

COURS – Informatique Embarquée – SNT

Sommaire

A) Introduction

B) Informatique embarquée

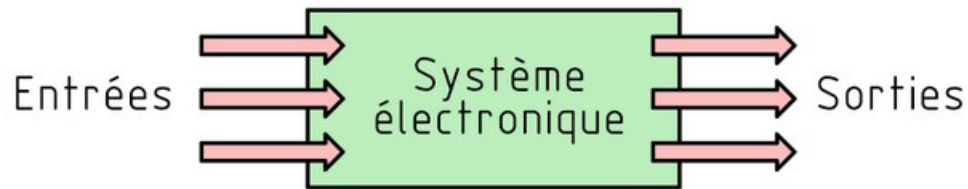
- 1) Structure d'un système embarqué
- 2) Unités de traitement
- 3) Capteurs
- 4) Actionneurs & préactionneurs
- 5) Source d'énergie
- 6) IHM

C) Objets connectés

- 1) Structure d'un objet connecté
- 2) Types de connexion
- 3) Quelques définitions
- 4) Cybersécurité

A) Introduction

Un système électronique traite des signaux d'entrée pour produire des signaux de sortie. Si les systèmes câblés étaient très communs autrefois, ils ont tendance à être remplacés par des systèmes programmés, plus flexibles et économiques.



Selon la définition de Wikipédia, on désigne sous le terme informatique embarquée les aspects logiciels se trouvant à l'intérieur des équipements n'ayant pas une vocation purement informatique. L'ensemble logiciel, matériel intégré dans un équipement constitue un système embarqué. L'informatique embarquée est omniprésente : Appareils électroménager, téléphone portable, automobile... En résumé :

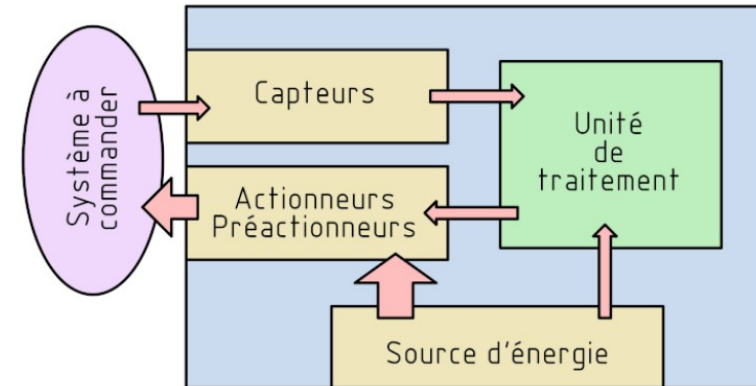
Système embarqué : Tout objet, autre qu'un PC, à l'intérieur duquel on a placé de l'informatique pour le contrôler.

B) Informatique embarquée

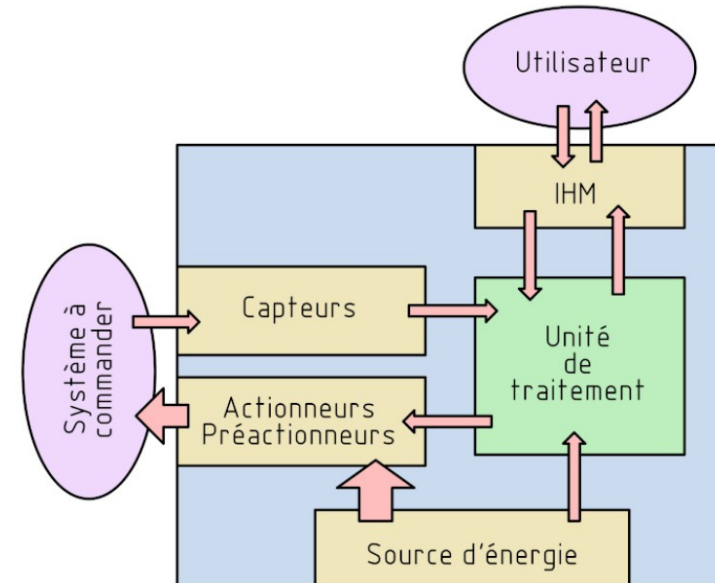
1) Structure d'un système embarqué

Dans sa forme basique, un système embarqué comporte quatre parties :

- L'unité de traitement.
- Les capteurs.
- Les actionneurs et préactionneurs.
- La source d'énergie.



