

Chapitre 2:

ARCHITECTURE DE VON NEWMAN

1. Historique

A la fin de 1945, « JOHN VON NEWMAN » proposa la construction de L'EDVAC « machine modèle de l'ordinateur ». Il propose d'enregistrer le programme dans une mémoire. Ainsi, la machine gagne en souplesse et en vitesse (instructions et données sont dans la mémoire).

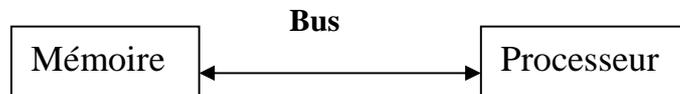


Fig.01. Modèle de VON NEWMAN

Le programme est une séquence d'instructions fournie à l'ordinateur pour son éventuelle exécution par le processeur. Le processeur a pour rôle d'extraire une à une les instructions de la mémoire, de les interpréter et les exécuter jusqu'à ce que le problème soit résolu.

En résumé les caractéristiques de l'ordinateur selon VON NEWMAN sont:

- C'est une machine universelle contrôlée par un programme.
- Les instructions sont codées sous formes binaires et enregistrées en mémoire.
- Les instructions sont exécutées en séquence.
- Les instructions du programme permettent aussi la rupture de séquences (branchement).

Les composantes de base de la machine de VON NEWMAN sont:

- L'unité arithmétique et logique.
- L'unité de commande.
- La mémoire.
- Les unités d'entrées.
- Les unités de sorties.

Les ordinateurs actuels sont tous basés en général sur le modèle de VON NEWMAN.

A Cambridge en 1949, Morris WILLS acheva la construction du 1^{er} ordinateur basé sur le modèle 'architecture de VON NEWMAN (EDSAC), deux ans avant l'EDVAC. Dans les années 50, plusieurs ordinateurs furent construits tels que: IBM 650, ERA 1101, mais tous ces ordinateurs sont basés sur la technologie de tubes a vide (problème de pannes et de fiabilité).

Dés 1960, une deuxième génération d'ordinateurs apparaît basée sur les transistors (augmentation de la vitesse et de la fiabilité et baisse du coût).

Dés 1970, la troisième génération fait son apparition basée sur les circuits intégrés. Les micro-processeurs furent leur apparition. Les puces contiennent de plus en plus de circuits. On passe en peu d'années à des puces contenant jusqu'à des milliers de transistors.

Au début des années 80, les puces contiennent des centaines de milliers de transistors (10^5 10^6), on parle alors de la 4^{ème} génération (apparition des super computers et micro-ordinateurs).

2. Notions

2.1. Programme: Un programme est une suite d'instructions écrites dans un langage de programmation compréhensible par l'ordinateur, l'exécution du programme apporte une solution satisfaisante à un problème donné.

2.2. Instruction: Les instructions sont des commandes explicites qui:

- Régissent le transfert d'informations au sein de l'ordinateur ainsi qu'entre l'ordinateur et ses organes d'entrées sorties.
- Spécifient les opérations arithmétiques et logiques devant être exécutées.

Le programme est rangé en mémoire, puis le processeur va chercher dans la mémoire les instructions formant le programme et exécute les opérations demandées. Les instructions sont normalement exécutées dans l'ordre séquentiel de leur mémorisation; cependant, il est possible de modifier cet ordre comme dans le cas de branchement.

2.3. Données: les données, les nombres et des caractères sont codées en binaire et utilisés comme opérands pour les instructions. D'une manière générale, le terme de donnée peut représenter n'importe quelle information numérique ou autre nécessaire pour l'exécution du programme.

