

Chapitre 3

Composants électroniques d'un ordinateur

Le but de ce chapitre est de présenter en détails les composants électroniques qui composent un ordinateur.

1. Architecture de base des ordinateurs

L'architecture d'un système à microprocesseur représente **l'organisation** de ses différentes unités et de leurs **interconnexions**.

Le choix d'une architecture est toujours le résultat d'un compromis :

- entre performances et coûts,
- entre efficacité et facilité de construction,
- entre performances d'ensemble et facilité de programmation
- etc

John Von Neumann, un mathématicien hongrois, est le premier à mettre en œuvre la notion de **mémoire** pour enregistrer un programme en utilisant le système binaire basé sur deux valeurs (0 et 1).

Le premier ordinateur fonctionnant selon ce principe est baptisé L'EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator) (1945), la machine de Von Neumann était composée de cinq parties :

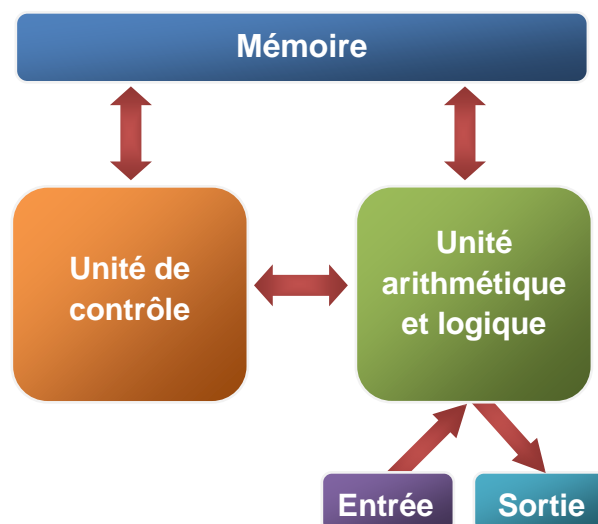


Figure 1. Architecture de Von Neumann.

- **Unité arithmétique et logique** (UAL ou *ALU* en anglais) ou unité de traitement : son rôle est d'effectuer les opérations de base (opérations arithmétiques et logiques) ;
- **Unité de contrôle** (ou **unité de commande**), chargée du « séquençage » des opérations (contrôler les échanges, gérer l'enchaînement des différentes instructions, etc..).
- **Mémoire** qui contient à la fois les données et les programmes. La mémoire se divise entre mémoire volatile (programmes et données en cours de fonctionnement) et mémoire permanente (programmes et données de base de la machine) ;
- **Dispositifs d'entrée-sortie**, qui permettent de communiquer avec le monde extérieur, et notamment à ses utilisateurs humains

Les différents organes du système sont reliés par des voies de communication appelées **bus**.

Cette architecture est à la base de la conception des ordinateurs jusqu'à nos jours.

2. Les principaux composants d'un ordinateur

Tous les composants internes de l'ordinateur sont englobés dans le boîtier et on y trouve entre autres : la carte mère, le processeur, les mémoires, ...



Figure 2. Composants internes d'un ordinateur.

2.1. La carte mère

La carte mère est le socle qui fait fonctionner les composants et les technologies de nos ordinateurs. Au montage d'un ordinateur on fixe la carte mère en premier dans le boîtier de l'unité centrale puis on connecte sur elle tous les éléments électroniques : processeur, mémoire, carte graphique, carte d'extension, mais aussi les disques durs, lecteur de CD/DVD, clavier, souris, enceinte...

La qualité de la carte mère est vitale puisque la performance de l'ordinateur dépend énormément d'elle.

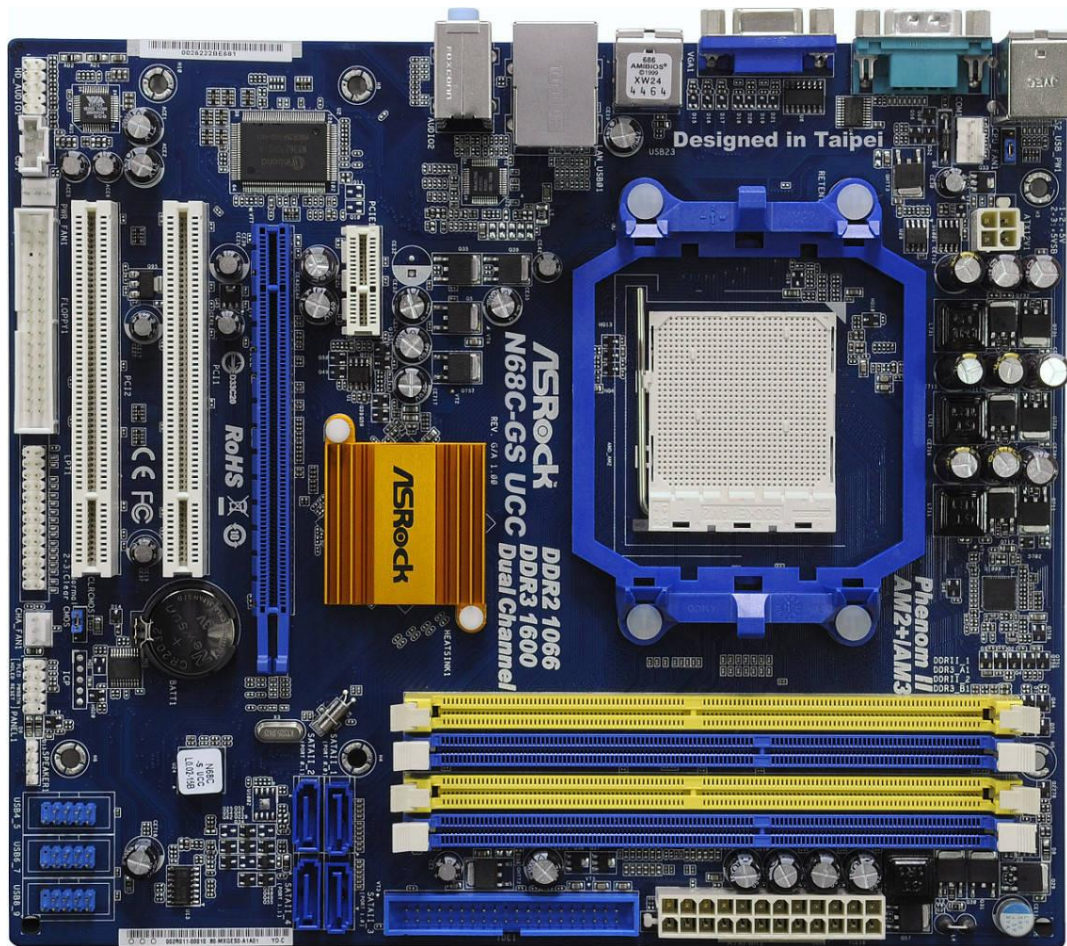
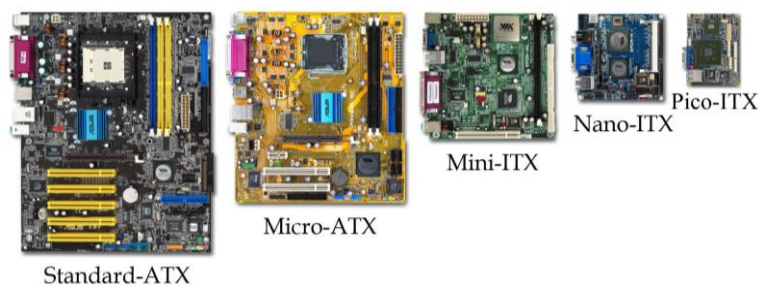


Figure 3. Carte mère.

Il existe plusieurs façons de caractériser une carte mère, notamment selon les caractéristiques suivantes :

- **Le facteur d'encombrement** : On désigne généralement par le terme « facteur d'encombrement » (ou facteur de forme, en anglais form factor), la géométrie, les dimensions, l'agencement et les caractéristiques électriques de la carte mère.

Afin de fournir des cartes mères pouvant s'adapter dans différents boîtiers de marques différentes, des standards ont été mis au point (ATX, BTX, ITX, ...).



- **Le chipset** : Circuit électronique permettant d'établir et de gérer les dialogues (échanges de données) entre les différents composants de l'ordinateur (processeur, mémoire, périphériques...).

- **Le type de support de processeur** : Il s'agit d'un connecteur dans lequel s'insère le processeur.
- **les connecteurs d'entrée-sortie**

Une carte mère typique supporte les composants suivants :

2.1.1. Le chipset



Figure 4. Chipset.

Le chipset est souvent décomposé en 2 puces (le *Northbridge* et le *SouthBridge*).

- **Le pont Nord (*NorthBridge*)** s'occupe d'interfacer le microprocesseur avec les périphériques rapides (mémoire et carte graphique) nécessitant une bande passante élevée (figure 5).
- **Le pont Sud (*SouthBridge*)** s'occupe d'interfacer le microprocesseur avec les périphériques plus lents (disque dur, CDRom, lecteur de disquette, réseau, etc....) (figure 5).

Voici un diagramme d'un chipset, on y distingue le pont Nord et le pont Sud.

