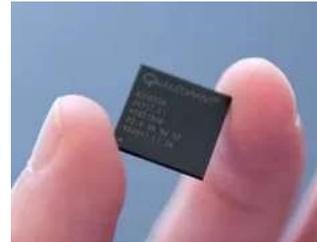


## 1. Introduction

Dans un ordinateur de bureau le processeur (CPU) effectue les différents calculs permettant par exemple de faire tourner le système d'exploitation ou un navigateur web. Les différentes cartes (graphique (GPU), son, réseau...) et les mémoires sont branchées sur la carte mère et interconnectées à l'aide de bus.

Dans une tablette ou un smartphone, tous ces éléments ne constituent plus qu'un seul élément, la puce. Pratiquement, tout ce que nous pouvons voir dans un ordinateur de bureau est concentré sur cette puce. Elle est un ordinateur à elle toute seule.

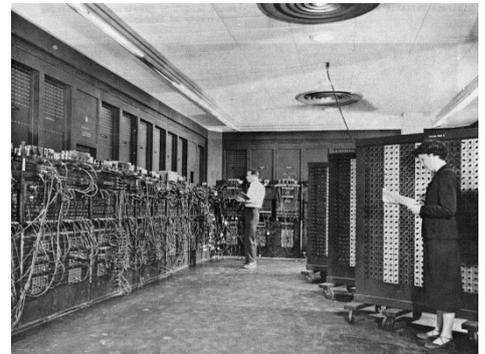


SoC Nvidia Tegra 2

On nomme ce système un système sur puce, **system on chip** en anglais. Un **SoC**. Les systèmes sur puce sont omniprésents dans notre vie quotidienne. On les trouve dans nos smartphones, montres connectées, dans les appareils domestiques, dans les voitures...

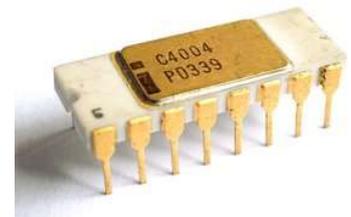
## 2. Un peu d'histoire : de l'ENIAC au téléphone portable

1945 : Ce que les historiens présentent comme le premier ordinateur : l'ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer). Il est de la taille d'une maison individuelle et pèse 30 tonnes. Pour chaque nouveau programme, on doit changer les câbles de position.



Dans les années 1960 : un ordinateur est construit pour aider le module Apollo à se poser sur la lune, c'est l'Apollo Guidance Computer (AGC). Cet ordinateur pèse 32 kg et il est constitué d'un peu plus de 5 000 portes logiques NOR (NON-OU) pour constituer l'unité de calcul de l'AGC.

Le premier microprocesseur commercialisé est apparu en 1971 : c'est le 4004 d'Intel. Il intègre dans une seule puce 2 300 transistors ce qui lui donne une puissance de calcul comparable à l'ENIAC !



En 1975 est apparu le premier microprocesseur bon marché permettant l'essor des ordinateurs personnels : le 6502 de MOS. Ce microprocesseur a équipé le tout premier ordinateur APPLE (APPLE 1) et est encore fabriqué de nos jours ! Le site [Visual 6502](https://www.visual6502.com/) permet de voir le fonctionnement interne de ce processeur lors de l'exécution d'un programme.

A partir des années 1980, l'architecture des ordinateurs n'a plus beaucoup évolué. Les puces ont intégré de plus en plus de composants leur permettant de réaliser des opérations plus complexes. La miniaturisation de la gravure de la puce a permis une montée de la fréquence d'horloge permettant aux ordinateurs d'aller plus vite ainsi qu'une consommation d'énergie moindre.

Les puces sont devenues tellement miniaturisées que l'on trouve maintenant sur une seule puce un système embarqué complet réalisant toutes les fonctions d'un ordinateur. La carte BBC micro:bit en est un exemple :

Cette carte embarque un **microcontrôleur** qui est un système complet tenant dans une seule puce : un SoC (System On Chip). On y trouve de la mémoire RAM, de la mémoire FLASH, un microprocesseur, des périphériques d'interface, un circuit radio.



