



# **ARCHITECTURE DES ORDINATEURS (ADO)**

## **COURS 3 MÉMOIRES**

**MAROUA MASMOUDI KOTTI**

**Avec les contributions de : TAISA GUIDINI GONCALVES**

# Introduction

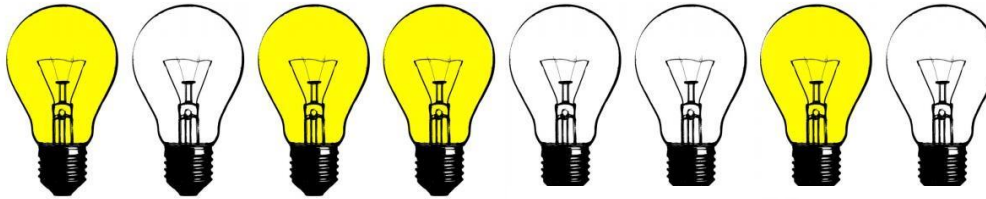
---

- Tout au long de l'histoire, la mémoire a été réalisée selon plusieurs principes :
  - les tubes à vide ;
  - les tores magnétiques ;
  - et les mémoires à semi conducteurs (bascules).
- Dans toutes ces technologies, on cherchait à **mémoriser l'information élémentaire** ou **le bit**, dans une **cellule** ou **point mémoire**, en lui attribuant une composante matérielle capable d'avoir **deux états stables**.

# Introduction

- Les tubes à vide

États électriques

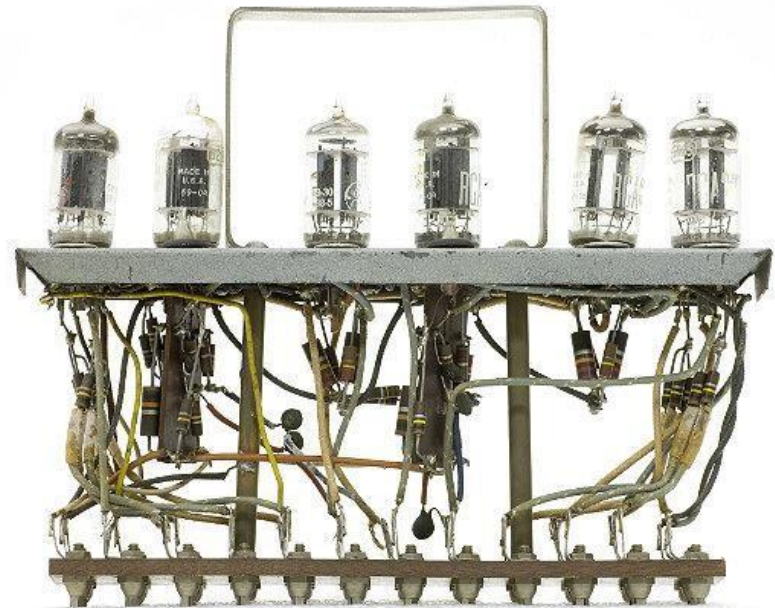


Bits

1 0 1 1

Algèbre de Boole

true false true true



# Introduction

- Les tores magnétiques
  - Anneaux de ferrite pouvant être magnétisés dans deux directions différentes :
    - ✦ sens des aiguilles d'une montre
    - ✦ ou le sens contraire
  - Les anneaux envoient des courants électriques dans les fils traversant les tores.
  - Le **bit enregistré** dans le tore signifie **zéro** ou **un** selon le sens du champ magnétique.

