo.html)

Museo della Tecnica Elettrica (université de Pavie) : [info@museotecnica.it](mailto:info@museotecnica.it)

**Pologne**

Musée d'histoire des calculateurs et du traitement de l'information / Muzeum Historii Komputerów i Informatyki (Katowice) : [www.muzeumkomputerow.edu.pl](http://www.muzeumkomputerow.edu.pl)

**Royaume-Uni**

Science Museum (Londres), l'une des plus riches expositions permanentes sur le calcul et l'informatique : [www.sciencemuseum.org.uk](http://www.sciencemuseum.org.uk)

National Museum of Computing (Bletchley Park) : [www.tnmoc.org](http://www.tnmoc.org)

Centre for Computing History (Cambridge) : [www.computinghistory.org.uk](http://www.computinghistory.org.uk)

Museum of Science and Industry (Manchester) : [msimanchester.org.uk](http://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](http://www.computerconservationsociety.org)

**Pays-Bas**

Computer Museum (université d'Amsterdam) lié à une *History Of Computing Project Foundation* (THOCP) : [ub.fnwi.uva.nl/computermuseum](http://ub.fnwi.uva.nl/computermuseum)

**Russie**

Musée Polytechnique / Politekhnicheskii Muзей (Moscou) : [polymus.ru/eng](http://polymus.ru/eng)

Musée virtuel de l'informatique en Russie : [www.computer-museum.ru/english/about.htm](http://www.computer-museum.ru/english/about.htm)

**Suède**

Musée des techniques (Stockholm) : [www.tekniskamuseet.se/1/192\\_en.html](http://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](http://www.bolo.ch)

**États-Unis**

Computer History Museum (Mountain View, California) : [www.computerhistory.org](http://www.computerhistory.org)

National Museum of American History (Washington) : [americanhistory.si.edu](http://americanhistory.si.edu)

Museum of Air & Space (Washington) : [airandspace.si.edu](http://airandspace.si.edu)

American Computer & Robotics Museum (Bozeman, Montana) : [www.compustory.com](http://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](http://www.cbi.umn.edu)

**Japon**

Le IPSJ Computer Museum est un « musée virtuel » : [museum.ipsj.or.jp/en/computer](http://museum.ipsj.or.jp/en/computer)

**Australie**

Monash Museum of Computing History (Monash University) : [www.infotech.monash.edu.au/about/museum](http://www.infotech.monash.edu.au/about/museum)



