

SYSTEMES AUTOMATISES ET ROBOTIQUE

Auteurs : Christophe LIGERET et Benjamin MOUSSET ; Juillet 2019

L'objectif de ce cours est de présenter les différentes parties (capteurs, actionneurs...) d'un système automatisé.

I / Système automatisé

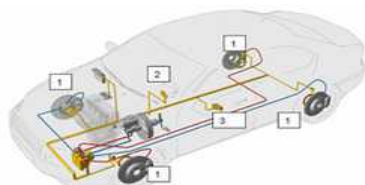
Définition : Système automatisé

Un système automatisé est un système en **interaction** avec l'environnement qui effectue un travail de manière autonome.

Son objectif est d'apporter de la **valeur ajoutée** à la **matière d'oeuvre** selon un cahier des charges qui définit les objectifs à réaliser.

Exemples : le passage à niveau automatique, la porte de garage, etc...

Quelques exemples de systèmes automatisés



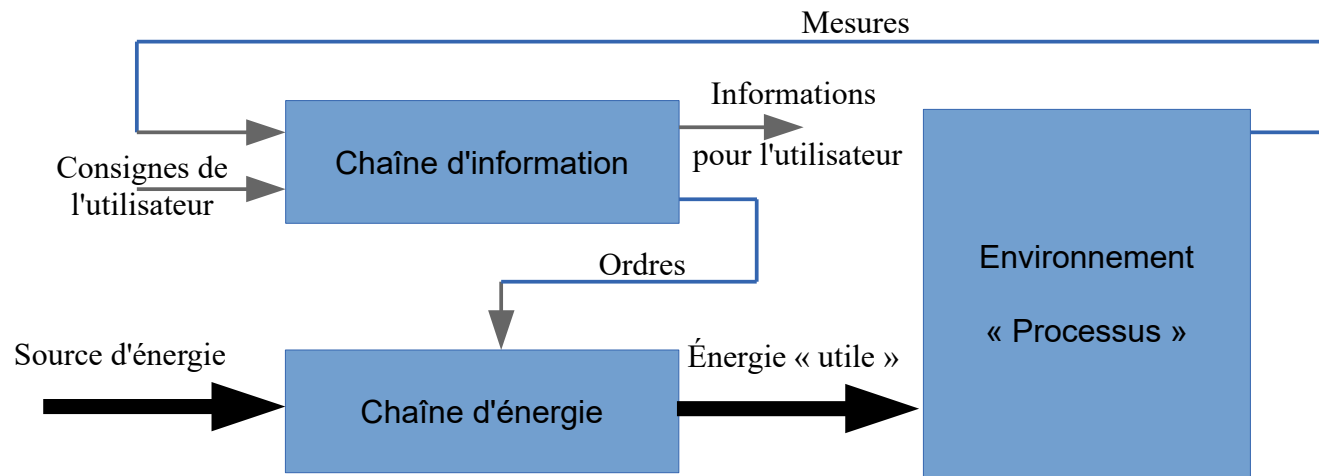


II/ Structuration d'un système automatisé

Un système automatisé est constitué de deux parties :

- la chaîne d'information et
- la chaîne d'énergie

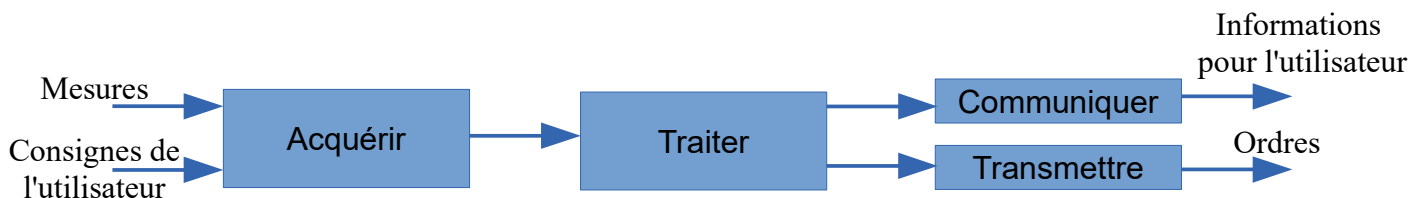
Ces deux parties sont en interaction l'une avec l'autre.



II.1 / Chaîne d'information

Dans un système automatisé, la chaîne d'information est la partie qui **traite** l'information. On peut découper la chaîne d'information en plusieurs **parties**

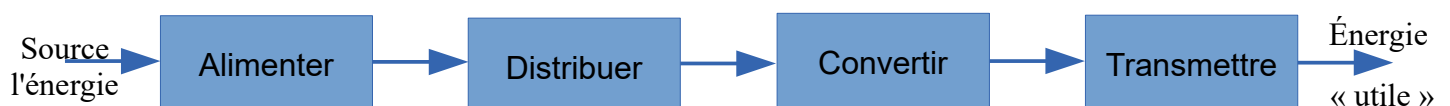
- Acquérir : permet de prélever des informations à l'aide de **capteurs**
- Traiter : partie composée d'un **ou plusieurs microprocesseurs**
- Communiquer : Cette fonction assure **l'échange de données**
- Transmettre : Cette fonction assure **le pilotage des actionneurs**



II.2 / Chaîne d'énergie

On appelle une chaîne d'énergie l'ensemble des procédés qui vont réaliser une action. On peut découper cette chaîne en plusieurs blocs fonctionnels.

