

LECON 2 : LES MEMOIRES

I. OBJECTIFS

À la fin de cette leçon, vous serez capable de :

- Décrire l'évolution des mémoires ;
- D'identifier les différents types de mémoires et leurs technologies de fabrication;
- Décrire la structure et la composition d'une mémoire ;
- De reconnaître les différentes unités de mesure de la mémoire ;
- Décrire les caractéristiques d'une mémoire.

II. INTRODUCTION

Une mémoire est un dispositif électronique permettant de stocker (enregistrer et conserver) des informations et de les restituer.

C'est cette capacité de mémorisation qui explique la polyvalence des systèmes numériques et leur adaptabilité à de nombreuses situations. Les informations peuvent être écrites ou lues. Il y a écriture lorsqu'on enregistre des informations en mémoire, lecture lorsqu'on récupère des informations précédemment enregistrées.

III. ORGANISATION D'UNE MÉMOIRE

Une mémoire peut être représentée comme une armoire de rangement constituée de différents tiroirs. Chaque tiroir représente alors une case mémoire qui peut contenir un seul élément : des **données**. Le nombre de cases mémoires pouvant être très élevé, il est alors nécessaire de pouvoir les identifier par un numéro. Ce numéro est appelé **adresse**. Chaque donnée devient alors accessible grâce à son adresse.

Adresse	Case mémoire
7 = 111	
6 = 110	
5 = 101	
4 = 100	
3 = 011	
2 = 010	
1 = 001	
0 = 000	0001 1010

Figure 1 : Organisation d'une mémoire

Avec une adresse de n bits il est possible de référencer au plus 2^n cases mémoire. Chaque case est remplie par un mot de données (sa longueur m est toujours une puissance de 2). Le nombre de fils d'adresses d'un boîtier mémoire définit donc le nombre de cases mémoire que comprend le boîtier. Le nombre de fils de données définit la taille des données que l'on peut sauvegarder dans chaque case mémoire.

En plus du bus d'adresses et du bus de données, un boîtier mémoire comprend une entrée de commande qui permet de définir le type d'action que l'on effectue avec la mémoire (lecture/écriture) et une entrée de sélection qui permet de mettre les entrées/sorties du boîtier en haute impédance.

On peut donc schématiser un circuit mémoire par la figure suivante où l'on peut distinguer :

- les entrées d'adresses
- les entrées de données
- les sorties de données
- les entrées de commandes :
 - une entrée de sélection de lecture ou d'écriture. (R/W)
 - une entrée de sélection du circuit. (CS)

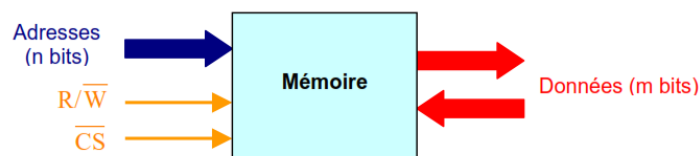


Figure 2 : Circuit mémoire

Une opération de lecture ou d'écriture de la mémoire suit toujours le même cycle :

1. sélection de l'adresse
2. choix de l'opération à effectuer (R/W)
3. sélection de la mémoire (CS = 0)

4. lecture ou écriture la donnée

Remarque :

Les entrées et sorties de données sont très souvent regroupées sur des bornes bidirectionnelles.

IV. LES CARACTÉRISTIQUES D'UNE MÉMOIRE

Une mémoire est caractérisée par les informations ci-dessous :

- **La capacité :**

C'est le nombre total de bits que contient la mémoire. Elle s'exprime aussi souvent en octet.

- **Le format des données :**

C'est le nombre de bits que l'on peut mémoriser par case mémoire. On dit aussi que c'est la largeur du mot mémorisable.

- **Le temps d'accès :**

C'est le temps qui s'écoule entre l'instant où a été lancée une opération de lecture/écriture en mémoire et l'instant où la première information est disponible sur le bus de données.

- **Le temps de cycle :**

Il représente l'intervalle minimum qui doit séparer deux demandes successives de lecture ou d'écriture.

- **Le débit :**

C'est le nombre maximum d'informations lues ou écrites par seconde.

- **Volatilité :**

Elle caractérise la permanence des informations dans la mémoire. L'information stockée est volatile si elle risque d'être altérée par un défaut d'alimentation électrique et non volatile dans le cas contraire.

Les principaux critères à retenir sont : *capacité, vitesse, consommation, coût*.

Le choix de la méthode de stockage se fait selon plusieurs critères :

- *la fréquence d'utilisation de l'information ;*
- *la criticité de l'information ;*
- *la pérennité de l'information ;*
- *la confidentialité de l'information ;*
- *le volume d'information à stocker ;*
- *le temps alloué au processus de stockage ;*
- *et son coût.*

Le mot d'ordre des techniques de stockage est : plus de capacité, plus vite, plus fiable, et moins cher. C'est pourquoi les types de média sont variés et évoluent souvent.

Exemple :

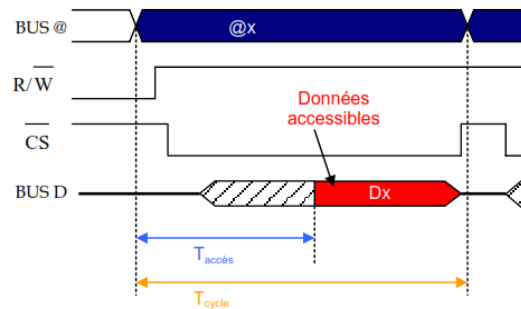


Figure 3 : Chronogramme d'un cycle de lecture

Remarque :

- Les mémoires utilisées pour réaliser la mémoire principale d'un système à microprocesseur sont des mémoires à semi-conducteur. On a vu que dans ce type de mémoire, on accède directement à n'importe quelle information dont on connaît l'adresse et que le temps mis pour obtenir cette information ne dépend pas de l'adresse. On dira que l'accès à une telle mémoire est aléatoire ou direct.
- A l'inverse, pour accéder à une information sur bande magnétique, il faut dérouler la bande en repérant tous les enregistrements jusqu'à ce que l'on trouve celui que l'on désire. On dit alors que l'accès à l'information est séquentiel. Le temps d'accès est variable selon la position de l'information recherchée. L'accès peut encore être semi-séquentiel : combinaison des accès direct et séquentiel. Pour un disque magnétique par exemple l'accès à la piste est direct, puis l'accès au secteur est séquentiel.

V. LES UNITES DE MESURE

En informatique, la grandeur de base est le **bit** (binary digit). Un bit est un élément pouvant être égal à 0 ou à 1 (deux valeurs possibles donc). Une suite de 8 bits forment un octet (o) ou Byte en anglais.