L'ajout d'une IHM (interface homme-machine) permet à un utilisateur de dialoguer avec le système embarqué.



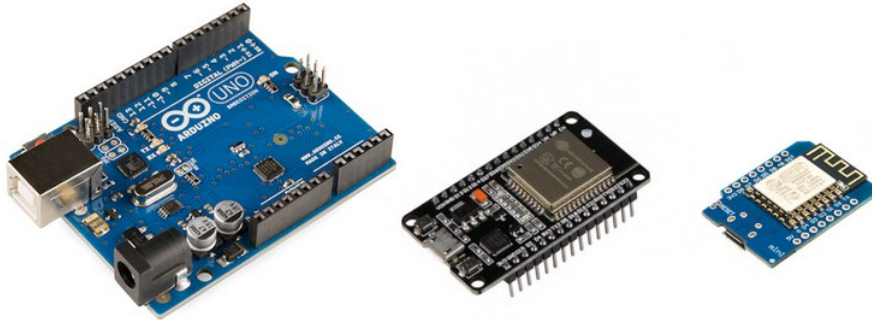
2) Unités de traitement

Elles peuvent être constituées :

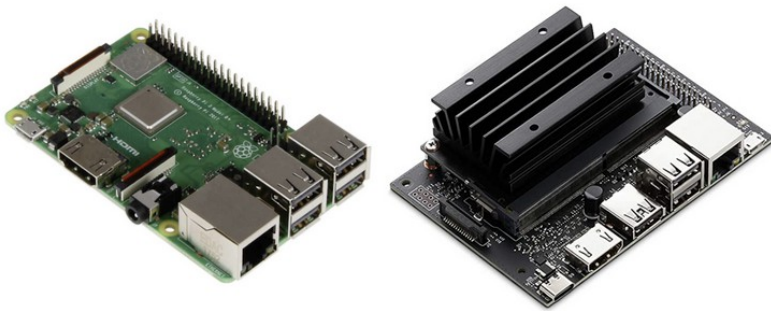
- D'un microcontrôleur : Fait fonctionner un seul programme à la fois.
- D'un microprocesseur : Fait fonctionner plusieurs programmes en même temps.

Solutions classiques de prototypage

- Basées sur un microcontrôleur : Arduino UNO, ESP32, Wemos D1...



- Basées sur un microprocesseur : Raspberry Pi, Jetson Nano...



L'exemple de programme ci-dessous, en C++, sert à générer un signal rectangulaire sur le connecteur 3 d'une carte Arduino UNO.

```
1 void setup() {
2   pinMode(3, OUTPUT);
3 }
4
5 void loop() {
6   digitalWrite(3, HIGH);
7   delay(1000); // Attendre 1000 millisecondes
8   digitalWrite(3, LOW);
9   delay(500); // Attendre 500 millisecondes
10 }
```

Explications :

Elément de programme	Description
void	Définit une fonction ne retournant aucune valeur
setup()	Fonction exécutée une seule fois
loop()	Fonction exécutée en boucle
pinMode(3, OUTPUT);	Le connecteur 3 est défini en sortie
digitalWrite(3, HIGH);	Le connecteur 3 délivre une tension de 5 V
digitalWrite(3, LOW);	Le connecteur 3 délivre une tension de 0 V
delay(1000);	Le programme se met en pause pendant 1000 ms soit 1 s
//	Il s'agit d'un commentaire destiné au programmeur

Unité de traitement :

Système qui traite les données échangées avec le système à commander et, le cas échéant, l'utilisateur.

