

## **L i v r e   d e u x i è m e**

# **Petite histoire des grands ordinateurs**

**Des origines à la grande diffusion**

1. Introduction	3
2. Dans les années trente ...	5
3. L'ordinateur, enfant de la guerre	9
4. Les premières générations (1943 - 1965)	11
4.1 - Parmi les précurseurs (1943 - 1950)	11
4.2 - La première génération d'ordinateurs (1950 - 1960)	17
4.3 - La deuxième génération d'ordinateurs (1960 - 1965)	22
5. Les vingt glorieuses - Les troisième et quatrième générations (1965 - 1985)	25
6. Les grandes innovations technologiques qui ont fait progresser l'informatique	38
7. La fabuleuse évolution des capacités et des performances des microprocesseurs	64
8. 1989 : Quel avenir pour l'informatique ?	65

## 1. INTRODUCTION

Les premiers ordinateurs sont non seulement grands et célèbres par leur origine, ils sont également lourds et volumineux. Ces propriétés disgracieuses s'amenuiseront au fil des années. Grâce à une miniaturisation régulière des composants internes, ils atteindront des mensurations raisonnables. Nonobstant ces réductions de leurs dimensions, ils doubleront leurs capacités et leurs performances tous les 18 mois ... selon la loi de MOORE !

Ils sont nés des expériences tentées et relativement réussies au cours des années '30 en Allemagne et aux États-Unis principalement.

Ils sont marqués, dès leur naissance, par les progrès d'une technologie sœur de l'électromécanique, l'électronique qui fournit d'abord aux ingénieurs les diodes et les triodes. Ces dernières étaient aussi appelées tubes à vide ou tubes électroniques ou tout simplement lampes. Quelques années plus tard, les transistors, les circuits intégrés et les microprocesseurs offriront la compacité des matériels, la réduction de l'échauffement et de l'occupation au sol ainsi qu'un accroissement prodigieux des performances.

Certains des premiers-nés font appel à des matériels et des procédés utilisés en mécanographie : cartes perforées pour l'introduction des données et la réception des résultats, tabulatrices pour l'impression des états, programmation câblée comme sur les machines mécanographiques. Tous ces dispositifs mécaniques d'entrée des données et de sortie des résultats ne tarderont pas à se révéler incompatible avec la vitesse d'exécution des composants et des procédés électroniques. Il faudra l'invention de supports magnétiques, (bandes et disques), d'imprimantes rapides et d'outils divers de transmission pour répondre efficacement aux exigences de l'électronique.

Tout comme celle de la mécanographie, l'histoire des grands ordinateurs est faite de périodes d'activité intense avec de nombreuses découvertes suivies de périodes de calme apparent où l'on travaille discrètement sur l'existant. On peut considérer les années '40, la décennie des débuts, comme une des périodes aux enjeux capitaux. Elle vit se dessiner l'architecture des ordinateurs telle qu'elle sera reconnue et adoptée jusqu'aux premières années du vingt et unième siècle. Elle fut aussi celle qui connut, mieux qu'aucune autre, le soutien financier des gouvernements nationaux soumis aux impératifs militaires engendrés par le second conflit mondial et la guerre froide qui lui succéda.

Les grands ordinateurs sont conçus sur de solides bases scientifiques : ils recourent dans leur fonctionnement au système de numération binaire promu à la fin du 17<sup>ème</sup> siècle par LEIBNIZ, à l'algèbre booléenne de Georges BOOLE et aux théories conceptuelles de BABBAGE. Ils bénéficient du fruit de révolutions silencieuses : le maintien du programme et des données en mémoire par VON NEUMANN, les théories sur l'algorithme développées par TURING et la présence des premiers langages de programmation imaginés, entre autres, par GRACE HOPPER.

Quelques lieux mythiques ont été le berceau de découvertes inattendues et de progrès spectaculaires : l'université de Stanford en Californie, le MIT (Massachusetts Institute of Technology) à Cambridge, la Highway 128, réputé périphérique de Boston bordé de tant d'entreprises consacrées aux hautes technologies, la Silicon Valley en Californie, la Silicon

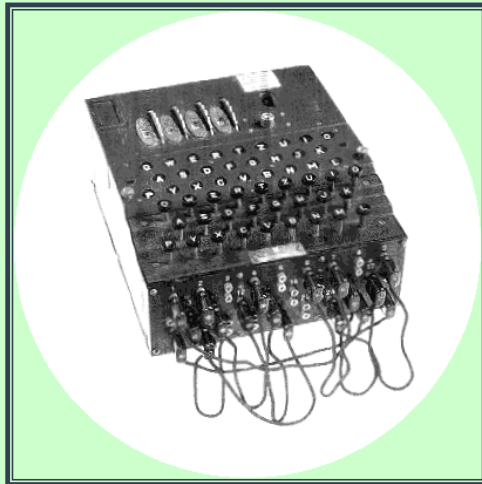
Glen en Écosse et toujours au cœur de la Californie... deux garages restés célèbres : celui de Bill HEWLETT et David PACKARD, celui de Steve JOBS et de Steve WOZNIAK, sans oublier le travail réalisé par Bill GATES et Paul ALLEN.

*« Les études que l'on doit à ces célébrités sur l'architecture des ordinateurs, la linguistique formelle et les langages de programmation permettront de sortir l'informatique naissante du royaume de la bidouille, du fer à souder et des grandes salles aseptisées pour l'installer sur un coin de bureau, avec comme seuls témoins de ces évolutions technologiques et conceptuelles, l'écran et le clavier ». (L'Informatique Nouvelle – Juin 1996)*

## 2. DANS LES ANNÉES TRENTE

Alors que la mécanographie poursuit, en ces années-là, une expansion toujours aussi prometteuse, des chercheurs et des ingénieurs consacrent du temps à la conception et au montage de nouvelles machines destinées à surpasser les performances de la mécanographie.

**1923** : En 1918, le docteur Arthur SCHERBIUS, (1878 - 1929) d'origine hollandaise mais résidant à Berlin, entreprend l'étude et la fabrication d'une machine destinée au chiffrement et au déchiffrement de messages émis dans les activités commerciales et civiles. En 1923, il vend sa première machine à laquelle il a donné le nom d'ENIGMA. Le monde des affaires, sous l'emprise des conditions de l'armistice de 1918, lui accorde peu d'attention. Au décès de Scherbius en 1929, l'armée allemande prend à son compte la production de la machine à des fins militaires. Dans ses premières versions, la machine dispose d'un clavier alphabétique, d'un tableau de connexions, de 3 rotors et d'un tableau de sortie de lampes témoins correspondant aux 26 lettres de l'alphabet. Le fonctionnement permet une substitution lettre par lettre et la table de substitution change à chaque lettre. Elle peut fournir 22 millions de combinaisons. Le modèle M3 de l'ENIGMA est adopté en 1937 par les militaires allemands. Au fur et mesure de son évolution, il en sera fabriqué plus de 100 000 exemplaires. Ce sont des ingénieurs polonais qui, avec l'aide d'ingénieurs français, se lancent en premier dans la recherche du système de fonctionnement de la machine. Le résultat de leurs travaux sera repris par les services secrets britanniques. Ceux-ci soutiendront financièrement la conception et la réalisation, en 1943, d'un ordinateur capable de déchiffrer les messages allemands. La mission sera confiée à une équipe d'ingénieurs anglais sous la direction de Max NEWMAN. Dans cette équipe se trouve Alan TURING, dont le génie contribue à la conception et à la fabrication du célèbre ordinateur britannique COLOSSUS, appelé aussi « la bombe de TURING ».



*L'ENIGMA en 1930*

*L'ENIGMA en 1937*

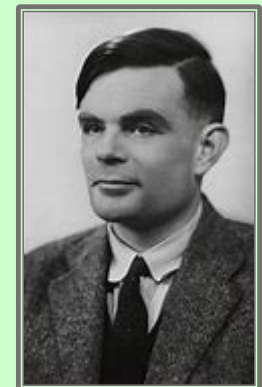


**1931** : Un ingénieur américain, Vannevar BUSH (1890 - 1974), conçoit et fabrique pour le compte du MIT (Massachusetts Institut of Technology) un calculateur analogique électromécanique destiné à la résolution d'équations différentielles. L'inventeur s'inspire des théories développées par BABBAGE. Malgré son encombrement, l'analyseur différentiel est reproduit en une petite dizaine d'exemplaires. Deux de ceux-ci sont acquis en 1936 par le centre de recherches balistiques d'Aberdeen, dans le Maryland. Les ingénieurs de ce centre recherchent à ce moment, pour le compte de l'armée américaine, les moyens d'accélérer les calculs en matière de balistique.

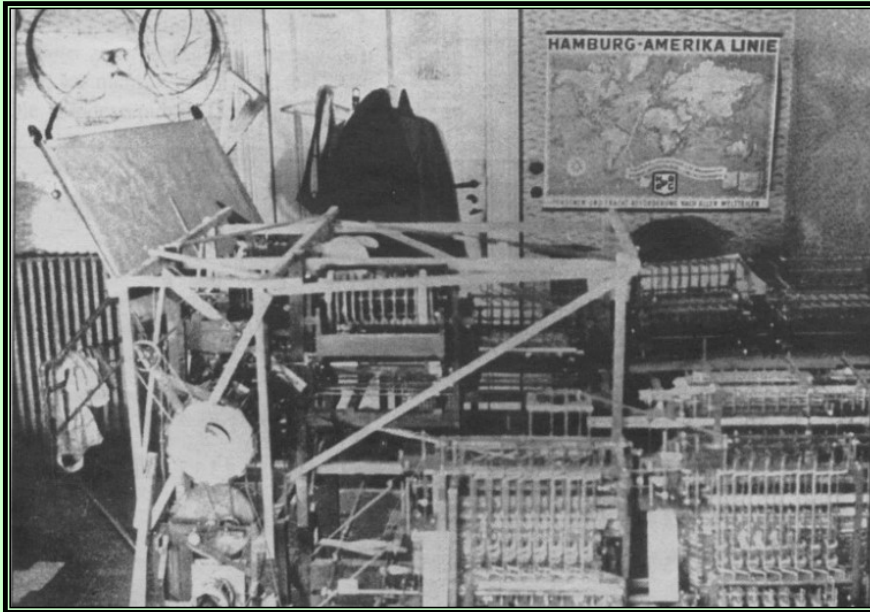


*L'analyseur de V. BUSH au MIT - 1931*

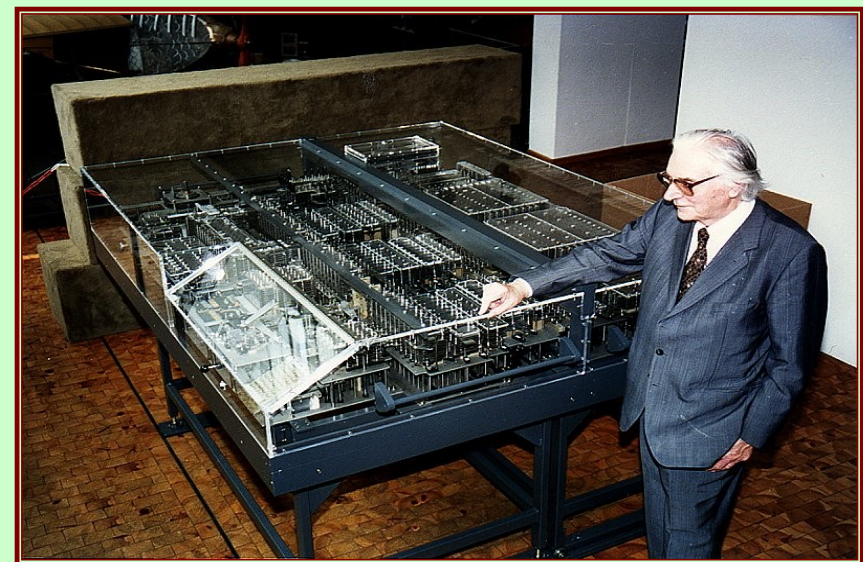
**1936** : Le mathématicien anglais **Alan TURING** (1912 - 1955) est maître-assistant à l'université de CAMBRIDGE. Ses projets ont pour but d'utiliser la numération binaire pour représenter l'information en mémoire. Il conçoit en 1936 une machine logique universelle appelée « machine de TURING » capable de résoudre n'importe quel algorithme. Par ses arguments, il démontre que l'ordinateur peut réaliser ce que réalise l'esprit humain. Ses recherches sont interrompues par la Seconde Guerre mondiale. Au cours de celle-ci, il participe à la conception et au montage de machines (dont le célèbre COLOSSUS) destinées au décryptage des messages de l'armée allemande. Les résultats de ses travaux sont unanimement reconnus aussi importants que ceux de VON NEUMANN dans la conception des premiers ordinateurs.



**1938** : L'Allemand Konrad ZUSE (1910 - 1995) construit le Z1. C'est un calculateur électromécanique que l'inventeur installe dans le salon de ses parents. Les modèles Z1 et Z2 ne purent jamais être exploités en raison d'un manque de fiabilité. Le fonctionnement de l'appareil reposait sur des relais électromécaniques et recourait au système de numération binaire.



*Le Z1 de l'allemand K. ZUSE - 1938*



*Le Z2 de K. ZUSE - 1939*



**1939** : John ATANASOFF (1903 - 1995) avec l'aide de Clifford BERRY construit une machine appelée ABC (Atanasoff and Berry Computer), une machine 16 bits binaire. La machine est fabriquée dans le but de résoudre des systèmes d'équations linéaires. Elle n'est pas programmable mais elle recourt au système binaire et aux composants électroniques en distinguant nettement l'unité arithmétique et la mémoire. Celle-ci est composée de lampes et de tambours dont la capacité est de 60 mots de 50 bits. Elle exécute 30 additions par seconde à la vitesse de 60 Hz.

*Réplique de l'ABC, le calculateur d'ATANSOFF et BERRY*



**1941** : Après avoir fabriqué le Z2 en 1939, Konrad ZUSE met au point l'ordinateur Z3 pour le compte de l'armée allemande. Il est composé de 2 600 relais, d'une console-opérateur et d'un lecteur de bandes perforées (des pellicules cinématographiques 35 mm) pour l'introduction en machine du programme et des données. On considère toujours le Z3 comme le premier ordinateur fonctionnel, programmable et universel : ce qui signifie qu'il n'est pas réservé à un seul type d'opérations. Ses performances : 4 additions par seconde, 15 multiplications par minute, 64 nombres de 22 bits en mémoire et une fréquence de 5,33 Hz. Konrad ZUSE avait lui-même conçu et mis au point un langage de programmation qu'il avait appelé PLANKALKÜL. Le Z3 sera suivi du Z4.

*Le Z3 de K. ZUSE - 1941*





### 3. *L'ORDINATEUR, ENFANT DE LA GUERRE*

Les expériences auxquelles les militaires sont confrontés sur les champs de bataille de la Première Guerre mondiale inquiètent les états-majors américains qui considèrent que les méthodes appliquées en matière de calculs balistiques ne sont plus adaptées aux exigences d'une guerre moderne.

En 1917, Oswald VEBLEN, mathématicien d'origine norvégienne, enseignant à l'université de Princeton, est affecté au Centre de Balistique de SANDY HOOK placé sous juridiction militaire. Sa mission consiste à accroître l'efficacité des méthodes de tir par une approche scientifique rigoureuse. Les projets engagés cessent avec l'armistice de 1918.

En 1930, l'attention des responsables du Centre de Recherches Balistiques d'ABERDEEN, dans le Maryland, est attirée par l'analyseur différentiel de Vannevar BUSH. Les dirigeants de ce centre et ceux de l'université de Pennsylvanie, en association, commandent à l'inventeur deux exemplaires de la machine. En 1936, les deux analyseurs sont opérationnels. Pour le colonel ZORNIG, qui a pris la direction du laboratoire de recherches balistiques d'ABERDEEN, les appareils ne présentent toutefois pas assez de puissance pour effectuer les calculs comme il l'entend. En basant ses calculs sur 50 points balistiques (au lieu des 1 000 points requis pour un calcul précis) et 15 multiplications par point, le temps d'attente du résultat de ces 750 opérations est, pour une trajectoire, proche du quart d'heure.

Au moment où les États-Unis entrent en guerre en 1941, le colonel ZORNIG est remplacé par le colonel Leslie SIMON. Il fait appel à VEBLEN comme conseiller scientifique. Ce dernier réunit autour de lui une équipe d'experts : deux astronomes, sept mathématiciens et huit physiciens. Parmi eux se trouvent un mathématicien d'une envergure exceptionnelle John VON NEUMANN et un certain J. Presper ECKERT, encore étudiant, âgé de 23 ans. Les études rapidement entreprises confirment les craintes de ZORNIG et de SIMON sur l'insuffisance et l'inadéquation des moyens disponibles. Afin de répondre à la demande de plus en plus pressante des militaires, une armée d'étudiants est engagée pour travailler sur... des calculateurs électromécaniques.

Néanmoins, par l'obstination et la motivation dont elle fait preuve, l'équipe des scientifiques est amenée à la conception d'une machine révolutionnaire. ECKERT, MAUCHLY, GOLDSTINE et BRAINERD sont plus particulièrement affectés à sa réalisation. Le physicien MAUCHLY dépose un rapport consacré à l'usage des tubes à vide comme dispositifs pouvant être utilisés dans les calculs arithmétiques.

En tenant compte du signal électrique non comme unité de puissance mais comme courant pouvant varier du positif au négatif, ramenant dès lors le nombre d'unités à 2, MAUCHLY reprend pour le compte du projet les théories que lui avait présentées John V. ATANASOFF en juin 1941. Celui-ci, en 1939, avait déjà réalisé un prototype d'ordinateur électronique.

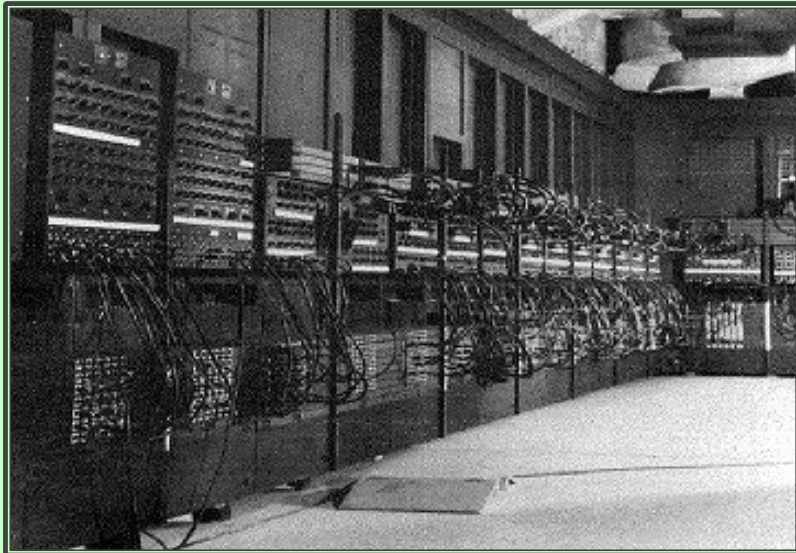
En avril 1943, les responsables du Centre d'ABERDEEN et ceux de l'école MOORE de l'université de Pennsylvanie signent un accord portant sur la réalisation d'un calculateur électronique auquel ils donnent le nom d'ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer). L'engin est monté à l'université, ensuite démonté avant d'être transporté à

ABERDEEN. Partie d'un budget initial d'environ 100 000 dollars, la réalisation de l'ENIAC, attribuée généralement à ECKERT et MAUCHLY, atteindra finalement la somme du demi-million de dollars.

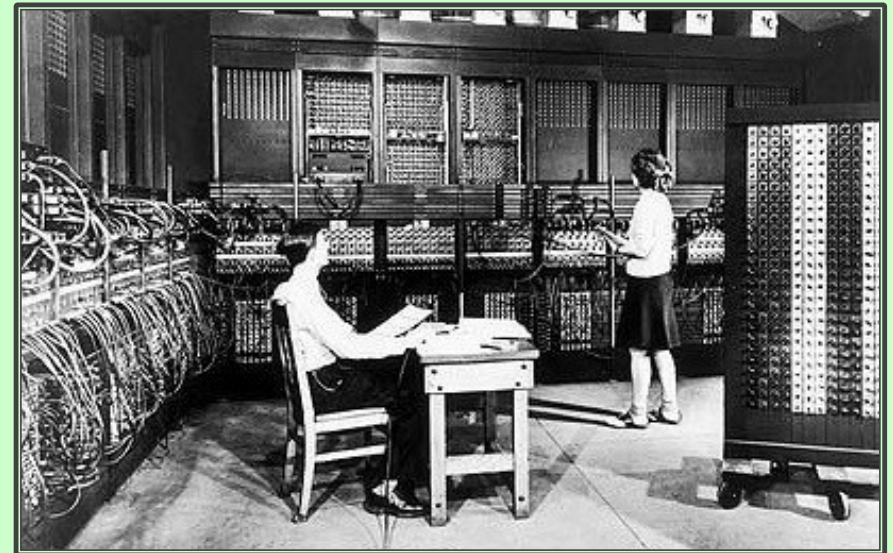
Disposé en forme de fer à cheval, l'ENIAC se compose de 42 panneaux mesurant environ 1 m de profondeur, 70 cm de large et 2,70 m de haut reliés entre eux par des câbles enfichables mobiles. L'appareil est truffé de tubes à vide. Un système de ventilation y est intégré pour éviter toute surchauffe. Trois panneaux (ou tableaux de connexions) sur roulettes peuvent être branchés à des endroits précis du fer à cheval en fonction du travail demandé. Un lecteur et un perforateur de cartes sont intégrés dans l'ensemble.

L'ordinateur occupe une surface de 160 m<sup>2</sup> et pèse près de 30 tonnes. Il développe une puissance de 150 kWh requise par 18 000 tubes à vide, 10 000 condensateurs, 70 000 résistances, tandis que 1 500 relais et 6 000 commutateurs transmettent les données. Les calculs se déroulent dans des accumulateurs, les véritables mémoires de l'ENIAC, qui peuvent conserver et transmettre les résultats. Quelques dizaines de petites lampes permettent d'afficher le contenu d'un accumulateur.

Lorsqu'il est inauguré, le 15 février 1946, la guerre contre l'Allemagne est terminée. ENIAC est alors affecté aux calculs ayant trait à la bombe H. Jusqu'au 2 octobre 1955, il contribue aux calculs de mise au point de plusieurs armes atomiques et autres applications militaires. Aujourd'hui démantelé, ses pièces se trouvent éparpillées dans différents musées.



*L'ENIAC - 1946*  
*Programmation câblée*



## 4. LES PREMIÈRES GÉNÉRATIONS 1943 - 1964

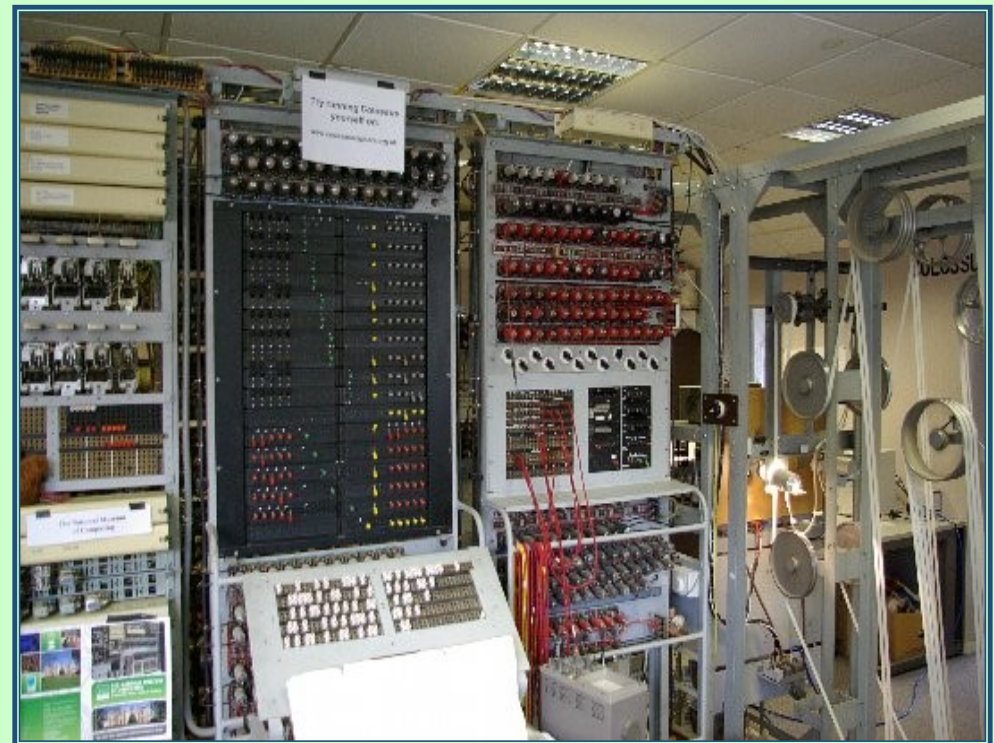
Il est d'usage de répartir en générations les divers types d'ordinateurs qui ont jalonné l'histoire de l'informatique. Cette répartition, pour des raisons historiques, correspond généralement à la nature des composants électroniques des machines, (triodes, transistors, circuits intégrés, microprocesseurs) et non aux spécificités des périphériques (disques, bandes, imprimantes, etc...).