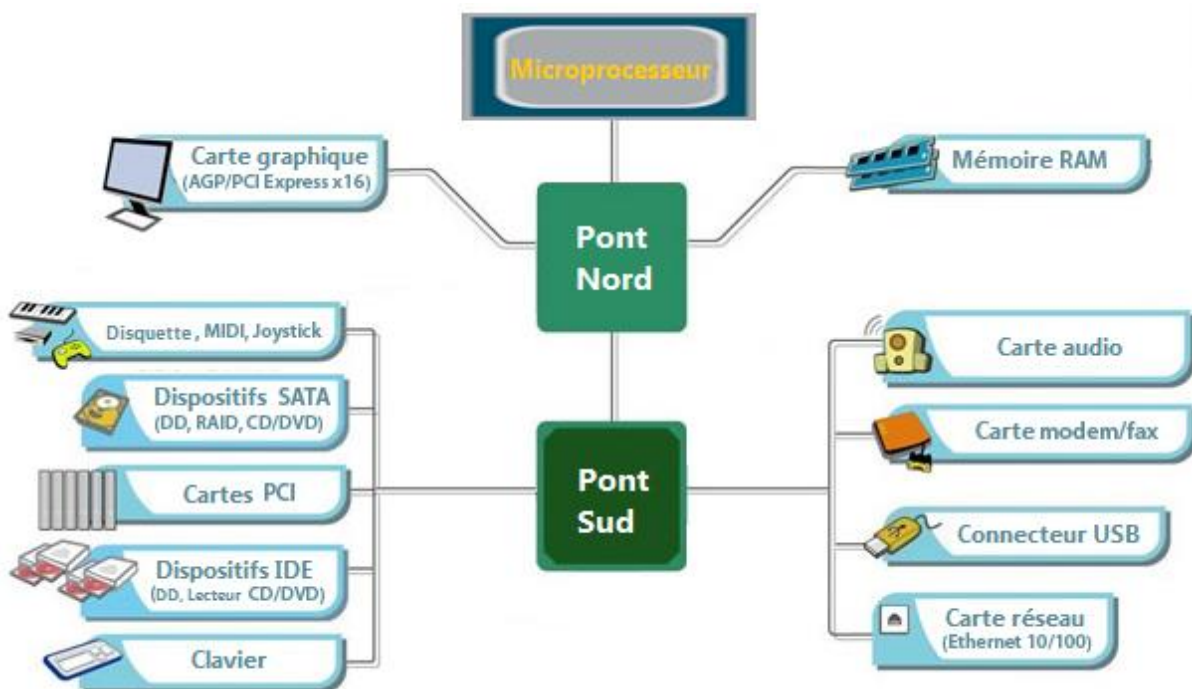


Figure 5. Diagramme du chipset.

Il est important de choisir une carte mère intégrant un chipset récent afin de maximiser les possibilités d'évolutivité de l'ordinateur.

Les chipsets des cartes-mères actuelles intègrent généralement une puce graphique et presque toujours une puce audio, ce qui signifie qu'il n'est pas nécessaire d'installer une carte graphique ou une carte son.

2.1.2. L'horloge

Est une horloge temps réel (terme parfois abrégé en HTR, en anglais *RTC* pour *Real Time Clock*). Elle est chargée de donner la date et l'heure en temps réel. Cette horloge est alimentée par une pile électrique (située sur la carte mère de l'ordinateur) lui permettant de continuer à fonctionner même si l'ordinateur est éteint, ou privé d'alimentation électrique.

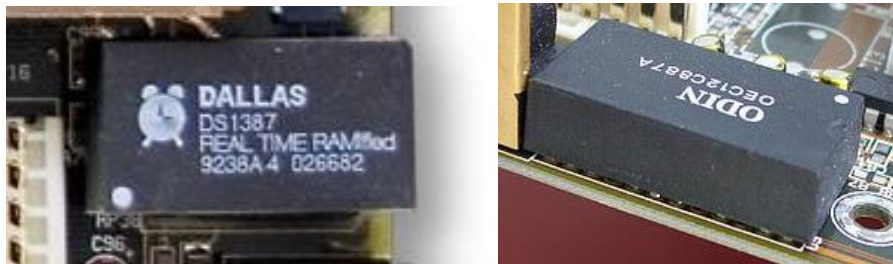


Figure 6. Horloge.

2.1.3. Le CMOS

Le CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) est une mémoire *RAM* (*Random Access Memory*) qui contient la configuration basique de votre ordinateur (paramètres du BIOS, horloge RTC, ...). Cette mémoire RAM est par définition *volatile*, c'est-à-dire qu'elle perd son contenu quand elle n'est plus alimentée en électricité. De ce fait la pile située sur la carte mère l'alimente constamment et c'est ceci que nous devons enlever pour réinitialiser cette configuration, c'est-à-dire remettre ces paramètres comme le constructeur l'a configuré en sortie d'usine.

Le BIOS (*Basic Input Output System*, en français : système élémentaire d'entrée/sortie) est un petit programme, contenu dans la mémoire morte *ROM* (*Random Only Memory*) située sur la carte mère d'un ordinateur. Cette mémoire est permanente c'est-à-dire ne perd pas son contenu quand elle n'est plus alimentée en électricité. Le BIOS a un rôle essentiel pour le fonctionnement de la carte mère :

- Il initialise tous les composants de la carte mère, du chipset et de certains périphériques ;
- Il identifie tous les périphériques internes et externes qui lui sont connectés,
- Il démarre le système d'exploitation présent sur le premier périphérique disponible.

Le Bios vient lire des informations dans la mémoire CMOS quand on allume l'ordinateur. Il y stocke également la date et l'heure et vient régulièrement les mettre à jour.

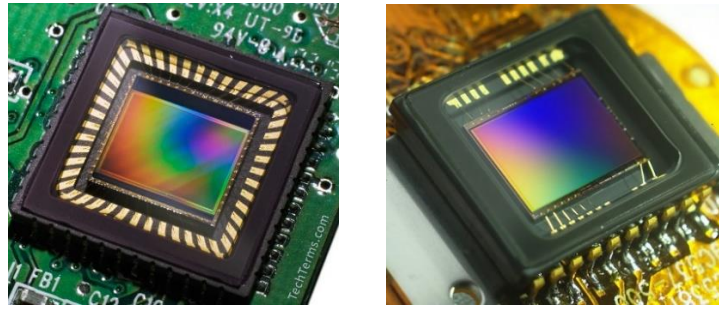


Figure 7. CMOS.

2.1.4. La pile ou batterie d'accumulateurs

Elle fournit l'électricité nécessaire au fonctionnement de l'horloge et au fonctionnement du CMOS.



Figure 8. Pile.

2.1.5. Le bus système

Le bus système (aussi appelé bus interne ou *Front Side Bus* (FSB) en anglais) : Il relie le processeur au chipset. Il permet au processeur de communiquer avec la mémoire vive (RAM).

2.1.6. Le bus mémoire

Il relie le chipset à la mémoire vive (RAM).

2.1.7. Le bus d'extension (bus d'entrées/sorties)

Il relie le processeur aux connecteurs d'entrée/sortie et aux connecteurs d'extension ; le bus d'extension permet aux divers composants de la carte-mère (USB, série, parallèle, cartes branchées sur les connecteurs d'extension, disques durs, lecteurs et graveurs de CD-ROM, etc.) de communiquer entre eux mais il permet surtout l'ajout de nouveaux périphériques grâce aux connecteurs d'extension connectés sur le bus d'entrées-sorties

2.1.8. Le panneau d'entrées/sorties

Le panneau d'entrées/sorties (en anglais I/O Panel (*Input/Output Panel*)) est une interface qui regroupe tous les connecteurs d'entrée/sortie.

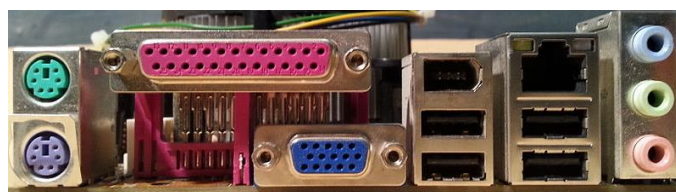


Figure 9. Panneau d'entrées/sorties.

2.1.9. Les connecteurs de la carte mère

La carte mère de l'ordinateur possède un certain nombre de connecteurs, tel que :

- Le support du processeur
- Les connecteurs d'alimentation électrique
- Les connecteurs de la mémoire
- Les connecteurs de stockage
- Les connecteurs d'extension
- Les connecteurs d'entrée/sortie

2.2. Le processeur

Le processeur ou microprocesseur (CPU, pour Central Processing Unit, soit Unité Centrale de Traitement) est un circuit intégré à très grande échelle. Il est fabriqué souvent en silicium et regroupe plusieurs millions de transistors élémentaires interconnectés. Son rôle est d'interpréter et d'exécuter les instructions du programme.

Véritable cerveau de l'ordinateur, le microprocesseur est intimement associé à la mémoire où sont stockées les instructions et les données à traiter.

L'ensemble **microprocesseur** et **mémoire centrale** est souvent appelé **unité centrale**.



Figure 10. Processeur.