Un fichier est un ensemble de bits. Un ensemble de bits forme ce qu'on appelle un mot binaire.

Le langage binaire est le seul que l'ordinateur comprend.

Un bit ne suffit pas pour exprimer toutes les tailles de fichiers disponibles, des unités de mesures ont été mises en place :

- 1 Byte = 1 octet = 8bits

- Le kilo-octet (ko) : 1 ko = 1 kB (kilo-Byte en anglais) = 10^3 octets = 1000 octets = 8 Kilo-bits = 8x1000 bits.
- Le mégaoctet (Mo) : 1 Mo = 10^6 octets = 1000 ko.
- Le gigaoctet (Go) : 1 Go = 10^9 octets = 1000 Mo.
- Le téraoctet (To) : 1 To = 10^{12} octets = 1000Go.
- Le petaoctet (Po) : 1 Po = 10^{15} octets = 1000 To.
- Le exaoctet (Eo) : 1 Eo = 10^{18} octets = 1000 Po.
- Le zetaoctet (Zo) : 1 Zo = 10^{21} octets = 1000Eo.
- Le yotaoctet (Yo) : 1 Yo = 10^{24} octets = 1000Zo.

Pour garder nos anciennes normes qui voulaient que les unités de mesures soient des puissances de 2 (1 Ko = 1024 octets par exemple), d'autres unités de mesures (peu utilisées) ont été inventées :

- Le kibioctet (Kio) : 1 Kibioctet = 2^{10} octets = 1024 octets.
- Le mébioctet (Mio) : 1 mébioctet = 2^{20} octets = 1024 Kio.
- Le gibioctet (Gio) : 1 gibioctet = 2^{30} octets = 1024 Mio.
- Le tébioctet (Tio) : 1 tébioctet 2^{40} octets = 1024 Gio.
- Le pebioctet (Pio) 1 pebioctet = 2^{50} octets = 1024 Tio.
- Le exbioctet (Eio) : 1 exbioctet = 2^{60} octets = 1024 Pio.
- Le zebioctet (Zio) : 1 zebioctet = 2^{70} octets = 1024 Eio.
- Le yobioctet (Yio) : 1 yobioctet 2^{80} octets = 1024 Zio.

Remarque :

Dans de nombreux anciens documents, on trouve 1ko = 2^{10} octets, 1 Mo = 2^{20} octets, etc. Il s'agit bien de l'ancien système de notation. Cela n'est plus valable avec les nouvelles normes.

VI. LES DIFFERENTS TYPES DE MEMOIRES

A. Les types de mémoires selon la possibilité de lecture/écriture

1. Les mémoires vives (RAM)

Une mémoire vive sert au stockage temporaire de données. Elle doit avoir un temps de cycle très court pour ne pas ralentir le microprocesseur. Les mémoires vives sont en général volatiles: elles

perdent leurs informations en cas de coupure d'alimentation. Certaines d'entre elles, ayant une faible consommation, peuvent être rendues non volatiles par l'adjonction d'une batterie. Il existe deux grandes familles de mémoires RAM (Random Acces Memory : mémoire à accès aléatoire) :

- Les RAM statiques (SRAM)
- Les RAM dynamiques (DRAM)

a. Les RAM statiques

La **SRAM** est extrêmement rapide et onéreuse, utilisée là où la vitesse est importante (registres, caches, mémoires de commande). Pour profiter pleinement de cette vitesse et grâce aux degrés d'intégration obtenus aujourd'hui ces mémoires sont généralement dans les puces des processeurs

Le bit mémoire d'une RAM statique (SRAM) est composé d'une bascule. Chaque bascule contient entre 4 et 6 transistors.

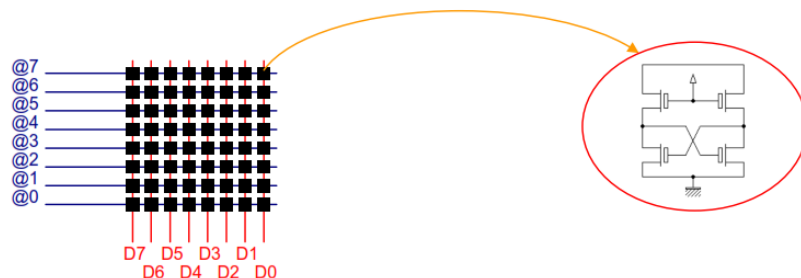


Figure 4 : Représentation d'une SRAM

b. Les RAM dynamiques

C'est la RAM classique, utilisée comme mémoire centrale de l'ordinateur pour y stocker notamment les programmes en cours d'exécution, elle est plus dense, moins rapide et moins chère.

Dans les RAM dynamiques (DRAM), l'information est mémorisée sous la forme d'une charge électrique stockée dans un condensateur (capacité grille substrat d'un transistor MOS).

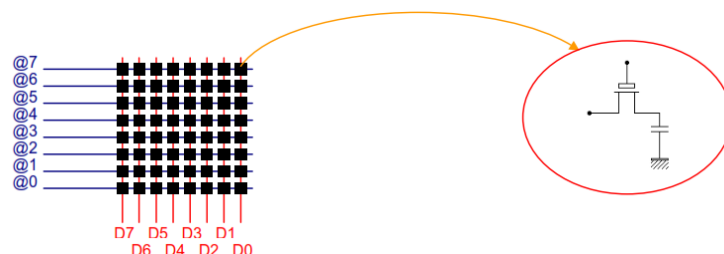


Figure 5 : Représentation d'une DRAM

🚦 **Avantage :**

Cette technique permet une plus grande densité d'intégration, car un point mémoire nécessite environ quatre fois moins de transistors que dans une mémoire statique. Sa consommation s'en retrouve donc aussi très réduite.

Inconvénients :

La présence de courants de fuite dans le condensateur contribue à sa décharge. Ainsi, l'information est perdue si on ne la régénère pas périodiquement (charge du condensateur). Les RAM dynamiques doivent donc être rafraîchies régulièrement pour entretenir la mémorisation : il s'agit de lire l'information et de la recharger. Ce rafraîchissement indispensable a plusieurs conséquences :

- il complique la gestion des mémoires dynamiques car il faut tenir compte des actions de rafraîchissement qui sont prioritaires.
- la durée de ces actions augmente le temps d'accès aux informations.

D'autre part, la lecture de l'information est destructive. En effet, elle se fait par décharge de la capacité du point mémoire lorsque celle-ci est chargée. Donc toute lecture doit être suivie d'une réécriture.

En général les mémoires dynamiques offrent une plus grande densité d'information et un coût par bit plus faible, sont utilisées pour la mémoire centrale, alors que les mémoires statiques, plus rapides, sont utilisées lorsque le facteur vitesse est critique, notamment pour des mémoires de petite taille comme les caches et les registres.