# Index

- @, 202  
 5G, 112, 318  
 42, 244  
 1337, 261  
 2001, l'Odyssée de l'espace, 197  
 8080, microprocesseur, 212, 223, 224, 226  
 68000, microprocesseur, 240, 249, 260
- ## A
- Abaque, voir Boulier  
 ABC, calculateur, 88, 89, 99, 209  
 Abdank-Abakanowicz, Bruno, 54  
 Abraham, Henri, 72  
 Abrial, Jean-Raymond, 294  
 ACE, Pilot, 106, 115, 274  
 Acer, 262  
 Acorn, 264  
 Ada
  - langage, 244
  - Lovelace, voir Lovelace
 Adams, Douglas, 244  
 Adams, Scott, 238  
 Adleman, Leonard, 231  
 Adobe, 257  
 AES, 282  
 Agile, manifeste, 298  
 Aiken, Howard, 87, 94  
 Al-Fazari, 26  
 Al-Khwarizmi, 21, 26, 28  
 Al-Kindi, 26, 28  
 Alcorn, Allan, 206  
 Algèbre de Boole, 55, 83  
 Algèbre, 23, 28  
 Algocratie, 315  
 ALGOL, 149, 153, 189, 190, 197, 268  
 Algorithme, 21, 23, 24, 28, 76, 81, 114, 131, 149, 165, 181, 189, 190, 210, 231, 308, 315
  - quantique, 281
 Allemagne, 36, 42, 57, 76, 82, 89, 92, 105, 136, 177  
 Allen, Paul, 227  
 ALOHAnet, 209, 273, 278  
 Alphaville, 172  
 Altair, 224, 227, 234  
 Altavista, 284, 300  
 Alto, Xerox, 211, 255
- Amazon, 278, 285, 297  
 AMD, 299, 303  
 Amiga, 235, 251  
 Amsler, Jakob, 54  
 Analyse statique, 293  
 Analyseur différentiel, 76, 83, 98, 150  
 Andreessen, Marc, 280  
 Angleterre, 37, 48, 55, 69, 81, 87, 92, 106, 123, 135, 161, 274  
 Angry Birds, 292  
 Antémémoire, 192  
 Anticythère, mécanisme, 20, 25, 29  
 APL, 223, 246  
 Apollo, missions, 163, 195  
 Apple, 192, 220, 232, 234, 238, 244, 247, 255, 265, 286, 297, 304  
 Arduino, 304  
 Ariane 5, 287  
 Aristote, 24, 55, 146  
 Arithmomètre, 47, 57  
 ARM, 264  
 ARPA, 193, 239, 240, 249, 273  
 Arpanet, 98, 193, 202, 214, 243, 245, 259, 272  
 Ars Magna, 29  
 Aryabhata, 26  
 ASCII, code, 164, 179  
 Asimov, Isaac, 91  
 ASTRÉE, 294  
 AT&T, 187, 201, 281  
 Atanasoff, John, 89, 99, 209  
 Atari ST, 163, 234, 254  
 Atari, 160, 206, 224, 234, 238  
 Atlas, 160  
 Aurillac, Gerbert d', 28  
 Australie, 71, 117, 163  
 Automates, 26, 44, 72, 74, 143, 199, 293  
 Avatar, 249  
 Azerty, clavier, 57
- ## B
- B, langage, 207  
 Babbage, Charles, 33, 48, 61, 71, 244  
 Baby, 106, 110  
 Backus, John, 144, 153  
 Baldwin, Frank, 57, 60  
 Bande magnétique, 113, 114
- Bande perforée, 179  
 Bar-Hillel, Yehoshua, 134  
 Baran, Paul, 273  
 Bardeen, John, 105  
 Barlow, John Perry, 266  
 Barrème, François, 41  
 Bascule, 72, 146  
 Base de données, 212, 312  
 Base sexagésimale, 18, 23  
 BASIC, 150, 170, 171, 227  
 Bath, Adélarde de, 26  
 Bâttonnets de Neper, 35  
 Baudot, Émile, 53  
 BBC, 264  
 BBN, 193, 202, 273  
 BBS, 243, 261  
 BCPL, 207  
 Belgique, 79  
 Bell labs, 76, 83, 105, 112, 114, 130, 135, 201, 275  
 Bell, Alexander Graham, 59  
 bépo, clavier, 57  
 Berkeley, université de, 201, 211, 212, 249, 299  
 Berners-Lee, Tim, 276, 278, 279  
 Bernoulli, nombre de, 51  
 Berry, Clifford, 89  
 BESM, 118  
 Bézier, Pierre, 159, 229  
 Bezos, Jeff, 285  
 Big data, 308  
 Bina, Eric, 280  
 Bistable, circuit, voir Bascule  
 Bit, 83, 112  
 Bitcoin, 308  
 Blankenbaker, John, 221  
 Bletchley Park, 92  
 Bloch, Eugène, 72  
 Blog, 295  
 Bluetooth, 91, 289  
 BNCI, 81, 131, 147  
 Boggs, David, 209  
 BOINC, 299  
 Bollée, Léon, 62  
 Bombe, 91  
 Baldwin, George, 42, 55  
 Boulier, 17, 24, 38
- Bourse, 296, 309  
 Brahmagupta, 26  
 Brattain, Walter, 105  
 Bricklin, Dan, 244  
 Briggs, Henry, 37  
 Brin, Sergueï, 261, 289  
 Brooks, Frederick, 166, 214  
 Brunsviga, 48, 57, 74, 84, 130  
 Bug de l'an 2000, 75, 155, 267, 295  
 Bug, 88, 104, 113, 155, 191, 233, 283, 293  
 Bull, 65, 68, 74, 80, 111, 121, 129, 130, 154, 158, 166, 172, 177, 185, 188, 238, 241, 306  
 Bulle internet, 296  
 BUNCH, 198  
 Bush, Vannevar, 76, 98, 191, 272  
 Bushnell, Nolan, 160, 206  
 Busicom, 205, 208  
 BYTE, 224, 226
- ## C
- C, langage, 201, 207, 254, 294  
 C++, 254  
 CAB 500, 150  
 CADET, 135, 136  
 Cailliau, Robert, 276, 278, 279  
 Calcul analogique, 59, 68, 71, 76, 98, 150, 181  
 Calcul binaire, 23, 42, 83, 146  
 Calcul ternaire, 146  
 Calculateurs humains, 35, 72  
 Calculatrice, 208  
 Calculi, 19, 23  
 Cambridge, université de, 88, 106, 129, 264  
 CAO, 162, 249  
 Čapek, Karel, 74  
 Captcha, 300  
 Cardullo, Mario, 210  
 Carte à puce, 223, 238  
 Carte perforée, 34, 46, 61, 65, 74, 79, 80, 99, 110, 144, 199  
 CCITT, 55  
 CD-ROM, 254, 286  
 CDC 6600, 171  
 CEA, 156, 258, 306  
 Cerf, Vinton, 193, 275  
 CERN, 169, 171, 233, 278, 279  
 CFAO, 159