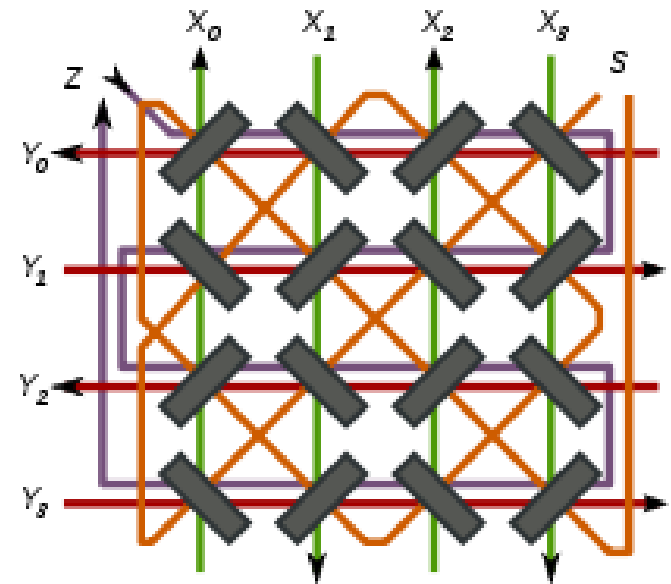
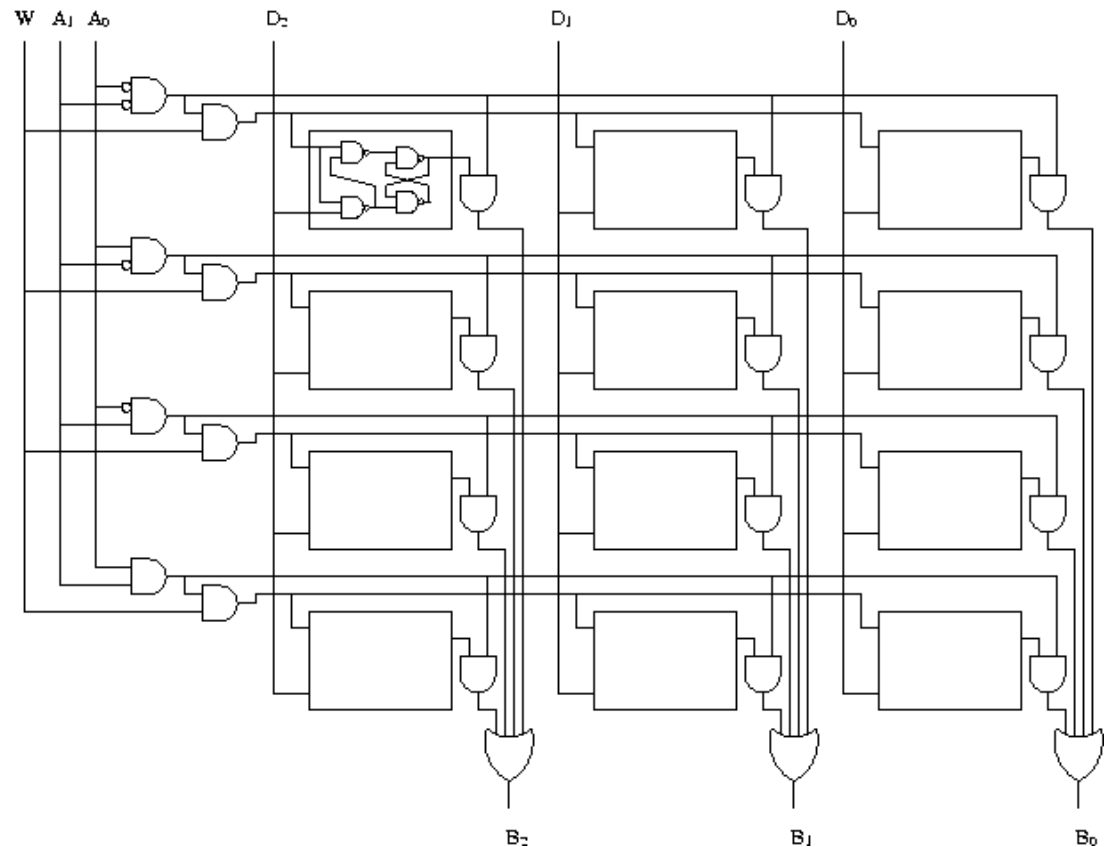


Diagramme d'une mémoire à tores magnétiques de 4 x 4 bits. Les flèches indiquent le sens du courant pour une écriture. (Source : Wikipédia)

# Introduction

- Les mémoires à semi conducteurs (bascules)



Mémoire  $4 \times 3$  bits

# Définitions

- Une mémoire est un dispositif permettant d'enregistrer, de conserver et de restituer de l'information.
- Elle se compose **d'adresses uniques** et des **données**.
- On peut imaginer la mémoire comme une boîte aux lettres constituée de différents rangements.
- Chaque boîte à lettres (**case mémoire**) contient :
  - un nombre fixe de lettres/  
une taille fixe (**donnée**)
  - un numéro unique (**adresse**)

*Adresse*      *Case mémoire (Donnée)*

7 = 111	
6 = 110	
5 = 101	
4 = 100	
3 = 011	
2 = 010	
1 = 001	
0 = 000	0010 1100

# Terminologie

---

## Point mémoire :

- C'est un circuit à deux états stables capable de stocker l'un des deux chiffres binaires : 1 et 0 (digits ou bits : **binary digit**).

## Mot mémoire :

- Pour accéder à la mémoire, on doit **lire** ou **écrire** un ensemble (**mot mémoire**) de bits de **taille fixée** à l'avance.
- Chaque mot mémoire (à  $m$  bits) peut servir à coder  $2^m$  informations différentes.
- Ils se retrouvent à chaque adresse et sont constitués de plusieurs bits.

# Mémoire

- On décrit une mémoire grâce à deux chiffres (indépendants) :

- le nombre d'adresses possibles

**$2^n$  adresses,  $n$  = nombre de fils électriques (bits) des adresses**

Ex. :  $n = 16$  (vu que chaque adresse est composé de 4 chiffres en Hexa = 16 bits en Binaire)  $\rightarrow 2^{16} = 65,536$  adresses

- la taille des mots de la mémoire

données de  $m$  bits,  $m$  = **nombre de fils électriques (bits) des données et une puissance de 2**