2.2.1. Grands fabricants de processeurs

Aujourd'hui, deux fabricants se partagent le marché des processeurs pour les PC, **Intel** (*contraction de Integrated Electronics*) avec les modèles Celeron, Pentium, Core, etc et **AMD** (*Advanced Micro Devices*) avec les modèles sont Sempron, Athlon, Turion, Phenom, etc.

2.2.2. Support (connecteur) du processeur

Est le type de "connecteur" dans lequel s'insère le processeur et le relie au reste de l'ordinateur. On distingue deux catégories de supports :

- **Slot** : il s'agit d'un connecteur rectangulaire dans lequel on enfiche le processeur verticalement.



Figure 11. Slot.

- **Socket** : il s'agit d'un connecteur carré possédant un grand nombre de petits connecteurs sur lequel le processeur vient directement s'enficher.

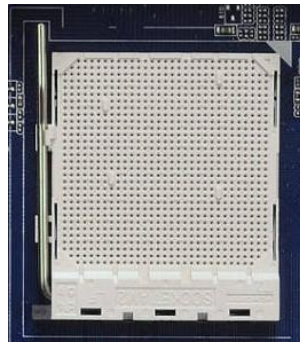


Figure 12. Socket.

Dans la mesure où le processeur rayonne thermiquement, il est nécessaire d'en dissiper la chaleur pour éviter que ses circuits ne fondent. C'est la raison pour laquelle il est généralement surmonté d'un **dissipateur thermique** (appelé parfois refroidisseur ou radiateur), composé d'un métal ayant une bonne conduction thermique (cuivre ou aluminium), chargé d'augmenter la surface d'échange thermique.

Un ventilateur accompagne généralement le dissipateur pour améliorer la circulation de l'air autour du dissipateur et améliorer l'échange de chaleur. Le terme "**ventirad**" est ainsi parfois utilisé pour désigner l'ensemble Ventilateur + Radiateur. Pour éviter les bruits liés au ventilateur et améliorer la dissipation de chaleur, il est également possible d'utiliser un système de refroidissement à eau (dit **watercooling**).



Figure 13. Dissipateur thermique + Ventilateur.

2.2.3. Principales caractéristiques d'un microprocesseur

Les principales caractéristiques d'un microprocesseur sont :

- **Sa fréquence** : c'est le nombre d'opérations que le processeur peut effectuer en une seconde. La fréquence d'un processeur se calcule en hertz (Hz). Aujourd'hui, on parle plutôt en GigaHertz. Par exemple, si un processeur a une fréquence de 1 GHz, il peut alors effectuer 1 milliards d'opérations par seconde. Plus la fréquence d'un processeur est élevée plus il effectuera ses opérations rapidement.
- **Nombre de cœurs** : le nombre de cœur indique le nombre d'instruction simultanée que peut traiter le processeur (un cœur = une instruction). Un processeur dit multicœur s'il est composé non pas d'un seul cœur mais de plusieurs. Un processeur dual-core contient deux cœurs, un processeur quad-core contient quatre cœurs et un processeur hexa-core contient six cœurs et ainsi de suite. Plus un processeur a de cœurs plus il effectuera de calcul en parallèle et par conséquent sera rapide.
- **La complexité de son architecture** : cette complexité se mesure par le nombre de **transistors** contenus dans le microprocesseur. Plus le microprocesseur contient de transistors, plus il pourra effectuer des opérations complexes, et/ou traiter des chiffres de grande taille.
- **Sa mémoire cache** : est une mémoire dédiée au processeur (cela lui permet de stocker des données dont il a souvent besoin plutôt que d'aller les rechercher, par exemple, dans la mémoire vive).
- **Sa largeur de registres (largeur de données)** : le nombre de bits que le processeur peut traiter ensemble. Les processeurs actuels ont une largeur de registres de 64 bits. (Ils peuvent traiter des nombres sur 64 bits).
- **Le jeu d'instructions** : Le jeu d'instructions décrit l'ensemble des opérations élémentaires que le microprocesseur peut exécuter. Un microprocesseur peut exécuter plusieurs dizaines, voire centaines, d'instructions différentes.

2.2.4. Architecture d'un microprocesseur

Un microprocesseur est construit autour de deux éléments principaux :

- **L'unité arithmétique et logique (UAL)** où les opérations arithmétiques et logiques sont réalisées.
- **L'unité de commande ou de contrôle** qui dirige le fonctionnement de toutes les autres unités (UAL, mémoire, périphériques d'entrées/sorties) en leur fournissant les signaux de commande ; ses circuits génèrent les signaux nécessaires à l'exécution de chaque instruction d'un programme.

En plus

- Des **registres** chargés de stocker temporairement les différentes informations à traiter.
- Des **bus internes** permettant les échanges d'informations entre les trois éléments précédents.

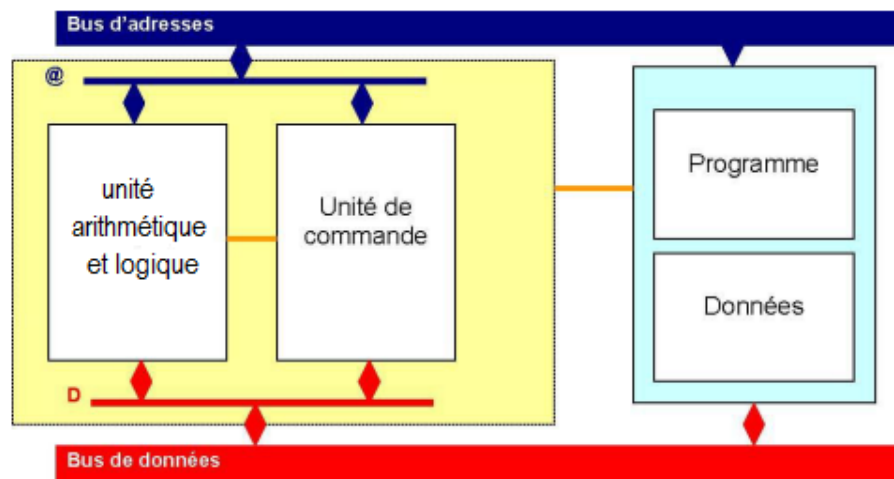


Figure 14. Architecture d'un microprocesseur.

2.2.4.1. Unité de commande

L'unité de commande est l'ensemble des dispositifs coordonnant le fonctionnement de l'ordinateur afin de lui faire exécuter la suite d'opérations spécifiées dans les instructions du programme.

Les principaux éléments de l'unité de commande, qui entrent en jeu lors de la recherche en mémoire et du décodage d'une instruction sont :

- Le **compteur ordinal** (CO) ou **compteur de programme** (PC : *Program counter*), qui est un registre contenant l'adresse mémoire où est stockée l'instruction à chercher. Le CO est incrémenté automatiquement après chaque utilisation ;
- Le **registre instruction** (RI), qui reçoit l'instruction qui doit être exécutée ;
- Le **décodeur** de code opération, qui détermine quelle opération doit être effectuée, parmi toutes les opérations possibles ;
- Le **séquenceur**, qui génère les signaux de commande pour actionner et contrôler les unités participant à l'exécution d'une instruction donnée.
- L'**horloge**, qui émet une suite d'impulsions régulières. L'intervalle de temps entre deux impulsions est appelé période ou temps de cycle.

Le rôle de l'horloge dans l'unité de commande est de générer des signaux périodiques qui définissent le cycle de base (ou cycle machine) qui correspond à la durée élémentaire régissant le fonctionnement de la machine.

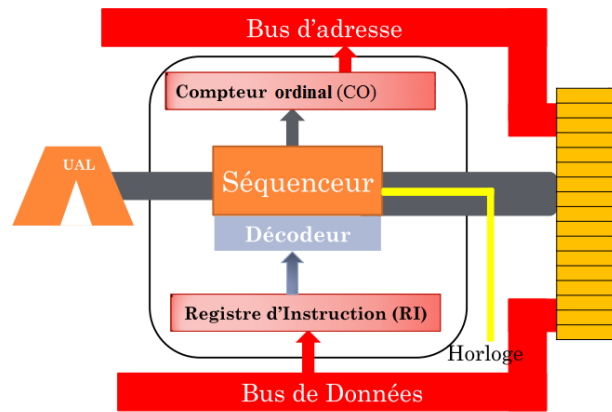


Figure 15. Unité de commande.

2.2.4.2. Unité arithmétique et logique

Comme son nom l'indique, cette unité s'occupe des calculs à travers deux sortes d'opérations :

- Opérations arithmétiques
- Opérations logiques

Pour accomplir son rôle, l'UAL est doté de circuits logiques capables de réaliser, outre les fonctions logiques (telles que : ET, OU, Non OU, etc...), des opérations arithmétiques telles que l'addition, la soustraction, la division, le décalage et la multiplication.

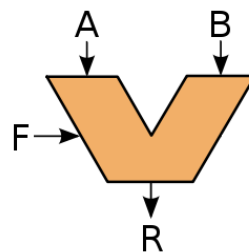


Figure 16. Schéma type d'une UAL.

A et B sont appelés opérandes, A et B sont des données en entrée et R est le résultat de l'opération, F est la fonction à exécuter.

