



جامعة سيدي محمد بن عبد الله
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah

FACULTÉ DES SCIENCES DHAR EL MAHRAZ
UNIVERSITÉ SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH

Internet des Objets

Chapitre 2

Capteurs et périphériques

Pr. Bouayad Anas

A.U : 2022/2023

Cours adapté pour la 1^{ème} année Master BDSaS- FSDM

Objectifs du chapitre

- ☐ Etudier la conception électronique de base appliquée aux capteurs IoT et aux contrôleurs embarqués;
- ☐ Apprendre les principes de base sur la transmission de l'information utilisés dans l'IoT;
- ☐ Identifier les capteurs et autres dispositifs nécessaires aux différentes solutions IoT;
- ☐ Comprendre et cartographier un système IoT intégrant des périphériques spécifiques.

Plan

1. Introduction
2. Bases de l'électronique (Analogique et Numérique)
3. Chaine de transmission
4. Capteurs et actionneurs
5. Périphériques intermédiaires

Citation

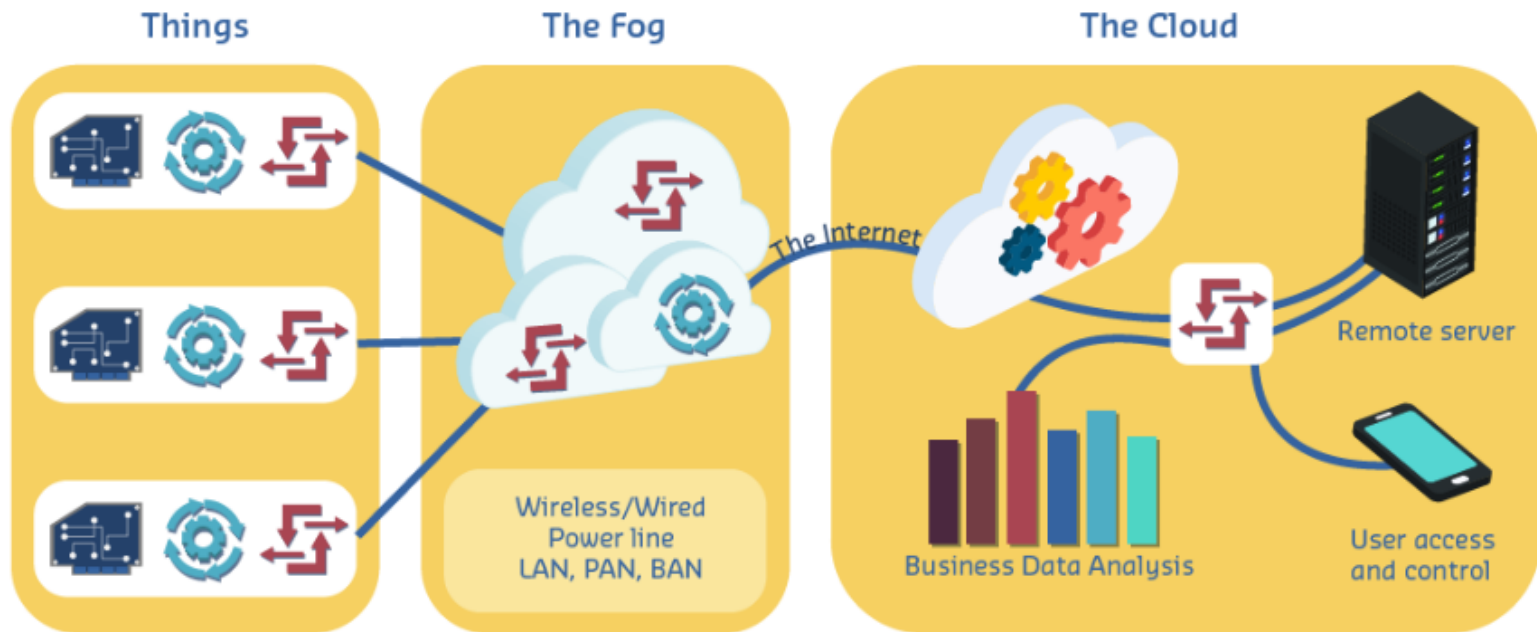


La maîtrise et l'excellence s'acquièrent par la persévérance dans le travail, la pratique, la répétition et la concentration, dans un long processus d'apprentissage.

Introduction

Internet of Things

- ❑ Tous les systèmes IoT peuvent être mappés sur le diagramme suivant :



Sensors & Actuators



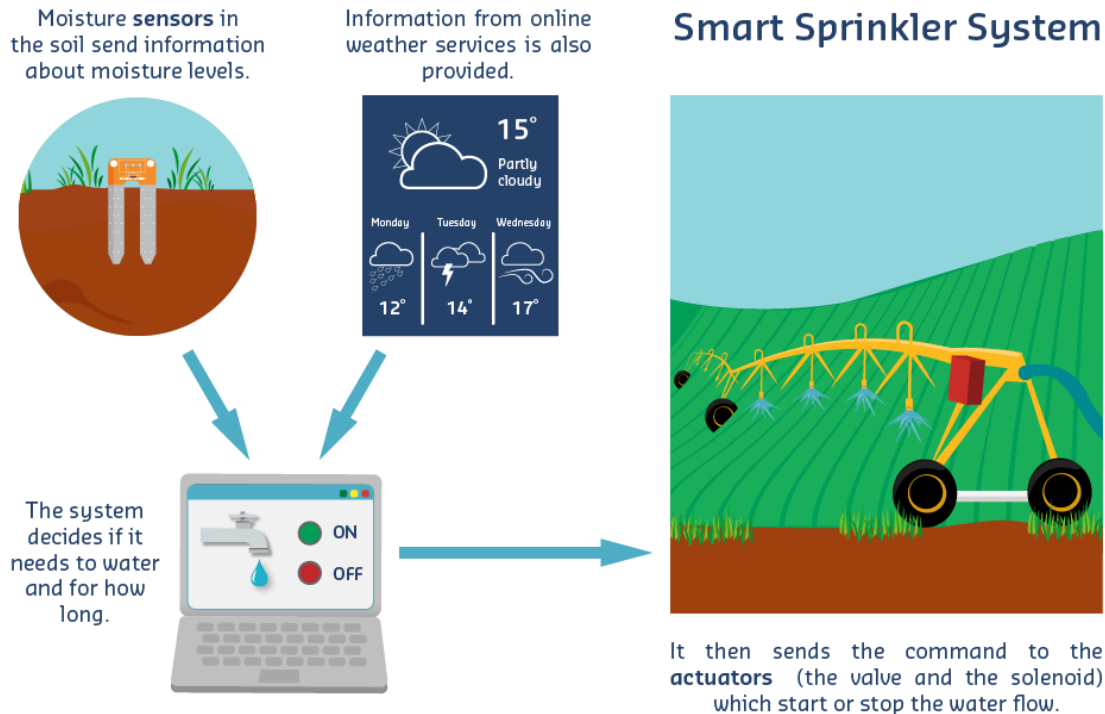
Processing



Communication

Internet of Things

❑ Exemple de modèle d'un système IoT de base.



- ❑ Les ordinateurs, capteurs, actionneurs, interfaces de communication et tous les autres composants physiques de l'IoT constituent le matériel du système. Tous les composants électriques et électroniques fonctionnent à l'électricité.

Bases de l'électronique

Courant, tension, résistance

☐ Courant électrique

- ☐ Le flux d'électrons sautant entre les atomes d'un point chargé négativement à un point chargé positivement est appelé courant électrique (I).
 - ☐ Vous pouvez penser au courant électrique comme de l'eau s'écoulant d'un point haut à un point bas.
- ☐ Le courant électrique est mesuré en ampères.



Courant, tension, résistance

□ Tension

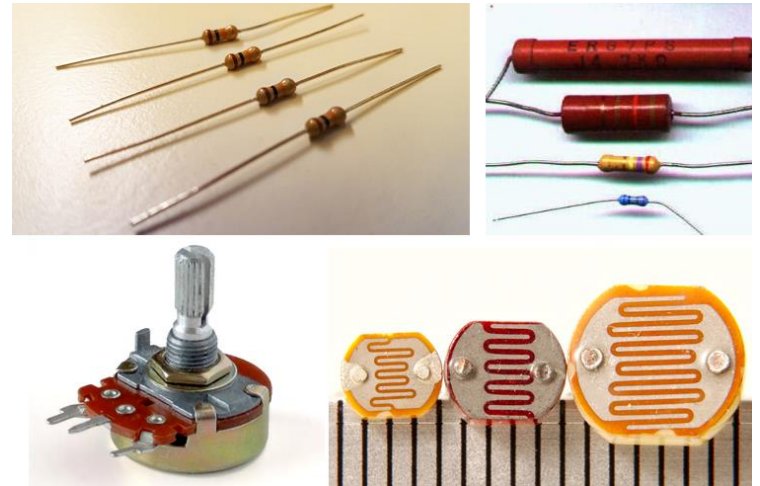
- La différence de charge électrique entre deux points s'appelle tension (V).
- Plus la différence de charge (tension) entre deux points est grande, plus le courant électrique qui circule est élevé. L'unité de tension est la volt.