Ex. : 8 bits = 1 octet

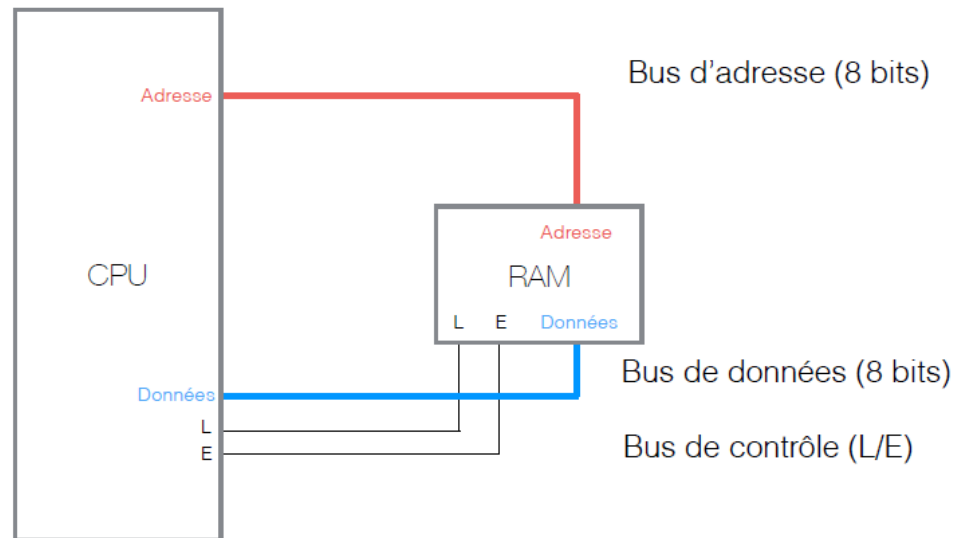
mémoire de  $2^{16}$  adresses

Address	b <sub>7</sub>	b <sub>6</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>0</sub>
0x0000								
0x0001								
0x0002								
0x0003								
0x0004								
0x0005								
0x0006								
0x0007								
0x0008								
0x0009								
0x0010								
0x0011								
0x0012								
0x0013								
0x0014								
0x0015								
...								
...								
0xFFFF								

taille des mots = 8 bits = 1 octet

# Mémoire

- Les mémoires qui peuvent se lire et s'écrire, possèdent au moins trois signaux de contrôle du microprocesseur :
  - Lecture de la mémoire ;
  - Écriture de la mémoire ;
  - Activation de la mémoire.



# Caractéristiques d'une mémoire

- 1. Capacité/Taille Mémoire**
- 2. Temps d'Accès**
- 3. Cycle Mémoire**
- 4. Débit**
- 5. Volatilité**

# Capacité/Taille Mémoire (TME)

- La quantité maximale des données qu'une mémoire peut stocker.
- Elle est généralement exprimée en :
  - Bits, octets (Bytes) ou en nombre de mots mémoire.
- Une mémoire stockant des **données** sur **m bits** et dont les **adresses** s'expriment avec **n bits**, possède une **capacité/taille** de  **$2^n \times m$  bits**.

**Taille Mémoire (TME) = Nombre d'Adresses (NA)  $\times$  Taille d'un Mot (TMO)**

# Capacité/Taille Mémoire (TME)

- Unités de mesure (en puissances de 2) :

Symbole	Préfixe	Capacité/Taille (octets)
1 o	Octet	$2^3 = 8(\text{bits})$
1 Ko	Kilo	$2^{10} = 1024$
1 Mo	Méga	$2^{20} = 1048576$
1 Go	Giga	$2^{30} = 1073741824$
1 To	Tera	$2^{40} = 1099511627776$
...	...	...

# Temps d'Accès (TA)

---

- Le temps qui sépare le **début de l'opération** d'accès (en lecture ou en écriture) et **sa terminaison**.
- **Exemple :**
  - L'adresse est présentée à la mémoire pour une opération de lecture (l'instant où l'opération est demandée)
  - L'information est disponible sur le bus de données (l'instant où l'opération est terminée)

# Cycle Mémoire (CM)/Temps de Cycle

---

- Le temps s'écoulant entre deux accès successifs à la mémoire.
- Il s'agit de la durée prise par la mémoire pour :
  - effectuer une opération de lecture ou d'écriture ;
  - et revenir à son état initial, dans lequel elle est prête à accepter la commande suivante.
- Théoriquement, le cycle mémoire (CM) est égal au temps d'accès (TA).
- Mais en pratique **CM > TA**
  - Le bon fonctionnement de la mémoire nécessite de quelques opérations de maintien et de stabilisation des signaux dans les circuits , de synchronisation, etc.

# Débit

- Débit ou Bande Passante d'une mémoire est le nombre d'information maximum lu/écrit par seconde.
- Il s'exprime en **bits par seconde** ou **bytes par seconde**.
- Il est exprimé en fonction du cycle mémoire (CM) et de la taille du mot mémoire (TMO) comme suit :

