

## Objectifs :

- ★ Théorie : comprendre l'organisation de l'ordinateur autour son élément central, le microprocesseur, et comprendre les mécanismes matériels essentiels de l'informatique. En bref, comprendre le lien entre le circuit électronique et l'architecture processeur.
- ★ Pratique : réaliser et utiliser un simulateur de processeur 4 bits.

## 1 L'ordinateur : pourquoi ?

L'ordinateur est né du besoin d'automatiser les calculs afin de calculer avec toujours plus de complexité et de rapidité.

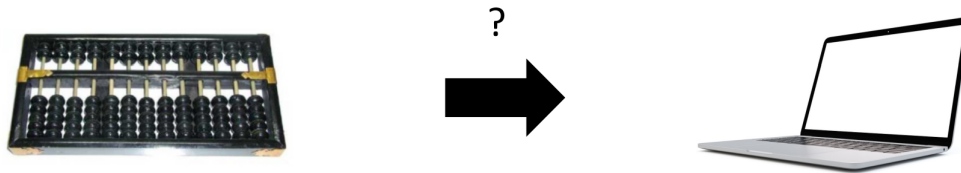


FIGURE 1 – Quelles évolutions ???

## 2 Un peu d'histoire...

### 2.1 La première génération : les calculateurs mécaniques

Blaise Pascal (1623-1662) crée en 1642 *La Pascaline* qui sera la première calculatrice mécanique basée sur des roues dentées. Avec ce dispositif, étaient possible l'addition et la soustraction dans le système décimale, ainsi que la prise en compte des retenues.

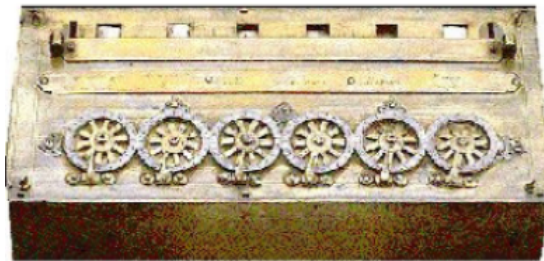


FIGURE 2 – La Pascaline

Puis le mathématicien britannique Charles Babbage (1792-1871) mit en place une *machine analytique* en 1840 basée sur la lecture de cartes perforées sur lesquelles étaient stockées données et instructions par séquence permettant d'exécuter différents algorithmes. Cette machine était constituée de quatre parties :

- ★ le magasin = mémoire,
- ★ le moulin (unité de calcul),
- ★ l'entrée (lecteur de cartes perforées),
- ★ la sortie (perforation ou impression).

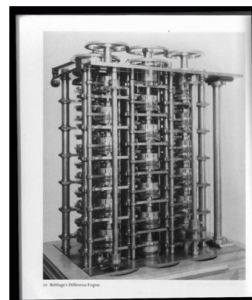


FIGURE 3 – Charles Babbage et la première machine analytique (1840)

## 2.2 La deuxième génération : les calculateurs électromécaniques

John A. Fleming (1849-1945) invente le tube à vide en 1904 comme interrupteur électronique. Mais les pannes étaient fréquentes et l'encombrement important.

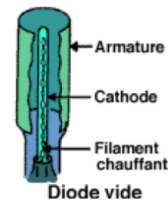


FIGURE 4 – John A Fleming et un tube (ou diode) à vide

Alan Turing (1912-1954) formalise ensuite une machine universelle décrivant un modèle abstrait du fonctionnement d'un ordinateur et de sa mémoire, introduisant ainsi à la fois un support idéal pour le raisonnement autour d'algorithmes et un modèle de calcul. Ce premier calculateur électromécanique est resté sous silence pendant 30 ans.



FIGURE 5 – Alan Turing et sa machine ayant servi à la cryptanalyse de la machine Enigma

## 2.3 La troisième génération : les ordinateurs électroniques reprogrammables

Le premier ordinateur électronique, l'ENIAC, a été développé par Mauchly et Eckert à travers un projet de l'US Army avec la participation du mathématicien Von Neumann en 1946. C'est le premier ordinateur entièrement électronique pouvant être reprogrammé par branchement. Il a été vendu 500 000 dollars à l'unité. Le temps d'un cycle de calcul était de 200 ms soit 5 cycles/s.

