

Chapitre N°02

Les mémoires.

1. Introduction

Une mémoire est un circuit à semi-conducteur permettant d'enregistrer, de conserver et de restituer des informations (*instructions et variables*). 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.

2. 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

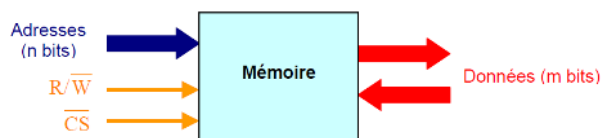
Adresse	Case mémoire
7 = 111	
6 = 110	
5 = 101	
4 = 100	
3 = 011	
2 = 010	
1 = 001	
0 = 000	0001 1010

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)



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. Exécution de l'opération (Lecture ou écriture de la donnée).

3. Caractéristiques d'une mémoire

- **La capacité** : c'est le nombre total de bits que contient la mémoire. Elle s'exprime aussi souvent en *Octets* (Kilo-Octets, Méga-Octets, Giga-Octets).
- **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.

4. Différents types de mémoire

4.1. Les mémoires vives (RAM)

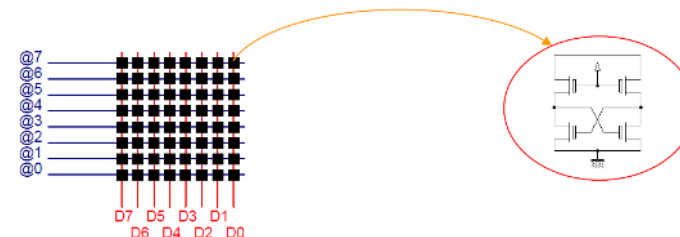
Une mémoire vive a pour le stockage temporaire de données. Elle doit avoir un temps de cycle très court pour ne pas ralentir le microprocesseur. Les mémoires vives sont en général volatiles : elles perdent leurs informations en cas de coupure d'alimentation. Certaines d'entre elles, ayant une faible 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
- Les RAM dynamiques

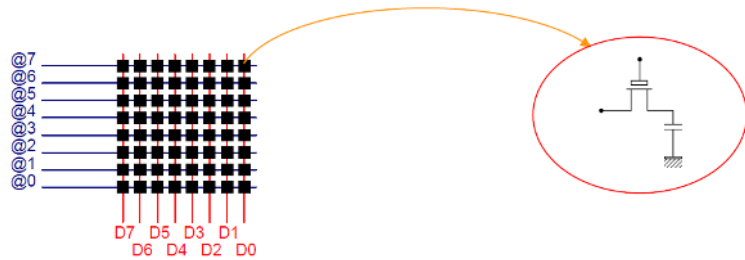
a) Les RAM statiques

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



b) Les RAM dynamiques

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).



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.

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, qui 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.

4.2. Les mémoires mortes (ROM)

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 restent 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.

Cette mémoire est composée d'une matrice dont la programmation s'effectue en reliant les lignes aux colonnes par des diodes. L'adresse permet de sélectionner une ligne de la matrice et les données sont alors reçues sur les colonnes (le nombre de colonnes fixant la taille des mots mémoire).

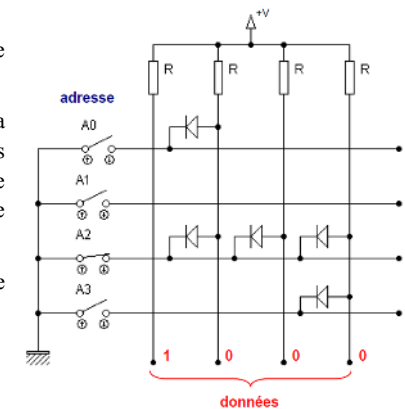
L'utilisateur doit fournir au constructeur un masque indiquant les emplacements des diodes dans une matrice.

Les Avantages de la ROM sont :

- Non volatile
- Mémoire rapide

Ses Inconvénients sont :

- 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.

Les liaisons à diodes de la ROM sont remplacées par des fusibles pouvant être détruits ou des jonctions pouvant être court-circuitées.

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.

Ses Avantages :

- Idem que les ROM
- Claquage en quelques minutes
- Coût relativement faible

Les Inconvénients des PROM :

- Modification impossible (toute erreur est fatale).

