

Composants intégrés d'un système sur puce

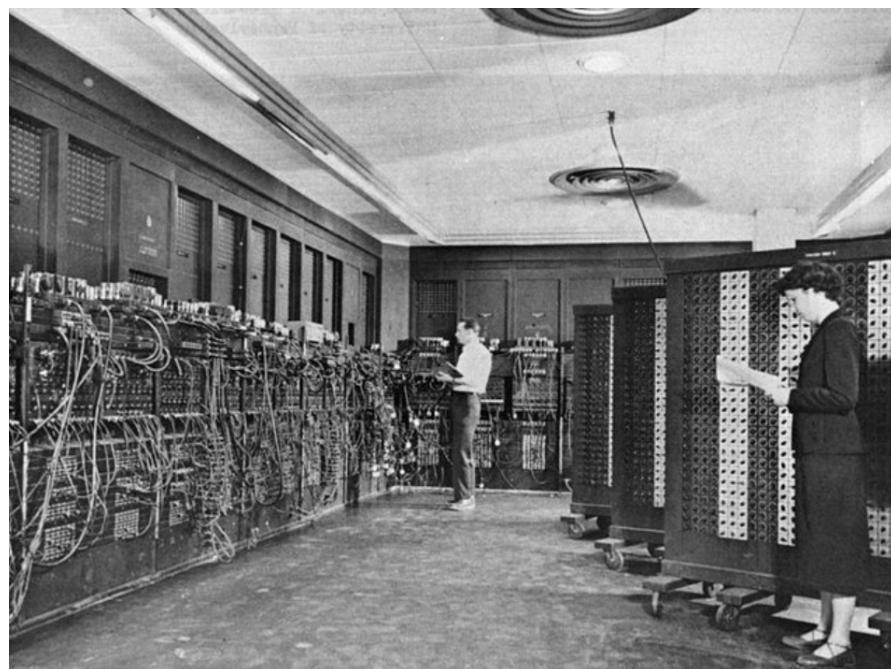
Table des matières

1	De l'ENIAC au téléphone portable	2
2	Rappels de première	3
2.1	Architecture de base	3
2.1.1	Le processeur	3
2.1.2	La mémoire	4
2.2	Principe de base	6
3	Les microcontrôleurs	7
3.1	Avantages et inconvénients	7
3.2	Utilisation	7
3.3	Un exemple	7
3.4	Architecture d'un microcontrôleur	7
3.4.1	Mémoire programme	8
3.4.2	Mémoire Données	8
3.5	Les principaux périphériques	8
4	Les systèmes sur puce : les SoCs	8
4.1	Quels sont les éléments qui peuvent être intégrés à une SoC ?	9
4.2	Architectures de SoCs	9
4.3	Avantages et inconvénients	9
4.4	Quelques exemples	10
4.4.1	Les appareils photos numériques	10
4.4.2	La carte Arduino	10
4.4.3	Les ordinateurs miniaturisés	10
4.4.4	Les smartphones	11

CE QU'IL FAUT SAVOIR FAIRE À L'ISSUE DU CHAPITRE :

-

1 De l'ENIAC au téléphone portable



L'ENIAC, 1945

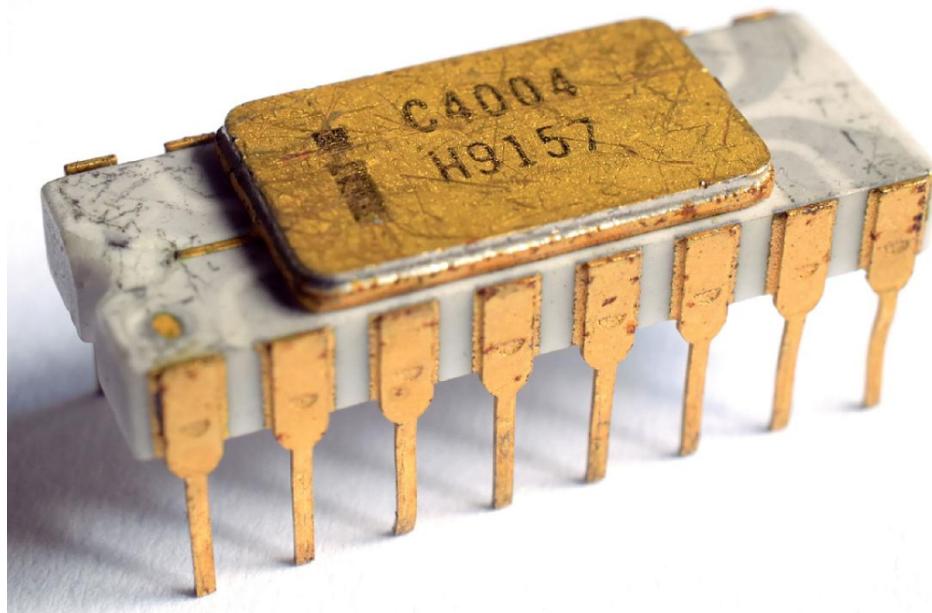
Le premier ordinateur entièrement électronique capable, en principe, de résoudre tous les problèmes calculatoires par la saisie d'un programme informatique est l'ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) construit en 1945.

