

---

# L'histoire de l'architecture des ordinateurs

---

## Antiquité

Les Babyloniens, au III<sup>e</sup> millénaire av. J.-C., sont considérés comme les premiers à avoir développé des algorithmes. Ils ont élaboré des méthodes de calcul et de résolution d'équations, bien que leurs descriptions se limitaient souvent à des exemples spécifiques plutôt qu'à des méthodes générales.

### Mathématiciens grecs

**Euclide**, qui a vécu à Alexandrie vers 300 av. J.-C., est l'auteur de l'un des algorithmes les plus célèbres et encore utilisés aujourd'hui. Son algorithme, décrit dans le livre 7 des *Éléments*, permet de trouver le plus grand diviseur commun (PGCD) de deux nombres. Cet algorithme est remarquable car il contient explicitement une itération et inclut une démonstration de sa validité. **Ératosthène**, vers 200 av. J.-C., a développé le "crible d'Ératosthène", un algorithme permettant de trouver tous les nombres premiers dans un ensemble données.

### Contribution d'Archimède

Archimède, mathématicien grec du III<sup>e</sup> siècle av. J.-C., est reconnu pour avoir proposé le premier algorithme de calcul de  $\pi$  (pi). Cette avancée a marqué une étape importante dans le développement des méthodes de calcul numérique.

## Moyen âge

### Approche systématique

Bien qu'Al-Khwârizmî soit crédité pour avoir systématisé l'étude des algorithmes au IX<sup>e</sup> siècle, il est important de noter qu'il a principalement classifié et formalisé des méthodes existantes plutôt que de les inventer. Son travail a néanmoins été crucial pour la diffusion et la compréhension des algorithmes dans le monde médiéval<sup>1</sup>. Le mot **algorithme** est issu de son nom.

---

<sup>1</sup> Dans son ouvrage *Abrégé du calcul par la restauration et la comparaison*, il étudie toutes les équations du second degré et en donne la résolution par des algorithmes généraux.

## 17<sup>ème</sup> au 19<sup>ème</sup> siècle

Au 17<sup>e</sup> siècle, le philosophe et scientifique Blaise Pascal développe une machine d'arithmétique capable de faire mécaniquement des additions et soustractions, et par répétition des multiplications et des divisions. On la nomme aujourd'hui *Pascaline*.



Une pascaline, signée par Pascal en 1652

Un exemple d'utilisation ici : [https://www.youtube.com/watch?v=GX4RQK\\_fQc](https://www.youtube.com/watch?v=GX4RQK_fQc)

Au 18<sup>e</sup> siècle, l'inventeur français Joseph Jacquard automatise les métiers à tisser mécaniques, le motif est codé sous la forme d'une séquence d'instructions décrites par une carte perforée.



En 1840, le mathématicien anglais Henry Babbage conçoit une machine à calculer mécanique à vapeur dont la séquence d'instruction est fournie par une carte perforée. La machine fonctionnant en décimal est complexe et jamais il ne terminera sa construction. Cependant c'est pour cette machine majoritairement théorique que Ada Lovelace, comtesse anglaise, écrira les premiers programmes informatiques.

Dans les mêmes temps, George Boole mathématicien et philosophe britannique, formalise une algèbre binaire, n'acceptant que deux valeurs numériques : 0 et 1. Elle est nommée depuis Algèbre Booléenne et bien adaptée aux relais tubes et transistors. Elle simplifiera beaucoup la réalisation de calculateurs.

## 20<sup>ème</sup> siècle

En 1936, Alan Turing mathématicien britannique propose un modèle théorique de machine permettant d'exécuter toute opération mathématique calculable à partir de quelques instructions simples : La machine de Turing universelle. Une machine est alors dite Turing complète si elle permet de faire tout ce que le modèle théorique décrit.

L'allemand Konrad Zuse achève le Z1 en 1938, un ordinateur mécanique utilisant le système binaire, puis le Z3 en 1941, premier ordinateur complètement automatique lisant son programme sur une bande perforée.

Le Z3 utilisait déjà le calcul en virgule flottante et réalisait 3 ou 4 additions à la seconde.

Peu après, aux États-Unis, Howard H. Aiken construit l'ordinateur électromécanique Mark I (1944), inspirée par les travaux de Babbage.

