

## Evolution des technologies numériques

### Brève historique de l'informatique

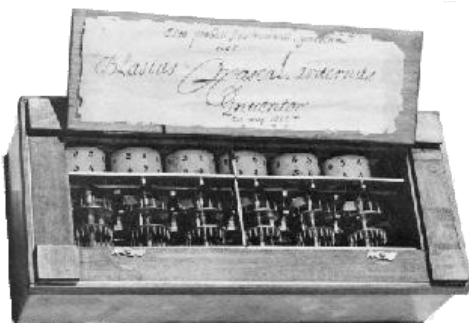
Pour relater chronologiquement les avancées de l'informatique, on se basera ici principalement sur les progrès concernant les aspects matériels. Le cas des développements logiciels sera ensuite examiné.

#### 1ère époque : la mécanique

Les principes physiques qui furent utilisés dans les premières machines à calculer, ancêtres de l'ordinateur, relevaient exclusivement de la mécanique, seule science véritable de l'époque.

Les "plateaux à calcul" (1000 ans avant Jésus-Christ) (remarquons au passage que le mot latin calculi (cailloux) donna naissance au mot calcul) laissèrent vers 500 avant JC la place au boulier chinois. Cette première machine est d'ailleurs encore employée de nos jours. Il faut attendre le 17ème siècle pour voir apparaître des machines fonctionnant à l'aide de roues ou cylindres à ergots :

- 1623 : machine de Schickardt, mathématicien allemand et universitaire ; cette machine fut construite pour effectuer des calculs d'astronomie (donc des calculs astronomiques !).
- 1643 : machine de Pascal (qui ne fonctionna paraît-il qu'en 1645). Pascal avait inventé cette machine pour venir en aide à son père, intendant des finances, afin d'effectuer des calculs financiers. De fait, cette machine effectuait des additions, soustractions et des conversions de monnaie.
- 1673 machine de Leibniz, capable théoriquement (la machine !) d'effectuer des additions et des multiplications. A cause des difficultés techniques, le premier exemplaire ne vit le jour que vingt ans après.



machine de Pascal 1642 (la "Pascaline")

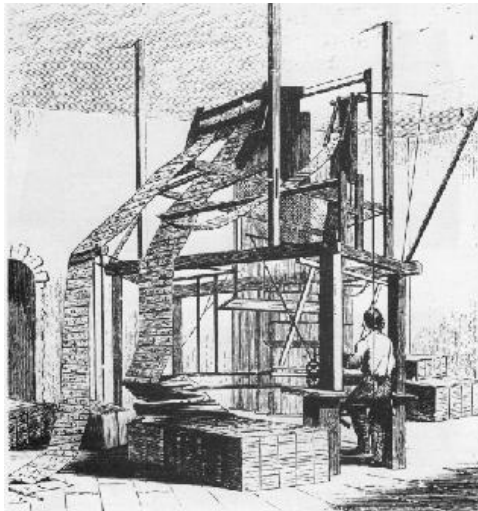
*"La machine arithmétique fait des effets qui approchent plus de la pensée que tout ce que font les animaux mais elle ne fait rien qui puisse faire dire qu'elle a de la volonté, comme les animaux." (Les Pensées de Blaise Pascal).*

*machine de Wilhelm Leibniz, présentée en 1673 à la Société Royale de Londres. La date est controversée, mais il est sûr que le philosophe et mathématicien conçut une telle calculatrice dans le même temps que Newton posait les bases du calcul différentiel et intégral.*



Il est à noter que, probablement, ces machines furent inventées indépendamment les unes des autres et qu'elles utilisaient toutes les techniques dérivées de l'horlogerie : roues dentées, ergots, ...

