

Systemes embarqués

Introduction à la programmation microcontrôleurs
et à l'impression 3D.



Pape Abdoulaye BARRO, Ph.D,

.....
Enseignant-chercheur

UFR des Sciences et Technologies
Département Informatique

.....
E-LabTP, Laboratoire des TP à Distance, UFR-SET,
Marconi-Lab, Laboratoire de Télécommunications, ICTP, Italie

.....
Email: pape.abdoulaye.barro@gmail.com

- ❑ Généralités
- ❑ Architecture et familles de microcontrôleur
- ❑ Capteurs actionneurs
- ❑ Programmation des microcontrôleurs
 - ❑ Etudes de cas
 - ❑ Arduino
 - ❑ Raspberry Pi
- ❑ Initiation à l'impression 3D

PLAN

Généralités

- ❑ Définitions et illustrations
- ❑ Historique
- ❑ Opportunités, défis et caractéristiques

Généralités - Rappel

Définitions et illustrations

Définition 1.1:

Les systèmes embarqués, souvent en **temps réel**, sont des systèmes électroniques et informatiques autonomes.

- Ils sont constitués d'une partie matérielle et d'une partie logicielle et leurs architectures sont construites autour d'un **microcontrôleur**.
- Ils disposent de périphériques et de **capteurs** spécifiques pour leurs applications et se greffent facilement dans les objets que nous utilisons au quotidien [1].

Définition 1.2.:

Un système embarqué est un **système informatique**, une combinaison d'un **processeur**, d'une mémoire et de périphériques d'entrée/sortie, qui a une fonction dédiée dans un **système mécanique ou électrique** plus grand.

- Il fait partie d'un dispositif complet comprenant souvent du matériel électrique ou électronique et des pièces mécaniques [2].

Généralités - Rappel

Définitions et illustrations



Généralités - Rappel

Historique

Les tout premiers systèmes embarqués datent du début des années 1960 (avec Sputnik en 1957 et Apollo Guidance Computer en 1967).

- En 1962, l'Air Force a introduit le missile LGM-30 Minuteman;
- En 1969, Marcian Hoff et Federico Faggin ont inventé le premier microprocesseur. Nous entrons donc dans l'air des microprocesseurs personnalisables par logiciel. Ouvrant ainsi la porte aux microcontrôleurs et par conséquent aux solutions embarquées ;
- De nos jours, nous disposons de cartes à base de microcontrôleur/microprocesseur facilement programmables et permettant le développement d'applications interactives complexes.

Généralités - Rappel

Opportunités, défis et caractéristiques

Les **types d'applications** possibles dans le contexte des systèmes embarqués sont diverses et variées. Nous les trouvons dans la fabrication des équipements (amélioration des technologies de production) et autres domaines tels que:

- la robotique,
- les applications militaires (armes automatiques, systèmes de radar, ...),
- l'agriculture et l'élevage (les systèmes d'irrigation, les systèmes de traçabilité des animaux, ...),
- la surveillance de la santé des structures,
- la sécurité publique (identification/authentification des personnes avec des capteurs d'empreintes digitales ou des systèmes de reconnaissance faciale, ...),
- la Mobilité et transport (Electronique automobile, avionique, chemins de fer, technologie océanique et systèmes maritimes),
- le secteur de la santé (détection rapide et fiable des maladies, mesures préventives, ...),
- les bâtiments intelligents (réduction de la consommation d' énergie, amélioration de la sécurité et de la sureté, ...),
- l'expérimentations scientifiques.

Généralités - Rappel

Opportunités, défis et caractéristiques

Malheureusement, la conception des systèmes embarqués s'accompagne d'un grand nombre de problèmes difficiles. Les problèmes les plus courants sont les suivants :

- **La fiabilité**: un système capable de fournir le service prévu avec une probabilité élevée et ne cause aucun dommage ;
- Les systèmes embarqués doivent être **conscients des ressources** ;
- Les systèmes embarqués sont généralement constitués de composants matériels et logiciels hétérogènes de divers fournisseurs et **doivent fonctionner dans un environnement en évolution** ;
- La **conception de systèmes embarqués** implique des connaissances dans de nombreux domaines ;
- **Impact au-delà des problèmes techniques** : En raison de l'impact majeur sur la société, les impacts juridiques, économiques, sociaux, humains et environnementaux doivent également être pris en compte.

Généralités - Rappel

Opportunités, défis et **caractéristiques**

Indépendamment du domaine d'application, il existe des caractéristiques plus communes des systèmes embarqués :

- **Les systèmes embarqués sont des systèmes réactifs.** Ils utilisent des capteurs et des actionneurs pour interagir avec le monde physique externe ;
- **La plupart des systèmes embarqués n'utilisent pas de claviers, de souris et de grands écrans d'ordinateur pour leur interface utilisateur.** Au lieu de cela, il existe une interface utilisateur dédiée composée de boutons poussoirs, de volants, de pédales, etc. De ce fait, l'utilisateur reconnaît à peine que le traitement de l'information est impliqué ;
- **Ils sont souvent dédiés à une certaine application;**
- **Les systèmes embarqués sont sous-représentés dans l'enseignement et dans les débats publics.** Les vrais systèmes embarqués sont complexes. Par conséquent, un équipement complet est nécessaire pour enseigner de manière réaliste la conception de systèmes embarqués.

Architecture et familles de microcontrôleur

- ❑ Microprocesseurs et microcontrôleurs
- ❑ Les exigences génériques
- ❑ Composants d'un microcontrôleur
- ❑ Structure de la mémoire, architecture de microprocesseurs et famille de microcontrôleurs

Architecture et familles de microcontrôleur - Rappel

Microprocesseurs et microcontrôleurs

Un micro-ordinateur générique se compose de trois blocs fondamentaux :

- Unité Centrale de Traitement (Central Processing Unit (**CPU**)) ;
- Mémoire (**memory**);
- Système d'Entrée/Sortie (E/S) (Input/Output (**I/O**) system).

Ces blocs sont interconnectés par des groupes de lignes électriques appelés **bus**. Nous distinguons:

- ❑ les **bus d'adresses** transportant de la mémoire ou les adresses des E/S;
- ❑ Les **bus de données** transportant des données ou des instructions;
- ❑ Et les **bus de commande ou de contrôle** transportant des signaux de commande.