$$D = \frac{TMO}{CM}$$

# Volatilité

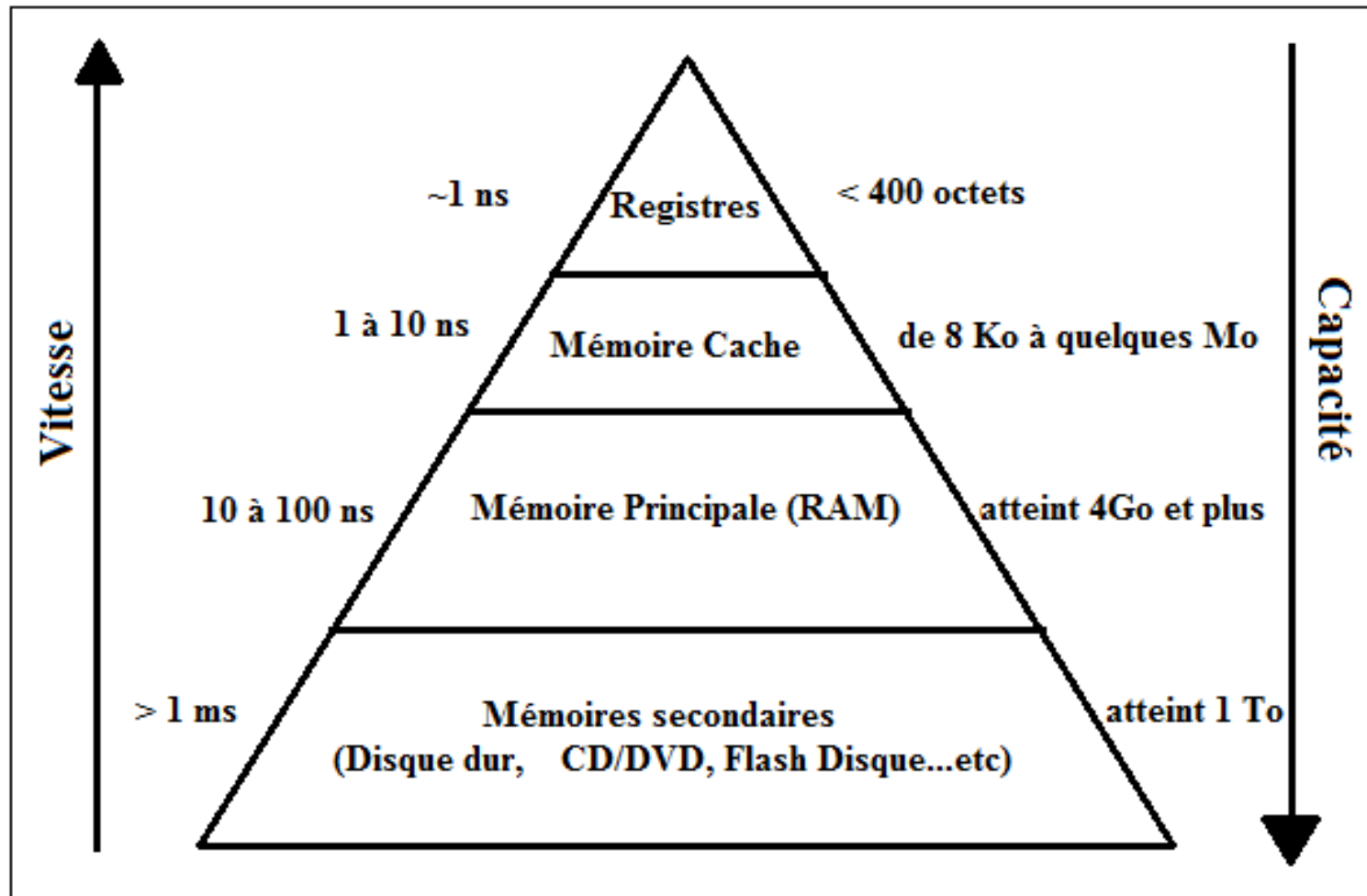
---

- Elle caractérise la permanence des données dans la mémoire centrale.
- Une mémoire volatile perd son contenu lorsqu'on coupe le courant.
- La mémoire à base de transistors est volatile.
  - Exemple : Mémoire RAM

# Hiérarchie de mémoires

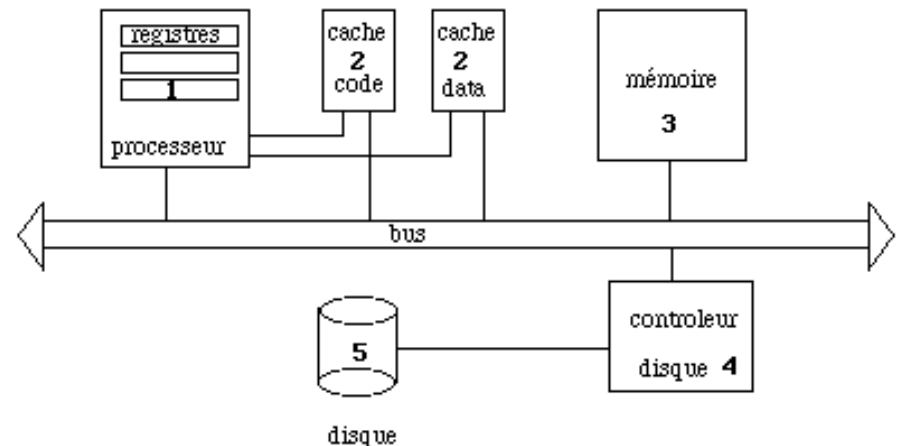
- 1. Registres du CPU**
- 2. Mémoire cache**
- 3. Mémoire principale/centrale**
- 4. Mémoires de masse**

# Hiérarchie de mémoires



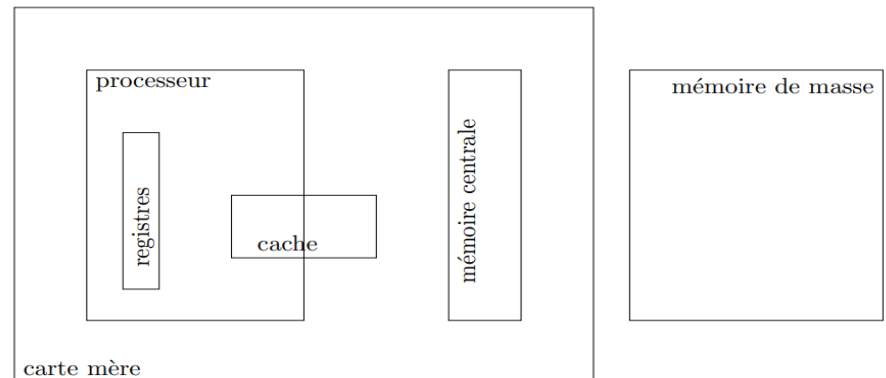
# Registres du CPU

- Les registres du **CPU** (*Central Processing Unit*) ou **UCC** (Unité Centrale de Calcul) sont placés dans le processeur.
- Ils fonctionnent à très **grande vitesse** mais ont une **capacité très faible**.
- Ils servent à stocker les opérandes et les résultats intermédiaires des calculs qu'effectue le processeur.