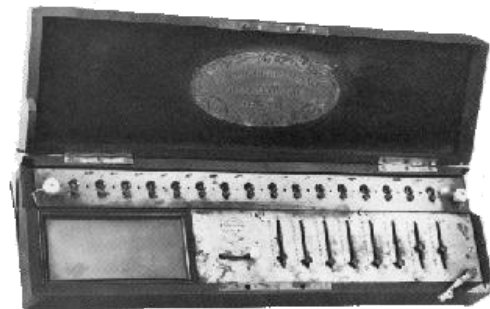
Dans un domaine tout différent de premier abord, apparurent en 1728 le métier à tisser de Falcon, puis en 1801 le métier à tisser de Jacquard. Dans ces machines, le procédé de tissage était communiqué aux organes actifs par l'intermédiaire de bandes de carton perforé (comme dans les orgues de barbarie). On peut considérer qu'il s'agissait là, d'une part, de la première utilisation d'un programme et de cartes perforées, d'autre part, des débuts de l'informatique industrielle.



*métier à tisser de Jacquard (1805). Il fut précédé par le métier à tisser de Basile Bouchon en 1725 qui utilisait déjà les rubans perforés, puis par celui de Falcon en 1728. Vaucanson s'inspira de ces travaux pour ses automates.*

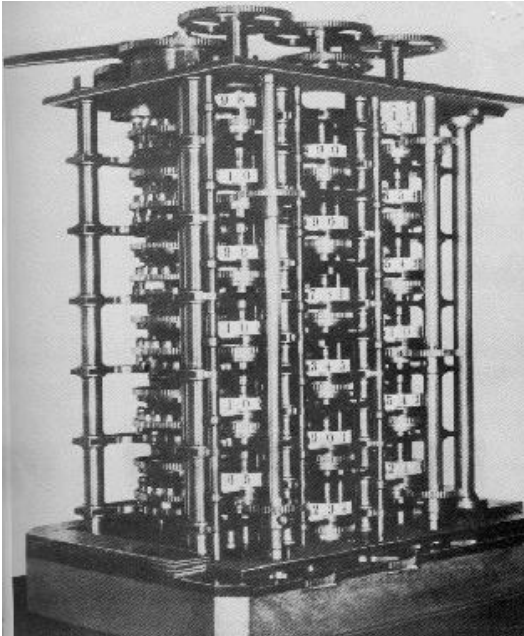
En 1820, la première machine à calculer "commercialisable fait son apparition sous le nom d'Arithmomètre de Thomas de Colmar de la Compagnie d'Assurances "Le Soleil" : 1500 exemplaires vendus en 60 ans. C'est le début d'un marché qui deviendra de nos jours celui de l'informatique.

*Arithmomètre de Charles Xavier de Colmar (1821).*



Les grands principes des machines à calculer à programme externe furent développés par Charles Babbage vers 1830. En se basant sur les idées de Jacquard et les principes d'horlogerie des Jacquemarts (automates), il entreprit de construire une machine révolutionnaire. Il n'y arrivera jamais faute de moyens techniques suffisants ; cependant ses plans et ses idées furent repris plus tard vers 1938. Le programme externe consistait en cartes perforées introduites dans une unité

d'entrée ; le corps de la machine était constitué d'une mémoire (store), d'une unité arithmétique et logique (mill) et d'une unité de commande (control unit) ; enfin, était prévue une unité de sortie pour la restitution des résultats du calcul. Le but de la machine était d'effectuer des opérations complexes définies comme une séquence d'opérations élémentaires. Notons que Babbage fut aidé et encouragé par Ada Lovelace, fille du poète Byron, dont le prénom a été donné à un langage de programmation moderne : ADA ; elle peut, à juste titre, être considérée comme le premier programmeur (programmeuse ?) de l'histoire.



*machine de Charles Babbage (1833)*

*Charles Babbage, le "premier informaticien", ne put jamais réaliser sa machine, mais l'architecture prévue est la base des prochains ordinateurs*



Pour terminer la période de la mécanique, signalons la machine de Burroughs (nom célèbre aujourd'hui encore), destinée à des applications de gestion, qui était très complexe et qui réalisait une impression automatique des résultats. Burroughs créa, d'ailleurs, une société, la American Arithmetometer Co ; ce personnage était haut en couleur : en 1889, déçu de ne pas avoir pu vendre suffisamment de machines, il jeta par la fenêtre les 50 exemplaires qui lui restaient sur les bras !