3. Organisation logique et fonctionnelle d'une machine de VON NEWMAN

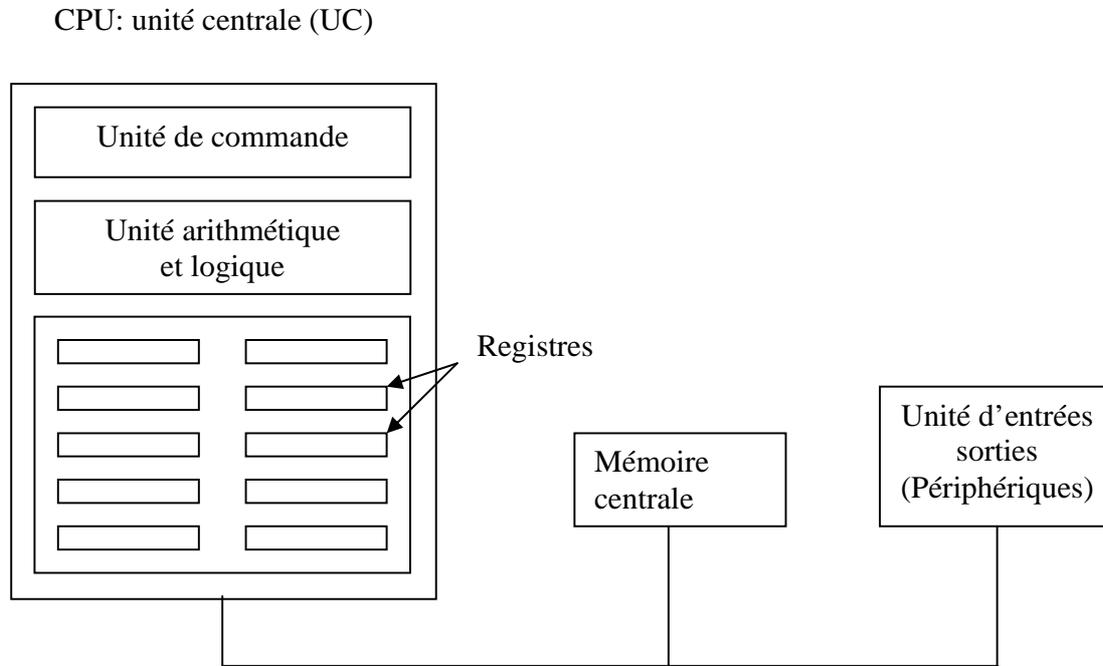


Fig.02. Structure d'un ordinateur

3.1. Le processeur (CPU)

Le processeur est le cerveau de l'ordinateur, son rôle est d'exécuter les programmes stockés dans la mémoire centrale; en chargeant les instructions, en les décodant et les exécutent l'une après l'autre. Le processeur est lui-même formé d'une unité de commande qui charge les instructions et les décode, et d'une unité arithmétique et logique qui exécute les opérations de base (+, -, *, /, et, ou ...etc). Le processeur comprend également des mémoires très rapide qui lui permette de stocker des résultats temporaires ou des informations de commande. Cette mémoire est composée de quelques registres ayant une fonction particulière (compteur ordinal, registre instruction . . . etc).

Le fonctionnement du processeur peut être décrit comme suit: l'unité de commande cherche en mémoire une instruction en envoyant une adresse et une commande à la mémoire centrale. L'instruction stockée sous forme binaire à l'adresse donnée est transférée vers l'unité de commande où son décodage permet de déterminer l'opération demandée. Cette information est utilisée pour générer les signaux nécessaires à l'UAL pour déclencher l'exécution de l'instruction. Les données à traiter seront aussi recherchées en mémoire centrale par l'unité de commande et transférées directement à l'UAL.

3.1.1. L'unité de commande: C'est l'ensemble de dispositifs coordonnant le fonctionnement de l'ordinateur afin d'exécuter les suites d'opérations spécifiées dans les instructions du programme. Les principaux dispositifs de l'unité de commande qui entrent en jeu lors de la recherche et du décodage d'une instruction (cycle de recherche) sont:

- Le compteur ordinal(CO): un registre contenant l'adresse en mémoire de l'instruction recherchée.
- Registre instruction (RI) : un registre qui contient l'instruction a exécutée.
- Décodeur de code opération : il détermine quel opération doit être effectuer parmi toute les opérations possibles.
- Séquenceur : il génère des signaux de commande.
- L'horloge : elle émet des impulsions électroniques régulières synchronisant toutes les opérations du CPU.