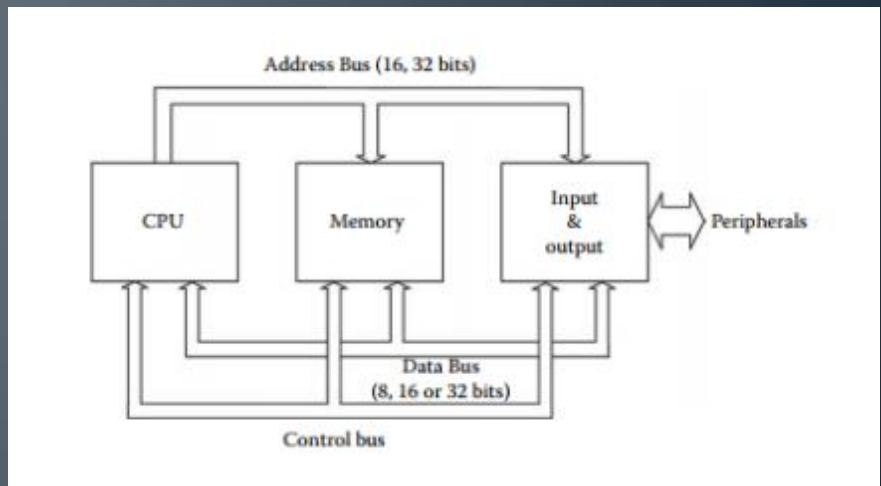


Schéma fonctionnel générique d'un micro-ordinateur.

Architecture et familles de microcontrôleur - Rappel

Microprocesseurs et microcontrôleurs

Dans un micro-ordinateur, la **CPU** (le circuit intégré) est son microprocesseur. Étant sous le contrôle du programme stocké en mémoire, la CPU est le *cerveau du micro-ordinateur*.

□ Sa tâche consiste à récupérer les instructions stockées en mémoire, à les interpréter et à les exécuter.

La **CPU** comprend également les circuits nécessaires pour effectuer des opérations arithmétiques et logiques avec des données binaires. Ce circuit spécial est appelé unité arithmétique et logique (Arithmetic and Logic Unit (**ALU**)).

Architecture et familles de microcontrôleur - Rappel

Microprocesseurs et microcontrôleurs

Un microcontrôleur peut être considéré comme un micro-ordinateur construit sur un seul circuit intégré ou puce. Historiquement, les microcontrôleurs sont apparus après les microprocesseurs et ont suivi des chemins indépendants :

- ❑ Les microprocesseurs se trouvent principalement dans les ordinateurs personnels et les stations de travail, car ils nécessitent une forte puissance de calcul et la capacité de gérer de grands ensembles de données et d'instructions à grande vitesse.
- ❑ Un paramètre très important pour les microprocesseurs est la taille de leurs registres internes (8, 16, 32 ou 64 bits), car elle détermine le nombre de bits qui peuvent être traités simultanément.

Architecture et familles de microcontrôleur - Rappel

Microprocesseurs et microcontrôleurs

- ❑ les microcontrôleurs peuvent être trouvés dans l'industrie automobile, les systèmes de communication, l'instrumentation électronique, les équipements hospitaliers, les équipements et applications industriels, les appareils ménagers, les jouets, etc. Ils ont donc été conçus pour être utilisés dans des applications où ils doivent effectuer un petit nombre de tâches au coût économique le plus bas possible.
 - ❑ Ces tâches sont rendues possibles grâce à un programme stocké de façon permanente dans leur mémoire en utilisant aux besoins les ports d'entrée-sortie pour interagir avec le monde extérieur.
 - ❑ Le microcontrôleur devient une partie de l'application: *c'est un contrôleur intégré au système.*
 - ❑ Les applications complexes peuvent utiliser plusieurs microcontrôleurs, chacun d'entre eux se concentrant sur un petit groupe de tâches.

Architecture et familles de microcontrôleur - Rappel

Les exigences génériques

Les exigences suivantes sont importantes pour les microcontrôleurs et les conceptions utilisant des microcontrôleurs :

- ❑ **Ressources E/S:** Contrairement aux microprocesseurs dans lesquels l'accent est mis sur la puissance de calcul, les microcontrôleurs mettent l'accent sur leurs ressources d'entrée/sortie, telles que la capacité à gérer les interruptions, les signaux analogiques, le nombre de lignes d'entrée et de sortie différentes, etc.
- ❑ **Optimisation de l'espace:** Il est important d'utiliser le plus petit encombrement possible à un coût raisonnable. Etant donné que le nombre de broches dans une puce dépend de son emballage, l'encombrement peut être optimisé en ayant une broche capable de remplir plusieurs fonctions différentes.
- ❑ **Utiliser le microcontrôleur le plus approprié pour une application donnée:** Les fabricants de microcontrôleurs ont développé des familles de périphériques avec le même jeu d'instructions mais des aspects matériels différents, tels que la taille de la mémoire, les périphériques d'entrée/sortie, etc. Cela permet au concepteur de sélectionner l'appareil le plus approprié dans une famille donnée.
- ❑ **Protection contre les pannes:** Il est essentiel pour la sécurité de garantir que le microcontrôleur exécute le programme correct. Si, pour une raison quelconque, le programme s'égare, la situation doit être immédiatement corrigée. Les microcontrôleurs ont une minuterie de surveillance ou watchdog timer (WDT) pour s'assurer que le programme s'est exécuté correctement. Les minuteries Watchdog n'existent pas sur les ordinateurs personnels.
- ❑ **Faible consommation d'énergie:** Comme les batteries alimentent de nombreuses applications utilisant des microcontrôleurs, il est important de veiller à la faible consommation d'énergie des microcontrôleurs. En outre, l'énergie utilisée lorsque le microcontrôleur ne fait rien, doit être réduite au minimum. Pour ce faire, le microcontrôleur est mis en état de veille jusqu'à ce qu'il reprenne l'exécution du programme.
- ❑ **Protection des programmes contre les copies:** Le programme stocké en mémoire doit être protégé contre toute lecture non autorisée. Pour ce faire, les microcontrôleurs intègrent des mécanismes de protection contre la copie.