Puis vint la machine de Bollée (3 exemplaires construits) en 1888 qui effectuait la multiplication par voie directe (et non par additions successives) (le père de Bollée avait construit au Mans une automobile à vapeur ; elle est à l'origine de la fameuse course des "24 heures du Mans").

En 1895 apparut la machine de Steiger ("Le Millionnaire") qui effectuait aussi les multiplications par voie directe ; elle fut vendue à plus de 1000 exemplaires en 3 ans.

Enfin, en 1912, Monroe produisit une machine qui effectuait les multiplications et les divisions par voie directe.

Mais il était difficile de faire mieux seulement avec la mécanique.

## 2ème époque : l'électromécanique

Les possibilités de la mécanique étaient insuffisantes (elles furent la cause de l'échec de Babbage). L'utilisation de l'électricité couplée à la mécanique fit faire de nouveaux progrès.

A cette époque, deux tendances eurent cours : celle des machines analogiques et celle des machines numériques. Les machines analogiques sont basées sur le principe très simple suivant : les nombres sont représentés par des grandeurs physiques : tensions, intensités, résistances,...

Nous ne les étudierons pas ; signalons qu'elles présentaient des inconvénients sérieux : non universelles, peu précises relativement, mémorisation difficile. Elles ne sont de nos jours utilisées que pour des applications bien précises (on peut voir un calculateur de cette sorte au CETIM à Senlis).

En 1890, Hollerith, ingénieur au bureau de recensement US, construisit une machine électromécanique pour faciliter les opérations de recensement (essentiellement des tris et des comptages). Cette machine, appelée machine mécanographique, utilisait des cartes perforées (12cm x 16cm : 210 cases). Une "sorting box" permettait d'opérer des tris de manière automatique.



*Hermann Hollerith (1860-1929) utilise des machines à cartes perforées pour le recensement américain de 1890. En 1896, il fonde une société, la Tabulating Machine Company, ancêtre d'IBM.*

*machine mécanographique de Hollerith (1890). Elle utilisait des cartes perforées, déjà en usage dans les premiers métiers à tisser.*

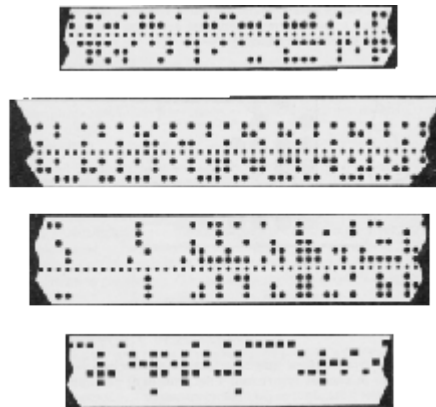




*La machine "à compter" d'Hollerith fut l'ancêtre des machines mécanographiques, appelées aussi tabulatrices.*

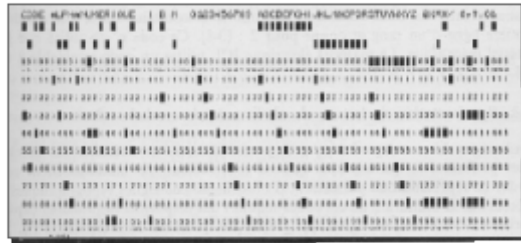
Vers 1922, Bull, ingénieur norvégien, qui avait déjà déposé des brevets concernant la réalisation d'un ensemble de calcul électromécanique, fonda une société de construction de machines mécanographiques.