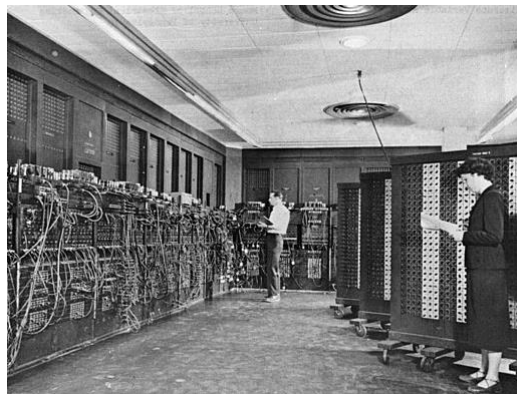
L'apparition des tubes à vide, bien plus rapide que les relais des machines électromécaniques, marque le début de l'électronique. La construction de la première machine électronique est initiée par John Vincent Atanasoff en 1942.



Un tube électronique également appelé tube à vide

### 1945 : L'ENIAC, premier calculateur programmable

L'ENIAC (acronyme de l'expression anglaise Electronic Numerical Integrator And Computer) est en 1945 le premier ordinateur entièrement électronique pouvant être Turing-complet. Il peut être reprogrammé pour résoudre, en principe, tous les problèmes calculatoires. Sous la direction de John Mauchly et de J. Presper Eckert, ce **calculateur universel** était destiné à effectuer des calculs de valeurs des tables de tir d'artillerie. La machine était **programmable** par câblage, c'est à dire que pour chaque problème donné à résoudre, il fallait passer de longues heures à câbler la machine. L'ENIAC pesait 27 tonnes et occupaient une surface de 170 m<sup>2</sup>. Les calculs arithmétiques (additions, soustractions, multiplications) étaient possibles à raison de 5000 opérations par seconde. Les entrées-sorties se faisaient au moyen de cartes perforées. L'ENIAC sera dévoilé au grand public le 14 février 1946.



L'ENIAC

Sous l'influence de John von Neumann, l'ENIAC est à partir de 1947 reconverti en ordinateur à programme enregistré, quoique de façon quelque peu plus primitive que les ordinateurs qui lui succéderont. Ainsi, le 12 avril 1948, l'ENIAC devient également le premier ordinateur électronique à exécuter les instructions d'un programme, ainsi que le premier ordinateur à exécuter, avec quelques limites, un programme fonctionnant en mémoire

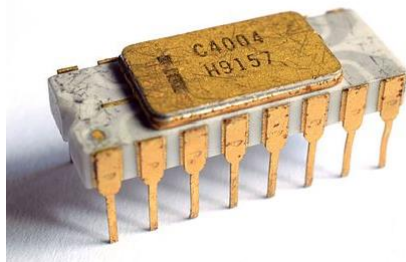
## 1945 : Naissance du modèle de von Neumann

Le mathématicien John von Neumann reprends les idées de Eckert et Mauchly en y ajoutant le concept de **machine universelle** introduit par Alan Turing en 1937. Cette nouvelle architecture est révolutionnaire : munie d'un processeur et de dispositifs d'entrée-sortie, elle permet d'enregistrer des données au cours de l'exécution d'un programme enregistré dans sa **mémoire physique**. Ce qui rend le modèle de von Neumann si novateur est le fait de pouvoir stocker les données et les programmes dans la même mémoire. Plus de 70 ans après son invention, les concepts du modèle d'architecture de von Neumann sont toujours présents dans les ordinateurs modernes.

## Miniaturisation des composants

Le transistor (1947) devient un produit industriel très fiable qu'on peut fabriquer à faible coût au milieu des années 1950. C'est la fin des tubes à vide. Le circuit intégré, qui rassemble de nombreux composants sur une petite surface, apparaît en 1958 et ne cessera de se perfectionner.

En 1968, Gordon Moore et deux associés fondent la société Intel (Integrated Electronic) dans la naissante Silicon Valley. Et en 1971 commercialise le premier processeur monolithique (sur une seule puce), l'Intel 4004 avec 2300 transistors<sup>2</sup>. La largeur de grille des transistors, ici 10 Micromètres, caractérise la finesse de gravure des transistors.