2. Les mémoires mortes

Pour certaines applications, il est nécessaire de pouvoir conserver des informations de façon permanente même lorsque l'alimentation électrique est interrompue. On utilise alors des mémoires mortes ou mémoires à lecture seule (ROM : Read Only Memory). Ces mémoires sont non volatiles. Ces mémoires, contrairement aux RAM, ne peuvent être que lues. L'inscription en mémoire des données reste possible mais est appelée programmation. Suivant le type de ROM, la méthode de programmation changera. Il existe donc plusieurs types de ROM :

- ROM
- PROM
- EPROM
- EEPROM
- FLASH EPROM.

a. La ROM

Elle est programmée par le fabricant et son contenu ne peut plus être ni modifié, ni effacé par l'utilisateur.

✚ Structure et fonctionnement d'une mémoire ROM ou PROM

Le principe de fonctionnement d'une ROM est relativement simple. Cette mémoire contient une matrice de diodes. L'adresse du mot à lire agit sur un décodeur qui dans le schéma ci-dessous est représenté symboliquement par un commutateur à quatre positions. Ce schéma représente donc une PROM de 4 octets. Le code en sortie de la mémoire est une combinaison de bits à 1 et à 0. Les niveaux '1' sont fournis au travers de résistances électriques reliées à la tension d'alimentation du circuit. Par endroits, des diodes forcent les bits de la ligne sélectionnée vers une tension qui correspond au niveau logique 0.

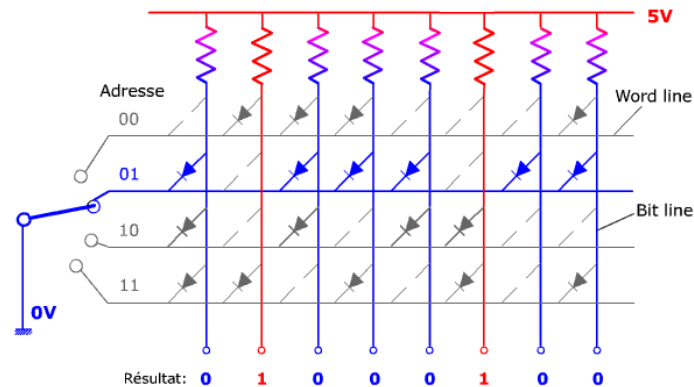


Figure 6 : Représentation d'une ROM

✚ Programmation

L'utilisateur doit fournir au constructeur un *masque* indiquant les emplacements des diodes dans la matrice.

✚ Avantages

- Densité élevée
- Non volatile
- Mémoire rapide

✚ Inconvénients

- Écriture impossible
- Modification impossible (toute erreur est fatale).
- Délai de fabrication (3 à 6 semaines)
- Obligation de grandes quantités en raison du coût élevé qu'entraîne la production du masque et le processus de fabrication.

b. La PROM

C'est une ROM qui peut être programmée une seule fois par l'utilisateur (Programmable ROM). La programmation est réalisée à partir d'un programmeur spécifique.

Structure :

Le principe de fonctionnement d'une PROM est fort similaire à celui d'une ROM. Dans une PROM vierge, les diodes sont en série avec de petits fusibles. La programmation se fait en brûlant les fusibles pour les positions des bits devant être mis à 1. Cette opération est irréversible.

Programmation :

Les PROM à fusible sont livrées avec toutes les lignes connectées aux colonnes (0 en chaque point mémoire). Le processus de programmation consiste donc à programmer les emplacements des "1" en générant des impulsions de courants par l'intermédiaire du programmeur ; les fusibles situés aux points mémoires sélectionnés se retrouvant donc détruits.

Le principe est identique dans les PROM à jonctions sauf que les lignes et les colonnes sont déconnectées (1 en chaque point mémoire). Le processus de programmation consiste donc à programmer les emplacements des "0" en générant des impulsions de courants par l'intermédiaire du programmeur ; les jonctions situées aux points mémoires sélectionnés se retrouvant court-circuitées par effet d'avalanche.

Avantage :

- idem ROM
- Claquage en quelques minutes
- Coût relativement faible

Inconvénients :

- Modification impossible (toute erreur est fatale)

c. L'EPROM ou UV-EPROM

Pour faciliter la mise au point d'un programme ou tout simplement permettre une erreur de programmation, il est intéressant de pouvoir reprogrammer une PROM. La technique de claquage utilisée dans celles-ci ne le permet évidemment pas. L'EPROM (Erasable Programmable ROM) est une PROM qui peut être effacée.

🌈 Structure

Dans une EPROM, le point mémoire est réalisé à partir d'un transistor FAMOS (Floating gate Avalanche injection Metal Oxyde Silicium). Ce transistor MOS a été introduit par Intel en 1971 et a la particularité de posséder une grille flottante.

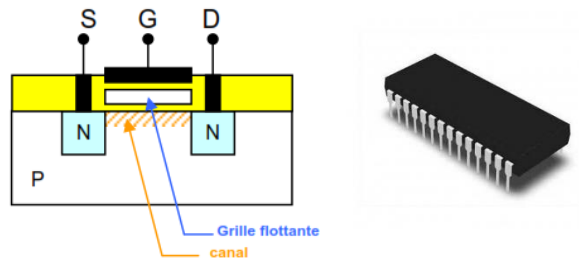


Figure 7 : Transistor MOS

🌈 Programmation

La programmation consiste à piéger des charges dans la grille flottante. Pour cela, il faut tout d'abord appliquer une très forte tension entre Grille et Source. Si l'on applique ensuite une tension entre D et S, le canal devient conducteur. Mais comme la tension Grille-Source est très importante, les électrons sont déviés du canal vers la grille flottante et capturés par celle-ci. Cette charge se maintient une dizaine d'années en condition normale.

L'exposition d'une vingtaine de minutes à un rayonnement ultraviolet permet d'annuler la charge stockée dans la grille flottante. Cet effacement est reproductible plus d'un millier de fois. Les boîtiers des EPROM se caractérisent donc par la présence d'une petite fenêtre transparente en quartz qui assure le passage des UV. Afin d'éviter toute perte accidentelle de l'information, il faut obturer la fenêtre d'effacement lors de l'utilisation.

🌈 Avantage :

- Reprogrammable et non Volatile

🌈 Inconvénients :

- Impossible de sélectionner une seule cellule à effacer
- Impossible d'effacer la mémoire in-situ.
- l'écriture est beaucoup plus lente que sur une RAM. (environ 1000x)

d. L'EEPROM

L'EEPROM (Electrically EPROM) est une mémoire programmable et effaçable électriquement. Elle répond ainsi à l'inconvénient principal de l'EPROM et peut être programmée in situ (sur place).

