

# شهادة

يشهد رئيس المجلس العلمي لمعهد التكنولوجيا:

بناء على محضر المجلس العلمي للمعهد رقم 2019/01 المؤرخ بتاريخ 2019/02/13

والذي عين بموجبه خبراء لقراءة وتقييم مطبوعة.

بناء على التقارير الإيجابية التي تجيز المطبوعة والمبينة في محضر المجلس العلمي

رقم 2020/02 والمؤرخ في 2020/12/21، بأن:

مطبوعة الدكتور: فاتح مولحسان

والموسومة بـ: Informatique d'instrumentation 2

قد تم تقييمها إيجابيا، واعتمادها من قبل المجلس العلمي للمعهد

أم البواقي في: 2021/01/05

رئيس المجلس العلمي

رئيس المجلس العلمي

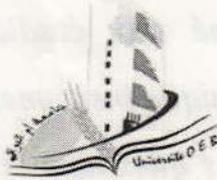
د. خالد مسيف



*République Algérienne Démocratique et Populaire*

*Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*

*UNIVERSITE L'ARBI BEN M'HIDI OUM EI BOUAGH*



*INSTITUT DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES APPLIQUÉES*

*DÉPARTEMENT MESURES PHYSIQUES*

*ENONCE DES TRAVAUX DIRIGES*

*Informatique d'instrumentation II*



*Présenté par :*

*Dr : Moulahcene fateh*

*2018/2019.*

*République Algérienne Démocratique et Populaire*

*Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*

*UNIVERSITE L'ARBI BEN M'HIDI OUM EL BOUAGH*



*INSTITUT DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES APPLIQUÉES*

*DÉPARTEMENT MESURES PHYSIQUES*

*Polycopie de Cours*

***Informatique d'instrumentation II***

*Présenté par :*

*Dr : Moulahcene fateh*

*2018/2019*

## Avant-Propos¶

*Ce polycopié de Cours intitulé **Informatique d'instrumentation II** est une matière de l'unité fondamentale. Elle s'adresse essentiellement aux étudiants de troisième années licence Professionnelles, filière mesures physiques, option techniques instrumentales. Le contenu de ce polycopié regroupe le programme enseigné dans le département du Mesures Physiques. Il est rédigé sous forme de cours détaillés, avec des exemples résolus. Il est présenté avec un style très simple qui permet aux étudiants une compréhension très rapide. Le contenu de ce polycopié est structuré en trois chapitres.¶*

- 1. → En premier lieu sera présentée sur Architecture et composants d'un micro-ordinateur.¶*
- 2. → En second chapitre sera présentée une Carte ARDUINO UNO 'Microcontrôleur ATmega328'.¶*
- 3. → Le dernier chapitre traite le Bus d'instrumentation¶*

## Plan du Cours

Avant-Propos .....2.

### Chapitre 01:

#### ARCHITECTURE ET COMPOSANTS D'UN MICRO-ORDINATEUR

*1. Introduction* .....6.

*1.1. Architecture et composants d'un micro-ordinateur* .....6.

*1.1.1. Unité centrale de traitement* .....8.

*1.1.2. Unité de mémoire, appelée mémoire centrale* .....8.

*1.1.3 Interfaces (périphériques) d'entrées/sorties* .....9.

*1.1.4 Système de Bus* .....11.

*1.1.5. Carte mère:*.....11.

*1.1.5.1. Définition* .....12.

*1.1.5.2. Composants de la carte mère*.....12.

*1.2. Mémoires* .....19.

*1.2.1 Organisation d'une mémoire* .....19.

*1.2.2. Caractéristiques d'une mémoire* .....19.

*1.2.3 Différents types de mémoire* .....21.

*1.2.3.1. Mémoire à semi-conducteur* .....22.

*1.2.3.2. Mémoires de masse* .....27.

*1.2.4. Critères de choix d'une mémoire* .....34.

*1.3. Fichiers et Gestion d'entrées/sorties* .....34.

*1.3.1 Fichiers* .....35.

*1.3.2 E/S sur fichiers utilisant 'Software LABVIEW'* .....36.

### Chapitre 02

#### Carte ARDUINO UNO 'Microcontrôleur ATmega328'

*2.1 Introduction* .....40.

*2.2 Différence entre un microprocesseur et un microcontrôleur* .....40.

*2.3 Choix d'un microcontrôleur* .....40.

*2.4 ARDUINO UNO* .....42.

*2.5. Schéma interne du microcontrôleur ATmega 328P* .....42.

---

2.5.1. Processeur 8 bits à architecture RISC .....	43.
2.5. 2 Alimentation .....	43.
2.5.3. Horloge.....	44.
2.5.4 Mémoires.....	44.
2.5.5. Entrées/Sorties (E/S) .....	44.

Chapitre 03 :

Bus d'instrumentation

3. Introduction.....	50.
3.1 Liaisons série et parallèle .....	50.
3.1.1. Liaison série.....	50.
3.1.2. Liaison parallèle .....	55.
3.2. Notion de liaison et d'interface .....	55.
3.2.1. RS332 .....	56.
3.2.2. GPIB (Bus d'instrumentation à usage général).....	60.
Bibliographie .....	64.

**Chapitre 01 :**

**ARCHITECTURE ET COMPOSANTS D'UN MICRO-  
ORDINATEUR**

## 1. Introduction

**L'informatique** Il s'agit de la science du traitement rationnel, en particulier à l'aide de machines automatiques, de l'information considérée comme le fondement des connaissances et des communications. Tout d'abord, l'informatique constitue une science qui se conforme à des lois et à des règles bien définies. Les traitements qu'elle effectue s'effectuent donc de manière rationnelle. Les micro-ordinateurs sont les machines automatiques qui traitent l'information. L'information constitue la matière qui est manipulée et traitée par les micro-ordinateurs. Ils doivent être en mesure de la comprendre, de la même manière que l'être humain saisit une langue et des concepts.

**Par conséquent, Un micro-ordinateur** est une machine de traitement de l'information (de manière automatique). Il est capable d'acquiescer de l'information, de la stocker, de la transformer....etc, en effectuant des traitements quelconques.

Une **information** Il s'agit de l'ensemble des données comprenant des textes, des nombres, des sons, des images, etc., ainsi que des instructions qui constituent un programme.

**Programme** Ensemble ou suite des instructions ordonnées.

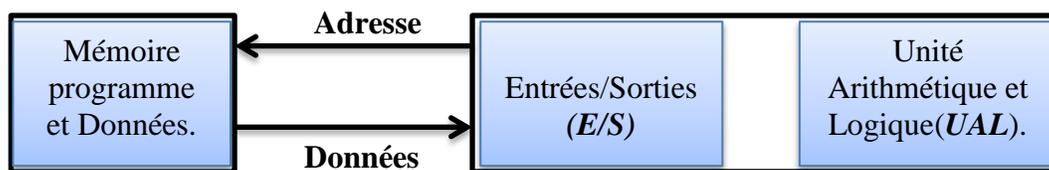
Toute information est traitée sous forme binaire (0 ou 1) par le micro-ordinateur.

☞ ***Un micro-ordinateur c'est une machine électronique qui peut recevoir des informations et les enregistrées. De plus elle peut traiter ces informations de façon automatique selon des programmes qui ont été enregistrées dans la machine (mémoires par exemple)***

### 1.1. Architecture et composants d'un micro-ordinateur

Il y a deux types d'architectures pour organiser les différentes unités

✓ ***L'architecture Von Neumann*** : Il s'agit d'une conception de processeurs qui lie physiquement la mémoire de données et la mémoire programme, comme le microprocesseur INTEL. ....(Fig. 1.1).



**Fig. 1.1 Architecteur Von Neumann**

✓ ***L'architecture Harvard*** : Il s'agit d'une conception des processeurs qui sépare physiquement la mémoire de données et la mémoire programme. L'accès à chacune des deux mémoires se fait par le biais de deux bus distincts. **exemple microcontrôleur chez microchip PIC.....(Fig. 1.2).**

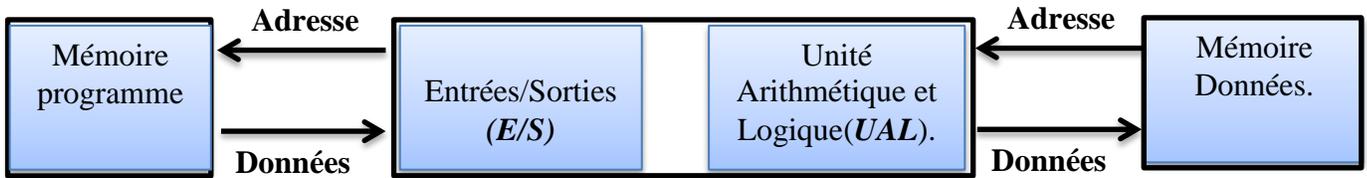


Fig. 1.2 Architecteur Harvard

☞ Structure d'un micro-ordinateur Un micro-ordinateur est un dispositif programmable universel destiné au traitement de l'information.

Pour remplir sa fonction, il est nécessaire qu'il puisse :

1. Obtenir des informations provenant de sources externes.
2. Conserver ces informations en interne.
3. Combiner les informations disponibles entre elles.
4. Transmettre ces informations à l'extérieur

☞ La structure de base d'un micro-ordinateur comprend donc les éléments fondamentaux suivants : figure 1.3

1. Une unité centrale de traitement (unité centrale).
2. Une unité de mémoire, désignée sous le terme de mémoire centrale.
3. Unités de stockage.
4. Des dispositifs d'entrée/sortie.

*Un système de bus qui facilite le transport de l'information entre l'unité centrale et les autres unités.*

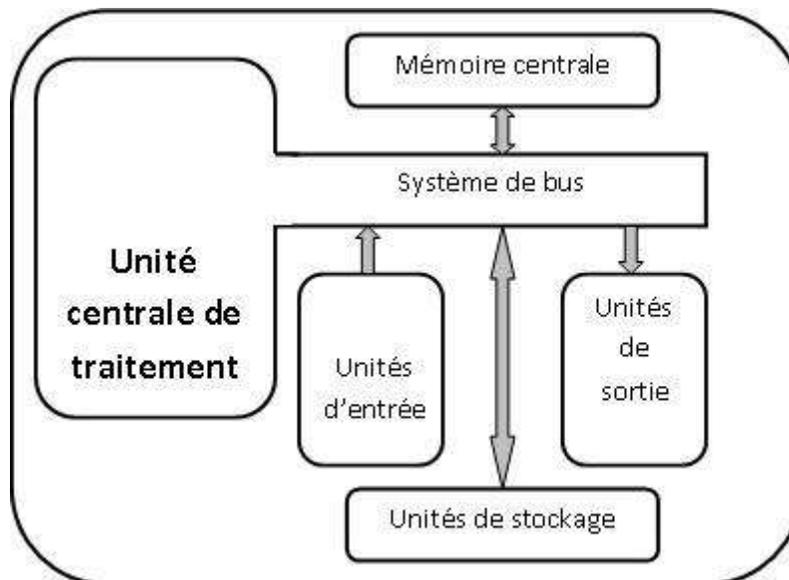


Fig.1.3 Architecture d'un système informatique (micro-ordinateur)

**1.1.1 Unité centrale de traitement : (UCT)** Le cerveau du micro-ordinateur, connu sous le nom de CPU ou « Central Processing Unit », est l'élément clé qui assure le traitement des données. C'est le centre de calcul et de contrôle d'un micro-ordinateur, elle constitue le « cerveau » du micro-ordinateur.

☞ Il s'agit du cœur central d'un micro-ordinateur, le siège de sa pensée et de sa gestion.

☞ Un **microprocesseur** est caractérisé par :

☞ Les géants du processeur, tels qu'Intel, AMD et Cyrix...

☞ La fréquence d'horloge d'un microprocesseur correspond au rythme effréné auquel il exécute ses tâches, mesuré en gigahertz.

$$1\text{KHz} = 10^3 \text{ Hz}$$

$$1\text{MHz} = 10^6 \text{ Hz}$$

$$1\text{GHz} = 10^9 \text{ Hz}$$

☞ Sa puissance se mesure en MIPS, le nombre d'instructions qu'il peut exécuter par seconde.

☞ Sa capacité à manipuler des données : en unité binaire.

L'unité centrale de traitement ou processeur central Il est constitué des éléments qui vont être énumérés par la suite *figure 1.4* :

➤ **Unité arithmétique et logique (UAL)** : L'UAL est responsable des calculs mathématiques simples comme l'addition, la soustraction, la multiplication, la division, ainsi que des comparaisons logiques, ET, OU, non-ET, non-OU et XOR...).

➤ **Unité de commande** : L'unité de commande contrôle l'exécution des instructions. Elle lit et suit les consignes données.

### **1.1.2 Unité de mémoire, appelée mémoire centrale.**

☞ La mémoire centrale d'un ordinateur sert à enregistrer, stocker et retrouver des informations.

☞ La mémoire centrale est constituée de petites barrettes qu'on peut insérer dans des emplacements appelés Slots.

☞ Elle garde les instructions des programmes qui sont en train de fonctionner et les données liées à ces programmes. Physiquement, elle se divise souvent en:

☞ Une mémoire morte appelée ROM est utilisée pour stocker le programme. C'est une mémoire qui ne peut être modifiée.

☞ La RAM stocke les données temporaires et les résultats des calculs. On peut enregistrer des informations à l'intérieur, mais elles disparaissent quand on éteint l'appareil.

☞ **Note :**

Les disques durs, les disquettes, les CDROM, les DVD, etc. sont des outils de stockage qui servent de mémoires secondaires. (mémoire de masse).

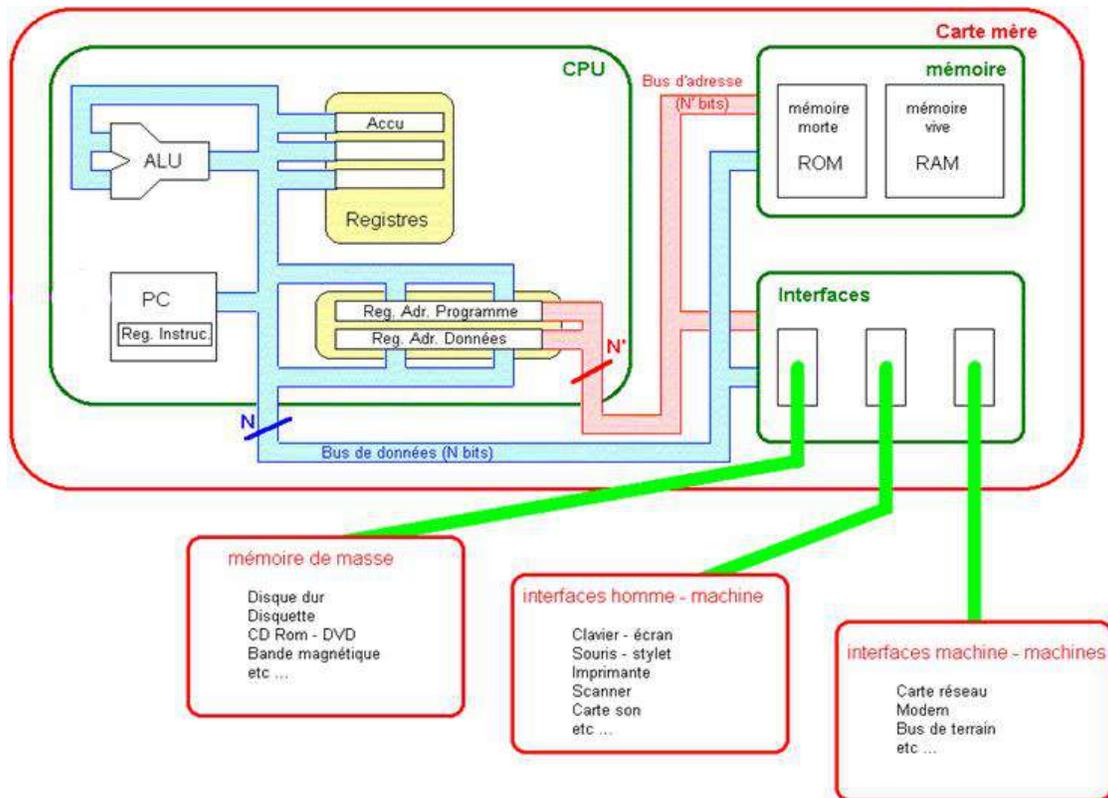


Fig.1.4 Schéma représente les composants du micro-ordinateur

### 1.1.3 Interfaces (périphériques) d'entrées/sorties

☞ Elles simplifient l'interaction entre le microprocesseur et les dispositifs périphériques. (clavier, écran, imprimante, modem, etc.)

☞ Les périphériques sont des parties du micro-ordinateur qui servent à communiquer avec l'unité centrale et à enregistrer les informations

#### ☞ Périphériques d'entrée

✓ Le clavier sert à écrire des mots et des chiffres.

✓ La souris est un petit objet qui sert à bouger une flèche sur l'écran de l'ordinateur et à donner des instructions en appuyant sur ses boutons.

✓ **Autres périphériques d'entrée** comme le scanner, la carte magnétique, le crayon optique, l'écran tactile et les mémoires auxiliaires. (lectures de DVD ou CDROM, flash disque..) elles permettent également la saisie des données.

#### ☞ Périphériques de sortie

☞ L'écran sert à afficher les informations.

☞ Une imprimante sert à imprimer des documents sur du papier.

☞ d'autres appareils pour afficher des informations D'autres équipements comme les haut-parleurs, la table traçante et les mémoires auxiliaires (lecteurs de DVD ou CDROM, clés USB) peuvent aussi servir à transmettre des informations.

☞ **Périphériques de stockage:**

➤ **Les disques magnétiques:**

➤ Le disque dur est un cylindre qui contient plusieurs disques magnétiques rigides protégés par un boîtier. C'est l'outil principal utilisé pour stocker des données sur un ordinateur. Il inclut le système d'exploitation. Un disque dur peut contenir entre 500 Go et 1 To de données.

➤ Une disquette est un petit disque en plastique qui tourne à l'intérieur d'une pochette carrée pour la protéger. Une disquette peut contenir 1,44 Mo, ce qui équivaut à 1444 octets (mais elles ne sont plus utilisées aujourd'hui).

➤ **Les disques optiques compacts**

✓ Un CD-ROM est un petit disque optique autorisé par Sony et Philips, qui peut stocker beaucoup de données en toute sécurité (entre 650 et 700 Mo).

✓ D'autres sortes de CD sont maintenant disponibles.

✓ Les CD-R sont des CD vides que l'utilisateur peut enregistrer avec un graveur de CD. Une fois enregistrés, les CD-R ne peuvent plus être changés et sont utilisés comme des cédéroms dans un lecteur de CD.

✓ Les CD-RW sont des CD sur lesquels on peut écrire et effacer plusieurs fois grâce à un graveur de CD.

✓ Le DVD **Digital Versatile Disc** (disque numérique polyvalent), Il s'agit d'un disque optique destiné à la sauvegarde et au stockage de données sous forme numérique. Sa capacité peut varier de 4,7 à 8,0 Go. Le DVD+RW (Read Write) est sous licence de Philips, Sony et HP.