a. Cycle de recherche d'une instruction

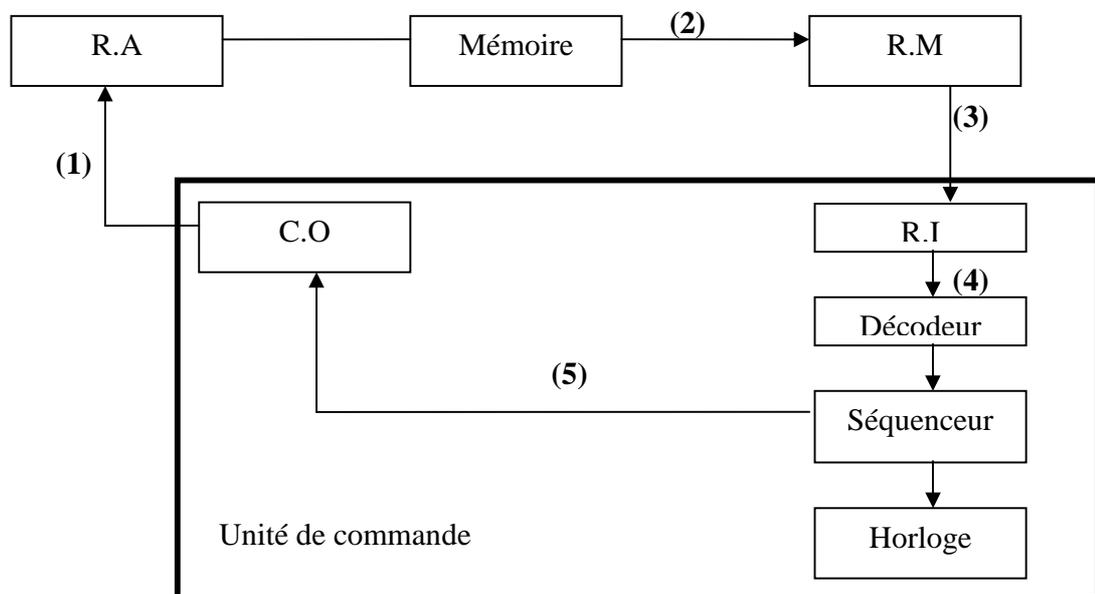


Fig.03. Cycle de recherche d'une instruction

- (1) Transfert de l'adresse de la nouvelle instruction du compteur ordinal (CO) vers le registre adresse de la mémoire.
- (2) Une impulsion de lecture générée par l'unité de contrôle provoque le transfert de l'instruction vers le registre mot (RM) qui fonctionne comme un registre tampon pour les informations lues ou écrites en mémoire.
- (3) Le transfert de l'instruction vers le registre instruction (instruction = code opération + adresse de l'opérande).
- (4) Pendant que l'adresse de l'opérande est envoyée vers le registre adresse, le code opération est transmis au décodeur qui détermine le type d'opération demandé et le transmet au séquenceur en envoyant un signal sur la ligne de sortie correspondante.
- (5) Le compteur ordinal est incrémenté en vue du cycle de recherche suivant.

Le cycle de recherche est suivi du cycle d'exécution durant lequel l'opération spécifiée dans l'instruction sera exécutée par l'U.A.L.

b. Cycle d'exécution d'une instruction

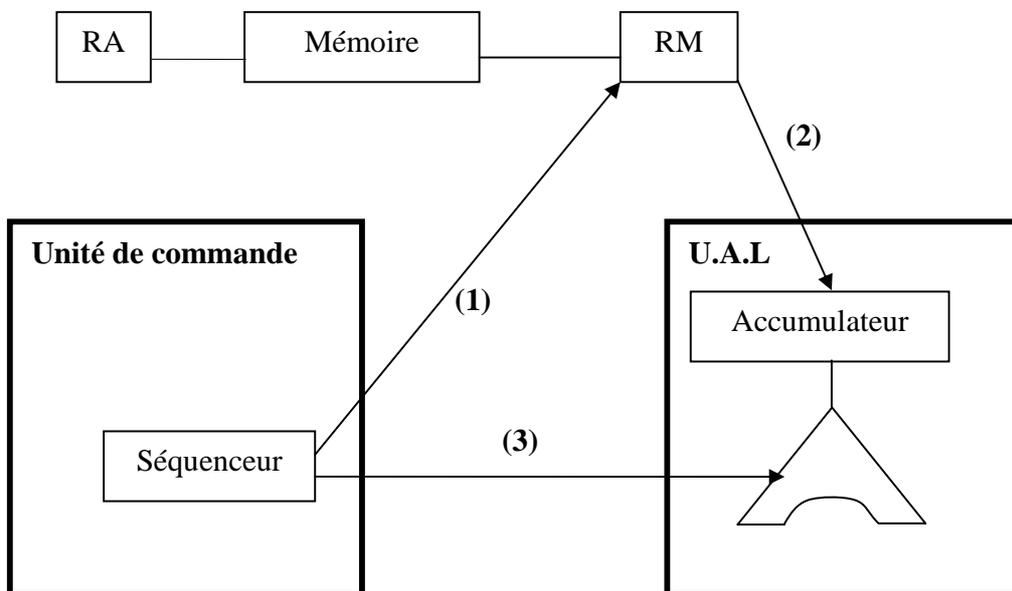


Fig.04. Cycle d'exécution d'une instruction

- (1) Le séquenceur envoie des signaux de commande vers la mémoire pour lire l'opérande à l'adresse déjà stockée dans le registre adresse RA et la faire parvenir dans le registre mot RM.
- (2) Le transfert du contenu du registre mot vers l'accumulateur ou autre registre affecté à l'opération.
- (3) L'opération est effectuée sous le contrôle du séquenceur.

Une fois le cycle d'exécution terminé, l'unité de contrôle passe immédiatement au cycle de recherche suivant.

c. Synchronisation des opérations

Les circuits qui synchronisent les opérations d'un ordinateur se situent dans l'unité de contrôle. L'horloge génère des signaux périodiques qui définissent le cycle de base ou cycle machine; durée élémentaire régissant le fonctionnement de l'ordinateur.

Le cycle d'instruction est composé du cycle de recherche et du cycle d'exécution. Un cycle d'instruction peut s'étendre sur plusieurs cycles machine en fonction du type d'opération à effectuer.