Architecture et familles de microcontrôleur

Composants d'un microcontrôleur

Les microcontrôleurs combinent les ressources fondamentales disponibles dans un micro-ordinateur telles que le processeur, la mémoire et les ressources d'E/S dans une seule puce.

- ❑ **Oscillateur (Oscillator)** : Les microcontrôleurs ont un oscillateur (en cristal de quartz (XTAL)) pour générer le signal nécessaire à la synchronisation de toutes les opérations internes.
- ❑ **RAM/ROM** : La mémoire du microcontrôleur stocke à la fois les instructions de programme et les données. Tout microcontrôleur a deux types de mémoire : la mémoire vive ou Random-Access Memory (RAM) (peut être lue et écrite mais volatile) et la mémoire morte ou read-only memory (ROM) (ne peut être que lue et est non volatile). La RAM et la ROM sont des mémoires à accès aléatoire (différent de l'accès séquentiel), ce qui signifie que le temps d'accès à des données spécifiques ne dépend pas de leur emplacement stocké. Il existe différents types pour la ROM :
 - ❑ **EPROM** (Erasable Programmable Read-Only Memory ou mémoire morte programmable effaçable) ;
 - ❑ **EEPROM** (Electrical Erasable Programmable Read-Only Memory ou mémoire morte programmable effaçable électrique) ;
 - ❑ **OTP** (One-Time Programmable ou programmable une fois) ;
 - ❑ **FLASH**

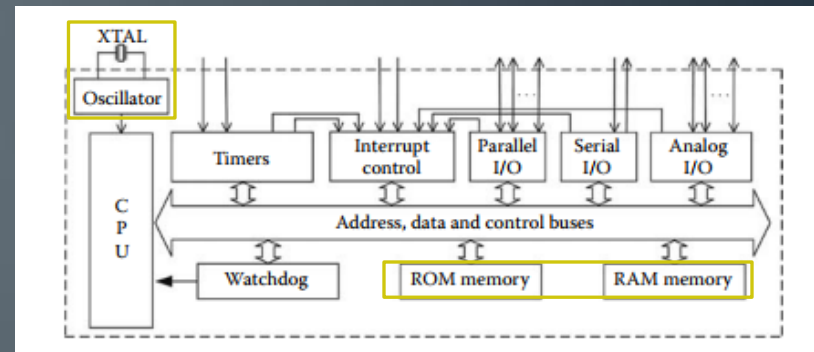


Schéma de principe d'un microcontrôleur

Architecture et familles de microcontrôleur

Composants d'un microcontrôleur

Les microcontrôleurs combinent les ressources fondamentales disponibles dans un micro-ordinateur telles que le processeur, la mémoire et les ressources d'E/S dans une seule puce.

❑ **I/O ou E/S** : Les ressources E/S se composent des ports série et parallèle, des temporisateurs et des gestionnaires d'interruption. Certains microcontrôleurs intègrent également des lignes d'entrée et de sortie analogiques associées à des convertisseurs analogique-numérique ou analog-to-digital (A/D) et numérique-analogique ou digital-to-analog (D/A). Les ressources nécessaires pour assurer le fonctionnement régulier des microcontrôleurs tels que le chien de garde ou watchdog sont également considérées comme faisant partie des ressources d'entrée/sortie.

❑ Les ports série peuvent être de différentes technologies: **RS-232C** (Recommended Standard 232, Revision C), **I2C** (inter-integrated circuit), **UART** (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) qui est un émetteur-récepteur asynchrone universel, **SPI** (Serial Peripheral Interface) qui est un bus de données série synchrone, **USB** (universal serial bus) et **Ethernet**.

❑ En général, un microcontrôleur disposera du plus grand nombre possible de ressources d'entrée/sortie pour le nombre de broches disponibles dans son boîtier de circuit intégré.

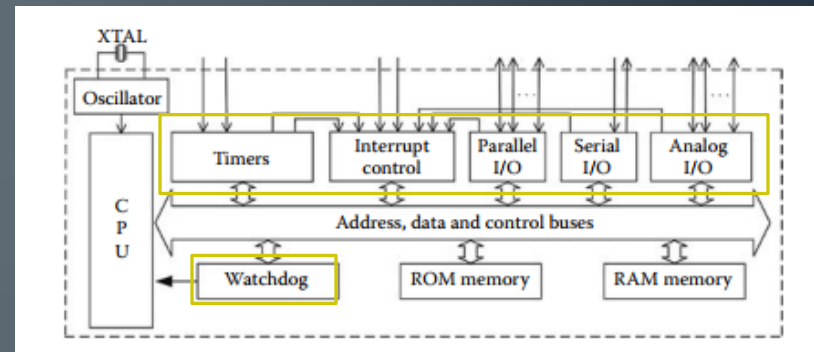


Schéma de principe d'un microcontrôleur

Architecture et familles de microcontrôleur

Composants d'un microcontrôleur

❑ **CPU (Central Processing Unit)** : Semblable aux micro-ordinateurs, la CPU est le cerveau du microcontrôleur. Il est constitué essentiellement de trois parties :

❑ **L'unité de commande** : Qui cherche les instructions en mémoire, les décode et coordonne le reste du processeur pour les exécuter.

❑ **L'unité Arithmétique et Logique (ALU)** : Qui exécute les instructions arithmétiques et logiques demandées par l'unité de commande.

❑ **Les registres** : Ils servent à stocker des variables, les résultats intermédiaires d'opérations (arithmétiques ou logiques) ou encore des informations de contrôle du processeur. Ils sont variés, certains sont destinés à un usage général, et d'autres ont un but spécifique. On distingue entre autres :

❑ **Le registre d'instruction** ou Instruction Register (IR) qui contient le code de l'instruction qui est traitée par le décodeur/séquenceur ;

❑ **L'accumulateur** ou accumulator (ACC) qui est principalement destiné à contenir les données qui doivent être traitées par l'ALU ;

❑ **Les registres généraux** qui servent au stockage de résultats intermédiaires ;

❑ **Le registre d'adresses de données** ou Data Address Register (DAR) qui stocke les adresses de données de la mémoire ;

❑ **Le compteur ordinal** ou Program Counter (PC) qui contient l'adresse de la prochaine instruction à exécuter ;

❑ **Le registre d'état** ou status register (STATUS) qui contient les bits qui présentent différentes caractéristiques liées aux opérations effectuées par l'ALU.