L'unité arithmétique et logique est composée essentiellement de :

- L'**Unité Arithmétique et Logique (UAL)** qui est un circuit complexe assurant les fonctions logiques (ET, OU, Comparaison, etc...) et les fonctions arithmétiques (Addition, soustraction.....).
- Le **registre d'états (PSW, Processor Status Word)**, Il est appelé aussi registre condition, ce registre contient des bits indicateurs appelés drapeaux (ou flags) qui indique des états particuliers tels que :
 - Signe du résultat (**N** pour *négatif*, **P** pour *positif*).
 - Résultat nul (symbolisé par **Z** pour *zéro*).
 - Eventuelle retenue (symbolisé par **C** pour *carry*).

- Dépassement de capacité (symbolisé par O pour *overflow*).
- Les **accumulateurs** sont des registres de travail qui servent à stocker un opérande au début d'une opération arithmétique et le résultat à la fin de l'opération.

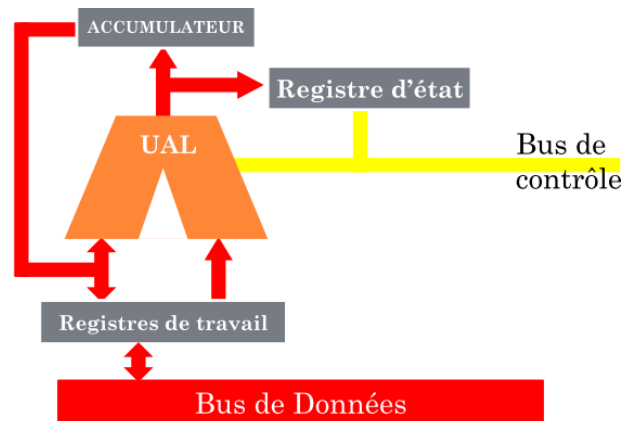


Figure 17. Unité arithmétique et logique.

2.2.5. Les registres du microprocesseur

Les registres sont des dispositifs électroniques constitués de transistors qui servent au stockage provisoire d'informations dans l'unité centrale, ce qui permet un accès plus rapide à ces informations (informations les plus utilisées où celles en attente de traitement). Le nombre de registre diffère d'un ordinateur à un autre, cela dépend de son architecture, mais certains registres fondamentaux existent dans la majorité des machines.

Nous avons déjà vu quatre registres particuliers : Ce sont le compteur ordinal (CO), le registre instruction (RI), l'accumulateur (ACC) et le registre d'états. Nous allons définir les autres registres qui font partie du microprocesseur : les registres généraux et les registres d'index.

a) Les registres généraux

Ces registres permettent de limiter les accès à la mémoire en conservant les informations utilisées fréquemment par le microprocesseur telles que les résultats intermédiaires.

Le programmeur accède aux registres généraux pour effectuer les opérations suivantes :

- Chargement d'un registre à partir de la mémoire.
- Enregistrement en mémoire du contenu du registre.
- Transfert entre un registre et un autre.
- Incrémentement ou décrémentation du contenu du registre.

b) Le registre d'index (ou d'indice) (XR : index registre)

Ces registres sont généralement destinés à la manipulation d'indice de tableaux, c'est-à-dire pour l'adressage indexé. L'incrémentement et la décrémentation de ces registres se fait automatiquement après chaque opération.

2.2.6. Jeu d'instructions

a) Définition

La première étape de la conception d'un microprocesseur est la définition de son jeu d'instructions. Le jeu d'instructions décrit l'ensemble des opérations élémentaires que le microprocesseur pourra exécuter. Il va donc en partie déterminer l'architecture du microprocesseur à réaliser.

b) Type d'instructions

Les instructions que l'on trouve dans les répertoires de toutes les machines peuvent être classées en six groupes :

- **Transfert de données** (Load, Move, Store, transfert de registre à registre ou de mémoire à registre, etc.) ;
- **Opérations arithmétiques** (ADD pour addition, SUB pour soustraction, MUL pour multiplication et DIV pour division) ;
- **Opérations logiques** (AND, OR, NOT, XOR, etc.) ;
- **Contrôle de séquence** (Branchement conditionnel, boucles, appels de procédures, etc.) ;
- **Entrées/sorties** (Read, Write, Print, etc.) ;
- **Manipulations diverses** (Conversions de format, incrémentation de registres, etc.).

Exemple : Suite d'instruction niveau machine/assembleur correspondant à l'instruction de calcul suivante :

$$A = B \times (C + F / G)$$

1.	LOAD	F	(LOAD = Charger dans l'accumulateur)
2.	DIV	G	(DIV = Diviser le contenu de l'accumulateur)
6.	ADD	C	(ADD = Ajouter au contenu de l'accumulateur)
8.	MUL	B	(MUL = Multiplier le contenu de l'accumulateur)
9.	STORE	A	(STORE = Ranger le contenu de l'accumulateur)

c) Codage

Les instructions et leurs opérandes (paramètres) sont stockés en mémoire centrale. La taille totale d'une instruction (nombre de bits nécessaires pour la représenter en mémoire) dépend du type d'instruction et aussi du type d'opérande. Chaque instruction est toujours codée sur un nombre entier d'octets afin de faciliter son décodage par le microprocesseur.

Une instruction est l'opération élémentaire que le microprocesseur peut accomplir. Elle est composée de deux champs :

- **Le code opération**, code de l'action que le microprocesseur doit exécuter ;
- **Le code opérande**, sont les paramètres de l'action. (Le code opérande peut être une donnée ou bien une adresse mémoire).

On parle d'instruction à n adresses si elle possède n champs opérands ($n=0,1,2,3,4$ au plus).

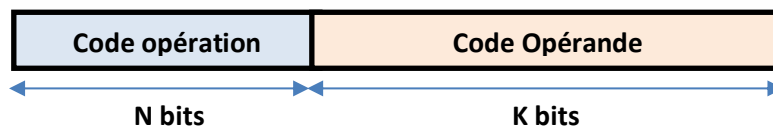


Figure 18. Champs d'une instruction.

Le nombre d'instructions du jeu d'instructions est directement lié au format du code opération (nombre de bits). Ainsi un code opération sur un octet permet de distinguer au maximum 256 (2^8) instructions différentes. Chaque instruction nécessite un certain nombre de cycles d'horloges pour s'effectuer. À chaque top d'horloge le processeur exécute une action, correspondant à une instruction ou une partie d'instruction.

d) Temps d'exécution

Chaque instruction nécessite un certain nombre de cycles d'horloges pour s'effectuer. Le nombre de cycles dépend de la complexité de l'instruction. Il est plus long d'accéder à la mémoire principale qu'à un registre du microprocesseur. La durée d'un cycle dépend de la fréquence d'horloge.

e) Langage de programmation

Le langage machine est le langage compris par le microprocesseur. Ce langage est difficile à maîtriser puisque chaque instruction est codée par une séquence propre de bits. Afin de faciliter la tâche de la compilation, on a créé différents langages plus ou moins évolués.

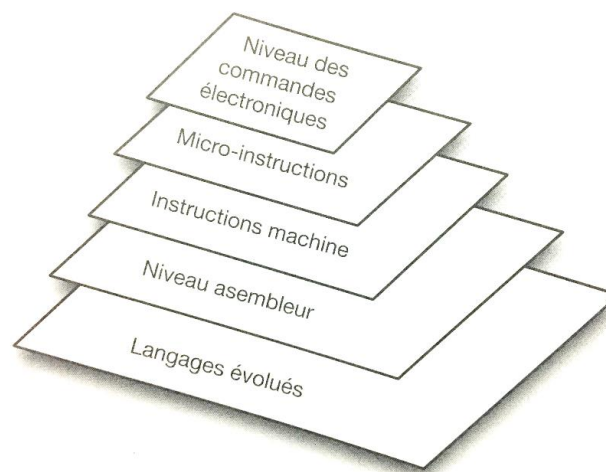


Figure 19. Niveaux de programmation.

On peut distinguer plusieurs niveaux de langage de programmation, les niveaux supérieurs représentent les langages de haut niveau, évolués (C, C++, Java...) qui s'approchent du langage de l'utilisateur, les niveaux inférieurs s'adaptant mieux aux caractéristiques de la machine. La situation actuelle est résumée sur la figure 19.

2.2.7. Performances d'un microprocesseur

On peut caractériser la puissance d'un microprocesseur par le nombre d'instructions qu'il est capable de traiter par seconde. Pour cela, on définit :

- **Le CPI (Cycle Par Instruction)** qui représente le nombre moyen de cycles d'horloge nécessaire pour l'exécution d'une instruction pour un microprocesseur donné.
- **Le MIPS (Millions d'Instructions Par Seconde)** qui représente la puissance de traitement du microprocesseur.

Pour augmenter les performances d'un microprocesseur, on peut donc soit :

- Augmenter la **fréquence d'horloge** (limitation matérielle).
- Diminuer le **CPI** (choix d'un jeu d'instruction adapté).
- Améliorer l'architecture de base (amélioration **technologique**).

