

# ELECTRONIQUE ET COMPOSANTS DES SYSTEMES

## Chapitre 4. Le microprocesseur Chapitre 5. La mémoire

### Le microprocesseur :

#### Définition :

Un processeur (aussi appelé microprocesseur ou CPU pour **Central Processing Unit**) est le cœur de l'ordinateur. Ce composant a été inventé par Intel (avec le modèle 4004) en 1971. Il est chargé de traiter les informations et d'exécuter les instructions. Il ne sait communiquer qu'avec le reste de l'ordinateur via le langage binaire. Le processeur est rythmé par une horloge (quartz) cadencée plus ou moins rapidement (on parle alors de fréquence).

#### Principe de fonctionnement du microprocesseur

Un programme est composé d'instructions rangées aux adresses croissantes de la mémoire.

Le microprocesseur doit accomplir les tâches suivantes:

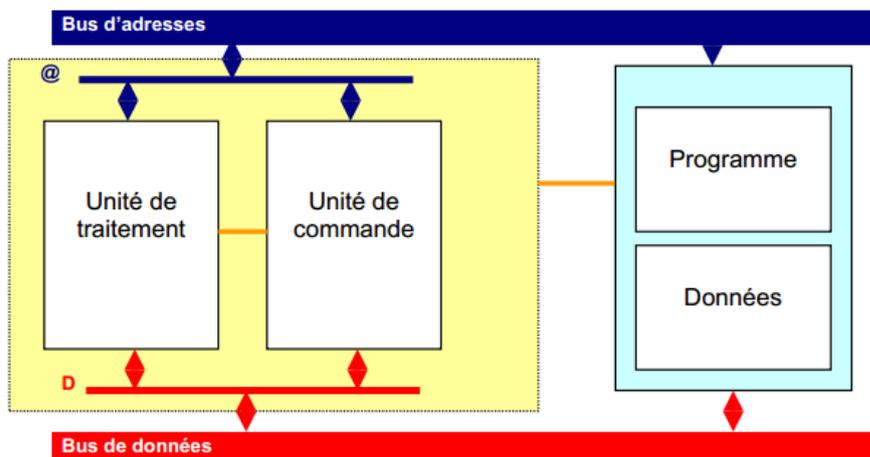
1. Il doit appeler une instruction qu'il lit en mémoire.
2. Il la décode, c'est à dire, qu'il traduit en commandes internes ce qu'elle lui dit de faire.
3. Il l'exécute.

#### Architecture de Microprocesseur :

Un microprocesseur est construit autour des éléments principaux suivants:

- Une unité de commande
- Une unité de traitement
- Des registres chargés de stocker les différentes informations à traiter.

Ces trois éléments sont reliés entre eux par des bus interne permettant les échanges d'informations.

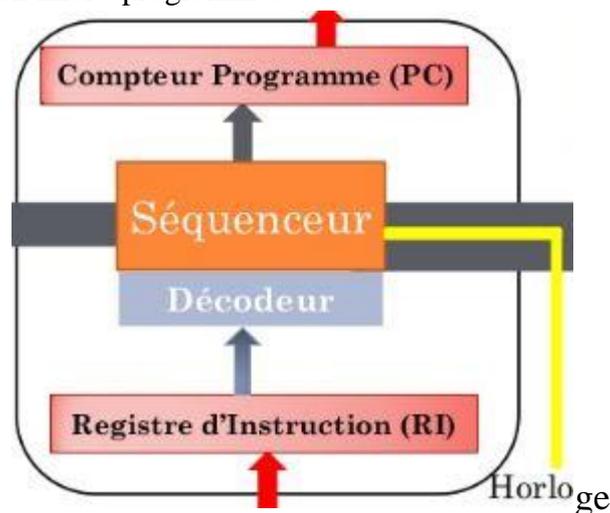


## 1- L'unité de commande

Elle permet de séquencer le déroulement des instructions. Elle effectue la recherche en mémoire de l'instruction, le décodage de l'instruction codée sous forme binaire. Enfin elle pilote l'exécution de l'instruction.