### 4.1. Parmi les précurseurs (1943 - 1950)

#### *1943 : le COLOSSUS*

Le Colossus Mark I est le premier d'une série de 10 machines. Fabriqué en moins d'une année et opérationnel en décembre 1943, il est l'œuvre d'une équipe d'ingénieurs et de chercheurs de l'université de Manchester (Royaume-Uni) conduite par Thomas FLOWERS. Il est réalisé à la demande du Chiffre Britannique et destiné au décodage des messages allemands émis en code Enigma et en code Lorenz. Sa conception est basée sur les théories développées par les mathématiciens Max NEWMAN et Alan TURING, spécialistes du déchiffrement. Recourant au code de numération binaire, la machine est pourvue de 2 000 tubes à vide. Le programme est enregistré en mémoire. Il est reconnu que le Colossus Mark II joua un rôle important dans les préparatifs du débarquement allié en juin 1944. La conception des ordinateurs fut tenue au secret pendant de nombreuses années après la fin de la Seconde Guerre mondiale. Le gouvernement britannique en fit détruire huit exemplaires par crainte de piratage suscitée pendant cette période de guerre froide.

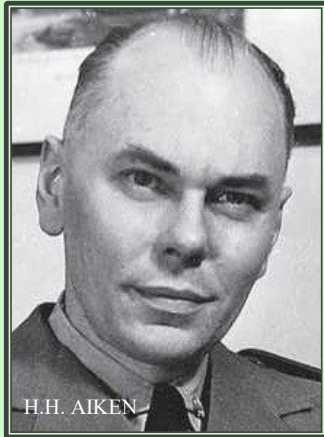
*Le COLOSSUS*





## 1944 : le MARK 1

Depuis 1937, le Dr. Howard H. AIKEN, physicien professeur à HARVARD collabore avec IBM dans un projet de conception et de fabrication d'un ordinateur. Interrompue pendant la guerre, l'étude du projet est reprise en 1943. La machine destinée initialement aux applications scientifiques est fabriquée par IBM à ENDICOTT (N.Y.). Le 7 août 1944, AIKEN présente le premier calculateur automatique de l'histoire appelé MARK 1. Il avait été démonté pour être transporté des ateliers IBM dans les laboratoires de la célèbre université.



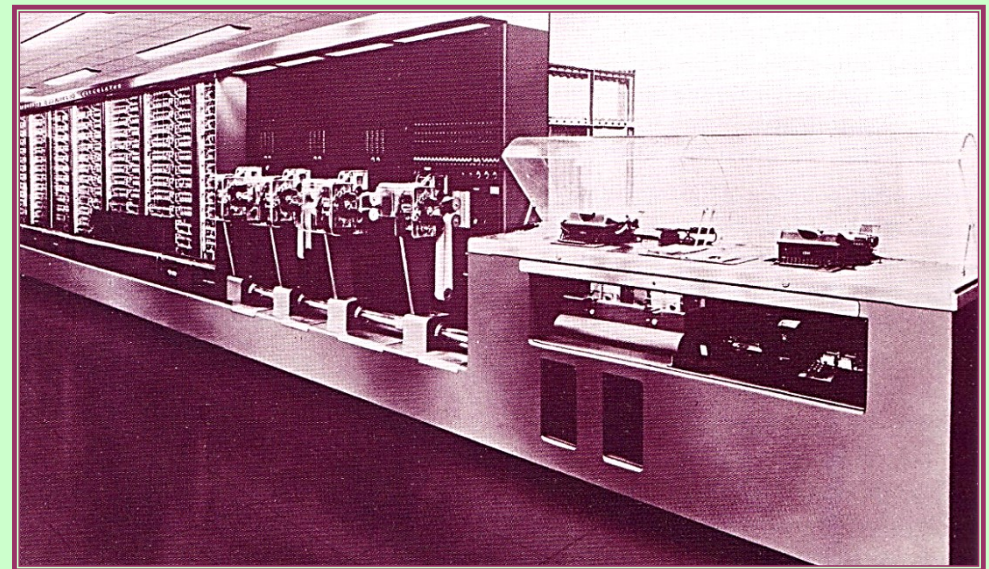
Dans son étude, AIKEN s'est particulièrement inspiré des travaux de BABBAGE. La conception de la machine repose sur une architecture qui prendra le nom de l'université : l'« Architecture Harvard » qui dissocie physiquement la mémoire du programme de la mémoire des données. L'introduction en mémoire des données et du programme s'opère par carte perforée ou ruban perforé, en mode décimal. Sa mémoire interne peut contenir 4 000 chiffres. Son fonctionnement est automatique ; dès le lancement du programme, aucune intervention humaine n'est requise. L'ordinateur mesure 15 mètres de long, 3 mètres de haut et 50 cm de profondeur. Il pèse près de 5 tonnes. Il renferme plus de 700 000 éléments : moteurs, relais mécaniques, engrenages et arbres, le tout relié par environ 800 km de câbles. Représentant le sommet de l'ère électromécanique, ce calculateur réalise un bond spectaculaire dans la rapidité du calcul : il effectue une longue addition en 0,2 seconde, une multiplication de 10 chiffres en 10 secondes et une division équivalente en 20 secondes. Le MARK 1 est aussi connu, dans sa première version, sous le nom code de ASCC (Automatic Sequenced Controlled Calculator).

Bien que souffrant de pléthore, le Mark I sera suivi de trois congénères. Les Mark II (1947), Mark III (1949) et Mark IV (1952) seront progressivement équipés de composants électroniques, de mémoires à tores de ferrite, de tambours et de bandes magnétiques.



*Ruban perforé du Mark I*

*Le MARK 1*



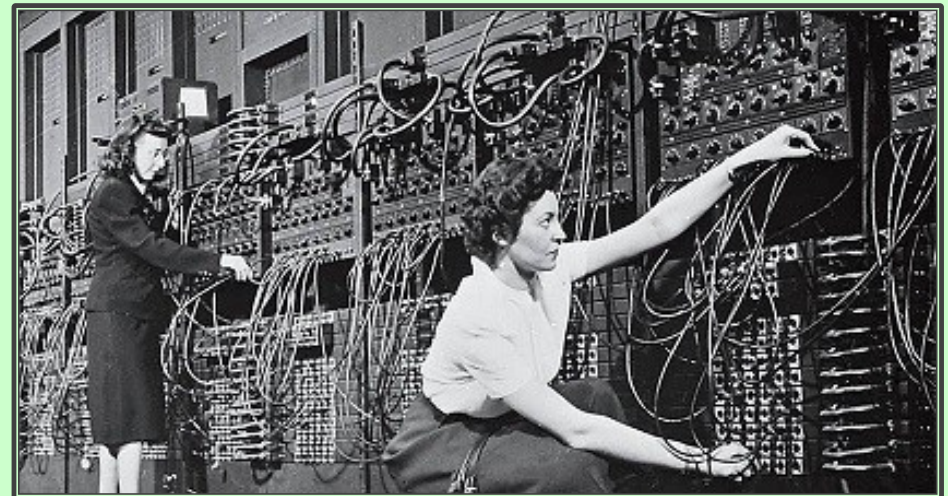
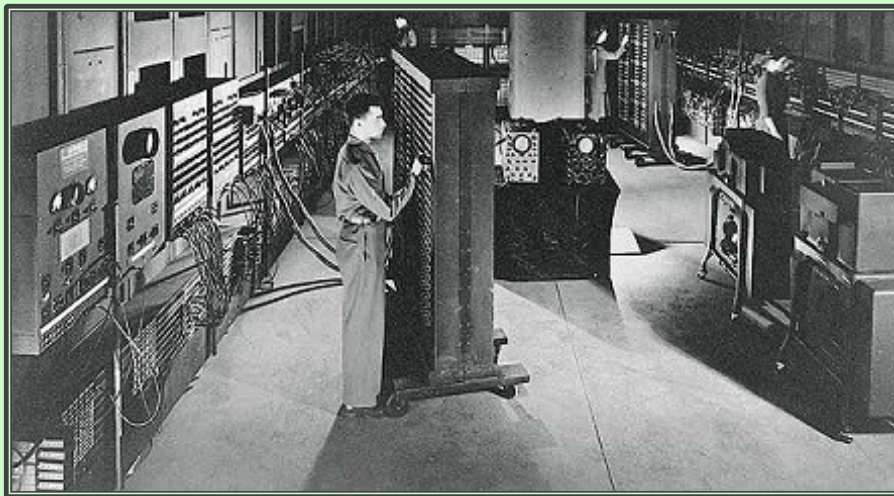
## 1946 : l'ENIAC

Son développement débute en 1943 dans le cadre d'un partenariat entre l'université de Pennsylvanie (Moore School of Engineers) et le gouvernement américain (Ballistic Research Laboratory). Ses deux concepteurs, affectés à la recherche dans cette même université, sont J. Presper ECKERT et John MAUCHLY. Le 14 février 1946, ils présentent ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator). Ce premier ordinateur électronique digital de l'histoire est destiné au calcul des tables de balistique de l'US NAVY.

L'ENIAC opère en mode décimal. La mise en mémoire et le calcul sont réalisés au moyen de circuits électroniques ; les fonctions électromécaniques sont pratiquement supprimées. L'ENIAC contient 18 000 tubes à vide et 70 000 résistances. Il pèse 30 tonnes, requiert un local de 160 m<sup>2</sup>, mesure 30 mètres de long. On y compte environ 5 millions de soudures manuelles. Il consomme 150 kWh. Une addition est réalisée en deux cents microsecondes (0,0002 seconde) et une multiplication en 2,8 millièmes de seconde, soit environ 1 000 fois plus rapide que sur le MARK 1.

La programmation de l'ENIAC se pratique au moyen de tableaux de connexions, comme sur les machines mécanographiques. Elle est confiée à une équipe de 6 femmes mathématiciennes..., longtemps oubliées de l'histoire. Chacune d'elles poursuivra sa carrière dans le développement des langages de programmation.

L'ENIAC est mis à la retraite en 1955 après 80 223 heures de fonctionnement, ce qui souligne sa grande fiabilité.



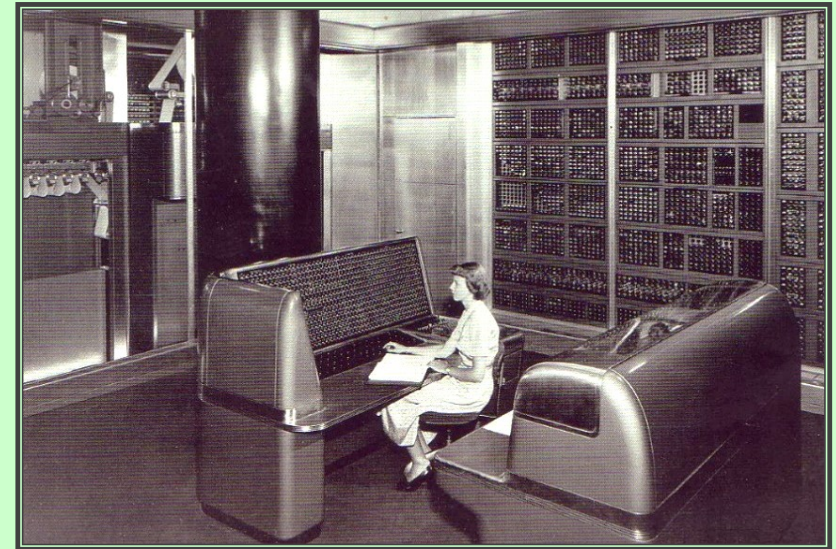


### ***1948 : le SSEC d'IBM***

Le Selector Sequence Electronic Calculator d'IBM combine calcul électronique et instructions mémorisées. Il comprend plus de 12 000 tubes à vide et 21 000 relais électromécaniques. Grâce aux tubes à vide, il réalise les opérations arithmétiques et logiques 250 fois plus vite que le MARK 1. Il est utilisé, entre autres, pour le calcul des positions de la lune.

À cette période, IBM sort encore de ses usines les calculateurs électroniques 602, 603 et 604.

***L'IBM SSEC installé au showroom de l'Avenue Madison à NEW-YORK***



### ***1949 : le MANCHESTER MARK 1***

La conception de la machine repose sur les principes de VON NEUMAN. Après moins d'un an de délai, en avril 1949, le premier ordinateur dont le programme est enregistré en mémoire, est opérationnel. Son montage est réalisé par une équipe d'ingénieurs de l'université de MANCHESTER au Royaume-Uni dirigée par Frederic Calland WILLIAMS. Cette équipe a déjà à son compte la fabrication d'un premier ordinateur, le SSEM (Small Scale Experimental Machine) dont le seul objectif était l'expérimentation du tube cathodique Williams en tant que mémoire vive. Au cours de son évolution, la machine fut équipée d'un tambour magnétique, d'un lecteur de ruban perforé et de mémoire à tores de ferrite. La programmation était écrite et introduite en mémoire sous la forme de code binaire. IBM s'inspirera des résultats de cette expérience dans la fabrication de ses ordinateurs 701 et 702.

***Le MANCHESTER MARK 1***





## 1949 : l'EDVAC

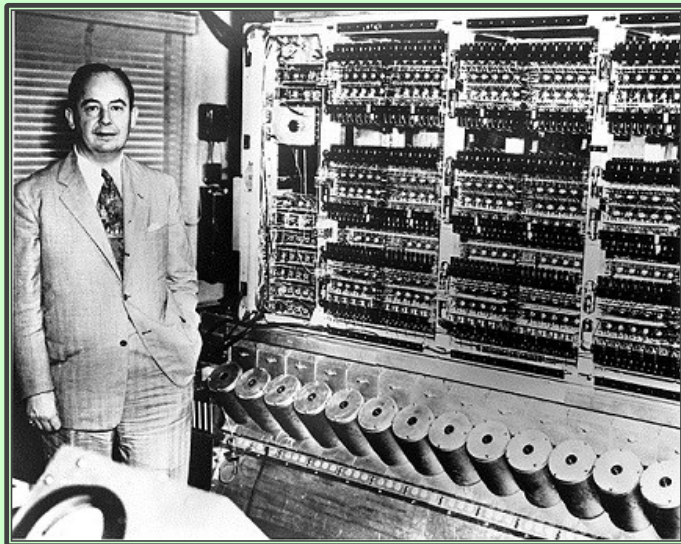
En juin 1945, le Dr. John VON NEUMANN et ses associés du Princeton Institute of Advanced Studies rédigent un rapport dans lequel ils décrivent l'organisation logique d'une machine à laquelle sera donné plus tard le nom de EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer).

Mathématicien prodige, né à Budapest en 1903, VON NEUMANN s'inspire des théories de TURING quand il inclut dans ses plans le système de numération binaire. Bien plus, en définissant le concept de mémoire unique pour le programme et les données, il synthétise les principes de base à l'origine de l'informatique future. Il est considéré, par ses travaux et son influence, comme le père de l'informatique moderne bâtie sur l'architecture qui porte son nom, « l'Architecture Von Neumann ».

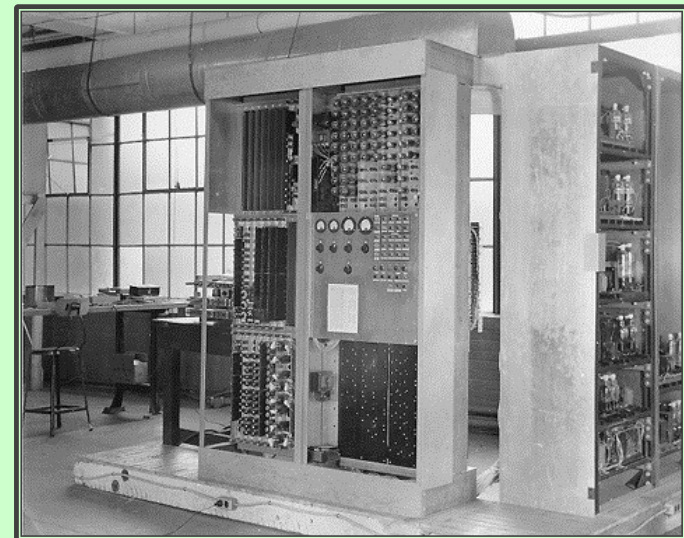
L'EDVAC est conçu et fabriqué à la Moore School de l'université de Pennsylvanie par J. Presper ECKERT et John MAUCHLY, les auteurs de l'ENIAC, assistés de VON NEUMANN. Le montage de l'EDVAC est terminé en août 1949. Comparé à l'ENIAC, il n'occupe que 45 m<sup>2</sup> au sol et ne pèse que 8 tonnes. La machine comporte 6 000 tubes électroniques et sa mémoire peut enregistrer 1 024 mots de 44 bits. Elle utilise la carte perforée comme moyen d'entrée et de sortie des données ; les résultats sont imprimés en mécanographie par une tabulatrice.

Si le MARK I et l'ENIAC sont par certains considérés comme des calculateurs, l'EDVAC représente sans contestation le premier ordinateur digne de ce nom. Alors que la programmation de l'ENIAC consistait en des opérations manuelles par connexions sur des tableaux, celle opérée sur l'EDVAC est devenue numérique rendant ainsi à la machine son caractère universel et ouvrant dès lors la voie aux premiers langages de programmation.

L'EDVAC ne pourra être mis en service qu'en 1951 en raison d'un différend survenu à propos d'un brevet entre le groupe ECKERT – MAUCHLY et l'université de Pennsylvanie.



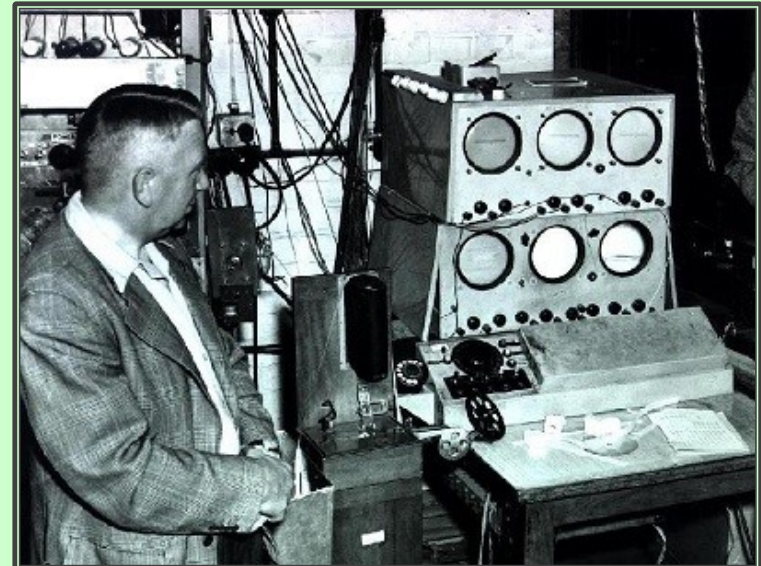
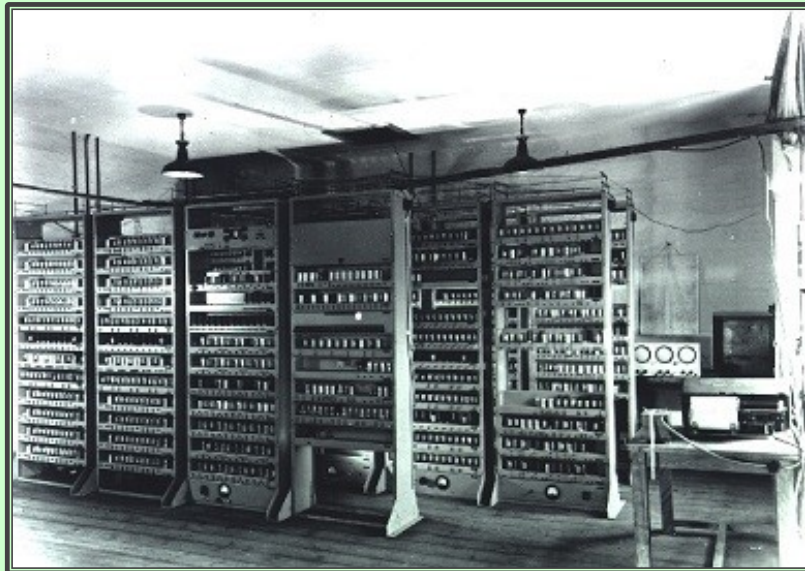
*VON NEUMANN  
et l'EDVAC*



### *1949 : L'EDSAC*

L'EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator) est l'œuvre de Maurice Vincent WILKES, professeur à l'université de Cambridge (Royaume-Uni). Dans la conception et la fabrication de son appareil, WILKES s'est inspiré de l'ENIAC : architecture VON NEUMANN, tubes à vide, numération binaire.

L'EDSAC se distingue toutefois par sa méthode de programmation qui recourt à des codes mnémotechniques. Le programme est enregistré sur une bande perforée, ce qui facilite son introduction en mémoire.



*L'EDSAC*

## 4.2. La 1<sup>ère</sup> génération d'ordinateurs (1950 - 1960)

Comme on a pu le remarquer dans les descriptions précédentes, les machines conçues et fabriquées jusqu'au début des années '50 portent en général le nom anglais « Calculator ». La reconnaissance du mot français « ordinateur » date de 1955. La création du mot est attribuée au linguiste français Jacques PERRET, en réponse à une demande d'IBM.

### 4.2.1 Chez UNIVAC



*MAUCHLY et l'UNIVAC 1*

En 1952, le constructeur introduit **la famille 1100** sur le marché des gros ordinateurs. Le 1101 est suivi des 1102, 1103, 1105 et du 1107 né en 1960.

Ses premiers ordinateurs à vocation scientifique apparaissent en 1956, le FC et l'ATHENA entre autres, comme avant-garde de sa célèbre série 490 commercialisée à partir de 1960.

En 1946, ECKERT et MAUCHLY offrent leurs services à T.J. WATSON, président d'IBM. Leur offre ayant été déclinée, ils fondent l'ECKERT - MAUCHLY COMPUTER CORPORATION, rachetée peu de temps après par la société REMINGTON RAND. En 1951, celle-ci lance sur le marché l'**UNIVAC 1** (UNiversal Automatic Computer), fruit des études et du travail de la paire ECKERT et MAUCHLY. L'ordinateur utilise des bandes magnétiques (densité de 128 caractères par pouce) et sa mémoire a une capacité de 1 000 mots de 12 bits. Il est capable d'exécuter 8 333 additions ou 555 multiplications par seconde. Sa construction a duré plus ou moins 5 ans. La machine est vendue à 56 exemplaires. Le premier de ceux-ci est vendu aux services américains de recensement pour la somme de 750 000 \$. Il est de ce fait considéré comme un des premiers ordinateurs à vocation commerciale de l'histoire. En 1954, il est livré pour la première fois à une entreprise privée. Les versions 2 et 3 de l'UNIVAC 1 sortent respectivement en 1955 et 1960.