2.2.8. Notion d'architecture RISC et CISC

Actuellement l'architecture des microprocesseurs se composent de deux grandes familles :

- L'architecture **CISC** (Complex Instruction Set Computer)
- L'architecture **RISC** (Reduced Instruction Set Computer)

a) L'architecture CISC

Pourquoi ? Par le passé la conception de machines CISC était la seule envisageable. En effet, vu que la mémoire travaillait très lentement par rapport au microprocesseur, on pensait qu'il était plus intéressant de soumettre au microprocesseur des instructions complexes. Ainsi, plutôt que de coder une opération complexe par plusieurs instructions plus petites (qui demanderaient autant d'accès mémoire très lent), il semblait préférable d'ajouter au jeu d'instructions du microprocesseur une instruction complexe qui se chargerait de réaliser cette opération.

Comment ? C'est donc une architecture avec un grand nombre d'instructions où le microprocesseur doit exécuter des tâches complexes par instruction unique. Pour une tâche donnée, une machine CISC exécute ainsi un petit nombre d'instructions mais chacune nécessite un plus grand nombre de cycles d'horloge. Le code machine de ces instructions varie d'une instruction à l'autre et nécessite donc un décodeur complexe.

b) L'architecture RISC

Pourquoi ? Des études statistiques menées au cours des années 70 ont clairement montré que les programmes générés par les compilateurs se contentaient le plus souvent d'affectations, d'additions et de multiplications par des constantes. Ainsi, 80% des traitements des langages de haut niveau faisaient appel à seulement 20% des instructions du microprocesseur. D'où l'idée de réduire le jeu d'instructions à celles le plus couramment utilisées et d'en améliorer la vitesse de traitement.

Comment ? C'est donc une architecture dans laquelle les instructions sont en nombre réduit (chargement, branchement, appel sous-programme). La réalisation des architectures RISC libère de la surface permettant d'augmenter le nombre de registres ou d'unités de traitement par exemple. Chacune de ces instructions s'exécute ainsi en un cycle d'horloge. Les accès à la mémoire s'effectuent seulement à partir de deux instructions (*Load* et *Store*). Cependant, les instructions complexes doivent être réalisées à partir de séquences basées sur les instructions

élémentaires, ce qui nécessite un compilateur très évolué dans le cas de programmation en langage de haut niveau.

a) Comparaison

Le choix dépendra des applications visées. En effet, si on diminue le nombre d'instructions nécessaires pour un traitement, on crée des instructions complexes (CISC) qui nécessitent plus de cycles pour être décodées et si on diminue le nombre de cycles par instruction, on crée des instructions simples (RISC) mais on augmente alors le nombre d'instructions nécessaires pour réaliser le même traitement.

Architecture RISC	Architecture CISC
Instructions simples ne prenant qu'un seul cycle	Instructions complexes prenant plusieurs cycles
Instructions au format fixe	Instructions au format variable
Décodeur simple	Décodeur complexe
Beaucoup de registres	Peu de registres
Seules les instructions LOAD et STORE ont accès à la mémoire	Toutes les instructions sont susceptibles d'accéder à la mémoire
Peu de modes d'adressage	Beaucoup de modes d'adressage
Compilateur complexe	Compilateur simple

2.3. Les bus

Un bus est un ensemble de lignes assurant la connexion des dispositifs qui y sont rattachés. On peut distinguer les lignes affectées au transport des adresses, des données ou des signaux de commande.

- **Bus de données** : bidirectionnel qui assure le transfert des informations entre le microprocesseur et son environnement (mémoire, périphériques d'entrées/sorties), et inversement. Son nombre de lignes est égal à la capacité de traitement du microprocesseur.
- **Bus d'adresses** : unidirectionnel qui permet la sélection des informations à traiter dans un espace mémoire (ou espace adressable) qui peut avoir 2^n emplacements, avec n représente le nombre de conducteurs du bus d'adresses (nombre de bits).
- **Bus de commande** : permet d'effectuer des requêtes sur le bus et de contrôler le type de l'opération.

2.4. La mémoire

Une mémoire est un dispositif capable d'enregistrer des informations, de conserver ces informations aussi longtemps que nécessaire ou que possible, et de les restituer à la demande.

2.4.1. Caractéristiques des mémoires

Les principales caractéristiques d'une mémoire sont les suivantes :

- **Adresse** : c'est la valeur numérique désignant un élément physique de mémoire.
- **Capacité ou taille** : c'est le volume global d'informations (en bits) que la mémoire peut stocker.
- **Temps d'accès** : c'est le temps qui s'écoule entre le lancement d'une opération d'accès (lecture ou écriture) et son accomplissement.
- **Temps de cycle mémoire** : il représente l'intervalle minimum qui doit séparer deux demandes successives de lecture ou d'écriture.
- **Débit** : c'est le nombre d'informations lues ou écrites par seconde.
- **Volatilité** : elle caractérise la permanence des informations dans une mémoire. Une mémoire volatile perd son contenu quand on coupe le courant.

Ainsi, la mémoire idéale possède une grande capacité avec des temps d'accès et temps de cycle très restreints, un débit élevé et est non volatile.

2.4.2. Hiérarchie des mémoires

Les différents éléments de la mémoire d'un ordinateur sont ordonnés en fonction des critères suivants : temps d'accès, capacité et coût par bit.

Quand on s'éloigne du CPU vers les mémoires de masse, on constate que le temps d'accès et la capacité des mémoires augmentent, mais que le coût par bit diminue :

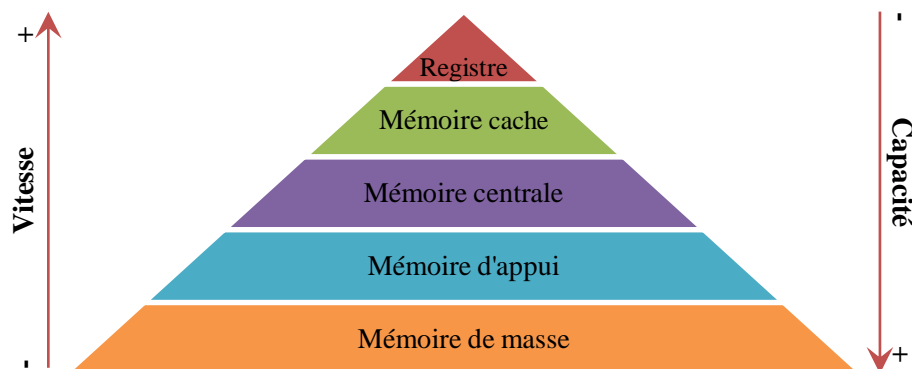


Figure 20. Pyramide des niveaux de mémoires d'un ordinateur.

- **Registre** : est une mémoire située dans le microprocesseur qui est caractérisée par une grande vitesse et sert principalement au stockage des opérandes et des résultats intermédiaires.
- **Mémoire cache** : est une mémoire rapide de faible capacité (par rapport à la mémoire centrale) utilisée comme mémoire tampon entre le microprocesseur et la mémoire centrale. Cette mémoire permet au microprocesseur de faire moins d'accès à la mémoire centrale et ainsi de gagner du temps ;
- **Mémoire centrale** : la mémoire centrale est l'organe principal de rangement des informations utilisées par le microprocesseur. Pour exécuter un programme, il faut le charger (instructions + données) en mémoire centrale. Le temps d'accès d'une mémoire centrale est beaucoup plus grand que celui des registres et du cache.

- **Mémoire d'appui** : sert de mémoire intermédiaire entre la mémoire centrale et les mémoires de masse (mémoires auxiliaires). Elle est présente dans les ordinateurs les plus évolués et permet d'augmenter la vitesse d'échange des informations entre ces deux niveaux.
- **Mémoire de masse** : la mémoire de masse ou mémoire auxiliaire est une mémoire périphérique de grande capacité et de coût relativement faible utilisée aussi pour le stockage permanent des informations. Elle est utilisée pour le stockage, la sauvegarde ou l'archivage à long terme des informations. Elle utilise pour cela des supports magnétiques (disques, cartouches, bandes), magnéto-optiques (disques) ou optiques (disques optiques).

2.4.3. Les mémoires centrales

La mémoire centrale qui est l'endroit où toutes les données et programmes résident pour être utilisées par l'ordinateur. Avant d'aborder en détails les différents types de mémoires centrales, voici un schéma récapitulatif qui résume la situation :

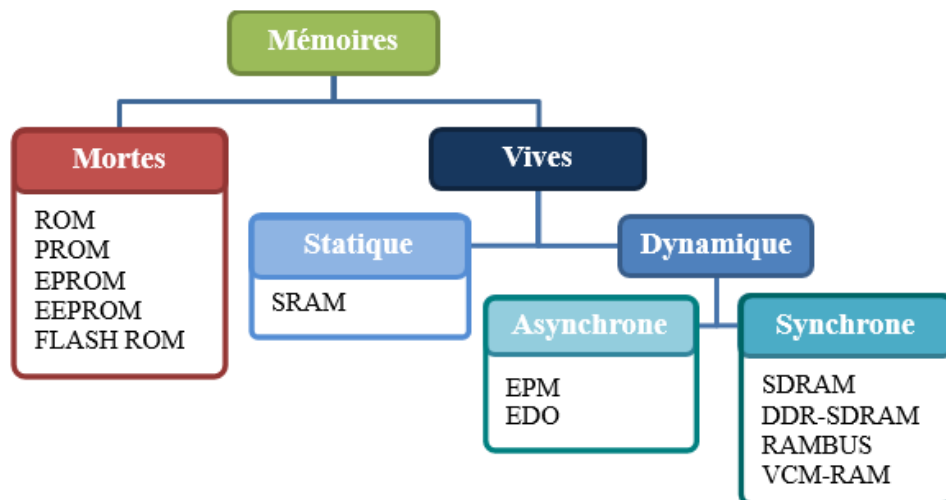


Figure 21. Classification des mémoires.