# Mémoire cache

- La mémoire cache (**copie rapide de la mémoire centrale**) est souvent décomposée en plusieurs parties.
- L'une collée sur le processeur et l'autre toute proche mais sur la carte mère.
- La taille est de quelques centaines de KBytes (Ko) intégrés directement dans le circuit du processeur.
- Quelques MBytes (Mo) sur la carte qui contient le processeur central.



# Mémoire cache

---

- Les ordinateurs actuels ont **plusieurs niveaux** de mémoire cache, qui sont séparés pour les **données** et pour les **instructions**.
  - La mémoire cache **interne au processeur** est appelée cache principale ou de **niveau 1 (L1)**.
  - Celle **externe au processeur** est appelée cache auxiliaire ou de **niveau 2 (L2)**.

# Mémoire cache

- La mémoire cache est un niveau de **mémorisation intermédiaire très rapide** (15 ns au moins) et de **petite capacité** destinée à mémoriser les données ou les instructions **les plus récemment accédées**.
- Elle sert de mémoire tampon<sup>1</sup> entre la mémoire centrale et les registres du CPU, car la différence de vitesse entre ces derniers est très importante.

<sup>1</sup> Elle est utilisée pour entreposer temporairement des données, entre deux processus ou matériels ne travaillant pas au même rythme.

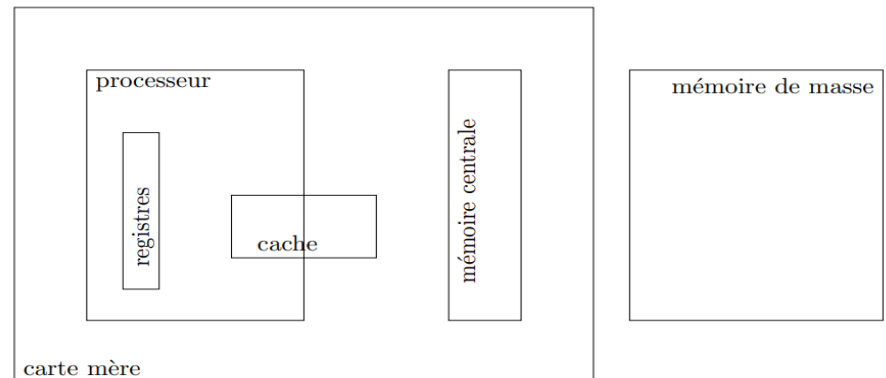
# Mémoire cache

---

- C'est une mémoire associative (accès par le contenu).
- Elle permet au CPU de faire moins d'accès à la mémoire centrale et donc de gagner du temps.
- **Principe** : Recherche d'une donnée dans le cache avant de la rechercher dans la mémoire principale :
  - succès de cache : la donnée est présente dans le cache
  - défaut de cache : la donnée est absente dans le cache

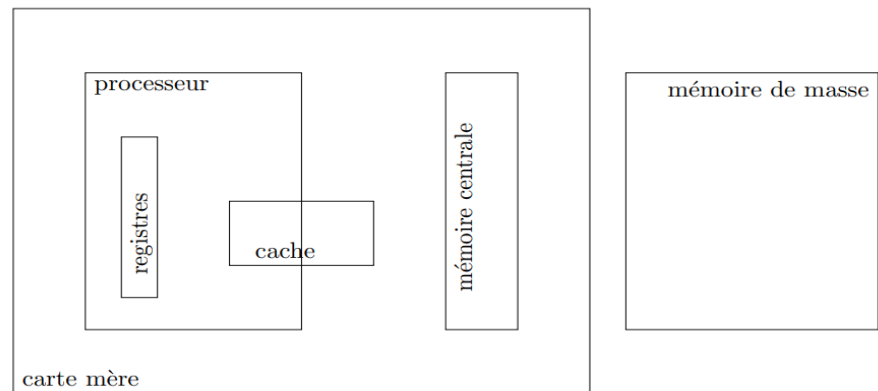
# Mémoire centrale

- Appelée aussi mémoire principale, mémoire vive ou **RAM**.
- Elle contient toutes **les instructions et les données** nécessaires au CPU.
- Pour exécuter un programme, il faut le charger (**instructions + données**) en mémoire centrale.
- Elle est faite de circuits à transistors.
- Son **temps d'accès** est beaucoup **plus grand** que celui des registres et du cache.



# Mémoire de masse

- Les mémoires de masse ou mémoires auxiliaires ou secondaires (ou **ROM**) sont des mémoires qui peuvent être de **très grande capacité**.
- Ces mémoires placées à **l'extérieur de la carte mère** font partie des périphériques.
- Elles permettent un stockage permanent des informations, généralement sous forme de fichiers.