Structure

Dans une EEPROM, le point mémoire est réalisé à partir d'un transistor SAMOS reprenant le même principe que le FAMOS sauf que l'épaisseur entre les deux grilles est beaucoup plus faible.

Programmation

Une forte tension électrique appliquée entre grille et source conduit à la programmation de la mémoire. Une forte tension inverse provoquera la libération des électrons et donc l'effacement de la mémoire.

Avantages :

- Comportement d'une RAM non Volatile.
- Programmation et effacement mot par mot possible.

Inconvénients :

- Très lente pour une utilisation en RAM.
- Coût de réalisation.

3. Les mémoires FLASH

La mémoire flash est une mémoire de masse à semi-conducteurs réinscriptible, c'est-à-dire une mémoire possédant les caractéristiques d'une mémoire vive mais dont les données ne disparaissent pas lors d'une mise hors tension (non volatile). Elle est un compromis entre les mémoires de type RAM (vive) et les mémoires ROM (mortes), on parle de mémoire RAM (vive) non volatile. En effet, la mémoire Flash possède la non-volatilité des mémoires mortes tout en pouvant facilement être accessible en lecture ou en écriture. En contrepartie les temps d'accès des mémoires flash sont plus importants que ceux de la mémoire vive.

La mémoire FLASH est une variété de mémoire EEPROM (on parle de flash EEPROM) mais plus rapide, elle est programmable et effaçable électriquement comme les EEPROM.

Les mémoires flash sont les plus connus, on les trouve sous forme de clé USB ou bien de carte MICRO SD ...

Structure

Il existe deux technologies différentes qui se différencient par l'organisation de leurs réseaux mémoire : l'architecture NOR et NAND.

- La Flash NAND : Elle est de type séquentiel. Les opérations de lecture et d'écriture ne s'effectuent pas immédiatement à l'adresse demandée mais procèdent par blocs entiers d'adressage mémoire. La lecture est plus lente qu'avec une mémoire flash NOR mais en contrepartie, l'écriture est nettement plus rapide, la capacité de stockage plus élevée et les puces moins coûteuses à fabriquer. Elle sert donc principalement au stockage de données. La structure NAND autorise une implantation plus dense grâce à une taille de cellule approximativement 40 % plus petite que la structure NOR.
- La Flash NOR : Les temps d'effacement et d'écriture sont longs, mais elle possède une interface d'adressage permettant un accès aléatoire et rapide quelle que soit sa position. Elle est adaptée à l'enregistrement de données informatiques qui sont rarement mises à jour. Une flash NOR est adressée de façon linéaire afin de permettre l'exécution directe d'un code programme.

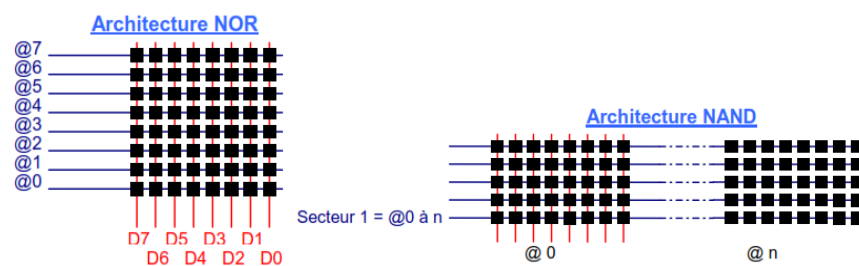


Figure 8 : Architecture NOR et NAND

Avantages :

Flash NOR:

- Comportement d'une RAM non Volatile.
- Programmation et effacement mot par mot possible.
- Temps d'accès faible

Flash NAND :

- Comportement d'une RAM non Volatile.
- Forte densité d'intégration, coût réduit.
- Rapidité de l'écriture/lecture par paquet
- Consommation réduite.



Inconvénients

Flash NOR :

- Lenteur de l'écriture/lecture par paquet.
- coût.

Flash NAND :

- Ecriture/lecture par octet impossible.
- Interface E/S indirecte

Applications

La Flash EEPROM a connu un essor très important ces dernières années avec le boom de la téléphonie portable et des appareils multimédia (PDA, Smartphone, Tablette, appareil photo numérique, lecteur MP3, etc...). Voici ci-dessous quelques exemples de mémoires flash :



Clé USB



Carte mémoire SD



disque dur SSD

Figure 9 : Mémoires flash

B. Les types de mémoire selon la technologie utilisée

1. Les mémoires à semi-conducteur

Ces mémoires sont fabriquées à partir des semi-conducteurs (Corps cristallin dont les propriétés de conductibilité électrique sont intermédiaires entre celle des métaux et celle des isolants).

Il s'agit des mémoires telles que les registres, les mémoires caches, les mémoires RAM, les mémoires ROM, les clés USB, les disques SSD, etc.

2. Les mémoires magnétiques

Les techniques magnétiques reposent sur le principe de l'aimantation d'une couche magnétique reposant sur un support qui enregistre l'information par l'intermédiaire d'une tête magnétique. La lecture se fait par des têtes de lecture utilisant les mêmes technologies.

Les principaux systèmes existants sont les disques magnétiques (disques durs), les bandes magnétiques et les disquettes.

3. Les mémoires optiques

Les **techniques optiques** reposent sur la gravure des informations sur une surface (disque) par une modification physique de la couche d'enregistrement et sur la lecture par un système optique (rayon laser).

Les différentes mémoires optiques sont :

- Le CD-ROM.
- Le DVD-ROM
- Le DVD+RW.
- Le Blu-ray.

4. Les mémoires holographiques

La **mémoire holographique** est une technique de mémoire de masse utilisant l'holographie pour stocker de hautes densités de données dans des cristaux ou des polymères photosensibles.

La mémoire holographique est souvent désignée comme étant la prochaine génération de stockage optique des données. En effet, les techniques utilisées pour les CD ou les DVD atteignent leurs limites physiques (à cause de la taille des rayons d'écriture limitée par la diffraction). L'holographie permet d'utiliser le volume du support au lieu de se limiter à la surface pour enregistrer des données.

VII. HIERACHIE DES MEMOIRES

Une mémoire idéale serait une mémoire de grande capacité, capable de stocker un maximum d'informations et possédant un temps d'accès très faible afin de pouvoir travailler rapidement sur ces informations. Mais il se trouve que les mémoires de grande capacité sont souvent très lente et que les mémoires rapides sont très chères. Et pourtant, la vitesse d'accès à la mémoire conditionne dans une large mesure les performances d'un système. En effet, c'est là que se trouve le *goulot d'étranglement* entre un microprocesseur capable de traiter des informations très rapidement et une mémoire beaucoup plus lente (ex : processeur actuel à 3Ghz et mémoire à 400MHz). Or, on n'a jamais besoin de toutes les informations au même moment. Afin d'obtenir le meilleur compromis coût-performance, on définit donc une hiérarchie mémoire. On utilise des mémoires de faible capacité mais très rapide pour stocker les informations dont le microprocesseur se sert le plus et on utilise des mémoires de capacité importante mais beaucoup plus lente pour stocker les informations dont le microprocesseur se sert le moins. Ainsi, plus on s'éloigne du microprocesseur et plus la capacité et le temps d'accès des mémoires vont augmenter.