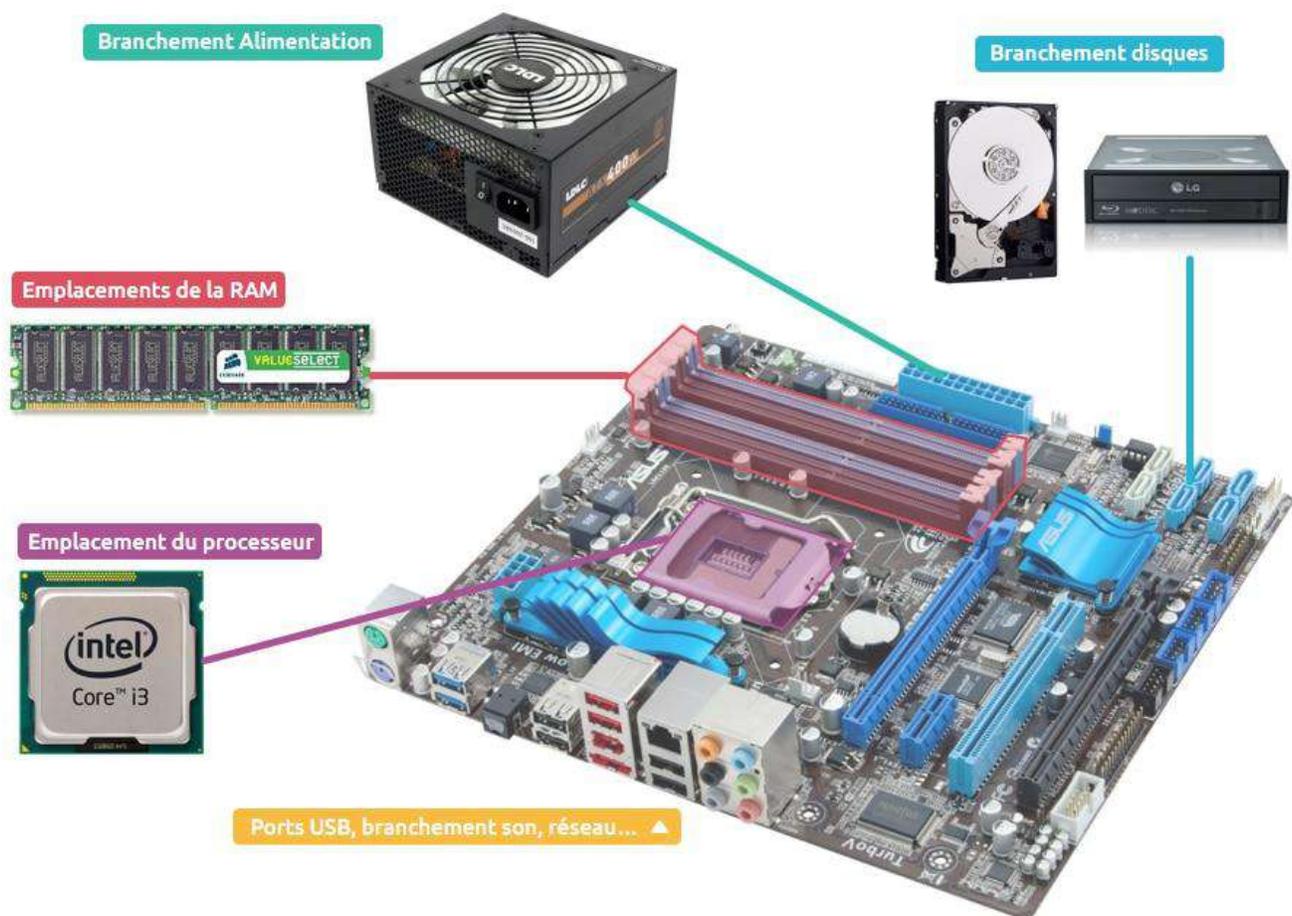
✓ Le Blu-ray est licencié par Sony. Il peut contenir de 25 à 50 Go de données. Le Blu-ray Disc (abrégé officiellement en BD) est un format de disque numérique conçu pour le stockage et la restitution de vidéogrammes en haute définition. Sa dénomination est issue du type de rayon laser qu'il utilise, dont la couleur spectrale est proche du bleu-violet.

✓ L'écriture sur les disques optique se fait par un graveur, la lecture se fait par des lecteurs de CD-ROM, DVD.

**1.1.4 Système de Bus**. Un bus est un groupe de câbles qui transmettent la même sorte d'informations. Il y a trois types de bus qui transportent des informations en même temps dans un système informatique.

- ☞ Le bus de données permet d'échanger des informations entre le microprocesseur et son environnement dans les deux sens. Le nombre de lignes qu'il possède correspond à ce que le microprocesseur peut traiter.
- ☞ Le bus d'adresses est un canal qui permet de choisir les données à utiliser dans une zone mémoire pouvant contenir  $2^n$  emplacements, où  $n$  représente le nombre de lignes du bus d'adresses.
- ☞ Le bus de commande est composé de conducteurs qui coordonnent les informations qui circulent sur les bus d'adresses et de données.

### 1.1.5. Carte mère:



#### 1.1.5.1. Définition

☞ La carte mère constitue le composant principal de l'unité centrale. La carte mère a pour fonction de centraliser et de traiter les données échangées dans un micro-ordinateur en utilisant le microprocesseur qui y est intégré. La carte mère est responsable de la gestion du disque dur, d'un disque, du clavier et de la souris, du réseau, des ports USB, etc.

- ☞ Il s'agit d'une carte électronique qui permet d'interconnecter tous les circuits imprimés d'un micro-ordinateur. Il s'agit de la carte la plus importante du micro-ordinateur, qui va centraliser toutes les données et les faire traiter par le microprocesseur.
- ☞ La mémoire RAM et le processeur sont connectés directement à la carte mère. Les autres cartes sont connectées par des bus de données, responsables du transfert des informations. C'est le cas du disque dur et du lecteur CD/DVD, par exemple. Les ports USB destinés au clavier et à la souris, ainsi que ceux pour le réseau, situés à l'arrière de l'unité centrale, sont directement intégrés à la carte mère. La carte mère prend également en charge la gestion du son et la connexion au réseau via un câble.

### 1.1.5.2 Composants de la carte mère

- ☞ **Micro-processeur** C'est un circuit intégré, électronique, programmable, c'est le cerveau d'une machine informatique.
- ☞ **La mémoire cache** : La mémoire cache est un type de mémoire extrêmement rapide, mais coûteux à fabriquer, Elle aide à communiquer entre le micro-processeur et la mémoire vive. La mémoire cache contient des informations qui sont déjà présentes ailleurs, ce qui signifie qu'elles sont dupliquées.  
Il y a trois sortes de mémoire cache.
- ☞ Niveau 1 (L1) : très basique, composé de 2 parties et situé directement dans le CPU.
- ☞ Le niveau 2 (L2) est plus grand que le niveau 1 (L1). Sur les anciens processeurs, il est partagé entre les cœurs, tandis que sur les dernières générations, il est intégré aux cœurs.
- ☞ Niveau 3 (L3) : le plus grand en capacité. Il y a quelque temps, elle était sur la carte mère, mais maintenant elle est directement dans le CPU et partagée entre les cœurs.
- ☞ **La CMOS RAM et la pile** : Certaines données doivent être sauvegardées même lorsque l'ordinateur est éteint, même en l'absence d'alimentation électrique de la carte mère.
- ☞ Les réglages du micro-ordinateur, la date et l'heure du système, etc. La carte mère a une petite mémoire appelée CMOS RAM.
- ☞ Comment le micro-ordinateur peut-il connaître la date et l'heure s'il n'est pas alimenté pendant plusieurs jours ?
- ☞ Même quand on débranche le micro-ordinateur, la CMOS RAM reste alimentée par une petite pile.



**La pile**

**La connectique**. La carte mère constitue le cœur de l'ordinateur. Tous les composants sont connectés à l'aide de divers types de prises.

**La connectique « interne »** Commencer par les connecteurs utilisés pour relier les composants internes d'un ordinateur, tels que les mémoires RAM, les cartes, les disques durs, etc.

- ❖ **Les slots mémoire.** Conçus pour accueillir des barrettes de mémoire vive, ils peuvent être au nombre de 2, 3, 4 ou 6 en fonction du format de la carte mère.



- ❖ **Les ports PCI (PCI: Peripheral Component Interconnect),** qui sont principalement destinées aux cartes filles (cartes son, cartes réseau, etc.).

Slots mémoire

- ❖ Des ports PCIe sont également disponibles, actuellement dans leur seconde génération (PCIe 2.0), où les débits sont doublés par rapport à la première génération. Ils se déclinent en plusieurs types :

- ❖ **Les ports PCIe 2.0 x1 (500 Mo/s)** qui devraient remplacer les ports PCI et sont destinées aux autres cartes filles (cartes son, cartes réseau, etc.).
- ❖ **Les ports PCIe 2.0 x16 (4 Go/s)** Ils remplacent l'ancien port AGP et sont conçus pour les cartes graphiques, pouvant fonctionner en x8 ou x4 en fonction du nombre de cartes graphiques et du chipset.



Le Port

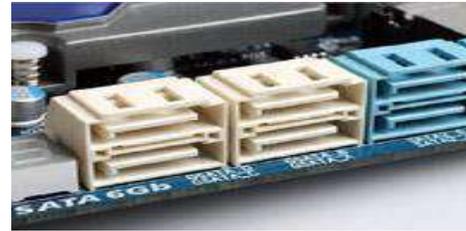


- ❖ **En haut (en blanc) se trouve un port PCIe 2.0 x1.**
- ❖ **En bas (en bleu) se trouve un port PCIe 2.0 x16.**

- ❖ **Le port IDE et le port SATA** En ce qui concerne les périphériques de stockage tels que les disques durs et les graveurs DVD, deux normes de connectique sont présentes. L'IDE (Intelligence Développementale Émotionnelle) est un concept qui englobe divers aspects du développement émotion La norme Parallel ATA (PATA) définit une interface de connexion destinée aux dispositifs de stockage de masse. Initialement conçue par Western Digital sous le nom d'Integrated Drive Electronics (IDE), cette technologie, désormais obsolète et en voie de disparition, est caractérisée par de larges nappes connectées à ces connecteurs, qui attirent la poussière et entravent la circulation de l'air à l'intérieur du boîtier. La deuxième La norme Serial ATA, ou SATA (Serial Advanced Technology Attachment), est utilisée pour connecter à une carte mère tout périphérique compatible, tel que des disques durs ou des lecteurs de DVD. Elle définit en particulier un format de transfert de données ainsi qu'un format de câble. Les cartes mères les plus récentes ne sont donc plus dotées de ces équipements, au bénéfice des ports SATA qui facilitent l'utilisation de câbles plus fins.

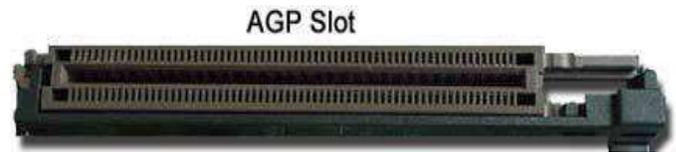


Port IDE



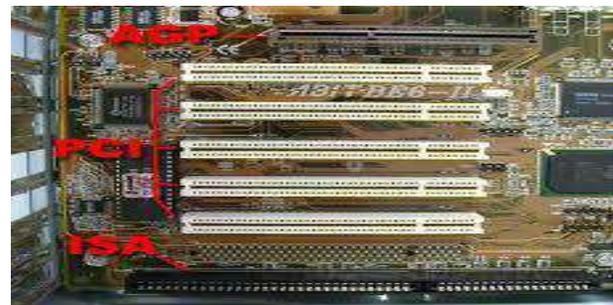
Port SATA

- ❖ **Le Port AGP** (L'anglais « Accelerated Graphics Port », signifiant littéralement « port graphique accéléré » en français, désigne un port interne destiné exclusivement aux cartes graphiques. L'AGP facilite une circulation plus rapide des informations.



- ❖ **Le Port ISA** 'L'« Architecture Standard de l'Industrie », communément abrégée en ISA, désigne un standard de bus informatique interne destiné à relier des cartes d'extension à la carte mère d'un ordinateur. Il s'agit d'un bus de 16 bits de largeur, fonctionnant à une fréquence d'horloge de 8 MHz.

Ports PCI, AGP et ISA



✓ **La connectique « externe »**

Nous sommes actuellement sur le panneau arrière (ou BackPanel), qui est équipé de connecteurs destinés à des dispositifs externes au micro-ordinateur figure 1.5.

- ❖ **Ports PS2** On peut tout d'abord rencontrer des ports PS2, qui étaient utilisés pour les anciens claviers et les vieilles souris:

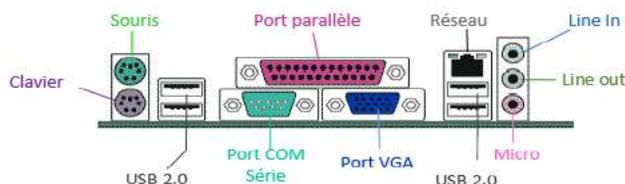


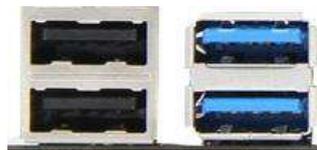
Fig. 1.5. Connectique externe

PS2: Personal System/2



❖ **USB: Universal Serial Bus**

Ils sont actuellement en danger d'extinction, au bénéfice des ports USB renommés, beaucoup plus pratiques. Ils sont employés pour la majorité des dispositifs externes tels que les claviers, les souris, les disques durs externes, les clés USB, les imprimantes, etc. La norme USB1 (12 Mbit/s, équivalent à 1,5 Mo/s), l'USB2 (480 Mbit/s, équivalent à 60 Mo/s), mais la norme récente USB3 (4,8 Gbit/s, équivalent à 600 Mo/s) devrait progressivement la remplacer. Il convient de noter que les ports (et câbles) sont de couleur noire pour l'USB2 et de couleur bleue pour l'USB3.



**Port USB1 et USB2**

❖ Pour mieux comprendre l'évolution de la norme USB, il est pertinent d'examiner les temps de transfert d'un film HD de 25 Go, comme l'a démontré Microsoft.

- ✓ USB 1.0 : 4,63 heures
- ✓ USB 2.0: 6.94 minutes
- ✓ USB 3.0 : 41,66 secondes

**Ports FireWire** Les ports FireWire, en raison de leurs débits nettement supérieurs, sont principalement utilisés pour les caméscopes (le transfert d'un flux vidéo exige un débit élevé) ainsi que pour certains disques durs externes.



**Ports FireWire ou IEEE 1394**

❖ **Ports RJ45** Pour les réseaux Ethernet, les ports RJ45, également appelés ports Ethernet, sont utilisés. Les cartes mères anciennes étaient dotées de ports RJ45 prenant en charge des débits de

100 Mbps, mais de nos jours, on ne rencontre presque exclusivement que des ports de 1000 Mbps (1 Gbps).



**Port RJ45**

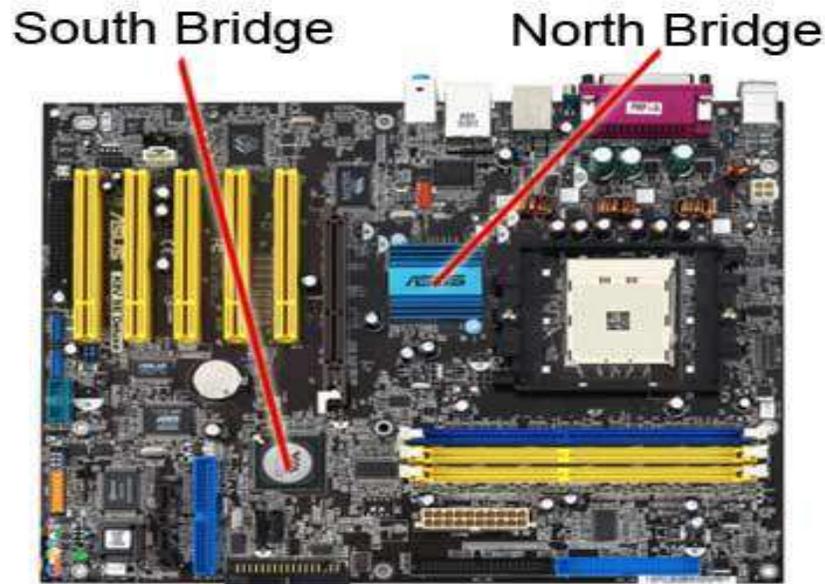
- ❖ **Ports Audio** Concluons cette présentation succincte des connecteurs audio en musique en examinant les ports audio. Ces ports sont des connecteurs jack de 3,5 mm conçus pour accueillir des haut-parleurs, des casques ou d'autres microphones.



**Port audio**

- ❖ **Ports série** Le port série est conforme au standard RS-232, élaboré en 1960 dans le but exclusif de faciliter la communication entre un terminal (Data Terminal Equipment, DTE, tel qu'un micro-ordinateur) et un dispositif de communication (Data Communications Equipment, DCE, comme un modem, par exemple).
- ❖ **Ports Parallèle** Le Port parallèle est un connecteur situé à l'arrière des micro-ordinateurs compatibles PC, basé sur la communication parallèle. Il est lié à l'interface parallèle. La communication parallèle a été élaborée pour une imprimante capable d'imprimer du texte, caractère par caractère.
- ❖ **Ports VGA** (Video Graphics Array) Il sert à établir la connexion entre une carte graphique et un écran d'ordinateur personnel ou un projecteur. Ce connecteur est parfois désigné sous les termes de connecteur RGB, HD-15 ou D-sub 15. Il dispose de 15 broches réparties en trois rangées.
- ❖ **Chipset, BIOS et Socket**
  - ✓ **Chipset** Le terme « jeu de puces » (traduit de l'anglais) désigne un ensemble de composants électroniques intégré dans un circuit intégré préprogrammé, destiné à réguler les flux de données numériques entre le microprocesseur, la mémoire et les périphériques.
  - ☞ **Le pont nord (ou northbridge)** Elle est classiquement l'une des deux puces du jeu de circuits (chipset) d'une carte mère, directement connectée au microprocesseur et responsable de la gestion des périphériques « rapides », y compris la mémoire.

- ☞ Le « pont nord » est responsable de la gestion des communications entre le microprocesseur et les périphériques rapides, comme les cartes graphiques et les mémoires à accès rapide:

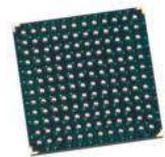


- ☞ 1. La mémoire vive ;
- ☞ 2. Le bus AGP pour carte graphique ;
- ☞ 3. Les bus PCI Express pour les périphériques externes rapides, y compris les cartes graphiques ;
- ☞ 4. Le pont sud pour les périphériques lents.

**Le pont sud (ou southbridge)** Le circuit Southbridge est responsable de la gestion des interactions avec les périphériques d'entrée/sortie.

✓ **Socket** Le socket est la base qui accueillera le processeur (CPU). Il existe trois types

- Le PGA (Pin Grid Array)
- Le BGA (Ball Grid Array)
- Le LGA (Land Grid Array)





- ✓ **BIOS Basic Input Output system:** Le BIOS système est un programme enregistré dans la ROM située sur la carte mère. L'acronyme BIOS (Basic Input/Output System) désigne un programme qui regroupe les fonctions d'entrées/sorties fondamentales pour la gestion de l'écran en mode texte, du clavier, ainsi que des disques, de l'horloge et de divers ports d'entrées/sorties.

PhoenixBIOS Setup Utility							
Main	Advanced	Security	Power	Boot	Exit		
System Time: [01:16:12] System Date: [10/09/2006]  Legacy Diskette A: [1.44/1.25 MB 3½"] Legacy Diskette B: [Disabled]  ▶ Primary Master [None] ▶ Primary Slave [None] ▶ Secondary Master [VMware Virtual ID] ▶ Secondary Slave [None]  ▶ Keyboard Features  System Memory: 640 KB Extended Memory: 523264 KB Boot-time Diagnostic Screen: [Disabled]					Item Specific Help  <Tab>, <Shift-Tab>, or <Enter> selects field.		
F1	Help	↑↓	Select Item	-/+	Change Values	F9	Setup Defaults
Esc	Exit	←→	Select Menu	Enter	Select ▶ Sub-Menu	F10	Save and Exit

## 1.2. Mémoires

Une mémoire est un composant électronique qui sert à stocker et récupérer des informations comme des instructions et des données. On peut écrire ou lire des informations. L'écriture consiste à enregistrer des informations en mémoire, tandis que la lecture permet de récupérer des informations déjà enregistrées.

### 1.2.1 Organisation d'une mémoire

Une mémoire est comme une armoire avec des tiroirs pour ranger des choses. Chaque tiroir peut contenir une seule donnée à la fois, comme une case mémoire. Il est important de pouvoir numéroter les nombreuses cases mémoires disponibles. Ce numéro s'appelle une adresse. Chaque information peut être consultée en utilisant son adresse indiquée ci-dessous.