2.4.3.1. Mémoire vive

La mémoire vive est plus communément connue sous l'acronyme RAM qui veut dire *Random Acces Memory*. Il y est possible d'y inscrire des informations comme de les lire.

Elle est dite "volatile" parce qu'elle ne garde les données que si elle reste sous tension.

C'est la mémoire dans laquelle on charge le système d'exploitation, les applications, les données utilisées par les applications, les polices de caractères...

Si la mémoire vive est importante cela évite des enregistrements temporaires sur le disque dur (mémoire virtuelle). Comme l'accès à la mémoire vive est plus rapide que l'accès au disque dur cela accélère grandement le traitement des données.

2.4.3.1.1. Vue logique de la mémoire vive

La **mémoire vive** se présente comme un large tableau de mots mémoires. Un mot mémoire stocke une information sur n bits et contient plusieurs cellules mémoires. Chaque cellule mémoire stock 1 seul bit. Chaque mot possède sa propre adresse qui est un numéro unique qui permet d'accéder à ce mot mémoire (pour y lire ou écrire). Les adresses sont séquentielles (consécutives).

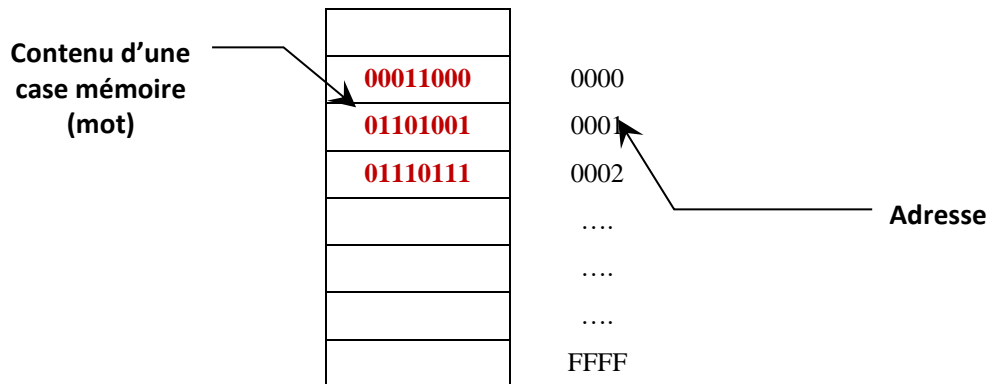


Figure 22. Le mot mémoire, logé dans un ensemble de cellules, est repéré par une adresse.

2.4.3.1.2. Structure physique d'une mémoire vive

Physiquement la mémoire vive est composée de :

- **Registre d'adresse mémoire (RAM) :** ce registre stocke l'adresse du mot à lire ou à écrire.
- **Registre d'information mémoire (RIM) :** stocke l'information lue à partir de la mémoire ou l'information à écrire dans la mémoire.
- **Décodeur :** permet de sélectionner un mot mémoire.
- **R/W :** commande de lecture/écriture. Cette commande permet de lire ou d'écrire dans la mémoire (si $\bar{R}/W = 1$ alors lecture sinon écriture).
- Bus d'adresse de taille **k bits**.
- Bus de données de taille **n bits**.

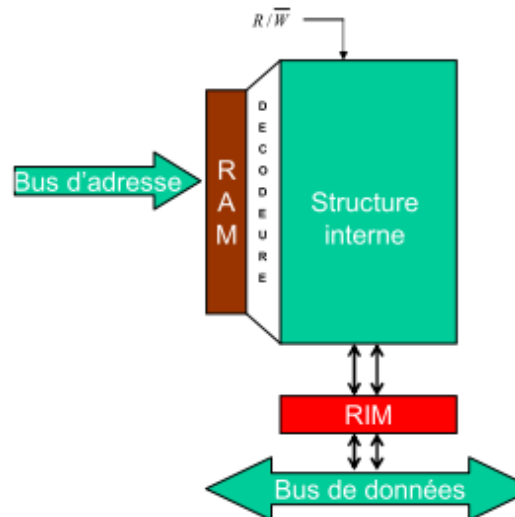


Figure 23. Structure physique d'une mémoire centrale.

2.4.3.1.3. Capacité d'une mémoire vive

- Soit k la taille du bus d'adresses (taille du registre RAM).
- Soit n la taille du bus de données (taille du registre RIM ou la taille d'un mot mémoire).
- On peut exprimer la capacité de la mémoire vive soit en nombre de mots mémoires ou en bits (octets, kilo-octets, ...)
 – La capacité = 2^k Mots mémoire
 – La capacité = $2^k * n$ Bits

Exemple :

Dans une mémoire la taille du bus d'adresses $K=14$ et la taille du bus de données $n=4$. Calculer la capacité de cette mémoire ?

$$C = 2^{14} = 16384 \text{ Mots de 4 bits}$$

$$C = 2^{14} * 4 = 65536 \text{ Bits} = 8192 \text{ Octets} = 8 \text{ Ko}$$

2.4.3.1.4. Types de mémoires vive

On distingue deux types de mémoire RAM, les **SRAM (Mémoire vive statique)** et les **DRAM (Mémoire vive dynamique)**

a) Mémoire vive statique (SRAM)

Une mémoire vive est dite statique quand elle ne nécessite pas de rafraîchissement. Le processus de rafraîchissement consiste à relire régulièrement chaque cellule puis y réécrire l'information stockée dans le but de prévenir la perte des informations.

De par sa conception (généralement à base de transistors uniquement) les données peuvent rester intactes jusqu'à plusieurs jours sans qu'il soit nécessaire d'envoyer du courant pour maintenir son contenu.

Ces mémoires sont plus rapides, mais plus coûteuses et importantes en taille que les mémoires vive dynamiques. Elles sont donc réservées à des usages bien spécifiques comme la mémoire cache.

b) Mémoire vive dynamique (DRAM)

Une mémoire vive est dite dynamique quand elle nécessite un rafraîchissement régulier. La DRAM ne conserve les informations écrites que pendant quelques millisecondes. Les DRAM ont besoin d'être rafraîchies plusieurs milliers de fois par seconde à cause des condensateurs qui les composent en partie.

La nécessité de les rafraîchir si souvent, ralentit les accès en écriture et lecture. Mais comme elles sont plus faciles et moins coûteuses à produire elles équipent en grande majorité les micro-ordinateurs.

On considère deux générations de RAM dynamique. La première ou la plus ancienne est dite mémoire asynchrone, et elle est composée par les mémoires FPM et EDO. La seconde ou la nouvelle génération est dite mémoire synchrone, et est composée de la SDRAM, RAMBUS (ou RDRAM), DDR-SDRAM,...

i. Mémoire asynchrone

Quand le microprocesseur fait une demande à une mémoire asynchrone (lecture ou écriture) il doit attendre que celle-ci ait terminé son travail pour faire une autre demande. La mémoire asynchrone génère un temps d'attente (wait-state). La raison pour laquelle une gestion asynchrone génère des wait-states est que le processeur ne sait pas quand l'information sera disponible par la mémoire. Pour être sûr de l'avoir, il n'a comme solution que d'attendre que la mémoire la lui transmette. S'il ne le faisait pas, il pourrait la manquer et cela provoquerait des erreurs (plantage). Ces mémoires ont disparu de nos ordinateurs modernes. On distingue deux modèles de mémoire asynchrone :

- **FPM : *Fast Page Mode***. Ancienne génération de mémoire utilisée sur les machines équipées des microprocesseurs 80386, 80486 d'Intel ou 68030 ou 68040 de Motorola.
- **EDO : *Extended Data Out***. Ce sont, également, des mémoires d'ancienne génération équipant les machines à base de Pentium, Pentium MMX, AMD K6 adaptées aux bus cadencés à 66 MHz.

ii. Mémoire synchrone

Lorsque le processeur fait un accès à une mémoire synchrone, il peut continuer à travailler en attendant la réponse. Par exemple, faire un autre accès mémoire. La mémoire synchrone ne génère pas de temps d'attente (wait-state). Pour synchroniser la mémoire, on utilise deux composants que l'on place entre la mémoire et le processeur :

- La mémoire est reliée à une horloge. Celle-ci cadence donc les échanges entre la mémoire et le processeur. Grâce à cette horloge, le processeur sait quand l'information sera disponible, car la cadence de sortie des informations, en provenance de la mémoire, est régulière.

