

Séq. 19 – Système sur puce

Objectifs

1. Identifier les principaux composants sur un schéma de circuit
2. Identifier les avantages de leur intégration en termes de vitesse et de consommation
3. Identifier les inconvénients

Cette séquence s'appuie sur :

- http://tnsi.free.fr/documents/11_%20SoCs.pdf
- http://nsi4noobs.fr/IMG/pdf/c1_tnsi_soc.pdf
- https://qkzk.xyz/docs/nsi/cours_terminale/architecture/composants/cours/
- https://monlyceenumerique.fr/nsi_terminale/arse/a1_systeme_sur_puce.php

1 Composants électroniques, évolutions et fonctionnalités

1.1 Architecture « classique »

Au sein d'un ordinateur "classique" tel qu'un PC de bureau, les rôles des constituants matériellement distincts sur la carte mère (qui les relie entre eux) se répartissent, pour les principaux, ainsi :

- Le processeur (CPU) se charge de réaliser les calculs les plus "importants", ceux qui permettent par exemple de faire tourner le système d'exploitation ou un navigateur web.
- La RAM pour le stockage temporaire des différents programmes et données à traiter.
- Le processeur graphique (ou GPU) qui se charge d'afficher une image, qu'elle soit en 2D ou bien en 3D comme dans les jeux.

A faire vous même 1.

Consulter la vidéo "La carte mère décortiquée" <https://youtu.be/8OFT66Gx9Gc> et réaliser un document de synthèse des constituants d'une carte mère, en expliquant le rôle des différentes puces qui la compose.

1.2 Circuit intégré

1.2.1 Définition

Le circuit intégré (CI), aussi appelé puce électronique, est un composant électronique, basé sur un semi-conducteur, reproduisant une, ou plusieurs, fonction(s) électronique(s) plus ou moins complexe(s), intégrant souvent plusieurs types de composants électroniques de base dans un volume réduit (sur une petite plaque), rendant le circuit facile à mettre en œuvre.

A faire vous même 2.

Consulter la vidéo "Les circuits intégrés" <https://youtu.be/ee-LhNZPZ1U>

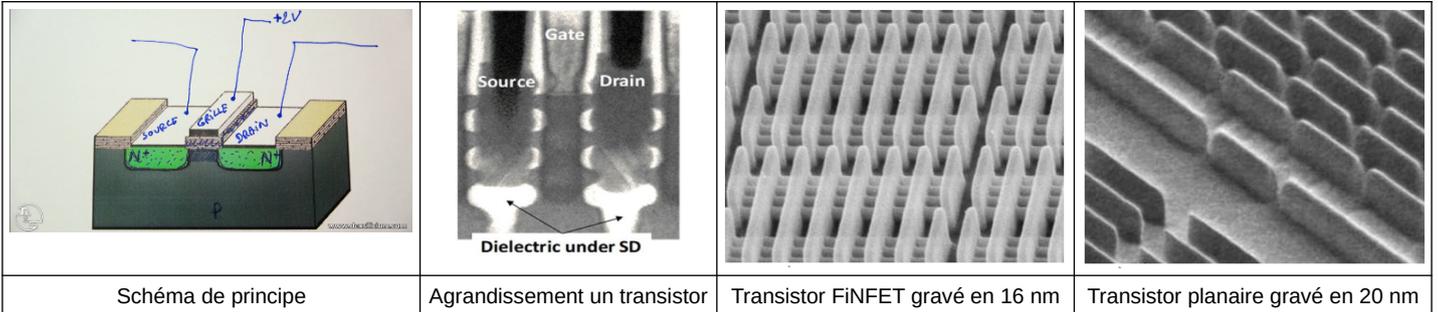
1. Réaliser une frise chronologique <http://www.frisechronos.fr/DojoMain.htm> sur l'évolution des circuits intégrés (les étapes clés) à partir de l'invention du transistor (point de départ de la frise).

1.2.2 La "photolithographie".

La photolithographie, désigne l'ensemble des opérations permettant de délimiter l'extension latérale des matériaux sur la surface d'un substrat semi-conducteur, dont la structure est plus ou moins bidimensionnelle car basée sur l'empilement de couches à la surface d'une plaquette de silicium. Les motifs deviendront par la suite les différentes zones actives des composants électroniques (exemple : contact, drain...) ou les jonctions entre ces composants.