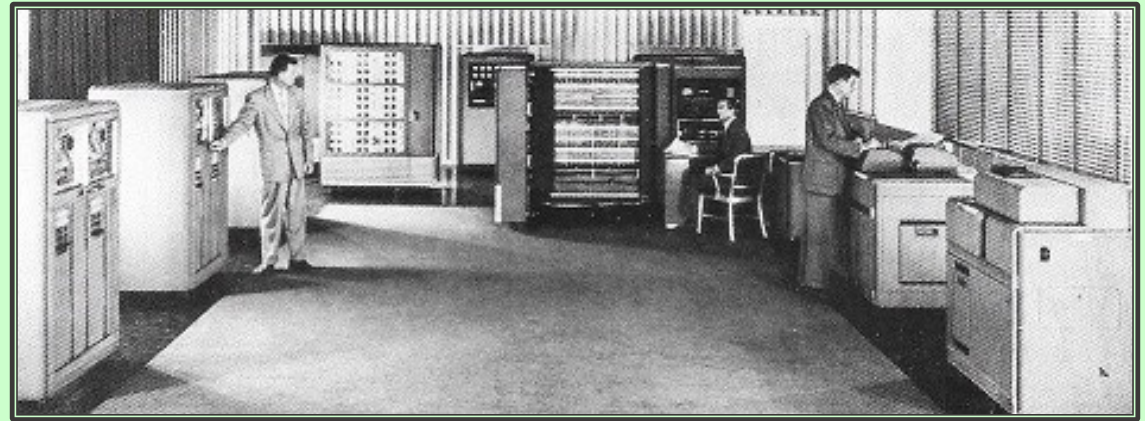
*L'UNIVAC 1*



#### 4.2.2. Chez IBM

En avril 1952, IBM annonce le premier ordinateur d'une nouvelle génération : le **701**. Il est suivi, dans la décennie, des **702, 704, 705, 708 et 709** dont la production reste limitée. Le fonctionnement des premiers repose encore sur les tubes à vide. Mais dès 1958, la mémoire du 705 est déjà constituée de tores de ferrites. Le 705 peut effectuer 42 000 additions à la seconde.

*L'IBM 701 - les premières bandes magnétiques et des machines mécaniques comme auxiliaires*



C'est avec l'**IBM 650** que le constructeur connaît, dès 1954, sa première et grande réussite commerciale. La machine est en effet vendue à plusieurs centaines d'exemplaires. Sa mémoire interne est constituée d'un tambour dont la capacité est de 20 000 caractères répartis sur 40 pistes. Les unités d'entrée et de sortie sont encore du type mécanographique : lecteur et perforateur de cartes, tabulatrice pour l'impression des documents.



*Le tambour -  
mémoire*

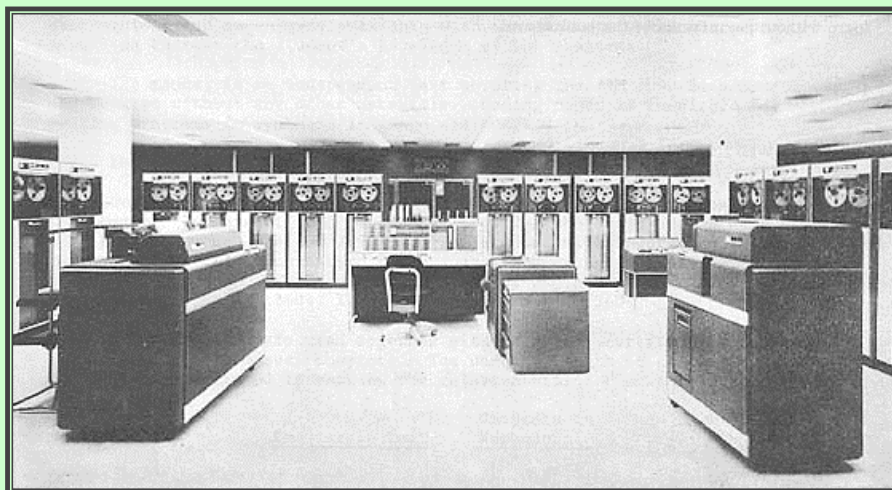
*L' IBM 650 - À ses côtés, un lecteur-perforateur de cartes type 533*

À cette époque, IBM livre à la défense aérienne des États-Unis l'ordinateur **SAGE**, (Semi Automated Ground Environment) une des plus puissantes machines à tubes à vide. À sa naissance, ses concepteurs Ken OLSEN et Jay FORRESTER l'avaient baptisé WHIRLWIND (tourbillon). Dans le cadre d'un programme dirigé par le laboratoire Lincoln du MIT (Massachusetts Institute of Technology), IBM en construit 27 au cours des années '50. SAGE est à la base du premier réseau d'ordinateurs capables de traiter en temps réel des données comme, par exemple, celles transmises par un réseau de radars. Cet ordinateur de 113 tonnes contenait plus de 58 000 tubes à vide. Au cours de ce projet, IBM commença à fabriquer les premières mémoires centrales à tores de ferrites qu'il installera sur les derniers ordinateurs de la série 700. Le dernier système SAGE fut déconnecté en 1983.

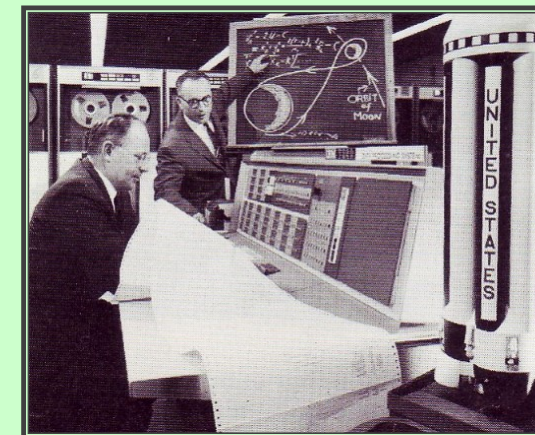
Le **NORC**, un calculateur de recherche construit en 1954 par IBM pour la marine américaine, détient, à cette époque, le record de puissance. Il exécute une multiplication de 13 chiffres au multiplicande et au multiplicateur en 31 millièmes de seconde.

Une invention restée célèbre est celle, en 1957, du **TX10**. La machine est conçue au laboratoire Lincoln du MIT par la plupart des ingénieurs qui ont participé à la création du WHIRLWIND. Elle a pour objectif le test approfondi des deux nouvelles technologies que représentent les transistors et les mémoires à tores de ferrites. L'ordinateur est de dimensions modestes. Par la simplicité de sa conception, ses performances et son interactivité, certains spécialistes le considèrent comme l'ancêtre des mini-ordinateurs. Il dispose d'un processeur 18 bits. Ses 3 500 transistors et sa mémoire de 65 536 mots lui permettent d'exécuter 83 000 instructions par seconde (0,083 mips).

*L'IBM Sage*



*L'IBM 709 – 1958 À l'avant-plan, à gauche une tabulatrice, à droite une unité à cartes perforées  
Le 709 a largement contribué aux tests de lancement de la fusée Saturne*





### *... et chez les autres*

C'est au cours de ces années que se développe la concurrence dans le monde des ordinateurs. BURROUGHS, NCR, HONEYWELL, GENERAL ELECTRIC, RCA, CONTROL DATA et d'autres encore se lancent dans la compétition. Ils ne connaîtront vraiment le succès qu'au début des années '60.

### *Des lieux mythiques de cette époque*

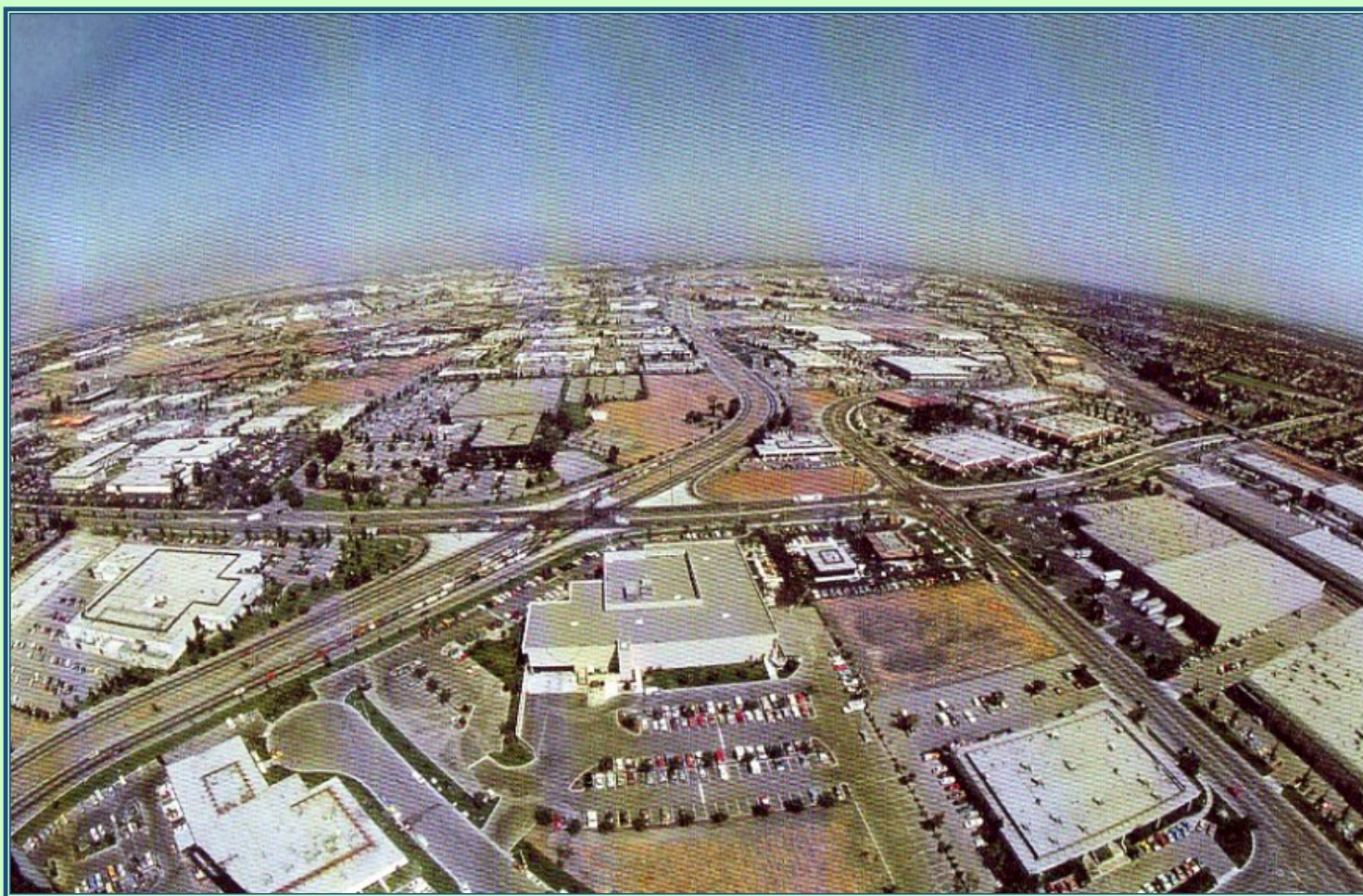


*Le M.I.T. - Massachusetts Institute of Technology de BOSTON*



*L'université de STANFORD en Californie*





*La SILICON VALLEY*

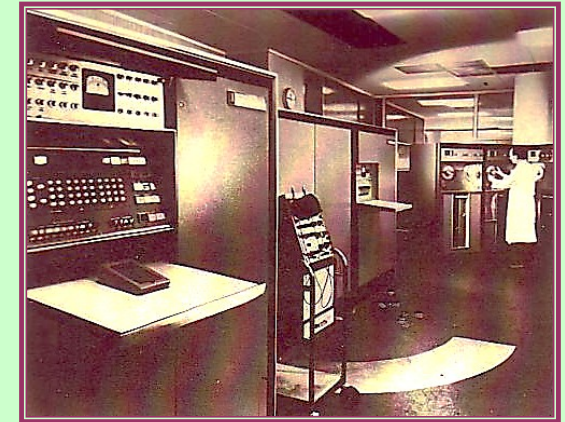


### 4.3. La 2ème génération d'ordinateurs (1960 - 1965)

Le remplacement du tube à vide par le transistor se généralise à la fin de la décennie '50. C'est la caractéristique essentielle de la deuxième génération d'ordinateurs.

Chez UNIVAC, le premier ordinateur entièrement transistorisé, l'**UNIVAC SOLID STATE**, est annoncé en mars 1959. Pour s'opposer en concurrent direct à IBM, le constructeur poursuit le développement de ses grands ordinateurs, les familles 490 (491, 492, et 494) et 1100 (1108 I et II) ainsi que les séries de moindre puissance, les 1050 et 1004.

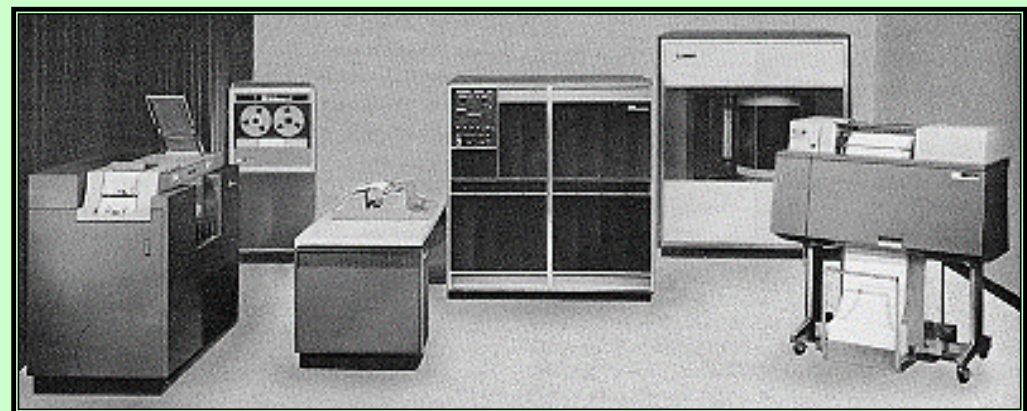
*L'UNIVAC SOLID STATE*



Chez IBM, le premier ordinateur entièrement transistorisé est le **708**, présenté en décembre 1957. Avec la ferme intention de remplacer le matériel mécanographique dont il détient plus de 70 % du marché, IBM annonce en 1959 la **série 1400**. L'enthousiasme est grand dans les entreprises qui détiennent des machines à cartes perforées. C'est de cette époque que date la part importante du marché prise par IBM. Le 1401 est un des plus grands succès commerciaux de l'informatique ; il est vendu à plus de 12 000 exemplaires en six ans. Le 1401 est, lui aussi, entièrement transistorisé, mono programmable, supportant la carte perforée, les bandes magnétiques et l'unité de disques magnétiques 1405 dérivée du RAMAC 305.

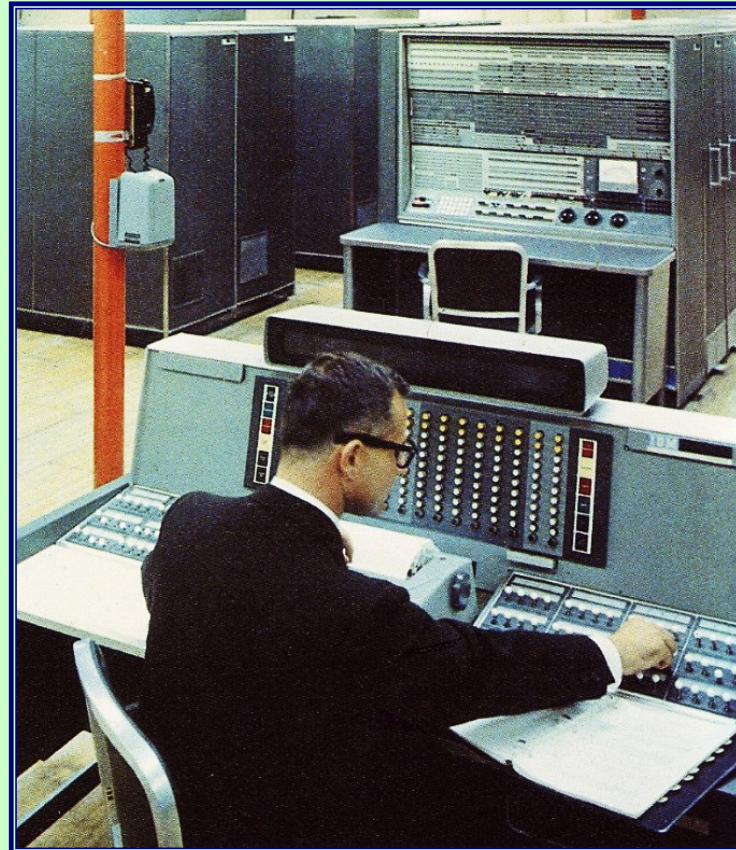


*L'IBM 708 (de 6 à 10 fois plus rapide que le 705)*



*L'IBM 1401*

Le **STRETCH**, fabriqué par IBM en 1961 est l'ordinateur le plus puissant de son époque. Ses 150 000 transistors peuvent exécuter 100 milliards d'instructions par jour, soit environ 1,16 mips (millions d'instructions par seconde). STRETCH est à l'avant-garde de l'évolution des concepts informatiques connus à ce moment-là, tels que la multiprogrammation, le recouvrement / enchaînement des instructions, la détection et la correction des erreurs, les systèmes d'exploitation et l'octet, unité de 8 bits.



*L' IBM 7030, connu aussi sous le nom de IBM STRETCH*

Le système de réservation **SABRE** est le premier grand réseau d'ordinateurs commerciaux fonctionnant en temps réel. Développé par IBM pour AMERICAN AIRLINES, dans le cadre d'un programme de recherche en commun de 6 années. SABRE est opérationnel en 1962.

Un aperçu du marché de l'informatique en 1962, basé sur la vente dans le monde des grands ordinateurs, deux années après le lancement par IBM de l'ordinateur 1401 :

Rang	Constructeur	Ventes	% du marché
1	IBM	4 806	65,8
2	UNIVAC	635	8,7
3	BURROUGHS	161	2,2
4	CDC	147	2,0
5	NCR	126	1,7
6	RCA	120	1,6
7	GENERAL ELECTRIC	83	1,1
8	HONEYWELL	41	0,6
9	Autres	1 186	16,3
	Total	7 305	100,0

## **5. LES VINGT GLORIEUSES - LES TROISIEME ET QUATRIEME GENERATIONS 1965 - 1985**

Elles donneront le jour non seulement aux 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> générations d'ordinateurs universels, mais également à la microinformatique.

La troisième génération voit la fin réelle des composants discrets (tubes à vide, transistors et condensateurs) et l'avènement des circuits intégrés, c'est-à-dire des modules regroupant sur un même substrat des zones dont les propriétés correspondent à celles d'un composant classique.

Ces deux générations s'étendent successivement sur 2 périodes : 1965 - 1970 et 1971 - 1975.

La première période est marquée par de nombreux progrès techniques dont le principal réside dans la technologie SLT (Solid Logic Technology). Celle-ci apporte une vitesse de traitement accrue, la multiprogrammation, le télétraitement qui offre la consultation et l'actualisation de fichiers grâce au développement des disques et des terminaux et encore une large gamme de périphériques adaptés aux besoins de chaque utilisateur.

On considère aujourd'hui que la technologie SLT est née avec la famille 360 d'IBM, annoncée en 1964. C'est la première famille d'ordinateurs de tailles multiples, compatibles et programmables à l'aide des mêmes instructions. Dans la plupart des cas, les périphériques entrées / sorties, les mémoires magnétiques (disques et bandes) et autres équipements sont interchangeables.

Peu de temps après, HONEYWELL lance la série 200, GENERAL ELECTRIC la série 400 et UNIVAC le 1108 et la série 9000.

Tous ces ordinateurs utilisent progressivement, comme dans les 360 d'IBM, la nouvelle technologie SLT. Celle-ci consacre les premiers procédés de fabrication automatisée en grande série ainsi que la miniaturisation des circuits à semi-conducteurs. Montés sur des modules de céramique de 12 mm de côté, les circuits SLT sont plus denses, plus rapides et consomment moins d'énergie que les transistors. La mémoire centrale est toujours constituée de ferrites. Statistiquement, un module de circuits intégrés SLT pouvait fonctionner plus de 33 millions d'heures sans défaillance. La première mémoire ultrarapide est introduite par IBM, en 1968, sur le 360 modèle 85. Elle permet d'accéder à un caractère en 80 millièmes de seconde, soit 12 fois plus vite que dans la mémoire à tores de ferrites.

Les années '71 - '75 représentent une évolution importante ; elles consacrent l'entrée sur le marché de la 4<sup>ème</sup> génération des ordinateurs universels.

La généralisation de l'emploi des circuits intégrés monolithiques débute avec la nouvelle décennie. Cette technologie d'intégration à grande échelle permet d'accroître le nombre de circuits par microplaquette de silicium. Une tranche de ce matériau de 9 cm de diamètre contient 109 plaquettes de mémoire, chacune pouvant contenir 64 000 bits d'information, soit 8 000 caractères.

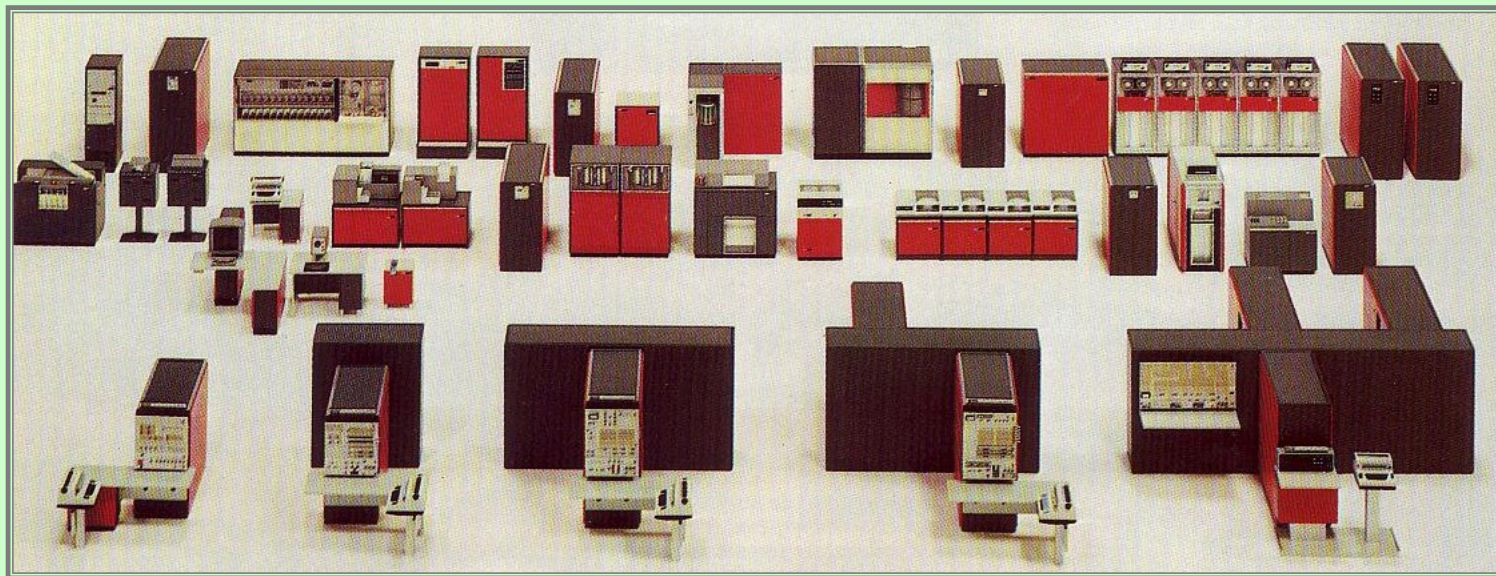
Le 370 modèle 145 d'IBM, commercialisé en 1971, est le premier ordinateur bénéficiant d'une mémoire entièrement monolithique. La nouvelle technique inaugure la nouvelle génération ; elle permet d'accéder à un caractère en 200 millièmes de seconde.

Les circuits intégrés diminuent encore l'encombrement des matériels et offrent pour un prix égal des performances plus que doublées. Les mémoires de masse permettent la mise en place des premières banques de données. Le développement des terminaux et des miniordinateurs favorisent le traitement décentralisé de l'information. C'est à cette époque également qu'apparaissent les premières imprimantes laser de production ainsi que le disque souple dont la disquette 8 pouces lancée par IBM en 1971.



### 5.1. La reconnaissance des familles (1964 - 1969)

**1964 :** Le 7 avril, IBM annonce le **Système 360**, les premiers ordinateurs de la **troisième génération** à qui le constructeur accorde une vision tous azimuts, une vision à 360 degrés. Utilisant la nouvelle technologie de circuits SLT (Solid Logic Technology, un petit module de 1 cm<sup>2</sup>), le système 360 est destiné à remplacer les gammes d'ordinateurs existants, les 1401, 1440 et 1130 de la deuxième génération avec lesquels il n'existe cependant aucune compatibilité. La durée de vie d'un processeur SLT est estimée à 33 millions d'heures sans défaillance. Comme dans la génération précédente, la mémoire est constituée de tores magnétiques (mémoires de ferrites). La conception des 360 a été réalisée à l'aide d'un ordinateur 709. L'investissement financier, sur 4 ans, est évalué à 5 milliards de dollars. C'est la première famille d'ordinateurs, de tailles diverses, compatibles et programmables à l'aide des mêmes instructions. Elle est constituée, en 1965, de 6 unités centrales (les modèles 30, 40, 50, 60, 62 et 70), d'une série de quarante périphériques différents et couvre une gamme de puissance allant de celle du 1401 à celles du STRECH. Le temps de commutation du circuit élémentaire est de 20 nanosecondes. Le plus petit processeur de la série 360 peut exécuter 33 000 additions par seconde, et le plus grand pas moins de 750 000 ! L'unité centrale et les organes d'entrée - sortie travaillent en simultanéité ; il n'y a donc plus de temps mort de l'unité centrale, c'est l'une des grandes innovations, avec la multiprogrammation, la gestion de fichiers en temps réel et le traitement à distance ! Les premiers ordinateurs 360 sont livrés en 1965. Le succès du 360 est très rapide et le rythme des commandes ne tarde pas à s'élever à 1 000 unités par mois.