### I. Les blocs de l'unité de commande :

1. Le compteur de programme (PC : Programme Counter) appelé aussi Compteur Ordinal (CO) est constitué par un registre dont le contenu est initialisé avec l'adresse de la première instruction du programme. Il contient toujours l'adresse de la prochaine instruction à exécuter.
2. Le registre d'instruction et le décodeur d'instruction : Chacune des instructions à exécuter est transféré depuis la mémoire dans le registre instruction puis est décodée par le décodeur d'instruction.
3. Bloc logique de commande (ou séquenceur) : Il organise l'exécution des instructions au rythme d'une horloge. Il élabore tous les signaux de synchronisation internes ou externes (bus de commande) du microprocesseur en fonction de l'instruction qu'il a exécuté. Il s'agit d'un automate réalisé de façon micro-programmée.



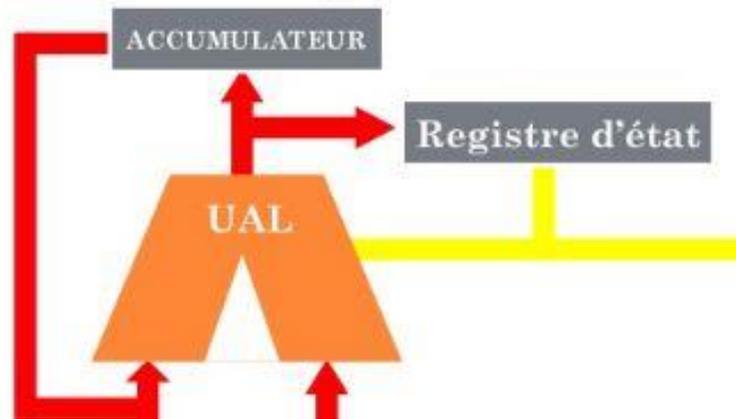
### II. L'unité de traitement :

Elle regroupe les circuits qui assurent les traitements nécessaires à l'exécution des instructions

#### Les blocs de l'unité de traitement :

1. **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.
2. **L'Unité Arithmétique et Logique (UAL)** est un circuit complexe qui assure les fonctions logiques (ET, OU, Comparaison, Décalage, etc...) ou arithmétique (Addition, soustraction...).
3. **Le registre d'état** est généralement composé de 8 bits à considérer individuellement. Chacun de ces bits est un indicateur dont l'état dépend du résultat de la dernière opération effectuée par l'UAL. On les appelle indicateur d'état ou flag ou drapeaux. Dans un programme le résultat du test de leur état conditionne souvent le déroulement de la suite du programme. On peut citer par exemple les indicateurs de :

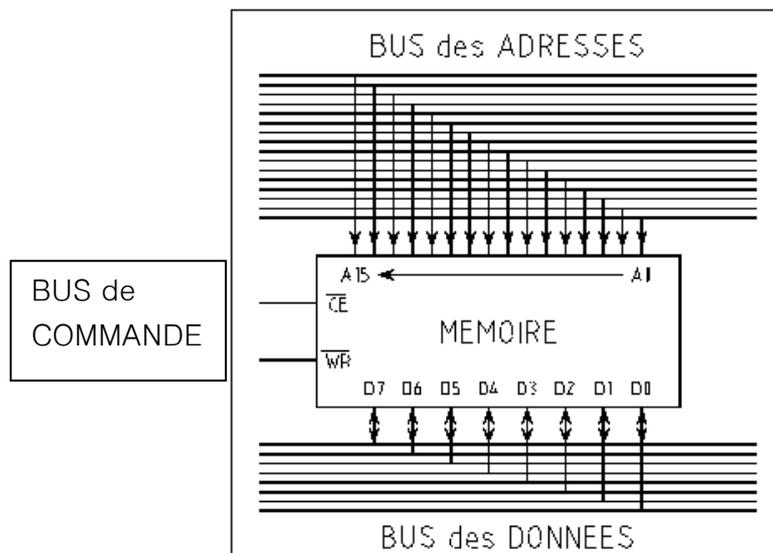
- Retenue (carry : C), - Débordement (overflow : OV ou V), - Zéro (Z)
- Signe , - etc ...