*rubans perforés, longtemps utilisés pour le codage de l'information et sa mémorisation*



*perforatrices et tabulatrices sont les machines indispensables pour le codage de l'information et la manipulation des cartes perforées*

*carte perforée au standard de codage IBM/Hollerith*



Vers 1936, les principes qui allaient être mis en oeuvre dans la construction des futurs calculateurs furent établis par L.Couffignal (France), K.Zuse (Allemagne), A.M.Turing (Grande-Bretagne). On vit apparaître alors les premiers calculateurs binaires : le Bell Labs Relays Computer de Stibitz (1937), machine qui utilisait des relais électromécaniques, puis le Z1 (1938) de Zuse ; il fut suivi du Z2 (1939), puis du Z3 (1941) qui disparut dans les bombardements.



*Konrad Zuse développa le système de calcul en "virgule flottante" (de même que George Stibitz). Il présente ici sa machine Z1.*

*Alan Turing (1912-1954) a travaillé sur la théorie des calculateurs et a défini en 1937 le principe de la machine algorithmique et participé au projet Colossus*



Enfin et surtout apparut en 1944 la machine Harvard-IBM, appelée plus tard MARK 1, réalisée conjointement par Aiken (université de Harvard) et par IBM. Cette machine concrétisait les idées de Babbage. Elle pesait 5 tonnes, avait 16,6 m de long et 2,60 de haut. Elle comprenait 800 000 éléments dont 3 000 relais. Les informations étaient transmises par ruban perforé et la mémoire était constituée d'accumulateurs à roues et cadrans. Elle possédait une horloge de synchronisation et nécessitait un refroidissement avec des tonnes de glace. Elle réalisait une addition en 0,6 s, une multiplication en 6 s et une division en 12 s. Des versions suivantes furent élaborées : MARK II (1944), MARK III (1949) et MARK IV (1952).



*Connu d'abord sous le nom de ASCC (Automatic Sequence Controlled Calculator), le MARK1 s'inspirait de la machine de Babbage.*

## 3ème époque : l'électronique

Ici commence en fait l'histoire de l'informatique. En effet, les problèmes techniques de la réalisation des ordinateurs ne furent vraiment résolus que par l'arrivée de l'électronique. L'usage fait que l'on parle de "générations" en ce qui concerne les phases successives du développement des ordinateurs. Cette notion de génération quoique discutable permet cependant de jalonner les progrès réalisés depuis la fin de la seconde guerre mondiale.

### 1ère génération : les tubes électroniques (1945-1958)

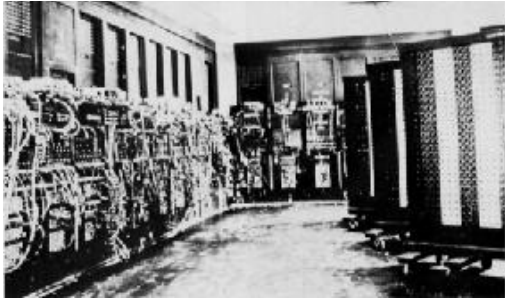
Les tubes électroniques ont permis de remplacer les relais. On peut encore en voir dans les très anciens postes de radio ou de télévision. Ils fonctionnaient en tout ou rien (le courant passe ou ne passe pas) et ressemblaient à des ampoules électriques.



*tubes électroniques sur la façade arrière des calculateurs de l'époque*

Le premier ordinateur électronique opérationnel fut l'ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator) réalisé en 1946 par J.P.Eckert et J.W.Mauchly. Cette machine qui pesait 30 tonnes occupait un volume de 85 m<sup>3</sup> et une surface au sol de 160 m<sup>2</sup>, contenait 18 000 tubes et consommait 150 kWh (équivalent au chauffage d'un immeuble). Elle fut élaborée à Philadelphie à l'Université de Pennsylvanie (Moore School).