Son poids est de 30 tonnes et il occupe la surface d'une maison individuelle ! Sa consommation est de 150 kW, soit l'équivalent de 100 bouilloires électriques branchées simultanément ! Il faudrait la puissance électrique disponible dans une vingtaine de maisons individuelles pour l'alimenter.

Dans les années 1960, les missions Apollo qui ont envoyé des hommes sur la lune ont imposé une puissance de calcul disponible dans un espace restreint. Cela a conduit à la conception de l'ordinateur AGC (Apollo Guidance Computer).

Celui-ci ne pèse que 32kg et possède une consommation électrique suffisamment faible pour être embarqué dans une capsule spatiale fonctionnant sur batteries. Ces progrès ont été possibles grâce notamment au recours aux circuits intégrés (CI) pour réaliser des fonctions logiques : Il a fallu plus de 5 000 portes NOR pour constituer l'unité de calcul de l'AGC.

Le premier microprocesseur commercialisé est apparu en 1971 : c'est le 4004 d'Intel.



L'Intel 4004

Il intègre dans une seule puce 2300 transistors ce qui lui donne une puissance de calcul comparable à l'ENIAC!!

Histoire

En 1975, Gordon E. Moore, cofondateur de la société Intel, énonça la conjecture suivante : *Dans les microprocesseurs, le nombre de transistors va doubler tous les 2 ans !* Cette prédiction, que l'on appelle **loi de Moore** s'est révélée incroyablement juste !!

2 Rappels de première

2.1 Architecture de base

Le fonctionnement d'un ordinateur, d'une tablette, d'un smart-phone, d'un appareil photo numérique, d'un assistant GPS est basé sur deux éléments fondamentaux :

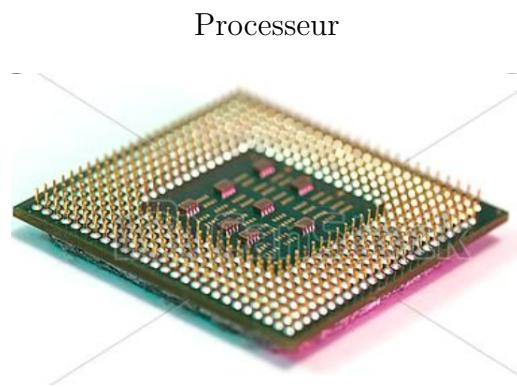
- Le processeur
- La mémoire

2.1.1 Le processeur

Il est aussi appelé, vu sa taille, microprocesseur. C'est lui qui se charge des calculs nécessaires à tout fonctionnement.

La vitesse d'un microprocesseur est définie par son horloge : l'horloge fournit le rythme des tâches élémentaires effectuées, en Hz (nombre pulsations par seconde).

☞ La rapidité qu'a un microprocesseur pour effectuer des instructions est exprimée en MIPS (Millions d'instructions par seconde).



2.1.2 La mémoire

Elle est chargée de stocker les données nécessaires à tout calcul.

La mémoire est un support qui peut être

- Magnétique (disques durs)

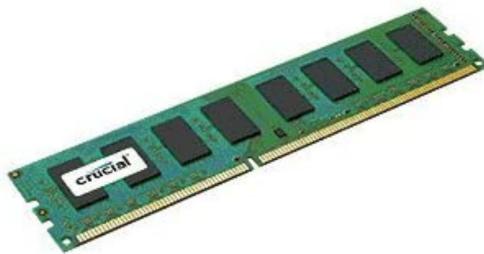


- Électronique (RAM, clé USB, disques SSD, ROM)

Disque SSD



RAM - Mémoire vive



ROM - Mémoire morte



La mémoire contient les programme et les données.

La mémoire peut être :

- Permanente : Les données sont conservées quand on éteint la machine
- Volatile : Les données sont conservées uniquement pour leur utilisation.