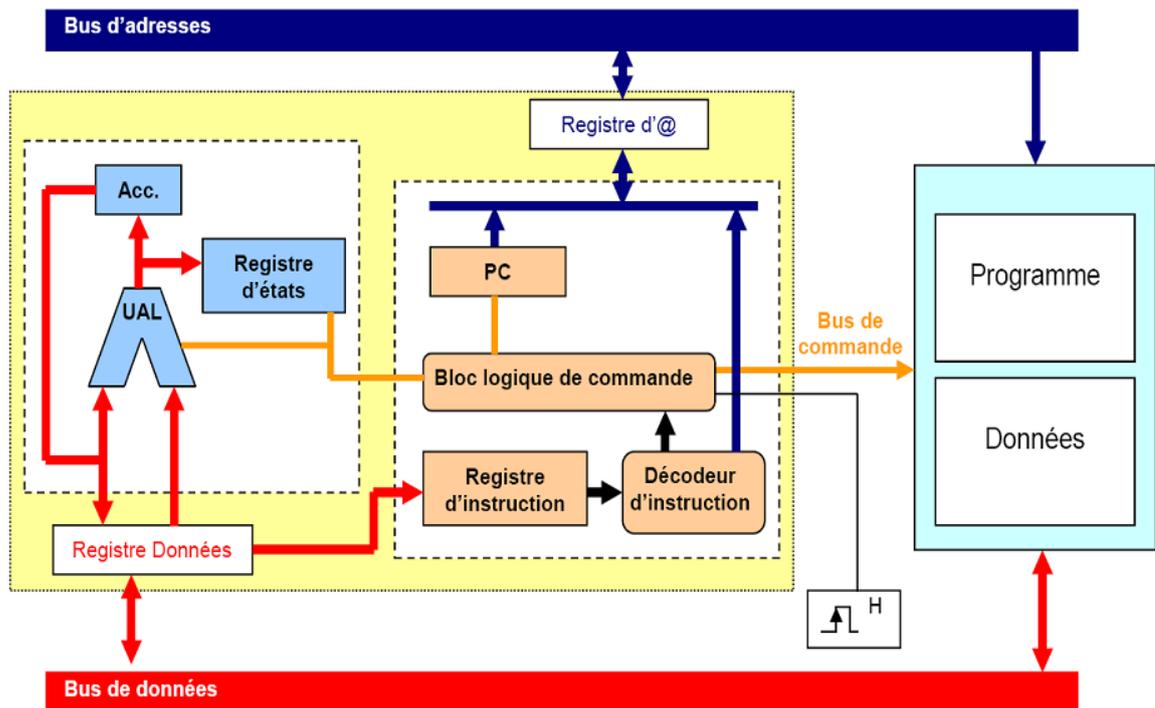
### III. Les bus

Le bus de communication est constitué éventuellement de trois bus, qui sont:

1. Le bus de données: permet le transport des données ou les instructions du programme
2. Le bus d'adresses: permet d'acheminer les adresses des cases mémoires ou des ports d'E/S.
3. Le bus de commande: permet de transmettre les ordres dans tout les sens



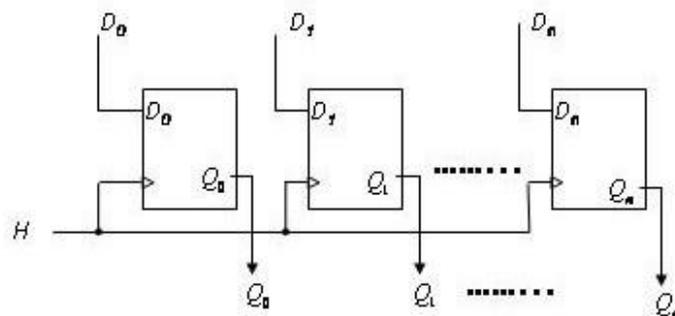
Bus



#### IV. Les registres :

Lorsque le processeur exécute des instructions, les données sont temporairement stockées dans de petites mémoires rapides de 8, 16, 32 ou 64 bits que l'on appelle **registres**.

Suivant le type de processeur le nombre global de registres peut varier d'une dizaine à plusieurs centaines.



Les registres principaux sont :

- le registre accumulateur (*ACC*), stockant les résultats des opérations arithmétiques et logiques ;
- le registre d'état (*PSW, Processor Status Word*), permettant de stocker des indicateurs sur l'état du système (retenue, dépassement, etc.) ;
- le registre instruction (*RI*), contenant l'instruction en cours de traitement ;
- le compteur ordinal (*CO* ou *PC* pour *Program Counter*), contenant l'adresse de la prochaine instruction à traiter ;
- le registre tampon, stockant temporairement une donnée provenant de la mémoire.