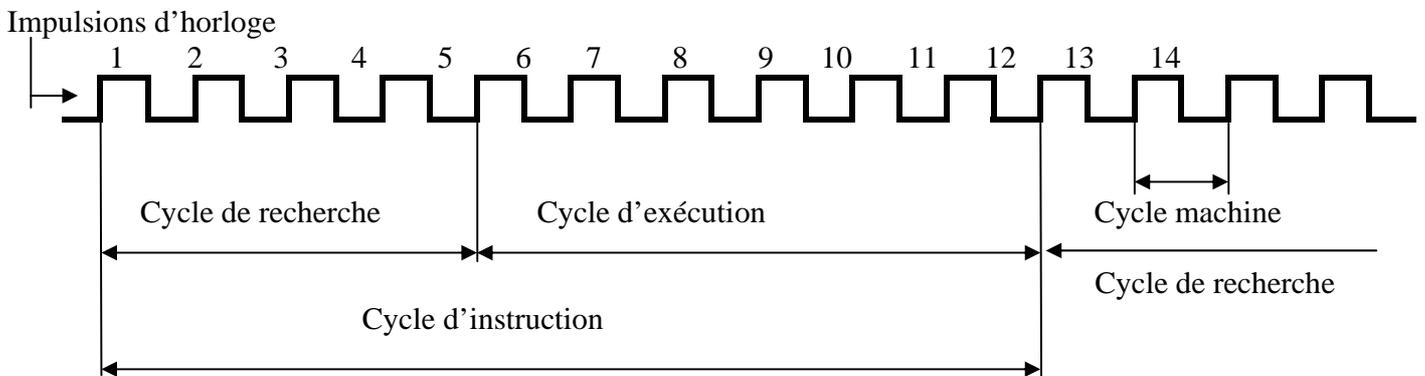


Fig.05. Synchronisation des cycles du CPU

Le cycle CPU détermine par fois le temps d'exécution de l'instruction la plus élémentaire.

d. Le séquenceur

C'est l'automate générant les signaux de commande nécessaires pour actionner ou contrôler les unités participant à l'exécution d'une instruction donnée. Cet automate peut être câblé ou micro-programmé.

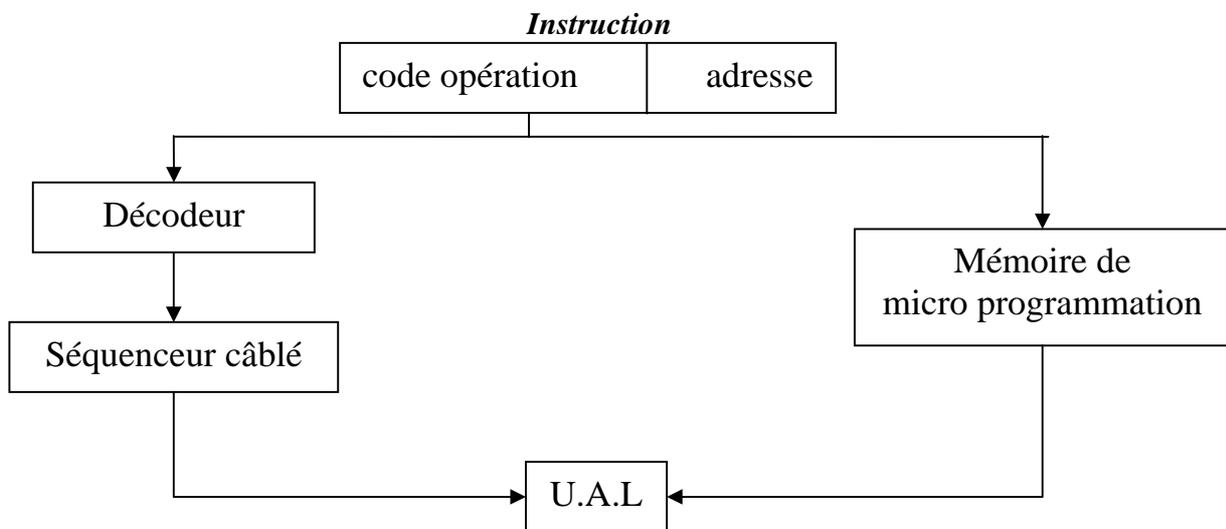


Fig.06. Formes d'un séquenceur

d.1. La forme câblée d'un séquenceur: Le séquenceur est un circuit complexe qui fait correspondre à chaque instruction exécutable un sous circuit capable de commander son déroulement. Le sous circuit est activé par un signal parvenant du décodeur.

d.2. La forme micro programmée d'un séquenceur: A chaque instruction correspond une suite de micro instructions stockées dans une mémoire de microprogrammation (niveau plus bas que le niveau machine). Le code opération de l'instruction est utilisée comme étant l'adresse de la première micro-instruction du programme.

Ce micro programme est capable de générer une suite de signaux de commande équivalente a celle produite par le séquenceur câble. Il suffit de stocker les microprogrammes dans une mémoire très rapide utilisée en lecture seulement, elle peut être du type ROM ou EEPROM non volatile et bien protégé. L'avantage d'un tel séquenceur réside dans sa souplesse et dans sa simplicité, mais c'est d'une vitesse légèrement inférieure à celle du séquenceur câblé.

e. Registres du CPU: Le nombre et le type des registres que possède un processeur est une partie déterminante de son architecture et ont une influence importante sur la programmation. La structure des registres varie d'un ordinateur à un autre mais les fonctions de base réalisées sont essentiellement les mêmes.

e.1. Le compteur ordinal (CO): Il contient toujours l'adresse de la prochaine instruction à exécuter. Il est automatiquement incrémenté après chaque utilisation. Le programme est ainsi exécuté en séquence à moins qu'il contient une instruction de branchement. Dans ce cas, la nouvelle adresse remplacera le contenu du CO. Ce changement sera effectué durant le cycle d'exécution; après le décodage du code opération, avant le transfert du CO vers le registre adresse. La taille du CO dépend de la taille de la mémoire adressable.