# Mémoire de masse

- Elles permettent un stockage permanent des informations et peuvent avoir différents supports.
- Exemple:



Disque dur interne



Disque dur externe



CD/DVD

# Types d'accès aux mémoires

- 1. Mémoire associative**
- 2. Mémoire à accès direct**
- 3. Mémoire à accès séquentiel**
- 4. Mémoire à accès semi-séquentiel**

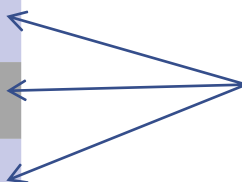
# Mémoire associative

---

- Ou mémoire à accès par le contenu.
- Chaque information est rattachée à une clé.
- Les recherches s'effectuent directement par la clé et de façon simultanée sur toutes les positions/cases de la mémoire.
- Une fois trouvée, la clé renvoie directement à l'information associée.
- **Exemple :** Mémoire cache

# Mémoire associative

- Lorsqu'on présente une clé à ce type de mémoire, toutes les clés de toutes les entrées de la mémoire sont comparées en parallèle.
- Celle qui est identique (si elle existe) détermine quelle valeur est présentée à la sortie.
- Une fois la case mémoire qui contient la donnée identifiée, il faut déduire son adresse.

Contenu de la ligne de cache	Clé correspondante	
oxCC0011B0	1001 0000 0000 0001	 0110 1111 0101 1011
1111 0000 1111 1111	0110 1111 0101 1011	
ox00CCBB50	0000 0000 1000 0000	

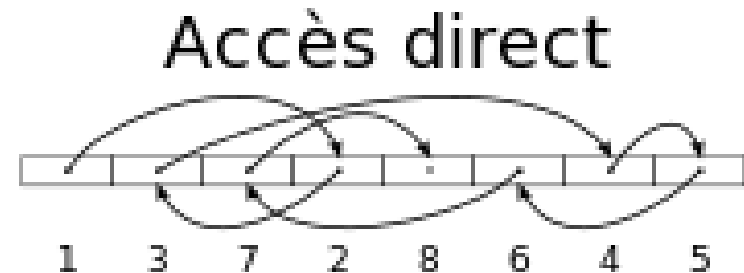
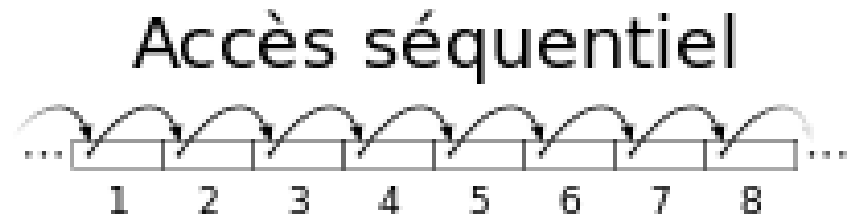
# Mémoire à accès direct

---

- Ou mémoire aléatoire appelée généralement RAM (*Random Access Memory*).
- Les informations ont une adresse propre, ce qui permet d'y avoir accès directement.
- Le temps d'accès est indépendant du numéro de la cellule adressée.
- **Exemple :** La mémoire centrale et les registres

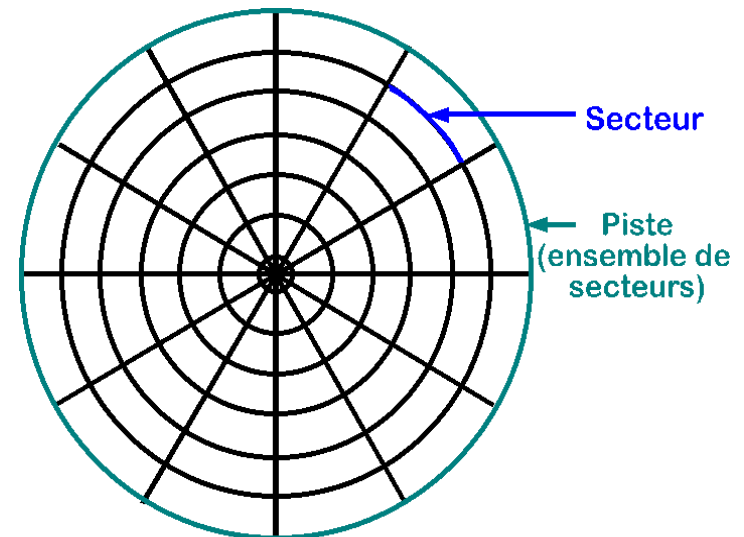
# Mémoire à accès séquentiel

- Les informations sont écrites les unes à la suite des autres et pour y accéder, il faut parcourir toutes les précédentes.
- La mémoire est accessible d'une manière séquentielle linéaire spécifique, comme l'accès dans une seule liste chaînée. Ce type d'accès est assez lent.
- **Exemple :** Bandes magnétiques



# Mémoire à accès semi-séquentiel

- Combinaison entre accès direct et accès séquentiel.
- La tête de lecture se place directement sur la piste où se situe l'information cherchée, puis lit tous les secteurs jusqu'à ce que l'information soit trouvée.
- **Exemple :** Disques magnétiques (disquettes)

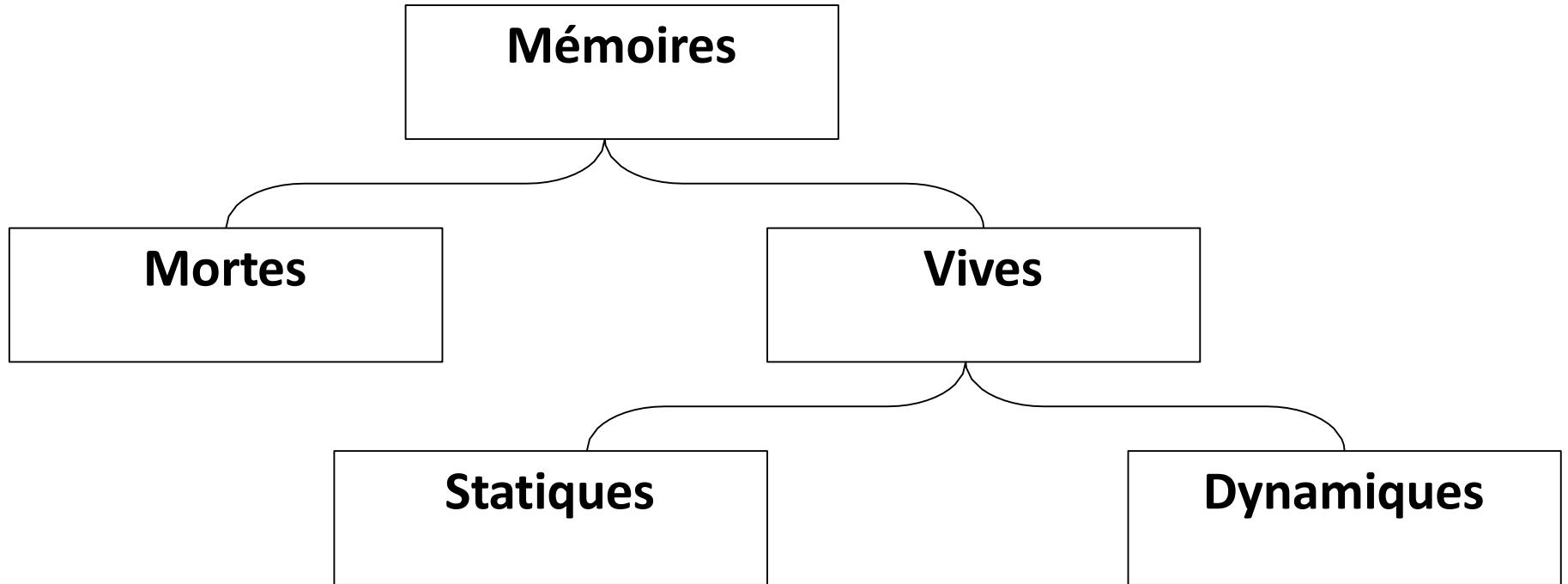


# Types de mémoires

- 1. Mémoires volatiles RAM**
- 2. Mémoires non volatiles ROM**

# Types de mémoires

---



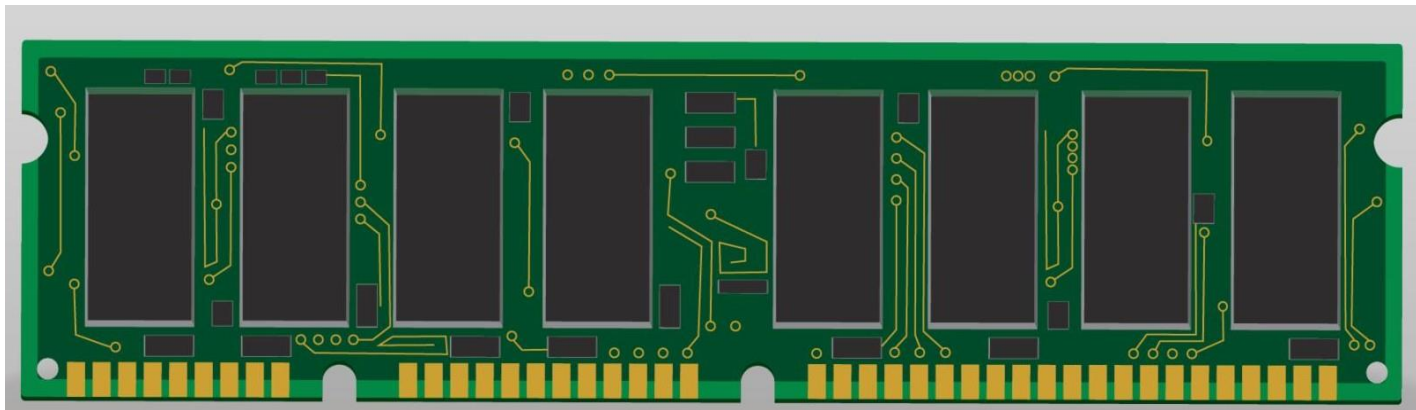
# Mémoire vive

---

- Généralement appelée **RAM** (*Random Access Memory*) ou Mémoire à Accès Aléatoire, ou encore Mémoire à Accès Direct.
- L'accès se fait en **RW (lecture-écriture)**. Pour cela, elle est aussi appelée **RWM** (*Read Write Memory*)
- Il s'agit d'un espace permettant de **stocker de manière temporaire** des données et des instructions lors de l'exécution d'un programme.
- Cette mémoire est volatile.

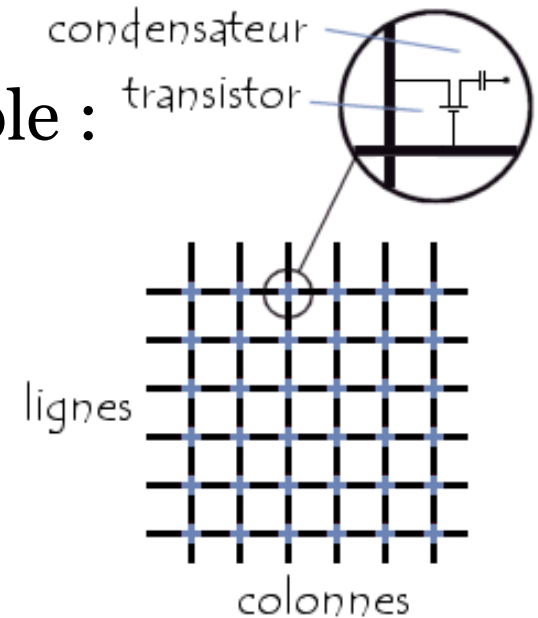
# Mémoire vive

- C'est la mémoire a court terme de l'ordinateur.
- Sa fonction principale est de **mémoriser les informations** qu'on a dans chacune des **applications ouvertes sur l'ordinateur**, pendant qu'il est allumé.



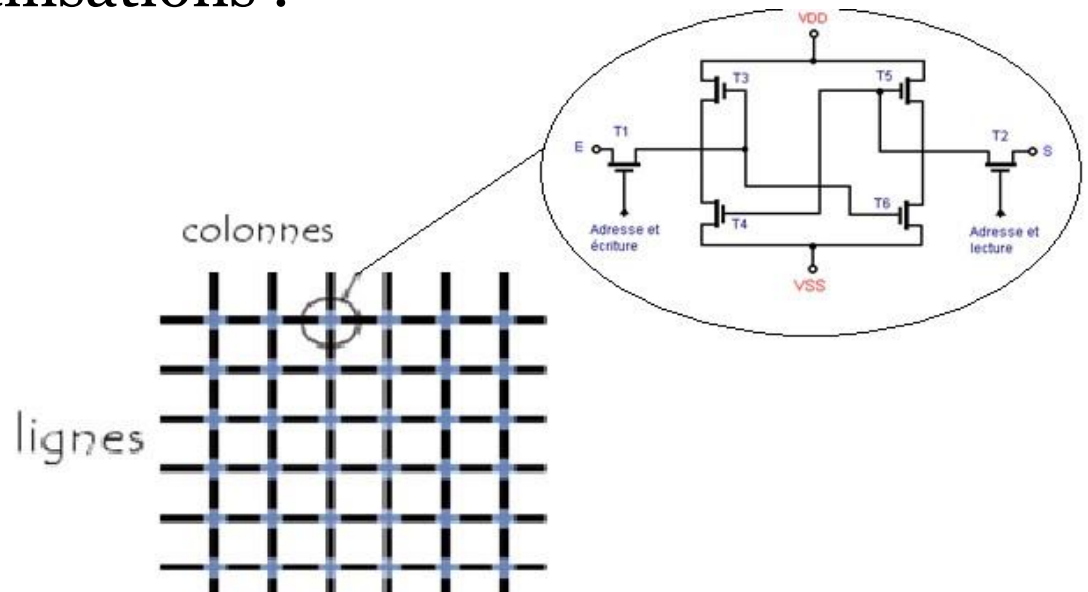
# Mémoire vive dynamique

- **DRAM** (*Dynamic RAM*)
- Mémoire électronique à réalisation simple :
  - un point mémoire est constitué :
    - d'un **transistor**
    - couplé à un **condensateur**  
(stocke l'énergie électrique/l'information)
- Le mot **dynamique** provient du fonctionnement des condensateurs.
- Ils nécessitent d'un rafraîchissement constant (ex.: toutes les millisecondes), car un condensateur se décharge progressivement, entraînant la perte de l'information.



# Mémoire vive statique

- **SRAM** (*Static RAM*)
- L'élément de mémorisation est la bascule :
  - constituée de portes logiques
  - elles mêmes constituées de **transistors**
- Une de ses principales utilisations :
  - la mémoire cache



# Mémoire morte

---

- Appelée **ROM** (*Read Only Memory*), et appelée parfois mémoire non volatile.
- Ce type de mémoire permet notamment de **conserver les données** nécessaires au **démarrage de l'ordinateur**.
- Ces informations ne peuvent être stockées sur le disque dur étant donné que les paramètres du disque (essentiels à son initialisation) font partie de ces données vitales à l'amorçage.
- A la base ce type de mémoire ne peut être **accédé qu'en lecture**.
- Désormais, les opérations d'écriture sont possibles sous des conditions particulières (avec un dispositif spécial appelé programmeur) non existantes au niveau d'un ordinateur.

# Mémoire morte

- Les **ROM** ont petit à petit évolué de **mémoires mortes figées** à des mémoires programmables, puis re-programmables.
  - **PROM** (*Programmable ROM*) : mémoire programmable par un utilisateur final, mais une seule fois.
  - **EPROM** (*Erasable PROM*) : mémoire (re)programmable et effaçable par ultraviolet.
  - **EEPROM** (*Electrically EPROM*) : mémoire (re)programmable et effaçable électriquement.
    - **Exemple** : BIOS ("Basic Input/Output System), un programme permettant de piloter les interfaces d'entrée-sortie principales du système et de contrôler le matériel