Dans un ordinateur, plusieurs grandes familles de mémoires sont utilisées :

- La mémoire vive : contient les programmes et données nécessaire au microprocesseur. Mémoire volatile, mais accessible très rapidement.
- Le stockage : pour conserver de manière permanente données et programmes(dont système d'exploitation)
- Le cache : mémoire très rapide, dans lequel sont stockées les données auxquelles le microprocesseur a besoin d'accéder souvent.
- Le registre : mémoire de taille réduite, mais directement intégré dans le microprocesseur. Permet un gain de temps très important.

Exercice 10.1

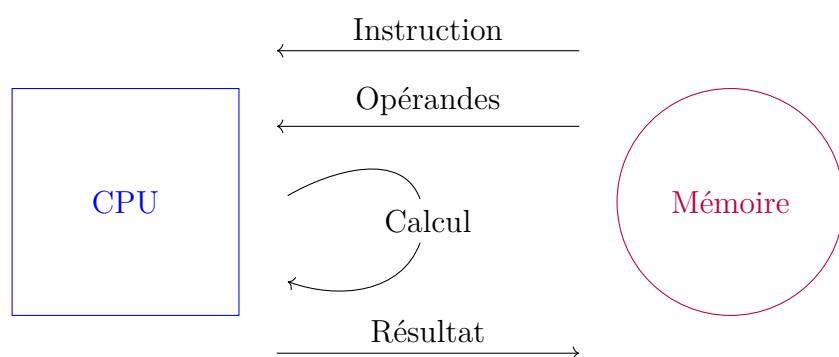
Identifiez ces 4 principaux composants :



2.2 Principe de base

Tout programme est donc une suite d'opérations simples qui ont toutes la même forme :

- Une instruction élémentaire est chargée dans la mémoire du processeur
- Les opérandes (données sur lesquelles vont être effectuées les calculs) sont chargés dans la mémoire du processeur.
- Le calcul élémentaire est effectué.
- Le résultat de l'opération est stocké en mémoire.



3 Les microcontrôleurs

Définition 10.1

Un microcontrôleur est un circuit intégré qui regroupe sur une même puce :

- un microprocesseur
- de la mémoire
- des périphériques et des bus de communication.

Les microcontrôleurs sont très souvent autonomes et exécutent le programme dans leur mémoire.

3.1 Avantages et inconvénients

⚠ La puissance de calcul et la rapidité sont en dessous des composants que l'on trouve sur une carte mère d'un ordinateur.

☛ La fréquence de l'horloge est de de l'ordre de quelques dizaine de mégahertz (MHz).
☛ La taille de la mémoire est de l'ordre de quelques kilo octets (Ko).

⚠ En revanche, les microcontrôleurs ont une consommation électrique très faible et possède donc une bonne autonomie.

⚠ Leur coût de consommation est très réduit (quelques dizaines d'euros)

3.2 Utilisation

Ils sont principalement utilisés dans les systèmes informatiques embarqués : dans les voitures, les avions, les robots ...

3.3 Un exemple

Prenons un régulateur de voiture. Que fait le microcontrôleur ?

- Il récupère la vitesse de la voiture via un des ses capteur externe branché à l'un de ses ports d'entrée
- Il se charge de l'accélération ou non du véhicule pour conserver la vitesse demandée

⚠ Il est soumis à des contraintes temporelles très fortes (temps de réponse) pour la sécurité des passagers.

On peut avoir besoin d'un périphérique auxiliaire, qui par exemple convertit des données analogiques en données numériques.

3.4 Architecture d'un microcontrôleur

La principale différence avec le modèle de Von Neumann est que la mémoire qui contient les programmes n'est pas la même que celle qui contient les données.

3.4.1 Mémoire programme

- ☛ La mémoire programme est une mémoire morte (elle ne perd pas l'information quand le microcontrôleur n'est plus alimenté)

Il existe plusieurs type de mémoire morte :

- La ROM (Rean Only Memory) : ne peut être que lu
- l'EEPROM (Electrically Erasable Programmable Rean Only Memory) : mémoire dont le contenu peut être écrit et effacé plusieurs fois.
- Memoire FLASH, similaire à l'EEPROM, mais avec un accès très rapide en lecture (et un peu moins rapide en écriture)

3.4.2 Mémoire Données

La mémoire Données peut être composée d'une partie de mémoire morte et d'une partie de mémoire vive (RAM pour Random Acces Memory).

3.5 Les principaux périphériques

- Les timers pour la gestion du temps
- Les convertisseurs numériques/analogiques
- les modules de capteurs de signaux pour récupérer la valeur d'un timer.
- Les modules de communication (pour que les microcontrôleurs communiquent entre eux)

4 Les systèmes sur puce : les SoCs

Définition 10.2

L'idée de base est d'intégrer sur une seule puce plusieurs éléments, de nature et de rôles différents, afin de créer un système autonome capable d'effectuer une tâche spécifique. Ces dispositifs portent le nom de **système sur puce**, ou **System on a Chip**, d'où le nom de **SoCs**.