<i>Adresse</i>	<i>Case mémoire</i>
<i>7=111</i>	
<i>6=110</i>	
<i>5=101</i>	
<i>4=100</i>	
<i>3=011</i>	
<i>2=010</i>	
<i>1=001</i>	
<i>0=000</i>	<i>00011000</i>

### 1.2.2. Caractéristiques d'une mémoire

☞ **La capacité** : Il s'agit du nombre total de bits dans la mémoire. Elle utilise souvent des octets.

La capacité d'une mémoire correspond au nombre d'informations qu'elle peut enregistrer.

La capacité peut être mesurée en :

- ✓ Un bit est la plus petite unité pour représenter de l'information.
- ✓ Un octet équivaut à 8 bits.
- ✓ 1 kilo-octet (Ko) équivaut à 1024 octets ou  $2^{10}$  octets.
- ✓ Un méga-octet (Mo) équivaut à 1024 kilooctets (Ko) ou  $2^{20}$  octets.
- ✓ Un giga-octet (Go) équivaut à 1024 méga-octets ou  $2^{30}$  octets.
- ✓ Un téra-octet (To) équivaut à 1024 giga-octets (Go) ou  $2^{40}$  octets.

☞ **Le débit** nombre d'information lues ou écrites par seconde, exprimé en octet par seconde ex: 10Mo/s

✓ **Le format des données** correspond au nombre de bits qu'une case mémoire peut stocker. On dit aussi que c'est la taille du mot qu'on peut retenir en mémoire.

✓ **Le temps d'accès** est le laps de temps entre le moment où une opération de lecture ou d'écriture en mémoire est lancée et le moment où les premières informations sont disponibles sur le bus de données.

✓ C'est le temps qu'il faut pour lire ou écrire quelque chose. Pour la lecture, le temps d'accès est le délai entre la demande de lecture et le moment où l'information est prête à être lue.

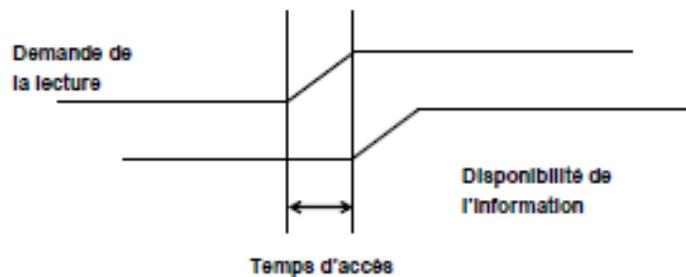


Fig. 1.6. Temps d'accès

☞ Le temps d'accès est crucial pour évaluer les performances d'une mémoire et d'une machine.

☞ **Le temps de cycle** est le plus petit intervalle entre deux demandes consécutives de lecture ou d'écriture.

☞ **Volatilité :** Elle caractérise la permanence des informations dans la mémoire. L'information est considérée comme volatile si elle est susceptible d'être modifiée en raison d'une interruption de l'alimentation électrique, et comme non volatile dans le cas contraire.

☞ **Mode d'accès à l'information (lecture /écriture)** Sur une mémoire, il est possible d'effectuer l'opération de:

1. lecture : obtenir/restaurer une information à partir de la mémoire.
2. L'écriture consiste à enregistrer de nouvelles informations ou à modifier des informations déjà existantes dans la mémoire.
3. Certaines mémoires, appelées mémoires vives, offrent les deux modes lecteur et écriture.
4. Certaines mémoires ne permettent que la lecture, sans possibilité de modification du contenu. Ces mémoires sont désignées sous le terme de mémoires mortes.

### 1.2.3 Différents types de mémoire

☞ **Les registres** Les éléments de mémoire les plus rapides sont les suivants. Ils se trouvent au niveau du microprocesseur et sont utilisés pour le stockage des opérandes et des résultats intermédiaires.

☞ **La mémoire cache** Il s'agit d'une mémoire rapide de faible capacité conçue pour accélérer l'accès à la mémoire centrale en conservant les données les plus fréquemment utilisées.

☞ **La mémoire centrale** Elle renferme les programmes (code et données) et est plus lente que les deux mémoires précédentes.

☞ **La mémoire de masse** Il s'agit d'un dispositif de stockage généralement de grande capacité, destiné à la conservation et à l'archivage des informations.

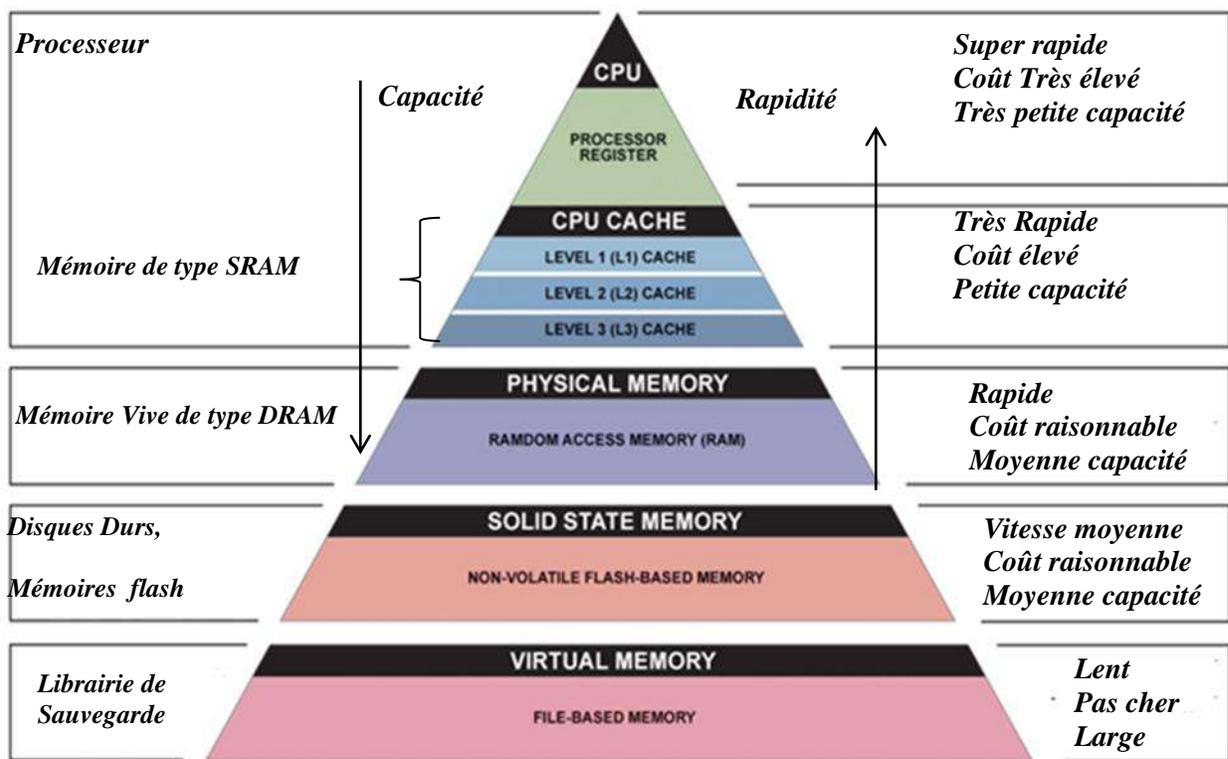


Fig. 1.7 Hiérarchie des mémoires d'un micro-ordinateur

☞ Conformément au schéma hiérarchique présenté dans la figure 1.7. Les mémoires peuvent être classées en trois catégories en fonction de la technologie employée. La mémoire à semi-conducteur, à l'instar de la mémoire centrale, de la ROM, de la PROM, etc., se caractérise par une grande rapidité mais une capacité de stockage limitée.

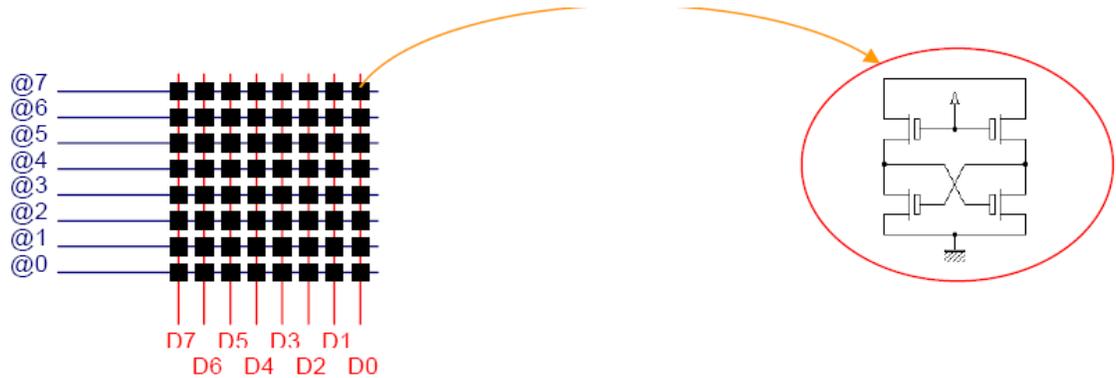
☞ **Mémoires de masse:** il existe deux types

☞ **Les mémoires magnétiques** comme les disques durs et les disquettes sont moins rapides mais peuvent stocker une grande quantité d'informations.

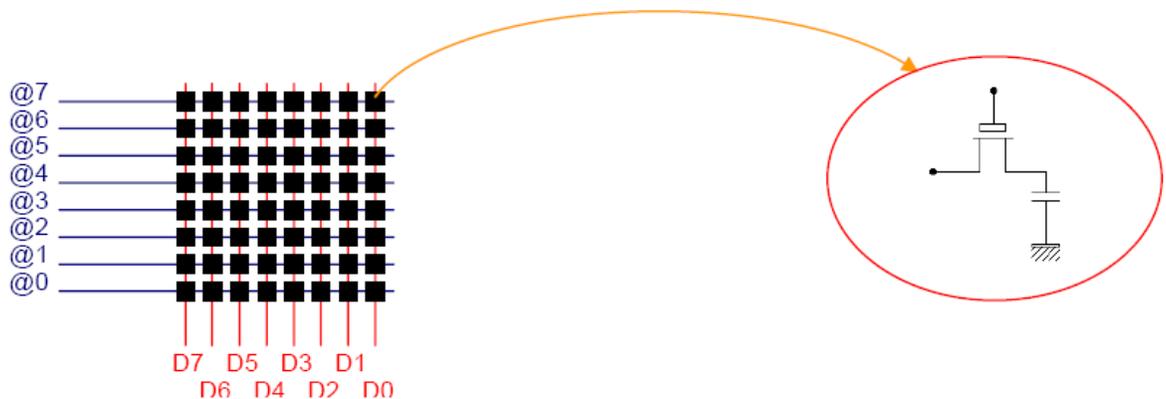
☞ **Supports de stockage optique** tels que les DVD et les CD-ROM.

### 1.2.3.1. Mémoire à semi-conducteur

- ✓ **Mémoires vives (RAM)** Il y a deux types principaux de mémoires RAM. :
- ✓ **RAM statiques** : Le bit mémoire d'une RAM statique (SRAM) est constitué d'une bascule. Chaque bascule est composée de 4 à 6 transistors.



- ✓ **RAM dynamiques** Dans les RAM dynamiques (DRAM), les données sont conservées sous la forme d'une charge électrique accumulée dans un condensateur, ce qui correspond à la capacité grille-substrat d'un transistor MOS.



**Avantages :** Cette technique favorise une densité d'intégration accrue, étant donné qu'un point mémoire requiert environ quatre fois moins de transistors que dans une mémoire statique. Sa consommation est donc également considérablement réduite.

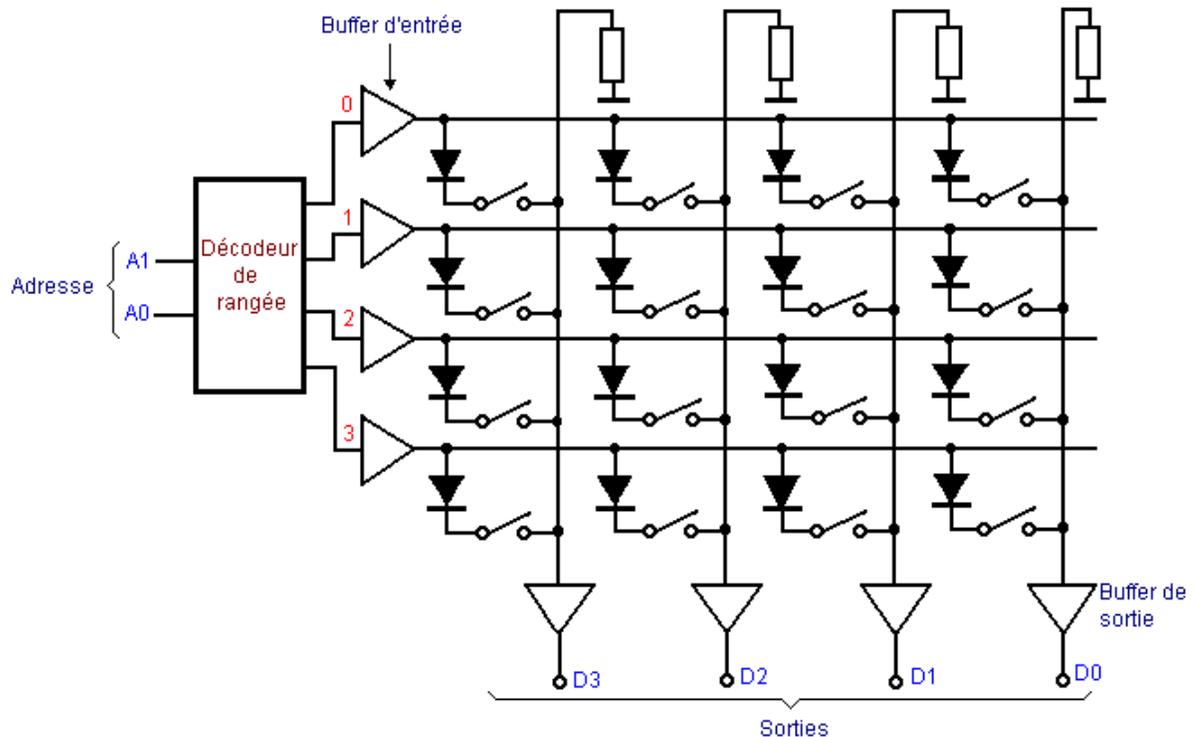
**Inconvénients :** La présence de courants de fuite dans le condensateur favorise sa décharge. Par conséquent, l'information est considérée comme perdue si elle n'est pas régénérée de manière périodique (charge du condensateur). Les RAM dynamiques doivent par conséquent être rafraîchies de manière régulière afin de maintenir la mémorisation.

**Conclusion** En règle générale, les mémoires dynamiques, qui présentent une densité d'information supérieure et un coût par bit réduit, sont privilégiées pour la mémoire centrale. En revanche, les

mémoires statiques, qui sont plus rapides, sont employées lorsque la vitesse est un facteur déterminant, en particulier pour des mémoires de petite taille telles que les caches et les registres.

**Mémoires mortes (ROM)** Il existe donc plusieurs types de ROM : ROM, PROM, EPROM, EEPROM et FLASH EPROM.

- ✓ **LA ROM** Le contenu de l'appareil est fixé par le fabricant et l'utilisateur ne peut pas le changer ou le supprimer figure 1.8.



**Fig. 1.8** structure interne d'une mémoire morte

**Structure :** Ce mémoire utilise une matrice où les lignes sont connectées aux colonnes à l'aide de diodes pour la programmation. L'adresse sert à choisir une ligne dans la matrice. Ensuite, les données sont stockées dans les colonnes. Le nombre de colonnes définit la capacité de stockage de la mémoire.

**Programmation :** L'utilisateur doit donner au fabricant un plan indiquant où placer les diodes sur le masque.

**Avantages :** Une mémoire rapide avec une densité élevée et qui ne s'évapore pas.

**Inconvénients :** Il est impossible d'écrire sans pouvoir modifier (toute erreur est fatale). Il faut compter entre 3 et 6 semaines pour fabriquer le masque, et il est nécessaire de commander de grandes quantités à cause des coûts élevés de production et du processus de fabrication.

**La PROM** Il s'agit d'une ROM que l'utilisateur peut programmer une seule fois. La programmation se fait avec un programmeur spécial, comme montré sur la figure 1.9.

**Structure :** Les connexions à diodes de la ROM sont troquées contre des fusibles prêts à sauter ou des jonctions prêtes à faire des étincelles.

**Programmation :** Les PROM à fusible arrivent en fanfare, avec chaque ligne se tenant par la main aux colonnes (0 dans chaque recoin de mémoire). Ainsi, pour programmer les emplacements des '1', il suffit de provoquer des décharges de courant à travers le programmeur, ce qui aura pour effet de faire sauter les fusibles aux endroits mémoire correspondants.

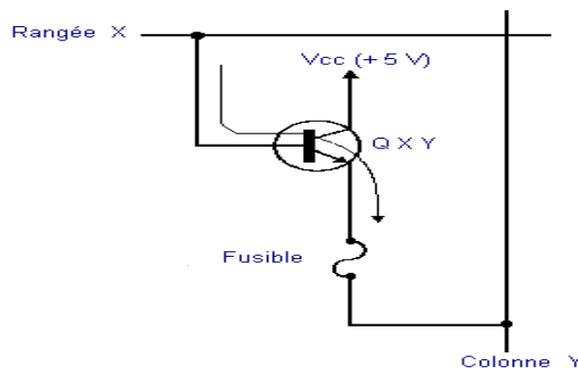


Fig.1.9 Cellule d'une mémoire PROM bipolaire

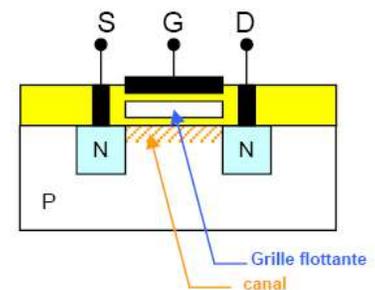
**Avantages :** Claquage en quelques minutes et Coût relativement faible

**Inconvénients :** Modification impossible (toute erreur est fatale).

✓ **L'EPROM ou UV-EPROM** Il est utile de pouvoir reprogrammer une PROM pour corriger des erreurs de programmation ou améliorer un programme. Cette technique de claquage ne le permet pas. L'EPROM est une PROM qu'on peut effacer.

**Structure** Dans une EPROM, le point mémoire est créé à l'aide d'un transistor FAMOS (Floating gate Avalanche injection Metal Oxyde Silicium). Intel a lancé ce transistor MOS en 1971. Il se distingue par sa grille flottante.

**Programmation** En programmation, on place des éléments dans une grille virtuelle. Pour cela, il faut d'abord créer une forte tension entre la Grille et la Source. Si on met une tension entre D et S, le canal devient conducteur. Comme la tension entre la grille et la source est élevée, les électrons sont détournés de leur



trajectoire vers la grille flottante où ils sont piégés. Cette batterie dure environ dix ans dans des conditions normales.

☞ Une exposition de vingt minutes à la lumière ultraviolette peut effacer la charge stockée dans la grille flottante. Cet effacement peut être reproduit plus de mille fois. Les boîtiers des EPROM ont une petite fenêtre en quartz transparent pour laisser passer les UV. Pour éviter de perdre des informations par erreur, il est important de fermer la fenêtre de suppression pendant son utilisation.

**Les points positifs.** Peut-être reconfiguré et ne perd pas les données.

**Inconvénient** : On ne peut pas effacer une seule cellule en particulier. Effacer la mémoire directement sur place n'est pas possible et écrire dessus est beaucoup plus lent que sur une RAM. Environ mille fois.

**L'EEPROM** est une mémoire qu'on peut programmer et effacer avec de l'électricité. Elle résout le principal problème de l'EPROM et peut être programmée sur place.