- La mémoire et le processeur sont reliés à un buffer qui stocke les demandes d'accès à la mémoire provenant du microprocesseur. C'est grâce à l'utilisation conjointe d'un buffer et d'une horloge que le processeur n'a pas à attendre que la mémoire ait terminé son travail, pour continuer à travailler. On distingue les modèles suivants :

- **SDRAM** : *Synchronous Dynamic RAM*. C'est la plus utilisée de nos jours. Elle est disponible pour des bus de communication à 66, 100 et 133 MHz.
- **DDR-SDRAM** : idem que la SDRAM sauf que sa capacité de transfert est doublée. Par exemple pour un bus à 133 MHz son taux de transfert est de 266 MHz.
- **RDRAM (RAMBUS)**: *Rambus Dynamic Random Access Memory*. Fut utilisée avec les premières générations de Pentium 4 et fonctionnait à 400 MHz.
- **VCM-RAM**: *Virtual Channel Memory*. Est un type de mémoire SDRAM conçue pour fournir un temps d'accès inférieur et des performances améliorées par rapport à la SDRAM standard.

2.4.3.1.5. Différents formats de mémoire vive

Chaque format est reconnaissable par ses encoches particulières. Il existe différents formats de mémoire vive :

- **RIMM** : ces barrettes mémoire disposent de 184 connecteurs (pins) avec une capacité de 64 bits.



- **DIMM** : les mémoires vives de format DIMM ont la particularité d'avoir des connecteurs de chaque côté, avec une capacité de 64 bits minimum et 168 connecteurs. Il s'agit du format le plus courant.



- **SIMM** : mémoires avec 30 ou 72 connecteurs et d'une capacité de 8 ou 32 bits. Ce format n'est plus utilisé depuis quelques années, on le retrouve uniquement sur les vieux ordinateurs.



- **SO DIMM** : format de mémoire vive pour les ordinateurs portables.



2.4.3.1.6. Différents types de barrettes mémoire vive

À côté du format de mémoire vive, on doit aussi différencier les types de barrettes mémoires :

- **DRAM** : ancien format qui n'est plus utilisé, mais que l'on peut retrouver sur de vieilles machines.



- **SDRAM** : les barrettes du type SDRAM ne se retrouvent aussi que sur les anciens ordinateurs. Ces barrettes ont un format DIMM 168, elles ont une fréquence de 66 à 150 MHz.



- **DDR SDRAM** : on retrouvait principalement la mémoire vive de type DDR sur les ordinateurs d'entrée de gamme. Ce type est de moins en moins répandu. Les barrettes mémoires DDR sont au format DIMM 184. Elles sont deux fois plus rapides que les barrettes SDRAM et ont une fréquence allant de 100 à 300 MHz.



- **DDR2 SDRAM** : à sa sortie, ce type de mémoire était principalement installé dans les ordinateurs haut de gamme, mais maintenant il s'agit d'un des types de mémoires les plus utilisés. Les DDR2 sont au format DIMM 240 et sont deux fois plus rapides que les DDR SDRAM, elles ont une fréquence de 200 à 600 MHz.



- **DDR3 SDRAM** : type de barrette mémoire le plus récent, les barrettes DDR3 sont au format DIMM 240. Elles sont deux fois plus rapides que les DDR2 dans le traitement des données, et ont une fréquence de 400 à 1466 MHz.



- **DDR4 SDRAM** : est appelée à succéder à la DDR3 SDRAM. Elle est notamment mise en avant par les fabricants pour une consommation énergétique moindre par rapport à la version précédente. Elles ont une fréquence de 2133 MHz à 2.3 GHz.



2.4.3.2.Mémoire morte

La mémoire morte est plus connue sous l'acronyme ROM qui veut dire : Read Only Memory. Seule la lecture de ses données est autorisée et il est impossible de modifier son contenu volontairement ou non.

Elle est dite "non volatile" parce qu'elle garde les données même hors tension.

On utilise en générale de la ROM pour stocker le programme BIOS pour le démarrage de la machine.

On distingue les formes suivantes :

- **ROM** : ses données sont introduites directement pendant sa fabrication. Il est impossible de la modifier.
- **PROM** : ROM vierge programmable. Elle ne peut, cependant, être programmée qu'une seule fois.
- **EPROM** : ROM programmable et effaçable. Elle peut être effaçable par ultraviolet et programmable à volonté.
- **EEPROM** : ROM programmable et effaçable électriquement.
- **Mémoire FLASH** : dérivée de l'EEPROM mais de capacité plus réduite. Cependant cette capacité évolue de jour en jour. On la trouve notamment comme mémoire de stockage dans les appareils photo numériques (Compact Flash, Smart Média,...).

2.4.4. Mémoire cache

Le principe de la **mémoire cache** ou "**antémémoire**" est destiné à apporter des solutions au problème de la trop grande différence de vitesse entre le microprocesseur central de l'ordinateur et les autres composants avec lesquels il traite, beaucoup moins véloces (mémoire centrale, disque dur, etc.). De ce fait, le processeur devrait passer en théorie la plupart de son temps à attendre des données afin de les traiter.

Dans tous les cas, le principe du cache est d'insérer entre le processeur et les composants plus lents des zones de mémoire tampon ultra-rapide d'accès, de faible capacité, auxquelles le processeur peut accéder avec une perte de temps minimale. Des contrôleurs spécialisés sont chargés en permanence de recharger les zones de cache afin que le processeur y trouve le plus souvent possible les éléments dont il a besoin.

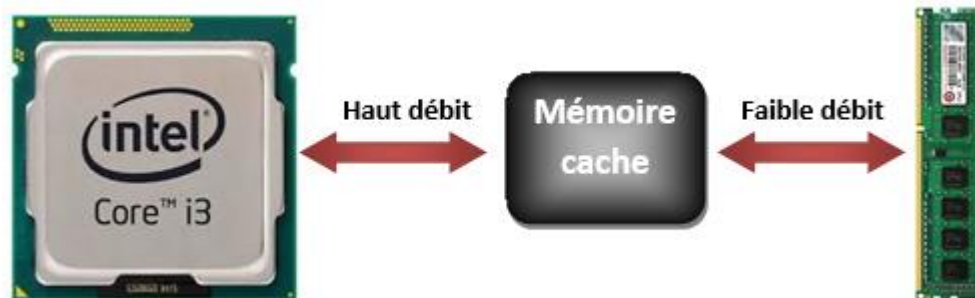


Figure 24. Mémoire cache.

Dans les microprocesseurs, on différencie plusieurs niveaux de caches, souvent au nombre de trois :

- **Le cache de premier niveau (L1)**, plus rapide et plus petit (cache de données pouvant être séparé du cache d'instructions) ;
- **Le cache de second niveau (L2)**, moins rapide et plus gros ;
- **Le cache de troisième niveau (L3)**, encore moins rapide et encore plus gros ;

Ces derniers caches peuvent être situés dedans ou hors du microprocesseur.

2.4.5. Registre

Les registres sont des dispositifs électroniques constitués de transistors qui servent au stockage provisoire d'informations (les informations les plus utilisées ou celles en attente de traitement) dans l'unité centrale, ce qui permet un accès plus rapide à ces informations, évitant ainsi des accès plus lents aux mémoires centrales classiques ou, pire, aux mémoires auxiliaires.

2.4.6. Mémoire de masse

Sont des systèmes de stockage de données auxquels un ordinateur a accès. Les formats et les capacités des mémoires de masse évoluent sans cesse (elles sont actuellement de l'ordre du téraoctet).

Il existe différents types de support pour la mémoire de masse :

- **Support magnétique** : bande magnétique, disquette et disque dur
- **Support optique** : disque optique,
- **Support électronique** : mémoire flash et clé USB.

2.5. La carte graphique

Une carte graphique (ou carte vidéo ou carte accélératrice ou carte de jeu...) s'occupe de décharger le processeur des calculs d'affichage. Elle est l'élément de l'ordinateur chargé de convertir les données numériques à afficher en données graphiques exploitables par un périphérique d'affichage.

Il n'y a que deux applications rendant la carte graphique indispensable, les jeux vidéo et la modélisation 3D.



Figure 25. Carte graphique.

Certaines cartes mères intègrent déjà une carte vidéo suffisante pour la plupart des applications, y compris pour voir ou monter une vidéo ou pour des applications 3D nécessitant peu de ressources.

Actuellement, deux concepteurs s'affrontent sur le marché du grand public : nVidia et ATI (possédé par AMD).

Les principaux composants d'une carte vidéo sont :

- **Un processeur graphique** : appelé GPU (*Graphical Processing Unit*), constituant le cœur de la carte graphique et chargé de traiter les images. En raison de la température que peut atteindre le processeur graphique, il est parfois surmonté d'un radiateur et d'un ventilateur.
- **La mémoire vidéo** : Chargée de conserver les images traitées par le processeur graphique avant l'affichage. Plus la quantité de mémoire vidéo est importante, plus la carte graphique pourra gérer de textures lors de l'affichage de scènes en 3D.
- **Le RAMDAC (random access memory digital-analog converter)** : Permet de convertir les images numériques stockées dans le frame buffer en signaux analogiques à envoyer au moniteur.

La fréquence du RAMDAC détermine les taux de rafraîchissement (nombre d'images par seconde, exprimé en Hertz) que la carte graphique peut supporter. Le RAMDAC est devenu inutile avec les sorties DVI (numériques).