Courant, tension, résistance

❑ La résistance

- ❑ Une propriété importante des matériaux est la capacité de conduire de l'électricité. Cette propriété s'appelle résistance (R).
- ❑ Les bons conducteurs électriques ont une faible résistance, tandis que les matériaux peu aptes à conduire les courants électriques ont une résistance élevée.
- ❑ L'unité de résistance est le Ohm (Ω).



Courant, tension, résistance

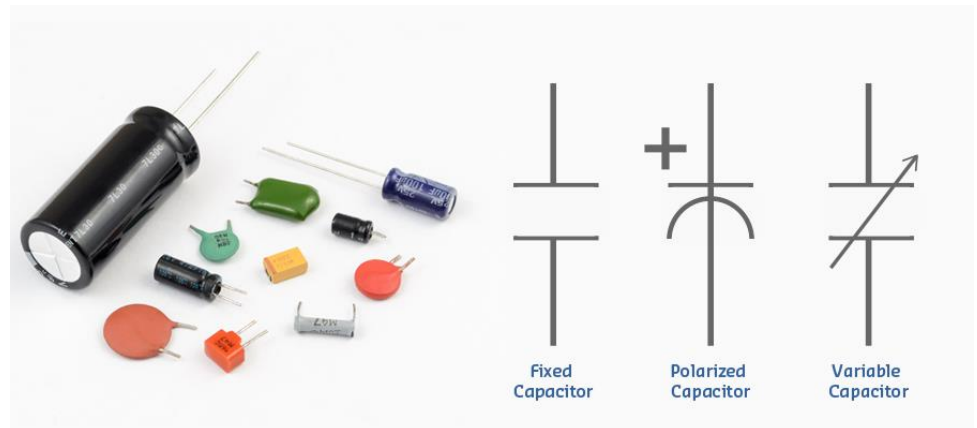
- ❑ Loi d'Ohm :
- ❑ Un volt peut pousser un courant d'un ampère à travers une résistance d'un ohm.

$$I = V/R$$



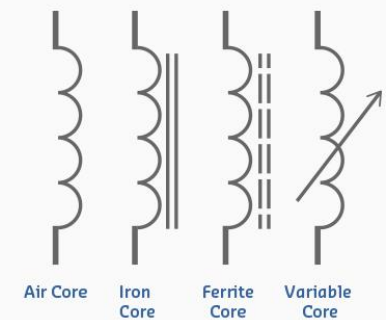
Condensateurs, inductance, semi-conducteurs

- ❑ Condensateurs - ont la capacité de stocker de l'énergie sous forme de charge électrique.(minuscules batteries pouvant être chargées et déchargées très rapidement).
- ❑ Les condensateurs sont utiles pour lisser les signaux analogiques et découpler les appareils gourmands en énergie de l'alimentation.



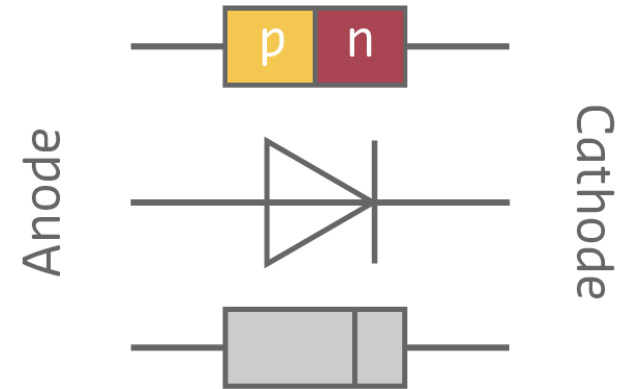
Condensateurs, inductance, semi-conducteurs

- ❑ Inducteurs - Ces composants ont la capacité de stocker de l'énergie sous forme de champs magnétiques lorsqu'un courant électrique les traverse.
- ❑ Physiquement, les inducteurs sont de longs fils enroulés en une bobine autour d'un noyau.



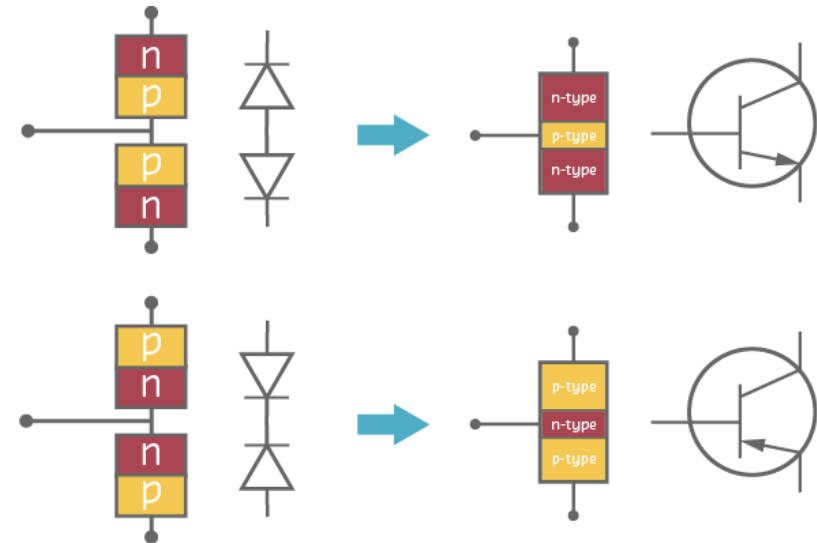
Condensateurs, inductance, semi-conducteurs

- ❑ **Diode** : dispositif électronique à 2 bornes qui est un très bon conducteur d'électricité dans un seul sens.



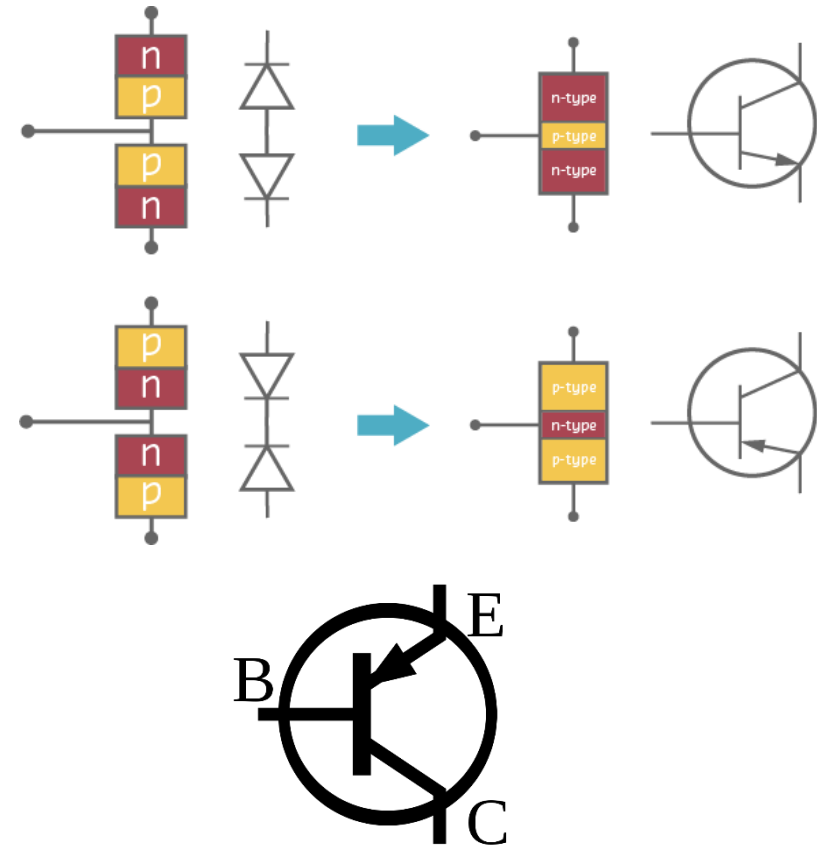
Condensateurs, inductance, semi-conducteurs

- ❑ Transistor :
- ❑ Le transistor est un composant électronique qui est utilisé dans la plupart des circuits électroniques (circuits logiques, amplificateur, stabilisateur de tension, modulation de signal, etc.)
- ❑ C'est un dispositif semi-conducteur à trois électrodes actives, qui permet de contrôler un courant ou une tension
- ❑ C'est un composant fondamental des appareils électroniques et des circuits logiques.