1.2.3 La finesse de gravure

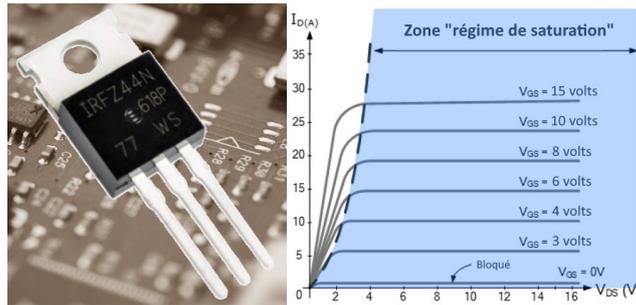
Dans un circuit intégré une très grande quantité de transistors sont gravés.



La finesse de gravure correspond à la distance entre la source et le drain (zone de déplétion). Sachant qu'un atome de silicium a une taille de 0,22 nm, une finesse de gravure de 10 nm signifie qu'il y a 45 de ces atomes pour séparer drain et source. Les dernières évolutions permettent des gravures avec une finesse de moins de 10 nm voir 5 nm. On comprend vite la limite matérielle puisqu'à 1 nm, il ne reste plus que 4 atomes, et là commence à se poser des problèmes physiques du niveau de la mécanique quantique : le fonctionnement, pour l'instant prévisible, de ces commutateurs électroniques ne sera plus de deux états logiques...

1.2.4 Transistors de type "MOSFET"

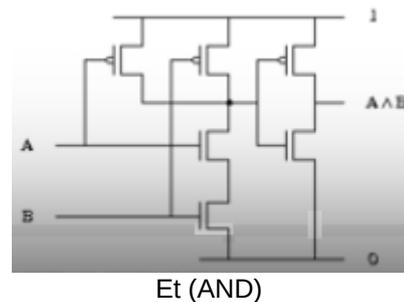
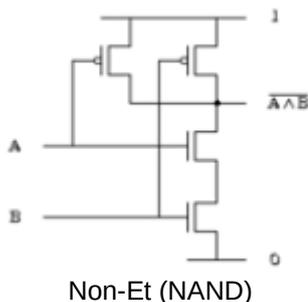
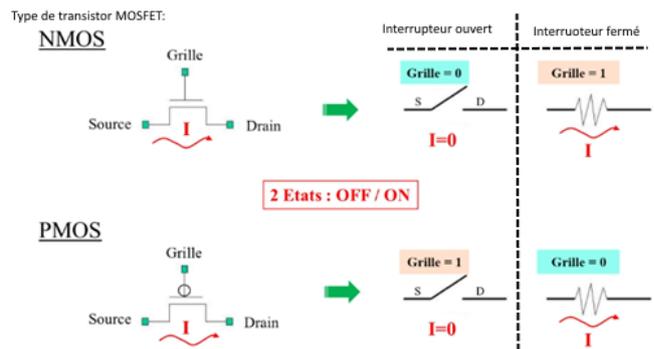
Un simple commutateur guidé électriquement en tension qui permet ou non à un courant de passer entre deux points de contact.

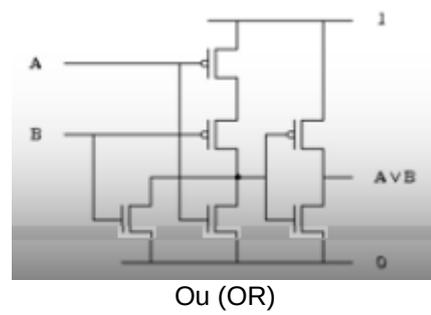
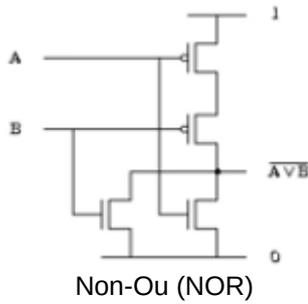


1.2.5 Du transistor à la porte logique

Les transistors MOSFET se déclinent en deux types, canal N et canal P, complémentaires du point de vue de leur fonctionnement (voir schéma ci-contre).

La combinaison de ces deux transistors permet de réaliser les fonctions logiques de base (présence de tension : 1 logique, absence de tension : 0 logique) entraînant l'ouverture ou la fermeture Source-Drain.





1.2.6 Le 1er microprocesseur de l'histoire

Le 1er microprocesseur, l'Intel 4004 mis en service en 1971, a été construit initialement pour être au cœur d'une calculatrice de marque BUSICOM. Sa puce de silicium d'une surface de 12 mm² contient 2250 transistors avec un adressage de 4 bits et une finesse de gravure 10 μm, de l'ordre de 1000 fois supérieure à ce qui se fait de nos jours.