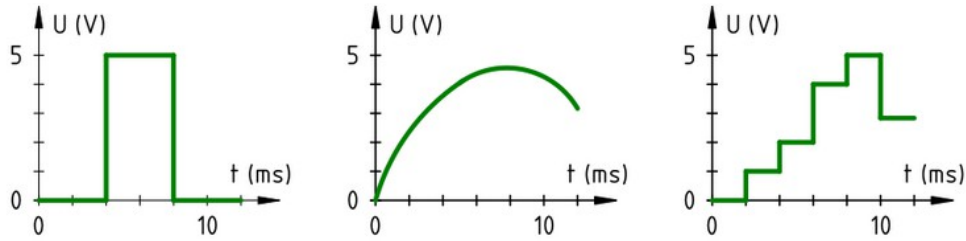
Note : Diverses solutions existent comme le montre les exemples ci-dessous.

- MCU (Micro Processing Unit) : Utilise une mémoire flash embarquée dans la puce pour stocker et exécuter un programme.
- MPU (Micro Computer Unit) : Utilise une mémoire externe pour stocker et exécuter un programme.
- CPU (Central Processing Unit) : Element central d'un ordinateur ou d'un téléphone portable, équipé d'un système d'exploitation pour faire fonctionner plusieurs programmes en même temps.
- GPU (graphics processing unit) : Circuit intégré présent sur une carte graphique assurant les fonctions de calcul de l'affichage.
- SOC (System On Chip) : Performant mais peu polyvalent, c'est un système complet embarqué sur une seule puce.
- MCM (Multi Chip Module) : Assemblage de plusieurs circuits intégrés.

3) Capteurs

Un capteur mesure une grandeur physique (pression, tension, courant, fréquence...) pour la convertir en un signal électrique compréhensible par l'unité de traitement.

Le signal électrique peut être logique, analogique ou numérique.

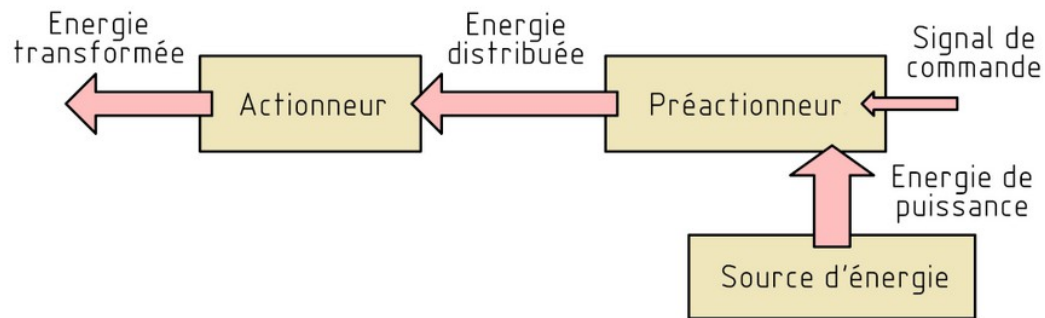


Capteur

Système qui convertit une grandeur physique en un signal électrique.

4) Actionneurs & préactionneurs

L'unité de traitement traite des signaux de très faible puissance. Elle ne peut alimenter directement les actionneurs qui consomment une forte puissance. Le préactionneur sert d'intermédiaire entre l'unité de traitement et l'actionneur. Il distribue l'énergie de puissance vers l'actionneur selon le signal de commande qu'il reçoit.



Exemples classiques :

Energie de puissance	Actionneur	Préactionneur
Electrique	Moteur électrique	Contacteur Transistor
Pneumatique Hydraulique	Vérin	Distributeur

Actionneur

Système qui convertit l'énergie de puissance en une énergie utile pour la machine.

Préactionneur

Système qui distribue l'énergie disponible vers un actionneur.

5) Source d'énergie

Elle alimente en énergie le système embarqué. Elle peut être :

- Une alimentation autonome :
 - Piles, batteries (rechargeables, jetables).
 - Condensateurs.
 - Systèmes à récupération d'énergie (capteurs solaires, éoliens...).
- Une alimentation extérieure (prise secteur avec convertisseur).

Courant électrique

C'est un flux d'électrons au sein d'un matériau conducteur.

- Le débit d'électrons est désigné par l'intensité I en A.
- La différence de potentiel aux bornes d'un composant est la tension U en V.