*La famille 360 en 1964 - 5 modèles d'unités centrales et les différents périphériques associés*



Cinq ans après sa création par Ken OLSEN, **DEC** (Digital Equipment Corporation) lance le **PDP 8**, considéré comme le premier mini-ordinateur de l'histoire.

GENERAL ELECTRIC annonce le **GE400**, pour concurrencer les 360 d'IBM.

Sous la houlette de Seymour CRAY, **CDC** (Control Data Corporation) présente le **6600** qui marque l'avènement des ordinateurs à vocation scientifique. La structure du 6600 repose sur 10 processeurs périphériques chargés des opérations élémentaires d'addition, multiplication, division, calcul booléen, incrémentation, etc... Plus de quarante unités furent installées dans les plus grands centres de calcul du monde.

**1965 : BULL – GENERAL ELECTRIC** lance la **Série 50**.

**CDC** installe ses premiers **6600** et **UNIVAC** annonce la **Série 9000** : le modèles 9200 et 9300.

**1966 :** En septembre, BULL GE présente le **GAMMA 55**, premier des compatibles de la série 50. Ordinateur à cartes perforées, son unité centrale a une capacité de 2 à 5 K. Il est connecté à un lecteur de cartes, un perforateur de cartes, une imprimante de 64 caractères/seconde, un clavier et un tambour magnétique de 90 000 octets.

En décembre, dans le cadre du « Plan Calcul » lancé par le Général De Gaulle en faveur de l'industrie française, l'état français crée la CII, la Compagnie Internationale pour l'Informatique.

**1967 :** En avril, **BURROUGHS** présente deux nouveaux ordinateurs de gamme moyenne : le **B2500** et le **B3500** (10 à 60 K de mémoire centrale).

UNIVAC présente le **1108** comme concurrent de la famille 360 d'IBM.

**1968 :** **L'IRIS 50** de la **CII** est né. C'est le premier ordinateur issu du «Plan Calcul» français. Sa puissance est comparable à celle d'un IBM 360/40. Le constructeur annonce déjà le développement de la gamme : IRIS 30 et IRIS 80.

IBM annonce le **360/85**, ordinateur de grande puissance. Le constructeur abandonne les circuits SLT au profit de la nouvelle technologie MST (Monolithic System Technology).

Le premier super-ordinateur **360/91 d'IBM** est mis en service au Centre GODDARD de la NASA. La capacité de la mémoire centrale est de 2 mgb.

**CDC** présente le plus puissant de ses ordinateurs : le **7600**.

En janvier, IBM lance l'ordinateur **360/25** spécialement adapté à la reprise, sans la moindre modification, des programmes exécutés sur ses ordinateurs de 2<sup>ème</sup> génération (1401, 1440, 1460). Il s'oppose ainsi à la concurrence de HONEYWELL et de SIEMENS en particulier, dont certains de leurs appareils ont rencontré un grand succès auprès des clients utilisateurs de l'IBM 1401.

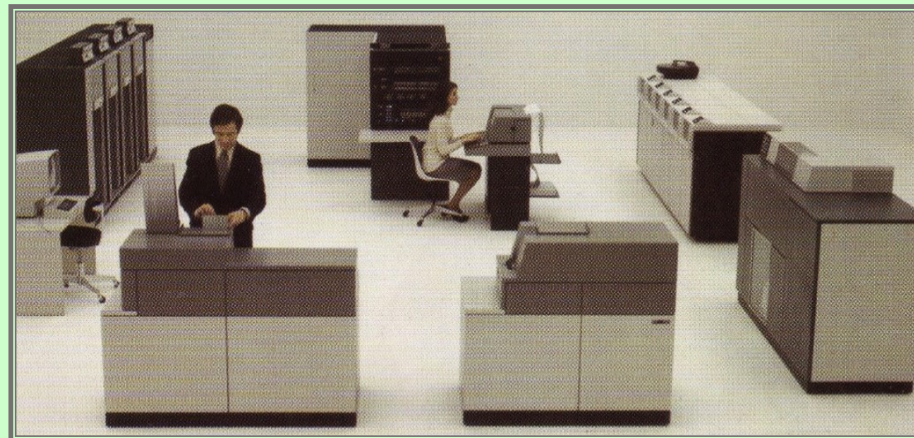
En février, UNIVAC annonce le **9400**, dernier-né de la famille 9000. La technologie récente (MST pour les circuits, fils minces pour la mémoire) utilisée sur le 9400 permet de réduire le coût de la position mémoire de 27,00 à 11,50 BEF.

**1969 :** En septembre, IBM annonce le **System 3**. Les PME représentent la cible commerciale du constructeur. Le modèle 10 est le premier ordinateur de la nouvelle famille. Le système 3 est équipé des tout nouveaux circuits MST (Monolithic System Technology), caractéristique fondamentale des ordinateurs de la 4<sup>ème</sup> génération. Mais l'innovation principale dont il est assorti réside dans la petite carte perforée de 96 colonnes. Sur une surface à peine supérieure au 1/3 de la carte 80 colonnes, elle contient 20 % de caractères perforés en plus. Le coût de la location mensuelle de la configuration minimale est de l'ordre de 50 000 BEF.

CII annonce son deuxième ordinateur : l'**IRIS 80**. Il est de la taille des IBM 360/65.

## **5.2 L'architecture 370 d'IBM (1970 - 1974)**

**1970 :** Le 30 juin 1970, IBM annonce le **Système 370**. Cette nouvelle famille d'ordinateurs est présentée comme celle de la décennie '70. Le premier modèle, le 370/155 est livrable au premier trimestre 1971 ; le second modèle, le 370/165, au trimestre suivant. La compatibilité est totale avec les ordinateurs de la famille 360. Mais il ne s'agit pas encore de la 4<sup>ème</sup> génération. Comme sur les 360, la mémoire est toujours constituée de tores magnétiques et les circuits sont encore du type SLT. Capacités et performances relatives au prix des 360 sont de l'ordre de 3 à 5 fois supérieures. La location mensuelle du plus petit modèle équivaut à 1 300 000 BEF. Celle du modèle le plus élevé est égale à 4 900 000 BEF. Ces deux modèles sont suivis rapidement (annonce en octobre 1970) du **modèle 145** qui, par la mise en service des nouveaux circuits MST (Monolithic System Technology), inaugure vraiment la **quatrième génération**. Ce sont les premiers circuits intégrés ( $\frac{1}{2}$  cm<sup>2</sup>) où tous les composants - transistors, résistances, diodes, etc. - sont rassemblés sur une même plaque de silicium. Le temps de commutation du circuit élémentaire est de 10 nanosecondes. Ces circuits ouvrent vraiment la porte aux techniques d'intégration à grande échelle, le système LSI (Large Scale Integration). La série 370 apporte encore deux innovations : la microprogrammation qui donne plus de facilité au constructeur pour faire évoluer le matériel et l'introduction d'une mémoire-cache en soutien de la mémoire principale.



***L'IBM 370***

La première réplique aux 370 d'IBM vient de BURROUGHS avec l'annonce de sa série 700 : les **B5700, B6700 et B7700**. Le système d'exploitation est écrit dans le langage ALGOL. Certains ordinateurs de cette série possèdent des multiprocesseurs, une approche qui n'a pas encore été retenue par IBM.

Dans le cadre de ses accords avec RCA, SIEMENS sort ses **4004**, dont les 4 modèles ne sont autres que les modèles 2, 3, 6 et 7 de la série SPECTRA du constructeur américain.

Succédant au PDP8, le célèbre **PDP11** de DEC marque le véritable départ de la mini-informatique. Il sera vendu à plus de 500 000 exemplaires en une dizaine d'années. Il impose le standard de l'UNIBUS. Reliant le processeur, la mémoire, et toutes les unités de contrôle interne, le bus rend le système modulaire et permet un accroissement de mémoire en enfichant simplement une carte supplémentaire.

**1971 :** Au premier trimestre de 1971, IBM annonce la sortie du **370/135**. Comme sur son prédécesseur, le modèle 145, les circuits sont du type MST. La capacité mémoire est de 250 K. Suivant la configuration, la location mensuelle s'échelonne de 350 000 à 750 000 BEF.

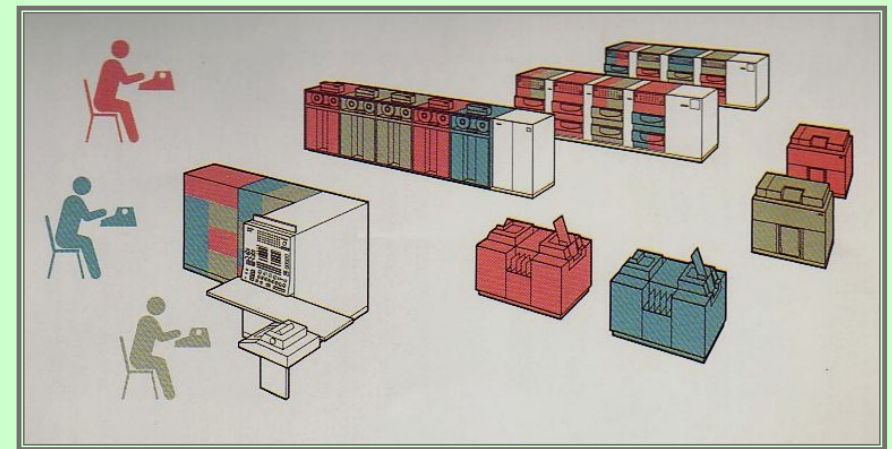
Toujours dans le cadre du « Plan Calcul » français, la CII lance l'**IRIS 45** et annonce l'**IRIS 60**.

Avec le **HP 3000**, HEWLETT - PACKARD se positionne, sur le marché des minis, en véritable concurrent de DEC. Cette machine peut fonctionner en temps partagé, en temps réel et en traitement différé. Son architecture autorise la multiprogrammation. La capacité de la mémoire est de 131 Ko, celle des disques est de 10 mégas - octets.

En décembre, UNIVAC annonce le nouvel ordinateur **9700**, le plus puissant de la famille 9000. Il assure la transition avec la gamme haute du constructeur : le 1100.

**1972 :** Le 1<sup>er</sup> janvier, UNIVAC rachète le réseau commercial de RCA qui vient lui-même de rompre ses accords avec SIEMENS. Le constructeur allemand s'associe avec CII pour tenter à deux d'aborder une dimension mondiale.

Le 2 août, IBM annonce le remplacement des ordinateurs 370/155 et 370/165 par les systèmes **370/158 et 370/168**. Cette annonce coïncide avec l'introduction sur ces derniers du concept **VM, la mémoire virtuelle**. Pour les observateurs, cette date est historique : non seulement elle doit marquer toute l'histoire de l'informatique, mais elle creuse le fossé entre IBM et ses concurrents internationaux. VM tend vers une utilisation plus économique de la mémoire d'un ordinateur. Les premiers essais avaient eu lieu sur un ordinateur de la famille 360, le modèle 360/67. Les mémoires à tores de ferrite sont définitivement remplacées par des mémoires MOFSET (Metal Oxyde Semiconductor Field Effect Transistor) de très faible dimension (1 024 bits par plaquette de silicium de 9 mm<sup>2</sup>). La capacité mémoire du 168 est de 4 mégas et son temps d'accès est de 800 nanosecondes pour 32 octets.



*La mémoire virtuelle : chacun sa part d'ordinateur*

Cette année, BURROUGHS sur le B1700 et RCA sur ses modèles 3, 6 et 7 offre également à ses clients la mémoire virtuelle.

Au 3<sup>ème</sup> trimestre, IBM annonce l'introduction du disque souple 8 pouces sur un tout nouveau système de saisie de données : le **système 3740**. Sa capacité est de 250 000 caractères environ (1 900 enregistrements de 128 positions). C'est l'avènement de la disquette et la disparition progressive de la carte perforée comme support à la saisie des données.

**1973 :** Le 1<sup>er</sup> avril, trois mois après l'annonce du **370/125**, IBM annonce le **370/115**, le plus petit modèle de la famille. Il s'adresse, entre autres, aux utilisateurs de petits systèmes, les systèmes 3 et l'ancien modèle 360/20. La capacité de la mémoire MOFSET est doublée : 2 048 bits sur la même plaquette de silicium (9 mm<sup>2</sup>). IBM connecte au modèle 115 le nouveau disque 3340. La capacité disque maximale du 370/115 est de 280 mégas. Une nouvelle imprimante, la **3203** dont la vitesse est de 600 ou 1 200 lignes/minute, peut être connectée au 370/115.

Le 4 juillet, un accord de coopération est signé à LA HAYE entre CII, PHILIPS et SIEMENS. Le nouveau groupe s'appelle **UNIDATA**. Son objectif : la formation d'une industrie informatique européenne. Il représente 35 000 personnes, 14 usines dans 6 pays et des réseaux de vente et de maintenance dans plus de 30 pays. Il établit son siège à Bruxelles au WTC. La France y participe dans le cadre de son «deuxième Plan Calcul».

Le 1<sup>er</sup> septembre, IBM annonce un nouvel ordinateur dans la famille **Système 3 : le modèle 15**. Capacité mémoire : de 50 à 132 K, (mémoire MOFSET 2 048 bits). Capacité disque : 92 mégas maximum. Il est destiné tant au traitement différé (batch) qu'au télétraitement. Son système d'exploitation permet la gestion de 8 partitions. Il est pourvu du dispositif de spooling. Le coût de la location mensuelle s'étend de 120 000 à 220 000 BEF. Il peut être connecté aux disques 5445, aux bandes 3410/3411, à l'imprimante 1403 (600 ou 1.100 lignes/minute) et au système 3740 de saisie de données.

Au cours du 1<sup>er</sup> trimestre, UNIVAC annonce la sortie du modèle **1100 / 10**.

En décembre, UNIDATA annonce avec euphorie le premier ordinateur européen, le **7.720**. Il est équipé de mémoires MOS et de circuits LSI. Il est compatible avec les lignes 4004 de Siemens, IRIS de CII et P1000 de Philips. Son prix est de 150 000 BEF par mois. Les premières livraisons sont prévues dès le début de 1975. Il doit concurrencer les IBM 370 de bas de gamme.

En fin d'année, UNIVAC annonce, dans une nouvelle famille, les modèles **90/60 et 90/70**. La famille 90 est destinée à concurrencer le 370/135 d'IBM : puissance 1,6 du 370/135 pour un prix équivalent, de 360 000 à 720 000 BEF en location mensuelle. La mémoire centrale est composée de semi-conducteurs ; sa capacité varie de 132 K à 524 K.

**1974 :** En mai, HONEYWELL BULL annonce la **série 60**. Celle-ci ne compte pas moins de 10 modèles destinés à remplacer le parc existant du constructeur.

En juin, UNIVAC complète sa série 90 en annonçant le **90/30**. Sa mémoire s'étend de 32 K à 262 K. La capacité disque maximale est de 230 mégas - octets. Le système d'exploitation OS/3 permet la gestion de 7 partitions. Le prix proposé s'étend de 120 000 à 360 000 BEF.

### 5.3. Naissance de l'informatique personnelle et poussée des minis (1975 - 1979)

**1975 :** Au cours du deuxième trimestre, UNIVAC annonce les modèles **1100/20** et **1100/40**, dans la famille de ses puissants ordinateurs. Le taux d'exécution est de 860 000 instructions/seconde (0,8 MIPS). À cette annonce, UNIVAC associe (2 ans après IBM) l'introduction de la mémoire virtuelle dans l'architecture de ses ordinateurs.

En avril, IBM annonce le **Système 32**, ordinateur destiné aux PME. D'un usage simple, son prix est de l'ordre de 36 000 BEF en location mensuelle.

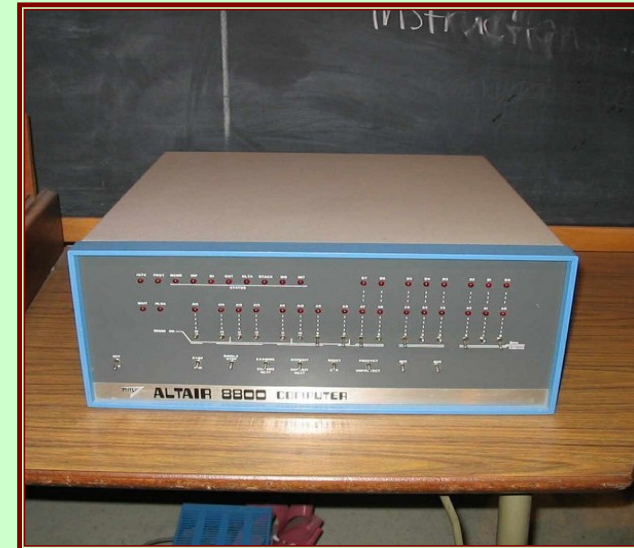
En juin, UNIVAC annonce le **90/80** pourvu de VS/9, système d'exploitation introduisant la mémoire virtuelle dans la série 90. Le constructeur destine le 90/80 aux utilisateurs des 370/145 et 370/158 d'IBM. Sa capacité mémoire centrale varie de 0,5 à 4 MB.

En juillet, IBM annonce le **Système 3 modèle 12**, ordinateur pour entreprises moyennes.

**Bill GATES** (20 ans) et son ami d'école **Paul ALLEN** (22 ans) découvrent, dans une revue, l'ALTAIR 8800. Ils proposent au fabricant, la société MITS, de développer un langage de programmation pour cet ordinateur. Leur offre ayant été acceptée, ils travaillent d'arrache-pied pendant un mois, à Boston sur un simulateur PDP10. Ils appellent ce nouveau langage **BASIC**. En mai, Bill GATES et Paul ALLEN fondent MICRO-SOFT qui s'écrira plus tard **MICROSOFT**.



*Paul Allen et Bill Gates en 1975*



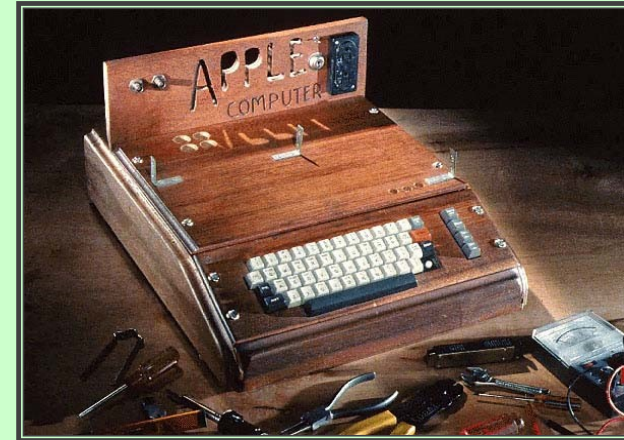
*L'ALTAIR 8800*



En avril, **Steve JOBS** (21 ans) et **Steve WOZNIAK** (26 ans) fondent **APPLE COMPUTER COMPANY**. Ils viennent de fabriquer un des premiers micro-computers.



*Steve WOZNIAK et Steve JOBS*



*L'APPEL 1*

*Pour la petite histoire, comme on leur demandait le nom qu'ils allaient donner à leur société et que l'un d'eux croquait une pomme, ils répondirent "Apple", ainsi naquit le célèbre logo !*

En décembre, SIEMENS se retire d'UNIDATA : la fin du grand rêve européen. PHILIPS dénonce les accords UNIDATA et cesse ses activités dans le domaine des moyens systèmes. De son côté, CII, sur l'insistance de l'État français, passe des accords avec HONEYWELL BULL pour former le plus puissant groupe européen d'informatique : CII HONEYWELL BULL. C'est, pour la France, la 3<sup>ème</sup> étape du «Plan Calcul».

Après avoir participé au développement des IBM 360 et 370, Gene AMDALH, qui a quitté IBM en 1970, propose un ordinateur quatre fois plus puissant que le 360/165 pour... le même prix ! Il livre son **470** à la NASA. C'est alors l'ordinateur le plus rapide dans le monde. Petit détail intéressant, le 470 est refroidi par air, contrairement aux IBM 370 qui sont toujours refroidis par eau.

BURROUGHS met sur le marché une nouvelle série, les 800 : **B4800**, **B5800** et **B6800**.

**1976** : En janvier, IBM annonce le **Système 3 modèle 4**, ordinateur à postes de travail multiples.

En avril, BURROUGHS annonce le **B730** et HONEYWELL BULL annonce le **61/40**, tous deux concurrents de l'IBM 3 / 4.



En juin, IBM introduit en Europe le **5100**, un portable à cassettes, annoncé aux USA en septembre 1975. Le constructeur le présente comme un ordinateur à vocation scientifique. Il possède un écran de 1 024 caractères et un lecteur de cassettes intégré dont la capacité est de 204 000 caractères lus ou écrits à la vitesse de 2 850 caractères/seconde. Deux langages de programmation conversationnels sont proposés : Basic et APL. Une imprimante (80 caractères/seconde) ainsi qu'une deuxième unité de cassettes peuvent lui être adjoints.

Seymour CRAY, le père des fameux 6600 et 7600 de CDC et fondateur de CRAY RESEARCH, termine la mise au point du premier supercalculateur du monde, le **CRAY 1**. Dans cette catégorie d'ordinateurs, CDC réplique sans attendre en annonçant le **STAR 100**.

**Steve JOBS** (travaillant chez ATARI) et **Steve WOZNIAK** (travaillant chez HEWLET - PACKARD) finissent leur ordinateur qu'ils baptisent **Apple Computer**. Ils fondent la société **APPLE** le 1<sup>er</sup> avril 1976. L'ordinateur sera vendu au **Byte Shop** pour 666,66 \$ avec 256 octets de ROM, 8 K octets de RAM et une sortie vidéo sur téléviseur. Sa ROM lui permet d'être opérationnel dès l'allumage car elle contient un petit programme appelé "moniteur" qui permet de rentrer le code hexadécimal directement au clavier. Il suffit alors de rentrer les 4 K octets de code hexadécimal du Basic à la main pour pouvoir utiliser ce langage avec les 4 K octets restants. On raconte que Steve WOZNIAK connaissait le code par cœur et pouvait le saisir en 20 minutes. Une carte qui permettait de brancher un magnétophone fut ensuite vendue à 75 \$ avec la cassette contenant le **WOZ'S BASIC**. Grâce à cela, la machine devint facile d'emploi car programmable en Basic presque dès son allumage.

IBM annonce les modèles **370/138** et **370/148**, en remplacement des modèles 135 et 145. La taille maximale de la mémoire centrale du 138 est de 1 MB ; celle du 148 est de 2 MB. Le prix annoncé est deux fois moins coûteux (respectivement 15 millions et 30 millions BFE) que celui de leurs prédécesseurs pour une capacité mémoire huit fois supérieure.

NCR procède au renouvellement des fameux CENTURY par la famille CRITERION. Les modèles **8550** et **8570** se situent au niveau des petits IBM de l'époque.

Sur le marché des minis, DEC lance les **DEC 10** et **DEC 20**, et CII HONEYWELL BULL la **série 6**.

**1977** : En février, apparition aux USA du terme «Personnal Computing» avec la sortie des micros de COMMODORE (**PET 2001**) et de RADIO SHARK (**TANDY TRS 80**) ; prix en Belgique : de 35 000 à 50 000 BEF.



*Tandy TRS 80*

*Commodore PET 2001*



En mars, annonce par IBM de la série mainframe **3030** (3031, 3032 et 3033). Ces ordinateurs sont deux fois plus puissants et 40 % moins chers que le 370/168. Ils concurrencent le 1100/80 d'UNIVAC, le 66/85 de CII - HONEYWELL, le 7800 de BURROUGHS. Puissance MIPS (millions d'instructions par seconde) annoncée : 6,8 pour le 3033 le plus puissant de la gamme. Prix : de 400 000 à 1 000 000 BEF en location mensuelle. Soucieux de masquer l'échec de sa Future Série (FS), le constructeur opte pour une évolution significative mais progressive de ses ordinateurs en choisissant le **software d'exploitation VM** comme instrument de cette progression.

