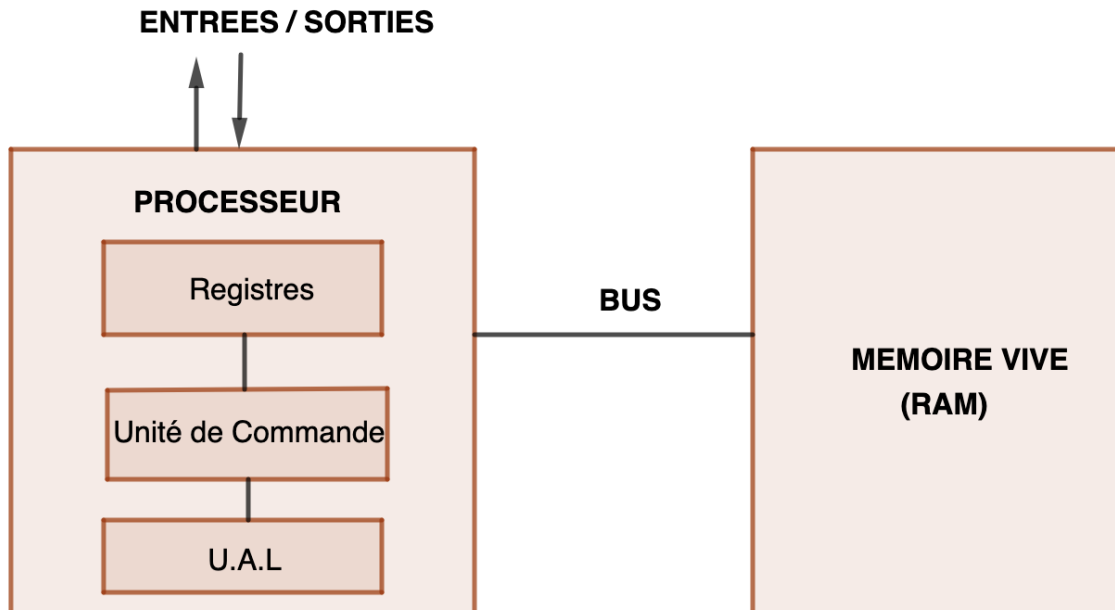


# Systeme sur puce (SOC)

## 1 Modèle d'architecture séquentielle (Machine de Von Neumann) (1945)



L'originalité de la machine de Von Neumann est que **le programme et les données** sont dans la mémoire (vive) de l'ordinateur. Les éléments principaux sont :

1. un **processeur** constitué d'une :
  - (a) **Unité arithmétique et logique (UAL)**
  - (b) Des **registres** (des mémoires peu nombreuses et accessibles à l'unité arithmétique et logique pour y stocker des résultats de calculs)
  - (c) Une **unité de commande (UC)**
2. Un **Bus** (fils permettant la circulation des données, des adresses mémoire ou des instructions entre la mémoire vive et le processeur)
3. **La mémoire Vive**
4. **Divers périphériques** (écran, clavier, etc... :