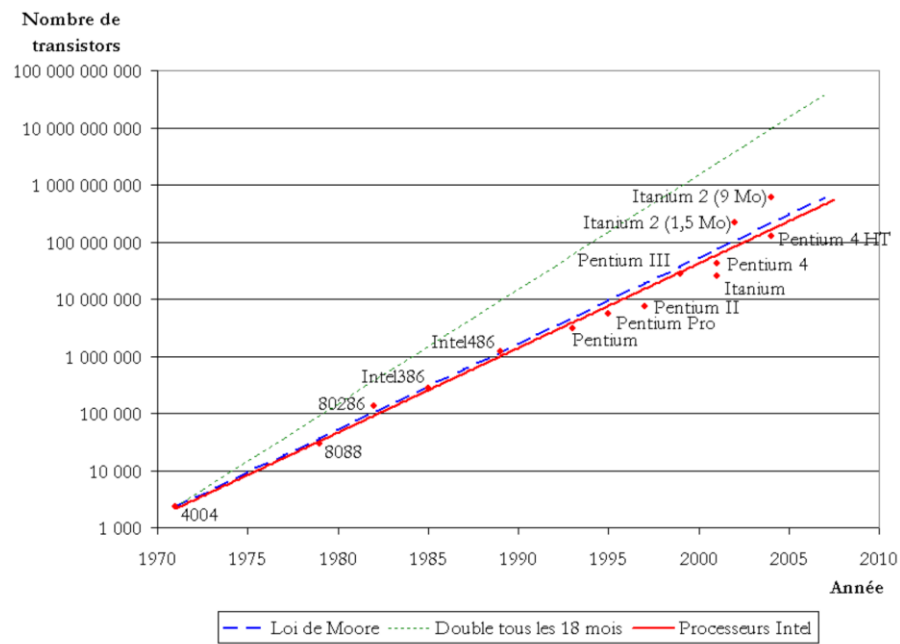
Intel 4004

Peu après, Gordon Moore corrige sa première prédiction<sup>3</sup> et **annonce un doublement du nombre de transistor par circuits intégré tous les deux ans**. A la fois anticipation et roadmap de l'industrie micro-électronique, cette loi continue d'être vérifiée 46 ans après. Soit une multiplication par  $2^{23}$  du nombre de transistors sur une puce.

---

<sup>2</sup> Le transistor est un composant électronique qui est utilisé dans la plupart des circuits électroniques (circuits logiques, amplificateur, stabilisateur de tension, modulation de signal, etc.) aussi bien en basse qu'en haute tension.

<sup>3</sup> La première de ces lois est émise par le docteur Gordon E. Moore en 1965, lorsque celui-ci postule sur une poursuite du doublement de la complexité des semi-conducteurs tous les ans à coût constant. Dix ans plus tard Moore ajusta sa prédiction à un doublement du nombre de transistors présents sur une puce de microprocesseur tous les deux ans.



## L'avènement de la micro-informatique

### Quelques prérequis – La mémoire ROM et la mémoire RAM ?

La mémoire ROM (Read Only Memory) et la mémoire RAM (Random Access Memory) sont deux types de mémoire informatique avec des fonctions distinctes :

- **Mémoire ROM**

La ROM est une mémoire non volatile et permanente.

Elle conserve les données même lorsque l'appareil est éteint.

Elle stocke des informations essentielles au démarrage et au fonctionnement de base de l'appareil, comme le BIOS.

Son contenu ne peut généralement pas être modifié par l'utilisateur.

Elle est parfois appelée "mémoire morte" en français.

- **Mémoire RAM**

La RAM est une mémoire volatile et temporaire.

Elle stocke temporairement les données et programmes en cours d'utilisation.

Son contenu est effacé lorsque l'ordinateur est éteint.

Elle se présente sous forme de barrettes qui se branchent sur la carte mère.

Sa capacité et sa vitesse influencent largement les performances de l'ordinateur.

Elle permet d'accéder rapidement aux données, d'où son nom "mémoire vive".

En résumé, la ROM stocke des données permanentes essentielles au fonctionnement de base, tandis que la RAM stocke temporairement les données en cours d'utilisation pour un accès rapide par le processeur.

Le **BIOS** (Basic Input/Output System) est un composant essentiel d'un ordinateur qui joue un rôle crucial dans son fonctionnement. Voici les principales caractéristiques du BIOS :

#### Définition et localisation

Le BIOS est un microprogramme intégré à la carte mère de l'ordinateur. Il est stocké dans une puce mémoire spéciale appelée EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory), également connue sous le nom de puce BIOS.

#### Fonctions principales

Le BIOS remplit plusieurs fonctions essentielles :

- **Initialisation du matériel** : Lors de l'allumage de l'ordinateur, le BIOS est le premier logiciel à s'exécuter. Il vérifie et initialise le matériel de base, y compris le processeur, la mémoire RAM et les disques durs.
- **Démarrage du système d'exploitation** : Après l'initialisation du matériel, le BIOS charge le système d'exploitation depuis le disque dur.
- **Gestion des périphériques** : Le BIOS gère les périphériques matériels de l'ordinateur et permet de configurer certains paramètres, comme l'ordre de démarrage des disques.

**1976 – Commercialisation de l'Apple 1** : Steve Jobs et Steve Wozniak finissent leur ordinateur qu'ils baptisent Apple Computer. Ils fondent la société Apple le 1er Avril 1976. L'ordinateur sera vendu 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.