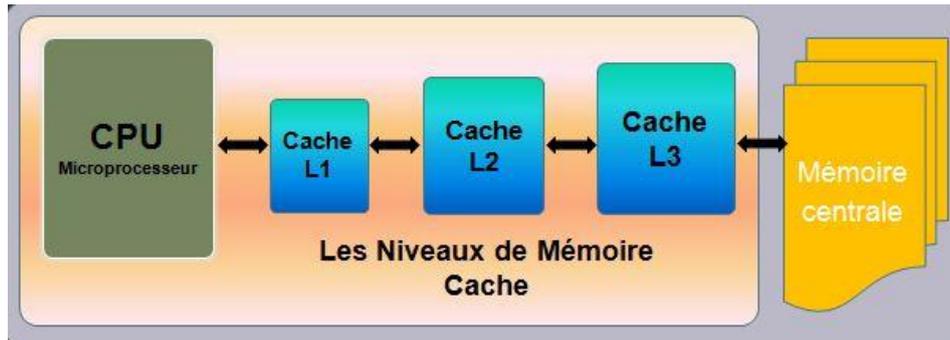
## V. La mémoire cache :

La mémoire centrale de l'ordinateur à une vitesse moins importante que le processeur.

Il existe néanmoins des mémoires beaucoup plus rapides, mais dont le coût est très élevé.

La **mémoire cache** (également appelée *antémémoire* ou *mémoire tampon*) est une mémoire rapide permettant de réduire les délais d'attente des informations stockées en mémoire vive.

La solution consiste donc à inclure ce type de mémoire rapide au voisinage du processeur et d'y stocker temporairement les principales données devant être traitées par le processeur.



### Le fonctionnement du microprocesseur :

- Le fonctionnement du microprocesseur dans le cas le plus simple est le suivant:

1. Le microprocesseur recherche une instruction grâce à l'unité de recherche. Les instructions sont rangées dans les cellules mémoires d'adresses croissantes. Il doit donc savoir en permanence, quelle est l'adresse de la cellule à laquelle il doit accéder. Pour cela, il dispose d'un registre qui conserve le nombre correspondant à cette adresse. C'est le compteur ordinal.
2. Le code de l'instruction qui vient d'être lue dans la mémoire est ramené dans le microprocesseur. Il est donc décodé et le processeur sait maintenant ce qu'il doit faire.
3. Le microprocesseur exécute l'instruction.

### Les principales caractéristiques du microprocesseur :

**1. Le jeu d'instructions qu'il peut exécuter.** Un processeur peut exécuter plusieurs dizaines, voire centaines ou milliers, d'instructions différentes.

**2. 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.

**3. Largeur des données :** le nombre de bits que le processeur peut traiter ensemble.

Les microprocesseurs actuels peuvent traiter des nombres sur 64 bits ensemble.

Le nombre de bits est en rapport direct avec : la capacité à traiter de grands nombres rapidement, et des nombres d'une grande précision (nombres de décimales significatives).

**4. Finesse de gravure (nm) :** le diamètre (en nm) du plus petit fil reliant deux composantes du microprocesseur.

En comparaison, l'épaisseur d'un cheveu humain est de 100 microns = 100 000 nm.

En 2014 on arrive à des finesses de gravure de l'ordre de 10 nm.

### **5. La vitesse de l'horloge.**

Le rôle de l'horloge est de cadencer le rythme du travail du processeur. + la vitesse augmente, + le processeur effectue d'instructions en une seconde.

Inconvénients de l'augmentation de la fréquence :

- le processeur consomme d'électricité,
- il chauffe ce qui nécessite une solution de refroidissement du processeur adaptée ;
- la fréquence est limitée par les temps de commutation des portes logiques entre deux « coups d'horloge », les signaux numériques doivent avoir le temps de parcourir tout le trajet nécessaire à l'exécution de l'instruction attendue ;

### **Le fonctionnement du microprocesseur (détail):**

#### **Phase 1 : Recherche de l'instruction en mémoire**

- La valeur du PC est placée sur le bus d'adresse par l'unité de commande qui émet un ordre de lecture.
- Après le temps d'accès à la mémoire, le contenu de la case mémoire sélectionnée est disponible sur le bus des données.
- L'instruction est stockée dans le registre d'instruction du processeur.