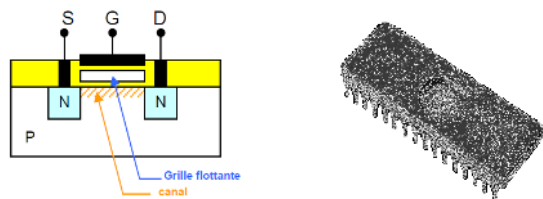
c) L'EPROM ou UV-EPROM

L'EPROM (*Erasable Programmable ROM*) est une PROM qui peut être effacée.

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.

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.



Les Avantages des EPROM :

- 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 (dans le circuit de fonctionnement).

Dans une EEPROM, le point mémoire est réalisé à partir d'un transistor **SAMOS** (*Staked gate Avalanche injection Metal Oxyde Silicium*) reprenant le même principe que le **FAMOS** sauf que l'épaisseur entre les deux grilles est beaucoup plus faible.

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.

Ses Avantages :

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

Ses Inconvénients :

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

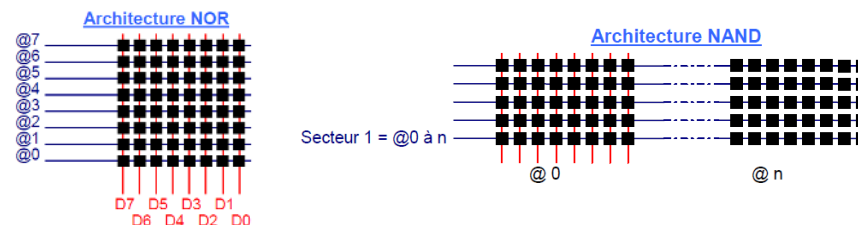
e) La FLASH EPROM

La mémoire Flash s'apparente à la technologie de l'EEPROM. Elle est programmable et effaçable électriquement comme les EEPROM.

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

L'architecture NOR propose un assemblage des cellules élémentaires de mémorisation en parallèle avec les lignes de sélection comme dans une EEPROM classique. L'architecture NAND propose un assemblage en série de ces mêmes cellules avec les lignes de sélection.

D'un point de vue pratique, la différence majeure entre NOR et NAND tient à leurs interfaces. Alors qu'une NOR dispose de bus d'adresses et de données dédiés, la NAND est dotée d'une interface d'E/S indirecte. Par contre, la structure NAND autorise une implantation plus dense grâce à une taille de cellule approximativement 40 % plus petite que la structure NOR.



Si NOR et NAND exploitent toutes deux le même principe de stockage de charges dans la grille flottante d'un transistor, l'organisation de leur réseau mémoire n'offre pas la même souplesse d'utilisation. Les Flash NOR autorise un adressage aléatoire qui permet de la programmer octet par octet alors que la Flash NAND autorise un accès séquentiel aux données et permettra seulement une programmation par secteur comme sur un disque dur.

Les Avantages d'une Flash NOR :

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

Les Avantages d'une Flash NAND :

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

Les Inconvénients d'une Flash NOR :

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

Les Inconvénients d'une Flash NAND :

- Ecriture/lecture par octet impossible.

- Interface E/S indirecte

La Flash EPROM a connu un essor très important ces dernières années avec le boom de la téléphonie portable et des appareils multimédia (PDA, appareil photo numérique, lecteur MP3, ... etc.).

5. Critères de choix d'une mémoire

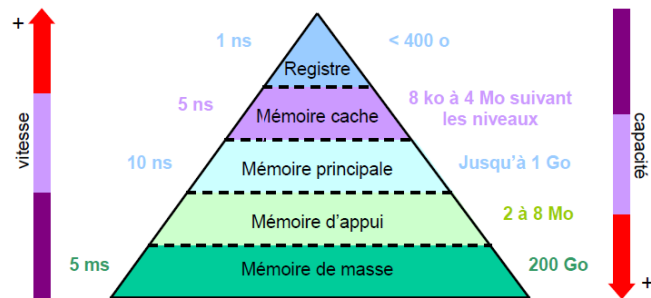
Les principaux critères à retenir sont : la capacité, la vitesse, la consommation, et le coût.

6. Notion de hiérarchie mémoire

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 lentes 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.

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.



- **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.
- **La mémoire principale** est l'organe principal de rangement des informations. Elle contient les programmes (instructions et données) et est plus lente que les deux mémoires précédentes.
- **La mémoire d'appui** sert de mémoire intermédiaire entre la mémoire centrale et les mémoires de masse. Elle joue le même rôle que la mémoire cache.
- **La mémoire de masse** est une mémoire périphérique de grande capacité utilisée pour le stockage permanent ou la sauvegarde des informations. Elle utilise pour cela des supports magnétiques (disque dur, ZIP) ou optiques (CDROM, DVDROM).