Chang, Morris, 318  
 Chappe, Claude, 46  
 Chatbot, 185  
 Chèque, 166  
 Chiffre, 26, 28  
 Chine, 20, 57, 276, 287, 289, 302, 318  
 Christensen, Ward, 243  
 Church, Alonzo, 82  
 CIL, 185  
 Circuit intégré, 146, 153, 163, 168, 178, 179, 183, 187, 205, 208, 232, 251  
 CISC, 237, 249  
 Cisco, 279, 309  
 Clairaut, Alexis, 44  
 Clarke, Arthur C., 197  
 Clarke, Wesley A., 158  
 Clé USB, 199, 296, 304  
 Cloud computing, 285, 311  
 CMC7, 166  
 CNIL, 212  
 COBOL, 152, 168, 197  
 CODASYL, 152  
 Codd, Edgar, 212  
 Code-barre, 211, 282  
 Colmerauer, Alain, 208  
 Colossal cave adventure, 238  
 Colossus, 53, 92, 99, 179, 230  
 Comète de Halley, 44  
 Commodore 64, 235, 251  
 Compaq, 247, 260, 285  
 Compilateur, 144  
 Complex number computer, 83  
 Complexité, théorie de la, 181, 203  
 Connection Machine, 260  
 Constantine, Eddie, 172  
 Conway, John, 199  
 Cook, Stephen, 203  
 Cookie, 280  
 Cooper, Martin, 210  
 Coradi, Gottlieb, 54  
 Corbató, Fernando, 157  
 Core dump, 130  
 Couffignal, Louis, 87  
 Cousot, Radhia et Patrick, 294  
 CP/M, 229  
 CP8, 238  
 Cray 1 - Cray 2, voir Cray Research  
 Cray Research, 175, 232, 258, 315  
 Cray, Seymour, 171, 232  
 Crowther, William, 238  
 Cryptographie, 28, 112, 230, 314  
 CSIRAC, 117, 123  
 CSNET, 276  
 CTSS, 157  
 CUBA, 132

Cuneiforme, 23  
 Curta, 48, 84  
 Cyberspace, 256  
 Cybernétique, 87, 112  
 Cyberpunk, 256  
 Cyclades, 186, 214, 274

## D

D-Wave, 281  
 Dartmouth, université de, 170  
 Davies, David, 274  
 DDoS, 297  
 DEC, voir Digital Equipment  
 Deep Blue, 288  
 Deep learning, 308  
 Dell, 247  
 Dendral, 190  
 Dennard, Robert, 187  
 DES, 282  
 Devol, George, 158  
 DGSJ, 300  
 Diffie, Whitfield, 231  
 Digital Equipment, 138, 149, 160, 175, 183, 198, 201, 220, 222, 226, 237, 246, 285  
 Dijkstra, Edsger, 190  
 Diode, 69, 135, 146, 225  
 Disque dur, 140, 183, 223, 255, 287, 297  
 Disquette, 199, 246, 262, 296  
 DNS, 259, 293  
 Dobrov, Gennadij, 275  
 Donjons et dragons, 238, 249, 302  
 Dr. Dobb's Journal, 227, 259  
 DRAM, 187  
 Dudley, Homer, 76  
 DVD, 254, 286, 296, 304

## E

Eccles, William, 72  
 Échecs (jeu), 72, 123, 193, 207, 288  
 Eckert, Presper, 99, 102, 113, 124, 125, 209  
 Écosse, 35  
 Écran tactile, 185  
 EDF, 150, 203  
 EDSAC, 88, 106, 113, 129, 293  
 Éducation, 165, 259, 265  
 EDVAC, 102, 137  
 EFF, 266  
 Électronique, 69  
 ELIZA, 185  
 Ellis, Jim, 245  
 Email, 202  
 Émoticônes, 251

Énergie, 181  
 Engelbart, Douglas, 191, 255  
 Engelberger, Joseph, 158  
 ENIAC, 99, 137, 205, 209  
 Enigma, 82, 91, 230  
 EPFL, 226, 232, 245  
 Epsitec, 226  
 Équations, 21  
 ESN, 188  
 Espagne, 72  
 eSport, 291  
 États-Unis, 50, 55, 60, 61, 63, 134  
 Ethernet, 209, 211, 275  
 Euclide, 21, 24