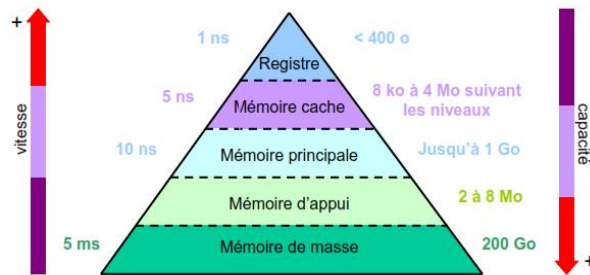


Figure 10 : Hiérarchie des mémoires

- **Les registres** sont les éléments de mémoire les plus rapides. Ils sont situés au niveau du processeur et servent au stockage des opérandes et des résultats intermédiaires.
- **La mémoire cache** est une mémoire rapide de faible capacité destinée à accélérer l'accès à la mémoire centrale en stockant les données les plus utilisées. Elle se situe à côté du processeur.
- **La mémoire principale ou centrale** est l'organe principal de rangement des informations. Elle contient les programmes (instructions et données) en cours d'exécution. C'est une mémoire vive (non rémanente), toute fois la mémoire ROM (mémoire rémanente) peut aussi faire partie de la mémoire centrale.
- **La mémoire d'appui** sert de mémoire intermédiaire entre la mémoire centrale et les mémoires de masse. Elle est présente dans les ordinateurs les plus évolués et permet d'augmenter la vitesse d'échange des informations entre ces deux niveaux. Ce type de mémoire utilise la technologie MOS, ce qui permet de réaliser de grandes mémoires d'un coût abordable.
- **La mémoire de masse** est une mémoire périphérique de grande capacité utilisée pour le stockage permanent ou la sauvegarde des informations, y compris lors de l'arrêt de l'ordinateur.

La mémoire de masse correspond aux dispositifs de stockage magnétiques, tels que les disques durs, aux dispositifs de stockage optique, correspondant par exemple aux CD-ROM ou aux DVD-ROM, les clés USB, les disques SSD, les cartes SD etc. La vitesse des mémoires de masse peut varier en fonction des technologies de fabrication utilisées.

VIII. L'ÉVOLUTION TECHNOLOGIQUE DES MÉMOIRES

1. Les supports à base de semi-conducteur

Les circuits logiques ou basculs (circuits constitués à partir des transistors) permettent de fabriquer des mémoires. Les mémoires ainsi réalisées peuvent être classées en deux familles : les RAM et les ROM.

1. Le transistor

Un transistor est un dispositif semi-conducteur (matériau qui n'est ni un conducteur d'électricité, ni un isolant) à trois électrodes actives, qui permet de contrôler un courant (ou une tension) sur une des électrodes de sorties grâce à une électrode d'entrée. C'est un composant fondamental des appareils électroniques et des circuits logiques (conception des bascules et des portes logiques). Le transistor a été inventé en 1947 par *John Barden*, *Walter H. Brattain* et *William Shockley*.

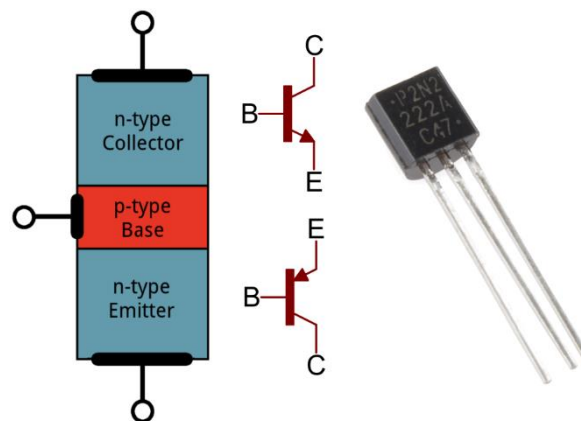
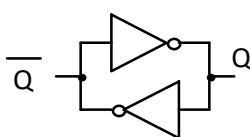


Figure 11 : Transistor

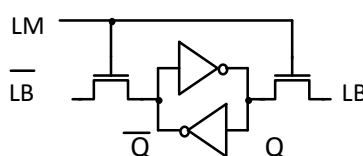
Le transistor est à la base de la fabrication des mémoires telles que la mémoire RAM, ROM, cache et les registres.

Le point mémoire est l'élément de base, capable de mémoriser un bit. Il y a deux approches possibles.

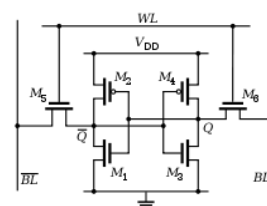
- L'approche *statique* est fondée sur l'utilisation de portes logiques pour conserver un état possible parmi deux. Le bistable est l'élément fondamental. La mémorisation est permanente. Pratiquement, la seule contrainte est que les circuits électriques réalisant le bistable soient alimentés. La complexité du point mémoire statique en technologie MOS est de six transistors



Bistable redessiné



Point mémoire MOS



Cellule SRAM (6 transistors)

Figure 12 : Circuits logiques

- L'approche *dynamique* est fondée sur un principe de fonctionnement électrique, que l'on peut qualifier d'analogique par rapport au principe de la première approche, fondé sur la logique booléenne. Une certaine quantité de charges électriques est stockée dans un condensateur pour mémoriser un état donné, l'absence de charges correspondant à l'autre état. Comme le condensateur, par nature imparfait, ne peut conserver éternellement les charges stockées, la mémorisation d'un état n'est que temporaire. Il faut réécrire régulièrement la donnée mémorisée pour la conserver.

La mémorisation dynamique utilise la charge et la décharge d'un condensateur à travers une résistance.

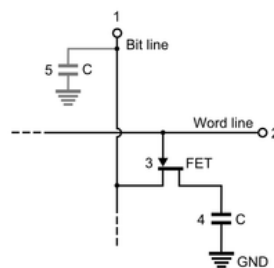


Figure 13 : Cellule DRAM (1 Transistor et un condensateur)

2. La mémoire Statique

Les mémoires caches et les registres sont des mémoires statique donc la conception est selon le schéma ci-dessous.

La Figure 5 donne le schéma simplifié d'une mémoire 16 mots de 1 bit. Il y a 4 bits d'adresse, soit 2 bits pour sélectionner une ligne parmi 4, et 2 bits pour sélectionner une colonne parmi 4.