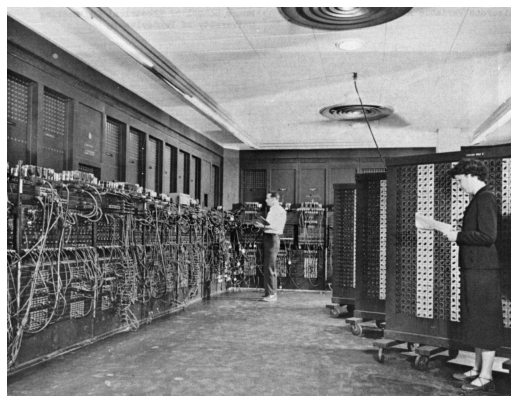


FIGURE 6 – Ordinateur ENIAC

L'ENIAC en quelques chiffres :

- ★ 30 m de long et 2,5 m de haut,
- ★ poids de 30 tonnes,
- ★ consommation de 150 kW,
- ★ 18 000 tubes à vide et 1500 relais
- ★ 20 registres de 10 chiffres décimaux
- ★ 6000 commutateurs pour la programmation.

## 2.4 Von Neumann et la quatrième génération

### 2.4.1 Von Neumann

John von Neumann (1903-1957) est un mathématicien célèbre qui s'est greffé au projet ENIAC après 1946. Son idée fut de représenter un programme sous sa forme numérique et le ranger en mémoire comme les données. La programmation contraignante des commutateurs est alors remplacée par la création d'un jeu d'instructions machines. Il introduit et développe l'arithmétique binaire. Le modèle de Von Neumann est l'ancêtre à la base des architectures actuelles. Il développe l'IAS en 1952 qui devient le premier ordinateur à programme enregistré.

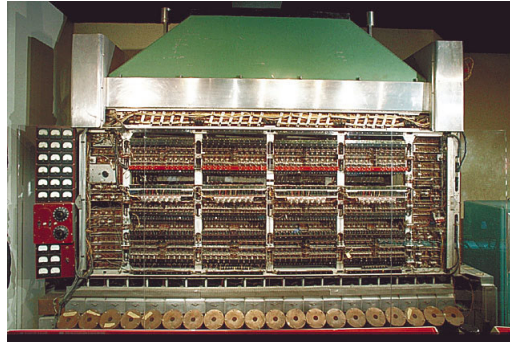


FIGURE 7 – John von Neumann et la machine IAS

### 2.4.2 Schéma de l'architecture de Von Neumann

Selon l'architecture de von Neumann, le cœur de l'ordinateur est structuré en quatre parties :

- ★ la mémoire principale,
- ★ l'unité de traitement (UAL),
- ★ l'unité de commande,
- ★ l'unité d'entrées/sorties.

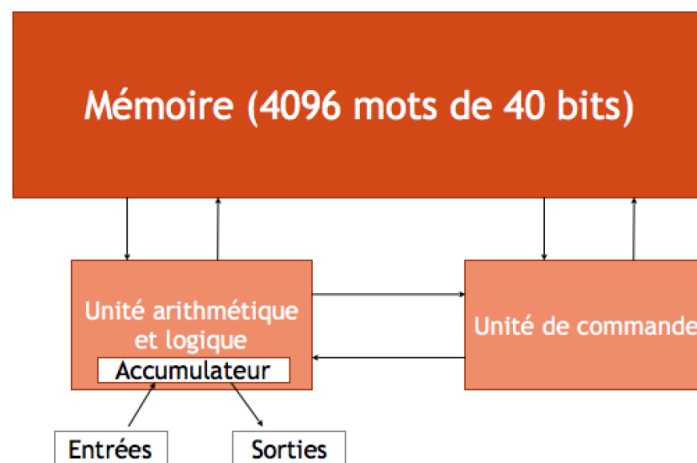


FIGURE 8 – Architecture de von Neumann

### 3 Un immense progrès sur la route de l'ordinateur : le transistor

#### 3.1 Le transistor

Découvert en 1947 au « Bell labs » par John Bardeen, William Shockley et Walter Brattain, le *transistor* fonctionne comme un tube à vide ou un relais. On commence à le fabriquer à faible coût au milieu des années 1950.