- Alimenter : Mise en forme de l'énergie externe en énergie compatible pour créer une action.
- Distribuer : Distribution de l'énergie à l'actionneur réalisée par un distributeur ou un contacteur.
- Convertir : L'organe de conversion d'énergie appelé actionneur peut être un vérin, un moteur...
- Transmettre : Cette fonction est remplie par l'ensemble des organes mécaniques de transmission de mouvement et d'effort :



III / Composants des systèmes automatisés : chaîne d'énergie

Alimenter : alimentations

Alimentation en énergie :

- électrique (piles, accumulateur, réseau électrique...)
- pneumatique : réseau d'air comprimé, réservoir sous pression
- hydraulique : réseau d'huile sous pression

L'énergie sert à faire fonctionner les différentes parties du système automatisé : moteurs, capteurs, calculateurs...

Convertir : actionneurs

Un actionneur sert à **convertir** (électrique, pneumatique, hydraulique...) en une autre énergie utilisable (mécanique, thermique, lumineuse, chimique...) pour créer de la valeur ajoutée.

Exercice :



Moteur électrique : énergie électrique →

Vérin pneumatique : énergie pneumatique →

Vérin hydraulique : → énergie mécanique

Ventouse venturi : énergie pneumatique → énergie mécanique

Résistance chauffante : énergie électrique →

Lampes : → énergie lumineuse

Laser de découpe : → énergie lumineuse

Électrolyseur : énergie électrique →

Distribuer : pré-actionneurs

Un pré-actionneur sert à **piloter** les actionneurs : il gère l'énergie qui est envoyée à l'actionneur.

Exemples :



Exercice : Qui pilote quoi ? (relier par un flèche)

Contacteurs

Variateurs électroniques de vitesse

Distributeur pneumatique

Distributeur hydraulique

Vannes proportionnelles

Gradateurs

Moteurs électriques

Résistance électriques

Ventouse venturi

Vérin pneumatique

Vérin hydraulique

Lampe

IV / Composants des systèmes automatisés : chaîne d'information

Mesurer : capteurs

Un capteur est un dispositif qui **mesure** l'état d'une grandeur physique (température, pression, force, longueur, tension, courant, position...) en une grandeur utilisable (signal électrique 0V ou 24V dans le cas d'un capteur binaire, état d'un contact électrique...).

Il y a 3 types de capteurs : les capteurs **tout ou rien** qui ne peuvent prendre que deux états, les capteurs **analogiques** qui peuvent prendre une infinité d'états et les capteurs **numériques** qui ne peuvent prendre qu'un nombre fini d'états (par exemple 1024 états)

a) Capteurs tout ou rien

Ces capteurs sont les plus utilisés dans les systèmes automatisés car ils sont simples et pas chers. Ils ne délivrent qu'une information **binaire** (2 états : par exemple contact électrique ouvert ou fermé ; signal sous forme d'une tension qui vaut soit 0V, soit 24V).



Exercice : Nommer les différents composants

Interrupteurs de position avec contact sec

Détecteurs de position électronique de type inductif

Détecteur de position photoélectrique

Pressostat : détecteur de pression

Thermostat : détecteur de température

b) Capteurs analogiques

Ils fournissent une information « continue ». Ils sont souvent utilisés pour effectuer des mesures de grandeurs physiques : mesures de pression, température, distances, tensions, courants...

Ils fournissent bien souvent une information utile sous la forme d'une **tension électrique** (entre 0V et 10V par exemple), d'un **courant électrique** (entre 0mA et 20 mA par exemple) ou d'une **résistance électrique**. Généralement, le signal de sortie varie de manière linéaire en fonction de la grandeur mesurée.

Exemple : capteur de pression 0 – 30 bars qui délivre un signal 0mA pour 0 bars et 20mA pour 30 bars. On montre que le courant I délivré en sortie vaut :

$$I = 20/30 * P$$

Où P est la pression mesurée.

Que vaut le courant délivré pour une pression de 25 bars ?

Exemples :



Capteur de pression
sortie 0-10V ou 4-20mA



Capteur de distance
à ultrasons sortie 4-20mA



Capteur d'accélération
sortie 4-20mA



Capteur de température
PT1000



Jauge de contrainte

c) Capteurs numériques

Ces capteurs fournissent une information **discrète** sur plusieurs niveaux (par exemple 1024 niveaux). Ils sont utilisés lorsque le capteur est communicant (capteur placé sur un réseau de communication, capteur wireless) ou lorsque le capteur nécessite des calculs complexes pour effectuer la mesure.

Exemples :



Caméra numérique
avec transmission sans
fil



Débitmètre ultrasons



Centrale inertielle
d'avion

Les interfaces homme-machine permettent aux **opérateurs** d'interagir avec les systèmes automatisés : par exemple, cela permet aux opérateurs de donner des ordres à la machine (lancer la production, ouvrir une barrière...) et de voir dans quel état se trouve la machine (voyants d'alarme, voyants de défauts, textes indiquant des valeurs de pression...)

a) Boutons poussoirs, boutons rotatifs, potentiomètres...