## F

Facebook, 316  
 Faggin, Federico, 205, 230  
 Fahlman, Scott, 251  
 FAI, 279  
 Fairchild Semiconductor, 146, 163, 179  
 Fanning, Shawn, 293  
 FBI, 231  
 Feigenbaum, Edward, 190  
 Ferranti, 106, 123, 160  
 FFT, 181, 299  
 Fiabilité, 99  
 Fibonacci, Leonardo, 26, 28  
 Fibre optique, 201  
 Films, 172, 197, 229, 252, 253, 256, 284  
 Flash (mémoire), 304  
 Fleming, John, 69  
 Fleury, Abbon de, 28  
 Flip-flop, voir Bascule  
 Flops, 171, 232, 258, 291, 305  
 Flowers, Tommy, 92, 230  
 Forest, Lee de, 69  
 Forge, 295  
 Forrester, Jay, 130  
 FORTRAN, 144, 153, 168, 171, 238  
 Forums, 245  
 Four-Phase Systems, 206  
 France, 45, 46, 47, 53, 72, 75, 76, 91, 98, 105, 111, 112, 129, 132, 136, 138, 150, 154, 155, 160, 165, 177, 185, 193, 203, 212, 214, 221, 223, 241, 244, 250, 306  
 Frankston, Bob, 244  
 Furber, Steve, 264

## G

Gamma 3, Bull, 129, 131  
 Gamma 60, Bull, 154

Gardner, Martin, 282  
 Garrett AIResearch, 206  
 Gates, Bill, 227  
 Gauss, Carl Friedrich, 181  
 Gemplus, 214  
 General Electric, 122, 154, 177, 198, 201  
 Générations, 134, 137, 178, 205, 250  
 Génie logiciel, 184, 190, 193, 195  
 Germanium, 105, 134, 135, 183  
 Gernelle, François, 222  
 Geschke, Charles, 257  
 Gibson, William, 256  
 GNU, 259  
 Go (jeu), 289  
 Gödel, Kurt, 76  
 Google, 261, 285, 289, 300, 314  
 Gosling, James, 189, 284  
 Goto, 191  
 Goto, Eiichi, 148  
 Grèce, 20, 24, 25  
 Grenoble, université de, 145  
 Grove, Andrew, 181  
 GSM, 262  
 Guillaudé, 34

## H

Hacker, 149  
 HAL 9000, 197  
 Hamilton, Margaret, 195  
 Hamming, Richard, 114  
 Harvard Mark I, 53, 94, 104  
 Heathkit, 152  
 Hellman, Martin, 231  
 Héron d'Alexandrie, 26  
 Herzstark, Curt, 84  
 Hewlett-Packard, 184, 208, 245, 249, 302  
 Hilbert, David, 76, 81  
 Hillis, Danny, 260  
 Hoare, Tony, 149  
 Hockham, George, 201  
 Hoefler, Don, 206  
 Hoerni, Jean, 147  
 Hoff, Ted, 205  
 Hollerith, Hermann, 63, 68  
 Homebrew Computer Club, 234  
 Honeywell, 179, 198, 209, 223, 238  
 Hopper, Grace, 104, 124, 144, 152  
 Horlogerie, 29  
 HTML, 279, 283, 284  
 HTTP, 279  
 Huawei, 309  
 Huygens, Christian, 30  
 Hype cycle, 316



## I

IAS, 102  
 IBM, 65, 68, 74, 80, 94, 111, 122, 126, 127, 128, 130, 134, 135, 136, 138, 138, 140, 142, 144, 148, 149, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 166, 175, 184, 196, 198, 199, 201, 211, 212, 231, 246, 262, 266, 283, 287, 302, 310, 312  
 • PC, 175, 221, 228, 229, 246, 255, 256, 257, 260, 262  
 • SABRE, 159, 187  
 • Stretch, 156  
 • System/360, 113, 118, 159, 166, 169, 175, 184, 196, 214  
 • System/370, 168, 198, 199, 237  
 ICANN, 278, 293  
 Ichbiah, Jean, 244  
 ICL, 129, 177  
 IMP, 193  
 Imprimante 3D, 313  
 Inde, 266  
 Infographie, 162, 211, 229, 284  
 Informatique (terme), 158  
 Innovatron, 239  
 INRIA, 186, 260, 282, 294  
 Institut de programmation, 165  
 Intel, 176, 181, 187, 205, 212, 220, 223, 226, 230, 240, 249, 260, 283, 287, 291, 299  
 Intelligence artificielle, 138, 142, 143, 148, 190, 197, 208, 234, 239, 258, 289, 308, 312, 315  
 Interface graphique, 211, 255  
 Interface homme-machine, 162, 188, 191, 255, 286  
 Internet, 186, 193, 211, 214, 241, 250, 256, 263, 265, 266, 271, 278, 279, 284, 293, 296, 318  
 iPhone, 304  
 IPv6, 284  
 IRIA, voir INRIA  
 Iris 50, 186  
 Irlande, 71  
 Israël, 309  
 Italie, 28, 50, 153, 310  
 IUT, 165

