

Module 5: Mémoire

1 Introduction

La mémoire centrale est un composant indispensable de l'ordinateur. Elle se résume souvent à une simple fonction de stockage. On distingue plusieurs catégories de mémoires, différenciées par leurs caractéristiques à savoir le type d'adressage, la capacité, les performances, le type d'accès, etc. et en terme du type de la mémoire comme la mémoire principale, secondaire, etc.

La mémoire principale est elle-même composée de différents types de mémoires comme ROM, SRAM, DRAM, Flash, etc. La fonction principale de la mémoire est de stocker le code et les données lors de l'exécution des programmes.

2 Caractéristiques

Il existe des caractéristiques qui doivent être prises en compte pour pouvoir bénéficier de toute la puissance des mémoires.

2.1 Localisation

La localisation géographique de la mémoire centrale influe de façon directe sur leurs performances. Plus une mémoire est loin du processeur, plus les signaux électriques mettent du temps à l'attendre, et par conséquent moins de performances. À cet effet, à l'échelle du processeur, les distances de l'ordre de la dizaine de centimètres ne sont pas négligeables en matière de propagation du courant.

On distingue quatre types de mémoire selon leur localisation dans l'ordinateur :

- Au coeur du processeur sur la puce en silicium figurent les registres ainsi que la mémoire cache de niveau 1 (on verra ça dans le prochain cours). Évidemment, cet emplacement permet un accès beaucoup plus rapide aux données.
- Reliée directement au processeur par un bus spécial, la mémoire cache de niveau 2 permet ainsi de maximiser la vitesse des transferts.
- Reliée via un contrôleur mémoire chargé de répartir les mouvements de données entre les différents composants, la mémoire principale est souvent, selon les implémentations, reliée directement au processeur.

- Reliées par le biais d'un bus d'entrées/sorties, toutes les mémoires secondaires (disque dur, CD/DVD, clés amovibles, etc.) utilisent en outre un ou plusieurs contrôleurs systèmes pour communiquer avec le processeur, ce qui ralentit fortement les échanges.

2.2 Adressage et capacité

Les espaces mémoires sont généralement mesurés en octets. Chaque type de mémoire possède classiquement les capacités de stockage suivantes (qui peuvent augmenter avec le progrès technologique)¹ :

TABLE 1 – Capacités standard des mémoires. Notez qu'avec le progrès technologique, les capacités des mémoires actuelles sont largement augmentées.

Type de mémoire	Capacité de stockage
Registre	64 octets à 1 Ko
Cache de niveau 1	32 Ko à 128 Ko
Cache de niveau 2	512 Ko à 8 Mo
Cache de niveau 3	3 Mo à 10 Mo
Mémoire centrale	1 Go à 16 Go
Disque dur	250 Go à 2 To
CD	700 Mo
DVD, DVD blu-ray	4.7 Go à 32 Go
Clé amovible	1 Go à 64 Go
Bande	10 Go

Chaque information est stockée dans une case mémoire que l'on référence via son adresse. Comme on l'a vu dans le cours d'assembleur, pour un registre, on précise son nom dans l'instruction. Pour une information stockée en mémoire principale, on donne son adresse numérique.



Le rôle de la mémoire cache est d'accélérer les transferts depuis la mémoire principale. Il ne faut donc pas la considérer comme un espace de stockage supplémentaire.

2.3 Méthodes d'accès

On distingue plusieurs méthodes d'accès aux données dans les mémoires selon leur construction :

- **Accès séquentiel** : Cet accès, le plus lent, est celui des bandes magnétiques. Il oblige de parcourir toutes les adresses avant d'arriver à l'adresse souhaitée comme illustré dans la figure 1.

1. Tableau tiré et modifié du livre d'architecture de l'ordinateur d'Emmanuel Lazard.

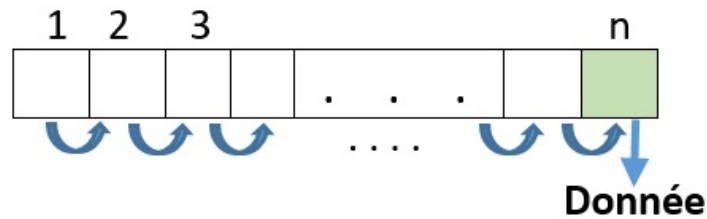


FIGURE 1 – Accès séquentiel.

- **Accès semi-direct** : Cette méthode d'accès est applicable également aux dispositifs magnétiques comme les disques durs. Il est constitué de pistes concentriques. Donc, il permet un accès direct à la piste voulue par le déplacement d'une tête de lecture, suivi par un accès séquentiel à la donnée via le défilement de la piste comme illustré dans la figure 2.