*L'ENIAC, est le premier grand calculateur électronique, achevé en 1943.*



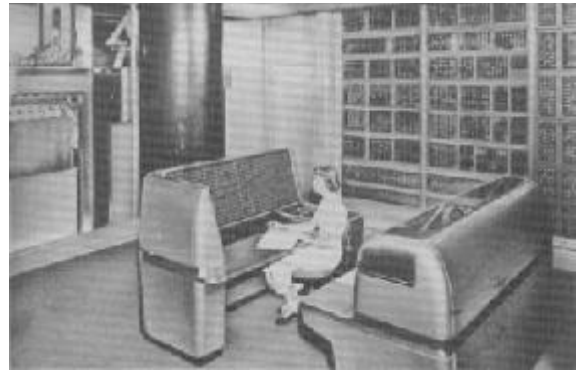
*J.Presper Eckert se passionnait pour l'électronique. Il définit une nouvelle conception des tubes à vide.*

*John W. Mauchly (1908-1980) quitta la direction du département de Physique de l'Ursinus College en 1941 pour rejoindre la Moore School qui signa un contrat avec le Ballistic Research Lab en juin 1943 pour réaliser une machine à calculer électronique. Il fut l'un des principaux architectes de l'ENIAC.*



Dans la machine précédente, le programme était communiqué à l'unité de traitement au fur et à mesure de l'exécution, de l'extérieur. C'est en 1948 que fut réalisée la première machine à programme enregistré et donc, nous pouvons le dire, le premier ordinateur : l'IBM SSEC (Selective Sequence Electronic Calculator). 100 fois plus rapide que MARK 1, cette machine possédait 21 400 relais électromécaniques et 13 500 tubes à vide et les instructions des programmes étaient traitées comme des données. Cependant, cette machine n'était pas totalement électronique ; ce fut par contre le cas de l'ordinateur EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator) en 1949 et de la machine de Manchester de Williams, Newmann, Kilburn, Good en 1948.





*Construit sous la responsabilité de Franck Hamilton et Rex Sheeber et sur les conseils de Wallace J. Eckert (à droite), l'IBM SSEC (à gauche) est considéré comme le premier ordinateur*



*L'Edsac pourrait être considérée comme le premier ordinateur totalement électronique, titre revendiqué également par le BINAC et le WHIRLWIND*



La période qui suivit vit se développer la technologie des "lignes à retard" employée dans BINAC (1949), WHIRLWIND (1950), UNIVAC I (1951). Puis les tubes électroniques remplacèrent les lignes à retard et furent mis en oeuvre sur IBM 701 (1953). Une autre technologie des mémoires vit le jour, celle des tambours magnétiques employée sur le GAMMA ET de Bull en 1958. Enfin apparurent la technologie performante des mémoires à tores de ferrite sur UNIVAC 1103A (1954) et IBM 704 (1954).



*Construit par la firme anglaise Ferranti, l'Univac1 fut livré en février 1951 au Royal Society Computing Machine Laboratory de l'Université de Manchester.*

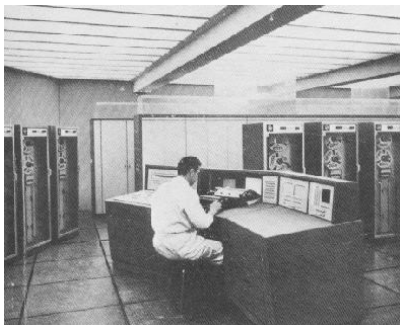
*L'IBM 704 fut conçu par Gene Amdahl et possédait une mémoire centrale à tores de ferrite*



### **2ème génération : les semi-conducteurs (1958-1964)**

L'emploi des tubes à vide avait trois gros inconvénients : l'encombrement, la mauvaise fiabilité, la grande consommation d'énergie. L'utilisation des diodes et des transistors à semi-conducteurs (le transistor avait été découvert en 1947 par Bardeen, Brattain, Shockley) à la place des tubes permit de réduire très fortement ces inconvénients. Les premiers ordinateurs entièrement transistorisés apparurent vers 1959 : GE 210, IBM 1401, NCR 304, RCA 501,...