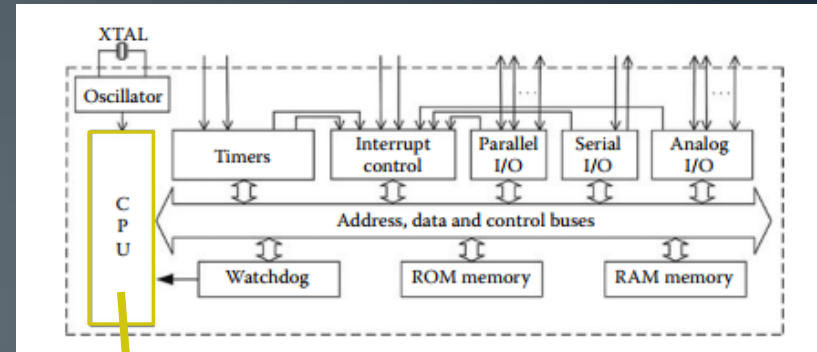


Schéma de principe d'un microcontrôleur

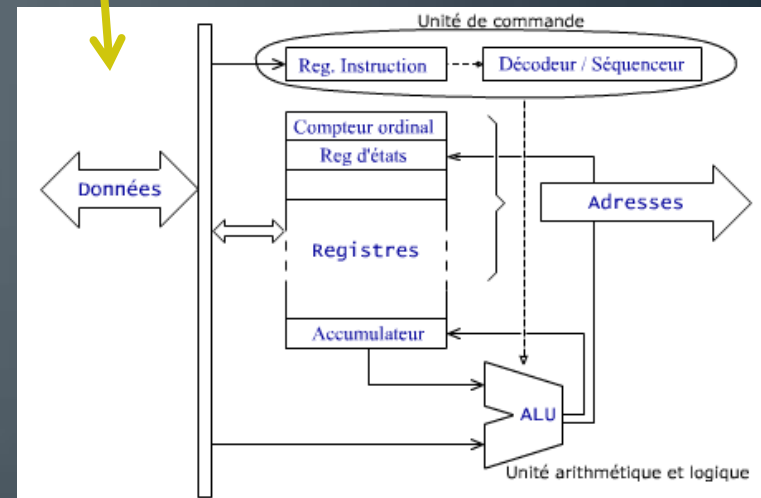
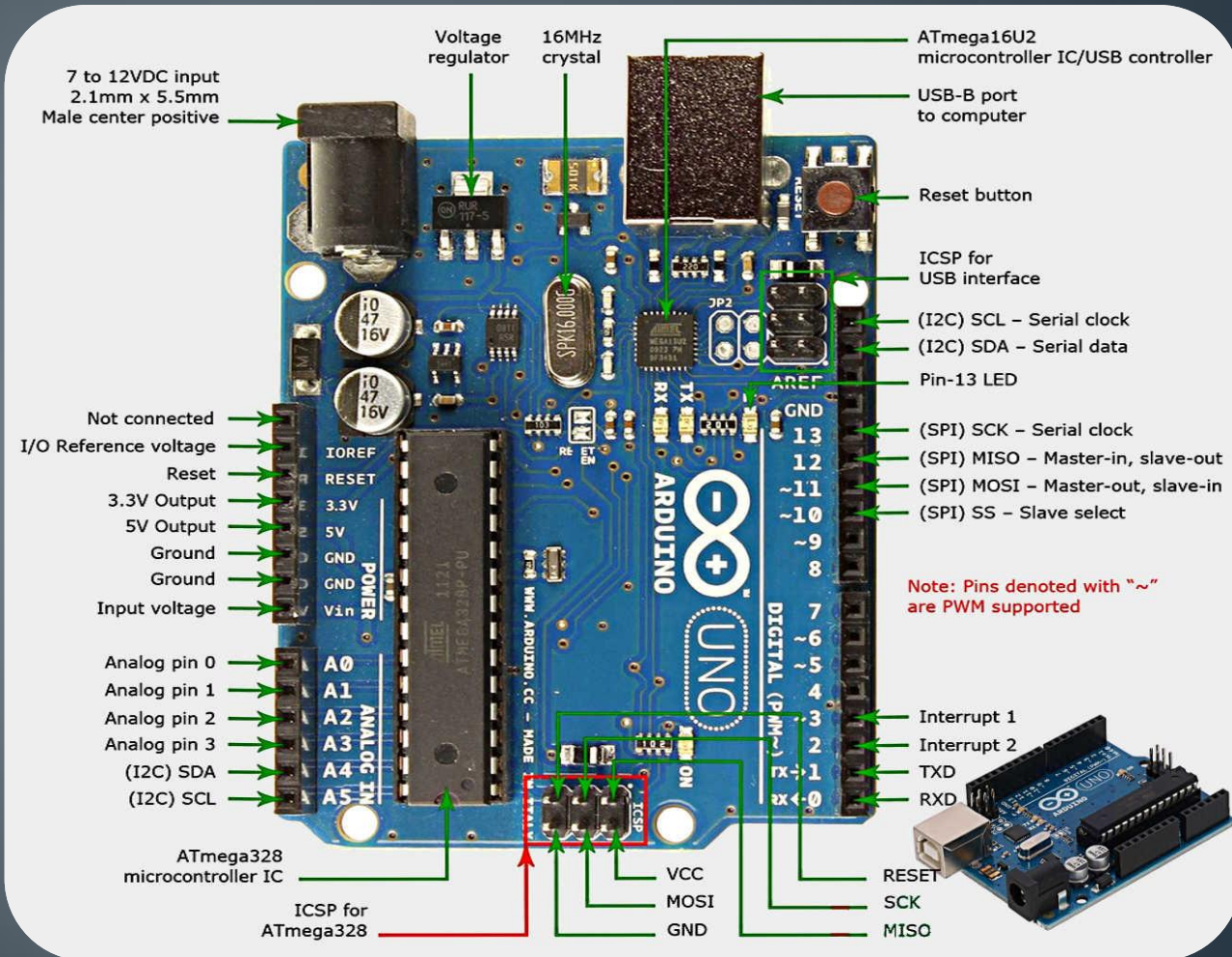