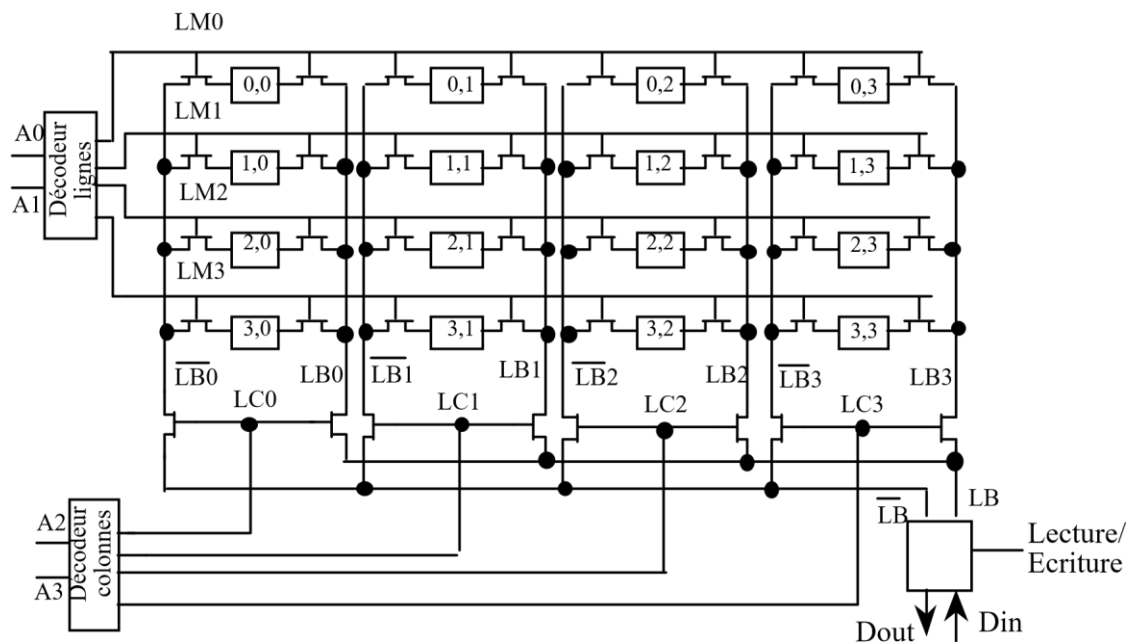


Figure 14 : Schéma de principe d'une RAM statique de 16 mots de 1 bit.

Il faut souligner qu'avec les points mémoire statique, la lecture n'est pas destructive. Le temps d'accès, caractérisé pour une opération lecture par le temps entre le moment où les adresses sont fixes et le moment où la donnée correspondante est disponible, n'est pas fondamentalement différent du temps de cycle, qui est le temps entre deux opérations lecture successives.

3. Mémoires dynamiques

Les mémoires RAM ou mémoires vives, sont des mémoires dynamiques qui se présentent comme décrites ci-dessous.

Les mémoires dynamiques utilisent des points mémoire constitués d'une capacité et d'un transistor. Elles utilisent également un décodage matriciel avec lignes et colonnes.

La Figure 6 présente le schéma de principe d'une mémoire dynamique, avec une colonne de 64 cellules de 1 bit.

Un bit est mémorisé dans une capacité, sous forme d'une charge électrique Q présente ou non. La lecture consiste à savoir si une capacité contient ou non une charge électrique Q , ce qui ne peut se faire qu'en reliant la capacité au fil vertical connectée à l'amplificateur de lecture.

Ce principe de fonctionnement décrit très schématiquement permet de souligner une caractéristique très importante des mémoires dynamiques. La lecture se fait par décharge de la capacité du point mémoire lorsque celle-ci est chargée. La lecture est donc destructive, et toute lecture doit être suivie d'une réécriture. Alors que les mémoires statiques ont des lectures non destructives qui donnent des temps d'accès identiques aux temps de cycle, les mémoires dynamiques ont des temps de cycle égaux au moins au double du temps d'accès. Il y a également nécessité de rafraîchir périodiquement, au plus tard toutes les 2 ms, les points mémoire par une lecture suivie d'une réécriture.

