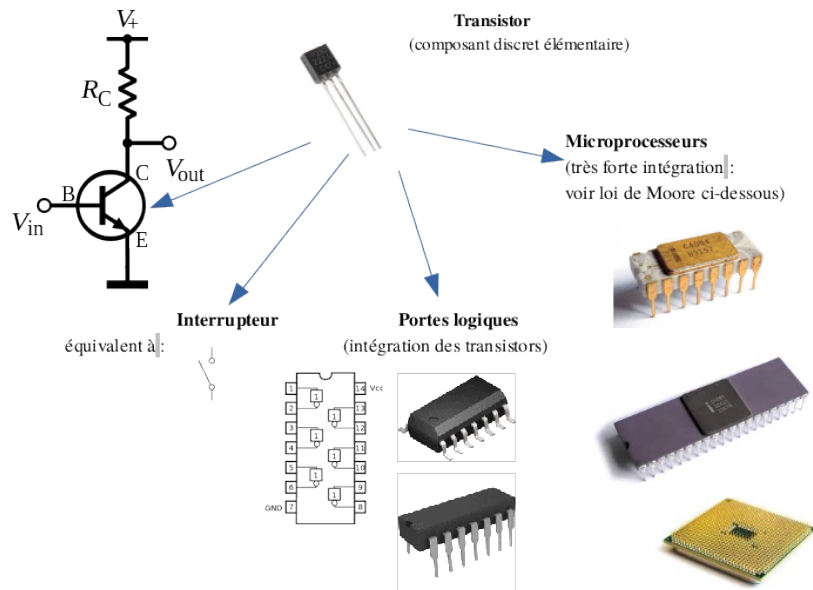


CH4 Architecture matérielle

1 La structure d'une machine

(a) Généralités

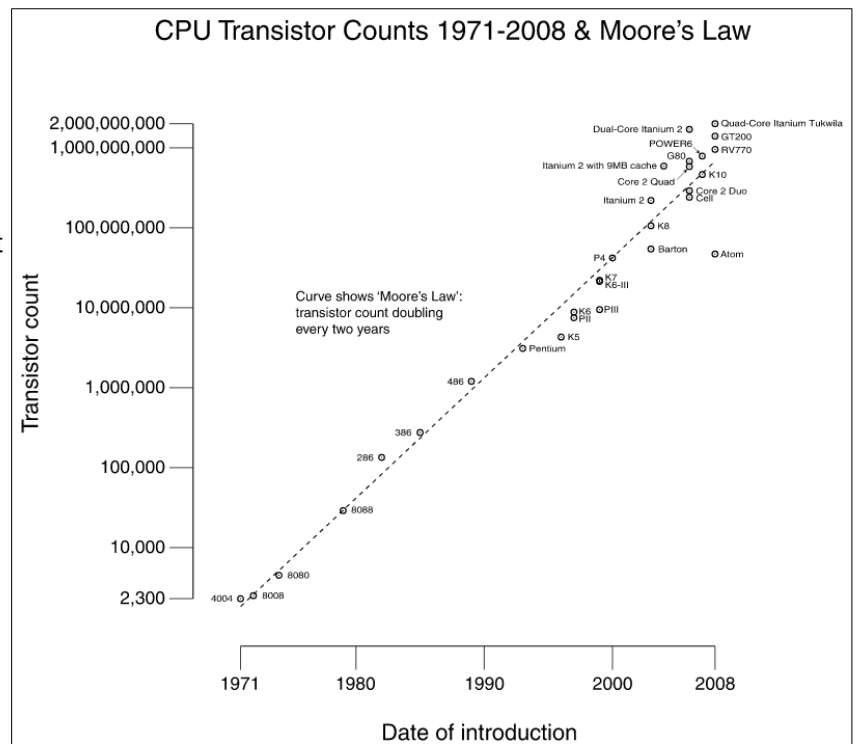
Tout ordinateur est conçu à partir de circuits intégrés qui ont tous une fonction spécialisée (UAL, mémoire, décodeurs d'instructions, d'adresses ...). Ces circuits sont fait à partir de circuits logiques dont le but est d'exécuter des opérations sur des variables logiques (binaires). Ils sont élaborés à partir de composants électroniques appelés transistors.