En avril, IBM annonce le **Système 34**. Huit terminaux (type 2525) peuvent y être connectés. Capacité mémoire : de 32 à 64 K. Prix à l'achat : de 1 350 000 à 3 200 000 BEF. Ses concurrents : le 61/40 de HONEYWELL, les B80 et B730 de BURROUGHS, le NCR 8200, le P450 de PHILIPS et le C300 de DATA GENERAL.

En mai, IBM annonce le **SERIES 1**, ordinateur modulaire à vocations multiples mais bien adapté aux applications industrielles. La taille de la mémoire s'étend de 16 à 128 K. Capacité du disque : 9,3 millions de caractères. Capacité de la disquette (double face, double densité) : 500 000 caractères. L'unité d'entrées - sorties industrielles permet de contrôler un grand nombre d'applications basées sur le traitement des signaux analogiques et numériques : horloge, adaptateur télétype, adaptateur d'équipements externes. Les langages de programmation : PL1 - série 1 et FORTRAN. Tous les modèles sont proposés à la vente exclusivement ; prix d'une configuration moyenne : 1 300 000 BEF.

En novembre, DEC annonce le **VAX 11/780** (Virtual Address Extension), le premier mini 32 bits disposant de la mémoire virtuelle. C'est lui qui va permettre à DEC de devenir le numéro un mondial des minis et le numéro deux sur le marché de l'informatique. La machine offre une mémoire de 2 Mo et supporte 64 utilisateurs dans un environnement virtuel de 4 Go. Sa capacité en disques est de 5 Go.

En novembre, APPLE lance son micro **APPLE II**.

**1978 :** En janvier, IBM annonce la sortie de l'ordinateur individuel **5110**. Successeur du 5100 importé en Europe en 1976, le nouvel ordinateur bénéficie d'une double unité de disquettes à double face et double densité (celle du Système 34). Son prix : de 300 000 à 1 200 000 BEF.

En janvier, UNIVAC réagit à l'arrivée des 3030 d'IBM. Il annonce la prochaine sortie des **1100/83 et 1100/84**. La série 1100 offre à l'utilisateur une puissance graduée de 1 à 5 dans laquelle la compatibilité est totalement garantie. Chez IBM, le 3033 est présenté en version multiprocesseurs.

En septembre, IBM annonce le **Système 38**, un mini haut de gamme qui complète les S/32 et S/34, héritier selon certains de la fameuse FS, Future Série. L'espace adressable unique constitue l'originalité du Système 38. Intégrant la technique de la mémoire virtuelle, cet espace réunit en une seule entité la mémoire principale (interne) et la mémoire secondaire (les disques). Elle est destinée à stocker de façon permanente tous les éléments nécessaires aux applications : programmes, données, définitions, procédures, etc. définis désormais comme «objets» indépendants. Ce système optimise l'utilisation de la mémoire et va au-delà de la mémoire virtuelle classique puisque programmes et données sont pris en charge par le même système. Celui-ci est bâti pour le long terme, il rend l'utilisateur moins dépendant de la technologie : disques fixes ou non, mémoire vive ou morte, peu importe, l'utilisateur ne voit plus qu'un seul espace adressable. Il sera en butte à des problèmes de logiciels et ne sera livré qu'à partir de 1980. Prix en location mensuelle : de 120 000 à 600 000 BEF.

**1979 :** Le 30 janvier, naissance chez IBM de la **Série E**. Ces **4331 et 4341** sont des machines 32 bits compactes, basées sur la même technologie (LSI) que celle du 8100 et du Système 38. Les microplaquettes de 64 K sont groupées par modules de quatre et permettent d'atteindre 512 K sur une carte de 25 sur 15 cm. La capacité mémoire centrale varie de 0,5 à 4 MB. L'apparition de disques fixes de grande capacité est intégrée dans l'annonce. Le nouveau disque 3370, d'une capacité de 570 MB, divise

pratiquement par deux le coût du stockage par rapport au modèle 3350. Au niveau logiciel, l'annonce met l'accent sur le développement des fonctionnalités du système d'exploitation VM / 370, précisément dans le sens de l'interactivité, de la communication, de la mémoire virtuelle et des bases de données. Le prix est évalué de trois à cinq fois moins cher, à performances égales, que dans la famille des 370. Destinés à remplacer le bas de gamme des 370 toujours en activité, les 43xx bouleversent complètement les points de référence. La réplique sera rapide, mais laborieuse, chez BURROUGHS (les **B2930 et B3950**), NCR (la série **8500**), CII HONEYWELL BULL (les **64 DPS et 66 DPS**), ICL (les **2950/10 et 2956/10**), UNIVAC (les **1100/60**) et SIEMENS (la série **7500**).

Avec l'arrivée du **NONSTOP 1**, la société TANDEM donne naissance à un nouveau concept, celui de l'ordinateur qui ne s'arrête jamais. Tous les éléments, processeurs, bus, disques sont doublés, de telle sorte que la défaillance d'un élément quelconque entraîne la reprise immédiate de son travail par un dispositif similaire. L'intégrité des données est ainsi garantie grâce au système des disques miroirs qui en assure la duplication.

#### 5.4. Des plus gros aux plus petits (1980 - 1985)

**1980** : En octobre, IBM s'envole vers les grandes puissances avec l'annonce du **3081**, premier modèle de sa **Série H** (à dissipation thermique contrôlée). Il peut atteindre les 10 Mips (millions d'instructions par seconde) et dispose d'une mémoire de 32 mégas.



L'élément de base du processeur est le TCM, le nouveau module à dissipation thermique qui permet d'assembler 45 000 circuits intégrés sur une surface de 9 cm<sup>2</sup>. Le TCM est scellé dans une boîte métallique remplie d'hélium. Les avantages de ce procédé sont nombreux : amélioration des performances par la diminution du câblage, refroidissement plus aisé, et fiabilité accrue. Sur le plan de l'architecture, le 3081 est un système dyadique dans lequel les deux unités de traitement se partagent la même mémoire. Mais l'innovation la plus importante réside dans l'annonce à moins d'un an de l'extension de l'architecture 370 qui s'appellera 370 / XA et qui permettra d'adresser 2 GO d'espace mémoire (adressage sur 32 bits) au lieu de 16 MO comme précédemment (adressage 24 bits).



AMDAHL réplique à la série H d'IBM avec sa gamme **580** d'un meilleur rapport prix / performances.

CII - HONEYWELL BULL lance ses séries **DPS 8**, **DPS 7** et **DPS 4**.

**1981 :** En avril, Adam OSBORNE met sur le marché le premier micro-ordinateur portable du monde (12 kg quand même !). L'**OSBORNE 1** sera vendu à plus de 100 000 exemplaires. En 1983, faute de financements, OSBORNE dépose son bilan.

Le 12 août, à NEW YORK, IBM dévoile son **PERSONNAL COMPUTER**, concurrent direct de l'APPLE II. Sa fabrication s'écarte radicalement des habitudes d'IBM. Ni le processeur, ni le système d'exploitation n'ont été développés par IBM. C'est une **machine 16 bits**, bâtie sur le processeur INTEL 8086, avec 16 K de mémoire en configuration de base. Le logiciel PC-DOS (qui sera appelé plus tard MS-DOS) est conçu et réalisé par MICROSOFT, une petite société de logiciel basée à SEATTLE. Le prix de l'appareil est de l'ordre de 50 000 BEF. L'arrivée du PC donne aussi naissance à toute une industrie du compatible, dont la jeune société COMPACQ retire un succès et une renommée remarquables. Dans ce marché, APPLE est le seul constructeur à maintenir le cap sur une solution originale. Le PC d'IBM ne sera réellement disponible en Europe occidentale qu'à partir de 1983.

En octobre, comme promis, IBM annonce l'ordinateur bi-processeur **3081 K** qui est le premier à bénéficier de l'**adressage 32 bits** et étend ainsi l'espace mémoire adressable de 16 mégas à 2 gigas.

SIEMENS commercialise la **série 7800**, fruit de la collaboration entre le constructeur allemand et FUJITSU. Compatible IBM, le 7892 est à sa sortie l'ordinateur le plus puissant du monde : 128 MB en mémoire centrale, microplaquettes de 64 KB, 27 MIPS (millions d'instructions / seconde).

Le **Système 23** annoncé par IBM conjugue calcul et traitement de texte.



**1982 :** Rien que des gros ordinateurs : le **DPS 88** de BULL, le **V8500** de NCR, le **1100/90** de UNIVAC, le **B20** de BURROUGHS, le **HP9000** de HEWLETT – PACKARD et le **CYBER 170/800** de CDC. Chez IBM : la série **3083** et le premier multiprocesseur **3084**.

**1983 :** Février : **IBM** lance un nouveau micro, le **PC / XT** avec un disque dur de 10 Mo.

Dans la série 43xx, IBM annonce les **4361** et **4381** pour succéder aux 4331 et 4341.

IBM annonce le **Système 36**, successeur du Système 34 commercialisé depuis 1977.

La gamme des PC IBM s'étoffe des modèles **PC 3270** et **XT / 370**.

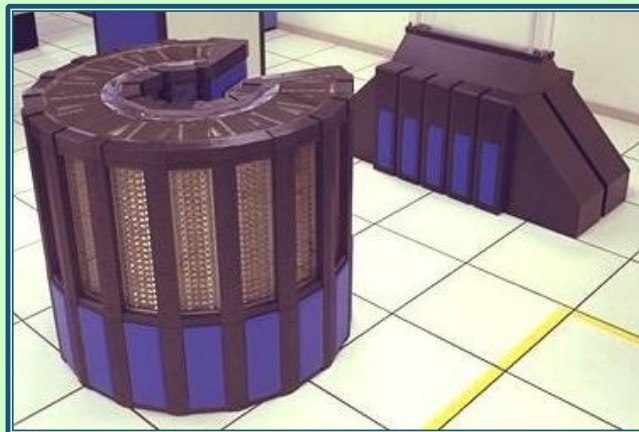
**1984 :** En janvier, moins d'une année après LISA, APPLE lance sa gamme **32 bits**. En vedette, le **MACINTOSH** ; son prix est de l'ordre de 125 000 BEF. Il est doté d'une mémoire de 128 ko, d'une mémoire ROM contenant le système d'exploitation, d'une unité de disquettes de 3,5 pouces, d'un petit écran monochrome de 23 cm, d'une souris et d'une interface graphique. Tous ces dispositifs constitueront pour APPLE un très grand succès commercial. En un peu moins de 2 ans, le marché absorbe un demi-million d'exemplaires de cet appareil. En matière de convivialité, il prend une avance considérable sur le PC. IBM réagit quelques mois plus tard en commandant à MICROSOFT un logiciel aux fonctions identiques : WINDOWS.

HEWLETT PACKARD lance le **HP 3000**

En août, IBM présente le troisième modèle de son micro-ordinateur : le **PC / AT**. Bâti autour du microprocesseur INTEL 80286, c'est un micro multiposte pouvant supporter 3 terminaux, comportant un ou deux disques durs de 20 Mo et pouvant être connecté aux systèmes 34, 36 et 38.

Le TANDY 1000 est considéré comme le premier des compatibles PC.

**1985 :** En mars, IBM annonce la série **SIERRA** : les **3090**, modèles 200 et 400. Ce dernier est un quadri-processeur qui culmine à 50 mips et qui, après celui de la mémoire-cache, introduit le concept de la mémoire d'arrière-plan qui constitue un niveau intermédiaire entre la mémoire centrale et la mémoire sur disques.



*Le CRAY 2, opérationnel à la NASA*

Dans l'année, BULL réplique avec les **DPS 88** et **DPS 90**, AMDALH avec les **5890**, CRAY RESEARCH avec le **CRAY 2**, BURROUGHS avec la **Série A** et BULL avec le **DPS 90**.

Les constructeurs japonais tels que NEC, FUJITSU et HITACHI s'implantent progressivement dans le marché européen des compatibles. NAS et BASF distribuent en Europe la série ALLIANCE de HITACHI dont le modèle **XL/80** offre une puissance comparable à celle du 3090 / 200.

## 6. LES GRANDES INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES QUI ONT FAIT PROGRESSER L'INFORMATIQUE

Elles n'ont pas toujours de grands rapports entre elles. Elles ont néanmoins marqué de leur importance toute l'évolution de l'informatique.

### 6.1. Le mode de numération binaire

Depuis des siècles, que ce soit à l'aide de ses mains ou de machines conçues et fabriquées pour lui faciliter la vie, l'homme lit les nombres, l'homme écrit les nombres, l'homme effectue les opérations arithmétiques dans un système de **numération décimal**, un code de **numération à base 10**.

Depuis leur création, les ordinateurs fonctionnent dans le système **de numération binaire**, un code de **numération à base 2**. Le système binaire est le système de numération à base la plus faible ; il n'utilise que les chiffres 0 et 1.

Les historiens rapportent que le système était connu bien avant notre ère chez les Chinois et les Égyptiens. En 1694, le mathématicien allemand **Gottfried LEIBNZ** est le premier à présenter l'utilité du système de numération binaire dans les calculateurs ; au terme de ses recherches, il avait automatisé la multiplication et la division.

Dans le système décimal, la valeur numérique de 371 équivaut à :

$$\begin{array}{rclcl}
 3 \times (10 \text{ à la puissance } 2) & = & 300 & + & 300 \\
 7 \times (10 \text{ à la puissance } 1) & = & 70 & + & 70 = 370 \\
 1 \times (10 \text{ à la puissance } 0) & = & 1 & + & 1 = 371
 \end{array}
 \quad \text{soit en représentation décimale } \mathbf{371}$$

Par comparaison, dans le système binaire, cette valeur équivaut à :

$$\begin{array}{rclcl}
 1 \times (2 \text{ à la puissance } 8) & = & 256 & + & 256 \\
 0 \times (2 \text{ à la puissance } 7) & = & 0 & & \\
 1 \times (2 \text{ à la puissance } 6) & = & 64 & + & 64 = 320 \\
 1 \times (2 \text{ à la puissance } 5) & = & 32 & + & 32 = 352 \\
 1 \times (2 \text{ à la puissance } 4) & = & 16 & + & 16 = 368 \\
 0 \times (2 \text{ à la puissance } 3) & = & 0 & & \\
 0 \times (2 \text{ à la puissance } 2) & = & 0 & & \\
 1 \times (2 \text{ à la puissance } 1) & = & 2 & + & 2 = 370 \\
 1 \times (2 \text{ à la puissance } 0) & = & 1 & + & 1 = 371
 \end{array}
 \quad \text{soit en représentation binaire : } \mathbf{101110011}$$

Toute donnée présentée en mode décimal à un ordinateur est convertie par un dispositif interne de la machine avant son introduction en mémoire.



À chaque position de la mémoire d'un ordinateur correspond un composant électronique : un tube électronique sur les premières machines, une ferrite à partir des ordinateurs de deuxième génération. En tant qu'élément électronique, chaque position de la mémoire (triode ou ferrite) ne peut, comme une porte, se présenter que sous deux états : ouverte ou fermée, c'est-à-dire, une position binaire que l'on traduit aussi en diverses expressions, telles que : « oui ou non », « on ou off » ou encore par « 0 ou 1 ». Dans le contexte électronique, on peut dire aussi que le courant « passe » ou « ne passe pas » par cette position de la mémoire.

La mémoire d'un ordinateur est organisée sous la forme de « **mots** » (word en anglais) dont la longueur, dans les premiers ordinateurs, équivalait généralement à 8 ou 16 positions. Au fil du temps, la longueur du mot atteindra 32 ou 64 positions. Dans la langue anglo-saxonne, le mot « position » est devenu « bit » selon la traduction abrégée de l'anglais « **b**inary **i**gital ». Une donnée est donc enregistrée dans un mot, dans un espace de mémoire formé de plusieurs bits. Chaque position du mot représente une valeur propre à la position qu'elle occupe dans le mot, **soit le double de la valeur de la position qui la précède ( $x^{\text{ème}}$  puissance de 2)**. A titre d'exemple, dans un mot de 8 positions, chacune d'elles présente les valeurs suivantes :

<i>Positions de la mémoire :</i>	8	7	6	5	4	3	2	1
Valeurs en binaire des positions :	128	64	<b>32</b>	<b>16</b>	8	4	<b>2</b>	1
Représentation du <b>nombre 50</b> en mémoire	0	0	1	1	0	0	1	0

Les valeurs, dans un mot de 16 bits :	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	32768	16384	8192	4096	2048	1024	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1

Principes d'addition et de soustraction en binaire :	0 + 0 = 0	0 + 1 = 1	1 + 0 = 1	1 + 1 = 0 avec report de 1
	0 - 0 = 0	0 - 1 = 1 avec report de 1	1 - 0 = 1	1 - 1 = 0

Dans le système binaire, les multiplications et les divisions se font respectivement par additions ou soustractions successives. Ci-après, deux exemples d'opérations arithmétiques effectuées en binaire :

Addition (A + B)			
Reports	11	11	1
A	01101101	109	
+ B	00100101	37	
	-----	----	
	10010010	146	

Soit  $128+0+0+16+0+0+2+0 = 146$

Soit  $0+512+256+128+64+0+16+0+4+0+1=981$

Multiplication (A x B)			
A	01101101	109	
B	1001	9	
	-----	----	
Reports	11	1	981
	01101101		
	00000000		
	00000000		
	01101101		
	-----		
	01111010101		

En général, les processeurs d'ordinateurs traitent les données mémorisées par groupes de 8 bits. Cette portion de mémoire a reçu le nom de **byte** en anglais, **octet** en français.

La mémoire d'un ordinateur ne contient pas que des chiffres. Elle contient également les lettres de l'alphabet, majuscules et minuscules distinctement, ainsi que plusieurs caractères spéciaux, dont les signes de ponctuation. À leur enregistrement dans la mémoire des ordinateurs, ces caractères sont convertis en binaire suivant la valeur décimale qui leur a été attribuée par un **code international appelé ASCII** (American Standard Code for Information Interchange). Chaque caractère est mémorisé dans un mot de 8 bits. Pour garantir une uniformité dans ce système de conversion, une valeur ASCII a été également attribuée aux chiffres. Exemples :

Caractères	Valeur décimale ASCII	Conversion binaire
0	48	00110000
5	53	00110101
9	57	00111001
A	65	01000001
Z	90	01011010
a	97	01100001
z	122	01111010

Afin de rendre plus proche la lecture en code binaire de la lecture en code décimal, les constructeurs d'ordinateurs ont inventé un autre système de codification binaire : le **Décimal Codé Binaire (DCB)**. Dans ce système chaque chiffre d'un nombre décimal est codé en quatre positions binaires. Exemple appliqué au nombre 137 :

En binaire pur : 10001001

En binaire DCB : 0001 0011 0111

128+0+0+0+8+0+0+1

1 3 7

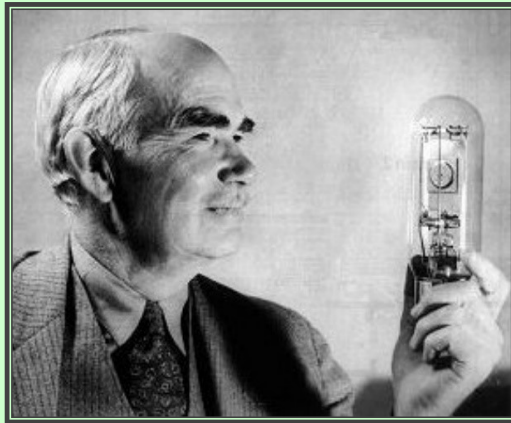
## **6.2. La triode**

Le recours à la triode dans la fabrication des calculateurs électroniques et des ordinateurs de première génération est l'aboutissement d'une recherche vouée à trouver, dans le traitement des données, un moyen plus rapide que ceux utilisés dans les machines de la mécanographie, notamment les relais électromécaniques. De leurs travaux, les chercheurs ont conclu que le moyen le plus rapide répondant à leur besoin était **l'électron**.

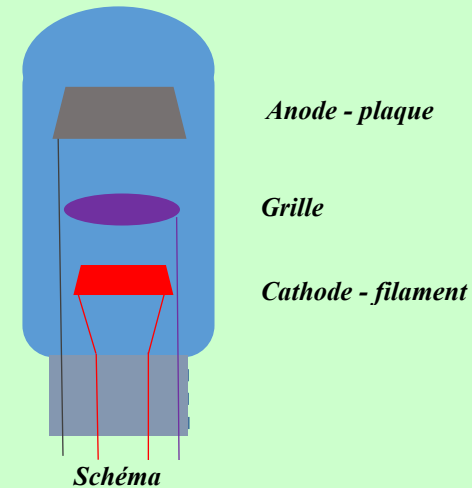
Dans l'évolution de **l'électronique**, la triode succède à la diode. Celle-ci a été définitivement mise au point en 1903 par le physicien anglais John Flemming dans le but premier de transformer un courant alternatif en courant continu à l'aide de deux électrodes (anode et cathode, conducteurs de courant). En 1906, l'inventeur américain, Lee De Forest perfectionne la diode par l'apport d'une troisième électrode.

La triode est constituée d'une ampoule en verre renfermant sous vide 3 éléments métalliques aux propriétés bien spécifiques : une **cathode**, une **anode** et une **grille** disposée entre les deux. Le tube à vide peut être utilisé comme oscillateur, amplificateur ou détecteur de courant électrique en fonction de la tension appliquée.

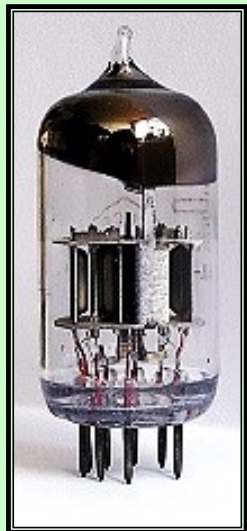
La triode, devenue le premier dispositif amplificateur d'un signal électronique, sera d'abord utilisée au cours du 20<sup>ème</sup> siècle dans le développement des postes de radio, du cinéma parlant et de la téléphonie avant son introduction dans les premiers ordinateurs.



*Lee DE FOREST et le tube à vide (ou triode)*



La mémoire des premiers calculateurs et ordinateurs électroniques est constituée de triodes. Ces triodes sont alignées et fixées sur des supports adéquats. La mémoire est formée de mots dont la longueur est définie à la construction de l'ordinateur. Chaque mot est composé d'un nombre de triodes correspondant à sa longueur. Chaque triode représente une position du mot.

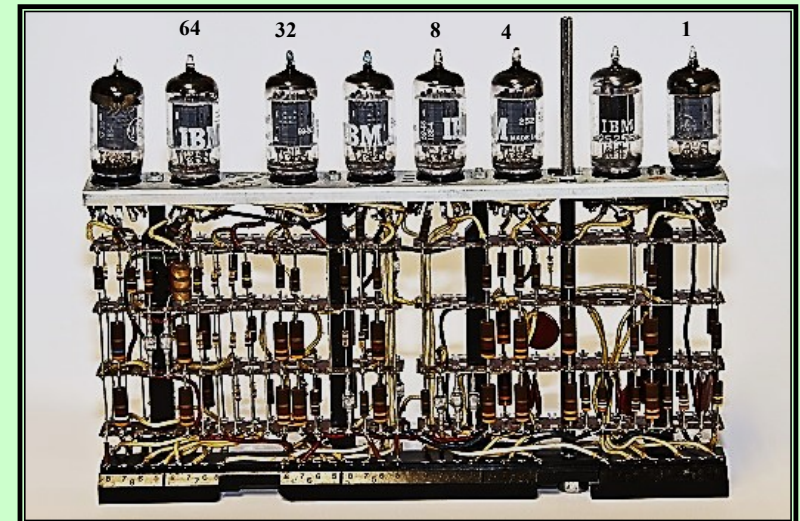


Dans la figure ci-contre les triodes chiffrées représentent, à titre d'exemple, le nombre 109. Selon la numérotation binaire, les triodes chiffrées sont positionnées à 1 (le courant passe). Les triodes non chiffrées sont positionnées à 0 (le courant ne passe pas).

Utilisé dans les premiers ordinateurs comme **commutateur** de signaux électriques, le tube à vide répond adéquatement aux spécificités du traitement de l'information dans le système de numération binaire ; la lampe, allumée ou éteinte, représente le 1 ou le 0 du système binaire. Un tube à vide peut être combiné à volonté avec d'autres tubes de manière à réaliser des circuits arithmétiques et logiques.

Comment s'opère le positionnement d'une triode ? Comment, dans le système binaire, peut-elle être positionnée à 0 ou à 1 ?