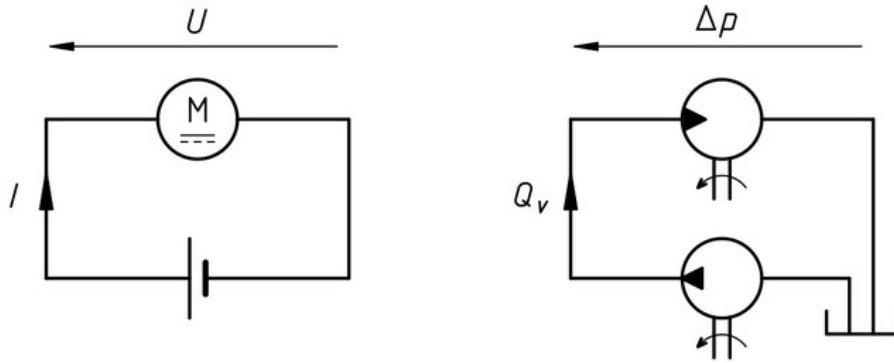
Loi d'Ohm

Lorsque le courant traverse une résistance, la loi d'Ohm donne la relation entre la tension, l'intensité, la valeur R de la résistance en Ω :

$$U = R \cdot I$$

Comparaison avec un circuit hydraulique

- L'intensité équivaut au débit volumique Q_v en m^3/s .
- La tension équivaut à la différence de pression Δp en Pa.
- Puissances échangées en W :
 - Électrique : $P = U \cdot I$
 - Hydraulique : $P = \Delta p \cdot Q_v$



Remarques :

- $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s} = 6,24 \cdot 10^{18} \text{ électrons/s}$
- $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ daN/cm}^2$

6) IHM

L'interface homme-machine permet à l'utilisateur de dialoguer avec le système embarqué. Elle comporte :

- Des boutons-poussoirs et des voyants dans sa forme basique.
- Un clavier et un écran, éventuellement tactile, dans sa forme évoluée.
- Un système de reconnaissance faciale, une synthèse vocale dans sa forme... futuriste.

IHM

Système qui permet à un utilisateur de dialoguer avec la machine.

C) Objets connectés

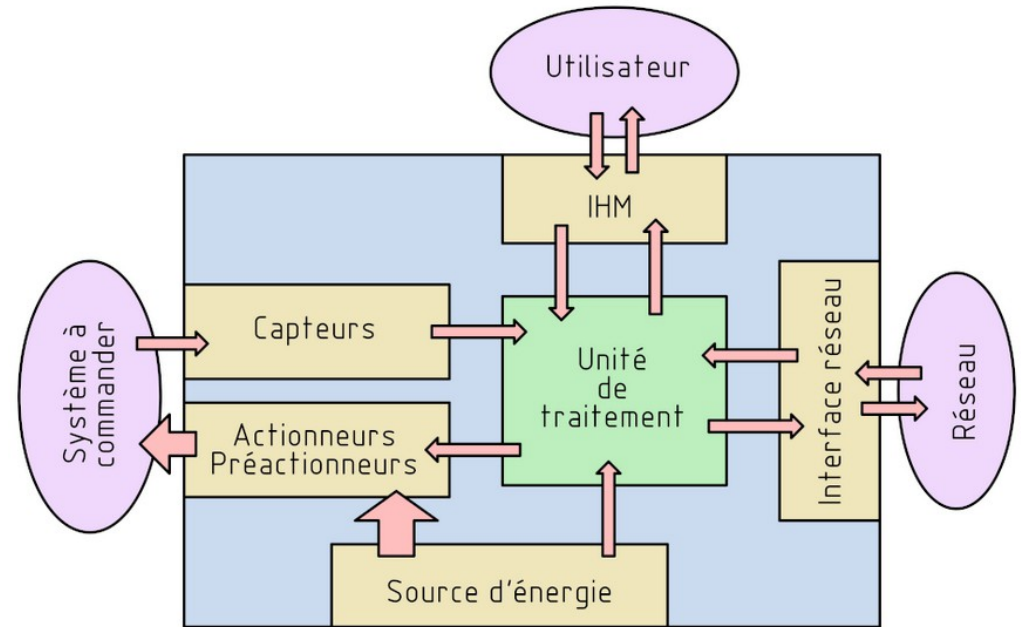
1) Structure d'un objet connecté

Avec le développement d'Internet, les systèmes embarqués sont avantageusement mis en réseau. Ils peuvent ainsi se commander à distance ou communiquer entre eux. Au lieu de dire système embarqué connecté, on dit plus simplement objet connecté.