☞ Dans une EEPROM, le point de stockage de données est créé en utilisant un transistor SAMOS qui fonctionne de la même manière que le FAMOS, mais avec une distance plus petite entre les deux grilles.

☞ Une tension électrique élevée entre la grille et la source permet de programmer la mémoire. Une tension élevée à l'envers fera sortir les électrons et effacera la mémoire.

**Avantages** : - Fonctionne comme une RAM non volatile.

- Possibilité de programmer et d'effacer mot par mot.

**Désavantages** :

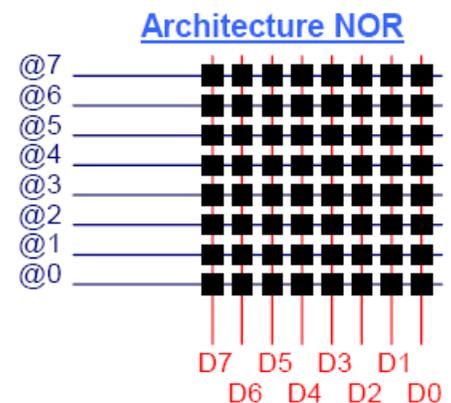
- Elle est très lente en mémoire vive.

- Coûte cher à mettre en place.

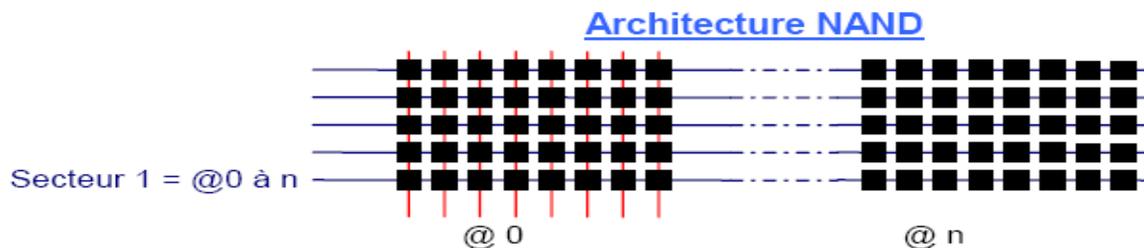
**FLASH EPROM** La mémoire Flash est similaire à la technologie de l'EEPROM. Elle peut être programmée et effacée électriquement, comme les EEPROM.

**Structure** Il y a deux types de technologies différentes qui se distinguent par la façon dont leurs réseaux de mémoire sont organisés : l'architecture NOR et NAND.

**L'architecture NOR** assemble les cellules de mémoire de base en même temps que les lignes de sélection, de la même manière qu'une EEPROM classique.



L'architecture NAND Propose de mettre ces cellules ensemble en série avec les lignes de sélection. Pratiquement, la principale différence entre NOR et NAND réside dans leurs interfaces. Une NOR utilise des bus spécifiques pour les adresses et les données, tandis qu'une NAND a une interface d'E/S indirecte. En revanche, la structure NAND permet d'avoir une implantation plus dense car la taille de la cellule est environ 40 % plus petite que celle de la structure NOR.



Programmation NOR et NAND utilisent le même principe de stockage de charges dans la grille flottante d'un transistor, mais leur réseau mémoire n'offre pas la même facilité d'utilisation. Les Flash NOR permettent de programmer octet par octet grâce à un adressage aléatoire, tandis que les Flash NAND autorisent un accès séquentiel aux données et ne permettent la programmation que par secteur, similaire à un disque dur.

### Avantages

#### Flash NOR :

- ☞ Une RAM non volatile permet de programmer
- ☞ d'effacer des mots individuellement.
- ☞ Le temps d'accès est court.

#### Flash NAND :

- ☞ Une RAM non volatile a un comportement constant.
- ☞ Elle est très compacte et peu coûteuse.
- ☞ Écrire et lire rapidement par groupe.
- ☞ Consommer moins d'énergie.

### Inconvénients

#### Flash NOR :

- ☞ Écriture et lecture lentes par morceaux.
- ☞ Coût élevé.

#### Flash NAND :

- ✓ Il n'est pas possible d'écrire ou de lire par octet.

- ✓ Communication indirecte entre l'ordinateur et les périphériques.

### 1.2.3.2 Mémoires de masse

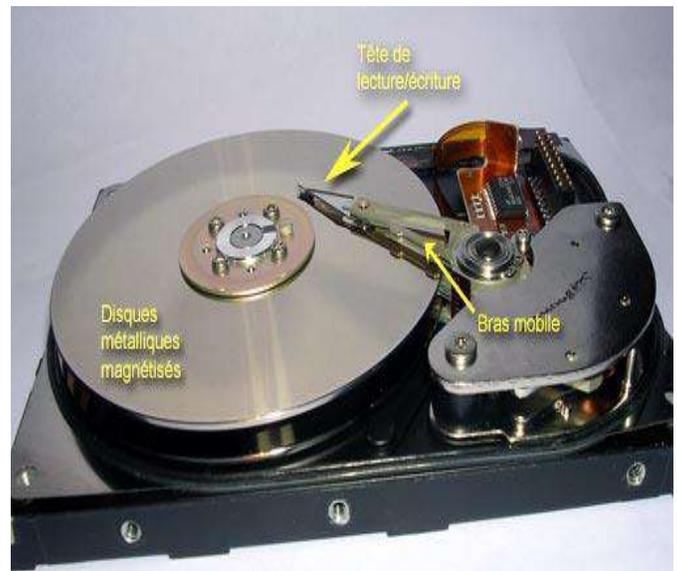
- ☞ Les mémoires de masse sont des outils de stockage qui enregistrent des informations de façon permanente, sans dépendre de la mémoire principale de l'ordinateur. Ces outils peuvent être utilisés pour lire et écrire des informations, les retenir même quand ils sont éteints, et stocker beaucoup de données.
- ☞ Il y en a plusieurs types. Des Disques durs, des disquettes, des clés USB, des CD-ROM, des DVD, des bandes magnétiques, des cartes mémoire...
- ☞ Différentes technologies des mémoires de masse
  - ✓ Technologie magnétique
  - ✓ Le support est couvert de toutes petites particules métalliques qui se comportent comme de petits aimants. L'écriture se produit quand un courant électrique passe dans une bobine, ce qui la rend magnétique et attire les particules métalliques. La lecture se fait en utilisant un courant électrique créé dans une bobine proche d'un aimant. C'est la technologie utilisée pour stocker des données sur des disques durs, des disquettes, des bandes magnétiques, etc.

#### Les éléments importants montrés ici sont

Disques métalliques magnétisables: Un disque dur est composé d'un ou plusieurs disques métalliques sur lesquels on a ajouté une couche magnétique. Ces disques tournent habituellement à 7200 tours par minute.

Bras mobile: Permet de déplacer la tête de lecture/écriture sur toute la surface du disque qui tourne.

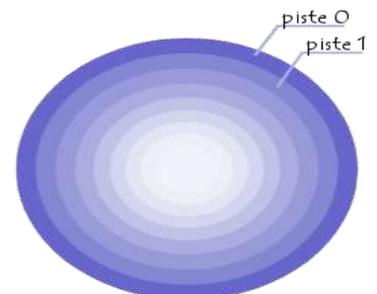
Tête de lecture/écriture : Le bras mobile "vole" très près des disques.



#### Pistes (Tracks)

Chaque plateau contient des pistes où les données sont stockées. Ces pistes sont des cercles qui sont numérotés de l'extérieur (piste 0) vers l'intérieur (piste n) sur la figure 1.5. Secteurs et les blocs (clusters)

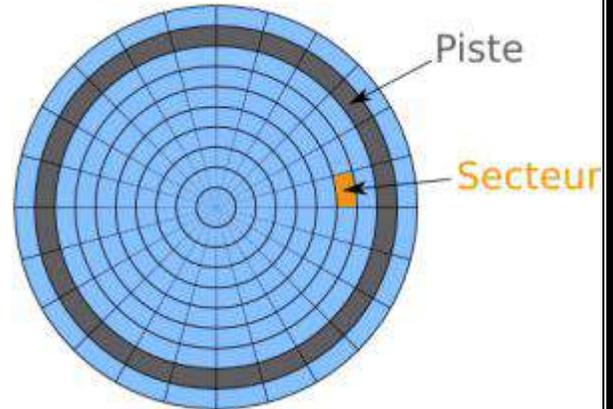
Chaque piste est découpée en petites parties arrondies appelées secteurs. Un secteur est la plus petite partie où l'on peut stocker des données sur un



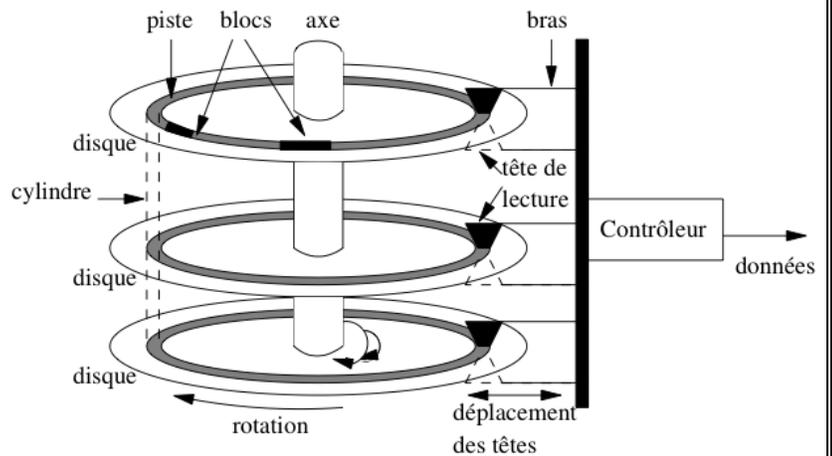
disque dur. En général, les disques durs ont des secteurs de 512 octets, mais maintenant on trouve des disques avec des secteurs de 4 Ko (4096 octets).

**Cylindres**

Avec le disque dur L'accès aux données fonctionne comme un tourne-disque : un moteur fait tourner les plateaux à une vitesse constante, par exemple 7200 tours par minute. En général, il y a deux têtes par plateau. Elles doivent se placer au-dessus et en dessous de la piste pour lire ou écrire. Il faut un deuxième moteur pour bouger les bras qui sont attachés au même axe, ce qui entraîne le déplacement de toutes les têtes en même temps. À un moment précis, toutes les pistes sous ou sur les têtes portent le même numéro, ce qui forme un cylindre.



Bien sûr, c'est un cylindre virtuel qui passe sous toutes les pistes portant le même numéro. Si un fichier ne peut pas être écrit sur une seule piste, il est préférable de le placer sur le même cylindre. L'accès aux données de ce fichier sera plus rapide car il n'y aura pas de mouvement de bras en plus.

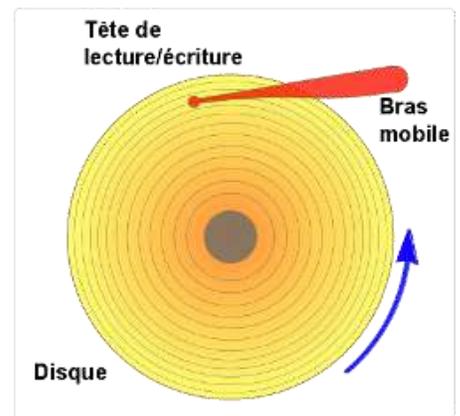


L'écriture sur un disque se fait en changeant la magnétisation d'une partie avec la tête d'écriture, tandis que la lecture se fait en analysant une zone magnétique avec la tête de lecture.

**Mouvements dans le lecteur de disque dur**

Déplacements dans le disque dur Cette image montre comment le disque dur fonctionne. Le disque tourne autour de son centre de rotation

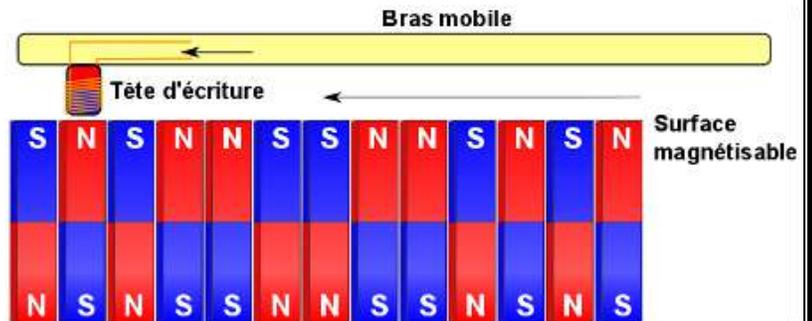
- ✓ Le bras tourne autour de son centre.
  - ✓ La tête de lecture/écriture se déplace sur les pistes.
- Le bras bouge tout le temps pour placer la tête qui lit et écrit sur le disque, là où elle doit lire ou écrire des données enregistrées.



**Fonctionnement du disque dur à l'écriture**

- ✓ La tête d'écriture du disque dur utilise un aimant pour enregistrer des données sur la surface du disque en créant de petits points magnétiques.
- ✓ Sur l'image, on voit une petite partie d'un disque dur où la tête d'écriture magnétise la surface.
- ✓ La tête d'écriture est un aimant

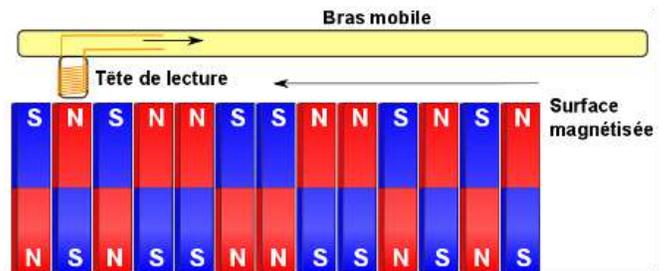
électrique qui rend magnétique la surface du disque. Les pôles de cet électro-aimant changent selon le sens du courant dans la bobine.



- ✓ Dans le matériau, on dirait qu'il y a des petits aimants alignés les uns à côté des autres.
- ✓ Le Pôle Nord est en haut et le Pôle Sud est en bas.
- ✓ Le Pôle Sud est en haut et le Pôle Nord est en bas.

**Fonctionnement du disque dur à la lecture**

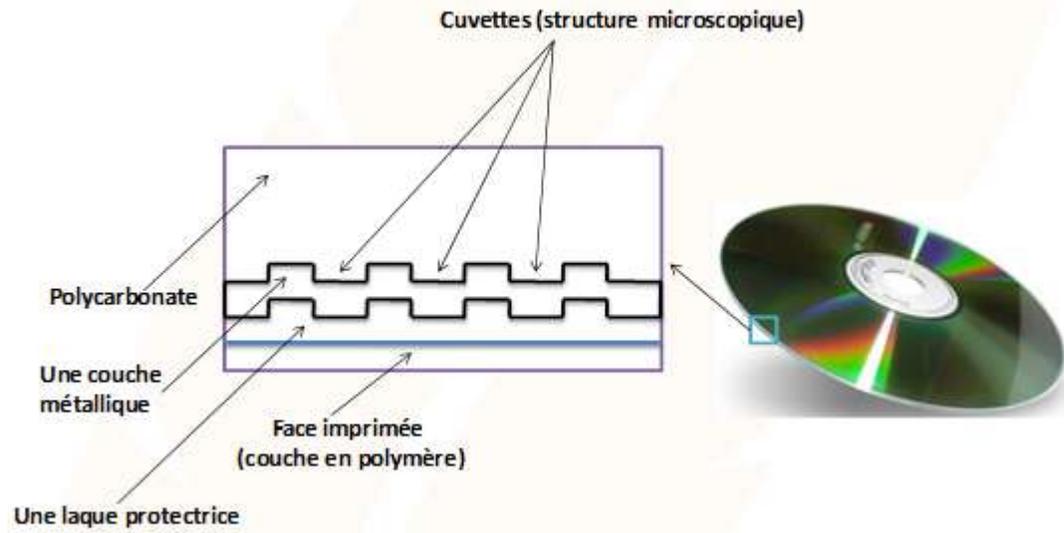
- ✓ La tête de lecture se déplace sur le disque aimanté. Quand elle détecte un changement dans le champ magnétique, elle génère un courant. Ce courant est influencé par la direction des îlots magnétisés (Nord/Sud ou Sud/Nord) présents sur le disque. La tête de lecture lit les informations enregistrées par la tête d'écriture du disque dur.



✓ **Technologie Optique**

On utilise un faisceau laser (fort pour l'écriture, faible pour la lecture). Il existe de nombreuses techniques différentes pour écrire l'information. C'est la technologie utilisée pour les CD et les DVD, Blu-ray. Le disque optique est fabriqué avec du polycarbonate et une fine couche métallique. Sur cette couche métallique, il y a des creux appelés cuvettes ou alvéoles, disposés le long d'une piste (voir Figure 1.10).

Ces cuvettes permettent de coder en binaire. Elles ont une largeur fixe, une longueur qui peut varier et une profondeur d'environ quelques dizaines de nanomètres.



**Fig.1.10** différentes parties d'un CD utilisé pour stocker des données.

☞ En regardant un disque optique au microscope électronique à balayage (MEB), on peut voir des cuvettes ou alvéoles creusées dans le disque (Figure 1.11).

☞ L'intérieur d'une cuvette est appelé "creux" et la distance entre deux cuvettes est désignée par "plat". Les données sur le disque dur sont enregistrées en utilisant des 0 et des 1 dans ses composants en forme d'alvéoles.

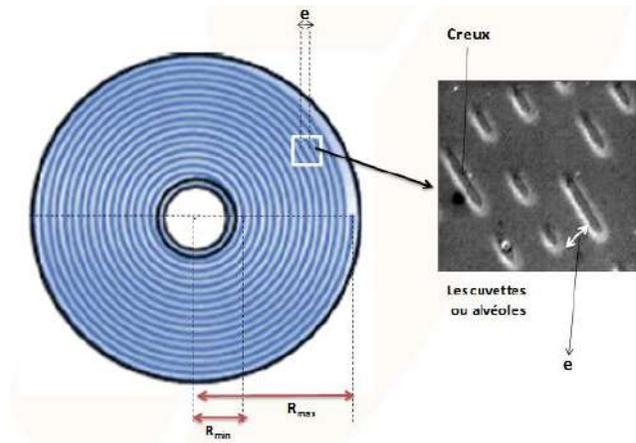
☞ Les cuvettes suivent une piste en spirale entre deux rayons ( $R_{min}$  et  $R_{max}$ ) à l'intérieur du disque optique. À chaque tour, la spirale se déplace d'une distance  $e$ , appelée pas de la spirale, qui correspond à l'espace entre deux rangées de cuvettes consécutives (voir la Figure 1.11). La spirale fait 22188 tours sur une distance d'environ 5 km.

**L'ECRITURE SUR UN DISQUE OPTIQUE** Les données sont enregistrées sur un disque optique en utilisant de petites structures microscopiques (appelées cuvettes ou alvéoles) qui représentent des chiffres binaires (0 et 1). La piste suit une spirale en se déplaçant vers l'extérieur. Le pas dépend du support utilisé.

Pour les CD, la longueur d'onde est de  $1,6 \mu\text{m}$ .

Pour les DVD, l'épaisseur est de  $0,74$  micromètre.

Pour le Blu-ray, l'épaisseur est de  $0,3$  micromètre.



**Fig.1.11** Les différentes parties d'un CD utilisé pour stocker des données.

La différence de pas entre les supports est liée à la longueur d'onde de la lumière du laser utilisée pour la lecture.

Pour les CD, la longueur d'onde est de 780 nm.

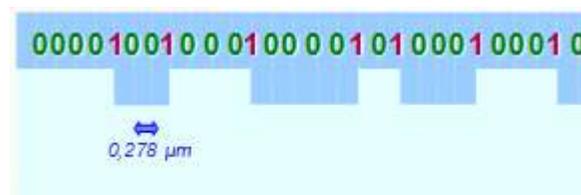
Pour les DVD : 650 nanomètres.

Pour le Blu-ray : 405 nanomètres.