## J

Jacquard, Joseph-Marie, 46  
 Japon, 24, 148, 177, 198, 205, 210, 242, 250, 251, 282, 307  
 Java, 189, 201, 253, 268, 284  
 JavaScript, 280, 284  
 Jeu de la vie, 199  
 Jeux d'aventure, 238, 249

Jeux vidéo, 160, 206, 242, 253, 313  
 Jobs, Steve, 211, 234, 255, 261, 265, 284  
 Jordan, Frank, 72  
 JPEG, 278

## K

Kahn, Robert, 193, 275  
 Kakehashi, Ikutaro, 254  
 Kampf, Serge, 188  
 Kao, Charles, 201  
 Kasparov, Garry, 288  
 Kay, Alan, 189, 208  
 Kelvin, Lord, 59  
 Kemeny, John, 170  
 Kempelen, Wolfgang von, 44  
 Kenbak-1, 221  
 Kepler, Johannes, 34, 36  
 Kilburn, Tom, 105, 110, 113, 123  
 Kilby, Jack, 146  
 Kildall, Gary, 229  
 Kim-1, 219, 224  
 Kleinrock, Leonard, 193  
 Knuth, Donald, 189  
 Koomey, Jonathan, 181  
 Kronkite, Walter, 125  
 Kubrick, Stanley, 197  
 Kurtz, Thomas, 171  
 Kurzweil, Karel, 238

## L

L'Ordinateur individuel (revue), 227  
 La Fontaine, Henri, 79  
 Lalande, Jérôme de, 44  
 Lamarr, Hedy, 90  
 Lambda-calcul, 82  
 Lanston, Tolbert, 61  
 Larson, Juge, 209  
 Laser, 231, 257, 286  
 Laser, imprimante, 231, 257  
 Laurer, George, 211  
 Lebedev, Sergueï Alexeïevitch, 118  
 LeCum, Yann, 308  
 Leet Speak, 261  
 LEGO, 195  
 Leibniz, Gottfried, 23, 28, 33, 42, 57  
 Lenovo, 302  
 LEO, 129  
 Léonard de Pise, voir Fibonacci  
 Lepaute, Nicole-Reine, 44  
 Lerdorf, Rasmus, 283  
 Leroy, Xavier, 294  
 Levy, David, 288

Licklider, Joseph, 193, 272  
 Lieben, Robert von, 69  
 Lilienfeld, Julius Edgar, 105, 153  
 LINC, 158  
 Linotype, 61  
 Linux, 267, 287  
 LISP, 148, 188, 197, 260  
 Logarithmes, 35, 37, 71  
 Logic Theorist, 143  
 Logiciel libre, 259  
 Logiciel, 158, 193  
 Logique mathématique, 24, 29, 42, 48, 55, 131  
 Logitech, 226, 245  
 Logo, langage, 188  
 Lorenz, machine de, 92, 179  
 Lovelace, Ada, 50, 244  
 LSI, 210  
 Luddisme, 47  
 Ludgate, Percy, 71  
 Lulle, Raymond, 29  
 Lumitype, 98

## M

Machine à différences, 48  
 Machine analytique, 33, 48  
 Macintosh, 192, 211, 232, 247, 255, 286  
 Maintenance, 99, 144, 190, 196, 287  
 Manchester  
 • Mark I, 106  
 • université de, 78, 107, 123, 135, 160  
 Maple, 245  
 Markov, Andreï, 131  
 Matlab, 245  
 Mauchly, John W., 99, 102, 106, 113, 124, 209  
 Mazor, Stan, 205  
 McCarthy, John, 142, 148, 157, 197  
 McIlroy, Malcolm, 201  
 MCM/70, 223  
 Memex, 98, 272  
 Mémoire, 48, 72, 88, 99, 105, 110, 113, 114, 130, 179, 187, 192, 206, 223  
 Mémoire cache, voir Antémémoire  
 Mémoire virtuelle, 160  
 Menabrea, Luigi Federico, 50  
 Mergenthaler, Ottmar, 61  
 Merkle, Ralph, 231  
 Metcalfe, Robert, 209  
 METEOR, 294  
 Méthode B, 293  
 Méthode de Monte-Carlo, 104  
 Métier à tisser, 46, 61  
 Metropolis, Nicholas, 104  
 Micral, 221, 246