#### **Phase 2 : Décodage et recherche de l'opérande**

- L'unité de commande transforme l'instruction en une suite de commandes élémentaires nécessaires au traitement de l'instruction.
- Si l'instruction nécessite une donnée en provenance de la mémoire, l'unité de commande récupère sa valeur sur le bus de données.
- L'opérande est stocké dans le registre de données.

#### **Phase 3 : Exécution de l'instruction**

- Le séquenceur réalise l'instruction.
- Les drapeaux sont positionnés (registre d'état).
- L'unité de commande positionne le PC pour l'instruction suivante.

Remarque : un hertz est équivalent à un événement par seconde ( $S^{-1}$  ou  $1/S$ ).

un processeur qui a un cycle de base de 0,83 ns (nano-seconde) a donc une fréquence de :  
 $1/(0,83 \times 10^{-9} \text{ s}) = 1,2 \times 10^9 \text{ Hz} = 1,2 \text{ GHz}$ .

Alors le temps nécessaire pour cycle = 1/ la fréquence

## Quelques informations de plus sur les microprocesseurs :

### Intel Core i3, i5, i7, i9

Destinés aux ordinateurs portables et fixes. Plus le chiffre après le i est grand, plus le processeur est performant (et cher). Sur les ordinateurs d'entrée de gamme, on trouvera du Core i3 (2 cœurs). Un PC haut de gamme sera équipé d'un core i7 (4 cœurs). Un nombre de cœurs important permet de traiter en parallèle plus de tâches.

Au cours des années → mise au point d'un certain nombre d'améliorations permettant d'optimiser le fonctionnement du processeur.

### **Architecture multi-cœur :**

Un **microprocesseur multi-cœur** (*multi-core* en anglais) est un processeur possédant plusieurs cœurs physiques fonctionnant simultanément c.-à-d. tout simplement un processeur composé non pas de 1 mais de 2 (ou 4 ou 8) unités de calcul.

Un **cœur** physique est un ensemble de circuits capables d'exécuter des programmes de façon autonome. Toutes les fonctionnalités nécessaires à l'exécution d'un programme sont présentes dans ces cœurs : compteur ordinal, registres, unités de calcul, etc. Des mémoires caches sont définis pour chaque processeur ou partagés entre eux.

### **Parallélisme :**

consiste à exécuter simultanément, sur des processeurs différents, des instructions relatives à un même programme.

### **Pipeline :**

technologie visant à permettre une plus grande vitesse d'exécution des instructions en parallélisant des étapes.

### **Superscalaire :**

technologie qui consiste à disposer plusieurs unités de traitement en parallèle pour traiter plusieurs instructions par cycle.

### **HyperThreading :**

consiste à définir deux processeurs logiques au sein d'un processeur physique.

### Exemples de microprocesseurs :



# Mémoires :

## Définition :

La mémoire est un dispositif capable de stocker des informations, puis de les redistribuer à la demande. En informatique, on distingue deux grandes sortes de mémoires :

- La mémoire centrale
- La mémoire de masse ou mémoire auxiliaire

## Rôle de la mémoire :

Le but de l'informatique étant de traiter des informations. Il faut pour cela pouvoir ranger ces informations et les programmes qui les manipulent dans des **mémoires**, car la **mémorisation** des données et des instructions est réalisée à l'aide d'une variété de composants mémoire qui se caractérisent par leur vitesse, leur capacité, leur volatilité, leur prix et leurs dimensions physiques.

- **On distingue :**

### I la mémoire de masse :

dont le rôle est d'être une zone de stockage permanente. Ce rôle est assuré par les disques (disques durs, cartes mémoires, CD-ROM ou DVD ou par des bandes). Les données y sont enregistrées par des procédés magnétiques ou optiques, elles subsistent (toujours en existence) même quand ces équipements sont hors tension.

### Types de mémoire de masse

**I.1.La ROM :** La ROM ou "Read Only Memory" (mémoire à lecture seule) est parfois appelée mémoire morte. Il est impossible d'y écrire. Les ROM sont programmées par leurs fabricants pour contenir des informations immuables (fixe) telles que les fonctions de certains BIOS.

**I.2.PROM :** La PROM pour "Programmable ROM" est une ROM qui peut être programmée à l'aide d'un graveur de PROM. Une fois écrite, il est impossible d'en modifier le contenu.

**I.3.EPROM :** Le EPROM, "Erasable PROM" Est effaçable. Une fois effacée, l'EPROM peut être reprogrammée.

**I.4.EEPROM :** L'EEPROM "Electrically Erasable PROM" est une EPROM qui s'efface par des impulsions électriques. Elle peut donc être effacée sans être retirée de son support.