A cette époque furent construites les machines les plus puissantes possibles : LARC (1959), IBM 7030 également appelée STRETCH (1960), GAMMA 60 (1960). Voici quelques exemples de performances : addition : quelques microsecondes ; virgule flottante ; capacité mémoire allant jusqu'à 72 millions d'éléments binaires.



*L'architecture du Gamma60 de Bull lui permettait d'assurer trois activités : la mémoire, le multitraitement, la coordination entre les traitements et leurs ressources.*

### **3ème génération : les circuits imprimés (1964-1970)**

Les ordinateurs devenant de plus en plus complexes, il fut nécessaire de simplifier les circuits ce qui fut fait avec l'emploi des circuits intégrés. Les techniques RTL (Resistor-Transistor-Logic), DTL (Diode-Transistor-Logic), puis TTL (Transistor-Transistor-Logic) se succédèrent. Ces techniques permirent de réduire considérablement la taille des ordinateurs :

- SSI (Small Size Integration) : 100 transistors sur 1 cm<sup>2</sup>
- MSI (Medium Scale Integration) : 100 à 1000 transistors sur une puce de 30 mm<sup>2</sup>
- LSI (Large Scale Integration) : 1000 à 10 000 transistors sur une puce.

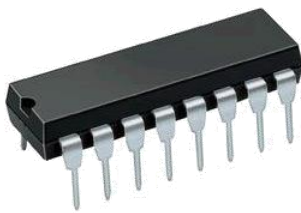
et aujourd'hui VLSI (Very), et VVLSI (Very very)



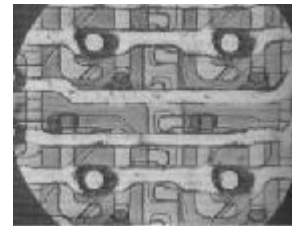
*au centre, une micro-plaquette ou puce et, autour, les composants qu'elle remplace.*



*IBM utilisait de manière industrielle les circuits intégrés*



*un circuit intégré des années 80 dans son "pack" en céramique (Dual In Line) prévu pour l'insérer sur des circuits imprimés.*



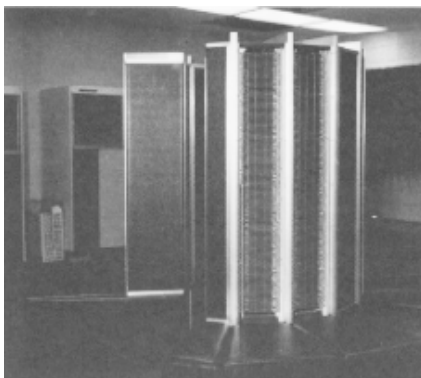
*détail d'un circuit intégré*

En 1955 apparurent les mémoires à semi-conducteurs qui allaient peu à peu remplacer les mémoires à tores de ferrite.

Les machines typiques de cette époque sont CDC 6600, IBM série 360, UNIVAC 1107, 1108,...

#### **4ème génération : intégration poussée et micro-informatique (1970-...)**

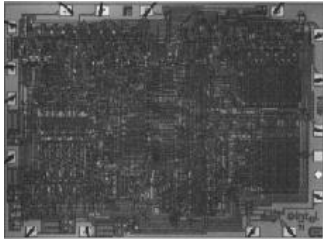
Cette génération qui débute vers 1970 concerne l'ère moderne de l'informatique. On pourrait la subdiviser en périodes successives, mais le progrès étant si important, il est difficile de faire un découpage qui serait admis par tous.