Schéma de la CPU

Architecture et familles de microcontrôleur

Composants d'un microcontrôleur



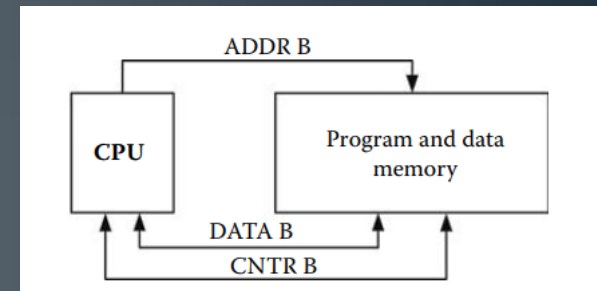
Les composants de la carte Arduino UNO

Architecture et familles de microcontrôleur

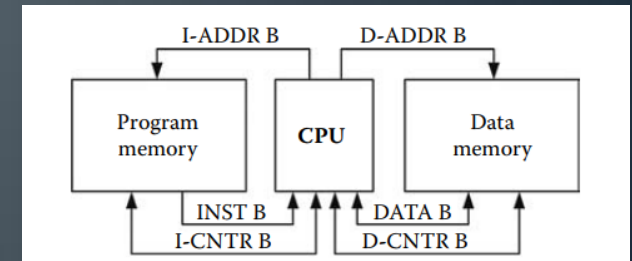
Structure de la mémoire, architecture de microprocesseurs et famille de microcontrôleurs

La façon dont la mémoire est organisée et dont elle communique avec le CPU détermine les performances de l'appareil. Les deux modèles génériques de matériel pour la structure de la mémoire sont appelés architectures Von Neumann et Harvard.

- ❑ L'architecture Von Neumann a été proposée par le mathématicien John von Neumann lorsqu'il a conçu l'Intégrateur et calculateur numérique électronique ou Electronic Numerical Integrator and Calculator (ENIAC) à l'Université de Pennsylvanie pendant la seconde guerre mondiale. Il a eu l'idée originale de développer un ordinateur à programmes stockés. L'architecture von Neumann utilise moins de lignes que l'architecture Harvard, ce qui rend la connexion entre le processeur et la mémoire beaucoup plus simple. Toutefois, cette structure ne permet pas le traitement simultané de données et d'instructions car il n'y a qu'un seul bus.
- ❑ L'architecture Harvard a été proposée par Howard Aiken lorsqu'il a développé les ordinateurs connus sous le nom de Mark I, II, III et IV à l'université de Harvard. Ce furent les premiers ordinateurs à utiliser des mémoires différentes pour stocker séparément les données et les instructions, ce qui constitue une approche très différente de l'ordinateur à programme stocké. L'architecture de Harvard utilise différentes mémoires pour stocker les instructions et les données. La mémoire de programme possède son propre bus d'adresse (bus d'adresse d'instruction), son propre bus de données (plus correctement appelé bus d'instruction) et son propre bus de contrôle. La mémoire de données possède son propre bus d'adresse, son propre bus de données et son propre bus de commande, indépendamment des bus d'instruction.



Architecture Von Neumann



Architecture Harvard

Architecture et familles de microcontrôleur

Structure de la mémoire, architecture de microprocesseurs et famille de microcontrôleurs

L'ordinateur à jeu d'instructions complexes ou Complex Instruction Set Computer (CISC) et l'ordinateur à jeu d'instructions réduit ou Reduced Instruction Set Computer (RISC) sont des architectures de microprocesseurs développées pour permettre une compilation efficace des programmes.

- ❑ RISC fonctionne avec un minimum de jeu d'instructions hautement optimisé, au lieu du jeu d'instructions plus spécialisé que l'on trouve dans d'autres types d'architectures. Cela signifie que le microprocesseur aura moins de cycles par instruction. Il contient des instructions relativement simples et basiques à partir desquelles des instructions plus complexes peuvent être produites.

- ❑ Quelques avantages des processeurs RISC :

- ❑ Il permet aux compilateurs de langage de haut niveau de produire un code plus efficace ;
- ❑ RISC maximise l'efficacité en minimisant le temps d'exécution ;
- ❑ Comme il est relativement simple, très peu d'instructions et quelques modes d'adressage sont nécessaires ;

- ❑ Inconvénients des processeurs RISC :

- ❑ La performance des processeurs RISC dépend du compilateur ou du programmeur car les instructions suivantes peuvent dépendre de l'instruction précédente pour compléter leur exécution ;
- ❑ Les processeurs RISC nécessitent des systèmes de mémoire très rapides pour alimenter les différentes instructions.

Architecture et familles de microcontrôleur

Structure de la mémoire, architecture de microprocesseurs et famille de microcontrôleurs

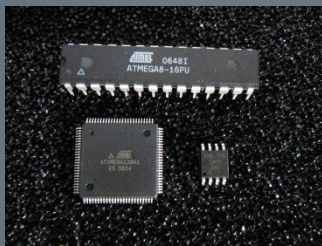
- ❑ **CISC** est constitué d'instructions uniques pouvant exécuter plusieurs opérations de bas niveau, par exemple, "charger de la mémoire une opération arithmétique, et un stockage en mémoire). Les processeurs CISC sont également capables d'exécuter des opérations multi-étages.
 - ❑ C'est un type de microprocesseur qui contient des instructions spécialisées simples/complexes.
 - ❑ Les processeurs du CISC ont permis de simplifier le code et de le rendre plus court afin de réduire les besoins en mémoire.
 - ❑ Dans les processeurs CISC, chaque instruction comporte plusieurs opérations de bas niveau. Cela rend les instructions CISC courtes, mais complexes.
- ❑ **Quelques avantages des processeurs CISC :**
 - ❑ Les exigences en matière de mémoire sont réduites au minimum ;
 - ❑ L'exécution d'une seule instruction permet de réaliser plusieurs tâches de bas niveau ;
 - ❑ L'accès à la mémoire est plus souple en raison du schéma d'adressage complexe ;
 - ❑ Les emplacements mémoire peuvent être directement accessibles par les instructions CISC ;
- ❑ **Inconvénients des processeurs CISC :**
 - ❑ Bien que la taille du code soit réduite au minimum, le code nécessite plusieurs cycles d'horloge pour exécuter une seule instruction. Cela réduit l'efficacité du système ;
 - ❑ CISC a été conçu pour réduire au minimum les besoins en mémoire lorsque la mémoire est plus petite et plus coûteuse . Aujourd'hui, la mémoire est peu coûteuse et la majorité des nouveaux systèmes informatiques disposent d'une grande quantité de mémoire.