En 1975, Gordon E. Moore, ingénieur chez Intel, énonça :

« Dans les microprocesseurs, le nombre de transistors sur une puce va doubler tous les 2 ans. »

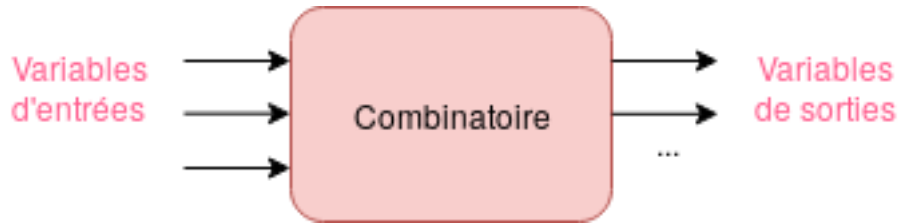
Cette loi (dite *loi de Moore*) s'est globalement vérifiée et a permis de gros progrès de miniaturisation.



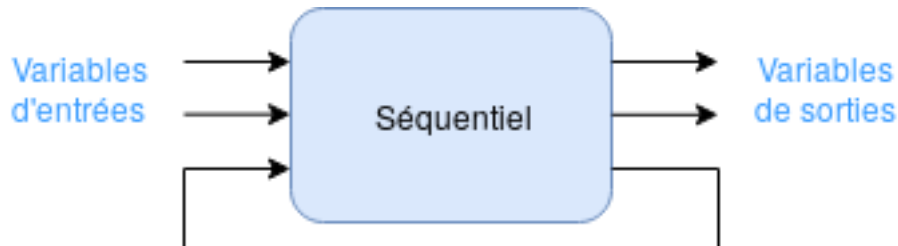
Voir <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/informatique-loi-moore-2447/>

On distingue 2 types de circuit :

- **Combinatoire** : L'état des sorties ne dépend que de l'état des variables d'entrée



- **Séquentiel** : L'état des sorties dépend de l'état des variables d'entrée mais également de l'état précédent de certaines variables de sortie : mémorisation.



(b) Architecture de Harvard

Au sein d'un **ordinateur « classique »** tel qu'un PC de bureau, les choses sont assez simples :

- **Le processeur (CPU)** se charge de réaliser les calculs les plus répandus, ceux qui permettent par exemple de faire tourner le système d'exploitation ou un navigateur web.
- **La carte graphique (ou GPU)** se charge d'afficher une image, qu'elle soit en 2D ou bien en 3D comme dans les jeux.
- **La carte-mère** relie entre eux tous les composants, le CPU, le GPU, mais également la RAM et d'autres cartes additionnelles et petites puces