Objet connecté

Système embarqué relié à un réseau lui permettant de communiquer avec d'autres systèmes informatiques.

Une interface réseau complète la structure du système embarqué.



Interface réseau

Système qui adapte les signaux transmis sur le réseau aux signaux gérés par l'unité de traitement.

2) Types de connexion

On distingue les connexions filaires ou sans fil, comme le montre les exemples ci-dessous, accompagnés de valeurs indicatives.

Connexion	Type	Portée (m)	Débit (Mbit/s ou Mbps)	Particularité
USB 2	Filaire	5	480	Peut alimenter en énergie l'objet connecté
USB 3		5	5000 à 20000	
Ethernet sur câbles de cuivre		50	100 à 40000	-
Ethernet sur fibre optique		Illimitée	1000 à 40000	-
Bluetooth	Sans fil	10	2	-
Wifi 5 GHz		20	1000	-
Wifi 2,4 GHz		30	500	-
LoRa, Sigfox		1000 à 20000	Très bas débit	Très faible consommation d'énergie
Téléphonie mobile 4G		-	150	Nécessite un abonnement
Téléphonie mobile 5G	-	1000		

3) Quelques définitions

Internet des objets

L'Internet des objets ou IoT (Internet of things) en anglais désigne l'ensemble des objets reliés au réseau Internet.

Web des objets

Le Web des objets désigne l'ensemble des objets contrôlés via le Web.

Communication de machine à machine

Le M2M (Machine to Machine) désigne la communication directe entre des machines sans intervention humaine.

Domotique

La domotique est l'ensemble des techniques d'automatisation et d'informatisation des tâches dans une maison. Il existe de nombreux objets connectés dans le domaine de la domotique.

4) Cybersécurité

Les objets connectés à Internet ou à un réseau sans fil ne sont guère protégés que par des mots de passe et du chiffrement. Leur déploiement massif augmente la surface d'attaque des pirates de l'informatique.

Bug

C'est un défaut de programmation engendrant un dysfonctionnement en certaines circonstances.

Faible de sécurité

C'est un défaut de programmation permettant aux pirates de prendre le contrôle de l'objet, pour toutes sortes d'usages (fabrication de bitcoins...).

Porte dérobée (backdoor en anglais)

C'est une fonctionnalité inconnue de l'utilisateur permettant au fabricant de prendre le contrôle de l'objet, pour toutes sortes d'usages (programmer l'obsolescence pour inciter au remplacement..).

Mouchard ou logiciel espion (spyware en anglais)

C'est un logiciel qui espionne, trace l'activité.

Rançongiciel (ransomware en anglais)

Ce logiciel chiffre les données personnelles puis demande à leur propriétaire d'envoyer de l'argent en échange de la clé permettant de les déchiffrer.

Cheval de Troie (Trojan horse en anglais)

C'est un logiciel en apparence légitime, inoffensif, mais qui contient une fonctionnalité malveillante.

Virus

C'est un programme qui se propage et se duplique en s'insérant dans un fichier hôte.

Ver (worm en anglais)

C'est un programme qui se propage et se duplique, par son propre moyen, sans contaminer un fichier hôte.

Déni de service (Distributed Denial of Service attack ou DDoS attack en anglais)

L'attaque par déni de service consiste à saturer un serveur de requêtes afin d'empêcher son fonctionnement.

Anecdote :

En 2016, de nombreux sites internet de la côte est des États-Unis, Amazon, Facebook Twitter... sont devenus inaccessibles pendant une dizaine d'heures. Plusieurs milliers d'objets connectés, en particulier des caméras de surveillance vidéo, ont été piratés pour mener une attaque DDoS sur l'hébergeur de noms de domaine Dyn.