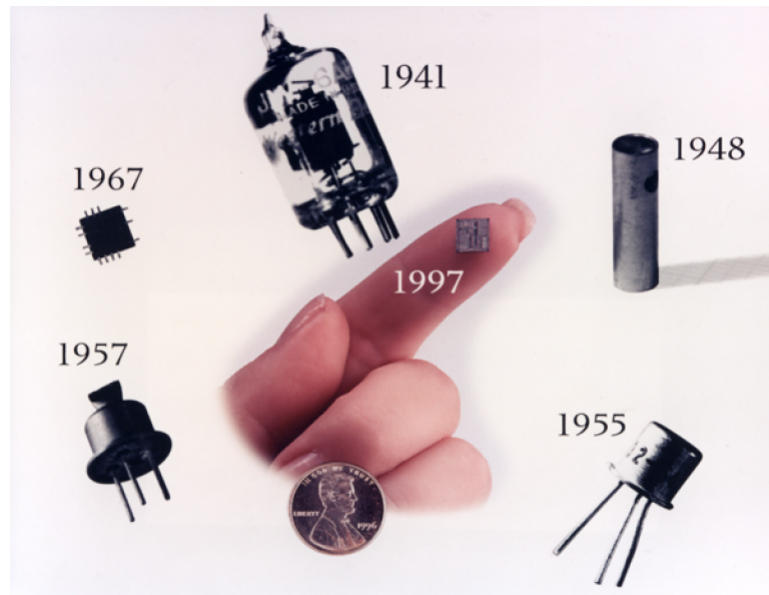
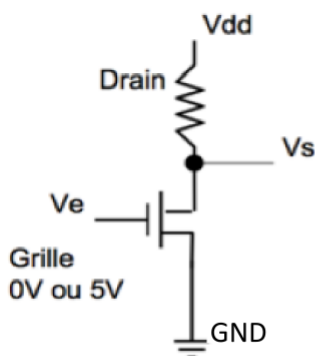


FIGURE 9 – Evolution des transistors

##### 3.1.1 Fonctionnement d'un transistor

Le transistor fonctionne comme un interrupteur électronique commandé par une tension.



- Si  $V_e < \text{tension de seuil } (\sim 0,6V)$ 
  - Transistor est bloquant
  - interrupteur ouvert ( $V_s = V_{dd}$ )
- Si  $V_e > \text{tension de seuil}$ 
  - Transistor est passant
  - interrupteur fermé ( $V_s = GND$ )

$V_e$	Interrupteur	$V_s$
Haut ( $>0,6V$ )	fermé	Bas (GND)
Bas ( $<0,6V$ )	ouvert	Haut (VDD)

⇒ Comportement Inverseur  
 ⇒ Fonction NOT (NON)  
 ⇒ La sortie vaut 0 ssi l'entrée vaut 1

FIGURE 10 – Quelques caractéristiques de fonctionnement d'un transistor

### 3.1.2 Evolution du transistor

Le transistor a évolué et sa taille énormément diminuée.

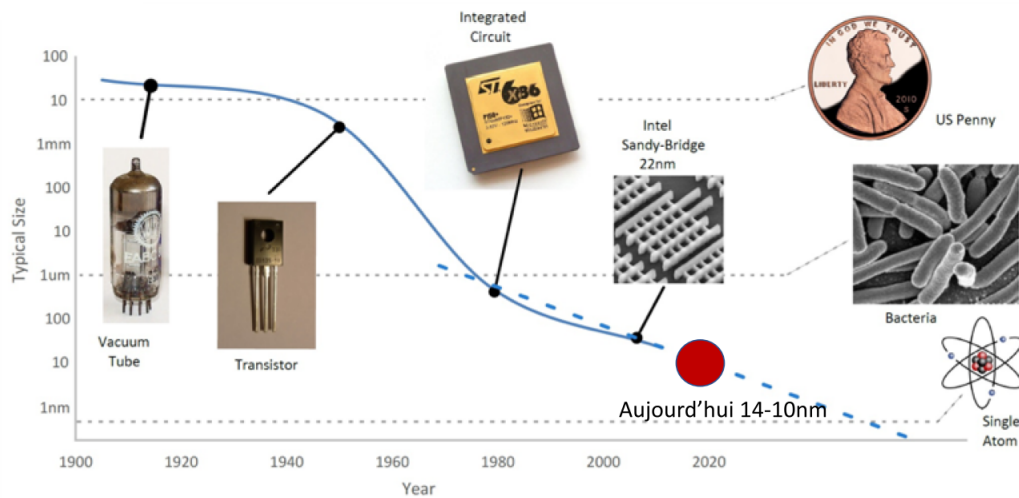


FIGURE 11 – Réduction de la taille du transistor

### 3.2 La technologie CMOS

Aujourd'hui, on utilise massivement dans l'industrie les transistors CMOS car ils sont rapides, petits et consomment moins d'énergie. En combinant plusieurs cellules CMOS, on peut alors réaliser des fonctions logiques de base, des opérateurs (contrôle, arithmétique), des fonctions plus complexes tels que microprocesseur, circuit spécifique à une application (ASIC).