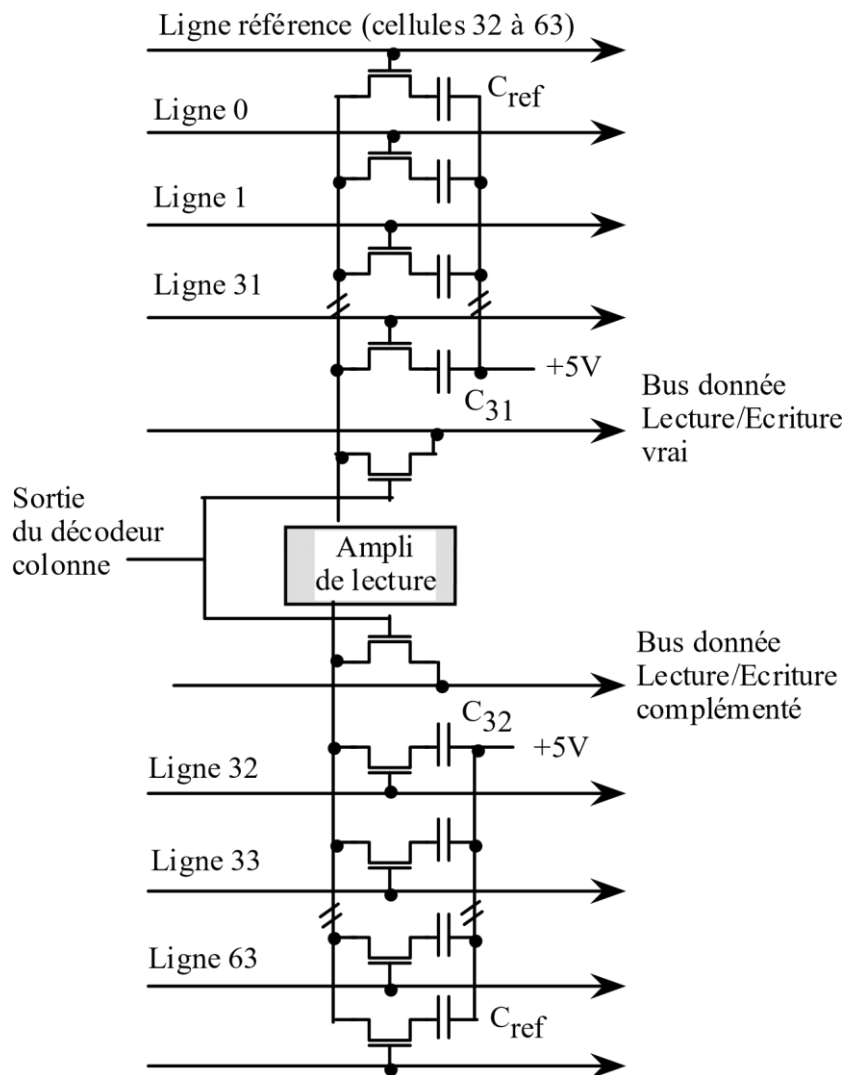


Figure 15 : Schéma de principe d'une RAM dynamique

4. La mémoire morte

Cette mémoire est composée d'une grille dont les lignes sont reliées aux colonnes par des *diodes* ou des *transistors*. L'adresse sélectionne une **ligne** (le nombre de lignes donne la capacité ou la taille de la mémoire). La donnée est reçue sur les **colonnes** (le nombre de colonnes fixant la taille des mots mémoire). Une mémoire de **1024** octets aura donc **1024 lignes** et **8 colonnes**.

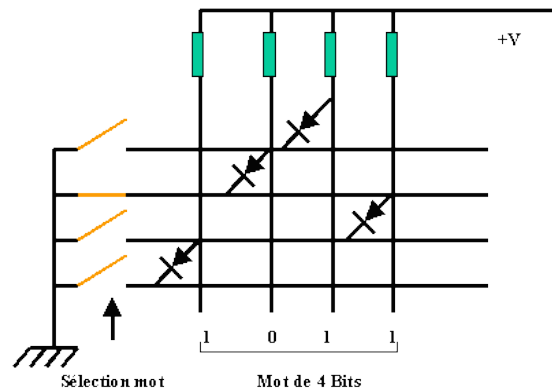


Figure 16 : Structure d'une mémoire morte

5. Les circuits intégrés

Un **circuit intégré**, aussi appelé **puce électronique**, est un circuit électronique miniaturisé, dont les milliers ou les millions de composants sont regroupés dans un boîtier.

Les transistors MOS sont ainsi réalisés dans des tranches de, obtenues après des traitements successifs. Ces tranches de silicium sont alors découpées en éléments rectangulaires, constituant ce que l'on appelle un « **circuit** ». Les circuits sont ensuite placés dans des boîtiers comportant des connecteurs d'entrée-sortie, le tout constituant un « **circuit intégré** ». La finesse de la gravure, exprimée en microns (micromètres, notés μm), définit le nombre de transistors par unité de surface. Il peut ainsi exister jusqu'à plusieurs millions ou des milliards de transistors sur une seule puce.

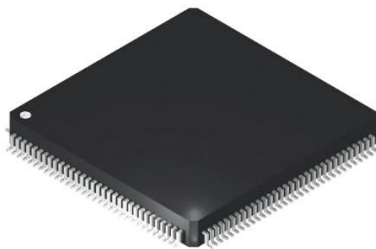


Figure 17 : Circuit intégré

La plupart des mémoires électroniques sont sous forme de circuits intégrés, nous avons les mémoires RAM et les mémoires mortes.

La loi de Moore exprimée en 1965 dans le magazine *Electronics* (en) par Gordon E. Moore (ingénieur de *Fairchild Semiconductor*, un des trois fondateurs d'*Intel*) stipulait que la quantité de transistore intégrée sur une puce doublerait chaque 12 mois.

Aujourd'hui, on assiste à un degré de miniaturisation très élevé des composants électroniques au point où il est possible de déposer des milliards de transistors sur une petite puce.

Un transistor, couplé à un condensateur donne l'information d'un bit. 1 octet comprenant 8 bits, une barrette de mémoire DRAM de 4Go contiendra donc $4 * 2^{30} = 4\,294\,967\,296$ octets = 34 359 738 368 bits = 34 359 738 368 transistors.



Figure 18 : Evolution des mémoires

La mémoire IBM 3380 coûtait \$648 000 – 1 137 600

2. Les supports amovibles:

En informatique, un media amovible est une mémoire de masse conçue pour être insérée et retirée d'un ordinateur sans devoir éteindre ce dernier.

1967-2010 : La disquette

La disquette... le *petit carré noir en plastique* que l'on insère dans un lecteur spécifique et bruyant. Pour ceux qui l'ignorent, ce support de stockage amovible magnétique a été mis sur le marché par IBM en 1967. Sa capacité est [plutôt faible](#) allant au maximum à 2.88 Mo, mais elle suffisait pour le stockage de fichiers texte et de quelques photos. Rapidement, elle fut concurrencée par des systèmes plus évolués comme le disque dur ou le compact disk.



Figure 19 : Disquettes

En 2010, Sony, leader dans ce domaine annonça la fin de sa commercialisation. Presque un demi-siècle d'exploitation, **un record**.

Capacité maximale	Prix	Vitesse d'écriture	Durée de vie	Utilisation
2,88 Mo	0,5 euros l'unité	500 ko/s	5 à 15 ans	Fichier texte

1979 : Le disque compact (CD)

Un disque compact est un disque optique utilisé pour stocker des données sous forme numérique. Il se lit sur une platine laser. Il fut d'abord destiné à concurrencer le vinyle, aujourd'hui, **c'est l'un des supports les plus répandus et utilisés**.



Figure 20 : CD

Un CD peut contenir toute forme de données : une vidéo, un programme, des fichiers texte, de la musique ou encore des photos. Sa capacité est de 80 minutes, soit *environ 700 Mo d'espace de stockage*. Il existe des CD-R inscriptible (qui permettent de graver des données de façon permanente) et des CD-RW réinscriptible (qui permettent de graver à l'infini).

Capacité maximale	Prix	Vitesse d'écriture	Durée de vie	Utilisation
-------------------	------	--------------------	--------------	-------------

737 Mo	0,25 euros l'unité (CD-R) et 0,4 euros (CD-RW)	7800 ko/s	4 à 10 ans (2000 cycles L/E)	Musique, Programmes, Jeux, Videos, Images
--------	--	-----------	------------------------------	---

1990 : Mémoire flash (Carte SD, Micro-SD, clé USB...)



Les premières cartes mémoires furent leur apparition pour les appareils photos ou les mobiles. Aujourd'hui, elles se trouvent dans tous types de terminaux et ne sont pas plus grande qu'une pièce de 2 euros. Elles servent surtout pour stocker des photos, de la musique et des vidéos. Une capacité qui ne cesse d'évoluer allant jusqu'à 128 Go. De nouvelles *cartes SDXC* avec une capacité maximum théorique de 2 To sont déjà à l'étude.

Les clés USB sont également en plein essor. Ce sont des supports amovibles constitués de mémoire flash connectables directement sur un port USB. Ne possédant aucun élément mécanique, elle est très résistante aux chocs, aux rayures et à la poussière, un avantage de taille face au disque optique.