La taille d'un bit sur un CD est standardisée à  $0,278 \mu\text{m}$ . Les deux états possibles sont 1 ou 0, comme indiqué dans la Figure 1.12.

Le chiffre 1 marque le passage d'une descente à une partie plate.

Le chiffre 0 représente une zone continue, que ce soit en creux ou à plat.



**Fig. 1.12** Comment stocker des données en binaire sur un disque

### Les technologies de lecture des données

Le CD-ROM est une cellule photoélectrique qui permet de détecter le rayon réfléchi à l'aide d'un miroir semi-réfléchissant. Lors du passage du laser sur le CD, celui-ci se réfléchit sur les diverses alvéoles, entraînant des variations du signal qui, grâce à la cellule photoélectrique, sont converties en système binaire.

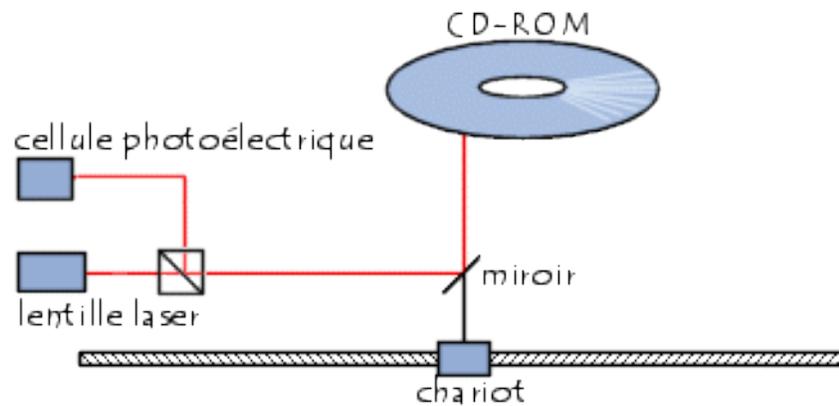


Fig.1.13 Technologie de lecture d'un CD-ROM.

**DVD-ROM** : Les DVD sont disponibles en version « double couche » et se composent d'une couche transparente en or et d'une couche réfléchissante en argent. L'analyse des deux zones est réalisable grâce à des intensités variables du laser : à faible intensité, le faisceau se réfléchit sur la surface dorée ; lorsque cette intensité est augmentée, le faisceau traverse la première couche et se réfléchit sur la surface argentée.

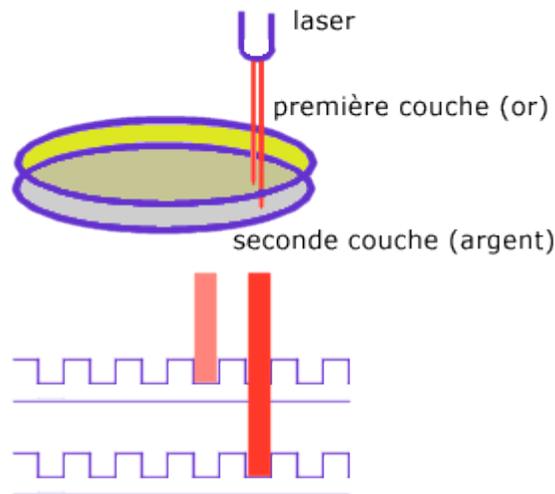
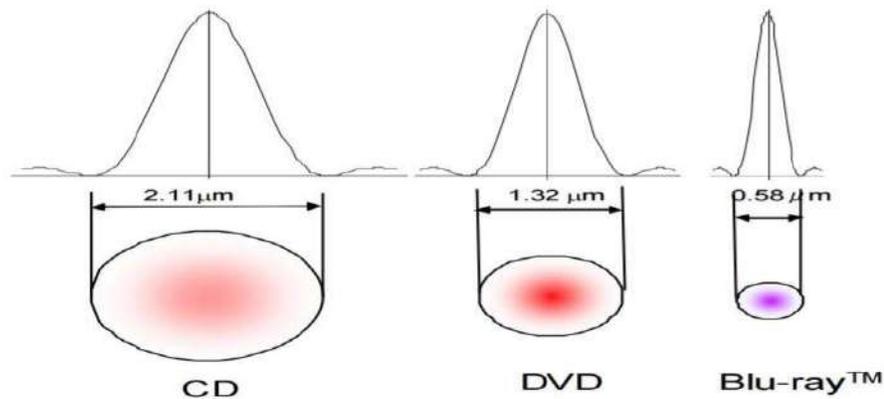


Fig. 1.14 Technologie de lecture d'un DVD-ROM.

**Blu-ray** : Pour accroître la densité, Sony a modifié la longueur d'onde du faisceau laser ainsi que son diamètre. Ils atteignent respectivement 405 nm (comparé à 650 ou 635 nm pour le laser rouge des DVD) et 0,58  $\mu\text{m}$ . Le faisceau acquiert une teinte bleutée, ce qui explique le nom de cette technologie. À la différence des autres disques optiques, les alvéoles doivent être situées au plus près de la surface. La couche de protection finale, composée de polymères, doit être suffisamment dure afin de garantir la protection des données. À l'instar des DVD, les Blu-ray sont disponibles en versions équipées de plusieurs couches pour accroître la capacité de stockage. Par conséquent, il est possible d'avoir jusqu'à

six couches pour stocker un maximum de 200 Go de données. La majorité des disques sont des doubles couches, capables de stocker 50 Go de données.



**Fig. 1.15** Comparatif du diamètre des rayons laser selon le type de support. Avec sa finesse et sa longueur d'onde, le rayon du Blu-ray permet de lire des disques optiques à très haute densité

## LES DIFFERENTS TYPES DE DISQUES OPTIQUES

### Les caractéristiques du CD (Compact Disc) :

- ☞ Environ 700 Mo peuvent stocker environ 74 minutes de musique.
- ☞ Une lumière Laser avec une longueur d'onde de 780 nm.
- ☞ La distance entre deux rangées est de 1,6 µm.
- ☞ Chaque petit morceau enregistré sur le disque est espacé de 0.278 µm.
- ☞ Souvent utilisé pour stocker de la musique et des données en audio.

### Les caractéristiques du DVD (Digital Versatile Disc):

- ☞ Environ 4,7 Go de stockage standard.
- ☞ Une lumière laser avec une longueur d'onde de 635 - 650 nm.
- ☞ La distance entre deux rangées est de 0,74 µm.
- ☞ Un bit sur le disque occupe 0.134 µm.
- ☞ Souvent utilisé pour stocker des vidéos (films, etc.) et des données.

### Les caractéristiques du Blu-ray Disc (BD):

- ☞ Environ 25 Go de stockage standard.
- ☞ Une lumière Laser avec une longueur d'onde de 405 nm.
- ☞ La distance entre deux rangées est de 0,32 µm.
- ☞ Un bit sur le disque occupe 0.048 µm.

☞ Souvent utilisé pour stocker des films en haute définition, en 3D...

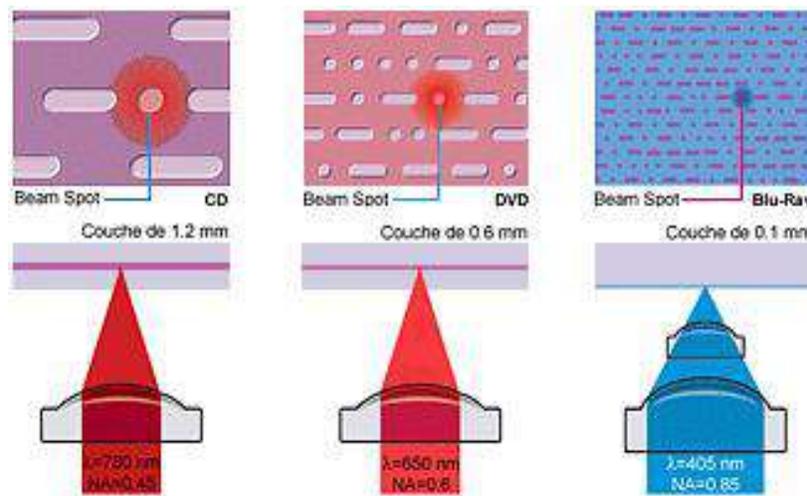


Fig. 1.16 schéma représente différentes types de disque optique

✓ **Technologie magnéto-optique**

L'écriture s'effectue au moyen d'une technologie magnétique. La lecture s'effectue à l'aide d'une technologie optique, où un faisceau lumineux subit une rotation dont la direction dépend de la polarisation du champ magnétique qui le réfléchit, phénomène connu sous le nom d'effet de Kerr. Il s'agit de la technologie employée pour les MiniDisc, les disques Iomega Zip, les disques LS-120 et les disques Sony HiFD (High Capacity Floppy Disk).

**1.2.4. Critères de choix d'une mémoire** Les principaux critères à retenir sont : capacité, vitesse, consommation et coût.

**1.3. Fichiers et Gestion d'entrées/sorties**

Stockage de résultats de mesure en mémoire → **Fichiers**

Transfert de résultats de mesure en mémoire → **Entrées -Sorties**

Avant de manipuler des interruptions d'entrée-sortie, il nous faut présenter les notions de *fichier*

**1.3.1 Fichiers :** Dans le langage courant, un fichier informatique désigne une collection ou un ensemble de données numériques regroupées sous un nom commun et enregistrées sur un support de stockage permanent, tel qu'un disque dur, un CD-ROM ou une mémoire flash.....

Les fichiers sont enregistrés sur le disque dur sous la forme "*nom\_du\_fichier.extension*", alors un fichier contient un nom + une extension pour connaître son type.

**Exemple 1.1 :**

.pdf extension ou format pour connaître les fichiers Acrobat Reader

.zip extension ou format pour connaître les fichiers Winrar

.doc extension ou format pour connaître les fichiers Word 2003 (traitement de texte)

.docx extension ou format pour connaître les fichiers Word 2003/2007/2010 (traitement de texte)

.txt extension ou format pour connaître les fichiers texte

.exe extension ou format pour connaître les fichiers exécutable

.vi extension ou format pour connaître les fichiers **labview**

.gif extension ou format pour connaître les fichiers image

- Il existe deux formats principaux pour stocker une série de valeurs numériques, les fichiers textes et les fichiers binaires.

**Les fichiers textes** : Les données sont conservées sous une forme caractérisée par des caractères pouvant être interprétés par un éditeur de texte, principalement des lettres et des chiffres.

✓ Un fichier texte est formé de caractères **ASCII**, organisé en ligne, chacune se termine par un caractère de contrôle de fin de ligne. Si chaque ligne contient le même genre d'informations, les lignes sont appelées des enregistrements.

✓ Par exemple, prenons le cas de départ, le fichier est destiné à stocker les coordonnées : nom, prénom, adresse et téléphone de chaque client. Dans ce cas, les informations concernant un client donné doivent être stockées sur une seule ligne.

✓ Les fichiers texte peuvent être créés avec des éditeurs de texte et affichés de manière lisible à l'écran

**Les fichiers binaires** : Les données sont conservées sous forme binaire, constituant une séquence d'octets.

✓ Un fichier binaire contient des données non textuelles. Il n'est pas organisé sous forme d'enregistrement.

✓ Les fichiers binaires doivent être utilisés avec un programme spécifique pour être compris. Par exemple, un fichier audio, une vidéo, une image, un programme que l'on peut exécuter, etc.

✓ En binaire, les données sont enregistrées exactement comme elles sont stockées en mémoire.

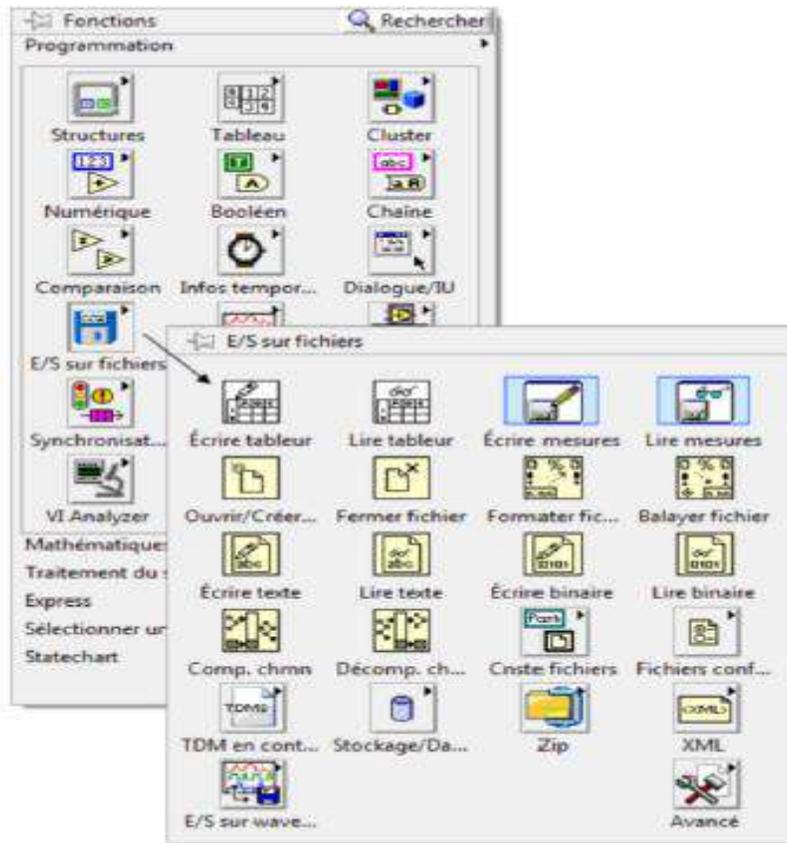
### **1.3.2 E/S sur fichiers utilisant 'Software LABVIEW'**

☞ LabVIEW permet de créer, d'écrire, de lire des données et, plus généralement, de manipuler les quatre formats de fichiers suivants :

☞ Le format binaire offre une compacité extrême, ce qui le rend particulièrement adapté à l'acquisition de données à haute vitesse et multivoies.

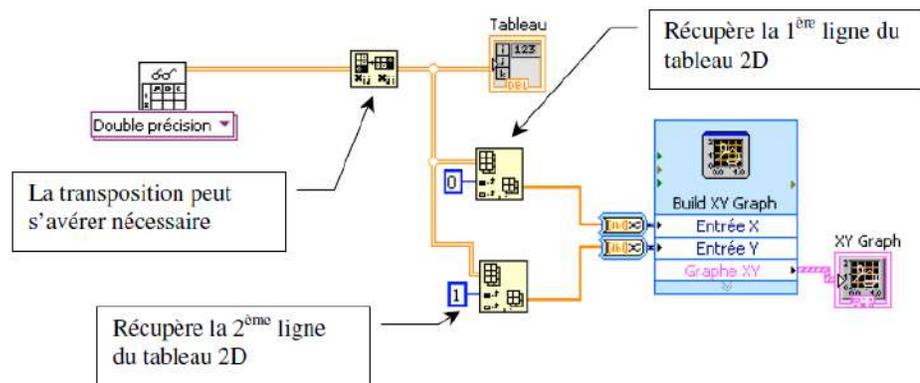
- ☞ ASCII : Les données sont codées sous forme de chaînes de caractères (texte en clair), ce qui rend le format particulièrement adapté à une utilisation en acquisition à basse vitesse (accessible par traitement de texte).
- ☞ LVM : les données ASCII (Champs) sont délimitées par des tabulations ou par un fichier de mesures. LABVIEW peut être accessible via un tableur.
- ☞ TDMS : données binaires structurées dont les caractéristiques sont conservées dans un fichier annexe (format propriétaire NI).
  - ✓ LabVIEW propose divers formats de fichiers d'E/S. Certains bénéficient d'un avantage d'interchangeabilité sur diverses plateformes, mais leur volume, comme celui des fichiers ASCII, constitue un inconvénient.
  - ✓ La lecture des fichiers binaires ne pose pas de problèmes significatifs avec les machines de plus en plus rapides, mais ces fichiers ne peuvent pas être partagés entre différentes plateformes.
- ☞ Trois types distincts peuvent être identifiés :
  - ☞ des chaînes dans des fichiers texte,
  - ☞ des tableaux 1D ou 2D dans des fichiers texte de type tableur,
  - ☞ et des tableaux 1D ou 2D de type binaire.
- ☞ National Instruments a conçu le format TDMS, un format de fichier propriétaire qui facilite la gestion et la documentation des fichiers de mesure, largement utilisés dans l'industrie. Les fichiers au format TDMS sont des fichiers binaires destinés à stocker des waveforms.
- ☞ Dans le secteur industriel, il est généralement nécessaire de sauvegarder les mesures obtenues sur le banc d'essai afin de les analyser ultérieurement.
- ☞ LabVIEW offre diverses fonctions d'E/S permettant de sauvegarder des signaux dans différents types de fichiers, tels que le texte, le tableur, le binaire, etc.

- Les VIs associés à l'écriture et à la lecture de fichiers sont disponibles dans la palette E/S sur fichiers, symbolisée par une disquette. LabVIEW offre une variété d'autres types d'E/S sur fichiers, notamment binaire, journaux, ZIP et XML.

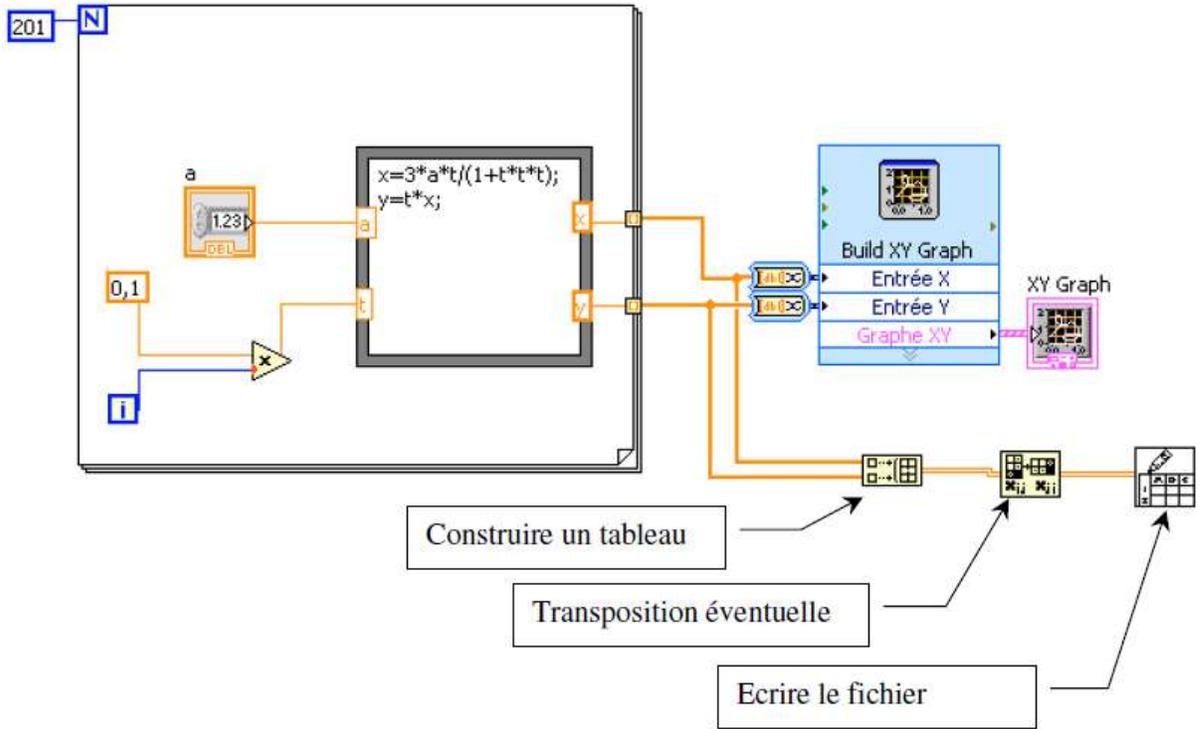


**Exemple 1.2. LECTURE DE FICHER TABLEUR**

Ce diagramme facilite l'ouverture d'un fichier tableur à travers une boîte de dialogue dédiée, la transposition des données (conversion des lignes en colonnes) et l'affichage des résultats dans un tableau à deux dimensions.