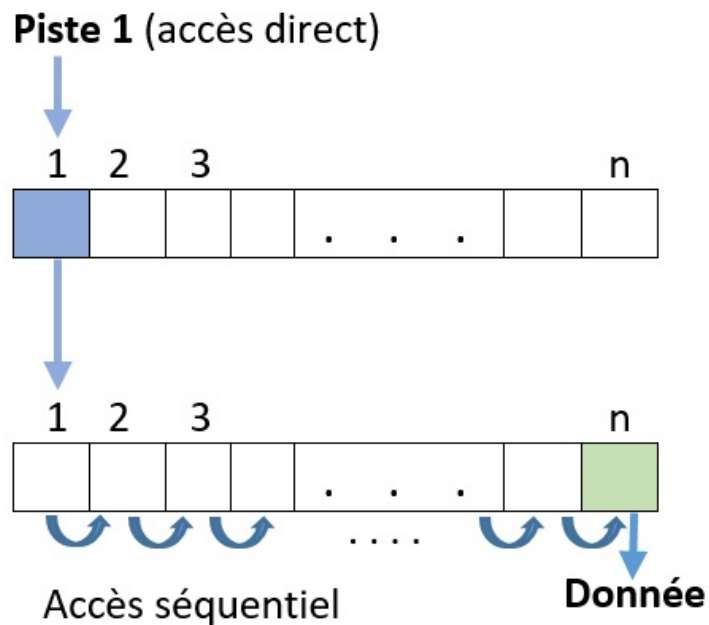


FIGURE 2 – Accès semi-direct.

- **Accès direct ou aléatoire** : La mémoire centrale a été inventée par la compagnie Intel en 1970 sous forme de semi-conducteurs. L'innovation est de permettre un accès direct, et donc plus rapide, à la donnée via un décodeur d'adresse. Ce circuit sélectionne la cellule mémoire à partir de

la valeur numérique de l'adresse comme illustré dans la figure 3².

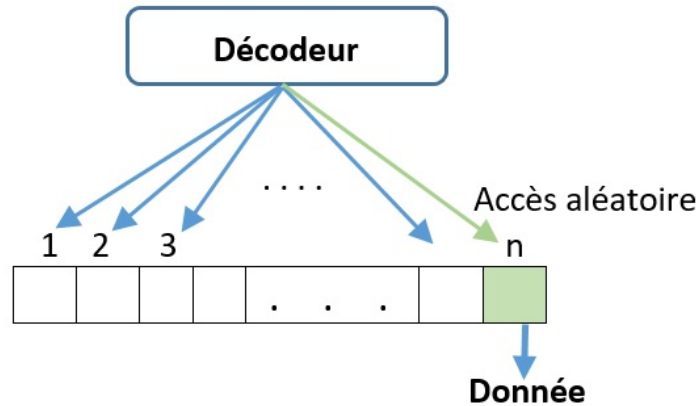


FIGURE 3 – Accès aléatoire (mémoire principale).

- **Accès associatif** : Dans ce type d'accès, les mémoires enregistrent des couples de valeurs. Pour sélectionner une case mémoire, on envoie au circuit mémoire la première valeur d'un couple, si cette valeur existe, la mémoire renvoie la seconde valeur du couple (donnée) comme illustré dans la figure 4³.

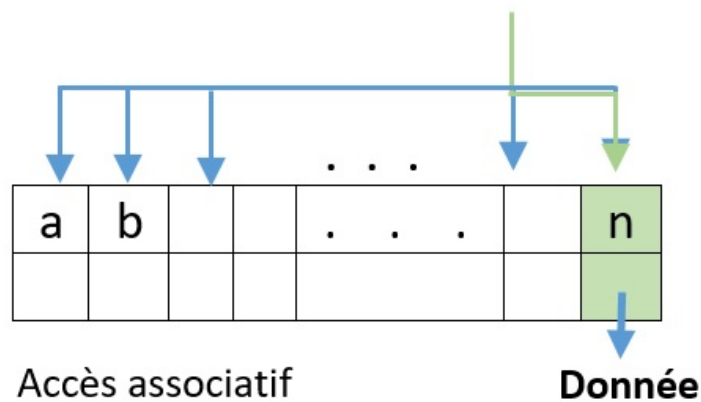


FIGURE 4 – Accès associatif (mémoire associative).

2.4 Stockage des données

La mémoire centrale permet d'adresser des :

2. Figure tirée du livre d'architecture de l'ordinateur.
3. Figure tirée du livre d'architecture de l'ordinateur.

- Octets (8 bits)
- Demi-mots (2 octets)
- Mots (4 octets)
- Doubles mots (8 octets)

Chaque bit d'un octet (ou d'un mot par exemple) est numéroté comme l'illustre la figure 5 :

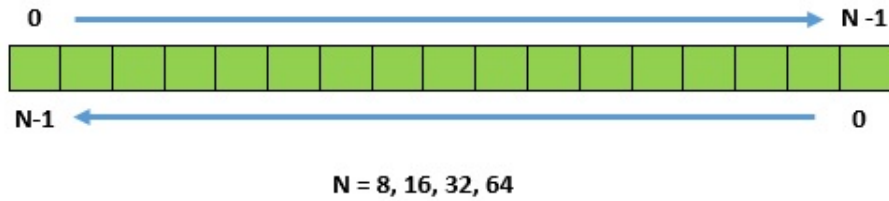


FIGURE 5 – Exemple de numérotation de la mémoire principale.