Micro-ordinateur, 175, 199, 212, 219, 235, 247  
 • kit, 219, 224  
 micro:bit, 265  
 Microprocesseur, 205, 212, 221, 223, 230, 238, 240, 249, 264, 303  
 Microsoft, 227, 229, 247, 262, 264, 280, 287  
 Microsystèmes (revue), 227  
 MIDI, 254  
 Minc, Alain, 239  
 Minecraft, 302  
 Mini-ordinateur, 158, 160, 174, 183, 201, 225  
 Minitel, 241, 250, 256, 274  
 Minsky, Marvin, 142, 198  
 MIT, 76, 98, 127, 130, 135, 136, 142, 148, 149, 157, 160, 162, 193, 195, 201, 238, 259, 260, 263, 282, 288  
 MITS, 224, 227  
 MMORPG, 300  
 MOS, 259  
 Mockapetris, Paul, 260  
 Model-K, 83  
 Modem, 55, 187, 243, 253, 276  
 Modula-2, 201  
 Molnar, Charles, 158  
 Monotype, 61  
 Monty Python, 243, 268  
 Moore  
 • Gordon, 179  
 • loi de, 179, 187, 260, 296  
 Moreno, Roland, 223, 239  
 Morris, Robert, 263  
 Morse  
 • code, 50  
 • Samuel, 50  
 Mosaïc, 279, 280  
 MOSFET, 153  
 Mostek, 223  
 Moteur de recherche, 284, 289  
 Motorola, 210, 223, 240, 249, 260, 292  
 MP3, 293  
 MS-DOS, 229, 247, 262, 287  
 MSL, 179, 210  
 MTBF, 144  
 Multics, 157, 201  
 Multiplicatrice, 42, 62  
 Musique électronique, 254  
 Mystery House, 238

## N

Napster, 293  
 NASA, 126, 128, 147, 163, 168, 195, 207  
 Naur, Peter, 153  
 NCR, 60, 68, 121, 198  
 NCSA, 280

Neper, John, 35  
 Netscape, 280, 284, 287  
 Neumann, John von, 87, 99, 102, 106, 128, 143, 199, 260  
 Newell, Allen, 143  
 Newell, Martin, 229  
 Newgroups, 245  
 NeXT, 265, 277  
 Nicely, Thomas R., 283  
 Nicoud, Jean-Daniel, 226, 245  
 Noble, David, 199  
 Nokia, 292, 309  
 Nom de domaine, voir DNS  
 Nomographie, 70  
 Nora, Simon, 239  
 Noyce, Robert, 146, 181  
 NP-complet, 203  
 NSA, 263, 283, 314, 315  
 Numérotation positionnelle, 26, 28

## O

Oberheim, Tom, 254  
 Oberon, 201  
 Objet, voir Programmation objet  
 Objet connecté, 265, 277, 284, 316  
 Ocagne, Maurice d', 70  
 Octet, 164, 168  
 Odhner, 57  
 Olivetti, 129, 153, 177, 184, 220  
 Olsen, Ken, 149, 183  
 Open source, 259, 267, 313  
 Oracle, 214, 253  
 Ordinateur, 138  
 OS/2, 262, 286  
 Osborne, 246  
 Otlet, Paul, 79  
 Oughtred, William, 37

## P

P=NP ?, 203  
 P2P, 293  
 Pac-Man, 242  
 Page, Larry, 289  
 Pakistan, 262  
 PAO, 98, 232, 257  
 Papert, Seymour, 188, 189, 198  
 Papier électronique, 292  
 Parallèle, port, 156  
 Parallélisme, 260  
 Parametron, 148  
 Pascal  
 • Blaise, 33, 38, 42  
 • langage, 268

Pascaline, voir Pascal  
 Patch, 54  
 Pays-Bas, 190, 268  
 PDA, 254, 265  
 PDP-1, 138, 149, 160  
 PDP-8, 175, 183, 222  
 PDP-10, 238  
 PDP-11, 175, 200, 201, 207, 237  
 PDP-15, 182  
 Peer-to-peer, 293  
 Pendule, 30  
 Pentagone, 152, 193, 244, 273  
 Pentium, 283  
 Perceptrons, 198  
 Perret, Jacques, 139  
 Peste, 302  
 PET Commodore, 234  
 pgcd, 24  
 PGP, 231  
 PHP, 268, 283  
 Pickette, Wayne, 206  
 Piratage, 46  
 PL/I, 153, 168, 197  
 Plan calcul, 177, 185, 193, 214, 239, 274  
 Planimètre, 54  
 Plankalkül, 90  
 Playboy, 210  
 Poe, Edgar Allan, 52  
 Pologne, 91  
 Pong, 206  
 Popular Electronics (revue), 224  
 Portable, 246  
 Postel, John, 260  
 PostScript, 159, 232, 257  
 Pourriel, 243  
 Pouzin, Louis, 193, 214, 275  
 Prix Turing, voir Turing, prix  
 Programmation objet, 189, 191, 208, 211, 254, 265  
 Programmation structurée, 190  
 Programme enregistré, 87, 102, 106, 110, 128  
 Prolog, 208  
 Prony, Gaspard de, 45  
 Psion, 254  
 Pythagore, 20, 62  
 Python, 201, 268