Exemple: Un compteur ordinal de 16 bits peut adresser une mémoire de 2^{16} mots.

e.2. Le registre instruction (RI): Lorsque le CPU va chercher en mémoire une instruction il la place dans le registre instruction. La taille du RI correspond au mot mémoire. Les bits correspondants à la zone code opération sont envoyés soit au décodeur soit à la mémoire micro programmée pour déterminer l'opération à exécuter.

e.3. Le registre accumulateur (ACC): C'est un registre très important de l'U.A.L. Dans la plupart des opérations arithmétiques et logiques. L'accumulateur contient les opérandes avant l'exécution et le résultat après. Il peut aussi servir de registre tampon pour les opérations d'entrée/sortie.

Généralement l'accumulateur a la taille d'un mot mémoire, mais dans la plupart des machines, il possède une extension qui permet de doubler sa taille: registre Q utilisé conjointement avec l'accumulateur pour stocker le résultat d'une multiplication ou la dividende et le quotient d'une division, ou pour les opérations en double précision. L'accumulateur est accessible par le programmeur et très sollicité pendant le traitement des données. Certains processeurs ont plusieurs accumulateurs.

e.4. Les registres généraux: Ils permettent de sauvegarder les informations fréquemment utilisées dans le programme ou des résultats intermédiaires, cela évite l'accès à la mémoire, accélérant ainsi l'exécution du programme. Ces registres sont accessibles par le programmeur qui a un choix d'instructions permettant de les manipuler; les plus répons sont:

- Le chargement d'un registre à partir de la mémoire ou d'un autre registre.
- L'enregistrement en mémoire du contenu du registre.
- Transfert du contenu d'un registre dans l'accumulateur et vice-versa.
- Incrémentation et décrémentation d'un registre.

e.5. Registre index (indice) XR: Il peut être utilisé comme un registre général pour sauvegarder et compter. Mais en plus, il a une fonction spéciale dans la manipulation des tableaux de données. Il peut être utilisé pour manipuler des adresses dans le mode d'adressage indexé.

e.6. Registre de base: Ils sont utilisés comme les registres indices pour calculer des adresses effectives, ils sont conçus pour contenir une adresse de référence. Pour obtenir l'adresse effective; il faut y ajouter le contenu du champ adresse de l'instruction au contenu du registre.

e.7. Registre d'état (PSW): Appelé aussi registre condition, il contient différents bits appelés drapeaux (flags); indiquant l'état d'une condition particulière dans le CPU.

Exemple:

- Le bit indicateur **z** indique si le résultat de l'opération effectuée est égale à 0.
- le bit indicateur **c** indique s'il y a un dépassement de capacité.

ces bits sont testés par un programme ou par le CPU.

e.8. Registre pointeur (SP) sommet de pile: Ce registre est utilisé pour simuler une pile dans la mémoire centrale, dans laquelle on réserve une zone mémoire (Pile). Le registre pointeur fonctionne comme le registre adresse (RA). Lorsque un mot est chargé dans la pile, son adresse est inscrite dans le registre pointeur. Il indique à tout moment l'adresse correspondante au sommet de la pile.

e.9. Registres spécialisés: On peut trouver des registres spécialisés pour des opérations particulières tels que : Registre de décalage, registre pour les opérations en virgule flottante . . .

3.1.2. Unité arithmétique et logique (U.A.L): Les ordinateurs modernes ont des U.A.L capables de réaliser une grande variété d'opérations. Certaines opérations ne concernent qu'une seule registre et une seule opérande (remise à zéro, complémentation, décalage, incrémentation...etc), d'autres concernent deux opérandes ou plus (addition, soustraction, ou, et,...etc). Tout traitement a lieu dans l'U.A.L. Dans cette partie se trouvent tous les circuits capables d'effectuer les opérations élémentaires totalement asservies à l'unité de commande. C'est cette dernière, l'unité de commande qui déclenche, contrôle et synchronise toutes les activités de l'U.A.L.

3.2. Le bus: Les différentes unités d'un ordinateur sont interconnectées par un système de câblage transportant des signaux électriques. Pour éviter de relier chaque unité à toutes les autres unités, on fait usage de lignes exploitées en commun par les dispositifs qui y sont rattachés. On appelle bus l'ensemble des câbles capables de transmettre des signaux correspondants à trois types d'informations (adresses, données et commandes). Il existe des architectures basées sur un bus unique sur lequel sont branchés tous les organes de l'ordinateur.