**I.5.Flash EPROM :** souvent appelée mémoire Flash est un modèle de mémoire effaçable électriquement. Les opérations d'effacement et d'écriture sont plus rapides qu'avec les anciennes EEPROM. C'est ce qui justifie l'appellation "Flash". Ce qui en fait le composant

mémoire amovible idéal pour les appareils photos numériques, les GSM, les PDA et l'informatique embarquée.

- La caractéristique essentielle de toutes ces "mémoires mortes" n'est donc pas qu'elles peuvent uniquement être lues mais plutôt qu'elles ne s'effacent pas quand l'alimentation est coupée.

## **II. La mémoire centrale :**

Dont le rôle est d'être une zone de travail et de stockage temporaire. Les programmes que l'on veut exécuter et les données que l'on veut traiter doivent d'abord être chargés en mémoire centrale pour y être à la disposition du processeur. La mémoire centrale est un organe passif qui reçoit des ordres de lecture/écriture du CPU.

- Les ordres de lecture/écriture lui sont envoyés par le bus de commande "Control Bus".
- Les emplacements à lire ou écrire sont signifiés par le bus d'adressage "Address Bus".
- Les données transitent par le bus des données "Data Bus".

### **II.1. Les mémoires vives (RAM)**

Les mémoires vives, appelées aussi **RAM (Random Access Memory)** sont des mémoires caractérisées par leurs temps d'accès très rapides. Elles consomment peu d'énergie et elles peuvent être écrites, lues, effacées à volonté. Elles perdent l'information stockée après coupure de courant électrique. Ce sont des mémoires volatiles. Dite à accès aléatoire (RAM : Random Access Memory) c'est-à-dire que le temps d'accès à l'information est indépendant de sa place en mémoire.

La RAM du PC contient tous les programmes en cours d'exécution ainsi que leurs données. Les performances de l'ordinateur sont fonction de la quantité de mémoire disponible. Quand la quantité de mémoire ne suffit plus, le système d'exploitation a recours à la mémoire virtuelle, il mobilise une partie du disque pour y entreposer les données qu'il estime devoir utiliser moins souvent.

Le temps d'accès à la mémoire centrale et sa capacité sont deux éléments qui influent sur le temps d'exécution d'un programme (performance d'une machine).

- Pour la communication avec les autres organes de l'ordinateur, la mémoire centrale utilise les bus (bus d'adresses et bus de données)

### **II.2. Types des mémoires centrales :**

- Ils existent deux grandes familles des mémoires centrales : les mémoires statiques (SRAM) et les mémoires dynamiques (DRAM).
  - Les mémoires statiques sont à base de bascules de type D, elles possèdent un faible taux d'intégration mais un temps d'accès rapide (Utilisation pour les mémoires cache).
  - Les mémoires dynamiques à base de condensateurs, ces mémoires possèdent un très grand taux d'intégration, elles sont plus simples que les mémoires statiques mais avec un temps d'accès plus long.

## II.2.1 RAM statiques

La SRAM ou RAM Statique est la plus ancienne. Les informations y restent mémorisées tant que le composant est sous tension. La SRAM est très rapide et est pour cette raison le type de mémoire qui sert aux mémoires cache.

### Deux types de mémoire vive statique :

- La MRAM (Magnetic RAM) est une technologie utilisant la charge magnétique. Avec un débit de l'ordre du gigabit par seconde et des temps d'accès comparable à ceux de la DRAM (10 ns) et surtout une non-volatilité des données.
- La DPRAM (Dual Ported RAM) est une technologie utilisant un port double qui permet des accès multiples quasi simultanés, en entrée et en sortie.

## II.2.2 RAM dynamiques

La DRAM pour RAM dynamique est de réalisation beaucoup plus simple que la SRAM. Chaque bit d'une DRAM est mémorisé par une charge électrique stockée dans un petit condensateur. Ce dispositif offre l'avantage d'être très peu encombrant mais a l'inconvénient de ne pas pouvoir garder l'information longtemps. Le condensateur se décharge au bout de quelques millisecondes (ms). Aussi pour ne pas perdre le bit d'information qu'il contient, il faut un dispositif qui lit la mémoire et qui la réécrit de suite pour recharger les condensateurs. On appelle ces RAM des RAM dynamiques car cette opération de rafraîchissement doit être répétée régulièrement.