## Q

QR-code, 282  
 Quantique, informatique, 280  
 qubit, 281  
 Quicksort, 149  
 Quipus, 19

Qwerty, clavier, 57

## R

R2E, 221, 246  
 RAMAC, 140  
 Raçongiciel, 314  
 Ransomware, voir Raçongiciel  
 Rapport Nora-Minc, 239  
 Rasperry Pi, 304  
 RATP, 294  
 Réalité virtuelle, 313  
 Recensement, 63  
 Reconnaissance vocale, 130  
 Règle à calcul, 37  
 Relais, 50, 72, 83, 89, 94, 104, 111  
 Remington-Rand, 60, 65, 68, 121, 126  
 République tchèque, 74  
 Réseau, 98, 127, 179, 186, 187, 193, 202, 209, 214, 239, 241, 250, 256, 263, 271  
 Réseaux sociaux, 304  
 Retenue, 38  
 Revues informatiques, 226  
 RFID, 210  
 RISC, 178, 237, 249, 253, 264  
 RITA, 239  
 Ritchie, Dennis, 200, 207  
 Rivest, Ron, 231, 282  
 RNIS, 241, 274  
 Roberts, Ed, 224  
 Roberts, Larry, 193, 273  
 Robot, 74  
 Robotique, 91, 158  
 Roddenberry, Gene, 188  
 Rosenblatt, Frank, 198  
 Rousset, Philippe, 208  
 RS-232, 156  
 RSA, 231, 281, 282  
 Ruban perforé, 53, 110  
 Russell, Bertrand, 143  
 Russell, Steve, 160  
 Russie, 47, 60, 82, 118, 131, 134, 146, 257, 275, 289, 309, 314

## S

SABRE, voir IBM, Sabre  
 Safari, affaire, 212  
 SAGE, 127, 159, 178, 187, 195, 274  
 Samsung, 318  
 Sanger, Larry, 298  
 Satoshi, Nakamoto, 308  
 Scarabée d'or, Le, 52  
 Scheutz, Pehr et Edvard, 50

Schickard, Wilhelm, 36, 44  
 Scholes, Christopher Latham, 57  
 Schwilgué, Jean-Baptiste, 52  
 Science et Vie Micro (revue), 227  
 Scratch, langage, 188  
 SEA, 130, 132, 147, 150  
 Semi-conducteur, 318  
 Série, port, 156  
 SETI@Home, 299  
 Setun, 146  
 Shamir, Adi, 231  
 Shannon, Claude, 83, 112, 142  
 SHARE, 142  
 Shareware, 252  
 Shaw, Cliff, 143  
 Shih, Stan, 262  
 Shima, Masatoshi, 205  
 Shockley, William, 105, 134  
 Shor, Peter, 281  
 SICOB, 122, 139, 222  
 Sierra Online, 238  
 SIGSALY, 76  
 Silicium, 134, 135, 146, 206  
 Silicon Valley, 206, 211  
 SimCity, 263  
 Simon, Herbert A., 143  
 Simula 67, 189  
 Sinclair QL, 235  
 Sinclair, Clive, 247  
 Sketchpad, 162  
 Skynet, 258  
 Smaky, 226  
 Smalltalk, 189, 208  
 Smartphone, 254, 284, 304, 313  
 Smith, Dave, 254  
 Snake, 292  
 Snowden, Edward, 314  
 SourceForge, 295  
 Souris, 191, 211, 226, 245, 255  
 Sous-programme, 106  
 Space invaders, 242  
 Spacewar!, 160, 206  
 Spam, 55, 243  
 Spirale d'Ulam, voir Ulam  
 SQL, 212  
 SSD, 304  
 SSEC, 94  
 SSEM, 106  
 SSI, 153, 210  
 SSLI, 188, 193  
 Stanford, université de, 181, 190, 191, 193, 206, 211, 238, 239, 249, 253, 279, 284  
 Star Trek, 188  
 Starkweather, Gary, 231  
 Stibitz, George, 83, 89



Streisand (effet), 300  
 Strela, 118  
 STRIDA, 160, 274  
 Stroustrup, Bjarne, 189, 254  
 Stuxnet, 309  
 Suède, 50, 57, 210  
 Suess, Randy, 243  
 Suisse, 54, 211, 226, 245  
 Sun, 249, 253, 284  
 Supelec, 165  
 Superordinateur, 156, 171, 175, 232, 258, 275, 290, 299, 306, 315  
 Sutherland, Yvan, 162, 193  
 Système expert, 190, 208, 316  
 Systèmes d'exploitation, 142, 154, 157, 158, 168, 184, 190, 195, 196, 201, 214, 223, 226, 228, 229, 247, 259, 262, 265, 267, 286