1.2.7 Evolution des microprocesseurs

A faire vous même 3.

Compléter le tableau suivant :

Année	Microprocesseur Intel	Bus adresses/ données (bits)	Fréquence horloge (Hz)	Nombre transistors	Finesse de gravure (nm)	Nbre de broches	Vitesse de calcul (mips)
1971	4004			2 300			
1974	8080			6 000			
1978	8086			29 000			
1985	80386			275 000			
1993	Pentium1			3,1 × 10 ⁶			
2000	Pentium4			42 × 10 ⁶			
2006	*Core 2 duo (Conroe)			291 × 10 ⁶			
2010	**Core i7 (Gulftown)			1,17 × 10 ⁹			
2018	***Coffee Lake			3 × 10 ⁹			

*technologie multi-cœurs, **6 cœurs, ***2 à 8 cœurs

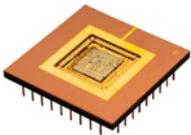
Sitographie : <https://www.courstechinfo.be/Hard/Processeur.html> , <https://www.cpu-world.com> , https://www.system-cfg.com/pages/hist_micro1.php , <https://fr.wikipedia.org/wiki/Microprocesseur> , <https://www.irif.fr/~carton/Enseignement/Architecture/Cours/Historic/index.html>

A faire vous même 4.

- Sur internet, cherchez la loi de (Gordon) Moore. Que dit cette loi ?
- Avec le module `matplotlib`, réalisez un graphique qui illustre la loi de Moore

1.2.8 Différentes catégories de circuits intégrés dits numériques (sigle et signification).

Mémoires volatiles : la famille des RAM	DRAM (DYNAMIC RANDOM ACCESS MEMORY) SRAM (STATIC RANDOM ACCESS MEMORY)
Mémoires non volatiles : la famille des ROM (excepté les deux derniers)	MASKROM (ROM programmée par le fabricant) PROM (ROM programmable par fusibles) EPROM (ROM programmable et effaçable) EEPROM (ROM programmable électriquement) NVRAM (RAM non volatile) MÉMOIRES FLASH (NAND et NOR)

Autres que mémoires, par sigle :	CPU MICROPROCESEUR 	MCU MICROCONTRÔLEUR 	GPU PROCESSEUR GRAPHIQUE 	APU UNITÉ DE CALCUL ACCÉLÉRÉ 
	CPLD CIRCUIT LOGIQUE PROGRAMMABLE 	FPGA RÉSEAU DE PORTES PROGRAMMABLES 	DSP PROCESSEUR DE SIGNAL NUMÉRIQUE 	ASIC CIRCUIT INTÉGRÉ SPÉCIALISÉ 
	SoC SYSTÈME SUR UNE PUCE 	ADC CONVERTISSEUR NUMÉRIQUE ANALOGIQUE 	DAC CONVERTISSEUR ANALOGIQUE NUMÉRIQUE 	PORTES LOGIQUES MULTIPLES  www.dexsilicium.com

2 Les Socs (System on a Chip)

2.1 Composants d' un SOC

La réduction de taille des éléments des circuits électroniques a conduit à l'avènement de systèmes sur puce appelés aussi SoC (System on a Chip) qui regroupent dans un seul circuit nombre de fonctions autrefois effectuées par des circuits séparés assemblés sur une carte électronique.

Il comprend à la fois:

- le processeur central à un ou plusieurs cœurs de calcul,
- un processeur graphique,
- la mémoire vive,
- la mémoire statique (Rom, Flash, EPROM),
- les puces de communications (Bluetooth, WiFi, 2G/3G/4G, LoRa...),
- les capteurs nécessaires au fonctionnement d'un smartphone ou d'un objet connecté,
- ...

En clair, le système sur une puce comprend tous les éléments essentiels d'un ordinateur comprimé dans une forme réduite.

L'intégration de tous ces composants sur une seule puce permet de gagner en réduction de temps de transfert et de consommation.