Condensateurs, inductance, semi-conducteurs

- ❑ Transistor comme un commutateur (Régime de saturation) :
- ❑ Dans ce régime le transistor possède 2 états : bloqué ou passant. L'état est considéré comme bloqué lorsque le courant ne parcourt plus le composant. L'état est par ailleurs considéré comme passant lorsque le courant "saturé" circule entre le collecteur et l'émetteur.
- ❑ Régime utilisé dans l'électronique numérique.



De l'analogique vers le numérique

- ❑ Pour comprendre les principes fondamentaux de l'IoT du point de vue matériel, nous devons comprendre l'interface entre les mondes analogique et numérique.
- ❑ Le monde physique est par nature analogique (dans la quasi-totalité des cas). Il est perçu via des signaux analogiques (son, ondes visuelles, etc.) qui peuvent être traités par des systèmes analogiques.
- ❑ Le recours au numérique permet en effet un **stockage aisé** de l'information, une excellente reproductibilité des **traitements**, la possibilité de développer relativement aisément des fonctionnalités complexes, etc.

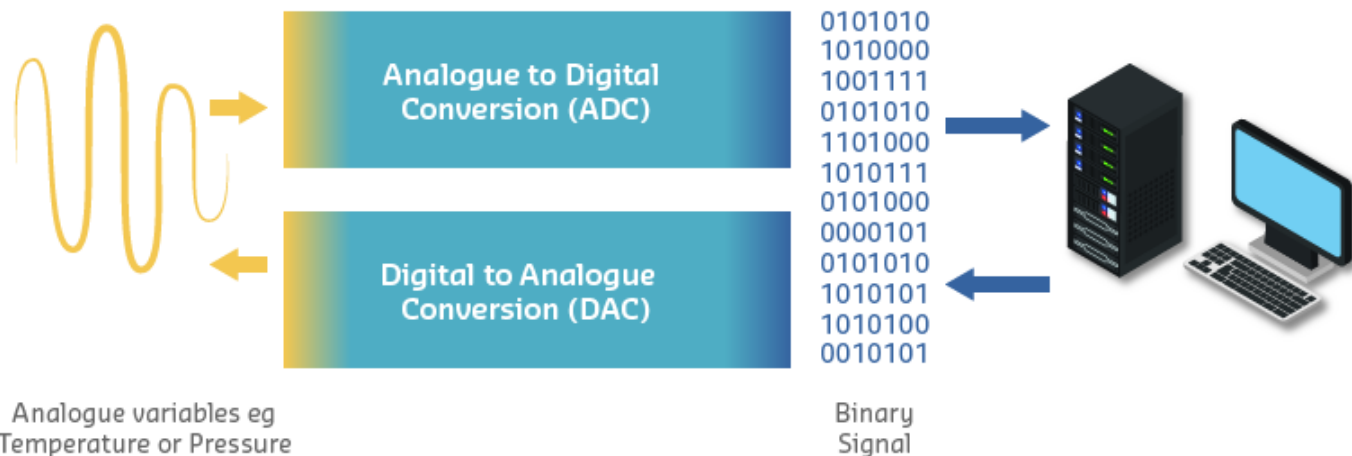
De l'analogique vers le numérique

- ❑ Exemple : température
- ❑ La température ambiante change tout au long de la journée, par incréments pouvant être très grands ou très faibles.
- ❑ Entre deux températures quelconques, il existe un nombre infini de valeurs. La valeur de la température à ce moment précis n'est limitée que par la résolution du thermomètre que vous utilisez pour la mesurer.
- ❑ On pourrait dire la même chose pour la pression, l'humidité, la vitesse du vent, la luminosité du soleil et de l'intensité du tonnerre.

De l'analogique vers le numérique

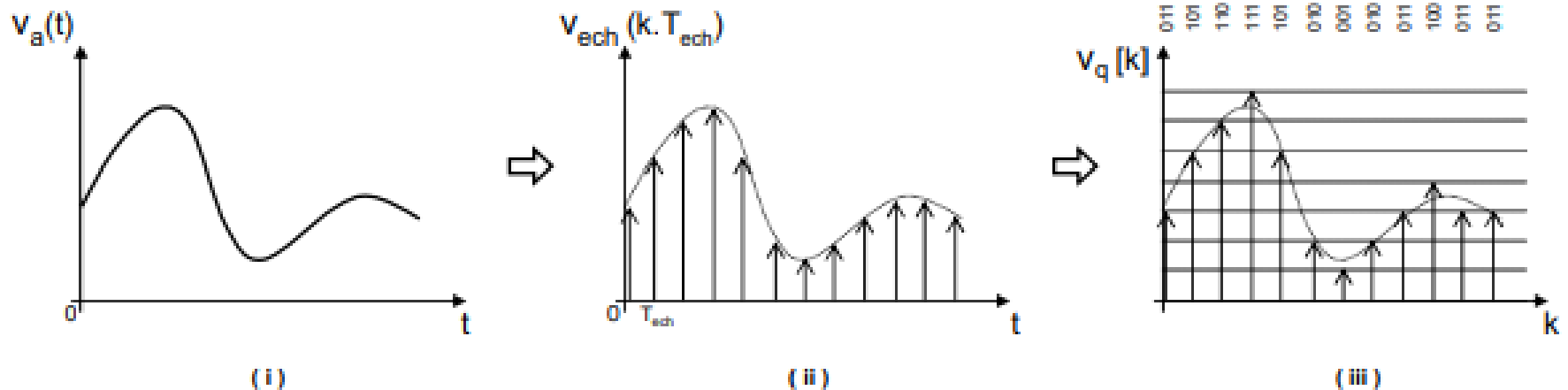
- ❑ Pour traiter des variables analogiques telles que la température ou la pression, nous avons uniquement besoin d'appareils qui «traduisent» les grandeurs analogique, à valeur infinie, vers des valeurs numérique (binaire) de l'ordinateur. Ces appareils sont appelés **convertisseurs analogique-numérique (ADC)** et **numérique-analogique (DAC)**.

Analogue converters interface computers with the real world.



Conversion analogique-numérique

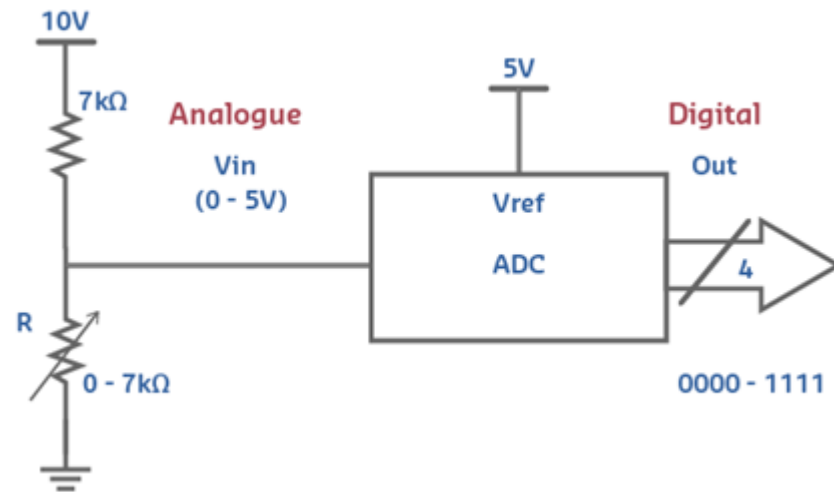
- ❑ Un convertisseur analogique – numérique (CAN) est un dispositif électronique permettant la conversion d'un signal analogique en un signal numérique.
- ❑ Signal analogique : signal continu en temps et en amplitude.
- ❑ Signal numérique : signal échantillonné et quantifié, discret en temps et en amplitude.
- ❑ Conceptuellement, la conversion analogique – numérique peut être divisée en trois étapes :
- ❑ l'échantillonnage temporel, la quantification et le codage.



(i) signal analogique (ii) signal échantillonné (iii) puis quantifié.