## T

Tables arithmétiques, 19, 34  
 Tableur, 244, 264  
 Tabulatrice, 64, 74, 80, 131, 155  
 Taiwan, 221, 245, 262, 318  
 Tambour magnétique, 106, 113, 130, 150, 160, 187  
 Tandy Radio Shack, 235, 247  
 TAOCP, 189  
 Tchebychev, Pafnouti, 60  
 TCP/IP, 193, 239, 275, 284  
 Teal, Gordon, 134  
 Télégraphe, 46, 55  
 Téléimprimeur, 179  
 Télématique, 240, 241, 250  
 Téléphonie mobile, 112, 210, 262, 318  
 Teletype, 179  
 Terminator, 258  
 Tetris, 257, 292  
 TeX, 189  
 Texas Instruments, 134, 146, 163, 236, 267  
 Théorie de l'information, 112

Thomas de Colmar, Charles Xavier, 47  
 Thompson, Ken, 200, 207  
 Thomson (entreprise), 185, 259  
 Thomson, William, voir Kelvin  
 TI-99, 234, 236  
 TIME (magazine), 252  
 Token ring, 209, 276  
 Tomlinson, Ray, 202  
 Tores de ferrite, 127, 130, 154, 160, 178, 187  
 Torres-Quevedo, Leonardo, 72  
 Torvalds, Linus, 267  
 Toy Story, 284  
 TRADIC, 135  
 Traduction, 134  
 Transformée de Fourier, 59, 181, 299  
 Transistor, 72, 105, 134, 135, 146, 153, 159, 163, 178, 180, 187, 205, 230, 249, 260  
 Transpac, 214, 241, 250, 274  
 Trigrammes, 23  
 Triode, voir Tube à vide  
 TRON, 252  
 TRS-80, 235, 236, 238  
 Truscott, Tom, 245  
 TSF, 68  
 TSMC, 318  
 Tube à vide, 69, 72, 94, 99, 105, 118, 148, 152  
 Tube cathodique, 103, 105, 113, 178, 247  
 Tube de mercure, 113, 178  
 Turing
 

- Alan, 67, 76, 81, 87, 92, 102, 106, 115, 123, 293
- machine de, 81, 143, 302
- prix, 83, 191
- test de, 82

 TX-0, 135, 136, 158  
 TX-2, 162  
 Ugon, Michel, 238

## U

Ukraine, 309

## Ulam

- spirale d', 24
- Stanislaw, 24, 104

 Ultima, 249, 302  
 Unbundling, 196  
 Unicode, 164  
 Unimate, 158  
 Univac, 89, 111, 113, 114, 121, 124, 142, 154, 163, 198, 209  
 Unix, 157, 201, 207, 237, 259, 263, 267, 275, 280  
 UPC, 211  
 URL, 279, 284  
 USB, interface, 156  
 Usenet, 245

## V

van Rossum, Guido, 268  
 Vaucanson, Jacques, 46  
 VAX-11, 237, 249  
 Virgule flottante, 72, 283  
 Virtualisation, 253  
 Virus, 262, 263, 309, 314  
 Viscalc, 244  
 VLSI, 210, 249

## W

Wales, Jimmy, 298  
 Walton, Charles, 210  
 Wang, An, 130  
 Wargames, 253  
 Warnock, John, 257  
 Watson, 312  
 Weaver, Warren, 134  
 Web, 250, 276, 278, 279  
 Weizenbaum, Joseph, 185  
 Wheeler, David, 106  
 Whirlwind, 121, 127, 130, 149

Whitehead, Alfred North, 143

Wiener, Norbert, 87, 112  
 Wifi, 91, 209, 289  
 Wikileaks, 305  
 Wikipedia, 298  
 Wilkes, Maurice, 88, 106, 113, 129, 192  
 Williams, Freddie, 105, 123  
 Williams, Roberta et Ken, 238  
 Wilson, Sophie, 264  
 Windows, 229, 262, 264, 280, 286  
 Wirth, Niklaus, 201, 211  
 Wood, Don, 238  
 Woodland, Norman, 211  
 World of Warcraft, 302  
 Wozniak, Steve, 234  
 Wright, Will, 263

## X

X25, 241, 250, 274  
 Xerox, 192, 208, 211, 231, 255, 257, 278, 292

## Y

Yahoo!, 284, 289, 297  
 Yi-Jing, 23, 42  
 YouTube, 316

## Z

Z3, 24, 89, 99, 102  
 Z80, 223, 230  
 Zéro, 26  
 Zilog, 223, 230, 240  
 Zimmermann, Hubert, 275  
 Zimmermann, Phil, 231  
 Zork, 238  
 Zuse, Konrad, 89, 99  
 ZX81, 234, 247