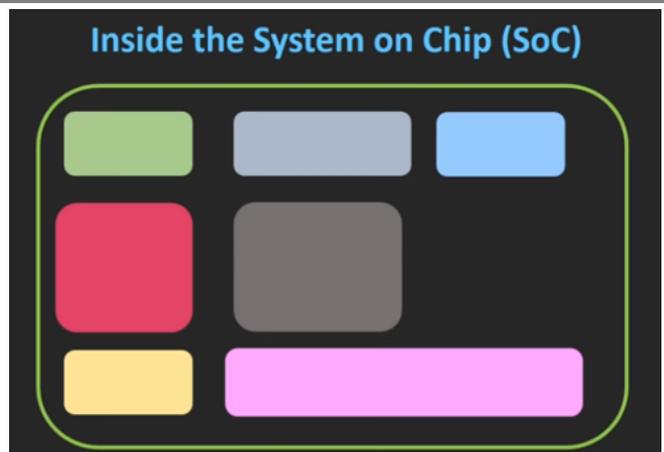
Son faible encombrement, son caractère complet et sa faible consommation d'énergie en font un circuit intégré idéal pour les smartphone, tablettes, nano-ordinateurs, consoles de jeu, tous les objets dits connectés (...), et bien d'autres encore...

A faire vous même 5.

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

Pensez à activer les sous-titre dans le menu paramètre si vous en avez besoin

Complétez le schéma ci-contre :



2.2 Les différents types de Soc

Il n'y a pas un seul système sur une puce. Les utilisations variées de ce type de circuit intégré demande des architectures sensiblement différente. On distingue trois grandes familles de SoC :

1. 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.
2. 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.
3. Le système sur une puce dédié à une tâche spécifique. Cette dernière famille comprend notamment les puces reprogrammables FPGA.

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.

1. L'architecture ARM :
Conçu par la société du même nom, l'architecture ARM a été développé 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.
2. L'architecture X86 :
Voici l'architecture la plus répandu 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 fondateur. Cependant, l'architecture X86 est beaucoup moins utilisée pour développer les modèles d'un système sur puce IoT.

A faire vous même 6. Analyse électronique de la XBOX Series X

Consulter la vidéo : <https://youtu.be/uyoEbcwEYbM> (la partie entre 3'43" à 7'25')

Faire un résumé des caractéristiques (du SoC étudié) mises en relief dans cette partie de la vidéo.

A faire vous même 7. Votre smartphone comporte aussi un SoC

1. Sur android installez l'application CPU-Z (Sur iPhone, installez l'application AIDA64 -pas testée-)
2. Déterminez les caractéristiques principales de votre téléphone :
 - a) SoC (éléments constitutifs internes, fonctionnalités, performances)
 - b) Quantité de RAM,
 - c) Révision du système d'exploitation et version du noyau (si disponible),
 - d) Capteurs physique (faire une petite liste en regroupant)
 - e) Résolution de l'écran, densité de pixels,
 - f) Votre smartphone dispose d'un gyroscope électronique. À quoi sert-il ?
 - g) Capacité et tension de la batterie. Selon l'application, dans quel état est-elle ?

A faire vous même 8. Pour les plus rapides

Le dernier en date...

- Aller sur le site : <https://www.01net.com/actualites/snapdragon-888-dans-les-entrailles-du-processeur-star-des-smartphones-de-2021-2013501.html>
- Indiquer les évolutions majeures apportées par ce SoC.

3 Performance vs. faible consommation énergétique

3.1 Au niveau du CPU du SoC

Au sein d'un SoC, on trouve donc bien sûr, un processeur. Le processeur (ou CPU) au sein d'un SoC joue le même rôle que sur un PC. Avec néanmoins une différence importante.

Un processeur sur PC cherche à effectuer la tâche qui lui est confiée en visant la plus haute performance possible sans forcément se soucier de la consommation d'énergie.

Le processeur d'un SoC fonctionne en cherchant le plus d'efficacité, c'est-à-dire d'efficacité énergétique, possible dans toutes ses tâches. Le but est d'utiliser le moins possible d'énergie provenant de la batterie.

Ce principe s'applique également aux ordinateurs portables, dans lesquels on peut trouver des processeurs mobiles ou des SoC.

Pour arriver à de bonnes performances en ménageant la consommation d'un processeur, il est possible de jouer sur plusieurs facteurs :

- La fréquence du processeur,
- le type et nombre de cœurs au sein du processeur,
- la finesse de gravure.

3.1.1 La fréquence du processeur

La fréquence d'un processeur se mesure en gigahertz (GHz). Une fréquence de 1 GHz signifie que tous les milliardièmes de seconde, le processeur peut traiter un nouveau groupe d'octets. Les puces disposent actuellement de processeurs tournant à une fréquence comprise entre 1.3 et 3 GHz environ.

Plus la fréquence est élevée et plus les performances sont grandes mais plus la consommation énergétique est grande.