Conversion analogique-numérique

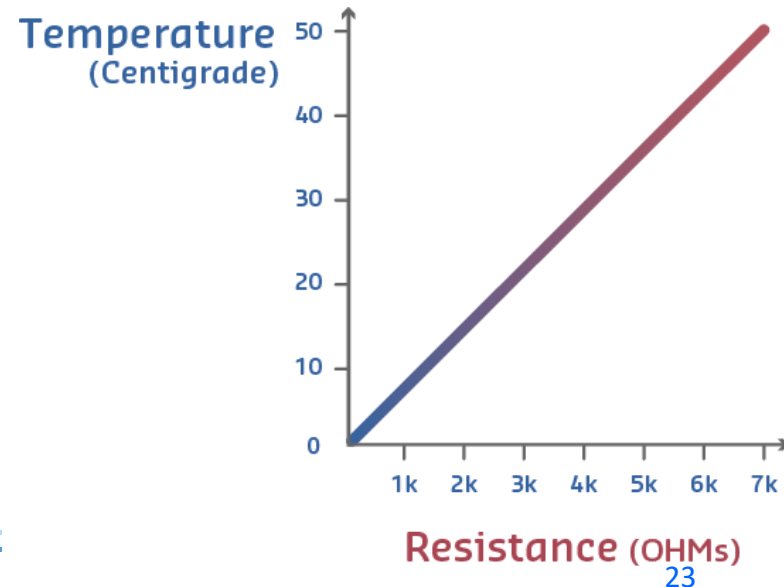
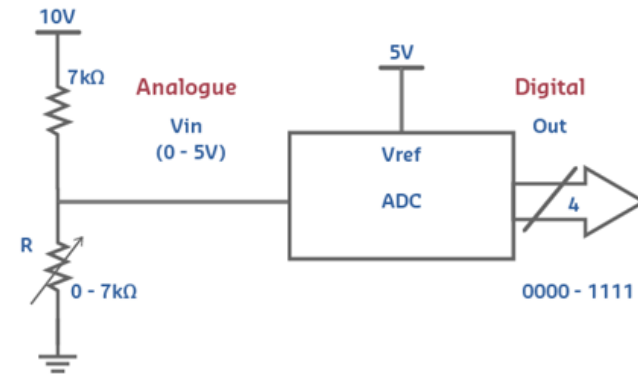
- ❑ Exemple : température
- ❑ Les CAN lisent les tensions analogiques (des tensions pouvant prendre n'importe quelle valeur dans une plage) et produisent un nombre binaire pouvant être utilisé par les ordinateurs.
- ❑ L'hypothèse fondamentale est que les deux plages (analogique et numérique) sont linéaires, de sorte que les convertisseurs doivent uniquement faire correspondre les deux.



Conversion analogique-numérique

- ❑ Exemple : température
- ❑ La valeur de la résistance variable varie de 0 à 7K Ohms en fonction de la température de la maison; plus la température de la maison est élevée, plus la résistance est élevée.
- ❑ Avec les valeurs indiquées dans le diagramme, l'ADC recevra une tension dans la plage de 0 à 5 volts, représentant des températures dans la plage de 0 à 50 ° C.
- ❑ La tension d'entrée n'est pas lue en continu, mais elle est échantillonnée. Le taux d'échantillonnage est très important car il détermine la fréquence maximale des signaux que vous pourrez numériser.
- ❑ Théorème de nyquist :

$$f_{ech} > 2 \cdot f_{max}$$

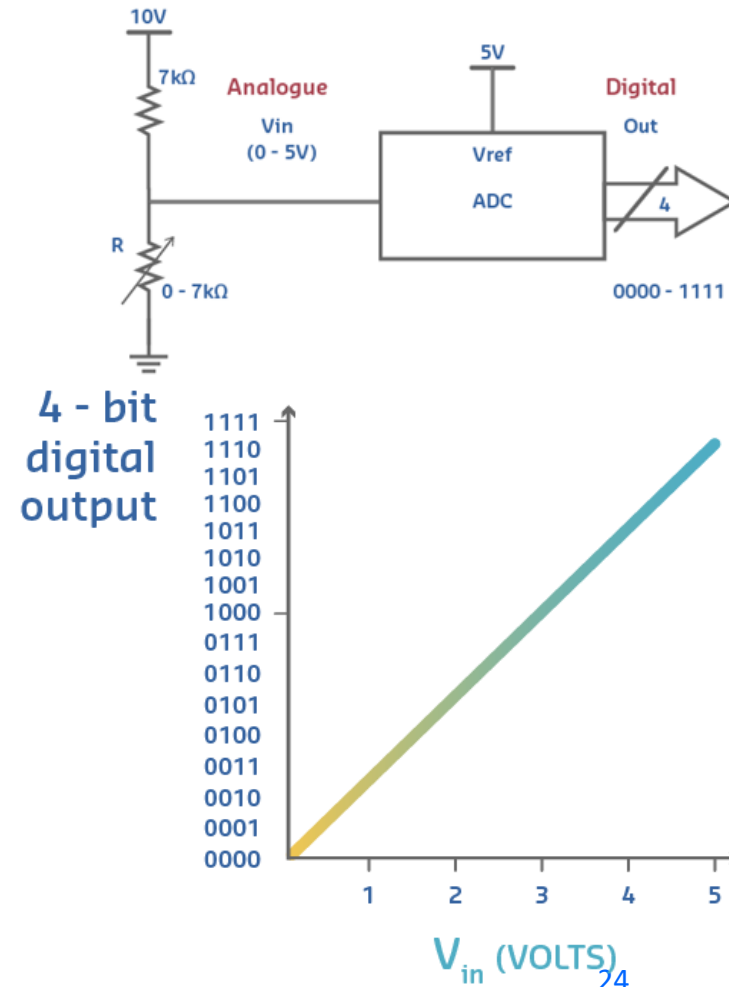


Conversion analogique-numérique

- ❑ Les échantillons de tension sont comparés à une tension de référence dans le CAN
- ❑ L'échantillon de tension d'entrée reçoit ensuite une valeur binaire dans la plage déterminée par le nombre de bits dans le convertisseur.
- ❑ La formule suivante fournit la sortie numérique (Out) pour toute tension d'entrée donnée (V_{in})
 - ❑ dans notre exemple l'ADC à une résolution de 4 bits.

$$Out = (2^4 / V_{ref}) * V_{in}$$

- ❑ Les CAN réels utilisent **10 à 20 bits**; par conséquent, les pas entre les valeurs numériques représentent de très faibles variations de l'entrée analogique.

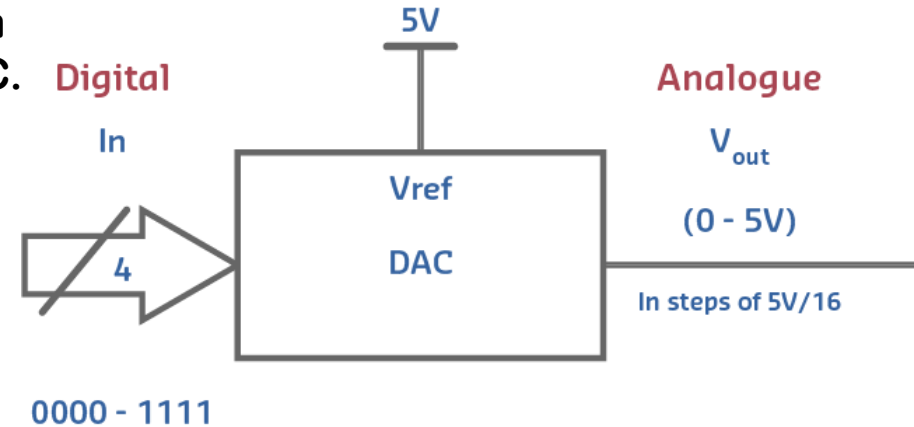


Conversion numérique-analogique

- ❑ Pour reconvertir les valeurs numériques en signaux analogiques, nous utilisons un DAC.

- ❑ Formule pour déterminer la valeur analogique dans la sortie (DAC 4 bits) :

$$V_{\text{out}} = (V_{\text{ref}}/2^4) * I_n$$



Conversion numérique-analogique

- ❑ Exercice :
- ❑ Un convertisseur analogique-numérique de 10 bits a une tension de référence de 10 V. Quelle serait la représentation binaire d'une tension d'entrée de 3,356 V?