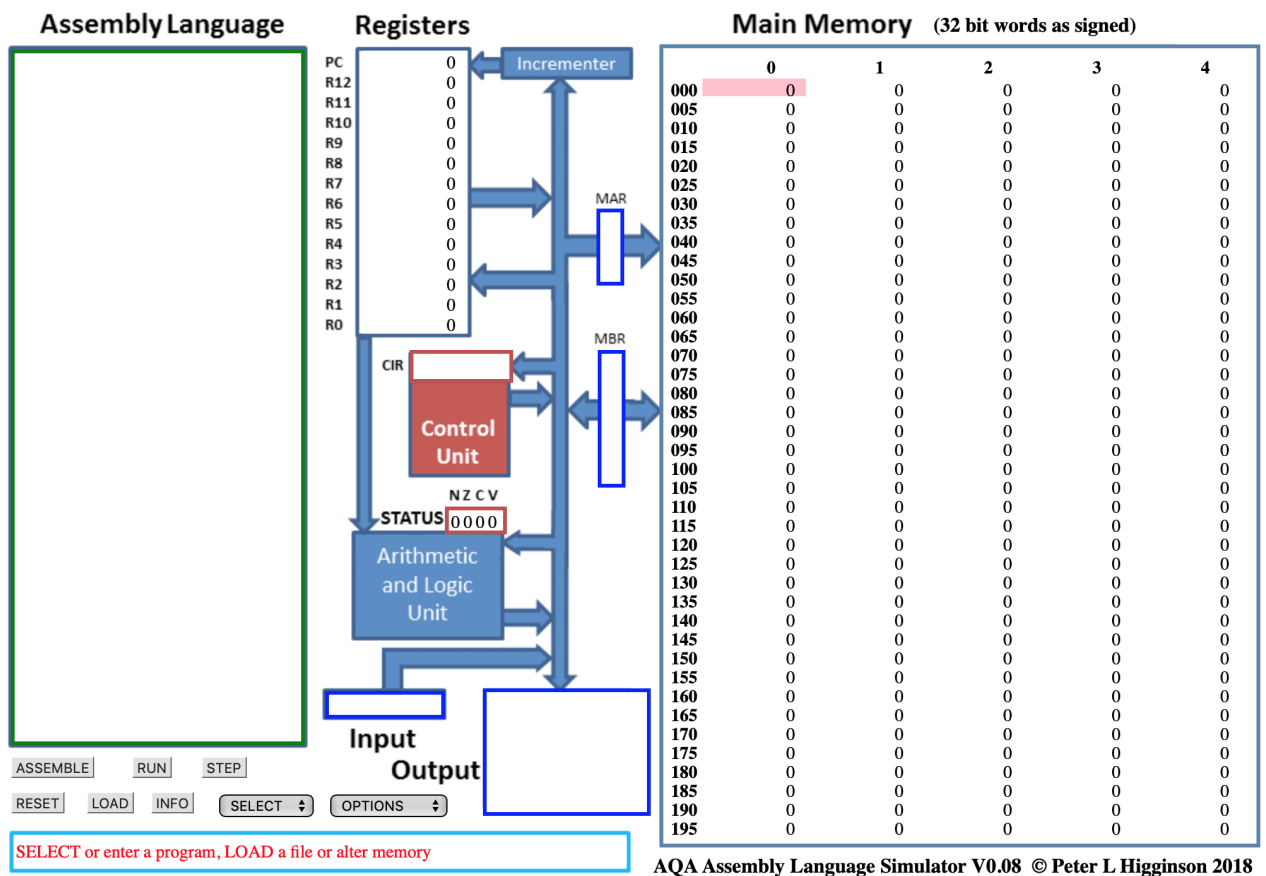
## Voici le cycle principal (en boucle) du processeur

1. (**phase lecture**) Lit une instruction dans la mémoire à l'adresse  $n$  spécifiée par le registre PC (program counter) et la stocke dans un registre particulier appelé registre d'instruction
2. (**phase décodage et exécution**) L'instruction est découpée en bits significatifs, puis les bits significatifs sont distribués à tous les éléments du processeur (par exemple à l'UAL) pour exécuter des tâches précises (addition, opération logique etc...)

Parmi ces bits significatifs dans certaines instructions peuvent figurer des indications de saut d'instruction ce qui signifie que la prochaine instruction n'est pas à l'adresse  $n + 1$  (pour faire un test si ...alors... par exemple) Le résultat de l'exécution peut intervenir aussi dans un saut (boucle)

Autrement dit l'actuelle instruction contient des indications avant et/ou après exécution décidant l'adresse de la prochaine instruction

Pour visualiser le fonctionnement du processeur nous allons utiliser le simulateur en ligne <http://www.peterhigginson.co.uk/AQA/> mis au point par Peter Higginson d'un processeur ARM