Architecture et familles de microcontrôleur

Structure de la mémoire, architecture de microprocesseurs et famille de microcontrôleurs

Les différents microcontrôleurs qui ont le même noyau, c'est-à-dire qui partagent le même processeur et exécutent le même jeu d'instructions, sont appelés une **famille de microcontrôleurs**. Les différents périphériques d'une même famille ont le même noyau, mais ils diffèrent par leurs capacités d'entrée/sortie et la taille de leur mémoire.

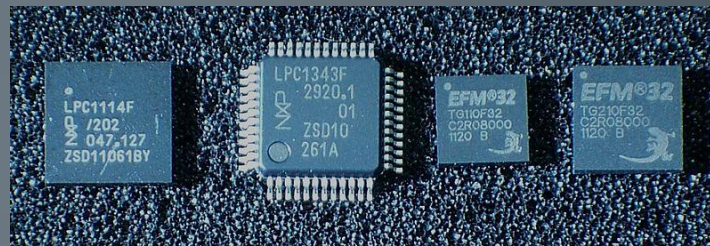
- ❑ **Exemple** : Tous les microcontrôleurs de la famille 8051 (MCS51) ont une unité centrale similaire et exécutent le même jeu d'instructions. Cependant, les différents membres de la famille ont des nombres et des types de ports d'entrée/sortie différents ainsi que des types et des tailles de mémoire différents.



Atmel AVR

AVR est une famille de microcontrôleurs développée depuis 1996 par Atmel, acquise par Microchip Technology en 2016.

- ❑ Architecture processeur: Harvard (modifiée) ;
- ❑ Jeu d'instructions: RISC (8 bits).



ARM Cortex-M

Cortex-M est une famille de processeur développée par ARM Ltd, servant à la fois de microprocesseur et de microcontrôleur à destination de l'embarqué.

- ❑ Architecture processeur: ARM (propriétaire) ;
- ❑ Jeu d'instructions: RISC (32 bits).

Une distinction est également faite entre la famille **Cortex-A** destinée au marché des Smartphones et des tablettes tactiles et la famille **Cortex-R** destinée au temps réel.



PIC

PICmicro est une famille de microcontrôleurs de la société Microchip.

- ❑ Architecture processeur: Harvard;
- ❑ Jeu d'instructions: RISC (8, 16 et 32 bits).

Capteurs, actionneurs

- ❑ Capteurs
- ❑ Actionneurs

Capteurs, actionneurs et programmation des microcontrôleurs

Capteurs, actionneurs et programmation des microcontrôleurs

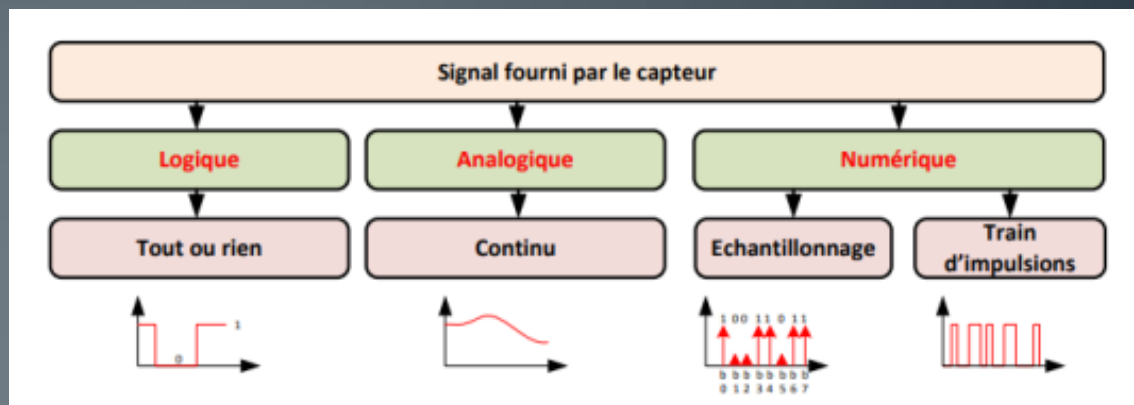
Le capteur est l'organe permettant d'élaborer, à partir d'une grandeur physique observée (température, pression, position, concentration, etc.), une grandeur physique utilisable (souvent électrique) à des fins de **mesure** ou de **commande**.

- ❑ Ils sont donc à la base des **systèmes d'acquisition de données** et leur mise en œuvre est du domaine de l'**instrumentation** ;
- ❑ Un capteur est caractérisé soit par son temps de réponse, sa linéarité, la grandeur physique observée, sa gamme de mesure, sa précision, sa sensibilité, sa résolution, etc.
- ❑ Ils sont classés en **types de capteurs**, à savoir les capteurs actifs, les capteurs passifs, etc.
 - ❑ Les **capteurs actifs** ont la capacité de convertir en énergie électrique la forme d'énergie de la mesurande : thermique, mécanique, ..., en utilisant des effets tels que l'induction électromagnétique, Hall, piézoélectrique, thermoélectrique, photoélectrique, Faraday, Ils sont présentés comme un générateur car ils délivrent à leur sortie soit une tension, soit un courant, soit une charge électrique ;
 - ❑ Les **capteurs passifs** sont une sorte d'impédance sensible à la mesure. Ils peuvent délivrer une grandeur telle que la variation de l'impédance, la résistance, l'inductance ou la capacité et il est donc nécessaire de leur appliquer une tension pour obtenir un signal de sortie ;

Capteurs, actionneurs et programmation des microcontrôleurs

Capteurs, actionneurs et programmation des microcontrôleurs

- ❑ Les capteurs peuvent être classés en trois groupes selon la nature de l'information de sortie :