3.1.2 Les cœurs

Afin de compenser la limitation de la fréquence, une solution pour gagner en performance et multiplier le nombre de cœurs.

Les tâches peuvent alors être découpées pour être traitées en parallèle par différents cœurs.

Le type de cœurs au sein du processeur a également son rôle à jouer.

3.1.3 La gravure

La réduction de la taille de la gravure permet de réduire la consommation électrique tout en améliorant les performances par l'augmentation du nombre de transistors disponibles sur une même puce.

La taille de gravure peut descendre actuellement en dessous- de 5 nanomètres (nm).

3.2 Autres moyens

3.2.1 Le GPU du SoC

La puce graphique ou GPU sert à calculer des images en 2D ou 3D affichées ensuite sur l'écran via les pixels de la dalle.

Ce calcul d'images est constant dans un GPU de smartphone pour afficher une page web, une vidéo, ...

LE GPU est construit pour être adapté aux tâches de calcul d'image afin d'être bien plus efficace que ne le serait le processeur CPU.

Il y a une adaptation des ressources dont le GPU dispose en fonction des besoins.

3.2.2 Autres composants

Plus généralement, différentes tâches vont être consacrées à des processeurs dédiés et optimisés pour ces seules fonctions :

- la puce neuronale (NPU) traite spécifiquement l'intelligence artificielle,
- le processeur de signal numérique (DSP) qui traite les signaux numériques, sonores en particuliers.
- le processeur de sécurité (SPU) qui gère la sécurité du smartphone,
- ...

3.2.3 L'architecture du SoC

La miniaturisation permet de compenser une partie de la baisse de fréquence par rapport au CPU d'un ordinateur classique.

D'une part, par la finesse de gravure ; d'autre part, par la proximité des différents composants qui permet aux données de circuler très rapidement entre ceux-ci.

3.2.4 La partie logicielle

Le système d'exploitation doit être optimisé afin de consommer un minimum de ressource.

Apple réussit à faire bénéficier ses appareils d'un rapport consommation – performances favorable puisque ce constructeur ne commercialise que très peu d'appareils (iPhone, iPad et iWatch) : Apple optimise son système d'exploitation iOS en fonction du processeur utilisé.

Sur Android, c'est bien plus compliqué, puisque chaque téléphone est différent, que ce soit au niveau matériel que logiciel. Ainsi, Google doit donc tenir compte d'une très grande diversité de configurations dans l'écosystème Android. Cette diversité, qui est une des forces commerciales de l'écosystème Android peut aussi amener des performances peu optimales sur certains modèles.

C'est une des raisons pour lesquelles les processeurs utilisés dans les SoC des smartphones Android sont généralement cadencés à des fréquences plus hautes et possèdent plus de cœurs par rapport à un iPhone, pour compenser le moindre niveau d'optimisation que chez Apple.

4 Avantages et inconvénients des SOC

4.1 Avantages

- Diminue la consommation électrique
- Réduit les coûts
- Permet la miniaturisation
- Augmente les performances

4.2 Inconvénients

- Peu maintenable
- Pas d' évolution des fonctions possible

5 Pour info : exemples de SoC actuels

Voici quelques exemple chez les principaux fabricants:

- **Apple (A13 Bionic):**
Il équipe les iPhone 11, le SoC dispose d'un CPU 6 cœurs: 2 cœurs 2.65 GHz Lightning et 4 cœurs 1.8 GHz Thunder. Le GPU du SoC est le A13 GPU 4 cores.
- **Qualcomm (Snapdragon 865):**
Qualcomm est le leader sur le marché des SoC mobiles. Le Snapdragon 865 dispose d'un CPU 5G 8 cœurs: 1 cœur 2.8 GHz Kryo 585, 3 cœurs 2.4 GHz Kryo 585 et 4 cœurs 1.8 GHz Kryo 585. Le GPU quant à lui est un Adreno 650.
- **Huawei (Kirin 990)**
Il équipe Huawei P40 et P40 Pro. On y retrouve un CPU 5G 8 cœurs avec 2 cœurs 2.86GHz A76, 2 cœurs 2.36GHz A76 et 4 cœurs 1.95GHz A55. La carte graphique (GPU) est un Mali-G76 MP16.
- **Samsung (Exynos 990)**
Il équipe les Samsung Galaxy S20 en Europe. 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. Pour finir, le GPU est un ARM Mali G77MP11.

A faire vous même 9.