*Le Cray 1, imaginé par Seymour Cray, fut l'un des ordinateurs les plus puissants de la fin des années 70*

La génération présente correspond aux faits marquants suivants :

- la miniaturisation n'a cessé de croître (paradoxal, non !) pour aboutir vers 1975 à la VLSI (Very Large Scale Integration), puis à l'ULSI (Ultra Large Scale Integration)
- l'apparition des microprocesseurs en 1971, puis des micro-ordinateurs en 1973 a permis le développement de l'informatique personnelle ou micro-informatique



*Intel 4004, le premier microprocesseur, fut suivi du 8008, puis du 8080.*

*Un an après l'invention du premier microprocesseur, des prototypes de micro-ordinateurs naissent en France (François Gernelle et André Truong Thi de la société R2E) comme le Micral N et aux Etats-Unis chez Xerox (l'Alto) et Digital. Puis vinrent le micro-ordinateur "en kit" proposé par la revue Radio-Electronics (1974) et inventé par John Titus, puis le kit Altair 8080.*

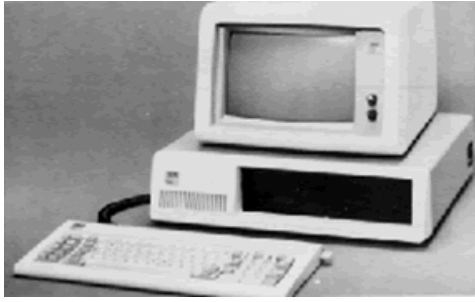


*Clive Sinclair, inventeur britannique et virtuose du commerce des micro-ordinateurs, contribua à faire baisser les prix des micro-ordinateurs. Le jeu de la concurrence de l'époque en était la cause principale (Tandy, Commodore, Altos, Sinclair, et ... Apple)*

La fin des années 70, puis les années 80 ont vu un essor particulièrement remarquable de l'informatique "personnelle".



*Steve Wozniak, Steve Jobs, Dan Kottke présentent l'Apple I (1976)*



*L'IBM PC (1981)*



*Le premier Macintosh d'Apple*

De fait, les innovations en matière de technologies électroniques n'ont cessé de se succéder : En 2010, Intel produit le Intel Core i7 (Gulftown) avec 1 170 000 000 transistors, une finesse de gravure 0,032  $\mu$ m, (1 cheveu : 100  $\mu$ m) et une puissance de 147 600 MIPS.



La loi de Moore est bien vérifiée : Le nombre de transistors par puce quadruple tous les 3 ans.

Aujourd'hui concurrencé par Samsung, Apple s'est montré ces dernières années un leader en matière d'innovation s'orientant vers les téléphones intelligents (smartphones) comme l'iPhone ou vers les tablettes tactiles comme l'iPad:



*Ipad 2*

- les réseaux de transmission d'informations, les banques de données et la conjugaison de l'informatique avec les télécommunications ont donné naissance à la télématique dans un premier temps, à Internet de nos jours.



*Tim Berners Lee, l'inventeur du Web*

- les technologies employées pour la fabrication des composants électroniques ont fait chuter le coût des matériels de façon quasi-exponentielle (heureusement !).

## **Du côté du logiciel**

Les progrès du logiciel, moins visibles que ceux du matériel pour l'utilisateur ordinaire de 1946 à 1970, ont, pour leur part, été fondamentaux. La notion de programme enregistré que l'on peut considérer comme faisant la différence entre calculateur et ordinateur a donné vers 1950 l'essor de la programmation ; par la suite en 1951, le premier compilateur (Remington Rand et US Navy), permettant la traduction d'un langage de programmation en un langage "machine" annonçait les ensembles de programmes utilitaires et plus généralement les systèmes d'exploitation.

Une des grosses difficultés, dans l'utilisation des premiers ordinateurs, était la programmation fastidieuse en langage machine. De 1945 à 1957, des langages mnémotechniques et symboliques furent innovés, qui simplifièrent la tâche du programmeur. Mais le grand événement fut l'apparition de FORTRAN 1 de J. Backus, langage évolué permettant une programmation dans un langage proche du langage mathématique.