Exemple 1.3. ECRITURE DE FICHIER TABLEUR



**Chapitre 02:**

**Carte ARDUINO UNO 'Microcontrôleur**

**ATmega328'**

## 2.1 Introduction

Tout d'abord un processeur est un circuit électronique programmable et reprogrammable, de plus il traite des informations de manière automatique selon des programmes qui ont été enregistrées par exemple dans les mémoires. Il y a deux types de processeur : **microprocesseur et microcontrôleur**.

## 2.2 Différence entre un microprocesseur et un microcontrôleur

Un microcontrôleur est généralement moins puissant qu'un microprocesseur en terme de rapidité ou de taille mémoire, nous pouvons dire c'est un Microprocesseur conventionnel + périphériques Intégrés dans une puce. Il est **Intégrés** : Mémoires, Circuits d'horloge, Ports parallèles, timers, compteurs, ports série, Convertisseurs analogiques CAN/ CNA, Périphériques spécialisés : I<sup>2</sup>C, Contrôle moteur MLI(PWM)....., qui constituent un système autonome à eux seuls.

Ceci en fait un composant très bon marché parfaitement Adapté pour piloter les applications embarquées dans de nombreux domaines d'application. Il existe deux grandes différences d'architecture remarquées.

✚ **Selon l'organisation de l'architecture:** Pour l'organisation des différentes unités, il existe deux architectures : **L'architecture Von Neumann et L'architecture Harvard (Voir chapitre 01)**

✚ **Selon le Type d'architecture d'un processeur**

✓ **Architecture CISC (Complex Instruction Set Computer)** C'est une architecture avec un grand nombre d'instructions. Le processeur doit exécuter des tâches complexes par instruction unique. Donc, pour une tâche donnée, une machine CISC exécute un petit nombre d'instructions mais chacun nécessite un plus grand nombre de cycles d'horloge (Intel 8086, Pentium, Motorola 68000, PowerPC.....).

✓ **Architecture RISC (Reduced Instruction Set Computer)** Architecture dans laquelle les instructions sont en nombre réduit (chargement, branchement, appel sous-programme) et elles sont fréquemment utilisées. On trouve donc une meilleure performance à une vitesse donnée (le gain en performance envisageable est important mais dépend de la qualité du compilateur). Processeurs RISC : PowerRISC (IBM/Motorola), PIC chez micro-chip, Atmega 320.

## 2.3 Choix d'un microcontrôleur

Le microcontrôleur est choisi en fonction de deux critères principaux

✚ **Puissance du processeur**

- ✓ Format des mots traités (8bits, 16bits...),
- ✓ Fréquence d'horloge
- ✓ Architecture interne (optimisée ?)
- ✓ Jeu d'instructions et adressages, nombre de registres.

✓ Adaptation aux langages évolués.

✚ **L'adaptation de son architecture interne aux besoins de l'application (Périphériques intégrés)**

✓ Mémoire interne (RAM, ROM, EEPROM...)

✓ Nombre de lignes d'E/S

✓ Nombre de compteurs, précision, ...

✓ Périphériques spécialisés

✚ **Autres critères de choix :**

✓ Le coût du composant

✓ Le coût du système de développement

✓ Consommation

✓ Langages disponibles et efficacité

✓ Ressources disponibles (Internet)

✓ Connaissance du système

✓ Première mise en oeuvre difficile (système complexe)

**Avantages :** Système à faible coût, Encombrement réduit, Meilleure fiabilité, Mise en œuvre facilitée

**Inconvénients :** Performance des périphériques réduite, Inadaptés à la gestion de gros systèmes, utilisation simultanée de tous les périphériques impossible, Complexité du système.

**Domaines d'utilisation :** Systèmes embarqués, Petits systèmes économiques, Systèmes de commande à faible diffusion (prototypes...), Tout système ne nécessitant pas des ressources importantes.

**Familles d'un microcontrôleur**

Il y a plusieurs types de microcontrôleurs, les plus populaires sont :

✓ La famille de microcontrôleurs Atmel AT91 et Atmel AVR.

✓ Le C167 de Siemens/Infineon.

✓ La famille Hitachi H8.

✓ La famille Intel 8051 s'agrandit constamment. De nos jours, certains nouveaux processeurs intègrent un cœur 8051 accompagné de différents composants comme des ports d'entrée/sortie, des compteurs, des convertisseurs analogique/numérique et numérique/analogique, un système de surveillance de la tension, etc.

✓ L'Intel 8085, qui devait être un microprocesseur, a souvent été utilisé comme microcontrôleur.

✓ Le Motorola 68HC11.

✓ La famille des PIC de Microchip.

✓ Les ST6 de STMicroelectronics.

✓ la famille ADuC d'Analog Devices

- ✓ La famille PICBASIC de Comfile Technology.

Un microcontrôleur peut être programmé une fois pour toutes pour effectuer une ou des tâches précises au sein d'un appareil électronique. Les microcontrôleurs récents peuvent être reprogrammés et ceci grâce à leur mémoire permanente de type FLASH Plusieurs Constructeurs se partagent le marché des microcontrôleurs, citons

INTEL, MOTOROLA, ATMEL, ZILOG, PHILIPS et MICROCHIP

**2.4 ARDUINO UNO** est une plateforme 'open source', on peut dire c'est une carte électronique dotée d'un microcontrôleur programmable chez ATMEL (ATmega 328). Il peut être utilisé pour développer des objets interactifs, munis d'interrupteurs ou de capteurs, et peut contrôler une grande variété de lumières, moteurs ou toutes autres sorties matérielles **Figure.2.1**.



**Fig.2.1** Carte ARDUINO UNO

### **2.5 Schéma interne du microcontrôleur ATmega 328P**

- ✓ **Microcontrôleur ATmega328P** C'est le cerveau de la plateforme ARDUINO UNO. Il va recevoir un programme que nous allons créer et va le stocker dans sa mémoire avant de l'exécuter. Grâce à ce programme, il va savoir faire des tâches, qui peuvent être : faire clignoter une LED, afficher des caractères sur un écran, envoyer des données à un micro-ordinateur...figure 2.2

Le microcontrôleur ATmega 328P renferme dans un seul composant :

- ✓ Processeur 8 bits à architecture RISC,
- ✓ Des ports pour l'alimentation et Reset,
- ✓ Horloge ,
- ✓ Mémoires avec des espaces physiques séparés :
  - ☞ Mémoire Flash (32 Ko) pour les programmes,
  - ☞ Mémoire vive SRAM (2 Ko) pour les données,
  - ☞ Mémoire EEPROM (1 Ko) pour les données de sauvegarde.

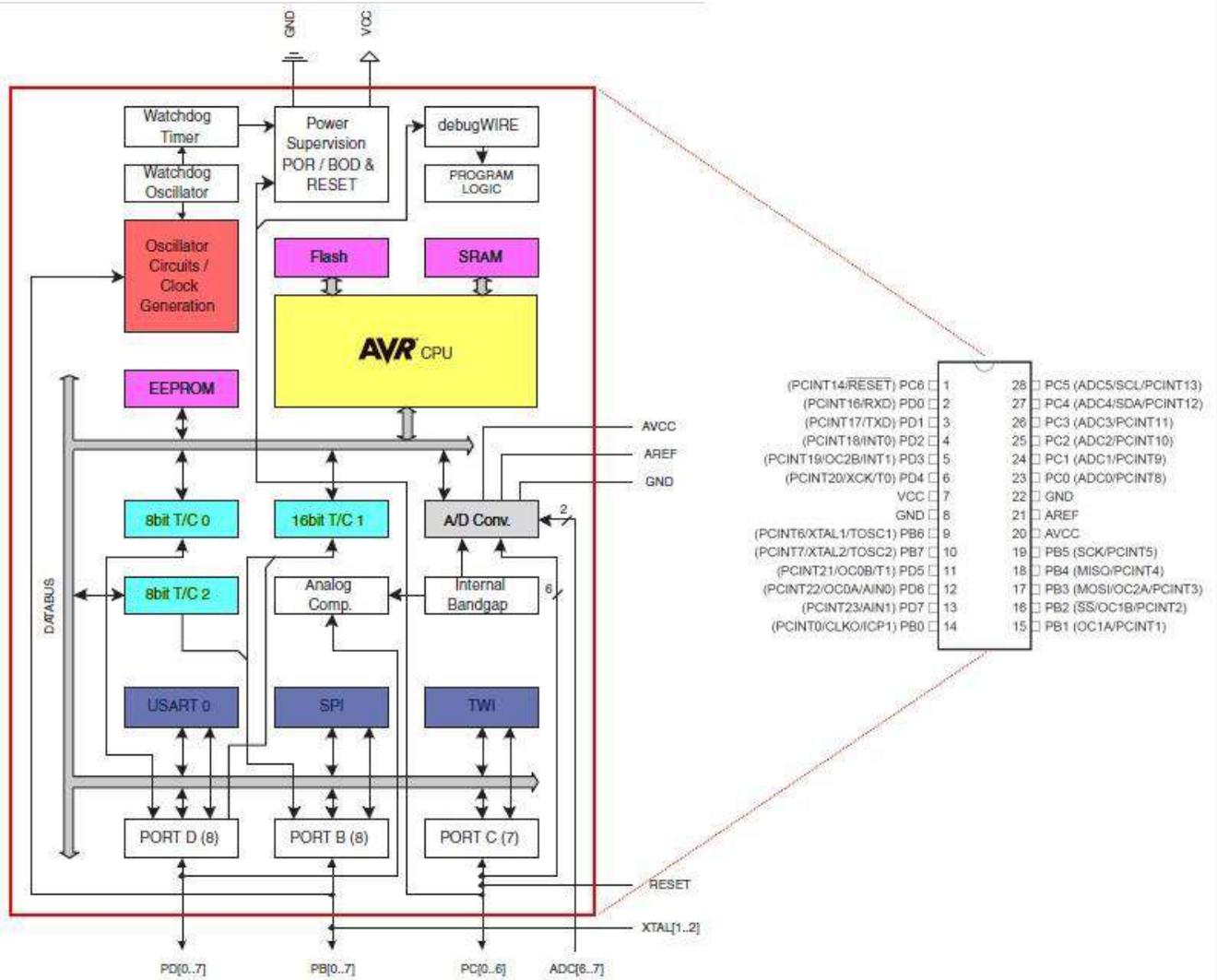


Fig. 2.2 Schéma interne d'un microcontrôleur ATmega 328

✓ Périphériques d'entrée-sortie permettant au processeur d'accéder au monde extérieur :

- ☞ 14 d'entrée-sortie numérique
- ☞ 06 d'entrée Analogique
- ☞ Convertisseur Analogique-Numérique (CAN) sur 10 Bits,
- ☞ 03 Timers/Counters (T/C) 8 et 16 bits,
- ☞ Interfaces de communication série (UART, SPI, TWI compatible I2C...).

2.5.1 Processeur 8 bits à architecture RISC

2.5.2 Alimentation La carte ARDUINO UNO peut être alimentée de plusieurs manières : par le biais d'un câble USB, par un bloc secteur externe connecté via une prise « jack » de 2,1 mm, ou encore par un

bloc de piles dont le raccordement s'effectue à travers les bornes « GND » et « Vin » du connecteur d'alimentation. L'alimentation externe doit avoir une tension comprise entre 7 et 12 V.

✓ La carte produit, au moyen de régulateurs intégrés, deux tensions stabilisées : 5 V et 3,3 V. Ces deux tensions sont utilisées pour alimenter les composants électroniques de la carte ARDUINO. Disponibles sur des connecteurs situés sur le pourtour des cartes, elles permettent également d'alimenter les modules Shields.

**2.5.3. Horloge :** L'horloge est régulée par un oscillateur à quartz et opère à une fréquence de 16 MHz.

**2.5.4. Mémoires :** Le microcontrôleur ATmega 328 est équipé de 32 Ko de mémoire Flash, ce qui permet de stocker le programme à exécuter.

✓ Il comprend également 2 Ko de mémoire vive (SRAM). Cette mémoire est généralement employée pour la conservation des résultats temporaires lors des opérations de calcul. Elle peut être lue et écrite à tout moment par le microcontrôleur, mais son contenu est perdu dès que l'alimentation est coupée.

✓ L'ATmega 328 est également équipé de 1 Ko de mémoire EEPROM, permettant ainsi au programme de sauvegarder des données persistantes. L'accès au contenu de ce mémoire est possible grâce aux fonctionnalités de la bibliothèque « EEPROM ».

**2.5.5. Entrées/Sorties (E/S)**

✓ La carte « ARDUINO UNO » est équipée de 14 entrées/sorties numériques et de 6 entrées analogiques. Chacune des 14 broches numériques peut être configurée en tant qu'entrée (input) ou sortie (output) sous le contrôle du programme. Le mode de fonctionnement peut même changer de manière dynamique au cours de son exécution.

✓ Elles opèrent selon une logique TTL (0V-5V) et peuvent chacune fournir (source) ou recevoir un courant maximal de 40 mA. De plus, elles sont équipées, si nécessaire, d'une résistance interne de « pull-up ».

✓ Certaines broches peuvent avoir plusieurs fonctions différentes sélectionnées par programmation, comme décrit ci-dessous :

N-E/S	N-ligne-de-porte	Fonction
0	PD0	Rx : Entrée liaison série synchrone
1	PD1	Tx : Sortie liaison série synchrone
2	PD2	INT0 : Entrée interruption externe
3	PD3	INT1 : Entrée interruption externe
		OC2B : PWM modulation à largeur d'impulsion
4	PD4	T0 : Entrée Timer/compteur-0
		XCK : Entrée horloge
5	PD5	T1 : Entrée Timer/compteur

6	PD6	OC0A : Sortie module PWM modulation à largeur d'impulsion AIN0 : Entrée comparateur analogique
7	PD7	AIN1 : Entrée comparateur analogique
8	PB0	ICP1 : Entrée de capture Timer/compteur-1 CLKO : Sortie de l'horloge de fonctionnement
9	PB1	OC1A : Sortie module PWM modulation à largeur d'impulsion
10	PB2	SS : Sélect Slave liaison SPI OC1B : Sortie module PWM modulation à largeur d'impulsion
11	PB3	MOSI : Sortie liaison SPI OC2A : Sortie module PWM modulation à largeur d'impulsion
12	PB4	MISO : Entrée liaison SPI
13	PB5	SCK : Horloge liaison SPI

☞ **Entrées/Sorties Numérique** : le microcontrôleur ATmega328P contient 14 E/S ( $D_0, D_1, \dots, D_{13}$ ) numérique, ne peuvent prendre que deux valeurs, la valeur LOW (GND, 0 V), et la valeur HIGH (5 V). La valeur d'un port numérique peut donc être codée sur un bit, 0 ou 1, True ou false (voir le schéma ci-après).



✓ La carte ARDUINO UNO comporte 14 E/S numériques (appelées DIGITAL sur la carte), numérotées de 0 à 13 (voir le schéma ci-dessus), Chacun de ces ports peut-être déclaré comme étant **une entrée ou comme une sortie** dans le programme du microcontrôleur.

✓ Le dernier port, D13, possède un indicateur lumineux, une LED qui s'allume quand le port est HIGH, et qui s'éteint quand le port est LOW. Le port GND est la masse de la carte (0 V).

**Exemple 3.1**

1. Ecrire un programme pour contrôler l'état de LED de la broche  $D_{13}$ ?

☞ Allumer et éteindre la LED sans temporisation et sans fin?

☞ Allumer et éteindre la LED avec temporisation (1s) et sans fin?

2. Expliquer chaque instruction?

3. Dessiner l'organigramme pour ce programme?

4. Créer une interface par software LABVIEW (Voir TPs)?

✓ **Les instructions utilisent dans E/S numérique**

PinMode (Pin, OUTPUT); // Initialise le Pin (0....13) comme sortie.

```

PinMode (Pin, INPUT) ; // Initialise la broche comme entrée
digitalWrite(Pin, HIGH); // Met la broche au niveau haut
digitalWrite(Pin, LOW); // Met la broche au niveau bas
    
```

<u>Programme</u>	<u>Explication</u>	<u>Organigramme</u>
<pre> void setup() // début de la fonction setup() {   pinMode(13, OUTPUT); // Initialise la broche 13 comme sortie } // fin de la fonction setup()  void loop() // début de la fonction loop() {   digitalWrite(13, HIGH); // Met la broche 13 au niveau haut = allume la LED   digitalWrite(13, LOW); // Met la broche 13 au niveau bas = éteint la LED } // fin de la fonction loop()     </pre>		<pre> graph TD     A([Debut]) --&gt; B[La Broche 13 en sortie]     B --&gt; C[La broche 13 au niveau haut]     C --&gt; D[La broche 13 au niveau BAS]     D --&gt; E([FIN])     </pre>

<u>Programme</u>	<u>Explication</u>	<u>Organigramme</u>
<pre> void setup() // début de la fonction setup() {   pinMode(13, OUTPUT); // Initialise la broche 13 comme sortie } // fin de la fonction setup()  void loop() // début de la fonction loop() {   digitalWrite(13, HIGH); // Met la broche 13 au niveau haut = allume la LED   delay(1000); //Pause de 1000ms   digitalWrite(13, LOW); // Met la broche 13 au niveau bas = éteint la LED   delay(1000); //Pause de 1000ms } // fin de la fonction loop()     </pre>		<pre> graph TD     A([Debut]) --&gt; B[La Broche 13 en sortie]     B --&gt; C[La broche 13 au niveau haut]     C --&gt; D[Pause 1000ms]     D --&gt; E[Pause 1000ms]     E --&gt; F[La broche 13 au niveau BAS]     F --&gt; G([FIN])     </pre>

☞ Sorties Pseudo –analogique: nous pouvons également générer un signal MLI (La modulation de largeur d'impulsions 'MLI' ; en anglais : **Pulse Width Modulation**, soit PWM) à partir des broches 3, 5, 6, 9, 10,11 (sont identifiées par un "~", voir le schéma ci-après), utilisées comme des entrées pseudo-analogique.



**Exemple 3.2**

1. Ecrire un programme pour varier la luminosité d'une LED ?
2. Expliquer chaque instruction
3. Donner l'organigramme de ce programme ?