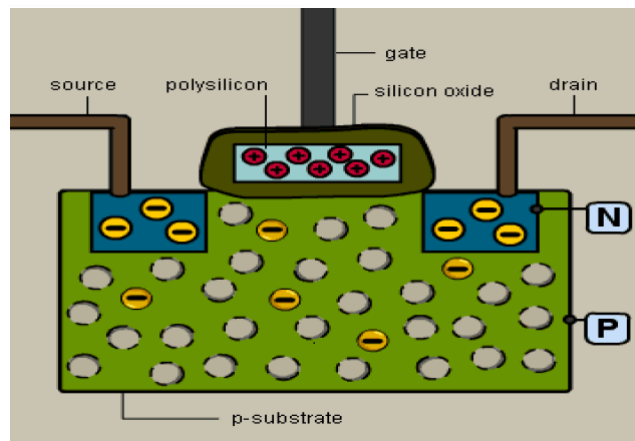


FIGURE 12 – Un transistor NMOS dit « à canal N PMOS » : polarités inversées



### 3.3 Les circuits intégrés et les microprocesseurs

Le circuit intégré (CI) apparaît en 1958. Il permet de regrouper plusieurs transistors en les gravant sur des plaques de silicium. Les connexions entre les millions de transistors qui composent un circuit intégré sont, elles aussi, gravées directement dans le silicium.

Le premier microprocesseur apparaît en 1971. Il s'agit de l'Intel 4001. L'informatique s'ouvre alors aux premiers particuliers et de multiples machines sont commercialisées : l'Altair 8800 (1975), l'Apple II (1977), l'IBM PC (1981), le ZX 81 (1981), le Commodore 64 (1982), le Macintosh (1984), etc.

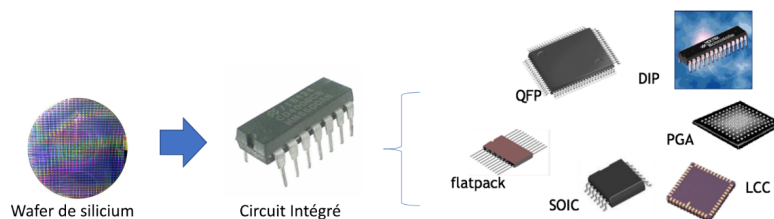


FIGURE 13 – Evolution des circuits intégrés

### 3.4 Processeur multi-cœurs

Actuellement, on ne cherche plus à augmenter la fréquence d'horloge pour augmenter les performances en raison de la dissipation thermique. On préfère faire de nombreuses opérations en parallèle sur plusieurs cœurs de calcul. Le premier processeur multi-cœur est dû à IBM et date de 2001.

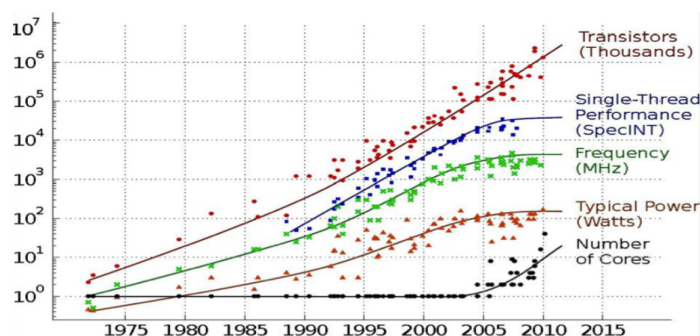


FIGURE 14 – Quelques chiffres en multi-cœurs

## 4 Langages informatiques

Après le premier compilateur conçu en 1951 par Grace Hopper, le langage Fortran (FORmula TRANslator) est spécifié en 1954 et achevé en 1956 par John Backus. C'est le premier langage dit de haut niveau. Il est utilisé pour le calcul scientifique, encore de nos jours. Suivent ensuite : Lisp, Cobol et Basic en 1964.

Puis de 1970 à 1980 : Pascal (1970), C (1972) et ML (1973) dont est issu C++ (1983), Ada (1983) et Caml (1985).

La première version de Python date de 1991 (Guido van Rossum) et JavaScript a été publié en 1995.

En 2019, les trois premiers langages utilisés par les programmeurs sont JavaScript, Python et Java.

Le lien suivant fournit quelques dates importantes :

<http://www.histoire-cigref.org/blog/langage-informatique-savoir-coder-une-longue-histoire/>

## 5 Systèmes d'exploitations

Au milieu des années 1960, chaque constructeur développe son propre système d'exploitation : OS 360, puis MSV chez IBM, système Unix (1970) chez AT-T, etc.

Le MS-DOS (1981) écrit par Microsoft pour IBM s'impose. Il est suivi par Windows en 1985.

Le 27 septembre 1983, Richard Stallman (ancien du MIT) dévoile son projet de développer un système d'exploitation compatible UNIX appelé GNU (pour « GNU's Not UNIX », littéralement, « GNU n'est pas UNIX »), en invitant la communauté hacker à le rejoindre et participer à son développement. En 1984, débute alors la création du système GNU qui promeut le mouvement du logiciel libre.

En 1990 apparaît le système Linux qui est une variante du système GNU.