Très compacte, la capacité varie de 1 Go à 512 Go pour les plus chers.

Capacité maximale	Prix (4 Go)	Vitesse d'écriture	Durée de vie	Utilisation
512 Go	4 euros la carte SD et 7 euros la clef USB	5 Mo/s à 100 Mo/s	5 à 10 ans (5000 cycles L/E)	Documents, Musique, Programmes, Vidéos, Images

1995 : Le Digital Video Disc (DVD)

C'est un support numérique plus récent permettant surtout de stocker des films et vidéos qui a réussi à s'imposer face à la «vieille K7» ou VHS. Le DVD ressemble à un CD, en effet, il possède les mêmes caractéristiques physiques, cependant le laser de lecture utilise une longueur d'onde plus petite (650nm contre 780nm pour le CD), la capacité de stockage est augmentée. Par défaut, elle est de 4.7 Go, mais elle peut augmenter pour un DVD double couche et double face à 17 Go.

Capacité maximale	Prix	Vitesse d'écriture	Durée de vie	Utilisation
-------------------	------	--------------------	--------------	-------------

4,7 Go (max 17 Go)	0,4 euros l'unité (DVD-R) et 0,6 euros (DVD-RW)	15 Mo/s	5 à 10 ans (1000 cycles L/E)	Logiciel, Jeux, Audio, Video
--------------------	---	---------	------------------------------	------------------------------

2007 : Le blu-ray disque (BR-D)

Le dernier né de Sony est sortie en France courant 2007, c'est un support numérique permettant de stocker et restituer des films en HD. Le nom vient de la couleur bleu du laser de longueur d'onde de 405nm, donc il permet une capacité largement supérieure au DVD classique. De 25 Go pour un simple couche à 200 Go pour 8 couches ! Il existe aussi des Blu-ray audio pour accueillir de la musique et des blu-ray 3D pour du contenu en 3D.

Aujourd'hui, les films en haute définition sur Blu-ray sont devenus incontournables.



Capacité maximale	Prix (4 Go)	Vitesse d'écriture	Durée de vie	Utilisation
25 Go (max 200 Go)	1,0 euros l'unité (BR-R) et 1,6 euros (BR-RE)	20 Mo/s	5 à 10 ans	Films HD/3D

Les supports de demain :

Violet-ray, successeur du blu-ray ?

Après le format Blu-ray, faudra-t-il bientôt parler des disques «Violet-ray» ? Concrètement, un partenariat entre Sony et l'université nipponne a permis de mettre au point un nouveau type de laser dont la couleur spectrale oscille entre le bleu et violet, alors que le Blu-ray se situe, comme son nom l'indique, dans le spectre lumineux du bleu.

Ce laser projette également une longueur d'onde de 405nm comme son cousin, mais, cette technologie est capable de générer des pulsations optiques ultra-rapides d'une durée de 3 picosecondes (une picoseconde étant égale à un billionième (10^{-12} de seconde)). Le lecteur sera plus puissant et donc pourra atteindre des zones de stockage plus profond. La capacité pourra être **20 fois plus élevée qu'un blu-ray**, une capacité de stockage d'un téraoctet est possible.

Disque holographique polyvalent, une nouvelle génération de disque :

Contrairement aux techniques antérieures, où la lecture est faite sur une succession de creux lus par un laser, le HVD stocke les données dans un hologramme numérique. Le HVD est toujours lu par

laser, mais ce sont cette fois deux rayons laser superposés, un laser vert et un laser rouge, qui une fois combinés en un seul laser, lisent les données par interférences.

Les disques HVD ont une capacité de stockage **maximale de 3,9 téraoctets**, ce qui fait environ 6 000 fois la capacité d'un CD-ROM, 830 fois la capacité d'un DVD et 160 fois la capacité d'un disque Blu-ray simple couche, le tout sur un support de 12 cm de diamètre identique au DVD. Une capacité qui peut faire rêver. La *vitesse de lecture sera d'environ 1 Go/s*, de quoi dérouter tous les disques durs actuels. Cependant, le prix de vente du lecteur HDV est de 18000 euros et le disque HVD de 300Go est au misérable prix de 180 euros. **Une technologie d'avenir intéressante.**



Figure 21 : Disque HVD et DVD-R

3. Les disques durs

Un **disque dur**, parfois abrégé **DD**, **HD** ou **HDD**, est une mémoire de masse magnétique utilisée principalement dans les ordinateurs. Inventé en 1956, le disque dur a fait l'objet d'évolutions de capacité et de performances considérables, tout en voyant son coût diminuer, ce qui a contribué à la généralisation de son utilisation, particulièrement, dans l'informatique.

Un disque dur peut être interne à un ordinateur ou être externe. Les disques durs externes sont considérés comme des supports amovibles.

- En 1997 le standard pour les PC de bureau est de 2 Go pour les disques durs de 3,5 pouces.
- Vers 2002 les disques durs de 40 Go sont courants pour des PC de bureau.
- En 2009 le standard pour les PC de bureau est de 1 To (à partir de 0,1 €/Go en août 2008) et de 500 Go pour les PC portables.
- En 2010, 1,5 To à 2 To sont devenus courants. Pour les « faibles capacités » de moins de 100 Go environ, ils sont remplacés, de plus en plus, par des mémoires électroniques de type carte SD ou « disques » SSD.

Voici un tableau récapitulatif de l'évolution des disques durs.

Capacité	Date	Fabricant	Modèle	Taille
5 Mo	1956	IBM	350 Ramac ³	24"
28 Mo	1962	IBM	modèle 1301	
1,02 Go	1982	Hitachi ¹⁵	H8598	14"
25 Go	1998	IBM	Deskstar 25 GP	3,5"
500 Go	2005	Hitachi		3,5"
1 To	2007	Hitachi	Deskstar 7K1000 ¹⁶	3,5"
2 To	2009	Western Digital ¹⁷	Caviar Green WD20EADS	3,5"
3 To	2010	Seagate		3,5"
4 To	2011	Hitachi ¹⁸	7K4000	3,5"
6 To	2013	HGST ^{19,20}	WD Red Pro	3,5"
8 To	2014	Seagate ²¹	Archive HDD	3,5"
10 To	2015	HGST	Ultrastar He10 ²²	3,5"

Figure 22 : Evolution des disques durs

Aujourd'hui les disques SSD sont beaucoup utilisés en lieu et place des disques durs car ils sont jugés beaucoup plus performants que les disques durs HDD. Ils permettent le stockage de données sur de la mémoire flash.

Date de chat en ligne: le 13 juillet 2017 à partir de 10h

IX. EVALUATIONS

Date de l'évaluation en ligne : le 15 juillet 2017