- **L'interface** : Il s'agit du type de bus utilisé pour connecter la carte graphique à la carte mère. Au cours des années, plusieurs technologies se sont succédé pour satisfaire les besoins de vitesse de transfert sans cesse croissants des cartes graphiques.
- **La connectique** : Connecteur VGA, DVI, HDMI et Display Port (voir chapitre 5).

2.6. Le disque Dur

Un disque dur, parfois abrégé DD, en anglais HD (Hard Disk) ou HDD (Hard Disk Drive), est l'organe de l'ordinateur servant à conserver les données de manière permanente, contrairement à la mémoire vive, qui s'efface à chaque redémarrage de l'ordinateur.



Figure 26. Disque dur.

Un disque dur est constitué non pas d'un seul disque, mais de plusieurs disques rigides en métal, en verre ou en céramique, empilés à une très faible distance les uns des autres et appelés plateaux.

Les disques tournent très rapidement autour d'un axe (à plusieurs milliers de tours par minute actuellement). La lecture et l'écriture se fait grâce à des têtes de lecture (en anglais *heads*) situées de part et d'autre de chacun des plateaux. Ces têtes se baissent et se soulèvent pour pouvoir lire l'information ou l'écrire.

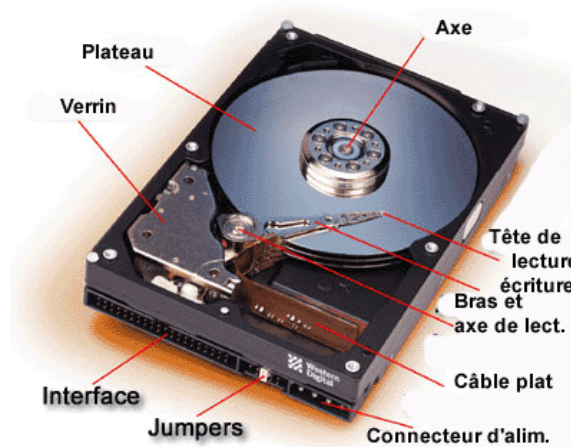


Figure 27. Composants du disque dur.

Un disque dur se caractérise par les données suivantes :

- **Capacité** : volume de données pouvant être stocké sur le disque, exprimé en Go (Giga octets) ou To (Tera octets).

- **Interface** : il s'agit de la connectique du disque dur. Les principales interfaces pour disques durs sont l'IDE et le SATA (voir chapitre 5).
- **Taille** : on distingue les disques d'une taille de 3,5 pouces prévu pour les PC de bureaux, des disques de 2,5 pouces pour PC portables.
- **Taux de transfert (ou débit)** : quantité de données pouvant être lues ou écrites sur le disque par unité de temps. Il s'exprime en bits par seconde (bits/s).
- **Vitesse de rotation** : vitesse à laquelle les plateaux tournent, exprimée en tours par minutes (notés rpm pour rotations par minute). La vitesse des disques durs est de l'ordre de 7200 à 15000 rpm. Plus la vitesse de rotation d'un disque est élevée le débit du disque est meilleur.

Il existe d'autres types de disque dur, à savoir

- **Solid State Drive (SSD)** : Un SSD a extérieurement l'apparence d'un disque dur classique, y compris l'interface, mais est constitué de plusieurs puces de mémoire flash et ne contient aucun élément mécanique.

Par rapport à un disque dur, les temps d'accès sont très rapides pour une consommation généralement inférieure.

- **Disque Dur Hybride** : Les disques durs hybrides sont des disques magnétiques classiques accompagnés d'un petit module de mémoire Flash.

Développé en priorité pour les portables, l'avantage de ces disques est de réduire la consommation d'énergie, d'augmenter la vitesse de démarrage et d'augmenter la durée de vie du disque dur.

Lorsqu'un ordinateur portable équipé d'un disque hybride a besoin de stocker des données, en fait, il les range temporairement dans la mémoire Flash ce qui évite aux pièces mécaniques de se mettre en route.

3. Les principaux éléments connectés à la carte mère de l'ordinateur

3.1. Le lecteur / graveur optique :

Un lecteur de disque optique est un appareil électronique qui lit au moyen d'une diode laser les disques optiques appelés :

- CD (*Compact Disc*),
- DVD (*Digital Versatil Disc*)
- BD (*Blu-ray Disc*)

Un graveur de disque optique à diode laser est un appareil électronique dédié au stockage d'information pour l'informatique, l'audio et la vidéo.



Figure 28. Lecteur / graveur optique.

Le type de rayon laser utilisé est différent pour les CD-DVD (rouge) et les BD (bleu). De ce fait, il faut adapter le type de lecteur/graveur au support utilisé.

Un Lecteur /Graveur optique se caractérise par :

✓ **Vitesse de lecture et de gravure**

Les vitesses de lecture et d'écriture correspondent à :

- ☐ 150 Ko/s pour un CD et à
- ☐ 1350 Ko/s pour les DVD
- ☐ 4,5 Mo/s pour les BD.

✓ **Temps d'accès** : il représente le temps moyen pour aller d'une partie du CD à une autre.

✓ **Interface** : ATAPI (IDE) ou SATA (voir chapitre 5).

Un lecteur/graveur optique se présente soit sous la forme d'un périphérique interne se trouvant dans le boîtier de l'unité centrale, soit d'un périphérique externe relié à l'ordinateur par un port USB.

3.2. Le lecteur de disquette

Un lecteur de disquette (*Floppy Drive*) permet de lire et d'écrire sur une disquette, un média magnétique de faible capacité.



Figure 29. Lecteur de disquette.

3.3. Le bloc d'alimentation

La plupart des boîtiers sont fournis avec un bloc d'alimentation. Ce dernier permet de fournir des tensions continues (+12V, +5V, +3,3V, 0V, -5V, -12V) à l'ensemble des composants de l'ordinateur.



Figure 30. Bloc d'alimentation.

Le bloc d'alimentation doit posséder une puissance (entre 350 et 400 Watts) suffisante pour alimenter les périphériques de l'ordinateur.

3.4. Carte réseau

Constitue l'interface entre l'ordinateur et le câble du réseau. La fonction d'une carte réseau est de préparer, d'envoyer et de contrôler les données sur le réseau.

La carte réseau possède généralement deux témoins lumineux (LEDs) :

- Une LED avec une lumière fixe indiquant l'état de *connexion*. Cette LED indique que la carte est connectée ou reçoit le signal ; habituellement, l'état de la connexion est vert ou jaune/orange, où le vert signifie une vitesse plus élevée et le jaune/orange signifie une vitesse inférieure (les vitesses disponibles sont de 10/100/1000 mégabits / s).
- Une LED avec une lumière clignotante, généralement verte, qui indique l'état d'*activité*. Cette LED indique un envoi ou une réception de données.
- Un connecteur RJ45 permettant la connexion sur le réseau

Chaque carte dispose d'une adresse unique, appelée adresse MAC, affectée par le constructeur de la carte, ce qui lui permet d'être identifiée de façon unique dans le monde parmi toutes les autres cartes réseau.

On rencontre deux types de cartes réseaux :

- **Carte réseau filaire (ou Ethernet) :** La plupart des cartes réseau destinées au grand public sont des cartes Ethernet. Elles utilisent comme support de communication des paires torsadées (8 fils en cuivre), disposant à chaque extrémité de prises RJ45.

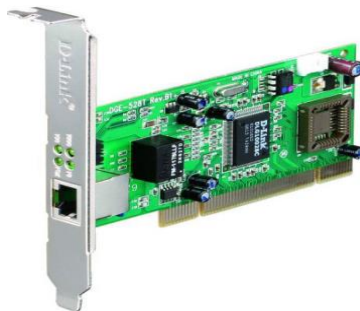


Figure 31. Carte réseau filaire (Ethernet).

- **Carte réseau WiFi** : Les réseaux sans fil Wi-Fi (Wireless Fidelity) fonctionnent sur les mêmes principes que les réseaux Ethernet filaires. Cette carte peut être directement incluse dans la carte mère (cas de nombreux portables), mais peut également se trouver sous la forme d'une carte PCI ou d'une clé USB. Une antenne, parfois intégrée dans la carte, permet l'envoi et la réception des signaux.



Figure 32. Carte réseau WiFi.

3.5. Carte son

La carte son (*audio card* ou *sound card*) est l'élément de l'ordinateur permettant de gérer les entrées-sorties sonores de l'ordinateur. La plupart des cartes mères intègrent une carte son susceptible de répondre à tous les besoins élémentaires.



Figure 33. Carte son.

On trouvera la plupart des cartes son avec une interface PCI. Certaines sont toutefois externes (permettant une connectique plus complète entrées/sorties), elles utilisent une interface USB.

Les principaux éléments d'une carte son sont :

- **Le processeur spécialisé DSP (digital signal processor)** : Chargé de tous les traitements numériques du son (écho, effets 3D, etc.).
- **Le convertisseur digital-analogique DAC (Digital to Analog Converter)** : Permettant de convertir les données audios de l'ordinateur en signal analogique vers un système de restitution sonore (enceintes, amplificateur, etc.)