1. Lisez cet article :
 - <https://www.elektormagazine.fr/news/un-soc-combine-pour-dynamiser-les-performances-du-raspberry-pi-3-modele-b>
 - https://monlyceenumerique.fr/nsi_terminale/arise/dl/article_Pi_3.pdf
2. Relevez les différentes caractéristiques du SoC du Raspberry Pi 3 modèle B+.
3. Les comparez au SoC du Raspberry Pi 4.
4. Quelles sont les principales évolutions qui contribuent à ce gain ?

A faire vous même 10.

Regardez vidéo qui résume le chapitre : <https://peertube.lyceeconnecte.fr/w/725WEk3ztQFjwQJYdZqUTN>

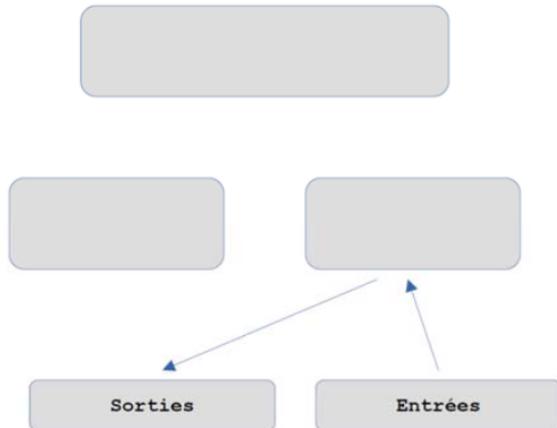
Partie C : Architectures matérielles

Architecture Von Neumann

« L'architecture dite architecture de Von Neumann est un modèle pour un ordinateur qui utilise une structure de stockage unique pour conserver à la fois les instructions et les données demandées ou produites par le calcul. De telles machines sont aussi connues sous le nom d'ordinateur à programme enregistré. » source : Wikipédia

Elle décompose l'ordinateur en 4 éléments : l'unité de contrôle (appelé aussi unité de commande), l'unité arithmétique et logique (UAL), la mémoire et les entrées-sorties. Les deux premiers éléments sont rassemblés dans le processeur (CPU en anglais pour Control Processing Unit).

1. Recopier et compléter le schéma de cette architecture ci-dessous en faisant apparaître les communications entre les différents éléments.

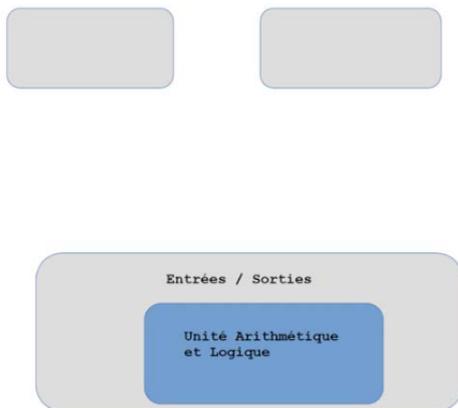


2. Dans quel(s) élément(s) sont situés le « compteur de programme » (CP ou IP en anglais pour Instruction Pointer) et le « registre d'instruction » (RI ou IR en anglais pour Instruction Register). Préciser leurs rôles.

Architecture de Harvard

« L'architecture de type Harvard est une conception qui sépare physiquement la mémoire de données et la mémoire programme. L'accès à chacune des deux mémoires s'effectue via deux bus distincts. [...] L'architecture Harvard est souvent utilisée dans les processeurs numériques de signal (DSP) et les microcontrôleurs. » source : Wikipédia

3. Recopier et compléter le schéma de cette architecture ci-dessous et faire apparaître les communications entre les différents éléments.



4. Expliquer ce qu'est une mémoire morte et une mémoire vive. Expliquer brièvement pourquoi, dans les microcontrôleurs, la mémoire programme est une mémoire morte.

Partie D : Système sur puce

Architecture Von Neumann

« Un "système sur une puce", souvent désigné dans la littérature scientifique par le terme anglais "system on a chip" (d'où son abréviation SoC), est un système complet embarqué sur une seule puce ("circuit intégré"), pouvant comprendre de la mémoire, un ou plusieurs microprocesseurs, des périphériques d'interface, ou tout autre composant nécessaire à la réalisation de la fonction attendue. » source : Wikipédia

1. Citer un des avantages d'avoir plusieurs processeurs.
2. Expliquer pourquoi les systèmes sur puces intègrent en général des bus ayant des vitesses de transmission différentes.
3. Citer un des avantages d'un circuit imprimé de petite taille.
4. Citer un des inconvénients de cette miniaturisation.