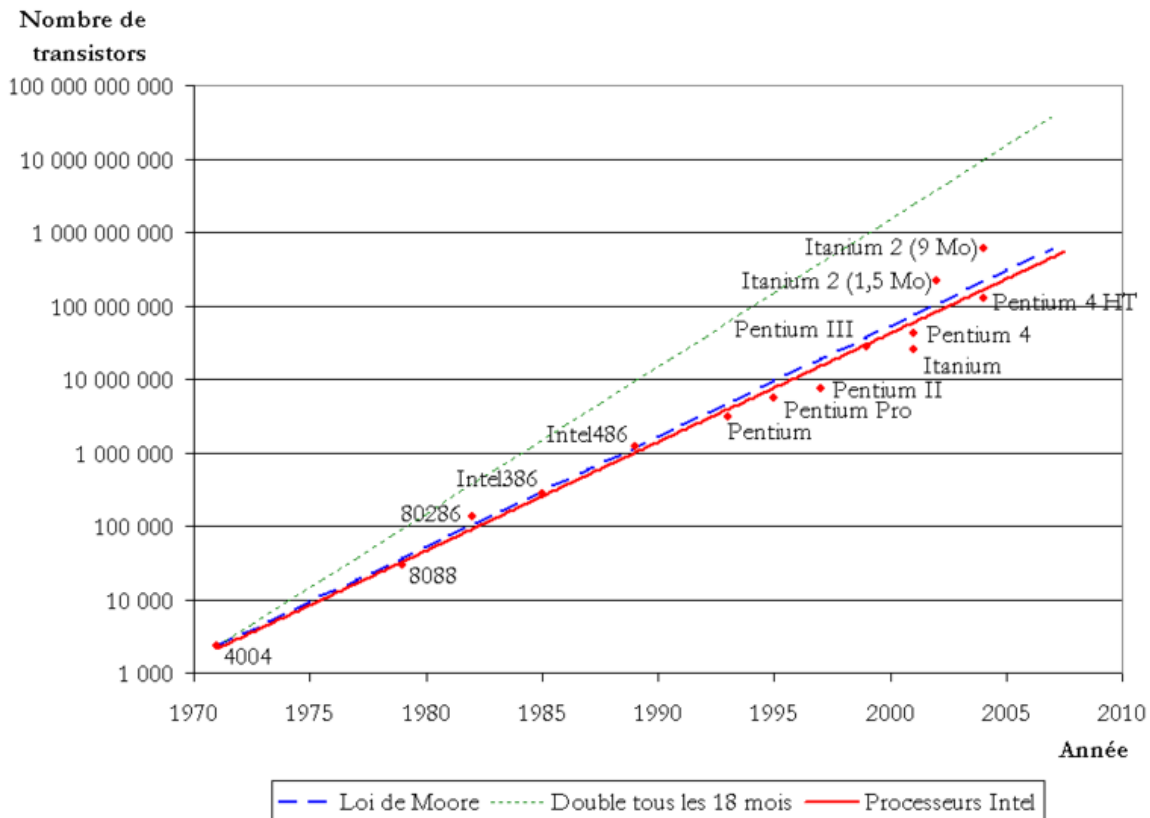
ARM est un fabricant de processeurs intervenant dans les téléphones portables et les tablettes (uniquement les plans). Il existe d'autres fabricants de processeurs comme Intel, AMD pour les ordinateurs personnels et les ordinateurs portables

Il existe deux grandes familles de processeurs :

1. Les processeurs RISC (Reduced Integration Set Computing) : ARM, ...  
**Le processeur n'a qu'un nombre limité d'instructions de base** par exemple la multiplication de deux entiers ne fait pas partie du jeu d'instructions du processeur
2. Les processeurs CISC (Complex Integration Set Computing) : Intel, AMD  
**Le processeur a un grand nombre d'instructions**, par exemple la multiplication de deux entiers, la division etc...

### Loi de Moore (1965)

"Le nombre de transistors dans un microprocesseur double à peu près tous les deux ans"



### En 2022 ?

Les processeurs ont une dizaine de milliards de transistors suivant plusieurs coeurs, une fréquence d'horloge autour de 3 GHz et travaillent sur des mots de 64 bits

La mémoire vive des ordinateurs est environ d'une dizaine de Go.

Il existe des **mémoires caches de différents niveaux**, L1 d'accès plus rapide mais de taille plus petite par exemple 64 Ko, L2 d'accès moins rapide que L1

mais de taille plus grande par exemple 256 Ko et L3 de taille plus grande que L1 et L2 par exemple 8 Mo :

L'intérêt des mémoires cache est de garder proche du processeur des informations sur le calcul qui vient d'être fait au cas où cela pourrait resservir

#### Exemples de temps d'accès au processeur

1. à un registre : 0,25 ns
2. au cache L1 : 1 ns
3. au cache L2 : 4 ns
4. à la mémoire vive : 100 ns