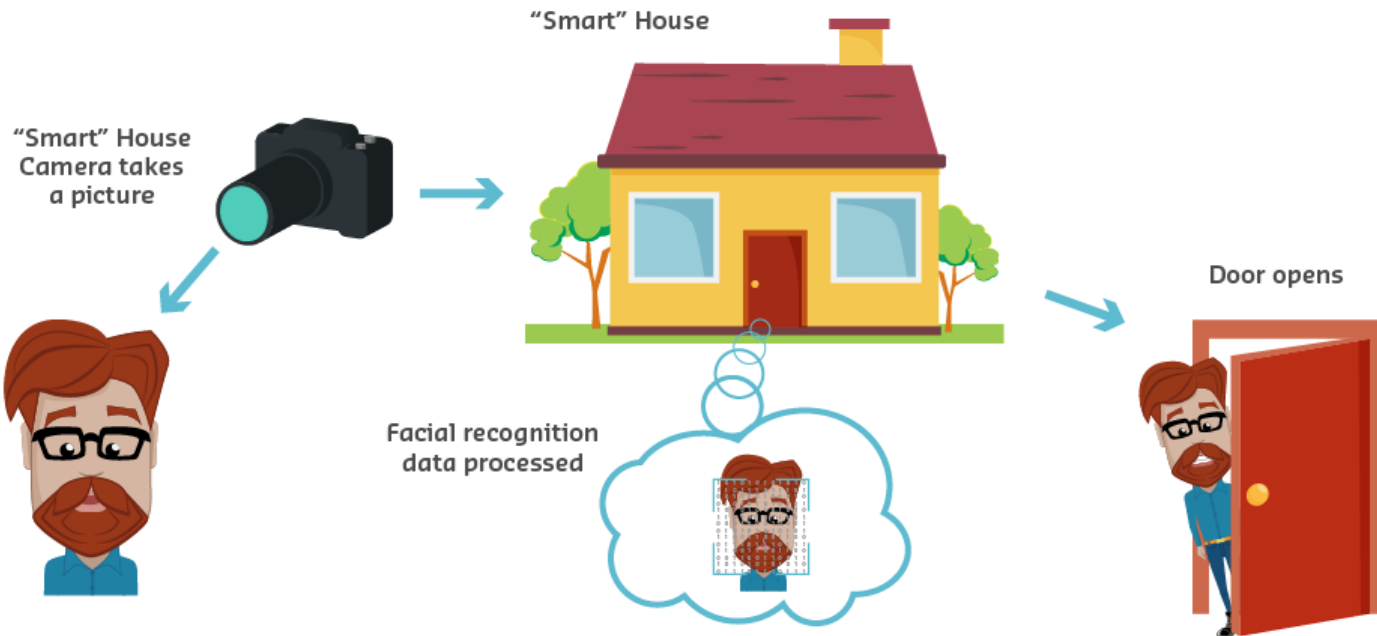
$$\text{Out} = (2^4 / V_{\text{ref}}) * V_{\text{in}}$$

- ❑ Solution :
- ❑ 0101010111
- ❑ 0101011000

End of line thing

Systemes de contrôle

- ❑ l'Internet des objets repose sur un réseau de petits ordinateurs capables de percevoir et de contrôler des éléments du monde.
- ❑ Par exemple, vous pouvez concevoir un système qui ouvre la porte d'une maison quand il reconnaît le visage de celui qui y habite.



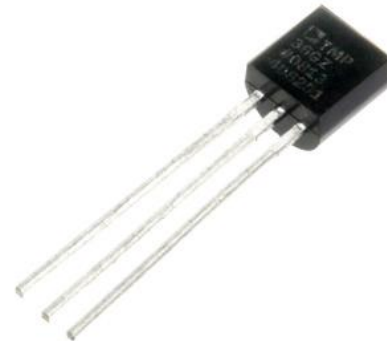
Systèmes de contrôle

- ❑ Si vous prenez quelques exemples, quelle que soit leur fonction, tous auront des caractéristiques communes, à savoir:
- ❑ Ils peuvent **percevoir** un ou plusieurs aspects du monde; (entendre, voir, sentir, ou goûter quelque chose.
- ❑ Ils peuvent **produire une action** dans le monde; (déplacer, allumer ou activer quelque chose.
- ❑ Ils ont un peu d'intelligence qui utilise l'information capturée pour **décider** quand et comment produire une action.



Capteur

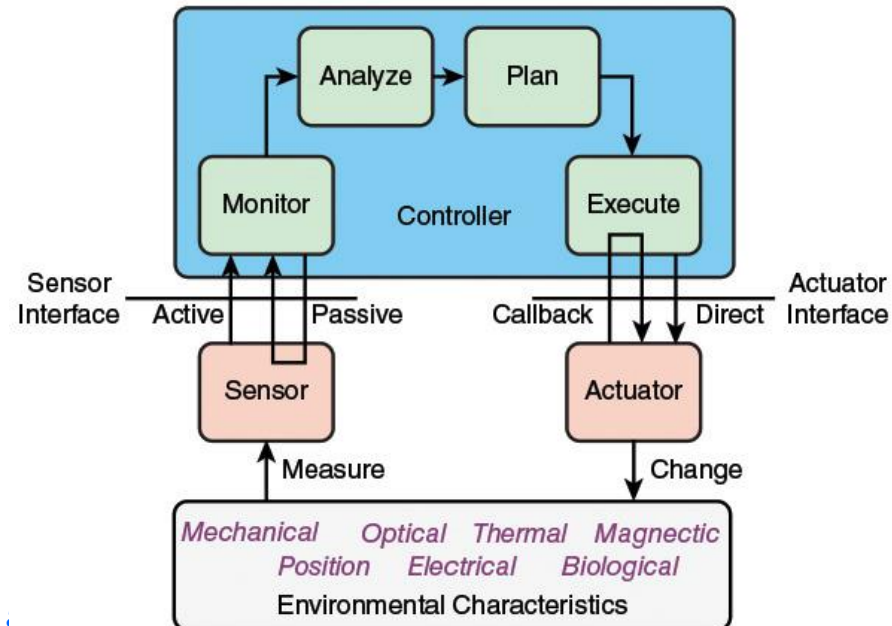
- ❑ Appareil électronique qui convertit un paramètre physique, biologique ou chimique en un signal électrique.
 - ❑ Analogique : température, Humidité, luminosité
 - ❑ Numérique : Présence du phénomène/Absence du phénomène



Capteur

- ❑ Appareil électronique qui convertit un paramètre physique, biologique ou chimique en un signal électrique.
 - ❑ Analogique : température, Humidité, luminosité
 - ❑ Numérique : Présence du phénomène/Absence du phénomène
- ❑ Dans les deux cas, la sortie du capteur est généralement considérée comme entrée dans un contrôleur (élément de gestion).

- ❑ Détection avec contact
- ❑ Détection sans contact

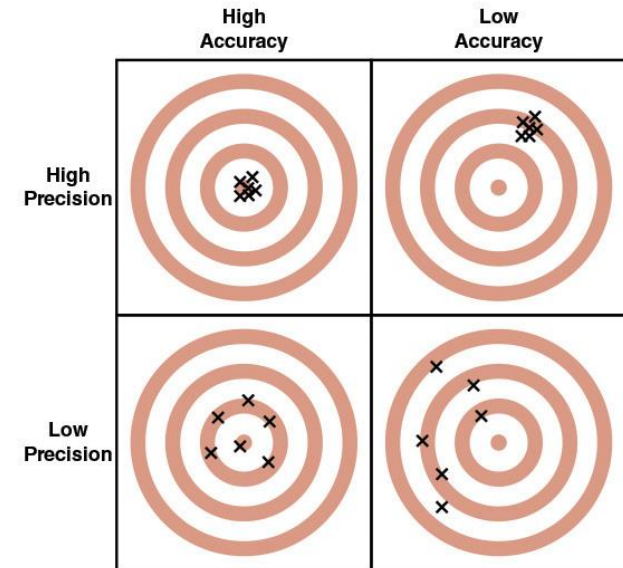


Capteur

- ❑ Il existe une vaste gamme de capteurs pouvant être utilisés dans l'IoT.
- ❑ Nous pouvons généralement les classer en fonction de leurs caractéristiques:
 - ❑ Signal de sortie analogique ou numérique
 - ❑ Principes de transduction - les effets physiques et chimiques utilisés pour obtenir une lecture
 - ❑ Matériel et technologie
 - ❑ Propriété
 - ❑ Application