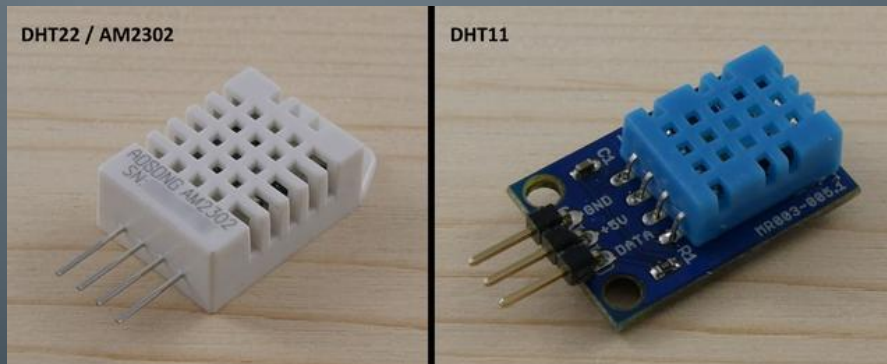
- ❑ Voici, ci-dessous, quelques-uns des capteurs disponibles et accessibles sur le marché :
 - ❑ Capteurs de température analogique : LM35, TMP36, ... ;
 - ❑ Capteurs de température numérique : DS18 ;
 - ❑ Capteurs de température et d'humidité : DHT11, DHT22, SHT11, SHT15, SHT21, ... ;
 - ❑ capteur de luminosité : Photorésistance, capteur infrarouge (pour éviter les obstacles),
 - ❑ capteur de détection de rayons ultraviolets, capteur de couleur ;
 - ❑ Capteur de distance : Capteurs à ultrasons (HC-SR04) ;
 - ❑ Capteur de mouvement : HC-SR501 ;
 - ❑ Capteur de gaz et de fumée : les MQ (MQ2, MQ3, ...) ;
 - ❑ Capteur de son analogique : KY-038 ;
 - ❑ Capteur de vibration numérique : SW-420 ;
 - ❑ Capteur ou lecteur RFID : RC522 ;
 - ❑ Capteur ou lecteur d'empreintes digitales : AS608 ;
 - ❑ Capteur ou détecteur d'incendie : KY-026 ;

Capteurs, actionneurs et programmation des microcontrôleurs

Capteurs, actionneurs et programmation des microcontrôleurs

❑ Exemple: le DHT22 et le DHT11

- ❑ Le capteur DHT22 / AM2302 est capable de mesurer des températures de -40 à $+125^{\circ}\text{C}$ avec une précision de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ et une humidité relative de 0 à 100% avec une précision de $\pm 2\%$ ($\pm 5\%$ aux extrêmes, 10% et 90%). Une mesure peut être effectuée toutes les 500 millisecondes.
- ❑ Le capteur DHT11 est capable de mesurer des températures de 0 à $+50^{\circ}\text{C}$ avec une précision de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ et une humidité relative de 20 à 80% avec une précision de $\pm 5\%$. Une mesure peut être effectuée toutes les secondes.
- ❑ ils consomment $3,3$ volts ou 5 volts et ont le même câblage et protocole de communication.



Images

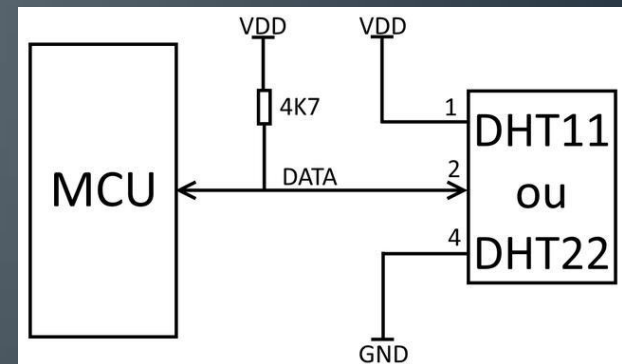


schéma de câblage

Capteurs, actionneurs et programmation des microcontrôleurs

Capteurs, actionneurs et programmation des microcontrôleurs

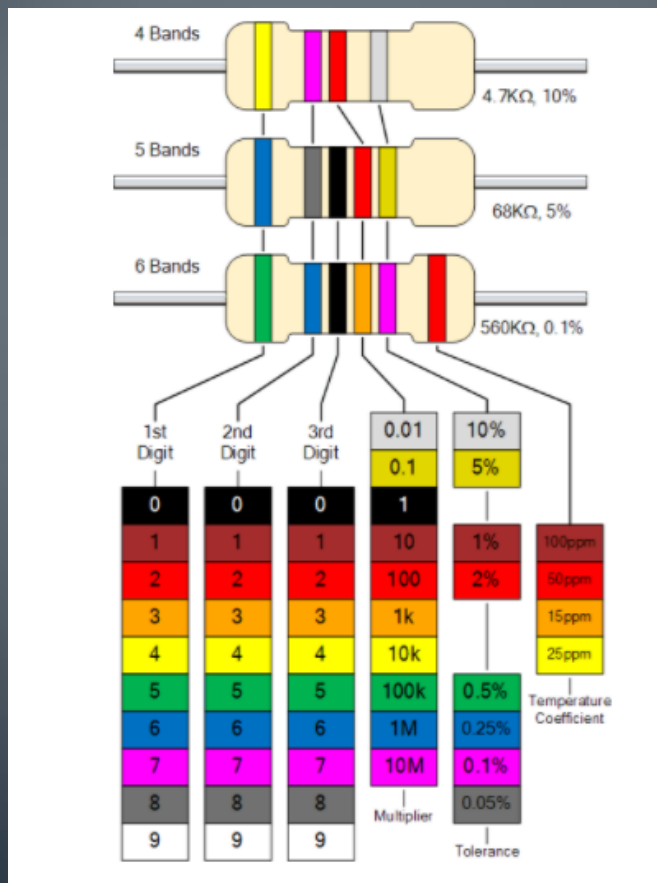
Les **boutons poussoirs** qui sont des dispositifs de commande manuelle permettant de **contrôler** un aspect d'une machine ou d'un processus (par exemple, allumer/éteindre une lampe, etc.). C'est un interrupteur monostable, c'est-à-dire lorsqu'il est relâché, il retourne seul dans la position repos.



Capteurs, actionneurs et programmation des microcontrôleurs

Capteurs, actionneurs et programmation des microcontrôleurs

Une **résistance** est un composant électronique ou électrique dont la principale caractéristique est d'opposer une plus ou moins grande résistance à la circulation du courant électrique. Il est exprimé en ohms: Ω .