## 2 Microcontrôleurs

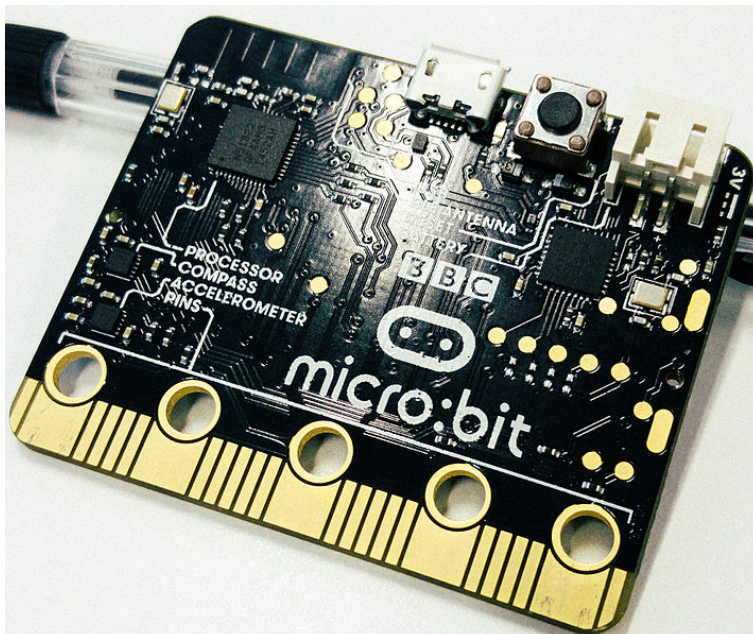
Il existe aussi une **informatique embarquée** (voiture, avion, machine à laver, plaque de cuisson , etc...) possible grâce aux microcontrôleurs

Un microcontrôleur est constitué :

1. d'un **processeur** aux performances moindres que celles des processeurs actuels équipant les ordinateurs, les tablettes et les smartphones, mais consommant peu d'énergie
2. de **capteurs** divers (accéléromètre, boussole, pression, température, etc...)
3. d'**actionneurs** (leds, speakers, etc...)

#### Exemples

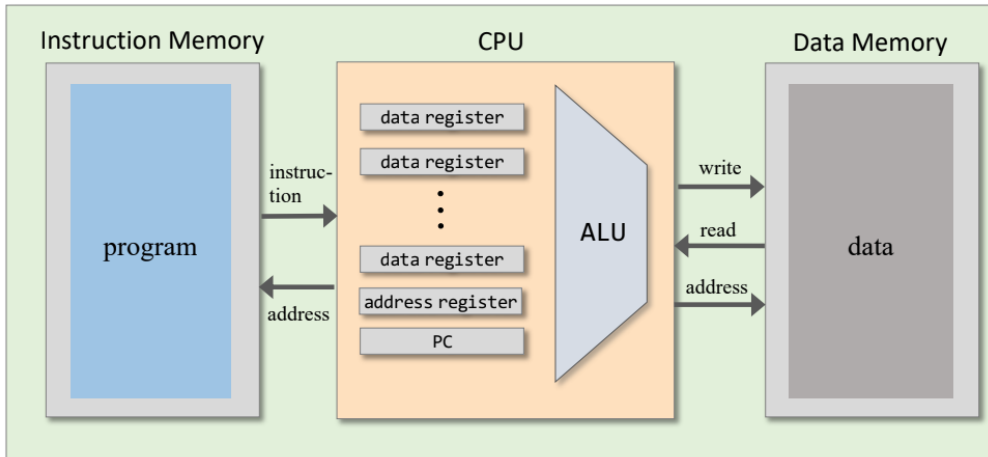
1. En appuyant sur une région bien précise d'une plaque de cuisson vitrocéramique, vous pouvez régler l'intensité de chauffage d'une plaque en particulier
2. Un son de plus en plus strident retentit dans l'habitacle d'une voiture lorsque celle-ci se rapproche d'un obstacle



Le microbit utilisé en TP a pour caractéristiques :

1. Microprocesseur : CPU ARM Cortex M0 32 bits à 16 MHz
2. Mémoire flash : 256 Ko
3. Mémoire RAM : 16 Ko
4. Dimensions : 40 x 50 mm
5. Poids : 8g

Les microcontrôleurs ont une architecture dite de Harvard (Les données et les programmes sont dans deux mémoires séparées. En un cycle d'horloge, l'instruction mémoire et les données sont transférées au processeur)