La cathode est une plaque métallique qui sous l'effet de la chaleur produite par un filament chauffant de tungstène libère des électrons négatifs formant dans le





tube un nuage électronique (émission cathodique). Face à la cathode se trouve l'anode qui, pour sa part, libère des électrons positifs. Par l'attraction des contraires, selon la loi de la nature, les électrons négatifs de la cathode rejoignent les électrons positifs de l'anode établissant ainsi un courant électrique. Autrement dit, le courant passe et la triode peut être considérée comme positionnée à 1.

Le positionnement à 0 de la triode peut être réalisé par l'impulsion d'un courant électrique défini chargeant la grille d'électrons négatifs. Les électrons négatifs de la cathode et de la grille se repoussant, le courant ne passe donc pas.

L'encombrement de la triode et la chaleur dégagée par l'échauffement de la cathode feront obstacle au développement à long terme de la triode. À la fin des années '50, la triode sera remplacée par le transistor.

### 6.3. La mémoire à tores de ferrites

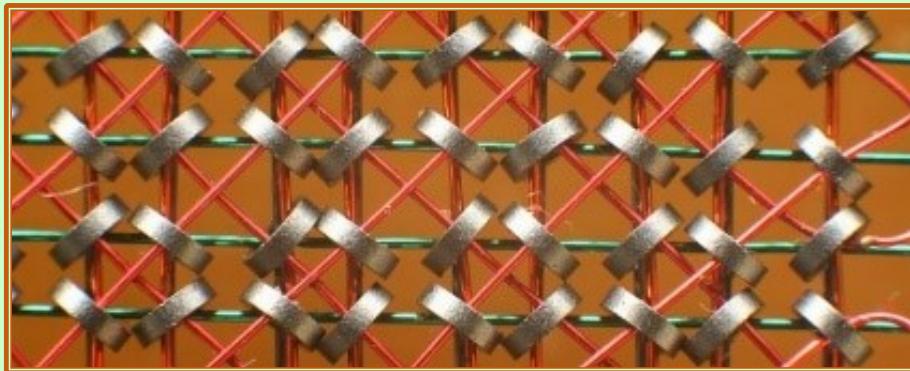
Le tore de ferrite est un minuscule anneau métallique qui, grâce à ses propriétés magnétiques, va permettre le développement des mémoires internes de la 2<sup>ème</sup> génération d'ordinateurs. Ce type de mémoire sera utilisé jusqu'à l'avènement des mémoires à semi-conducteur à la fin des années '60.

Dès 1944, les chercheurs A. WANG et F.W. VIEHE se penchent sur l'intérêt que présentent les tores de ferrite comme support d'informations dans un système de numération binaire. Le développement de leurs travaux est repris un peu plus tard par des équipes du MIT, de RCA et d'IBM.

À partir des années '50, les tores magnétiques entrent dans la composition et le fonctionnement de la mémoire centrale de l'ordinateur. Les petits tores en oxyde de fer peuvent être magnétisés dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens contraire, pour représenter 0 ou 1 et assurer ainsi le codage binaire de l'information. Quelques millièmes de seconde suffisent pour atteindre une information à l'intérieur de la mémoire.

Bien que l'invention ne lui appartienne pas entièrement, IBM fut un des premiers, en 1952, à développer des mémoires de ce type dans le cadre d'un projet commun avec le laboratoire Lincoln du MIT (Massachusetts Institute of Technology). Ce projet concernait le système de défense aérienne SAGE. À la fin des années '50, IBM équipait d'une mémoire à tores de ferrite les derniers ordinateurs de la famille 700, les 708 et 709.

Mais le principal apport d'IBM a surtout été la mise au point de techniques et d'équipements de production originaux qui ont rendu la technologie des tores meilleur marché, plus fiable et adaptée à la production de masse ; parmi ces innovations : des équipements capables d'emboutir, comprimer ou cuire très rapidement ces tores minuscules. Ces procédés donnaient aux tores la dureté qui leur permettait de conserver toutes leurs propriétés magnétiques. La compression des tores se faisait finalement à la cadence de 32 000 unités à l'heure.



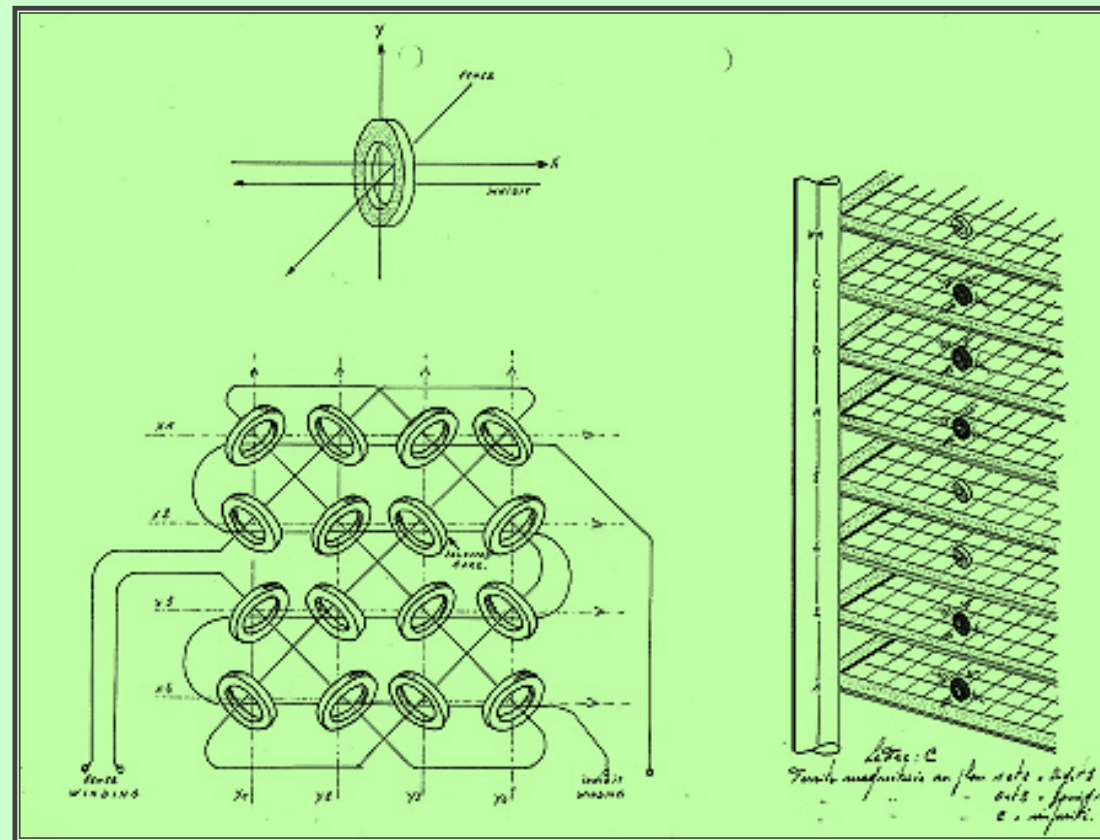
Au début, les ouvriers de l'usine IBM de POUGHKEEPSIE utilisaient d'énormes loupes et des pinces à épiler pour enfiler péniblement, un à un, les tores sur des fils. Mais cette méthode prit fin avec la mise au point d'un système à aiguilles capable d'enfiler des milliers de tores en une seule opération. IBM fut aussi l'initiateur de méthodes permettant de fabriquer des tores encore plus petits et de les assembler encore plus étroitement... histoire de gagner de la place et de la vitesse. Muni de ce système de mémoire, le 360 / 65 annoncé en 1965 accédait à une information en mémoire centrale en moins d'une demi-microseconde.

Les dimensions d'une ferrite : 2 mm de diamètre et 1 mm d'épaisseur. Chaque anneau est capable de représenter 0 ou 1 selon le sens du champ magnétique. La matrice ou support des ferrites est constituée par un treillis de fils parallèles et équidistants. À chaque point d'intersection est placée une ferrite traversée en son centre par deux fils, l'un pour l'impulsion, l'autre pour la détection du sens magnétique.

La représentation d'un caractère dans une mémoire à ferrites requiert, selon le mode binaire décimal, 8 anneaux situés sur une même verticale. Chaque plan équivaut à la valeur ou au symbole 1, 2, 4, 8, A, B, C, et WM. Les quatre premiers plans permettent de former les chiffres 0 à 9. Ces quatre premiers plans associés aux plans A et/ou B permettent de former

les caractères alphabétiques ou spéciaux. Le plan C est utilisé pour le contrôle de parité et le plan WM pour la reconnaissance du WORD MARK qui caractérise la première position d'une instruction ou la position de gauche d'une zone de données.

Etant donné qu'une position de mémoire est formée de 8 tores de ferrite, une mémoire centrale de 4 k (4 000 positions de caractères) équivaut à un réseau de 32 000 petits anneaux de ferrite. La mémoire centrale des premiers IBM 1401 avait une capacité maximale de 16 k, soit environ 128 000 tores.



*Représentation de la lettre «C»  
dans une mémoire de ferrites*



#### 6.4. Le transistor et les semi-conducteurs

##### *Premier transistor à pointe - 1947*

**Le transistor** est un composant électronique utilisé dans les circuits intégrés et les microprocesseurs. Présenté au public en décembre 1947, il a été inventé par une équipe de trois chercheurs de la société AT&T Bell Labs : William SHOCKLEY, John BARDEEN et Walter BRITTAIN. L'invention faisait suite aux recherches entreprises sur les semi-conducteurs. Des résultats obtenus et des expériences pratiquées, il fut conclu que l'invention avait toutes les qualités pour remplacer la triode tout en améliorant son fonctionnement. Le nom qui lui fut donné est inspiré des mots anglais **Transfer Resistor**.

Dès 1939, William Shockley et des collègues s'étaient mis à la recherche d'une alternative « solid state » pour le tube à vide. Pendant la guerre, d'autres priorités vinrent bousculer le programme de recherche. Toutefois en 1945, Shockley fut placé à la tête d'un groupe d'étude spécial, renforcé par John Bardeen et Walter Brittain ; l'équipe était chargée de poursuivre l'étude entreprise avant la guerre sur les semi-conducteurs. Après avoir défini le principe de l'émetteur et du collecteur, ils intégrèrent leur invention, encore sans nom, dans un circuit audio en obtenant un facteur d'amplification de 15.

Entre l'élément émetteur (la cathode) et l'élément collecteur (l'anode), les chercheurs introduisirent, en lieu et place de la grille, une « base » jouant le même rôle que la grille elle-même. C'est donc un composant électronique associant en deux jonctions trois semi-conducteurs munis d'électrodes. Il est utilisé comme redresseur (transformation du courant alternatif en courant continu), amplificateur ou interrupteur de courant électrique. Il peut ouvrir ou fermer un circuit en moins d'une microseconde (millionième de seconde).

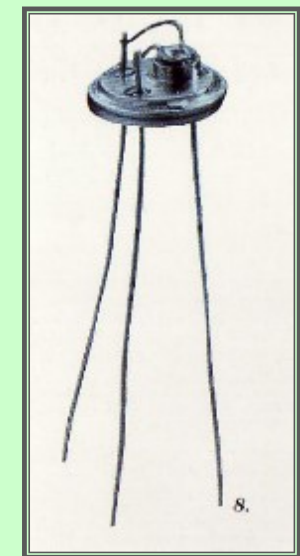
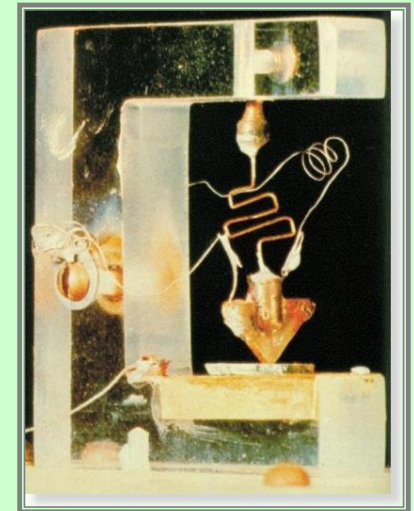
Le transistor réalisé présentait les avantages suivants : réduction importante de la durée du trajet d'une impulsion électrique entre deux électrodes, diminution très sensible de la dissipation calorifique, robuste, exigu, plus fiable et moins coûteux que la triode, prévu pour une longue durée de vie, d'un rendement élevé pour une très faible consommation d'énergie, offrant la perspective d'une miniaturisation singulière.

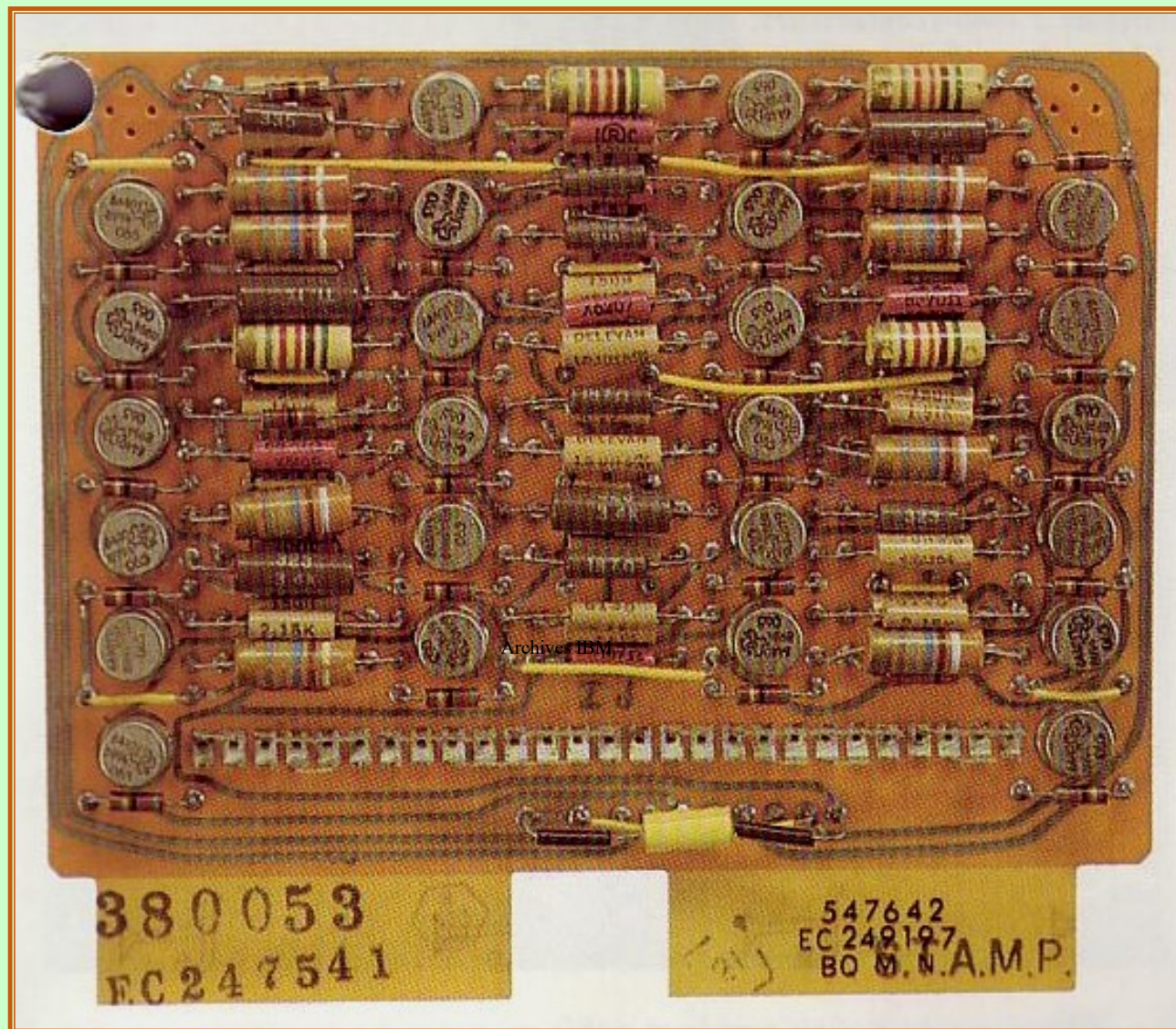
Dix années ont été consacrées à la mise au point et à l'automatisation des procédés de fabrication ainsi qu'à l'adaptation de la technologie du transistor à l'ordinateur. Dès 1960, les premières usines de fabrication de transistors produisent plus de 1 800 unités à l'heure. Les transistors sont fixés sur des cartes avec d'autres composants pour former les circuits.

C'est en 1954, pour la radio, que les premiers transistors furent utilisés en échange des lampes électroniques présentes dans le récepteur. C'était à cette époque prendre la partie pour le tout que d'appeler « transistor » le poste de radio qui en était équipé, devenu lui-même portatif par la légèreté des dispositifs électroniques.

Devenu au fil du temps 200 fois plus petit et 100 fois moins consommateur d'énergie que la triode, il est, à la fin des années '50, utilisé intensivement dans les ordinateurs de la deuxième génération. En 1971, au nombre de 2 300 interconnectés dans le premier circuit intégré, ils seront, sur un support de même dimension, plus d'un million dans les microprocesseurs fabriqués à la fin des années '80.

##### *Le transistor, 10 ans après son invention*





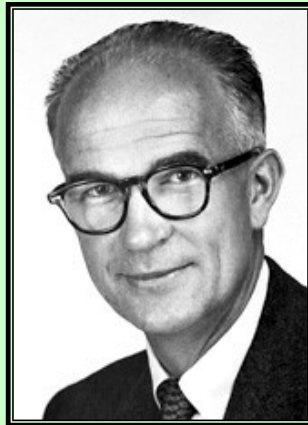
*Les transistors associés aux résistances et aux diodes*

**Un semi-conducteur** est un matériau de structure cristalline, comme le germanium et le silicium, dont sont constitués en majorité les transistors. La conductibilité électrique des semi-conducteurs se situe entre celle des métaux et celle des isolants. Ce qui signifie que le nombre d'électrons présents dans ces matériaux pour assurer la conduction d'un courant électrique est supérieur à celui des isolants et inférieur à celui des métaux.

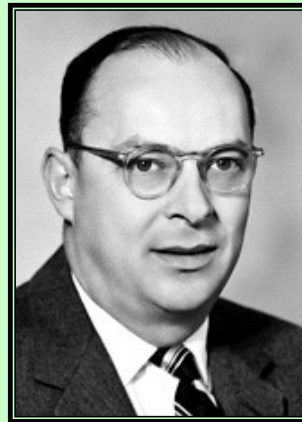
Les chercheurs ont constaté que, dans ces matériaux, les électrons se déplacent plus abondamment dans un sens que dans l'autre. Ils ont également remarqué que, dans ces matériaux à l'état pur, ils se déplacent peu ou très lentement, ce qui les rendrait inaptes à une très bonne conduction. Pour atteindre celle-ci, des doses infimes et prédéfinies d'impureté sont introduites dans ces matériaux (opération appelée « dopage ») ; ces impuretés proviennent du phosphore, de l'arsenic, de l'antimoine ou de l'aluminium.

Le semi-conducteur ainsi constitué peut facilement devenir conducteur en le chauffant, en l'éclairant ou le soumettant à une impulsion électrique. Dans les circuits intégrés et dans les microprocesseurs des ordinateurs, c'est une tension électrique prédéfinie qui rend le semi-conducteur isolant ou conducteur, jouant en quelque sorte le rôle d'interrupteur.

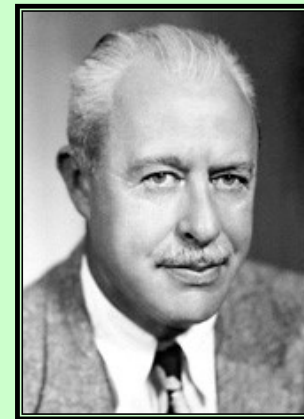
Bien qu'il soit plus rare à découvrir, le germanium fut le matériau employé dans la fabrication des premiers transistors. Le germanium sera progressivement remplacé par le silicium, celui-ci étant présent dans plus de 25 % de la croûte terrestre, soit dans le sable, dans le quartz et dans de nombreuses roches.



*W.B. SHOKELEY*



*J. BARDEEN*



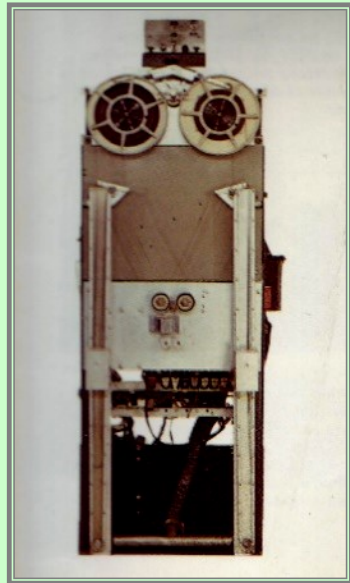
*W.H. BRATTAIN*

*Les inventeurs du transistor, prix NOBEL de 1956*



### 6.5. Les bandes magnétiques

Les mémoires électrostatiques des débuts sont relativement rapides mais onéreuses, très limitées et peu fiables. Les cartes perforées sont économiques mais lentes. Un accroissement du potentiel de mémorisation s'avère rapidement indispensable dans les traitements de masse des données.



*Prototype d'armoire  
à bandes IBM - 1950*

Les premiers dérouleurs de **bandes magnétiques** sont mis au point tout au début des années '50. Le dérouleur de bandes inventé par IBM en **1950** est déjà muni de colonnes à vide pour contrôler l'enroulement et le déroulement des bandes tout en les empêchant de se rompre lors d'un arrêt ou d'un démarrage trop brutal. Leurs performances, dans le traitement de données, sont limitées en raison du temps requis par l'enroulement et le déroulement de la bande dans la recherche d'une information.

En **1952**, l'ordinateur IBM 701 est un des premiers à utiliser les bandes magnétiques, les **unités 726**, pour la lecture, l'écriture et le stockage d'informations. La densité est alors de 100 caractères par pouce et, sur une bobine de 20 cm de diamètre, on peut mémoriser autant d'informations que sur 12 500 cartes perforées de 80 colonnes, soit 1 000 000 de caractères.

L'**unité IBM 727**, présentée sur le stand IBM de l'Exposition Universelle et Internationale de Bruxelles en 1958, porte la capacité d'enregistrement à plus de 5 000 000 de caractères sur une bobine de 25 cm de diamètre et d'une longueur de 730 m.

L'ordinateur IBM 1401 (2<sup>ème</sup> génération) conçu à la fin des années '50 est équipé des **modèles 729 ou 733**. La densité du nombre de caractères par pouce est portée à 556. La capacité d'une bobine atteint à cette époque 14 000 000 de caractères. La vitesse de lecture sur le modèle 733 est réduite au tiers de celle du modèle 729.

La technologie consiste en la magnétisation de minuscules portions d'un support recouvert d'une couche de matériau ferromagnétique. L'écriture et la lecture sont réalisées par le même dispositif, la tête magnétique dont la fonction est réversible.

Sur une bande, l'enregistrement des données se fait selon deux modes, soit longitudinalement, soit de manière hélicoïdale, technique inventée par AMPEX et utilisée dans les magnétoscopes. Dans cette technique, la tête magnétique est animée d'un mouvement de rotation rapide sur un tambour autour duquel la bande magnétique est enroulée en U. Ce qui fait que les portions de pistes sont écrites obliquement sur le support, mais aussi que la vitesse relative de la tête et de la bande est accrue dans des proportions significatives sans augmentation concomitante de la vitesse linéaire du support, et c'est d'ailleurs là le but du procédé.

Dans les deux modes, la densité d'informations est constante sur toute la longueur de la bande. Cette densité est fonction de la taille des entrefers des têtes de lecture-écriture et celle-ci atteint à la fin des années '80 des dimensions inférieures au micron (millième de millimètre).

Les bandes magnétiques seront commercialisées sous plusieurs formes : bandes classiques en bobine ou en chargeur automatique, cassettes plus maniables du type IBM 3480, cassettes compactes de type streamer pour minis et micro-ordinateurs et enfin cartouches de type IBM 3350.



*L'IBM 729*

En dépit des améliorations remarquables qui lui sont apportées, la bande magnétique présente toujours, depuis ses origines, le même inconvénient : l'accès séquentiel. Cela signifie que le traitement d'une donnée située en fin de bande ne peut être exécuté qu'après le déroulement complet de la bande.