Capteur : Terminologie

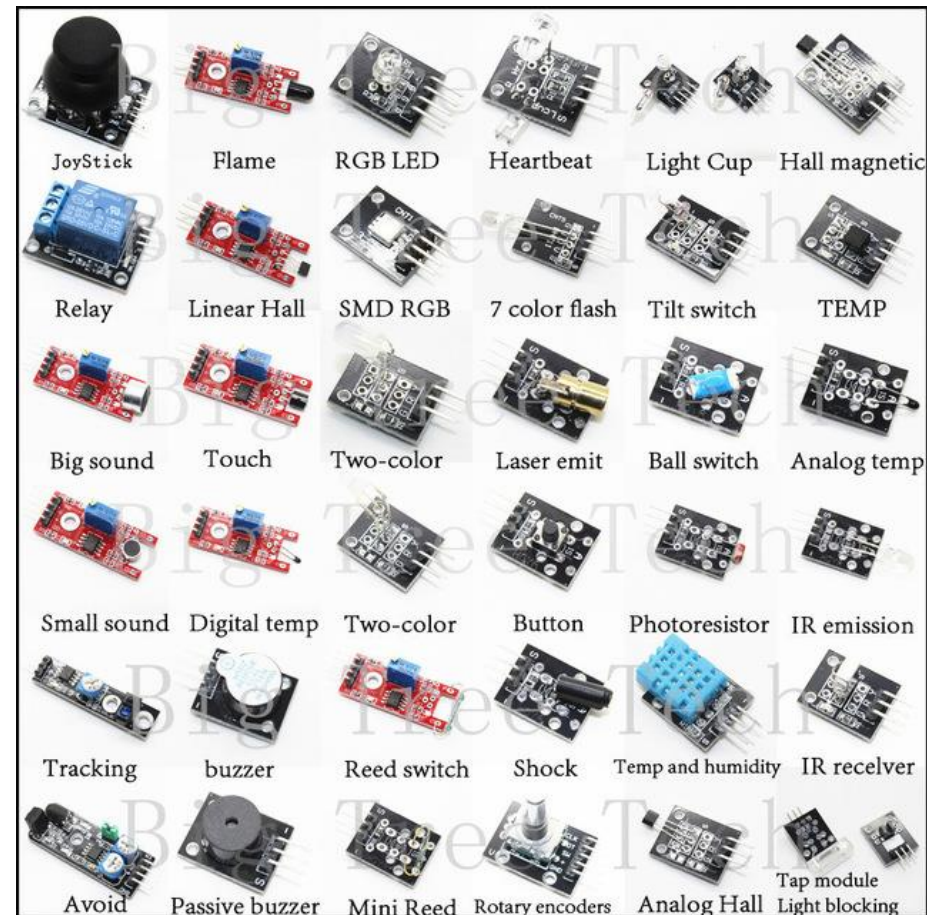
- ❑ **Sensibilité** : l'entrée minimale du paramètre physique qui créera un changement de sortie détectable.
- ❑ **Précision** : le degré de reproductibilité d'une mesure. En d'autres termes, si exactement la même valeur a été mesurée un certain nombre de fois,
- ❑ **exactitude** : la différence maximale qui entre la valeur réelle (qui doit être mesurée par un étalon primaire ou secondaire) et la valeur indiquée à la sortie du capteur.
- ❑ **Linéarité** : une expression de la mesure dans laquelle la courbe réelle mesurée s'écarte de l'idéal
- ❑ **Temps de réponse** : l'état de sortie passe à un nouvel état sur une période donnée
- ❑ **Champ** : les valeurs maximales et minimales du paramètre appliqué pouvant être mesurées.



Capteurs

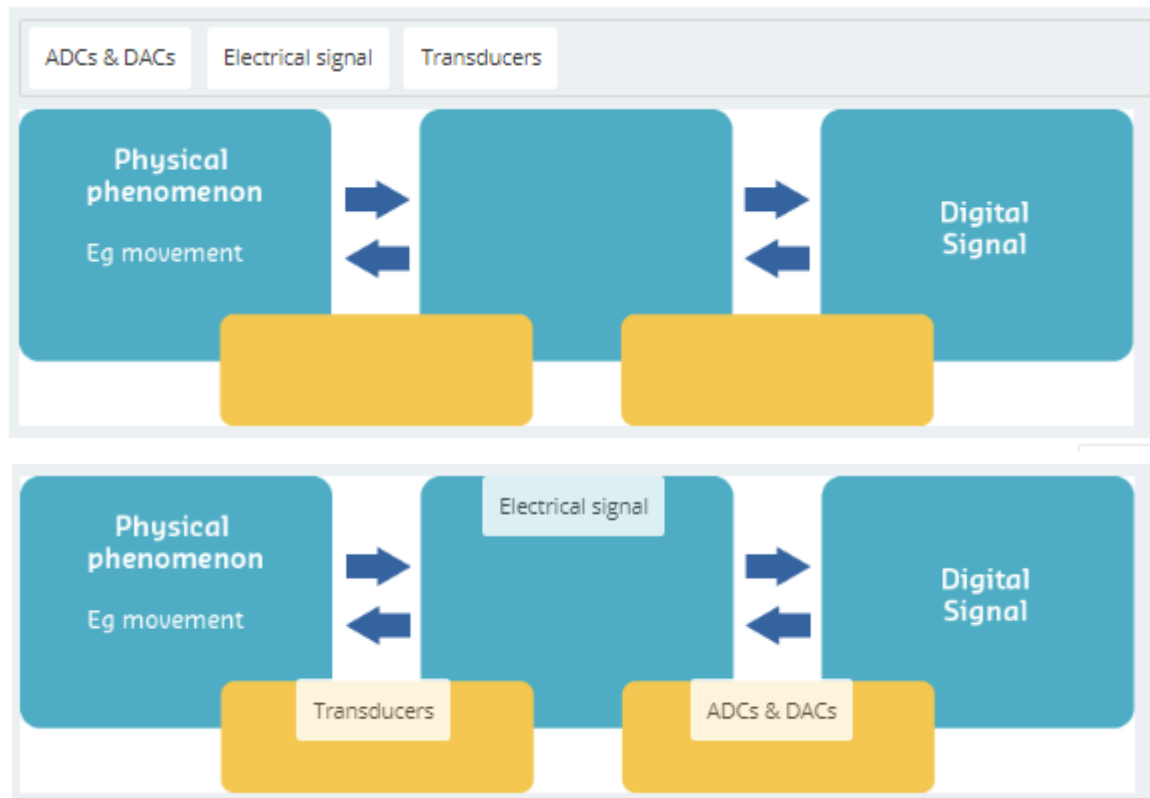
❑ Les capteurs peuvent également appartenir à plusieurs catégories en fonction de leurs propriétés ou de ce qu'ils détectent directement.

- ❑ Température
- ❑ Pression
- ❑ Débit
- ❑ Capteurs de niveau.
- ❑ Proximité et déplacement
- ❑ Biocapteurs.
- ❑ Image.
- ❑ Gaz et produits chimiques:
- ❑ Unités de mesure inertielle: Gyroscopes, accéléromètres, magnétomètres.
- ❑ Autres: Humidité, capteur d'humidité, capteur d'inclinaison, force, viscosité



Transducteurs

- ❑ **Transducteurs** : dispositifs ayant la propriété de convertir un type d'énergie en un autre.



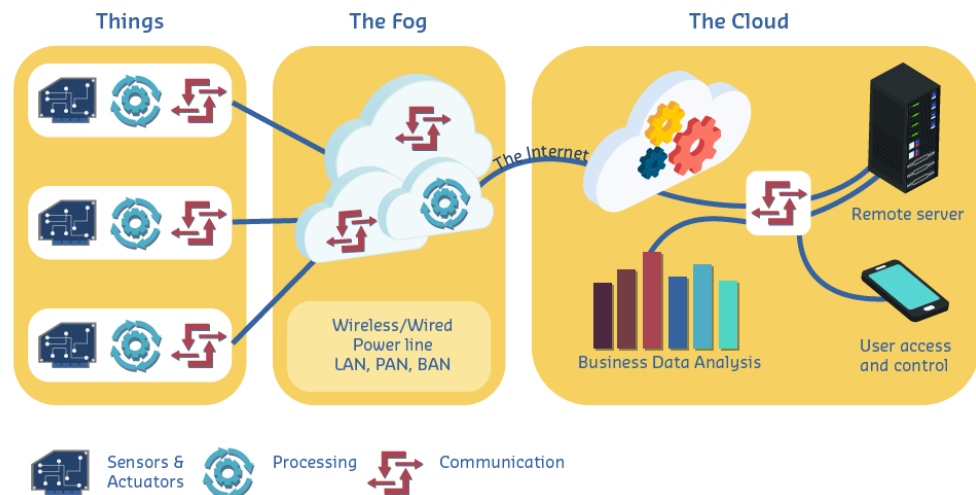
Actionneurs

- ☐ Un actionneur est un dispositif qui agit dans le monde physique, c'est-à-dire, changer son état.
- ☐ Les actionneurs fonctionnent de plusieurs manières. Ils sont soit:
 - ☐ Électrique
 - ☐ Pneumatique (utilise la pression d'air)
 - ☐ Hydraulique (utilise la pression du fluide)
 - ☐ Mécanique
- ☐ Les actionneurs utilisent une source d'énergie - par exemple, le courant électrique - et convertissent cette énergie pour créer un mouvement ou contrôler un système.
- ☐ Actionneurs couramment utilisés :
 - ☐ Allumage d'un éclairage
 - ☐ Déclenchement d'un avertisseur sonore
 - ☐ Allumage d'une machine
 - ☐ Génération de mouvements (ex. servomoteur)
 - ☐ Commande de robots
 - ☐ Commande de moteurs (à courant continu, pas-à-pas, etc.)
 - ☐ Contrôle de débits (air, pression, liquides, etc.)
 - ☐ et ils peuvent tout faire sans aucune intervention humaine.