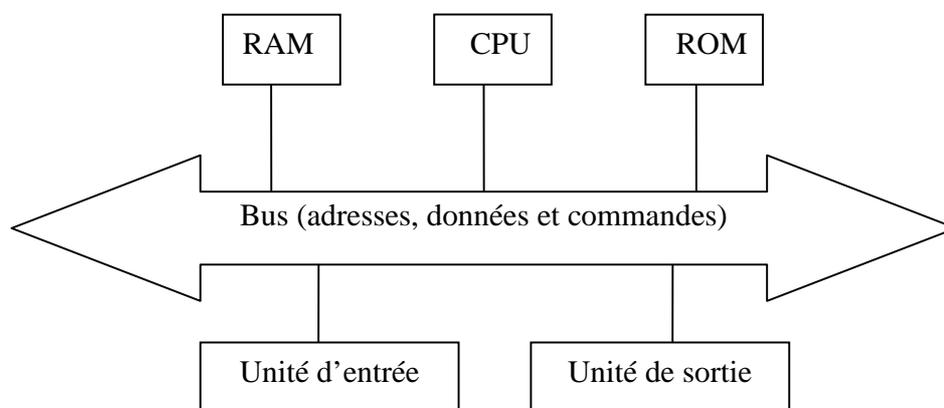


Fig.07. Interconnexion par Bus unique

En général les interconnexions sont assurées par des bus spécialisés, tels que : le bus mémoire, le bus d'entrée/sortie ...etc. Chaque bus est affecté à une tâche spécifique. Un bus peut être utilisé par toutes les unités qui y sont connectés, mais jamais par plus de deux unités en même temps.

3.3. Les mémoires: Une mémoire est un dispositif capable d'enregistrer, de conserver et de restituer des informations (codées en binaire dans un ordinateur). Les éléments de mémoire d'un ordinateur se répartissent en plusieurs niveaux caractérisés par leurs capacités et leurs temps d'accès.

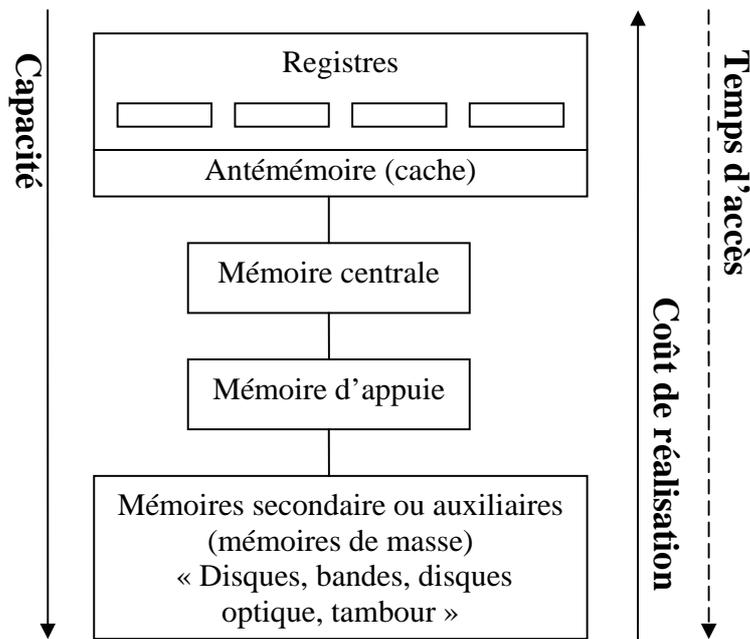


Fig.08. principaux niveaux de mémoires d'un ordinateur

Les différents éléments de la mémoire sont ordonnés selon les critères suivant : temps d'accès, capacité et coût. Quand on s'éloigne du CPU vers la mémoire secondaire, on constate que le temps d'accès et la capacité des mémoires augmente et le coût par bit diminue.

Les éléments de mémoires situés dans le CPU sont les registres qui sont caractérisés par une grande vitesse et servent pour le stockage des opérandes et des résultats intermédiaires.

L'antémémoire ou mémoire cache est une mémoire rapide de faible capacité, utilisée comme mémoire tampon entre le CPU et la mémoire centrale. Elle permet de minimiser les accès du CPU à la mémoire centrale et ainsi de gagner du temps.

La mémoire centrale est l'organe principal de rangement des informations utilisées par le CPU. Pour exécuter un programme, il faut le chercher en mémoire centrale. C'est une mémoire à semi-conducteurs, mais son temps d'accès est beaucoup plus grand que celui des registres et de la mémoire cache.

La mémoire d'appuie sert de mémoire intermédiaire entre la mémoire centrale et les mémoires secondaires, elle est présente dans les ordinateurs les plus évolués, et permet d'augmenter l'échange d'informations entre ses deux niveaux.

Les mémoires secondaires (mémoires de masse) sont des mémoires périphériques de grande capacité et de coût relativement faible. Elles servent d'éléments de stockage permanents et utilisent pour cela des supports magnétiques (disques, bandes, tambours) et des supports optiques (CD-ROM, CD-RW, DVD-ROM ...).