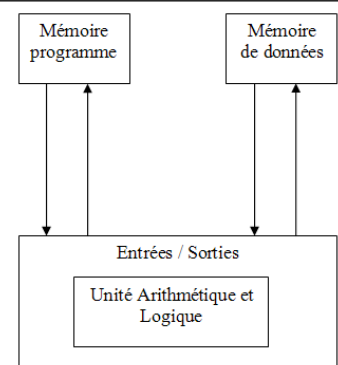


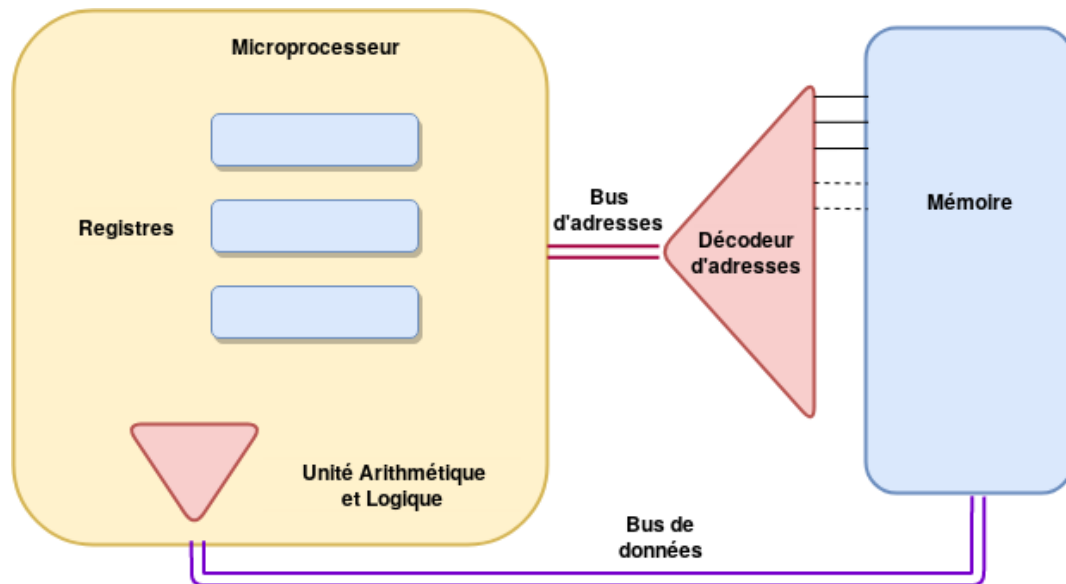
A retenir :

Les ordinateurs actuels utilisent l'**architecture de Harvard**.

C'est à dire que les données et les programmes occupent des parties différentes de la mémoire et accèdent au CPU par des bus distincts.

Ainsi, le CPU peut **traiter en parallèle des données et des instructions**, ce qui permet de gagner du temps.





Remarque :

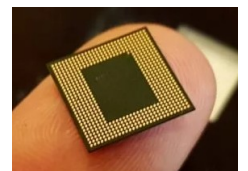
Voir https://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture_de_von_Neumann et https://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture_de_type_Harvard pour comparer les deux.

2 Les SoC : Un système tout en un

En poussant encore cette loi de Moore, depuis le début de l'ère des smartphones, on assiste à l'émergence de systèmes tout-en-un.

Ainsi, presque tout le contenu d'un ordinateur se retrouve finalement dans une seule puce sur le smartphone : **le System on a Chip (SoC)**, ou système sur une puce en français. C'est un circuit intégré essentiel au fonctionnement des objets connectés et des smartphones.

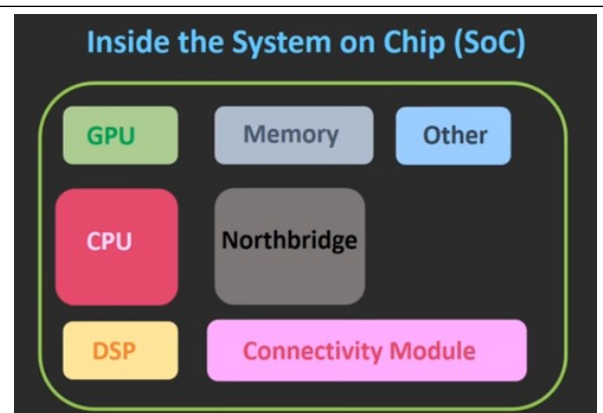
Le système sur une puce comprend tous les éléments essentiels d'un ordinateur comprimé dans une forme réduite. Son **faible encombrement**, son caractère complet et sa **faible consommation d'énergie** en font un circuit intégré idéal pour les applications mobiles, notamment l'IoT.



A retenir :

Un SoC comprend à la fois:

- le processeur central à un ou plusieurs cœurs de calcul **CPU**
- un processeur graphique **GPU**
- un processeur de signal numérique **DSP**
- la mémoire vive et la mémoire statique (Rom, Flash, EPROM) **Memory**
- les puces de communications (Bluetooth, WiFi, 2G/3G/4G, LoRa...) et les capteurs nécessaires au fonctionnement d'un smartphone ou d'un objet connecté **Connectivity Module**
- ... Autre

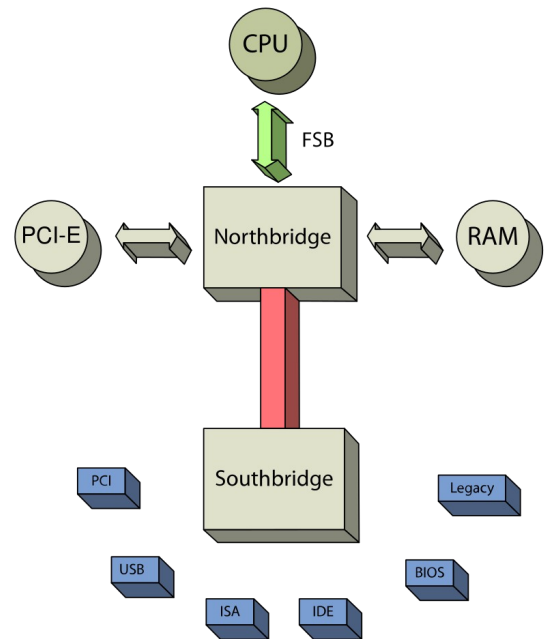


<https://www.youtube.com/watch?v=FUhCrWoNA2c>

Remarque :

Dans le schéma (ci-dessus), on voit apparaître « **Northbridge** » qui est la partie de la carte mère connectée directement au CPU.

Les deux parties **Northbridge** et **Southbridge** sont intimement liées et forment le **chipset** qui lie les éléments entre eux. Dans les SoC, on retrouve donc cette architecture.



Exemples :

→ Voici les noms de SoC utilisés par quelques produits à succès :

- Apple iPhone 11 : SoC A13 Bionic
- Nintendo Switch : SoC Nvidia Tegra
- Apple MacBook : SoC M1

→ SoC Exynos 990 qui équipe les **Galaxy_S20**



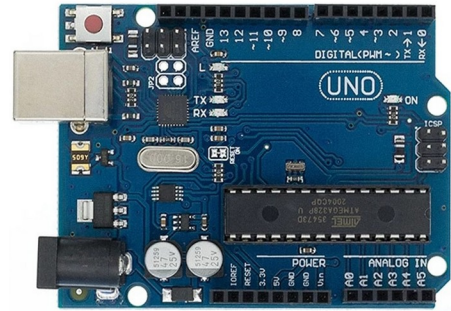
On y trouve:

- **Le processeur (CPU)**
- **Le carte graphique (GPU)**
- **La puce neuronale** ou Neural Processing Unit (NPU), est une puce en charge de l'intelligence artificielle du smartphone.
- **Le modem** qui gère non seulement le Wifi, Bluetooth, le NFC ou bien encore les technologies mobiles (4G, 5G ou 3G).
- **Le processeur de signal numérique** ou Digital Signal Processor (DSP) est en charge de traiter les signaux numériques. Permet le filtrage, la compression ou encore l'extraction de différents signaux (musique, vidéo, ...).
- **Le processeur d'image** ou Image Signal Processor (ISP) est une puce prenant en charge la création d'images numériques. C'est grâce à elle que le smartphone va traiter la prise de photo. Elle est intégrée au GPU.
- **Le processeur sécurité** ou Secure Processing Unit (SPU) est le bouclier du smartphone. Son alimentation électrique est indépendante afin de ne pas pouvoir être éteint en cas d'attaque sur celui-ci. Le SPU va stocker vos données biométriques, bancaires, SIM, etc.