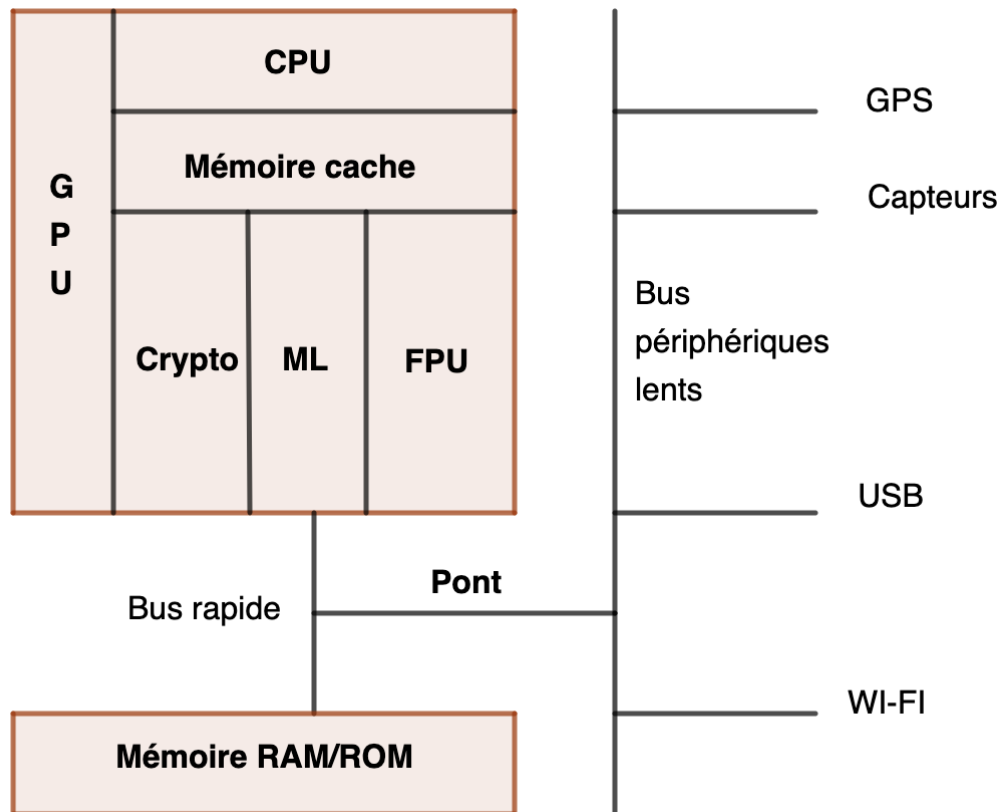
(source : From Nand to Tetris)

### 3 Système sur une puce (System on chip)

Avec la miniaturisation grandissante on a eu l'idée d'intégrer au processeur d'autres éléments comme :

1. Un processeur graphique (GPU)
2. Des mémoires cache
3. Une unité de calcul sur les nombres flottants (FPU)
4. Une unité de calcul de Machine Learning
5. Une unité de cryptographie
6. De la mémoire vive directement sur la puce

Le tout sur une puce d'une surface de 100 mm<sup>2</sup> à peu près



Les avantages sont

1. **Coût** Passé la phase de recherche et développement, le coût de production est bas à cause de l'automatisation du processus de production et des volumes importants de production
2. **Energie** La consommation d'énergie d'un système sur une puce est relativement basse par rapport à celle d'un ordinateur à cause de l'intégration. Donc on n'a pas besoin de refroidir le processeur par un ventilateur. Les systèmes sur une puce sont donc silencieux
3. **Sécurité** La forte intégration des éléments de la puce entre eux est un gage de sécurité

Les inconvénients :

1. Contrairement à la carte mère d'un ordinateur où on peut faire évoluer un composant particulier, dans un système sur une puce on ne peut rien faire évoluer
2. S'il y a un composant défectueux, il faut changer l'ensemble de la puce

Les systèmes sur une puce ont permis la réussite technologique des smartphones  
Voici une vue de la puce du premier iPhone



(source : ifixit iPhone 1 (2007))

## 4 Exercices

### Ex 1

Visionner la vidéo suivante de David Patterson à propos des processeurs RISC  
<https://www.youtube.com/watch?v=NNgdcn4Ux1k>

### Ex 2

Visionner la vidéo suivante concernant l'Histoire d'ARM  
<https://www.youtube.com/watch?v=1j0Jl8gRPyQ>

### Ex 3

Performance d'un programme et mémoire cache (voir TP)

### Ex 4

On parle aussi du cache du navigateur Web? A quoi ça sert? Dans quel type de mémoire se trouve le cache du navigateur Web?

### Ex 5

Aller sur le site de Samsung et relever les caractéristiques d'un Soc récent de Samsung

### Ex 6

Aller sur le site d'Apple et relever les caractéristiques d'un Soc récent de Samsung