Cet événement donna lieu de 1958 à 1965 à la multiplication et la diversification des langages de programmation. Plus de 120 langages furent inventés, la plupart, malheureusement sans standardisation et dépendants de l'ordinateur employé. Certains de ces langages s'imposèrent néanmoins : ALGOL, COBOL, APL. Dans le même temps, la linguistique mathématique, la théorie des langages formels (Chomsky), la formalisation de la définition des langages (Backus) se développèrent.

Vers 1964, on s'orienta vers l'élaboration de langages dits "universels" destinés à être utilisés par une large classe de programmeurs. Ainsi naquirent PL/1 (1964), BASIC (1965), PASCAL (1970) tandis que dans le domaine de la gestion, COBOL régnait en maître (jusqu'à nos jours !).

A partir des années 90, les langages basés sur la modélisation objet prirent le pas sur les anciens langages : C, C++, Java sont des langages courants de nos jours.

On ne peut terminer cette évocation historique sans mentionner deux aspects logiciels majeurs :

- l'essor des bases de données par l'apparition des modèles hiérarchiques et réseaux dans un premier temps, du modèle relationnel à partir des années 1970, encore largement utilisé aujourd'hui, et les modèles orientés objet.
- l'évolution des systèmes, c'est à dire la façon d'utiliser l'ordinateur. En 1956, le traitement était effectué par "lots" (Batch Processing). En 1959, des sous-programmes permirent la gestion des entrées-sorties ; ces sous-programmes furent intégrés au système d'exploitation en 1961. Enfin 1962 vit apparaître l'exploitation en "temps partagé" (Time Sharing) issu de la

multiprogrammation. Enfin, un système d'exploitation universel fit sa percée réussie : Unix, dont la version populaire récente est Linux.



Linus Thorwald, créateur de Linux

## La problématique du stockage

Numériser l'information, c'est bien, mais la stocker efficacement (pour la retrouver rapidement) c'est mieux !

La technologie a permis des progrès considérables en ce domaine. Rappelons pour fixer les idées l'évolution du stockage personnel :

1970	1980	1990	2004
<b>disquette 8"</b>	<b>disquette 5"1/4</b>	<b>disquette 3"1/2</b>	<b>clé USB</b>
80 Ko	360 Ko 1,2 Mo	720 Ko 1,44 Mo	plusieurs Go

évolution du stockage personnel

Concernant le stockage professionnel, des dispositifs performants sont aujourd'hui largement disponibles. Cependant, le volume des données et le coût des dispositifs sont très contraignants pour des solutions d'archivage (pour lequel des données doivent être conservées longtemps).

Rappelons que l'archivage est l'action d'enregistrer, de classer et de conserver des documents pour des consultations futures. C'est une forme de stockage particulière concernant de grands volumes (qui s'accroissent au cours du temps).

L'archivage pose le problème des cycles technologiques (en général de quelques années) et de la pérennité de la conservation :

- Disque magnétique : 5 à 10 ans
- Disques optiques : 10 à 50 ans

Le marché propose des solutions d'archivage, mais on peut aussi avoir recours à un archivage externe avec la possibilité d'un tiers archiveur (labellisation par la Fédération Nationale des Tiers de Confiance).

Signalons que l'archivage de certains documents est une obligation :

- Fiches de paie : 5 ans
- Ordres de bourse : 5 ans

- Documents fiscaux : 6 ans
- Images-chèques : 10 ans
- Contrats commerciaux : 10 ans
- Commandes clients : 10 ans
- Bons de commande : 10 ans
- Bons de livraison : 10 ans
- Factures clients : 10 ans
- Documents d'assurance : 30 ans
- Actes notariés : illimité

Pour ces documents il faut garantir l'authenticité qui s'exprime, dans le monde numérique, par la non-réinscriptibilité du support :

- Disque optique non réinscriptible (CD WORM, DON, DVD-WORM)
- Disques magnétiques non réinscriptibles : ex Système Centera

Article 1348 du Code civil : "***Est réputée durable, toute reproduction indélébile de l'original qui entraîne une modification irréversible du support*** "