Niveau mémoire	Technologie
Registre	Semi conducteur
Mémoire cache	Semi conducteur
Mémoire centrale	Semi conducteur
Mémoire d'appuie	Semi conducteur
Mémoire secondaire	Magnétique et optique

3.3.1. La mémoire centrale: La mémoire centrale ou principale contient les instructions et les programmes que l'on désire exécuter ainsi qu'une partie du système d'exploitation nécessaire au bon fonctionnement de l'ordinateur. Tout programme à exécuter doit être chargé en mémoire centrale. Ensuite, le CPU cherche les instructions les unes après les autres pour les exécuter séquentiellement. La capacité et la vitesse de la mémoire centrale sont des éléments déterminants dans la puissance d'un ordinateur. Technologiquement la mémoire centrale a été réalisée suivant plusieurs principes. On trouve principalement : Les lignes de retard, les tubes a vide et les tambours magnétiques (pendant les années 40-50) et ont été remplacés par les tores magnétiques, dont la période a durée 20 ans. Depuis les années 70, se sont les mémoires à Semi conducteurs qui ont remplacées avantageusement les tores.

année	ordinateur	Taille de mémoire	Temps d'accès	technologie
1945	ENIAC	20 mots, chacun peut contenir dix chiffres décimaux		Tubes a vide
1953	IBM 650	2000 mots, chacun de dix chiffres décimaux		Tambours magnétiques
1965	IBM 370	Un méga octet (byte)	0.75 μ seconde	Tores
1976	CARY 1	Un méga mots (64 bits)	50 nano seconde	Transistors
1985	CARY2	256 méga mots (64bits)		MOS (semi conducteurs)

3.3.2. Organisation des informations dans la mémoire: Les informations a traiter doivent s'adapter à un certain format, dont les caractéristiques générales sont les suivants:

Le bit (digit): constitue l'unité de base de l'information, c'est le plus petit élément mémorisé ou stocké en mémoire.

L'octet (byte): correspondant a un groupement de huit bits.

Le mot (word): c'est un groupement constituant une unité d'information adressable en mémoire centrale qui varie selon les machines (8, 16, 24, 32, 64, ...bits).

3.3.3. Caractéristiques des mémoires:

a- Les adresses mémoires: Une mémoire est formée d'un certain nombre de cellule (cases) contenant le même nombre de bits, chacune de ces cellules contenant une certaine information. Chaque cellule a un numéro appelé adresse qui permet au programme de la référencier.

Exemple:

-Une mémoire de n cellules, les adresses varieront de 0 jusqu'à (n-1).

-Une mémoire de 96 bits peut être organisée de plusieurs manières suivant la taille des cellule:

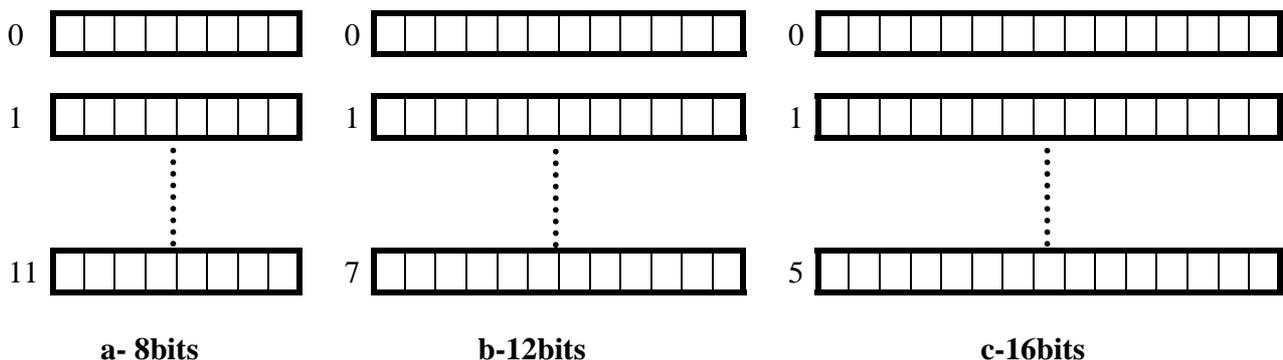


Fig.09. Trois façons d'organiser une mémoire de 96 bits

Remarque:

- L'adresse est exprimée en binaire.
- Une adresse de m bits \Rightarrow le nombre maximum de cellules de la mémoire directement adressable est égal à 2^m cellules.
- Le nombre de bits de l'adresse ne dépend que du nombre de cases adressables et non pas de leurs tailles.
- Parfois, on utilise le terme mot pour designer une cellule mémoire.

Exemple:

- Une mémoire de 2^{16} mots chacun de 8 bits \Rightarrow une adresse codé sur 16 bits.
- Une mémoire de 2^{16} mots chacun de 64 bits \Rightarrow une adresse codé sur 16 bits.
- Pour l'exemple précédent de la figure Fig.09., le nombre de bits du champ adresse est:

9.a	0 . .11	4 bits
9.b	0 . . 7	3 bits
9.c	0 . . 5	3 bits

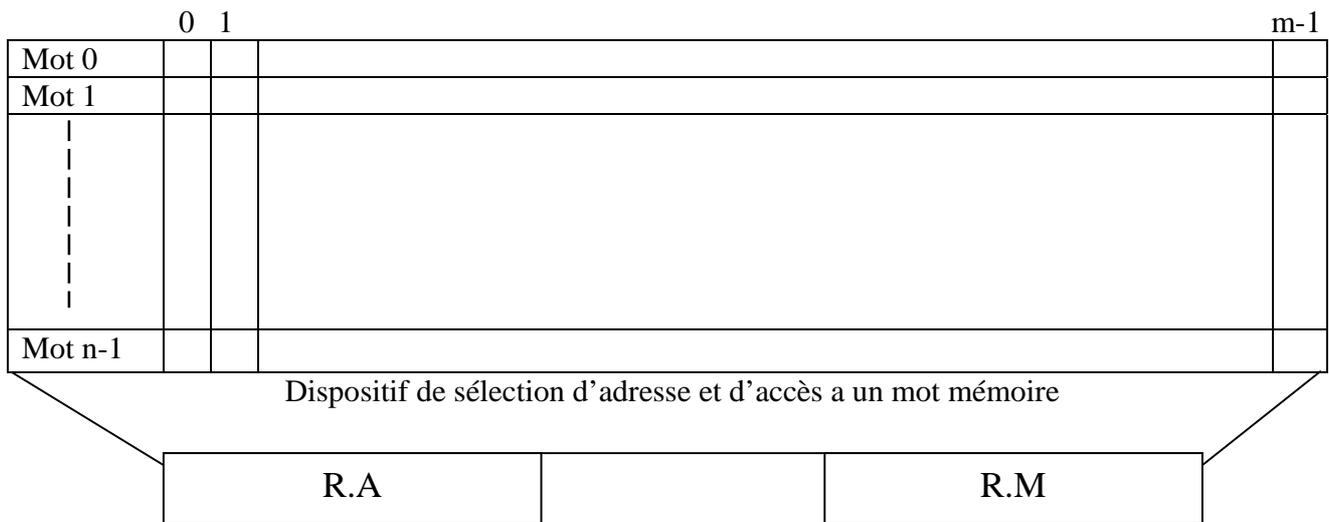


Fig.10. Schéma de la mémoire centrale

Un registre est une cellule ayant une fonction particulière. On trouve deux types de registres qui sont associés à la mémoire central : R.A qui contient l'adresse du mot mémoire et R.M qui contient le contenu d'un mot mémoire. Le R.M a la même taille qu'un mot mémoire alors que le R.A doit permettre d'adresser tous les mots mémoires.

Exemple:

- Une mémoire de 256 mots \Rightarrow le nombre de bits du R.A = $\log_2 256 = \log_2 2^8 = 8 \log_2 2 = 8$ bits.
- Un R.A de 32 bits \Rightarrow la mémoire adressable est de 2^{32} mots (4Giga mots).

b- La capacité: La capacité ou la taille d'une mémoire correspond au nombre d'informations qu'elle peut contenir, exprimée en nombre de bits, d'octets ou de mots.

c- Le temps d'accès: C'est le temps qui s'écoule entre le lancement d'une opération d'accès (lecture ou écriture) et son accomplissement (résultat).

d- Le cycle mémoire: C'est le temps minimal s'écoulant entre deux accès successifs à la mémoire. Il est plus long que le temps d'accès, car le fonctionnement de la mémoire nécessite des opérations de maintenance, de stabilisation des signaux dans les circuits, de synchronisation...etc.

e- Le débit: C'est le nombre d'informations lues ou écrites par seconde.

f- La volatilité: Elle caractérise la permanence des informations dans une mémoire. Une mémoire volatile perd son contenu lorsqu'on coupe le courant. La mémoire centrale à semi conducteur est volatile alors que les mémoires secondaires ne le sont pas. On peut réaliser des mémoires à semi-conducteurs non volatiles moyennant d'une petite batterie.

3.4. Les entrées sorties

3.4.1. Les unités d'entrées/sorties: Les unités d'entrées sorties ou d'échange sont des éléments qui permettent de transférer les informations entre l'unité centrale et les unités périphériques.

Les techniques d'échange d'informations entre l'ordinateur et son environnement sont appelées les techniques d'entrées sorties. Plus on s'éloigne du CPU, plus les vitesses d'informations sont lentes, le CPU travaille plus vite que toutes les unités périphériques. Le plus souvent les échanges sont établis entre les périphériques et la mémoire centrale. Si le processeur devrait lui même s'occuper de la gestion des opérations d'entrées sorties, il passerait la majeure partie de son temps à attendre. Dès lors, pour décharger le CPU, l'ordinateur dispose de dispositifs particuliers spécialisés dans la réalisation des échanges entre l'extérieur et la mémoire centrale; ce sont des canaux ou des processeurs d'E/S (DMA:direct memory acces). L'intérêt majeur de ces dispositifs réside dans le fonctionnement simultané avec le CPU.

3.4.2. Les dispositifs (périphérique) d'entrées/sorties: De nombreux équipements d'entrées/sorties sont disponibles. Parmi les plus importants on distingue:

- Les consoles de visualisation : constituées d'un l'écran et d'un clavier souvent associé à des dispositifs annexes tel que la souris, l'écran tactile...etc.
- Les imprimantes : matricielle, jet d'encre, laser, traceur.
- Lecteurs optique, magnétique et scanners qui assurent la lecture des documents imprimés.
- Table digitalisation.