Equipements intermédiaires

Dispositifs de traitement

- ❑ Un composant clé pour développer une solution IoT :
- ❑ Ordinateur qui lit les infos collectées par les capteurs, stocke et traite les données, communique et affiche les résultats ou actionne un autre périphérique.
- ❑ Il existe des milliers de types différents, avec une vaste gamme de fonctionnalités, de coûts , ce qui soulève des questions, telles que:
 - ❑ Quel micro dispositif de traitement devrions-nous utiliser?
 - ❑ Comment pouvons-nous les amener à communiquer à Internet ?



Microcontrollers and microprocessors

- ❑ Le premier choix qu'il faut faire lors de la conception d'une solution IoT consiste à utiliser un microcontrôleur ou un microprocesseur.
- ❑ Dans de nombreux cas, cela revient simplement à poser la question : «Ai-je besoin d'un système d'exploitation?»
- ❑ Lorsqu'ils sont utilisés, les systèmes d'exploitation pour le matériel IoT sont souvent classés en deux groupes:
 - ❑ Les **périphériques finaux (End devices)**, ou nœuds, ont souvent une puissance faible (à la fois en énergie et en traitement).
 - ❑ Les **passerelles (Gateway)** contrôlent souvent la communication vers le Cloud ou gèrent elles-mêmes des traitements importants.
- ❑ Alors que de plus en plus de traitements sont poussés jusqu'aux équipements de bord du réseau (**Fog** et **Edge computing**),
- ❑ Les applications et périphériques traditionnels qui fonctionnaient auparavant sans OS tirent parti de la facilité de développement, de maintenance et d'automatisation qu'un OS apporte.

Microcontrollers and microprocessors

- ☐ Il y a plusieurs aspects clés à considérer lors de la sélection d'un micro. Ils comprennent:
 - ☐ **Consommation d'énergie**
 - ☐ La plupart des appareils IoT seront placés sur le terrain avec une petite batterie.
 - ☐ **Options de connectivité**
 - ☐ dépendant principalement du débit et de la portée requises.
 - ☐ **Cartes de développement et kits**
 - ☐ De nombreuses cartes de développement IoT sont des solutions de prototypage dotées de processeurs basse consommation et prenant en charge divers environnements de programmation.
 - ☐ Il existe des plates-formes de prototypage matériel plus puissantes (micro-ordinateurs), telles que Raspberry Pi et BeagleBoard.
- ☐ **Ce que vous choisirez dépendra de:**
 - ☐ Les exigences de votre projet, et
 - ☐ Résultats de test.

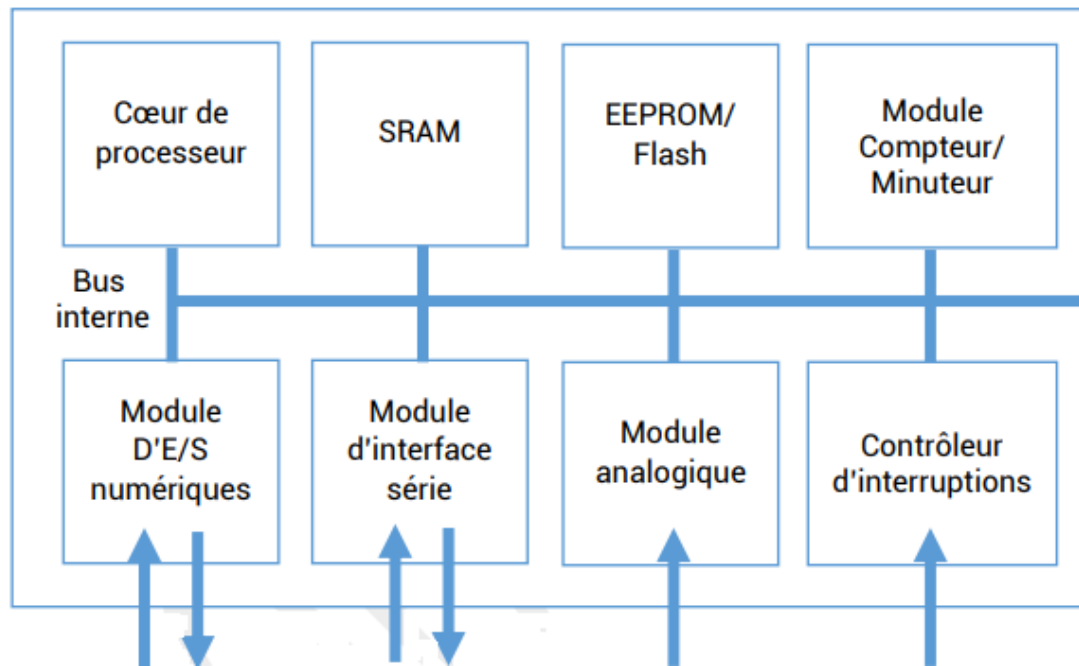
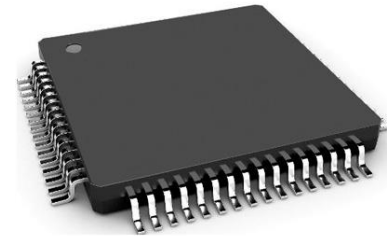
Microcontrollers and Microcomputer developments boards

- ❑ **Microprocesseur** : circuit intégré qui contient seulement le CPU (Central Processing Unit) à l'intérieur. Les microprocesseurs ne disposent pas de RAM, de ROM, de broches d'E/S, de timers et d'autres périphériques sur la puce.
- ❑ **Micro-ordinateur** : est un petit ordinateur de taille réduite et peu coûteux.



Microcontrollers and Microcomputer developments boards

- ❑ **Microcontrôleur** : Le microcontrôleur est comme un mini-ordinateur doté d'un processeur, de RAM, de ROM, de ports série, de timers et des périphériques E/S, le tout intégré sur une seule puce. Il est conçu pour effectuer des tâches spécifiques aux applications nécessitant un certain degré de contrôle, contrôle des feux de circulation, contrôle de température, etc.



Microcontrollers and Microcomputer developments boards

Microprocessor

- CPU is stand-alone, RAM, ROM, I/O, timer are separate
- designer can decide on the amount of ROM, RAM and I/O ports.
- Expensive
- Versatility
- General-purpose
- High processing power
- High power consumption
- Instruction sets focus on processing-intensive operations
- Typically 32/64 – bit
- Typically deep pipeline (5-20 stages)

Microcontroller

- CPU, RAM, ROM, I/O and timer are all on a single chip
- Fixed amount of on-chip ROM, RAM, I/O ports
- For applications in which cost, power and space are critical
- single-purpose (control-oriented)
- Low processing power
- Low power consumption
- Bit-level operations
- Instruction sets focus on control and bit-level operations
- Typically 8/16 bit
- Typically single-cycle/two-stage pipeline