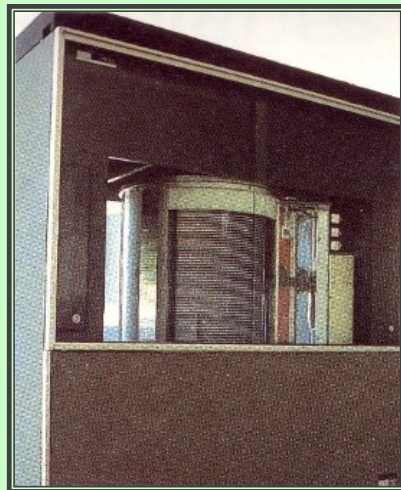
Si la résistance du support lui-même inspire naturellement à l'utilisateur moins de confiance que le support disque, la bande magnétique est restée dans de nombreux centres de traitement un support très économique pour le stockage de masse d'informations.

En s'inspirant la plupart du temps des innovations d'IBM, tous les grands constructeurs prennent le parti de fabriquer leurs propres unités de bandes magnétiques. Pour les fabricants OEM, (Original Equipment Manufacturer) le marché est attrayant.

### 6.6. Les disques magnétiques

L'histoire du disque magnétique est incontestablement marquée du sceau d'IBM. C'est plus particulièrement dans ses laboratoires de San Jose en Californie que s'est développée, au fil des années et au plan mondial, la technique du stockage des données sur disques magnétiques pour ordinateurs universels. Deux fabricants se sont distingués également dans la conception et la production de disques magnétiques : SEAGATE, à l'origine de la technique conçue et élaborée pour les petits disques WINCHESTER (5,25 et 3,5 pouces) et SONY, l'inventeur du disque souple destiné aux micro-ordinateurs.

Toutes les innovations présentées par IBM ont été exploitées non seulement par ses concurrents mais par le marché OEM (Original Equipment Manufacturer) sur lequel principalement MEMOREX, BASF, CDC et STORAGETEK ont connu des succès divers liés essentiellement à la technologie originelle des produits.



En 1956, le traitement de l'information prend une nouvelle direction avec l'apparition de l'**IBM 305 RAMAC**, (Random Access Method of Accounting and Control) le premier support magnétique à **disques rotatifs**. Ces unités constituent le support par excellence de la mémoire externe. En moins d'une seconde, le bras à accès aléatoire du RAMAC peut retrouver une donnée stockée dans cette impressionnante pile de 50 disques. Les plateaux d'aluminium magnétisés des unités RAMAC mesurent 61 cm de diamètre et emmagasinent au maximum 5 mb, soit 5 000 000 de caractères.

En l'espace de 5 ans, IBM vendra environ un millier de RAMAC 305. Quatre unités de ce modèle, au maximum, pourront être raccordées à un ordinateur 650. Fin des années '50, le 305 sera converti en 1405 en vue de son intégration dans les configurations de l'ordinateur 1401 ; la capacité de l'IBM 1405 modèle 2 (50 disques) étant alors portée à 50 000 000 de caractères.

*L'IBM 305 RAMAC*



*L'IBM 1405 modèle 1*

Après le 1311 de 1963, **premier système amovible**, IBM sort en 1966 le disque **2311**. La nouvelle unité est destinée à remplacer le 1311 dont ont été équipés certains ordinateurs de 2<sup>ème</sup> génération et les tout premiers ordinateurs de la famille 360. Le pack amovible de 6 plateaux du 2311 est d'une capacité de 7,25 mb (millions de caractères). L'unité 2311 est aussi la première à être copiée par les fabricants de compatibles. Le disque 2311 est bientôt suivi du **2314** dont le pack amovible contient 11 plateaux de 14 pouces représentant une capacité de 29 mgb. Pendant plus de 5 ans, toutes les configurations de la famille des ordinateurs 360 seront nanties de plusieurs disques 2311 et 2314.



*IBM 2311 - 7,25 mg de caractères    IBM 2314 - 29 mg de caractères*

Sur un disque, les pistes sont concentriques et non en spirale comme sur un disque musical microsillon. Le disque tourne à une vitesse constante, ce qui introduit un gradient de densité d'enregistrement entre les pistes de la périphérie et celle de l'intérieur du plateau.



Avec l'annonce de la nouvelle famille d'ordinateurs 370, IBM présente en 1971 un nouveau disque, le **3330**. Le modèle 1 a une capacité de 100 Mo. Celle du modèle 11, annoncé en 1974, est doublée. Ces extensions de capacité sont obtenues grâce à un accroissement important des densités radiale et longitudinale. Le 3330 est le **dernier représentant du disque amovible** dans sa conception originelle.

En effet, en 1973, IBM annonce le disque **3340**. Avec celui-ci, IBM adopte pour la première **fois la technologie WINCHESTER**. Celle-ci consiste à assembler les plateaux, les têtes de lecture et d'écriture ainsi que les mécanismes de déplacement dans un boîtier circulaire rigide qui renforce considérablement la protection des plateaux et de tous les éléments mécaniques. La tête de lecture-écriture « vole » à moins de 5 microns sur la surface du disque. La capacité du 3340 est de 70 Mo.

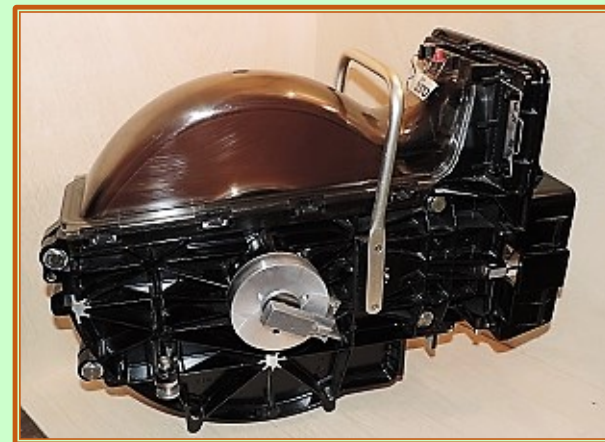
*L'IBM 3330*

Le disque **3348** commercialisé en **1974** est considéré comme une version hybride du 3340. Il possède 5 têtes fixes et des têtes mobiles. Les premières couvrent un espace de 0,5 Mo dans lequel peuvent être disposées les clés des fichiers indexés accessibles en 10 ms (millième de seconde) sans aucun mouvement mécanique. Les données proprement dites sont accédées en 25 ms par les têtes mobiles. L'année suivante le véritable successeur du 3340, le **3344** offre à ses acquéreurs une capacité quadruplée, soit 280 Mo.

Cette même année, en **1975**, IBM met sur le marché le **3350**, le **premier disque fixe**. Le constructeur répond ainsi à un certain nombre d'utilisateurs qui, pour des raisons de fiabilité et d'efficacité, maintiennent en permanence les disques amovibles dans leur unité de traitement. Le nouveau matériel est présenté en version compatible 3330 ou en mode natif afin de profiter, dans ce cas, de toutes les améliorations qui le caractérisent : 25 ms de temps d'accès, 1,2 million de vitesse de transfert (du disque vers la mémoire centrale), 317 Mo par axe, 635 Mo par armoire comprenant deux axes. Copié et recopié par les fabricants de compatibles, le 3350 connaît un succès considérable. Il est suivi par le **3370** et le **3375** sortis respectivement en **1979** et **1981** et présentant respectivement une capacité de 570 et 820 Mo.



*L'unité IBM 3340 et son pack 3348*



*La technologie Winchester de l'IBM 3370*

Le modèle **3380** sort également en **1981**. Ses performances remarquables sont dues en particulier à cette célèbre tête de lecture-écriture dite « à film mince » conçue comme un circuit intégré. Cette nouvelle technique permet de passer à une densité de plus de 15 000 bpi (bits par pouce). La capacité du premier modèle est de 1,25 gb par axe, (gigabytes ou milliard de caractères). Elle est doublée dans le modèle 3380 E, annoncé en 1985, soit 5 gb pour ses deux axes.

Du 2311 de 1966 au 3880 modèle E de 1985, l'accroissement des performances réalisées en une vingtaine d'années est spectaculaire. On est ainsi passé pour :

- le temps d'accès : de 70 à 16 ms, x 4 (millième de seconde)
- la densité radiale : de 100 à 800 ppi x 8 (nombre de pistes par pouce)
- la densité longitudinale : de 1 100 à 15 240 bpi x 13 (nombre de bits par pouce sur une piste)
- la densité surfacique : de 110 à 12 200 bits x 110 (nombre de bits par pouce carré)
- la capacité par disque : de 7,5 à 5 000 Mo x 666 (millions de caractères ou octets)



## 6.7. Les circuits intégrés

Dans le développement de l'informatique, une invention tout aussi capitale que le transistor est celle du circuit intégré.

Bien que travaillant indépendamment, ils sont deux à démontrer, en 1958, le fonctionnement d'un circuit intégré, auquel, par sa structure et sa présentation certains lui donnent aussi le nom de circuit imprimé.

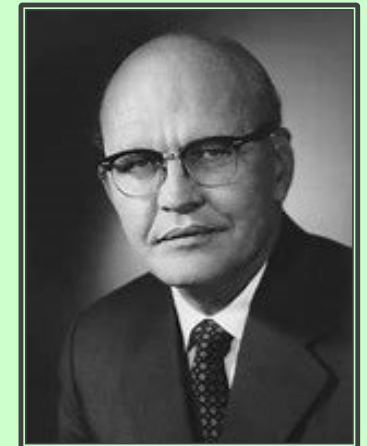


*Robert Noyce*

À ce moment, l'ingénieur Jack Kilby travaille pour le compte de l'entreprise Texas Instruments ; Robert Noyce est chercheur dans la société Beckman Instruments. Le premier sera reconnu, en 1972, comme l'inventeur de la calculatrice électronique ; le second est le fondateur de la société Fairchild Semiconductor et un des cofondateurs de la société Intel.

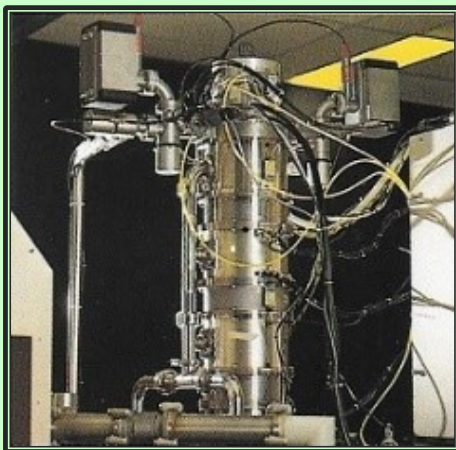
Pour la première fois, plusieurs transistors sont assemblés sur un même support. On peut ainsi définir le circuit intégré comme un dispositif électronique qui intègre et relie entre eux, sur une seule puce de silicium (quelques mm<sup>2</sup>, appelée chip en anglais) des composants aussi divers que des transistors, des résistances, des diodes, des condensateurs, permettant ainsi la réalisation de fonctions algorithmiques complexes.

L'évolution rapide du circuit intégré a conduit à deux types de circuits : les circuits intégrés linéaires et les circuits intégrés numériques. Les premiers trouvent leurs débouchés dans le secteur grand public, notamment en radio et en télévision. Les seconds sont développés pour répondre à la demande des concepteurs d'ordinateurs. De 1965 à 1975, on connaît successivement les circuits SSI, les MSI et les LSI.



*Jack Kilby*

Les circuits SSI (Small Scale Integration) n'intègrent que quelques transistors et réalisent des fonctions élémentaires telles que les portes ET - OU et OUI - NON. Les MSI (Middle Scale Integration) comprennent quelques dizaines de transistors et offrent des fonctions plus complexes : additionneurs, registres. Les LSI (Large Scale Integration) sont constitués de plusieurs centaines de transistors et donnent naissance à des circuits très denses sur lesquels repose, entre autres, la fabrication des microprocesseurs.



Si les circuits intégrés ont contribué au développement des processeurs d'ordinateurs, ils n'ont toutefois pas permis, à l'origine, de satisfaire vraiment les besoins en matière de mémoire interne de l'ordinateur.

La solution sera toutefois donnée par le biais de la technologie MOS (Metal Oxide Semiconductor) reposant sur un nouvel élément de base : le transistor MOS à effet de champ. Cela signifie que le transistor est commandé par un champ électrique et non par un courant comme l'est le transistor bipolaire. Le transistor MOS offre un niveau d'intégration quatre fois supérieur à la technologie bipolaire, une consommation bien plus faible, une vitesse d'exécution plus lente mais néanmoins compatible avec les performances requises par les unités centrales des ordinateurs. Cette technologie donne aussi naissance à la cellule mémoire dynamique dont la propriété est de ne pas consommer de l'énergie en dehors des cycles de lecture, d'écriture ou de rafraîchissement.

*Appareil lithographique utilisant un faisceau d'électrons (2,5 millièmes de millimètre en 1984) pour le traçage des circuits*

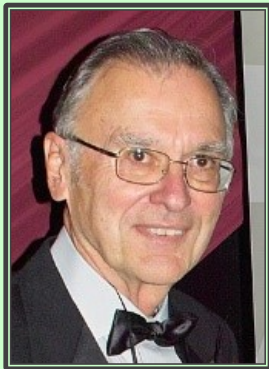
La technologie CMOS apparue un peu plus tard se caractérise par l'absence de consommation en dehors des périodes de travail. Elle prend toute sa signification dans la fabrication des microprocesseurs 32 bits, aux circuits très complexes, pour lesquels la technologie MOS était inadaptée. Elle donne aussi la possibilité d'intégrer sur une puce de silicium environ 20 000 portes, 10 fois plus que dans la technologie précédente. Elle consomme 500 fois moins que celle-ci, mais, en revanche, elle ne peut fonctionner qu'à 10 MHz, 10 fois plus lentement que la technologie MOS.

Au début des années '80, les modules de mémoire les plus performants disponibles sur le marché ont une capacité de 64 kbits, 65 536 bits exactement, l'équivalent de 4 à 6 pages de texte dactylographié. Ces mémoires sont réalisées avec environ 150 000 éléments de circuits sur une puce de silicium de 25 mm<sup>2</sup>. Elles illustrent de manière impressionnante les progrès réalisés dans la miniaturisation : en une décennie, la surface occupée par une unité de mémoire d'ordinateur a diminué de 380 fois et le prix par bit a baissé d'un facteur 20.

*Circuit intégré sur un circuit imprimé*



## 6.8. Les microprocesseurs

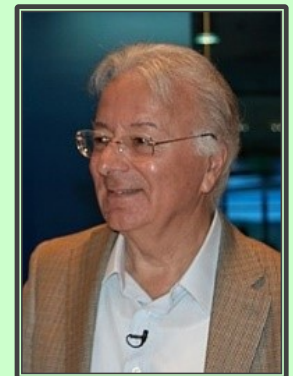


*Marcian Hoff*

On considère souvent le processeur d'un ordinateur comme le cerveau de la machine. Il représente un assemblage de composants électroniques qui exécutent les instructions du programme conçu et mis au point pour l'utilisateur de cet ordinateur et qui traitent les données que lui fournit le programme. Pour ce faire, le processeur dispose d'un jeu d'instructions qui lui est propre et d'espaces-mémoires ou registres dans lesquels il traite ces données. Cet ensemble de règles de calcul et de logique est généralement appelées UAL, Unité Arithmétique et Logique.

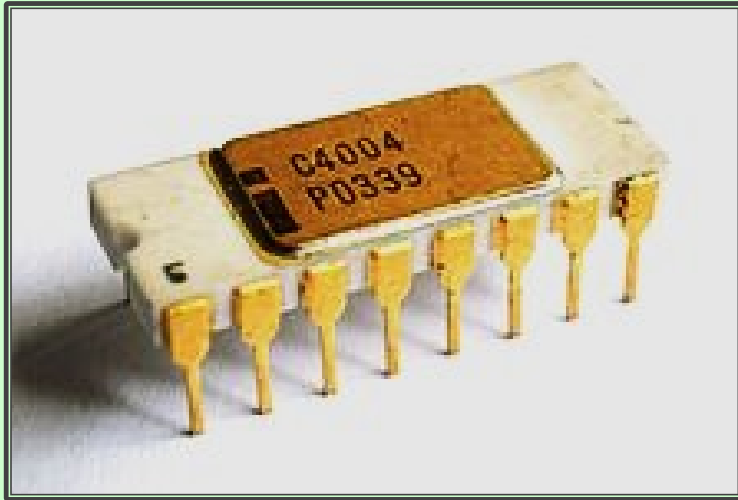
L'invention et l'exploitation du transistor, la miniaturisation des composants électroniques et l'invention du circuit intégré ont permis de réunir sur des espaces infiniment moindres l'assemblage de composants électroniques des premiers processeurs. Au résultat de ce travail d'assemblage fut donné le nom de microprocesseur.

Le tout premier microprocesseur est l'œuvre des ingénieurs Marcian HOFF et Federico FAGGIN en service dans la société INTEL ; c'est le célèbre **4004**. Son annonce commerciale date du 15 novembre 1971.



*Federico Faggin*

Pour les ingénieurs de INTEL, le résultat à atteindre devait comporter quatre circuits : un processeur, une mémoire ROM destinée à recevoir le programme d'application, une mémoire RAM contenant les données introduites par l'utilisateur en vue de leur traitement et enfin un circuit contenant des registres ou portions de mémoires ultra-rapides ; le tout destiné à devenir le processeur des minis et des micro-ordinateurs comparable, sauf en taille, à celui des gros ordinateurs.



*Le C4004 en version céramique*

Les performances des microprocesseurs se mesurent à :

- l'accroissement de la vitesse d'exécution par la réduction des distances entre les composants et le nombre de transistors contenus dans le circuit intégré,
- l'accroissement de la fiabilité par la réduction des connexions,
- la réduction des coûts par une diminution de la consommation énergétique et la miniaturisation des composants.

La concurrence à INTEL ne tardera pas à se manifester. Tout au début des années '70, elle émane notamment de MOTOROLA, de ZILOG, de MOS TECHNOLOGY, de TEXAS INSTRUMENT, de NATIONAL SEMICONDUCTOR. En 1974, on compte dix-neuf microprocesseurs sur le marché, quarante en 1975 et soixante-quatre en 1976. Leur essor est directement lié au développement des technologies appliquées dans la fabrication des circuits intégrés.

Pour tous ces fabricants, l'année 1984 est celle des 32 bits. Leurs produits présentent une architecture de mémoire hiérarchisée : mémoire locale, mémoire-cache, mémoire système et mémoire virtuelle. Ils s'ouvrent désormais au marché de la CAO, (Conception Assistée par Ordinateur), de la robotique et des télécommunications. Son utilisation se révèle rapidement efficace et économique dans une grande variété de domaines : l'électroménager, la haute-fidélité, la télévision et les magnétoscopes, la surveillance des patients dans les hôpitaux, l'automobile, les feux de signalisation, les systèmes d'alarme et tous les outils de la bureautique.

Finalement, le 4004 réunit toutes les fonctions attendues d'un processeur ; celles-ci sont égales en performances à celles de l'ordinateur ENIAC de 1946 qui avait un volume de 60 m<sup>3</sup>, occupait plus de 150 m<sup>2</sup> et pesait près de 30 tonnes.

Le circuit intégré du 4004 mesure 3,81 mm de long, 2,79 mm de large, soit un peu plus de 10 mm<sup>2</sup>. La finesse de gravure est de 1 centième de mm (par comparaison, l'épaisseur d'un cheveu est de 1 dixième de mm, celle de l'atome de silicium est de 0,1 milliardième de mm). Il est contenu dans un boîtier à 16 broches ; appliquées sur le circuit imprimé, ces broches établissent la liaison entre le circuit intégré et l'extérieur, notamment, les dispositifs d'entrée et de sortie des données.

Le 4004 intègre 2 300 transistors et exécute 60 000 opérations par seconde. La fréquence de l'horloge est de 740 kHz, l'hertz étant l'unité de fréquence égale à un cycle par seconde. Il traite les données dans une dimension de 4 bits, suffisante pour traiter dans le mode binaire les chiffres de 0 à 9.

Entre 1971 et 1989, INTEL produira une vingtaine de microprocesseurs de plus en plus performants. Le 80486 sorti en avril 1989 présentait les caractéristiques principales suivantes : 1 200 000 transistors, finesse de la gravure égale à 1/1000 de mm, 20 millions d'opérations exécutées par seconde, fréquence de l'horloge de 16 à 100 MHz, dimension des données de 32 bits.

## **6.9. La programmation symbolique**

À l'instar des machines mécanographiques, certains des premiers ordinateurs à tubes étaient programmés par câblage. On ne parle alors que de logique et de calcul câblés. Comme dans les ateliers de mécanographie, tout le travail exécuté sur quelques-uns des ordinateurs de la 1<sup>ère</sup> génération reposait sur une technique qui s'exerçait au moyen des mémorables « tableau de connexions ».

Toutefois, sur ces ordinateurs, les câbles ne mettaient plus en fonction des dispositifs électromécaniques mais bien des composants électroniques.

En fait, cette logique et ces calculs câblés, programmés dans le tableau de connexions, permettaient de figer les liens entre les circuits électromécaniques ou électroniques de manière à ce que les impulsions déclenchent les fonctions prévues dans un ordre immuable.

Pour faire fonctionner les ordinateurs dont le programme pouvait être enregistré en mémoire adressable selon la théorie de Von Neumann, les ingénieurs eurent d'abord recours à la programmation en langage machine. Toutes les composantes d'une instruction étaient converties en mode binaire avant d'être introduites, bit par bit, dans la mémoire de la machine.

Le caractère fastidieux de ce travail fut rapidement reconnu. Il y fut remédié par l'invention et avec l'apparition des premiers langages de programmation symbolique. L'Assembler, en 1948, et ses dérivés, A0 et Autocoder, font partie des langages de 2<sup>ème</sup> génération.

Vinrent ensuite ceux de la 3<sup>ème</sup> génération ; parmi les principaux, il faut citer : le Fortran en 1956, le Cobol en 1959, le PL1 en 1964, le Basic en 1965 et le Pascal en 1968. Le recours à ces langages dits de haut niveau engendra un nouveau métier, celui de programmeur.

Un langage symbolique se caractérise par l'usage de tous les caractères d'écriture, par la présence d'un vocabulaire et par le respect de règles de syntaxe propres à ce langage. Le programmeur formule les instructions exécutables et définit les données que le programme doit traiter au moyen de mots symboliques ou mnémoniques, garantissant à la fois toute possibilité de modification de son programme et la pérennité de son travail.

Le programme rédigé et enregistré sur un support compatible (cartes ou bandes perforées) porte le nom de « programme source ». Présenté en lecture à l'ordinateur, le programme est imprimé et converti en langage machine par un programme appelé « compilateur » propre au langage utilisé ; le résultat se présente généralement sous la forme d'un jeu de cartes perforées appelé « programme objet ». Celui-ci sera lu par le lecteur de cartes connecté à l'ordinateur et enregistré dans la mémoire de celui-ci pour effectuer le travail demandé.



Line		Label	Operation	Operand
1	2			
2.1			STB	REGULARISATION DES RETENUES ANSA POUR L'ANNEE 1963
2.2			CTL	441
2.3	X1		R	
2.4			BCE	X2, A, 9
2.5	SWX1		B	STP1
2.6	X3		MLC	X0, CTR6#1
2.7			MLC	X0, CTR2#1
2.8			MLC	X0, CTR1#1
2.9			MLC	240, 31
2.10			MLZ3	7, 8
2.11			MLC	8, INDP#1
2.12	X4		BCE	X5, A, 1
2.13			BCE	X6, A, 2
2.14			BCE	X7, A, 6
2.15			SS	1
2.16	X8		ALC	X9
2.17			R	
2.18			C	8, INDP#1
2.19			BH	STP2
2.20			BE	X4
2.21	X10		C	X1, CTR1
2.22			DU	STP3
2.23			C	X1, CTR2
19A			MLZ3	7, 8
03AX				LOGIQUE GENERALE

La première page d'un programme rédigé dans un langage de 2<sup>ème</sup> génération, AUTOCODEUR

2

*La première page du listing d'un programme après compilation ou assemblage*

1. le programme en langage symbolique
2. la position de la mémoire dans laquelle se trouve le 1<sup>er</sup> caractère de l'instruction
3. les instructions (8 caractères maximum) en langage machine, mode décimal

### **6.10. La multiprogrammation**

Elle consiste à faire exécuter simultanément plusieurs programmes résidant dans la mémoire centrale de l'ordinateur. Elle élève ainsi le taux de rendement non seulement de l'unité centrale mais également celui des périphériques.

Elle résulte du constat que plus de 75 % du temps d'exécution passé par un programme est en attente des opérations d'entrée et de sortie des données à traiter ou traitées. Les opérations de lecture ou d'écriture de données depuis ou vers les unités de bandes et de disques magnétiques sont relativement lentes.