☞ Un système sur puce rassemble tous les composants habituellement présents sur une carte mère d'un ordinateur.

Les caractéristiques des SoCs sont très proches de ceux des ordinateurs. Ils ont une puissance de calcul comparable (plusieurs gigahertz). Leur capacité de mémoire est en gigaoctets, et ils incluent des mémoire de type RAM ou FLASH. Ils contiennent de nombreux périphériques.

- ☛ Le tout sur une surface d'environ $100\ mm^2$.

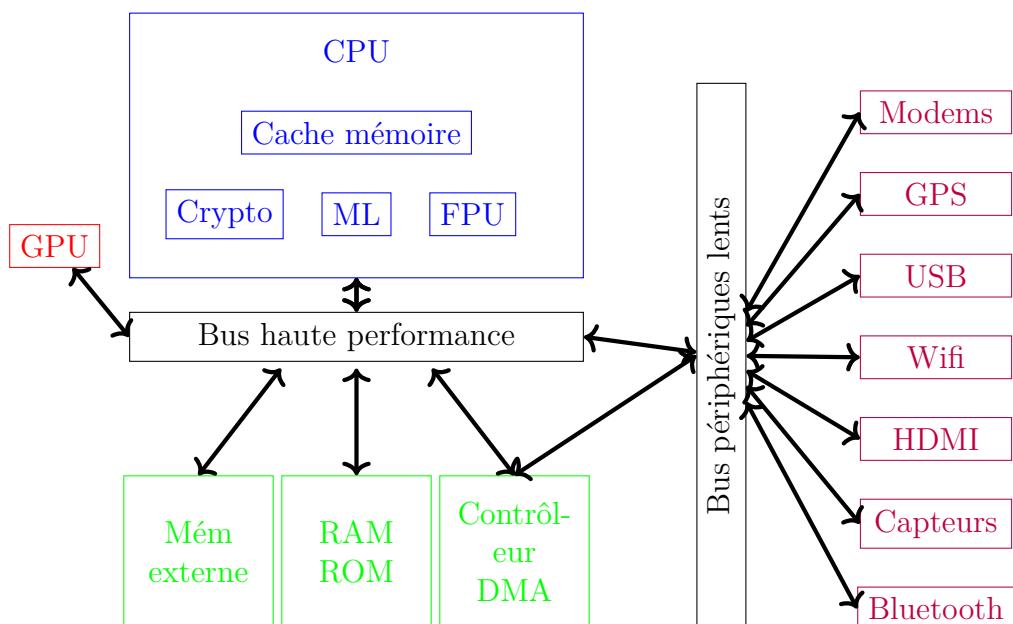
☞ Quels sont les éléments qui sont à intégrer dans les SoCs ? Cela dépend des objectifs de l'objet que l'on cherche à créer.

4.1 Quels sont les éléments qui peuvent être intégrés à une SoC ?

Ils sont très nombreux ! :

- Des microprocesseurs
- De la mémoire
- Des dispositifs de communication sans fil
- Des dispositifs d'entrée et de sortie
- Des capteurs

4.2 Architectures de SoCs



On retrouve une architecture comparable à l'architecture de Von Neumann dans laquelle il n'y a pas de différence entre la mémoire des programmes et la mémoires de données.

4.3 Avantages et inconvénients

Les SoCs sont incontournables dans l'informatique nomade (smartphone, tablette). Ils sont de plus en plus utilisés dans le monde des systèmes embarqués : voitures, robots, etc...

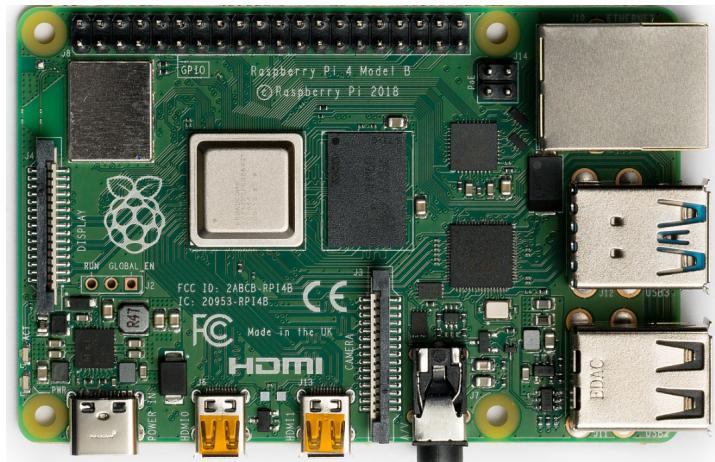
Voici les principaux avantages :

miniaturisation Outre le fait de pouvoir insérer des équipements informatiques dans des objets de petites tailles, cela permet aussi de miniaturiser les ordinateurs et tous les équipements numériques. Il y a là un potentiel d'innovation très important.