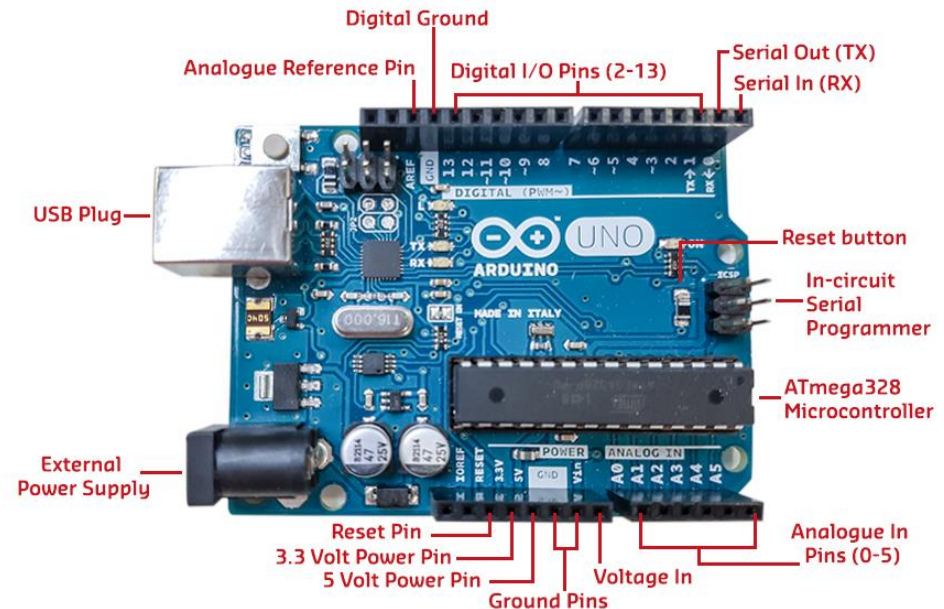
Microcontrollers and Microcomputer developments boards

❑ Microcontroller development boards

- ❑ Les cartes de développement sont des PCB (circuits imprimés) avec des circuits supplémentaires pour prendre en charge le microcontrôleur, afin de faciliter le prototypage et la programmation de la puce.
- ❑ Les capteurs et actionneurs sont connectés à des broches numériques ou analogiques GPIO (General Purpose Input Output) sur la carte de développement.

❑ Exemples :

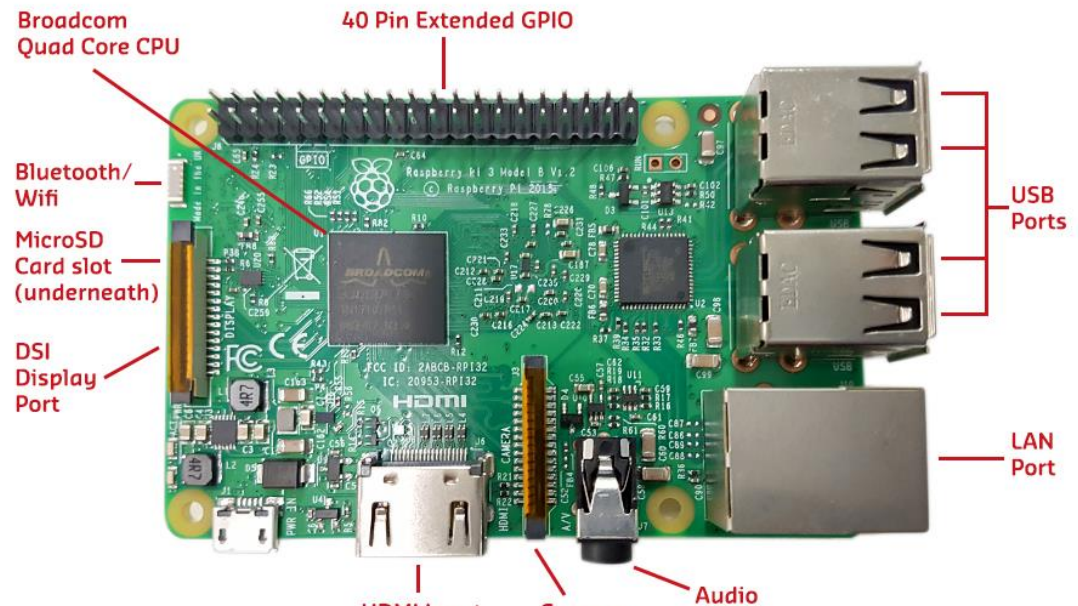
- ❑ Arduino Uno / Mega
- ❑ Photon
- ❑ ESP8266
- ❑ ESP32
- ❑ ...



Microcontrollers and Microcomputer developments boards

- ❑ **Microcomputer development boards**
- ❑ Similaire aux cartes de développement de microcontrôleurs, Cependant, dans la plupart des cas, ils sont beaucoup plus puissants avec un processeur plus rapide, une RAM plus importante et une variété de périphériques d'E / S, tels que USB, Ethernet, WiFi et HDMI
- ❑ Aussi appelés «Single Board Computer», ils utilisent généralement un système d'exploitation, ce qui permet d'utiliser un large éventail d'outils de développement.

- ❑ **Exemples :**
 - ❑ Raspberry Pi
 - ❑ Beagle Bone
 - ❑ Intel Galilio
 - ❑ ...

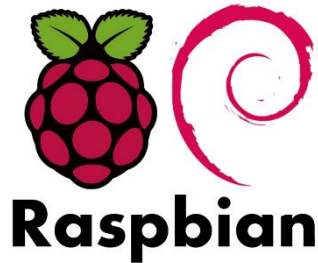


Microcontrollers and Microcomputer developments boards

Spécifications	Arduino Uno	Raspberry Pi 3 B+
Type	Microcontrôleur 8 bits	Micro-ordinateur 64 bits
Vitesse CPU	16 MHz	Quad core 1.4GHz
RAM	2 KB	1GB LPDDR2 SRAM
EEPROM	32 KB	Non (SD Card)
GPU	Non	VideoCore IV
GPIO Pins	14 digital (6 analog)	40
Connectivité	Non	Wifi, Ethernet, Bluetooth, BLE, USB (4), HDMI
OS	Non	Oui (Linux Like, windows IoT core ...)
Alimentation	5V / 2A	5V / 2.5A
Consommation	0.25 W	3,5 W
Prix	5\$ - 12 \$	35 \$

Microcontrollers and Microcomputer developments boards

- ❑ Avons-nous besoin d'un système d'exploitation?
- ❑ La décision d'utiliser un système d'exploitation aura un impact considérable sur votre choix de micro.
 - ❑ Examiner les exigences de mémoire et d'E/S de votre périphérique.
- ❑ Si votre application nécessite moins de 16 kilo-octets de RAM ou Flash (généralement un micro de 8 ou 16 bits) et peut être implémentée en une seule boucle, un système d'exploitation n'est probablement pas nécessaire.
- ❑ Cependant, avec les coûts matériels en constante réduction, même les applications les plus simples incluent désormais un système d'exploitation.



Microcontrollers and Microcomputer developements boards

☐ Points à considérer lors du choix d'un système d'exploitation intégré

☐ Empreinte mémoire

- ☐ Cela fait référence à la mémoire vive requise pour exécuter le SE. Les périphériques IoT étant soumis à des contraintes, nous devons sélectionner un SE de taille minimale

☐ Sécurité

- ☐ Le SE peut être sécurisé en proposant un cryptage de communication, un chargeur de démarrage sécurisé et une protection du code.

☐ Modularité / Compatibilité /Maintenabilité

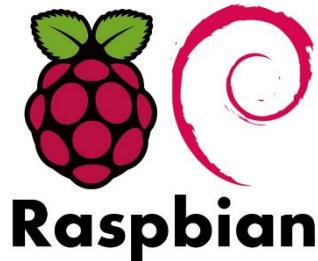
- ☐ Un SE est composé d'un noyau qui remplit les exigences de base. Toutes les autres fonctionnalités (support USB, par exemple) doivent être modulaire incluses uniquement si nécessaire . Ce noyau doit être portable.

☐ Support et Fiabilité

- ☐ Les appareils IoT sont souvent installés dans des sites distants et devraie fonctionner pendant des années sans redémarrage.

☐ Coût (Open / closed)

☐ Prise en compte du RT



Microcontrollers and Microcomputer developements boards

❑ Exemples de SE

Système d'exploitation	Open/closed source	Caractéristiques
Riot OS	Open source	Can run on variety of platforms, easy to use API, efficient use of power.
Windows IOT	Closed source	3 subset OS (for IoT Mobile (supporting ARM), for IoT Core (Raspberry Pi and Intel Atom,) for IoT Enterprise
WindRiver Vx Works	Closed source	Robust and highly scalable, high number of security features
FreeRTOS	Open Source	Small and simple real-time operating system, designed for many hardware plateformes
TinyOS	Open source	Designed for low power wireless devices
Contiki		Connects tiny low-cost, low-power microcontrollers to the Internet
Raspbian	Open source	Designed for Raspberry Pi, based on Debian

Questions :