La célèbre et puissante machine d'IBM, réalisée en 1960-1961 et baptisée STRECH, est la première à pratiquer la multiprogrammation. Les ordinateurs de la seconde génération, dont le 1401 d'IBM, restent néanmoins des ordinateurs mono-programmables. La nouvelle technologie fait vraiment son entrée dans l'informatique avec l'annonce des ordinateurs de troisième génération commercialisés à la fin des années '60 : les 2500, 3500 et 6500 de BURROUGHS, le 1108 d'UNIVAC et la famille 360 d'IBM.

Le contrôle de toutes les fonctions propres à la multiprogrammation est confié au système (ou logiciel) d'exploitation :

- la gestion des concordances d'accès aux différentes ressources,
- l'attribution des priorités, celles-ci pouvant être fixes ou variables dans le temps,
- la protection des espaces dédiés à chaque programme dans la mémoire,
- la gestion des adresses de localisation des instructions programmées et des données traitées,
- le contrôle permanent du bon fonctionnement de tous les organes de la machine.

Il va sans dire que la multiprogrammation n'est rendue possible que grâce à l'accroissement de la capacité des mémoires centrales et aux performances des composants électroniques qui les activent.

### **6.11. La gestion des entrées - sorties (le spooling)**

L'unité centrale et les organes d'entrée - sortie travaillent en simultanéité. La technique du spooling tend à réduire les temps morts provoqués dans l'unité centrale par la lenteur des organes d'entrée-sortie. C'est l'une des grandes innovations qui ont contribué à accélérer les traitements de gros volumes d'informations sur les ordinateurs centraux. L'innovation avait fait sa première apparition sur les ordinateurs de 3<sup>ème</sup> génération en 1965.

## **6.12. L'introduction des bus**

On appelle bus le dispositif qui assure, à l'intérieur d'un ordinateur, le transport de toutes les informations nécessaires au bon fonctionnement de l'ordinateur. Tous les éléments matériels d'un ordinateur sont donc raccordés à un bus.

Voulant rompre avec l'architecture traditionnelle, DEC (Digital Equipment Corporation) introduit tout au début des années '60 l'utilisation d'un bus dans ses mini-ordinateurs et plus particulièrement sur le PDP1. Le concept repose au départ sur un seul bus. Très rapidement la technique évolue vers la présence d'un second bus. L'un est réservé au transfert d'informations entre la mémoire et l'unité de traitement ; l'autre est dédié aux entrées - sorties des périphériques.

Le bus est pour les constructeurs un moyen d'économie et de standardisation dans la fabrication des ordinateurs. Il facilite aussi la tâche des constructeurs OEM de périphériques ; il suffit dorénavant d'enficher le coupleur du périphérique, quelle que soit son origine, sur le bus pour l'intégrer dans une configuration.

La vitesse de transfert des premiers bus est proche des 2 Mo/s (2 millions d'octets à la seconde). Elle évoluera progressivement pour atteindre en quelques années un débit de 100 Mo/s sur tous les types d'appareils : micro, mini et gros ordinateurs.

## **6.13. La hiérarchisation de la mémoire**

De quoi étaient composés les premiers ordinateurs ? D'une unité de traitement et d'une mémoire tout simplement ; pour cette dernière il convenait cependant de distinguer la mémoire centrale de celle offerte par le disque magnétique. En 1965, dans la famille 360 d'IBM, la mémoire la plus capacitaire était de 512 Ko (512 mille octets) et celle d'une unité de disques était de l'ordre de 30 millions d'octets.

D'autres niveaux de mémoire sont introduits au début des années '70. Contrairement à l'introduction des bus et à la microprogrammation qui s'opèrent d'abord sur les minis, la notion d'antémémoire voit le jour avec l'arrivée sur le marché de la famille 370 d'IBM.

L'antémémoire, appelée aussi mémoire-cache, a pour but de soulager la mémoire centrale dans son travail.

L'information appartenant aux périphériques transite par l'antémémoire avant sa transmission vers la mémoire centrale. Elle peut même résider en permanence dans l'antémémoire selon la fréquence avec laquelle elle est utilisée par la mémoire centrale. La capacité d'une mémoire-cache n'est, à l'origine, pas très élevée : 8 à 16 Ko. Sa vitesse d'accès, par contre, est 10 fois supérieure à celle de la mémoire centrale : quelque 10 ns contre 100 ns (nanosecondes ou milliardième de seconde). Ces performances garantissent à la mémoire centrale une réception, au premier appel, de l'information demandée dans 90 % des cas.

Au milieu des années '80, IBM introduit un niveau supplémentaire de mémoire : la mémoire d'arrière-plan. Située entre la mémoire principale et l'antémémoire, ce nouveau dispositif est destiné à optimiser la pagination. Celle-ci, dans le contexte de mémoire virtuelle, consiste à délester la mémoire centrale des parties (ou pages) de programmes peu fréquemment utilisées en transférant celles-ci sur disque. Dorénavant les pages quittant la mémoire centrale seront conservées dans la mémoire d'arrière-plan.



## 6.14. La mémoire virtuelle

Ce nouveau concept introduit encore un niveau particulièrement efficace dans le fonctionnement des mémoires centrales d'ordinateurs.

Avant l'existence de la mémoire virtuelle, tout programme résidait dans son entièreté dans l'espace de la mémoire qui lui était attribué, pendant tout le temps de son exécution. La dimension de cet espace était proportionnelle à la taille du programme. Pour tous les centres informatiques recourant à la multiprogrammation, l'exiguïté des mémoires centrales de l'époque limitait donc le nombre de programmes en exécution simultanée.

Schématiquement, la technique de la mémoire virtuelle permet d'exécuter un nombre de programmes dont la taille globale dépasse l'espace réel de la mémoire centrale. Dans ce but, tout programme exécutable est subdivisé en pages. Une page de programme est une partie de programme chargée en mémoire réelle au moment où les instructions et les données qu'elle contient sont requises pour la bonne exécution du travail programmé.

C'est le système d'exploitation qui gère la fonction de « pagination » des programmes. De manière tout à fait transparente pour l'utilisateur, toute page en inactivité est transférée sur un espace approprié des disques afin de libérer de l'espace pour toute autre page appelée à entrer en activité. La transparence est à ce point effective que tout utilisateur possesseur d'un espace virtuel (appelé aussi machine virtuelle) bénéficie réellement d'un mini-ordinateur et de tous les périphériques qui lui sont nécessaires.

Le concept du virtuel oppose forcément la mémoire virtuelle à la mémoire réelle et l'adressage dynamique à l'adressage absolu. Il transforme l'espace réel en un espace virtuel beaucoup plus vaste qui prend place sur les disques magnétiques. Tout programme est chargé dans l'espace virtuel de la même manière qu'il le serait en mémoire réelle. L'espace virtuel adressable est lié à la taille du **registre d'adressage** de son unité de traitement. La taille de ce registre est de 24 bits ; elle permet à l'unité de traitement d'avoir accès à  $2^{24}$  (exposant 24) adresses, soit 16 777 216 adresses ou octets de mémoire. À cette époque, des mémoires réelles de cette taille n'existent pas. Une mémoire réelle de 250 K d'octets peut ainsi être transformée en une mémoire virtuelle 64 fois plus capacitaire.

Comme toute page d'un programme contenu dans la mémoire virtuelle peut être chargée à n'importe quel endroit disponible de la mémoire réelle, les adresses virtuelles de la page sont converties, par le système d'exploitation en adresses réelles avant le transfert en mémoire réelle. Cette opération est réalisée par un dispositif appelé DAT (Dynamic Address Translation).

Le MIT (Massachusetts Institute of Technology), les constructeurs BURROUGHS et IBM sont reconnus comme les pionniers de la mémoire virtuelle. IBM est le premier à proposer à ses clients un système d'exploitation basé sur la technique de la mémoire virtuelle. Ce système, appelé VM / 370, est offert sur les ordinateurs 370 / 158 et 370 / 168 commercialisés en 1972. La capacité accrue de 24 à 31 bits du registre d'adressage de ces ordinateurs permet dorénavant de disposer de  $2^{31}$  (exposant 31) adresses, soit plus de 2 milliards d'adresses ou octets de mémoire.

### **6.15. Les réseaux ISO**

Les réseaux conformes à la norme ISO ont pour but la connexion de minis, micros ou simples terminaux à un ordinateur central.

Au début des années '80, tous les grands constructeurs disposent de leur propre réseau : BNA chez BURROUGHS, DSA chez BULL, SNA chez IBM, DECNET chez DEC, BSN chez HEWLETT – PACKARD, DNA chez NCR.

Parmi tous ces réseaux, SNA d'IBM, (System Architecture Network) joue un rôle central dans la mesure où tous les autres constructeurs proposent un système de passerelle vers celui d'IBM.

SNA voit le jour en 1974. À ses débuts, il dispose essentiellement de deux logiciels : VTAM (Virtual Télécommunications Access Method) et NCP (Network Control Program). Le second fonctionne au sein d'un contrôleur de télécommunications de type 3705. Les premières liaisons se limitent à donner l'accès à de simples terminaux. D'autres matériels sont rapidement intégrés dans le réseau : contrôleurs de soutien et ordinateurs frontaux. Les fonctions hiérarchisées de distribution autorisent progressivement le traitement de données à l'extérieur de l'ordinateur central.

Pratiquement tous les constructeurs développent leur propre réseau selon la progression suivie par IBM. Seul DEC oppose à la hiérarchisation préconisée par IBM une méthode basée sur la collégialité reconnue et appliquée entre tous les types de matériels intégrés dans son réseau DECNET. Quant à IBM, ce n'est qu'à la fin des années '70 que le constructeur permet d'interconnecter ses différentes familles d'ordinateurs.

En 1978, l'ISO (International Standards Organization) émet en matière de réseaux une recommandation capitale appelée OSI (Open Systems Interconnection). La vocation de la norme OSI est de permettre à des systèmes informatiques et à des réseaux hétérogènes de communiquer sans difficultés. L'OSI est organisé en 7 couches parfaitement indépendantes, entre lesquelles sont réparties les responsabilités de traitement et de contrôle.

### **6.16. Les réseaux locaux**

C'est XEROX qui, le premier, met en projet dans ses laboratoires l'étude d'un réseau local. En mai 1980, il annonce officiellement un dispositif appelé ETHERNET. Un mois seulement après l'annonce, XEROX signe un accord avec INTEL et DEC aux termes duquel chacun s'engage à développer en commun un système de réseau destiné à une utilisation locale.

ETHERNET constitue la base du projet. L'objectif est de relier sur un câble coaxial divers matériels informatiques : ordinateurs centraux, périphériques, minis et micros. Chacun apporte son savoir-faire : XEROX le fruit de 10 années de recherche, INTEL sa maîtrise des composants et DEC son expérience dans le domaine des minis. Le projet est conçu selon une topologie en bus. Pratiquement cette conception implique que l'utilisateur doit attendre que la voie soit libre. En cas de collision, il réitère sa demande.

Les moyens médiatiques mis en œuvre ne produisent pas immédiatement l'intérêt attendu de la part du public. Il est vrai que les prix annoncés en 1982 sont plutôt dissuasifs : de 3 à 4,5 millions BEF pour une configuration d'environ 10 postes de travail. D'autant plus qu'en la matière, IBM garde le silence. Un silence inquiétant pour certains !

Ce silence est rompu en 1983, à Genève, quand IBM accorde aux visiteurs du salon COM 83 une présentation de son LAN (Local Area Network). Mais point d'annonce. Ce n'est qu'en octobre 1985 que le constructeur dévoile enfin son produit : un système de conception totalement différente de celle d'ETHERNET. Appelé TOKEN RING, le réseau est conçu sur l'anneau en ce qui concerne la topologie et sur le jeton comme méthode d'accès. La lutte est désormais engagée entre deux standards rapidement reconnus : 802.3 pour le réseau ETHERNET et 802.4 pour le TOKEN RING d'IBM.

### **6.17. L'évolution des architectures**

Le fonctionnement de l'unité de traitement (ou processeur) d'un ordinateur repose sur une architecture. Depuis l'origine, la plupart des ordinateurs fonctionnent selon l'architecture de VON NEUMANN qui s'est lui-même inspiré des théories de TURING.

Le principe général de l'architecture VON NEUMANN est de centraliser les opérations dans un bloc unique de traitement. Les instructions sont puisées successivement dans la mémoire interne de l'ordinateur, décodées et ensuite exécutées en agissant sur les ressources internes (registres, mémoires, etc...) ou sur des ressources externes (périphériques). Toutes ces informations passent par un bus unique créant un goulet d'étranglement et ralentissant d'autant l'exécution du travail.

Cette architecture est conçue sur le **traitement séquentiel** ordonné par le programme, tant pour les instructions que pour les données. Par sa conception, elle est aussi appelée architecture SISD (Single Instruction Single Data). Au temps  $t$ , le processeur ne traite jamais qu'une seule instruction et la donnée ou le couple de données qui lui sont associés.

Ce traitement séquentiel ne présente pratiquement que des avantages tant dans la fabrication des ordinateurs que dans leur programmation. Le seul inconvénient appartient au domaine philosophique et concerne les instructions de débranchement dans un programme (les célèbres GOTO) qui contraignent le programmeur à faire du saute-mouton dans son raisonnement, gymnastique que d'aucuns considèrent comme une insulte au processus humain de pensée !

Divers mécanismes ont été imaginés par les constructeurs pour pallier les inconvénients de l'architecture VON NEUMANN.

Ce sont d'abord les **processeurs vectoriels** (Array Processors) qui peuvent exécuter des opérations sur des rangées de nombres. Cette architecture vectorielle est appelée SIMD (Single Instruction Multiple Data). Si les machines qui la possèdent sont très performantes dans l'environnement vectoriel, elles perdent néanmoins beaucoup de leur efficacité dans les traitements scalaires.

Certains constructeurs ont mis au point et commercialisé un système appelé **Pipe-Line**. Sachant que, dans la plupart des cas, certaines instructions s'enchaînent invariablement en séquence, la technique consiste à anticiper l'extraction de telles instructions et à regrouper celles-ci dans une ligne de production, le pipe-line. Ce procédé s'est généralisé avec l'introduction de la mémoire-cache, beaucoup plus rapide que la mémoire principale et qui contient des segments séquentiels de programme, fréquemment utilisés, disponibles à tout moment pour le processeur. Le travail de celui-ci reste toutefois séquentiel.

Vint alors le système des **multiprocesseurs** : deux ou plusieurs processeurs travaillant simultanément au sein d'un même ordinateur. Les ressources de la machine, mémoire et périphériques, sont partagées entre les processeurs. Deux formules ont été mises au point. La première consiste à dédicacer **une application à chaque processeur**. Le bénéfice escompté est généralement annihilé par la puissance exigée de la part du logiciel d'exploitation chargé des contrôles très complexes du partage des ressources. La seconde formule, appelée **traitement parallèle**, permet de confier **une même application à deux processeurs**. Cette forme de traitement parallèle à l'intérieur d'un même programme implique la présence de points de synchronisation qui garantissent le respect de la logique du programme. Un processeur ne peut, en effet, exécuter une instruction que dans la mesure où il peut logiquement le faire. Lorsque la structure du programme l'autorise, le gain peut évidemment être conséquent.

La dernière architecture proposée sur le marché est appelée **RISC** (Reduced Instruction Set Computer), par opposition aux autres architectures appelées CISC (Complex Instruction Set Computer). Elle est le fruit de recherches entreprises simultanément dans plusieurs laboratoires, notamment ceux des universités de Berkeley et de Stanford, ceux de HEWLETT- PACKARD et d'IBM. Chez ce dernier le projet est lancé au milieu des années '70 et confié à John COCKE. Il voit son aboutissement par la sortie en 1979 du premier processeur conçu dans l'architecture RISC. Celle-ci est fondée sur le fait qu'une machine est d'autant plus rapide qu'elle n'a à exécuter qu'un faible nombre d'instructions. Les statistiques d'exécution démontrent sans ambiguïté qu'un sous-ensemble d'instructions, les plus fréquemment utilisées, accapare l'essentiel de l'activité d'un processeur. Le principe du RISC repose non seulement sur le choix d'un jeu d'instructions réduit, mais également sur un nombre important de registres et une structure pipe-line fort élaborée. Parmi les premiers ordinateurs à utiliser l'architecture RISC, il faut retenir le PC / RT d'IBM et les 3000 / 930 et 950 de HEWLETT – PACKARD.



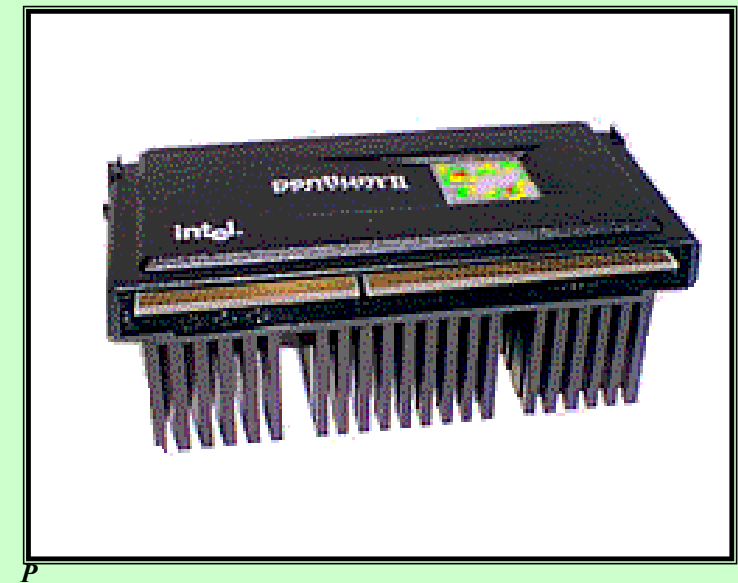
## 7. UNE FABULEUSE EVOLUTION DES CAPACITES ET DES PERFORMANCES DES MICROPROCESSEURS

Paru en 1993, le tableau suivant présente les caractéristiques essentielles des microprocesseurs INTEL : nombre de transistors, miniaturisation des circuits et performances.

Année	Nom	Transistors	Diamètre	Fréquence	Largeur	Mips
1971	4004	2.300			4 / 4	
1974	8080	6.000	6	2	8 / 8	
1979	8088	29.000	3	5	16 / 8	0,33
1982	80286	134.000	1,5	6	16 / 16	1
1985	80386	275.000	1,5	16	32 / 32	5
1989	80486	1.200.000	1	25	32 / 32	20
1993	PENTIUM	3.100.000	0,8	60	32 / 64	100

Estimations des prévisionnistes :

1997	7.500.000	0,35	233	32 / 64	300
1999	9.500.000	0,25	450	32 / 64	510
2000	50 .000.000	0,18	1.500	32 / 64	1.750
2004	150.000.000	0,09	3.600	32 / 64	
2006	300.000.000	0,075		32 / 64	



*Pentium de INTEL*

Année : l'année de commercialisation du microprocesseur,

Transistors : le nombre de transistors contenus dans le microprocesseur,

Diamètre : exprimé en microns (millionième de mètre ou millième de millimètre), le diamètre du cheveu humain est de 100 microns ou 1/10 de mm,

Fréquence : la fréquence de l'horloge qui cadence le microprocesseur, exprimée en millions de hertz,

Largeur : le premier nombre indique le nombre de bits sur lequel une opération est faite ; le second indique le nombre de bits transférés entre la mémoire et le microprocesseur,

Mips : le nombre de millions d'instructions effectuées en 1 seconde par le microprocesseur.

## 8. 1989 - QUEL AVENIR POUR L'INFORMATIQUE ?

*« Depuis plusieurs années, la densité d'intégration des composants double périodiquement. Le nombre de transistors implantés sur une puce est multiplié par deux tous les quinze mois environ et l'on prévoit d'arriver au milliard de composants aux alentours de l'an 2000. On est alors en droit de se demander si ce rythme va se poursuivre avec les technologies actuelles ou même futures, car finalement, quelle que soit la technique employée, la technologie reste tributaire des lois de la physique.*

*Les concepteurs d'ordinateurs se trouvent actuellement confrontés à plusieurs barrières qui font, et c'est malheureux à dire, que l'évolution des ordinateurs se trouve freinée de plus en plus par l'électronique elle-même, technologie qui pourtant leur avait donné naissance.*

*L'homme n'ayant pas la possibilité de modifier les lois de la physique, il ne peut pas accélérer la vitesse des électrons, donc du courant électrique, et il doit ruser pour que ses ordinateurs calculent toujours plus vite.*

*Réduire les distances entre composants est évidemment la première idée qui vient à l'esprit pour diminuer les temps de parcours entre composants et donc augmenter les performances. Le passage des tubes à vide aux circuits à semi-conducteurs a marqué une étape, celui des composants discrets aux circuits intégrés en a marqué une autre. Chaque fois les performances ont fait un bond en avant.*

*Y a-t-il des limites ? Assurément oui. D'abord en ce qui concerne la vitesse des électrons dans un circuit ; résultat du déplacement des électrons libres (électrons de valence) dans un corps conducteur, le courant ne voyage pas à la vitesse de la lumière, tant s'en faut, mais il a une vitesse finie qui est fonction du type d'élément et de sa température. Ainsi l'arséniure de gallium ou le phosphore d'indium ou d'autres composés encore plus exotiques, autorisent les vitesses largement supérieures à celle permises par le silicium, ce qui explique les recherches sur ces matériaux. Quant à la température, elle intervient aussi, car un conducteur qui s'échauffe à cause du passage des électrons gêne leur progression. D'où l'idée de faire fonctionner les circuits à des températures très basses. L'idéal étant le zéro absolu ou son voisinage qui permettrait de disposer de la supraconductivité : absence de résistance au cheminement des électrons et donc suppression de l'émission de chaleur par effet de Joule. Cependant depuis quelques mois, il ne semble plus nécessaire d'atteindre des valeurs thermiques aussi basses puisque les nombreuses découvertes faites dans le domaine de la supraconductivité à haute température laissent augurer des progrès étonnants dans la conception des circuits.*

*Ensuite, la taille des composants ne peut guère descendre en dessous des tailles moléculaires et, qui plus est, on ne peut rapprocher les composants les uns des autres autant qu'on le voudrait car, passé un certain seuil, il se produit des interférences néfastes.*

*En dehors du rapprochement des composants intimes, il reste aussi à rapprocher les ensembles de composants (les cartes) les unes des autres pour minimiser la distance parcourue par les signaux, c'est ce qui se fait beaucoup dans le domaine des supercalculateurs où des modèles comme les CRAY adoptent une forme circulaire plus compacte.*

*Puisque le courant électrique n'atteint pas la vitesse de propagation égale à celle de la lumière dans le vide, on peut envisager de construire des circuits dans lesquels ce ne serait plus un courant électrique qui passerait mais un rayon lumineux. La lumière présente pas mal d'avantages comme le fait de ne pas rayonner, ce qui veut dire que l'on peut rapprocher les composants sans risque d'interférences (et donc de piratage), et, ensuite, vitesse ultime de l'univers, elle se déplace à 299 792,5 km/seconde dans le vide ce qui est nettement plus élevé que le courant électrique.*

*Le moyen de produire de minuscules rais de lumière existe grâce, on le sait, au laser qui fournit une lumière monochromatique très pure et avec un faisceau très peu divergent. Des composants optiques, réalisant des fonctions identiques aux composants classiques (transistors, portes logiques) fonctionnent d'ores et déjà. On peut donc envisager de réaliser des ordinateurs soit partiellement optiques, c'est-à-dire dont seules les connexions entre les cartes seraient réalisées par fibres optiques, soit totalement optiques dans lesquels les circuits arithmétiques et logiques et la mémoire centrale seraient à base de composants optiques. Les futurs ordinateurs neuronaux, c'est-à-dire organisés sous forme de structures maillées de milliers de microprocesseurs, pourront tirer un avantage énorme de la technologie optique dans la mesure où elle permet de réaliser des connexions lumineuses croisées sans perte d'information, chose impossible avec des conducteurs électriques.*

*Cela étant, il s'agit encore de recherches de laboratoire et pour le moment l'ordinateur optique n'existe pas, et si ces performances sont séduisantes sur le papier, un long chemin reste à parcourir avant que les composants optiques ne soient capables de supplanter leurs homologues électroniques et que l'on sache construire des circuits logiques optiques de façon industrielle. Quoi qu'il en soit, il est à peu près certain que dans un proche avenir certaines catégories d'ordinateurs comporteront une large part de circuits optiques. »*

René-Pierre BALME, dans 01 Informatique du 8 mai 1989.