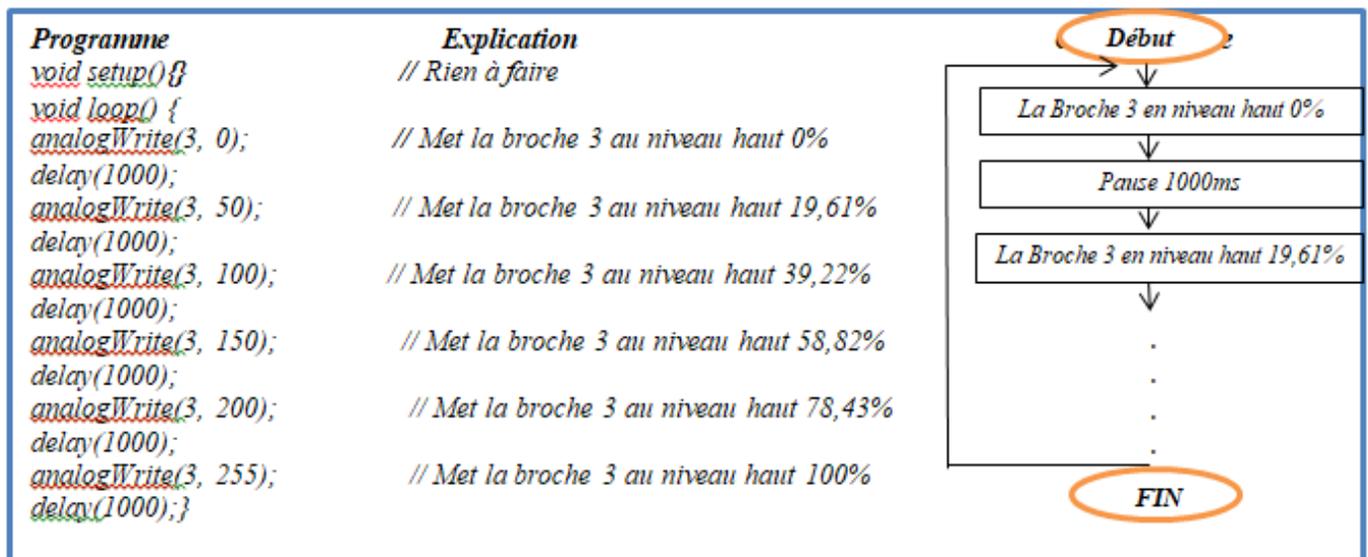
- ✓ Pour changer la luminosité d'une LED, il suffit de modifier le courant électrique qui passe à travers elle. Cependant, si on la connecte à une carte ARDUINO, cela ne fonctionnera pas car les broches de 0 à 13 sont uniquement numériques. Elles ont seulement deux états : allumé (50%) ou éteint (50%), c'est-à-dire 0 ou 1. Pour changer la luminosité d'une LED, on utilise la fonction PWM. Il faut alterner rapidement les hauteurs des broches à fréquence élevée. Si la LED est allumée 25% du temps en position haute et 75% du temps en position basse, elle sera moins lumineuse que si elle était allumée 50% du temps en position haute et 50% du temps en position basse.
- ✓ Le signal PWM varie de 0 à 255, ce qui correspond à 0% à 100%. La valeur minimale est 0 (0%) et la valeur maximale est 255 (100%).
- ✓ Pour trouver la valeur du signal PWM en pourcentage, nous appliquons la règle de trois :

$$\begin{array}{ccc} 255 & \longrightarrow & 100\% \\ 100 & \longrightarrow & X \end{array}$$

$$\text{D'où } X = \frac{100 \cdot 100\%}{255} = \frac{100\%}{2.55} = 39.22\%$$

☞ L'instruction utilisée dans E/S pseudo analogique

digitalWrite(Pin, valeur); // Met la broche à la valeur entre (0 et 255)



☞ Entrées analogique La carte ARDUINO UNO a 6 entrées analogiques numérotées de A0 à A5. En fait, le microcontrôleur ne peut pas comprendre un signal analogique. Il faut le transformer en signal numérique en utilisant un circuit spécial appelé convertisseur analogique/numérique CAN. Ce convertisseur va mesurer le signal reçu en tension et le changer en nombres entre 0 et 1023 sur 10 bits.



### Exemple 3.3

1. Ecrire un programme pour lire la valeur analogique  $V_1$  de diviseur de tension sur l'entrée analogique 3 de la carte ARDUINO UNO selon le schéma ci-après ?
2. Trouver la valeur numérique ?

// La valeur lue sera comprise entre 0 et 1023

// La valeur  $V_1$  est  $V_1 = \frac{R_2}{R_2+R_1} V_{dd} = \frac{1}{3} * 5 = 1.67 \text{ volt}$

// La valeur numérique est selon la règle de trois

$$\begin{array}{ccc} 5 & \longrightarrow & 1023 \\ 1.67 & \longrightarrow & Y \end{array}$$

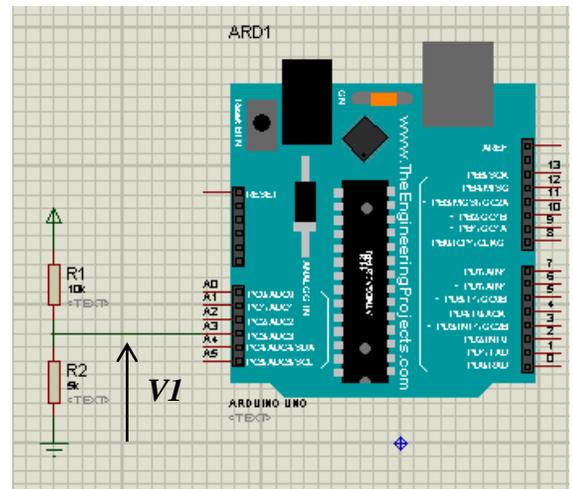
$$Y = \frac{1.67 * 1023}{5} = 342$$

```
int valeurLue = 0;
setup()
{
void loop()
{
valeurLue = analogRead(A3); // on mesure la tension du
capteur sur la broche analogique 3
}

```

### ☞ Calcul le Pas du CAN

Qu'est-ce que la soustraction ? Il s'agit simplement de la tension minimale détectable par le convertisseur. Si je mets le bit de poids le plus faible à 1, quelle sera la valeur de la tension analogique  $V_{analog}$ ? Le convertisseur a une tension de référence de 5 volts. Son



nombre de bit est de 10. Donc il peut "lire" :  $2^{10}$  valeurs pour une seule tension. Ainsi, sa précision sera de :  $\frac{5}{2^{10}} = \frac{5}{1024} = 0,0048828125V$ .

☞ Il faut donc retenir que, pour ce convertisseur, sa précision est de 4.883mV. Donc, si on lui met une tension de 2mV par exemple sur son entrée, le convertisseur sera incapable de la voir et donnera un résultat égal à 0V.

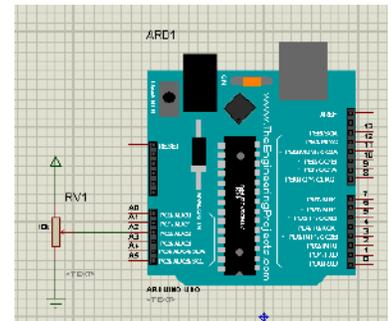
### Exemple 3.4

1. Ecrire un programme pour lire la valeur analogique V1 à partir de potentiomètre sur l'entrée analogique 3 de la carte ARDUINO UNO selon le schéma ci-après ?

2. Ecrire (afficher) la valeur analogique sur la voie série ?

☞ En Millivolt?

☞ En Volt?



```
void setup() {
// Initialise la communication avec le PC
Serial.begin(9600);
}

void loop() {
// Mesure la tension sur la broche A3
int valeurLue = analogRead(A3);
// Transforme la mesure (nombre entier) en tension via un produit en croix, donne un résultat en V
float tension = valeurLue * (5.0 / 1023.0);
// Transforme la mesure (nombre entier) en tension en utilisant le pas, donne un résultat en mV
float tension1 = valeurLue * 4.883;
// Envoi la mesure au PC pour affichage et attends 250ms
Serial.println(tension);
Serial.println(tension1);
delay(250);
}
```

Chapitre 03 :

*Bus d'instrumentation*

### **3. Introduction**

Les bus d'instrumentation sont des réseaux de communication industriels spécialisés qui facilitent l'interaction entre des équipements d'automatisme et des instruments, des appareils ainsi que des systèmes conçus pour la mesure. Cela peut concerner des transmetteurs de mesure ou des transmetteurs de commande analogique, ainsi que des applications logicielles responsables du réglage, de la calibration et du diagnostic des instruments.

#### **3.1 Liaisons série et parallèle**

On peut envoyer des signaux numériques de deux façons différentes. en série ou en parallèle Pendant longtemps, la liaison série était très populaire car elle nécessitait seulement un conducteur. Dans les années 80, la connexion en parallèle a concurrencé la connexion en série chaque fois qu'il était possible d'utiliser plusieurs câbles pour avoir des voies de communication plus larges. Cela fonctionne bien pour les courtes distances, c'est pourquoi ce principe a été choisi pour les bus sur la carte mère comme le bus PCI. C'est pareil pour les câbles IDE qui servent à communiquer avec les disques durs, et pour le port parallèle utilisé par l'imprimante. Les communications en série n'étaient pas aussi efficaces pour ce type de connexions rapides sur de courtes distances.

Les transmissions parallèles sont critiquées en ce moment à cause de problèmes d'interférences électromagnétiques entre les conducteurs placés côte à côte. La solution consiste à utiliser la liaison série, qui permet d'augmenter les vitesses de transmission sans causer d'interférences. La liaison série utilise deux câbles appariés pour envoyer des signaux symétriques.

##### **3.1.1. Liaison série**

Normalement, la liaison est assurée par un seul conducteur. C'est le cas des ports COM sur les anciens PC, par exemple. Les ports PS/2 du PC sont aussi utilisés pour brancher le clavier et la souris. Certains types de transmissions, comme les liaisons infrarouges ou par fibre optique, peuvent être vues comme des liaisons série sur un seul câble. Les nouvelles technologies de transmission série incluent USB, SATA, PCI Express, *RS232 et firewire.....*

Dans les liaisons séries les bits de données sont transmis à la suite les uns des autres. Les différences de performance principale de ce type de liaison par rapport aux liaisons parallèles sont :

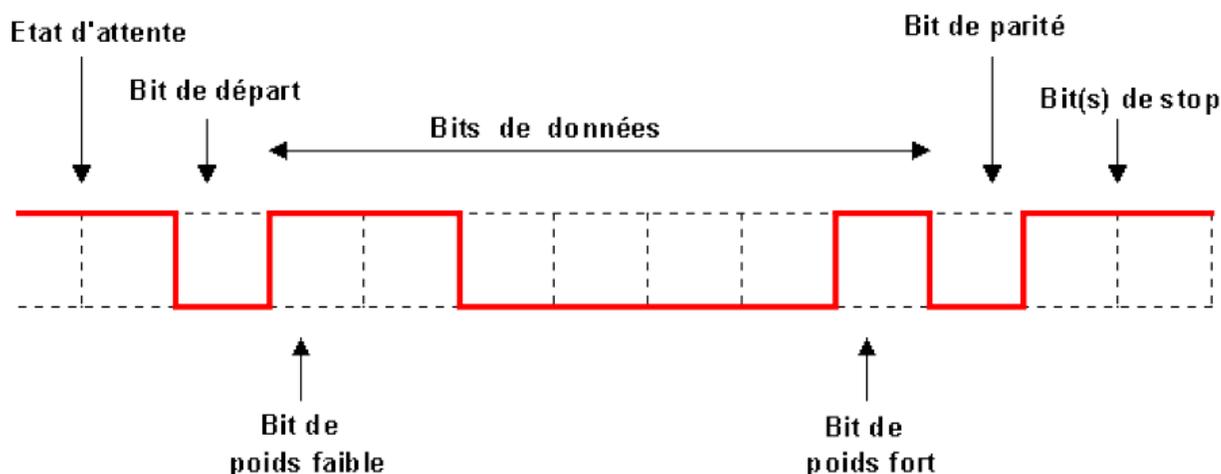
- Une horloge plus rapide n'est pas possible avec une interface parallèle, car les signaux peuvent arriver en décalé et causer des erreurs dans une architecture à haut débit.
- Les câbles série sont moins coûteux que les câbles parallèles.

✓ **Caractéristiques principales**

- ✓ ***Transformation en série.*** Les informations sont envoyées une par une sur la seule ligne de transmission. Les 8 bits de l'octet à envoyer sont envoyés un par un sur un seul fil après avoir été transformés en une séquence par un registre à décalage, au lieu d'être transmis en même temps sur 8 fils parallèles. Le récepteur reçoit 8 bits à la fois, puis les regroupe dans un autre registre pour reformer l'octet initial.
- ✓ ***Vitesse*** à laquelle les données sont envoyées. Les vitesses d'envoi et de réception doivent être les mêmes. Ces vitesses sont mesurées en bits par seconde, **(bps, bit/s, b/s)** mais aussi parfois en **bauds**. De nos jours, la vitesse la plus faiblement couramment employée est de 300 bps (bits par seconde). Des vitesses de 600, 1200, 2400, et 4800 bps sont encore observées, mais les vitesses les plus couramment utilisées sont 9600, 19200 ou 38400 bps (38400 bauds/s). Le processeur ne peut atteindre que 19200 bps (19,2 kbps) en solo. Cependant, grâce aux bus PCI et, en particulier, au DMA (Direct Memory Access), il est possible d'atteindre des débits de 38400 bps (38,4 kbps).
- ✓ **Modes simplex, half-duplex et full-duplex** À un moment donné, les communications sur un conducteur peuvent être seulement dans un sens (mode simplex). On peut aussi utiliser le même conducteur pour envoyer et recevoir tour à tour, c'est ce qu'on appelle le half duplex. Le mode full duplex permet des transmissions simultanées dans les deux sens. Il faut deux conducteurs, un pour envoyer et un pour recevoir.
- ✓ ***Protocole*** L'émetteur et le récepteur doivent être compatibles avec le même protocole. Ce protocole décrit :
  - La vitesse à laquelle les données sont envoyées
  - Les signaux indiquant le début de la communication
  - Les signaux signalant la fin de la communication
  - Des données de contrôle pour vérifier si le message reçu est correct.
- ✓ **Méthodes de transmission** Deux méthodes distinctes sont employées : 1. la communication synchrone ; 2. la communication asynchrone.
  - ✓ **Communication synchrone** Dans le cadre de la communication synchrone, l'émetteur et le récepteur sont synchronisés par une horloge qui mesure avec précision la période séparant chaque bit.
  - ☞ **Communication asynchrone** Dans le cadre de la communication asynchrone, un « marqueur » est intégré au début du flux de bits afin de faciliter le positionnement des bits au sein de ce flux. Lorsque le récepteur détecte la réception du bit de début (start bit), qui est toujours égal à 0, et à condition que les deux ports fonctionnent à la même vitesse, il active un temporisateur et collecte

les bits de données dans un intervalle de temps prédéfini. En maintenant les flux non contrôlés (bits de données après le bit de début) à une durée courte, on limite la probabilité d'erreur.

☞ Dans une liaison asynchrone, la ligne des données transporte des informations binaires à une cadence prédéfinie, désignée sous le terme de vitesse de transmission. La séquence doit avoir le format ci-dessous.



☞ **Les bits, leur parité et leur vitesse** En état de repos, la ligne supporte un signal au niveau logique élevé (NL1). Dès le commencement de la transmission, la ligne se situe à un niveau bas (NL0) : il s'agit du signal de départ. Les données sont transmises sur la ligne Tx en débutant par le bit de poids faible, puis reçues sur la ligne Rx du récepteur, où elles sont reconstituées (mémorisées). La longueur du mot peut fluctuer de 5 à 8 bits en fonction du code de données employé. Après le bit de poids fort de la donnée, un bit supplémentaire peut être ajouté pour réaliser un contrôle de transmission. La génération de ce bit sera détaillée ultérieurement dans ce document (Parité). Après ce dernier bit, la ligne passe au niveau logique 0 pendant une période de 1, 1,5 ou 2 fois la durée assignée à un bit, ce qui constitue l'arrêt. La ligne revient à l'état de repos en attendant une nouvelle donnée.

Bits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Contenu	départ	bir-1	bir-2	bir-3	bir-4	bir-5	bir-6	bir-7	bir-8	stop	parité	départ	bir-1	etc.

Un exemple de fenêtre de données sur 8 bits, incluant des bits de départ, d'arrêt et de parité (trame de données de 8 bits).

**5 bits de parité** Divers peuvent être employés :

1. Le bit de parité de marquage (mark parity bit) est toujours égal à 1 (de type logique).

2. Le bit de parité d'espace (space parity bit) est toujours égal à 0 (de type logique).
3. Le bit de parité paire (even parity bit) est égal à 1 lorsque le nombre de bits dans le mot est pair.
4. Le bit de parité impaire (odd parity bit) est égal à 1 lorsque le nombre de bits dans le mot est impair.
5. L'absence de bit de parité dans les trames sans bit de parité permet d'économiser de l'espace (1 bit par fenêtre) et est facilitée par le fait que le bit de parité n'est pas requis.

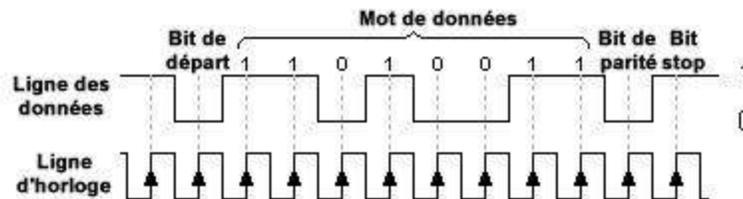
☞ La longueur des données transmises varie en fonction de la liaison. Elle est déterminée à l'avance et est connue de l'émetteur ainsi que du récepteur. Depuis les années 1960, en raison de l'évolution des télécommunications et, en particulier, de l'essor de l'informatique, les codes se sont multipliés. Cependant, c'est le code ASCII (American Standard Code for Information Interchange) qui a prévalu et qui reste aujourd'hui largement utilisé. Cependant, il a tendance à être substitué par un codage universel comme Unicode. Les données sont ensuite regroupées en octets (8 bits), qui sont représentés en hexadécimal par deux caractères (0 à 9 et A à F) : 1 octet pour le code ASCII et 4 ou 5 octets pour l'Unicode.

**Exemple 3.1**

- ✓ En parité Paire, somme des bits de la Données et de Parité = Nombre Pair
- ✓ En parité Impaire, somme des bits de la Données et de Parité = Nombre Impair

en hexa	en binaire	Somme des bits	Parité paire	Parité impaire
81h	1000 0001	2	0	1
E2h	1110 0010	4	0	1
F7h	1111 0111	7	1	0
38h	0011 1000	3	1	0

**Exemple 3.2**



Le protocole de la liaison série est assez simple :

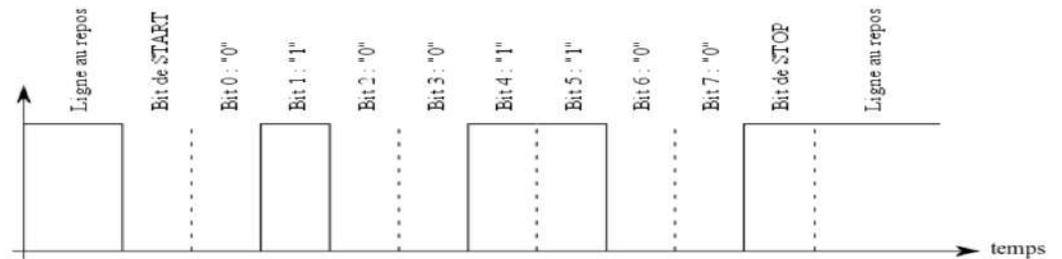
- ✓ Un bit de départ, ou bit de start, pour indiquer au dispositif récepteur que la conversation débute. Il possède un niveau logique 0 (NL0).
- ✓ 2 à 8 bits de données à transmettre.
- ✓ Un bit de parité pour détecter les erreurs (facultatif).

- ✓ De un à deux bits de fin ou bits de stop pour indiquer au dispositif récepteur que la conversation est terminée. Il possède un niveau logique 1 (NL1).

**Exemple 3.3**

On souhaite envoyer l'octet 0x32 (caractère '2') 8 bits, sans parité avec 1 bit STOP.

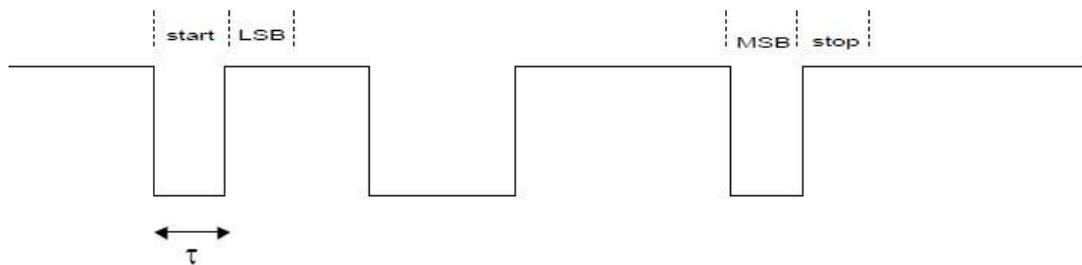
0x32 = (0011 0010)<sub>2</sub>



**Exemple 3.4 Le Débit**

La valeur du débit ou vitesse de transmission est normalisée. Elle s'exprime en bits par seconde ou bauds dans ce mode de transmission.

Supposons que l'émetteur envoie la donnée 0x73 sur 8 bits, le signal binaire observable sur la ligne a l'allure suivante :



La durée de  $t$  de chaque bit fixe le débit binaire exprimé en bits/s :  $D = 1/t$  Débits binaires courants (en bits/s) : 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200.