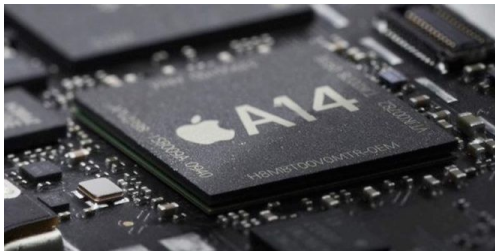
(c) Les différents types de SoC

Les utilisations variées de ce type de circuit intégré demande des architectures sensiblement différente. On distingue **3 grandes familles de SoC** :

- Le système sur une puce construit autour d'un **microcontrôleur**, la forme la plus simple d'un SoC qui a donné naissance aux cartes Arduino.
- Le système sur une puce construit autour d'un **microprocesseur**. Il s'agit du SoC, le plus répandu parce qu'utilisé par tous les fabricants de smartphones. Doté d'un Bus externe, il permet de connecter de nombreux capteurs.



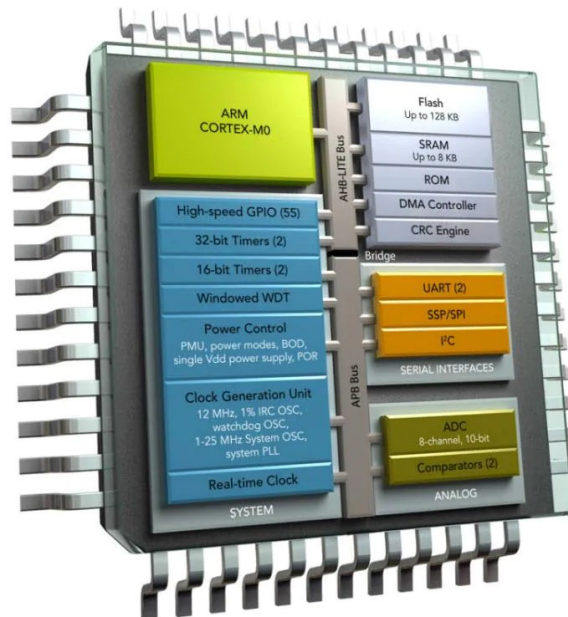
Microcontrôleur Arduino UNO : ATMEGA



Puce CPU : A14 Apple

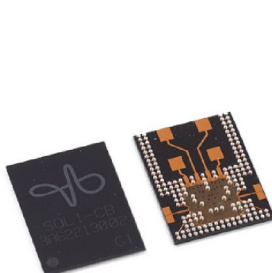


Puce CPU de la carte Micro:Bit : ARM Cortex M0 32 bits

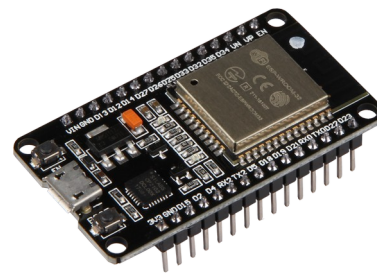


Détail de la puce ARM Cortex M0 32 bits

- Le système sur une **puce dédiée à une tâche spécifique**. Cette dernière famille comprend une grande quantité de puces (mobiles, reprogrammables, ...etc).



Puce Soli Google



Puce ESP32

L'Internet des objets peut faire intervenir les trois familles de système sur une puce, suivant la complexité de l'objet, du capteur ou du système embarqué connecté à concevoir. Cependant, le Soc basé sur un microprocesseur prend généralement place dans la plupart des objets connectés.

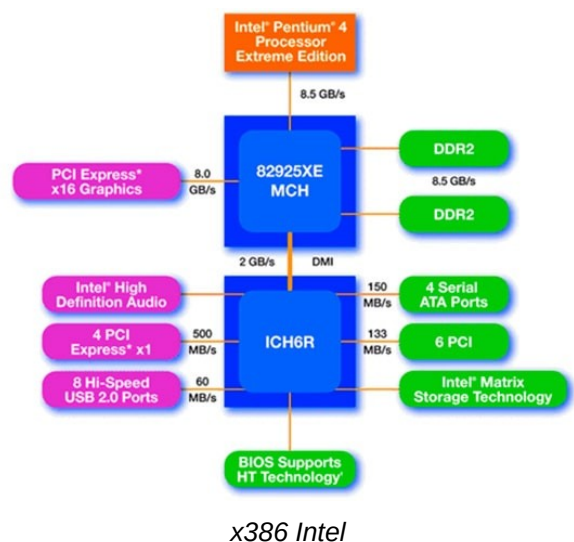
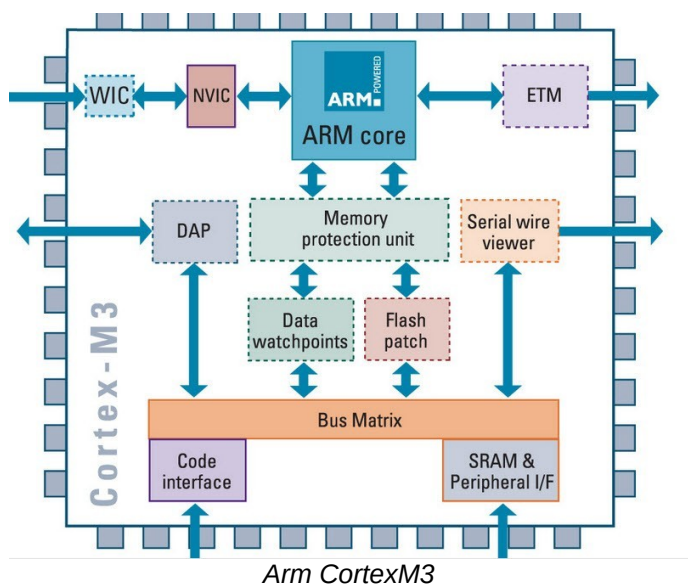
Suivant les fabricants et les besoins, il existe **plusieurs architectures**. Deux d'entre elles prennent place dans la grande majorité des produits électroniques conçus ces vingt dernières années.

- **L'architecture ARM :**

Conçu par la société du même nom, l'architecture ARM a été développée en interne à la fin des années 1980. C'est en 1987 qu'elle est la première fois utilisée dans la gamme d'ordinateurs 32 Bits Archimede. L'architecture ARM ne dépend pas d'un seul fabricant. Le modèle économique de l'entreprise repose sur la vente de licences à d'autres fabricants. Les SoC d'ARM se retrouvent ainsi dans la plupart des smartphones et des objets connectés.

- **L'architecture X86 :**

Voici l'architecture la plus répandue dans le monde. Conçue par Intel, elle est utilisée commercialement depuis 1978. Cette architecture a permis de développer les processeurs des ordinateurs, des serveurs ou encore de certaines tablettes. Intel Atom est la gamme SoC du célèbre fondeur. L'architecture X86 est très peu utilisée pour développer les modèles d'un système sur puce IoT.



Pour les différences exactes entre les 2 architectures, voir <https://www.shiningltd.com/what-difference-between-arm-architecture-and-x86-architecture/>

Exemples :

- Le Soc **Exynos 990** dispose d'un CPU 5G 8 cœurs : 2 cœurs 2.73GHz Samsung M5, deux cœurs 2.5GHz Cortex A76 et quatre cœurs 2GHz Cortex A55. Le GPU est un ARM Mali G77MP11.
- « (...) Il y a très peu de temps, la fondation Raspberry Pi annonçait la sortie du Raspberry Pi Pico, une carte basée sur le RP2040, un SoC inédit qui intègre un processeur ARM Cortex M0+ cadencé à 133 MHz, 264 Ko de SRAM et 2 Mo de QSPI Flash pour le stockage. »
D'après le lien [clubic](#)
- « (...) La chose la plus importante à comprendre sur le rôle que joue l'architecture de processeur Arm dans tout le marché de l'informatique et des communications - smartphones, PC, serveurs ou autres - est la suivante : Arm Holdings, Ltd. est propriétaire de la conception de ses puces et de l'architecture de leurs jeux d'instructions, comme le Arm64 64 bits. Conséquence, pour ses clients qui construisent des systèmes autour de ces puces, Arm a fait le plus dur du boulot. »
D'après le lien [zdnet](#)