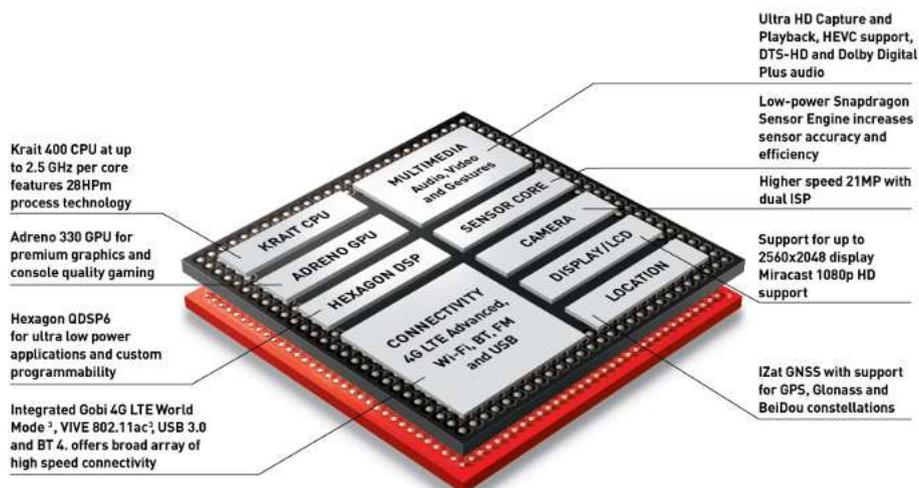
Une autre catégorie de l'utilisation de ces puces intégrées se trouve dans les SBC (Single Board Computers) ou ordinateurs sur carte unique dont le représentant le plus célèbre est probablement le Raspberry Pi.

Cette carte est assez puissante pour faire fonctionner le système d'exploitation Linux et être utilisé comme ordinateur de bureau. Il est néanmoins le plus souvent utilisé en mini serveur ou sur des projets IoT (Internet of Things).

L'aboutissement de toute cette miniaturisation est le téléphone portable qui intègre tout ce que la technologie peut nous apporter : un microprocesseur puissant, de la mémoire, des interfaces de communication rapides (4G, 5G, Wi-Fi...), un contrôleur graphique digne d'une console de jeu, tout cela fonctionnant sur batterie avec une durée de fonctionnement de plusieurs heures.

### 3. System on Chip

Un system on chip comprend ainsi le processeur central à un ou plusieurs cœurs de calcul, un processeur graphique, de la mémoire statique ou dynamique (Flash, RAM, ROM, EPROM...), des capteurs ou coprocesseurs et une puce radio pour les communications sans fil (Bluetooth, Wi-Fi) ou cellulaires.



## 3.1. Avantages et inconvénients

Le SoC s'est popularisé avec l'informatique nomade, en particulier les smartphones et les tablettes tactiles ainsi que les systèmes embarqués. Son faible encombrement ainsi que sa consommation d'énergie réduite en sont les principaux avantages. Notons également que les données y circulent plus vite du fait de la distance réduite entre les composants.

Là où un ordinateur équipé d'une carte mère permet de faire évoluer les composants individuellement, l'extrême intégration du SoC présente en revanche l'inconvénient de n'autoriser aucune mise à jour du matériel.

## 3.2. Le processeur

Le CPU (Central Processing Unit) d'un SoC consomme moins d'énergie que celui d'un PC. Cela permet d'économiser la batterie (autonomie de l'appareil) et d'éviter la présence d'un ventilateur (appareil silencieux).

Un processeur à un seul cœur ne traite qu'une instruction à la fois, certains d'entre eux sont à plusieurs cœurs ce qui permet de les faire travailler séparément et de gagner en rapidité. Deux programmes peuvent utiliser deux cœurs différents, néanmoins ils doivent se partager les différentes mémoires du processeur.

La **rapidité d'un processeur** est principalement liée à sa fréquence, au nombre de cœurs et à la taille de sa mémoire cache.

La **fréquence** donne le nombre d'instructions pouvant être traitées en une seconde par un cœur.

✍ Rechercher le nom du SoC de votre smartphone.

✍ Quelles en sont les fonctionnalités ?

✍ Combien d'opérations peut réaliser un processeur (single-core) à 3,2 GHz en une seconde ?

✍ Rechercher les caractéristiques du dernier modèle de carte Raspberry Pi (modèle, SoC, Ram, GPU, connectique, communication).