La loi d'Ohm: $U=R \cdot I$

- Une résistance est un milieu peu conducteur et donc les électrons peinent à s'y déplacer.
- Leur énergie se dissipe alors en général sous forme de chaleur. **Perte par effet joule.**
- La valeur d'une résistance est déterminée par ses **bandes de couleurs**.
 - Il est très utile de connaître la valeur d'une résistance, bien que la plupart des modules comprennent maintenant les composants nécessaires à l'interfaçage avec les microcontrôleurs.

Capteurs, actionneurs et programmation des microcontrôleurs

Capteurs, actionneurs et programmation des microcontrôleurs

Un **actionneur** est un composant d'une machine qui permet d'effectuer des mouvements physiques en convertissant l'énergie (électrique, pneumatique, hydraulique, ...) en force mécanique (mouvement linéaire (poussée/traction) ou rotatif).

- ❑ Les actionneurs peuvent être dans un système de commande simple, tel qu'un moteur mécanique, ou dans un système informatique, tel qu'un robot.
- ❑ Les actionneurs peuvent être classés en fonction du type d'énergie qu'ils utilisent et du type de mouvement qu'ils produisent.
 - ❑ **Les actionneurs électriques** : ce sont les plus courants. Ils convertissent l'énergie électrique du courant continu ou alternatif en énergie mécanique. On distingue les actionneurs électriques linéaires et les actionneurs électriques rotatifs (les moteurs en mouvement continu, les servomoteurs et les moteurs pas à pas).
 - ❑ **Les actionneurs pneumatiques** : Les actionneurs pneumatiques permettent d'effectuer de grands mouvements linéaires ou rotatifs à basse pression en utilisant de l'air comprimé. Leur force réside dans leur mouvement rapide, point à point, et ils ne sont pas facilement endommagés par les butées.
 - ❑ **Les actionneurs hydrauliques** : Les actionneurs hydrauliques utilisent l'énergie hydraulique pour créer un mouvement linéaire ou rotatif et sont très puissants en raison de la quasi incompressibilité des liquides.

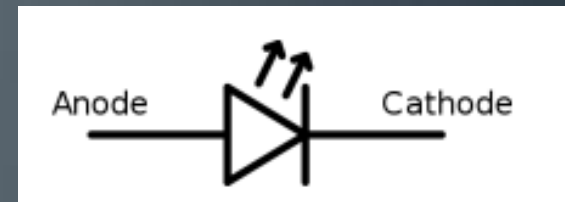
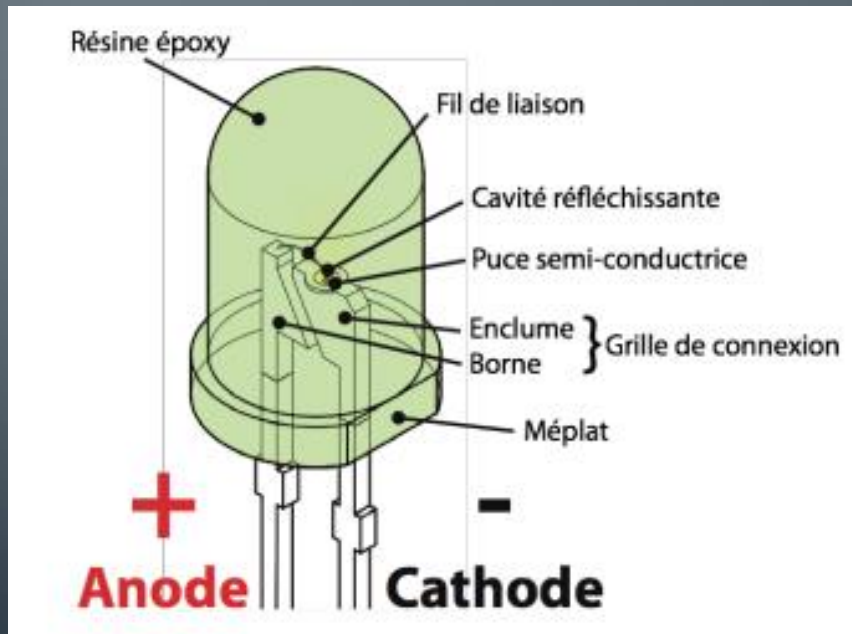


Capteurs, actionneurs et programmation des microcontrôleurs

Capteurs, actionneurs et programmation des microcontrôleurs

Les ampoules et les **leds** peuvent être mis dans cette catégorie. Elles ont la capacité de transformer l'énergie électrique en énergie lumineuse.

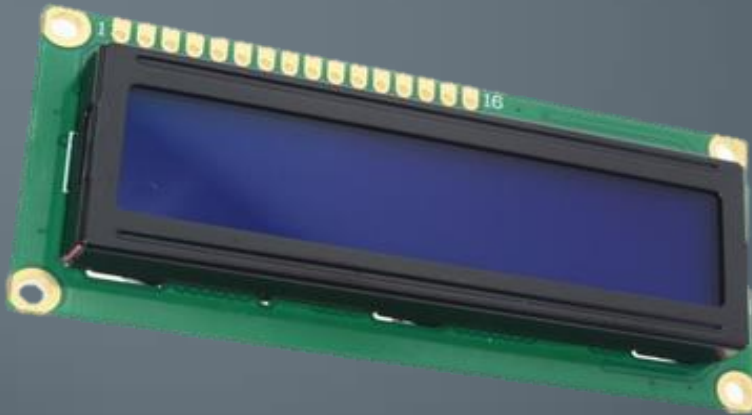
- ❑ Les leds sont polarisés, c'est-à-dire qu'elles ont la particularité de ne laisser passer le courant électrique que dans un sens (de l'anode vers la cathode).
- ❑ L'anode correspond à la broche la plus longue. Elle est symbolisée comme suit:



Capteurs, actionneurs et programmation des microcontrôleurs

Capteurs, actionneurs et programmation des microcontrôleurs

Les **écrans LCD** (Liquid Crystal Display) et les **afficheurs 7 segments** sont également largement utilisés dans le domaine des systèmes embarqués (montres, tableau de bord, calculatrices, etc.) en raison de leur faible consommation d'énergie et de leur faible coût d'acquisition.



Programmation des microcontrôleurs

□ La programmation sous Arduino

À suivre

Feedback sur:

pape.abdoulaye.barro@gmail.com