Énergie Les distances dans une SoCs sont très petites, et cela a pour conséquence une très faible consommation en énergie.

Silencieux La faible consommation a aussi pour conséquence une faible émission de chaleur. Les SoCs n'ont pas besoin de ventilateur !

Où se trouve le SoC sur ce Raspberry Pi ?



Coût Le prix d'un SoC est très faible si on le compare à celui d'une carte mère et de ses composants. Ceci s'explique par le faible coût de production résultant de la forte automatisation des puces de l'industrie *hardware*. D'autre part, les volumes de production sont très importants.

Sécurité Le circuit d'un Soc est conçu de façon globale, au niveau de sa partie *hardware* et de sa partie micrologicielle. Cette vue d'ensemble sans possibilité d'ajouter ou de changer des composants est un gage de sécurité du système

rapidité Vu les distances réduites entre, par exemple, le CPU et la mémoire, les données circulent beaucoup plus vite, ce qui permet d'améliorer les performances

Et les inconvénients :

- Pas de remplacement possible si un composant est endommagé.
- Pas de mise à jour possible (nouvelle version)

4.4 Quelques exemples

4.4.1 Les appareils photos numériques

Certains appareils photos numériques comportent des SoCs très complets de traitement d'images. Ces fonctions étaient avant réalisées par des applications logicielles, sur ordinateur.

4.4.2 La carte Arduino

La carte Arduino que vous avez utilisé en première repose sur un système sur une puce construit autour d'un micro contrôleur, (la forme la plus simple d'un SoC)

4.4.3 Les ordinateurs miniaturisés

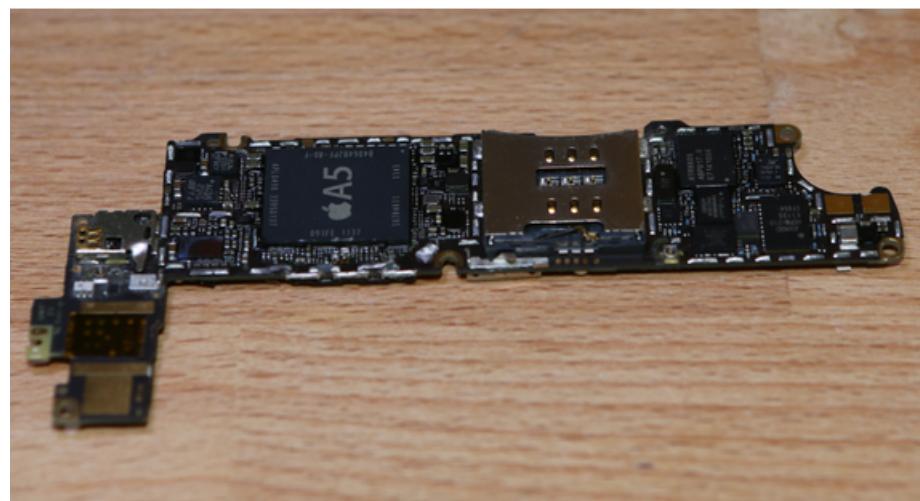
Certains fabricants ont mis sur le marché des nano-ordinateur, tel le Raspberry Pi que vous avez utilisé en première. Ces ordinateurs sont basés sur une (ou des) Soc Très complet(s) qui regroupe(nt) toutes les fonctionnalités d'un ordinateur classique.

4.4.4 Les smartphones

Un seul SoC est chargé de toutes les communications

Exercice 10.2

Voici la photo d'un iPhone 4S démonté. Comme vous le voyez, le nombre de composants est très réduit au regard des fonctionnalités ! La puce principale SoC est la puce A5.



- Quel est le nom du SoC de votre smartphone ?
- Quelles en sont les fonctionnalités ?

Vidéo
C'est ici !

Exercice 10.3

Quels sont les éléments essentiels d'un microcontrôleur ?
**

 **Exercice 10.4**

Donner quelques critères pour choisir un microcontrôleur ?

 **Exercice 10.5**

Quels sont les spécificités et avantages d'un système sur puce ?

**