À la différence d'autres ordinateurs amateurs de cette époque, qui étaient vendus en kit, l'Apple I était constitué uniquement d'une carte assemblée comprenant des composants électroniques dont environ 21 circuits intégrés. Cependant, pour en faire un ordinateur fonctionnel, les utilisateurs devaient encore l'intégrer dans un boîtier avec une alimentation, un clavier, et un écran de télévision.





**I.B.M. (International Business Machines) met, en 1981, son premier PC sur le marché.** Le micro-ordinateur s'enrichit d'un véritable système d'exploitation (MS-DOS de Microsoft), et présente une architecture « ouverte », permettant d'envisager de nombreux ajouts de périphériques et l'utilisation de nombreux logiciels.

Dès son apparition, le PC entre dans l'entreprise. Il intéresse énormément les cadres en raison des possibilités qu'il offre dans deux domaines privilégiés : le traitement de texte et les applications de type « tableur » (calculs sur des données organisées en tableaux numériques).

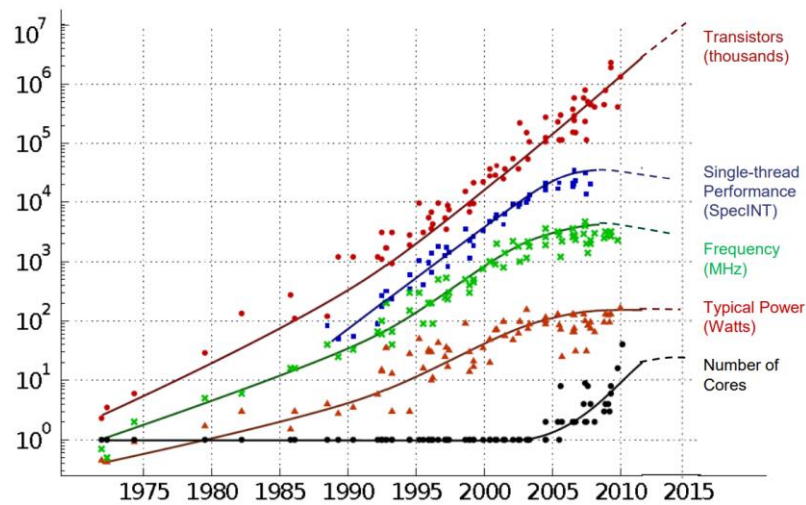
Dans le même temps, grâce au développement d'interfaces homme-machine graphiques conviviales (tel le célèbre Windows de Microsoft), l'informatique dite « domestique » (ouverte aux particuliers) se généralise. I.B.M. réagit en adaptant son micro-ordinateur à ce nouveau marché. Le PC abandonne la cassette et s'enrichit de lecteurs de disquettes d'une capacité de 160 kilooctets (ko) d'abord, puis de 360 ko.

En 1987, le total des ventes mondiales atteint dix millions de machines. Ce succès, qui est lié à la notoriété et à la puissance d'I.B.M., donne au PC un statut de standard de fait.



## Une limite physique : le mur de chaleur

### 35 YEARS OF MICROPROCESSOR TREND DATA



Original data collected and plotted by M. Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K. Olukotun, L. Hammond and C. Batten  
Dotted line extrapolations by C. Moore

Le graphique ci-dessus montre l'évolution sans limites des caractéristiques des processeurs de 1970 à 2000.

Nombre de transistors par puce, puissance de calculs par tâches, fréquence et puissance électrique augmentent conjointement. En 2002 on atteint une puissance de 30 Watts par centimètre carré. Un processeur faisant environ 3 cm carré à l'époque, le Pentium 4 en phase de calcul consomme 100 Watts / 70 ampères soit 1.5 v. En comparaison, une plaque de cuisson du commerce annonce 7 Watts par centimètre carré. Cette première limite posée au développement de l'informatique est nommée **mur de chaleur**.

### Croître malgré l'échauffement, les évolutions récentes de l'informatique

Le changement de millénaire marque un tournant dans l'architecture informatique. Le mur de chaleur imposant une limite importante, plusieurs solutions vont emmener l'architecture des processeurs à se complexifier pour tenir l'augmentation des performances requises par une informatique foisonnante.

Les évolutions récentes de l'informatique doivent donc se faire malgré ce mur de chaleur établi environ à 30 Watt par centimètre carré.

La technologie continue de suivre la loi de Moore, les principaux fabricants : Intel, AMD, et NVIDIA ayant atteint 10 Milliards de transistors par puce. Notons par ailleurs que le coût des processeurs est resté globalement constant, conséquence d'une baisse du coût du transistor inversement proportionnel à la loi de Moore.

La chaleur n'ayant pas arrêté le développement des processeurs, la taille des atomes exercera peut-être une influence ?