## II.3. Structure interne de la RAM

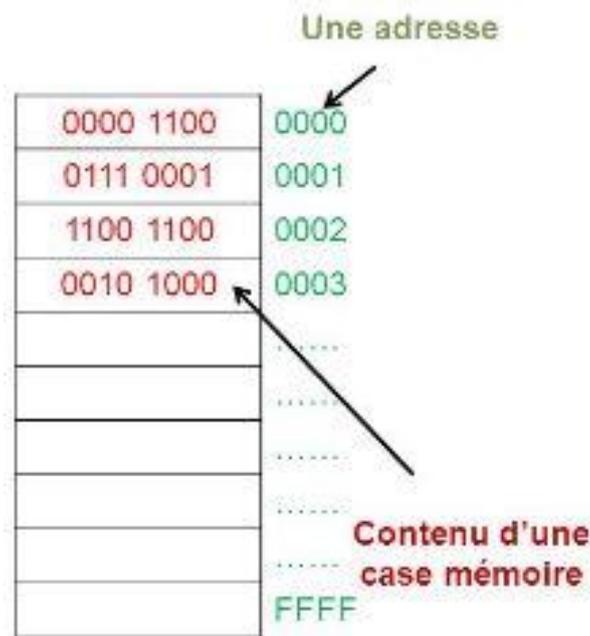
L'adressage des cellules à l'intérieur des composants mémoire nécessite un certain nombre de broches pour l'interconnexion des composants au bus d'adressage. Le nombre de cellules adressables avec k lignes d'adresse est de  $2^k$ . Il faut par exemple 20 lignes d'adresses pour former  $2^{20}$  soit 1024\*1024 adresses distinctes

### Qu'esque un mot mémoire :

Un **mot** est une unité de base manipulée par un microprocesseur. On parle aussi de **mot machine** ou de **word**. La taille d'un mot s'exprime en bits.

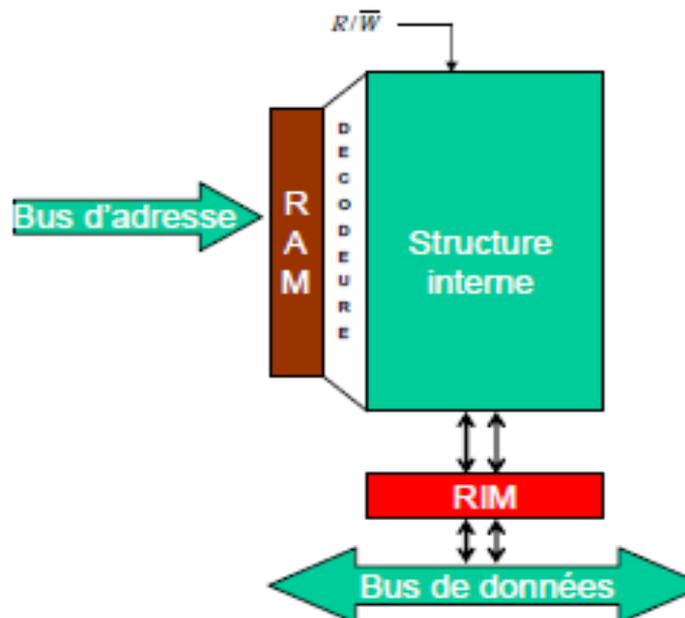
### II.3.1. Vue logique de la mémoire centrale

- La mémoire centrale peut être vue comme un large vecteur (tableau) de mots ou octets.
- Un mot mémoire stocke une information sur n bits.
- Un mot mémoire contient plusieurs cellules mémoire.
- Une cellule mémoire stock 1 seul bit.
- Chaque mot possède sa propre adresse.
- Une adresse est un numéro unique qui permet d'accéder à un mot mémoire.
- Les adresses sont séquentielles (consécutives)
- La taille de l'adresse (le nombre de bits) dépend de la capacité de la mémoire.