Les octets d'un mot, d'un demi-mot, ou d'un double mots sont aussi numérotés. Par exemple, un mot (4 octets) qui se trouve à l'adresse "adr" occupe les octets mémoires aux adresses (adr, adr+1, adr+2, adr+3).

Il existe deux formats pour l'ordre des octets dans un mot :

- Format **Big Endian** : Dans ce format, l'adresse de la donnée est celle de la partie la plus significative. Dans un format Big Endian, l'octet le plus significatif est celui $2^{31}, \dots, 2^{24}$. Donc, c'est l'octet correspondant aux plus grandes puissances de deux. Par exemple, supposons le nombre $B1D2C3D4_{16}$ qui se trouve à l'adresse $0x00400000$. L'octet le plus significatif est $B1$ qui sera placé à l'adresse la plus basse, $0x00400000$. Les autres trois octets seront placés l'un après l'autre dans les adresses suivantes : $0x00400001$, $0x00400002$, et $0x00400003$ comme l'illustre la figure 6.

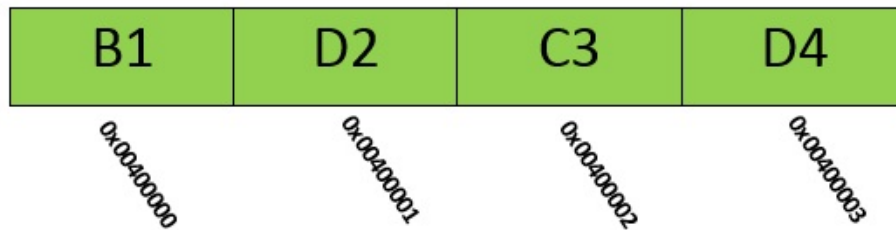


FIGURE 6 – Ordre des octets dans le format Big Endian.

- Format **Little Endian** : Dans ce format, l'adresse de la donnée est celle de la partie la moins significative. Dans un format Little Endian, l'oc-

octet le moins significatif est celui $2^7, \dots, 2^0$. Donc, c'est l'octet correspondant aux plus petites puissances de deux. Dans l'exemple précédent, l'octet le moins significatif est *D4* qui sera placé à l'adresse la plus basse, 0x00400000. Les autres trois octets seront placés l'un après l'autre dans les adresses suivantes : 0x00400001, 0x00400002, et 0x00400003 comme l'illustre la figure 7.

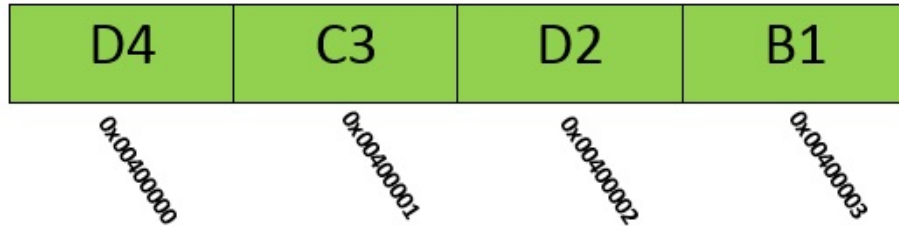


FIGURE 7 – Ordre des octets dans le format Little Endian.

2.5 Performances

L'une des caractéristiques les plus importantes des mémoires est la performance. Les mémoires à accès aléatoire sont généralement évaluées par deux mesures : le temps d'accès et le temps de cycle.

- Le temps d'accès correspond au délais entre la présentation de l'adresse et la disponibilité de la donnée. Les registres ont un temps d'accès de l'ordre de la nanoseconde, la mémoire cache de quelques nanosecondes et la mémoire principale de quelques dizaines de nanosecondes.
- Le temps de cycle correspond au temps que les boîtiers mémoire ont souvent besoin avant de pouvoir accepter un nouvel accès, qui permet aux circuits électroniques de revenir à leur état initial. Par conséquent, le temps de cycle est défini comme étant l'intervalle de temps minimum entre deux accès successifs à un même boîtier. Pour la mémoire principale, ce temps de latence est de quelques nanosecondes.

Les performances sont généralement indiquées en donnant la bande passante du lien entre le processeur et la mémoire. Il s'agit du débit maximum en bits par seconde des informations circulant entre les deux composants. Par exemple, un processeur fonctionnant à 500 MHz et transférant 8 octets à la fois par cycle d'horloge, aura une bande passante de $500 \times 8 = 4$ Go par seconde.

Dans le cas des mémoires à accès semi-direct, trois paramètres peuvent caractériser les performances : 1) le temps d'accès (positionnement) : c'est le temps requis pour déplacer la tête de lecture, 2) le temps de latence nécessaire pour que la piste défile sous la tête jusqu'à l'information voulue, et 3) le temps de transfert qui correspond au transfert des données et est mesuré en bits par seconde.