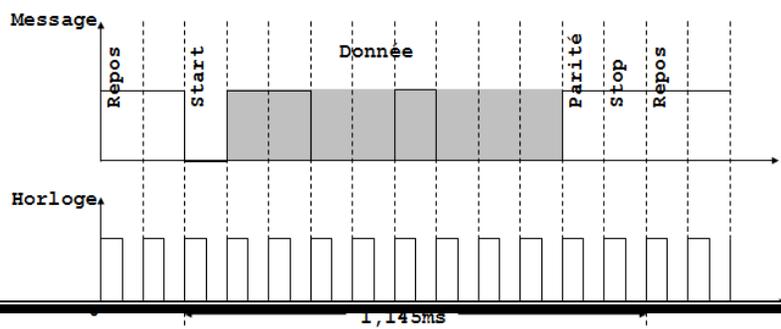
On définit alors le débit binaire, qui correspond au nombre de bits transmis par seconde.

Pour une transmission de  $n$  bits pendant un temps (en seconde), le débit binaire  $D$  est :

$$D = n/t$$

**Exemple 3.5**

Identifier la donnée transmise et calculer la vitesse de transmission



La donnée de transmise :

**LSB11001000MSB=(00010011)=0x13 en code ASCII C'est un caractère 'DC3 device control 3'**

La vitesse de transmission est  $D=1/t=9600$  bits/s

### **3.1.2. Liaison parallèle**

Plusieurs fils alignés les uns à côté des autres, souvent 8, 16, 32 ou même 64, envoient en même temps autant de bits qu'il y a de fils. Ce type de communication permet d'augmenter la vitesse de transmission des données en utilisant plusieurs fils ensemble. Ce mode de transmission a longtemps été jugé plus rapide que les transmissions en série.

#### **Utilisation :**

L'imprimante se branche avec un port DB25 femelle. On utilise une nappe IDE pour connecter les disques. Les cartes d'extension se branchent sur les bus PCI et AGP. Le processeur est relié au pont nord par le bus système (FSB).

**Problème** : Des interférences se produisent entre les fils électriques placés côte à côte à cause de phénomènes électromagnétiques. Ce problème de diaphonie devient gênant lorsque les fréquences sont élevées ou sur les lignes très longues.

### **3.2 Notion de liaison et d'interface**

☞ Une liaison permet à deux systèmes de communiquer entre eux. Lorsqu'il y a plus de deux systèmes interconnectés, on parle de bus. Peu importe le système utilisé, on parle de connexion série (ou parallèle) lorsque l'information (encodée sur  $2n$  bits) est transmise en  $n$  (ou 1) étapes. Cela dépend du type de support utilisé pour transmettre les données : le support série utilise un seul fil, tandis que le support parallèle en utilise plusieurs. Il y a beaucoup de types de connexions comme les liaisons et les bus (RS232, IDE, RS485, USB, I2C, GPIB, MIDI, CAN, ...).

☞ Dans un ordinateur, les informations sont transmises entre les différentes parties (comme le processeur et la mémoire) à travers un ensemble de fils qui permettent de transmettre en même temps tous les éléments de l'information. Lorsqu'on envoie des données à un autre appareil par une liaison série, les  $n$  bits ne peuvent pas être transmis en même temps (sur un seul conducteur). Il est important d'ajouter un composant spécialisé (UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) sur chaque appareil. Ce composant permet de convertir les données de manière appropriée : en série pour l'envoi et en parallèle

pour la réception (en utilisant des registres à décalage). Ce circuit intégré fait partie d'un circuit plus complexe appelé une interface.

☞ L'interface ne fait pas que convertir des signaux de série en signaux parallèles. Électriquement parlant, elle empêche que la connexion ne perturbe le bon fonctionnement des appareils, ce qui est un problème courant d'adaptation. L'interface est un endroit où différents environnements se rencontrent. Un autre mot pour interface est port.

### 3.2.1 RS332

✓ RS-232 est une norme standardisant une voie de communication de type série. Disponible sur presque tous les PC depuis 1981 jusqu'au milieu des années 2000, il est communément appelé le « port série ». Sur les systèmes d'exploitation MS-DOS et Windows, les ports RS-232 sont désignés par les noms **COM1**, **COM2**, etc. Cela leur a valu le surnom de « ports COM », encore utilisé de nos jours. Cependant, il est de plus en plus remplacé par le **port USB**.

✓ Prise femelle en extrémité de câble type DE-9 La connectique de cette liaison se présente fréquemment sous la forme du connecteur DE-9 ou DE-25.

✓ Une liaison série est une ligne où les bits d'information (1 ou 0) arrivent successivement, soit à intervalles réguliers (transmission synchrone), soit à des intervalles aléatoires, en groupe (transmission asynchrone).



#### Brochage du connecteur RS232

La plupart des équipements utilisent un port série à 25 connecteurs (DB-25). Derrière les micro-ordinateurs, le port série contient généralement seulement 9 connecteurs (les seuls nécessaires en mode asynchrone, voir ci-dessus).

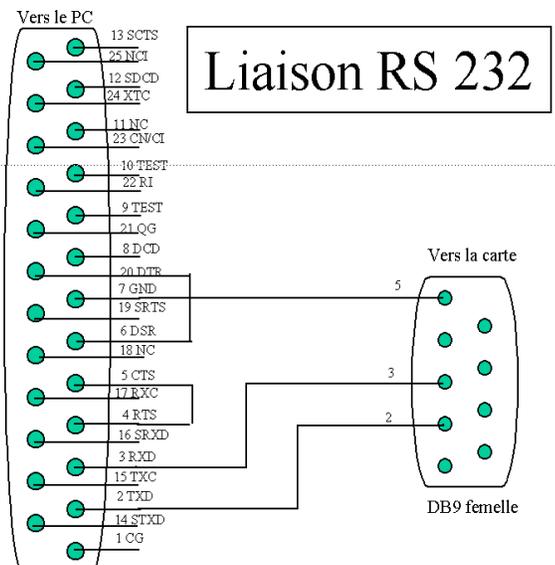


Au début, chaque connecteur avait un rôle spécifique pour les modems. C'est pourquoi la nomenclature suit attentivement cette pratique.

#### **Voici comment sont branchés les 25 câbles sur une prise DB25 :**

1. La terre n'est pas utilisée.
2. L'ordinateur envoie des données au périphérique.
3. L'ordinateur reçoit des données d'un périphérique.

4. L'ordinateur demande au périphérique s'il peut envoyer de l'information en utilisant une demande d'envoi (RTS).
5. Le périphérique informe l'ordinateur qu'il est prêt à envoyer des données en utilisant le signal "Clear To Send" (CTS).
6. Le périphérique informe l'ordinateur qu'il est prêt à communiquer en disant "Prêt pour données" (Data Set Ready, DSR).
7. Terre : terre
8. Le détecteur de signal sur la ligne vérifie si le modem est branché à une ligne téléphonique en état de marche.
9. Non utilisé : envoie le courant de retour de la boucle (+).
10. Inutilisé.
11. Non utilisé : ne transmet pas le courant de données.
12. Inutilisé.
13. Inutilisé.
14. Inutilisé.
15. Parfois, le moment où le signal est envoyé pour le DCE n'est pas utilisé.
16. Inutilisé.
17. Inutilisé.
18. Non utilisé : reçoit des informations électriques.
19. Inutilisé.
20. Le terminal est prêt à communiquer lorsque l'ordinateur envoie un signal DTR au périphérique. Pas utilisé (parfois détection de la qualité du signal)
21. L'indicateur de sonnerie permet à l'ordinateur de savoir qu'il y a un appel entrant lorsque le modem envoie un signal.
22. Parfois, la vitesse du signal n'est pas utilisée.
23. Parfois, le moment où le signal est envoyé au DTE n'est pas utilisé.
24. Non utilisé : reçoit le courant de retour de la boucle (-).
25. Parmi les connecteurs disponibles, seuls neuf sont réellement utiles : les connecteurs 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,



20 et 22. On a créé des ports avec seulement ces 9 connecteurs, présents sur tous les ordinateurs récents.

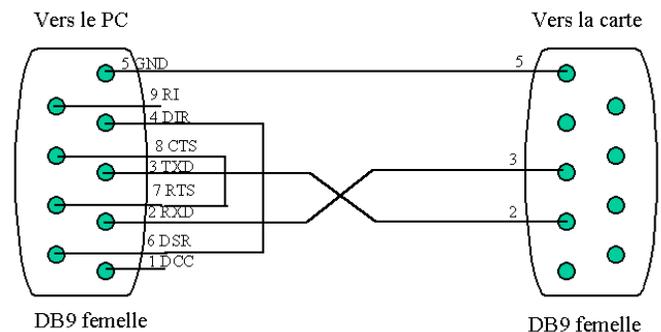
**Voici l'assignation des 9 connecteurs d'une prise DB9 :**

1. Le détecteur de signal sur la ligne vérifie si le modem est branché à une ligne téléphonique en état de marche.
2. L'ordinateur reçoit des données d'un périphérique.
3. Transmission de données : l'ordinateur envoie des informations au périphérique.
4. Le terminal est prêt à communiquer lorsque l'ordinateur envoie un signal DTR au périphérique.
5. Terre
6. Le périphérique informe l'ordinateur qu'il est prêt à communiquer.
7. L'ordinateur demande au périphérique s'il peut envoyer de l'information.
8. Le périphérique informe l'ordinateur qu'il est prêt à envoyer des données.
9. L'indicateur de sonnerie permet à l'ordinateur de savoir qu'un appel a été lancé lorsque le modem envoie un signal indiquant la détection d'une sonnerie.
10. Le voltage envoyé peut être soit allumé, soit éteint. Un signal On correspond à un voltage compris entre -3 et -25 volts. Un signal Off correspond à un voltage compris entre +3 et +25 volts.

**Limites** Longueur maximum de câble RS232

vitesse (bps)	Longueur (pieds)
Longueur (m)	
19200	50
15.237	
9600	500
152.37	
4800	1000
304.75	
2400	3000
914.27	

**Liaison RS 232**



**Comparaison : RS-232, RS-422 et RS-485**

*RS232 (ou V24) : norme électrique caractérisant la transmission d'un signal sur un seul fil référencé par rapport à la masse (liaison point à point).*

**RS422 et RS485** : norme électrique caractérisant la transmission d'un signal sur un support différentiel (liaison multi-point ou bus). Deux fils correspondant à des niveaux complémentaires sont utilisés pour coder l'information.

Spécifications	RS 232	RS 422	RS 485
Type de communication	Unipolaire	Différentiel	Différentiel
Connexions électriques minimales	3 fils Tx, Rx et masse	5 fils Paire Tx, Paire Rx et masse	3 fils Paire Tx/Rx, et masse
Nombre de transmetteurs et récepteurs alloués par la ligne	1 transmetteur 1 récepteur	1 transmetteur 31 récepteurs	32 transmetteurs 32 récepteurs
Longueur maximum de câble	16,5 m	1320 m	1320 m
Débit maximum	64 Kbits/s	10 Mbits/s	10 Mbits/s

### 3.2.2. GPIB (Bus d'instrumentation à usage général).

✚ Le bus "IEEE-488" a été développé pour communiquer avec des instruments dits intelligents ("smart"), autrement dit programmables, et dans le but de fournir une interface normalisée permettant d'échanger des données entre des équipements provenant de différents fournisseurs.

✚ La compagnie **Hewlett Packard** prit l'initiative de développer cette interface si versatile et l'appela "HP-IB" (Bus d'Instrumentation Hewlett Packard).

✚ Puis "HPIB" s'est répandu et est devenu très populaire, de sorte que la commission "IEEE 488" l'a renommé "**GPIB**" (**Bus d'instrumentation à usage général**).

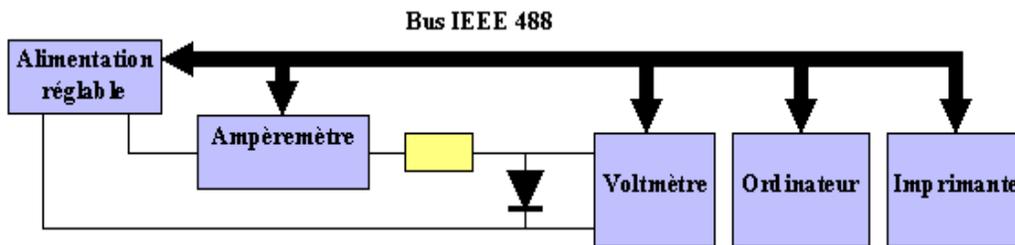
✚ Le support de transmission du bus "IEEE 488" est un câble de 24 paires de fils torsadés (câblage parallèle), dont 8 paires sont utilisées pour les données et les messages de commande à transmettre (pour une longueur de données de 7 à 8 bits), 5 fils sont utilisés pour la gestion du bus, et 3 fils sont utilisés pour la synchronisation des échanges.

✚ Ultérieurement, la norme "IEEE 488" a évolué vers la version "IEEE 488.2", en prenant en compte l'intégration de l'interface SCPI (commandes normalisée pour les interfaces d'instruments programmables), avec pour objectif d'éviter les adaptations particulières effectuées par les fabricants d'équipement, conduisant à proposer une interface de programmation "GP-IB" assez universelle.

✚ Il s'agit d'une connexion parallèle appelée GPIB (General Purpose Interface Bus) qui permet de relier jusqu'à 15 appareils, généralement des appareils de mesure. Le système a un contrôleur qui agit comme arbitre. Il permet au haut-parleur d'envoyer des informations sur le bus à un ou plusieurs écouteurs qui les reçoivent. Chaque appareil a une adresse unique que l'utilisateur peut régler avec des commutateurs, et que le bus peut reconnaître.

- ✚ Un appareil peut avoir une ou plusieurs de ces fonctions :
  - Le contrôleur gère les échanges sur le bus.
  - Le parleur envoie des informations sur le bus.
  - L'écouteur reçoit les informations disponibles sur le bus.
- ✚ Il doit y avoir un seul contrôleur qui agit, un seul parleur qui parle, et un ou plusieurs auditeurs à un moment donné.

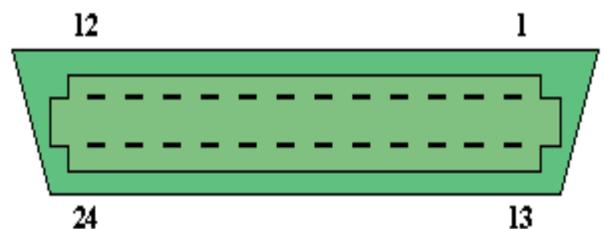
**Exemple** Mesurer automatiquement la caractéristique directe d'une diode.



- ☞ Dans cet exemple, le micro-ordinateur joue le rôle de contrôleur en recevant des données des appareils de mesure, et de parleur en envoyant des instructions à l'imprimante. L'alimentation est seulement écouter. Le voltmètre est automatique s'il peut choisir le bon calibre tout seul. C'est pareil pour l'ampèremètre. L'imprimante est en panne.
- ☞ Le bus IEEE 488 a 16 lignes de type TTL standard.
- ☞ Il y a 8 lignes de données nommées DIO1 à DIO8,
- ☞ 8 lignes de contrôle nommées ATN, DAV, EOI, IFC, NDAC, NRFD, REN, SQR.
- ☞ La vitesse maximale pour transférer des informations est de 1 Mo/s et la longueur maximale des câbles est de 20 mètres. Les données sont souvent transmises en utilisant le code ASCII sur 7 bits, parfois avec un bit de parité en plus.
- ☞ Les différents appareils sont connectés ensemble avec des câbles standards à plusieurs conducteurs et des connecteurs de type RIBBON.

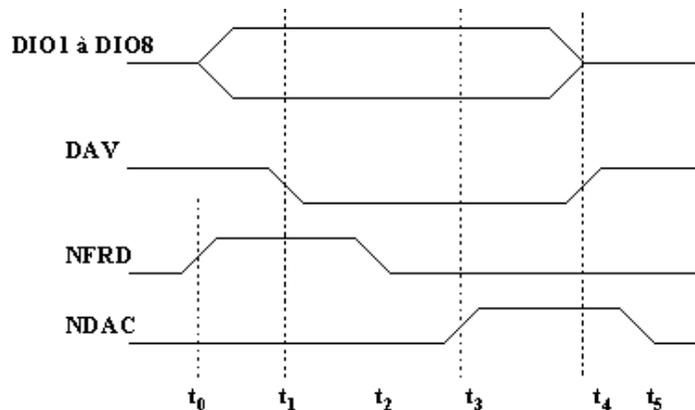
Le connecteur RIBBON IEEE488 a 24 points.

La masse est connectée aux bornes 18 et 24, et le blindage est connecté à la borne 12.



n°	Lignes	Désignation	Commentaires
1	DIO1	Data In Out 1	Donnée 1
2	DIO2	Data In Out 2	Donnée 2
3	DIO3	Data In Out 3	Donnée 3
4	DIO4	Data In Out 4	Donnée 4
13	DIO5	Data In Out 5	Donnée 5
14	DIO6	Data In Out 6	Donnée 6
15	DIO7	Data In Out 7	Donnée 7
16	DIO8	Data In Out 8	Donnée 8
11	ATN	AtTeNtion	1 : tous les appareils attendent une commande
6	DAV	DAta Valid	0 : validation des données par le transmetteur
5	EOI	End Or Identify	1 : fin de transmission
9	IFC	InterFace Clear	1 : initialisation de tous les appareils
8	NDAC	Not Data ACcept	0 : donnée non acceptée
7	NFRD	Not Ready For Data	0 : non prêt à recevoir des données
17	REN	Remote ENable	1 : appareil sous contrôle du bus
10	SQR	Service ReQuest	1 : demande de service

Les échanges sont gérés en utilisant une procédure de Handshake avec les lignes DAV, NFRD et NDAC.



$t_0$  : Le NFRD remonte lorsque l'écouteur est lent,

$t_1$  : Le locuteur confirme les informations en mettant DAV à l'état bas.,

$t_2$  : Le casque audio le plus rapide met NFRD en mode bas pour montrer qu'il est occupé.,

$t_3$  : Le récepteur le plus lent confirme qu'il a reçu les informations en les mettant à un niveau élevé grâce à NDAC.,

$t_4$  : Le parleur annule la validation en mettant DAV à l'état haut,

$t_5$  : Le casque le plus rapide met le NDAC en position basse.

- Le protocole de dialogue comprend environ dix commandes, dont quelques exemples sont : - UNT (\$5F) : éteindre le haut-parleur, - UNL (\$3F) : éteindre les écouteurs, - DCL (\$14) : réinitialiser.

# *Bibliographie*

## Références

- [1] **Gérard Laurent**, 'Maintenance et dépannages des PC: Cours et exercices corrigés', **Dunod**, octobre 2003.
- [2] **Paolo Zanella**, **Yves Ligier**, **Emmanuel Lazard**, 'Architecture et technologie des ordinateurs: - Cours et exercices corrigés', **Dunod**, juillet 2013.
- [3] **Andrew Tanenbaum**, 'Architecture de l'ordinateur' **Dunod**, novembre 2005
- [4] **Nadia Martaj**, **Mohand Mokhtari**, 'Apprendre et maîtriser LabVIEW par ses applications', **springer** 2014
- [5] **Christian Tavernier** 'Microcontrôleurs PIC 18: Description et mise en œuvre', **Dunod**, 2012.
- [6] **Datasheet** 'Carte ARDUINO UNO', **ATMEL**
- [7] **Martin D. Seyer**, 'Complete guide to RS232 and parallel connections', **Prentice Hall**, 1988
- [8] **Martin D. Seyer**, 'RS-232 made easy', **Prentice Hall**, 1991

### Sites

<https://sitelec.org/cours/abati/ieee.htm>

<http://www.bh-automation.fr/Ressources/Pour-les-automaticiens/Communications/Bus-instrumentation-et-equipements.html>

<http://www.ni.com/white-paper/12868/fr/>