### II.3.2. Structure physique d'une mémoire centrale

- RAM (Registre d'adresse Mémoire) : ce registre stock l'adresse du mot à lire ou à écrire .
- RIM (Registre d'information mémoire) : stock l'information lu 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 R/W=1 alors lecture sinon écriture)
- Bus d'adresses de taille k bits
- Bus de données de taille n bits

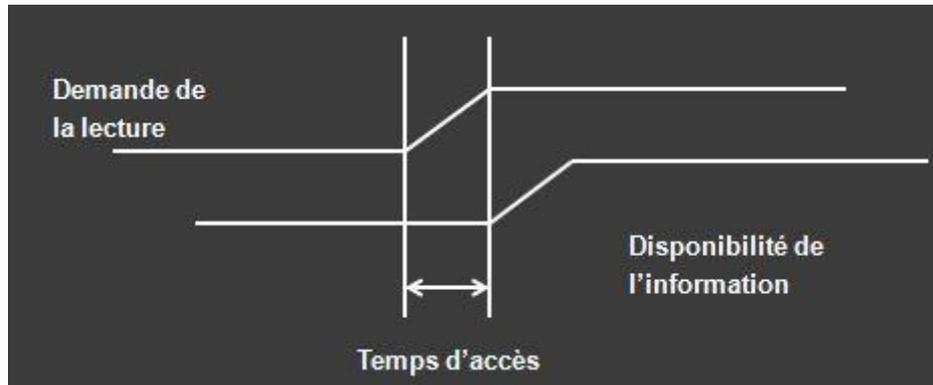


## II.4. Les temps d'accès :

C'est le temps nécessaire pour effectuer une opération de lecture ou d'écriture.

Par exemple pour l'opération de lecture, le temps d'accès est le **temps** qui sépare la **demande** de la lecture de la **disponibilité** de l'information.

Le temps d'accès est un **critère important** pour déterminer **les performances** d'une mémoire ainsi que les performances d'une machine.



### Capacité mémoire :

La capacité d'une mémoire se mesure par octet, KiloOctet (Ko), MégaOctet (Mo), GigaOctet (Go).

Les Unités de mesures de quantité d'informations sont :

Premièrement, un octet représente un caractère. Autrement dit, c'est une lettre, un chiffre ou un symbole.

Chaque octet est composé de 8 bits.

Un bit, ou chiffre binaire, désigne l'unité élémentaire d'information qu'un ordinateur peut traiter.

Elle peut prendre deux valeurs, 0 ou 1.

Un Kilo-octet (Ko) est composé de 1024 octets.

Un Méga-octet (Mo) est composé de 1024 ko = 1 048 576 octets.

Un Giga-octet (Go) contient 1024 Mo = 1 073 741 824 octets.

Finalement, un Téra-octet représente 1024 Go = 1 099 511 627 776 octets

### **Le bus de mémoire :**

Le bus de mémoire (memory bus) est un ensemble de pistes de cuivre sur le circuit imprimé de la carte mère. Ces pistes transportent les adresses mémoires et les informations de et vers la mémoire RAM. Le bus de mémoire, dans la plupart des PC, est aussi partagé avec le bus de processeur (bus interne). Il permet de relier le système mémoire au processeur. Le bus de mémoire est composé de deux parties : le bus de données ou d'informations et le bus d'adresses.

## La vitesse du bus :

La bande passante ou taux de transfert du bus correspond au nombre de bits par seconde qui peuvent circuler sur le bus.=>   taux de transfert= nombre de bit/seconde

La largeur du bus d'adresses détermine la capacité de mémoire maximale adressable par le système.

À cause de la disparité entre la vitesse des microprocesseurs et le temps d'accès des cellules de mémoire, il se produit, lors de transferts massifs d'informations, un bouchon sur le bus, ce qui réduit considérablement la performance globale du système.

### 5.2 Comment calculer la capacité d'une MC ?

- 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 centrale soit en nombre de **mots mémoire** 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 ?

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

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

### 5.3 Comment lire une information ?

- Pour lire une information en mémoire centrale il faut effectuer les opérations suivantes:

– Charger dans le registre RAM l'adresse du mot à lire.

– Lancer la commande de lecture ( $R/W=1$ )

– L'information est disponible dans le registre RIM au bout d'un certain temps (temps d'accès)

### 5.4 Comment écrire une information ?

- Pour écrire une information en MC il faut effectuer les opérations suivantes:

– Charger dans le RAM l'adresse du mot ou se fera l'écriture.

– Placer dans le RIM l'information à écrire.

– Lancer la commande d'écriture pour transférer le contenu du RIM dans la mémoire.

Exemples de barrette mémoire:

