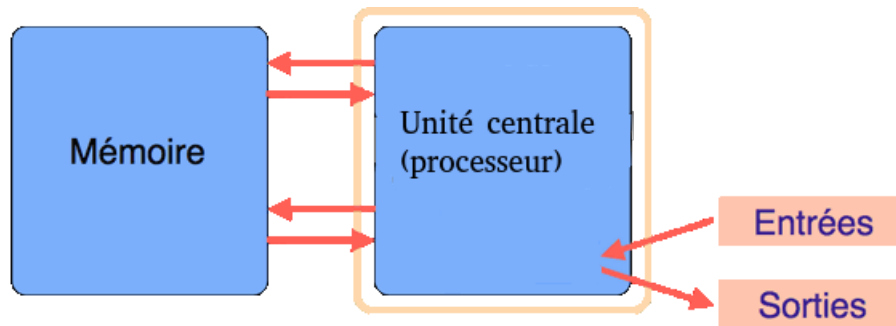


Chapitre : S.O.C (Système On a Chip)

1 Introduction

Depuis plus de soixante ans, l'architecture des ordinateurs est conforme à un schéma qui a peu évolué depuis son origine : le modèle dit « de von Neumann ». Ce modèle est représenté par le schéma ci-dessous :



On distingue trois éléments :

- Le processeur (CPU) : élément permettant d'exécuter les instructions d'un programme
- La mémoire : éléments permettant de stocker les données.
- Les entrées et sorties : éléments permettant la communication entre l'ordinateur et l'être humain appelés périphériques.

2 Le processeur

2.1 Présentation

Le processeur (CPU, pour Central Processing Unit) effectue les calculs à partir des données, des instructions (codées sous forme binaires) qui lui parviennent. Le processeur est composé de millions de transistors placés dans un boîtier comportant des connecteurs d'entrée-sortie.

Quelques caractéristiques d'un processeur :

- **L'horloge** Le processeur est cadencé par une horloge interne qui envoie des impulsions. La fréquence d'horloge, correspond au nombre d'impulsions par seconde. Elle s'exprime en Hertz (Hz). Pour un ordinateur à 2 GHz, l'horloge envoie 2 000 000 000 impulsions par seconde. Cette horloge permet notamment au processeur de basculer constamment d'un processus à l'autre sans que l'utilisateur ne s'en aperçoive.
- **MIPS**
- **32bits - 64bits**
- **Le nombre d'unités de calcul**

Exercice n° 1

Ouvrir un *terminal* et taper l'instruction : *lscpu*

1. Sur quel processeur est équipé votre machine ?
2. Donner sa fréquence maximale.
3. A quelle fréquence est-il en train de travailler ?
4. A quoi sert l'horloge ?

3 Les mémoires

3.1 Présentation

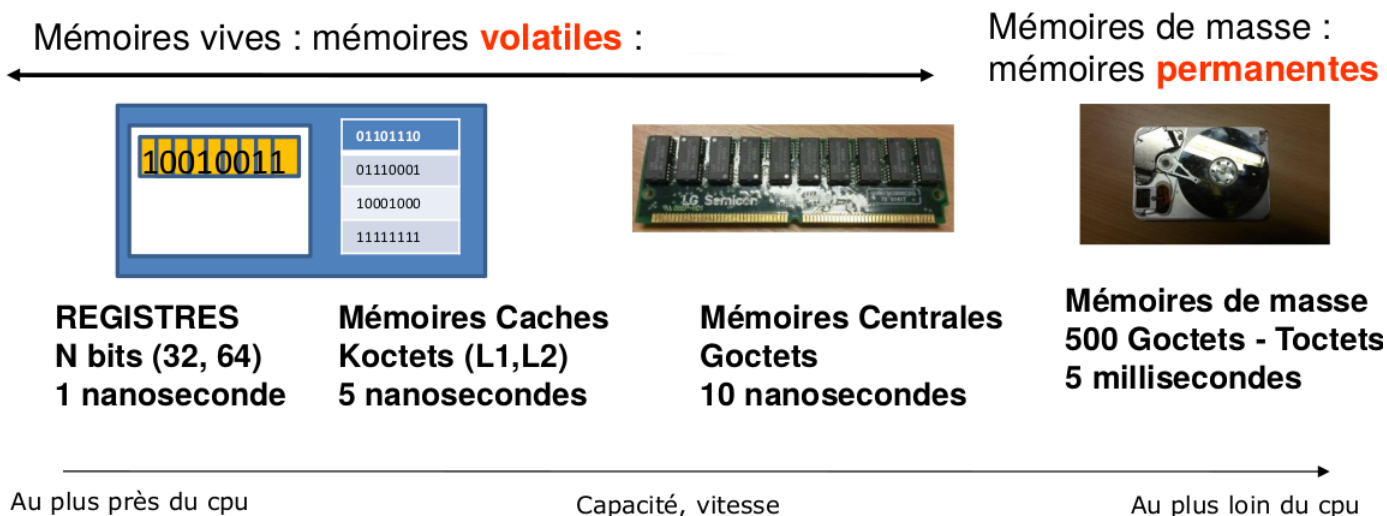
Une « mémoire » est un composant électronique capable de stocker des informations.

Une mémoire est caractérisée par :

- Sa capacité, représentant le volume global d'informations (en bits) que la mémoire peut stocker.
- Son temps d'accès, correspondant à l'intervalle de temps entre la demande de lecture/écriture et la disponibilité de la donnée.
- Sa persistance

3.2 Volatile V.S permanente

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Octet>



- **Mémoire volatile** : le contenu de la mémoire n'existe que si il y a une alimentation électrique (typiquement les mémoires caches et mémoire centrale)
- **Mémoire permanente**, de masse : mémoire de grande capacité dont le contenu demeure même sans alimentation électrique (typiquement le disque dur)

Exercice n° 2

A l'aide des commandes : `free -h` ; `sudo fdisk -l` et `lscpu`, identifier la capacité des mémoires caches, centrales et de masse.

Exercice n° 3

1. Lire l'article : https://fr.wikipedia.org/wiki/Hiérarchie_de_mémoire
2. Quel est le temps d'accès à une mémoire SRAM ?
3. Pourquoi ne pas ne pas équiper les ordinateurs avec davantage de mémoire cache ou de type SRAM ?
4. Les disques durs SSD sont-ils des mémoires de masses ?

4 S.O.C

4.1 Intro

Bananes + éplucheur + broyeur= purée de bananes Fabriquons un SoC en laissant le broyeur et

l'éplucheur sur le plan de travail (à proximité de l'unité de calcul alias "le marmiton")

4.2 System On a Chip

Plus les données sont proches du processeur, plus l'accès y est rapide. Meilleures performances. L'idée est de centraliser c'est à dire de fabriquer des puces qui contiennent une carte graphique, une carte 4G, GPS, carte wifi.

Avantages :

- - de conso (car moins d'alimentation)
- + de performances

Inconvénients :

- Pas de mise à jour matériel
- Peu résilient (5G !)
- le top pour l'obsolescence programmée.

Exercice n° 7 Un peu d'histoire ...

Depuis le tout premier circuit intégré (le 4004) jusqu'à nos jours, cette loi s'est toujours vérifiée, même si on s'en éloigne actuellement. Voici un exemple avec quelques processeurs d'Intel :

- 1971 : Intel 4004 : 2 300 transistors
- 1978 : Intel 8086 : 29 000 transistors
- 1982 : Intel 80286 : 275 000 transistors
- 1989 : Intel 80486 : 1 160 000 transistors
- 1993 : Pentium : 3 100 000 transistors
- 1995 : Pentium Pro : 5 500 000 transistors
- 1997 : Pentium II : 27 000 000 transistors
- 2001 : Pentium 4 : 42 000 000 transistors
- 2004 : Pentium Extreme Edition : 169 000 000 transistors
- 2006 : Core 2 Quad : 582 000 000 transistors
- 2010 : Core i7 : 1 170 000 000 transistors

Le nombre de transistors sur un processeur suit la loi de Moore.

Faire une recherche sur cette loi.

Exercice n° 8

1. Lire la page : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Octet>

2. Montrer que l'affichage donné par Vista n'est pas correct :

Type :	Disque local	
Système de fichiers :	NTFS	
■ Espace utilisé :	85 455 966 208 octets	79,5 Go
■ Espace libre :	65 989 451 776 octets	61,4 Go
	151 445 417 984 octets	141 Go

3. Tester les commandes : `free --kibi` ; `free --kilo`.

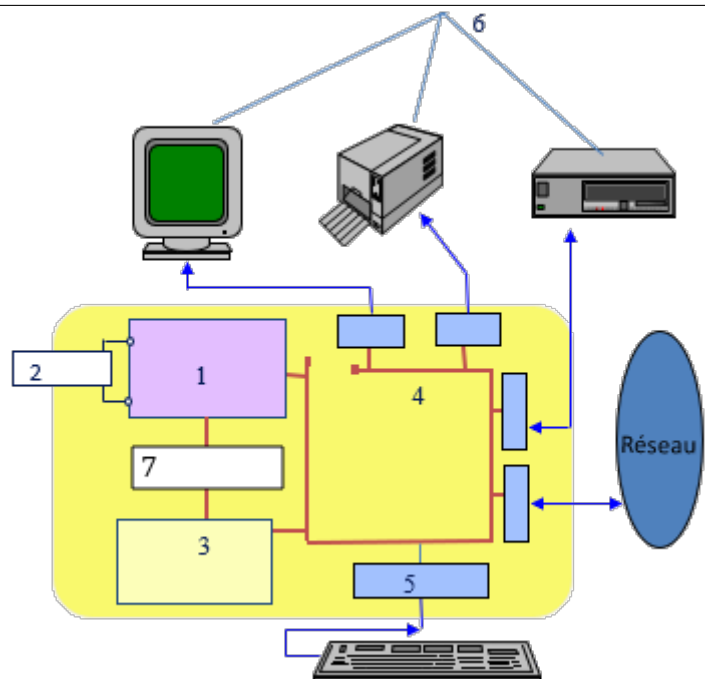
4. Justifier que les affichages de la colonne total sont cohérents

```
(base) fourlegnie@fourlegnie:~$ free --kilo
              total        used        free      shared  buff/cache   available
Mem:           8235986     2515660     817790     451698     4902535     4955455
Swap:          2147479         11341     2136137
(base) fourlegnie@fourlegnie:~$ free --kibi
              total        used        free      shared  buff/cache   available
Mem:           8042956     2457692     797708     441028     4787556     4838404
Swap:          2097148         11076     2086072
(base) fourlegnie@fourlegnie:~$
```

Exercice n° 9

Placer les différents composants de l'ordinateur et expliquez leur rôle :

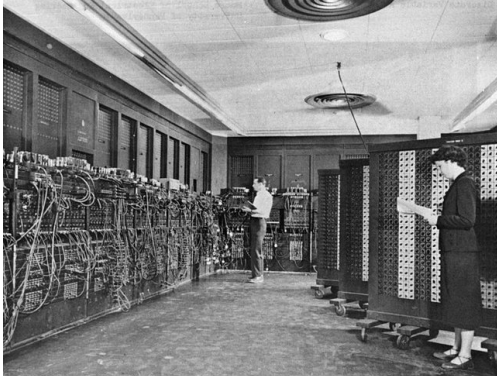
- Processeur
- Horloge
- Mémoire cache
- Mémoire centrale
- Bus
- Entrées
- Sorties



6 Un peu d'histoire

7 De l'ENIAC au téléphone portable

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.

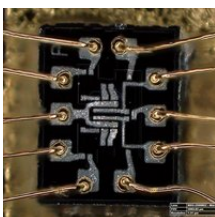


Sa capacité est de 20 nombres à 10 chiffres signés permettant chacun de réaliser 5 000 additions simples chaque seconde (pour un total de 100 000 additions par seconde). Il ne peut en revanche gérer que 357 multiplications ou 38 divisions par seconde. Cette puissance de calcul lui a permis en 1949 de calculer 2000 décimales de pi de en 70 heures. 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 mission 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).

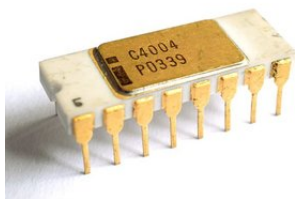


Celui-ci ne pèse que 32kg et possède une consommation électrique suffisamment faible pour être embarqué dans une capsule spatiale fonctionnant sur batteries. Ces progrès ont été possibles grâce notamment au recours aux circuits intégrés (CI) pour réaliser des fonctions logiques : Il a fallu plus de 5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



L'AGC possède une mémoire de stockage de 72ko et une mémoire de travail (RAM) de 2ko.

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



Il intègre dans une seule puce 2300 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 permet de voir le fonctionnement interne de ce processeur lors de l'exécution d'un programme.

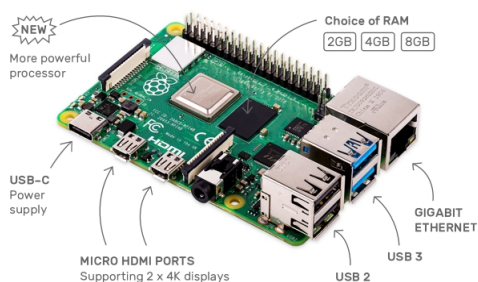
A partir des années 1980, l'architecture des ordinateurs n'a plus beaucoup évolué. Les puces ont intégré de plus en plus de composants leur permettant de réaliser des opérations plus complexes. La miniaturisation de la gravure de la puce a permis une montée de la fréquence d'horloge permettant aux ordinateurs 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 microbit en est un exemple :



Cette carte embarque un microcontrôleur qui est un système complet tenant dans une seule puce : 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.

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, Wifi...), un contrôleur graphique digne d'une console de jeu, tout cela fonctionnant sur batterie avec une durée de fonctionnement de plusieurs heures.

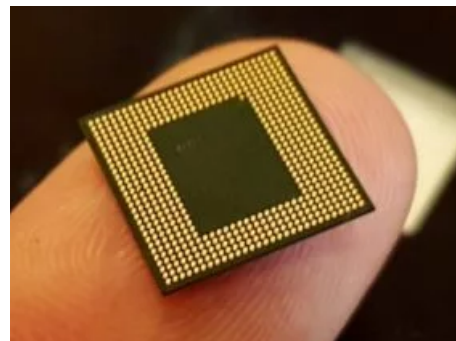
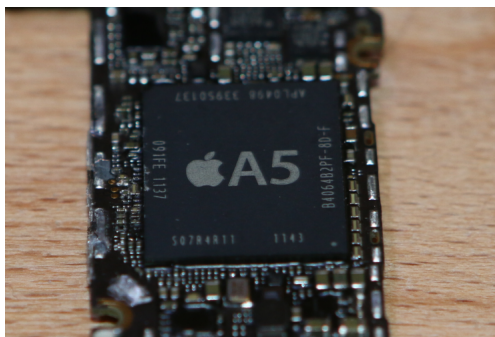
Le téléphone portable semble réaliser l'impossible : concilier à la fois performances, fonctionnalités et consommation électrique réduite. Le secret réside dans l'intégration de toutes les fonctionnalités sur une seule puce électronique. Une telle intégration est possible grâce à une gravure de plus en plus fine. Au-

aujourd'hui la finesse de gravure descend en dessous de 10nm, soit quelques dizaines de couches atomiques ! Cela permet :

- d'intégrer plus de 10 milliards de transistors sur une même puce et donc de miniaturiser davantage la puce tout en augmentant ses fonctionnalités
- de monter en fréquence et de gagner en performance car les signaux électriques se propagent de plus courtes distances
- de limiter les déperditions d'énergie et donc augmenter l'autonomie du téléphone.

Le microprocesseur n'est qu'un composant du SoC qui est au cœur du téléphone. On peut voir un SoC comme un PC miniaturisé à l'extrême. Il comprend donc des composants et contrôleurs lui permettant de gérer tous les équipements de votre smartphone, qu'il s'agisse de l'appareil photo, de la mémoire interne, ou encore des modules radio.

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.



Source : <https://www.lecluse.fr/nsi/NSI-T/archi/soc/>

Exercice n° 10

Sur les photos ci-dessous, identifier le processeur.