Ces dispositifs permettent à l'opérateur de donner des ordres au système automatisé (**ordres binaires** dans le cas d'un simple bouton poussoir, **consignes analogiques** dans le cas de potentiomètres).



Bouton poussoir



Bouton rotatif à 2 positions



Bouton rotatif à 4 positions



Bouton poussoir type « coup de poing »



Potentiomètre linéaire



Potentiomètre rotatif



Bouton poussoir pneumatique

b) Voyants et colonnes lumineuses

Les voyants et colonnes lumineuses servent à signaler une information **binaire** (par exemple présence ou non de tension électrique, présence ou non de défaut).



Voyant lumineux électriques



Colonne lumineuse



Voyant pneumatique

c) Écrans alphanumériques et digitaux

Ces écrans ne permettent que d'afficher des caractères standards (**texte, chiffres...**) Sur certains écrans, il y a des touches pour pouvoir piloter le système.



Ecran digitaux et alphanumériques

d) Écrans graphiques tactiles

Ces écrans sont utilisés pour afficher des **images** (cuves, circuits hydrauliques, bouton poussoirs) et permettent également de **saisir** des informations (dalle tactile).



Ecran graphiques tactiles

Communiquer : Modules de communication

Les différents systèmes de contrôle d'un système automatisé sont amenés à communiquer entre eux via un ou plusieurs **réseaux de communication**.

Ce réseau de communication peut être :

- **Filaire** (l'information circule le long de fils électriques) : Ethernet, courants porteurs...
- **Sans fils** (l'information circule dans l'air ou le vide) : radio, infrarouge, ultrasons...

Les modules de communication sont généralement caractérisés par un nombre d'informations (informations binaires : 0 ou 1) qu'ils peuvent faire passer par unité de temps (la seconde).

On parle de débit de communication et il s'exprime en bits / s (bps : bit per second)

On parle également de **baud** (ce qui correspond aux bits / s lorsque le canal de communication ne permet de transmettre qu'un seul signal binaire simultanément).



Module de communication
Ethernet



Module de communication
Modbus



Module de communication
Profibus



Module de communication
Wifi



Module de communication
GSM / GPRS



Module de communication
433,92 MHz

Traiter : Appareillage dédié aux calculateurs

Les systèmes automatisés ont besoin d'effectuer des **calculs** pour pouvoir piloter les actionneurs et les interfaces homme-machine (voyants, images sur les écrans).

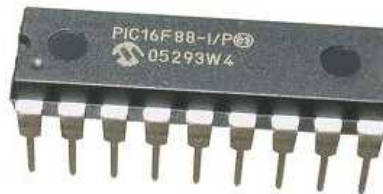
a) Modules processeurs

Ces calculs sont réalisés généralement par des **microprocesseurs** ou des **microcontrôleurs** (moins puissant qu'un microprocesseur, mais moins cher).

Ce sont des circuits électroniques qui intègrent un très grand nombre **d'opérateurs logiques** (cf. cours sur les circuits logiques) : plusieurs milliards d'opérateurs logiques sur quelques centimètres carré.



Microprocesseur



Microcontrôleur

Les calculs sont effectués dans un module électronique dédié, appelé module processeur. On trouve aussi le terme d'automate ou de contrôleur.

Certains de ces appareils possèdent en plus des interfaces d'entrées / sorties (cf. pages 10 et 11) sur lesquelles on peut connecter des pré-actionneurs, capteurs et IHMs.



Modules processeur



Automate avec processeur +
entrées / sorties

b) Relais d'automatisme électromécaniques

Les relais électromécaniques peuvent réaliser des **opérations logiques** :

- un relais électromécanique monostable avec un contact à fermeture réalise la fonction logique OUI,
- un relais électromécanique monostable avec un contact à ouverture réalise la fonction logique NON,
- deux relais électromécaniques monostables avec un contact à fermeture chacun, ces deux contacts placés en parallèle réalise la fonction logique OU,
- deux relais électromécaniques monostables avec un contact à fermeture chacun, ces deux contacts placés en série réalise la fonction logique ET,
- un relais électromécanique bistable réalise une fonction de mémorisation.



Relais électromécanique monostables



Relais électromécanique bistable

c) Opérateurs logiques pneumatiques

Les opérateurs logiques vus en cours peuvent aussi être réalisés en technologie pneumatique. Ceci permet d'avoir des systèmes automatisés sans électricité.



Opérateurs logiques pneumatiques

Remarque : pour les calculateurs à base d'électronique, les calculs effectués dépendent des informations générées par les capteurs ainsi que des informations provenant des IHMs. En retour, le calculateur donne des ordres aux différents pré-actionneurs et IHMs sur le système automatisé.

Pour faire le lien entre le calculateur et les capteurs / pré-actionneurs / IHM, il est nécessaire d'avoir des interfaces d'entrées / sortie.

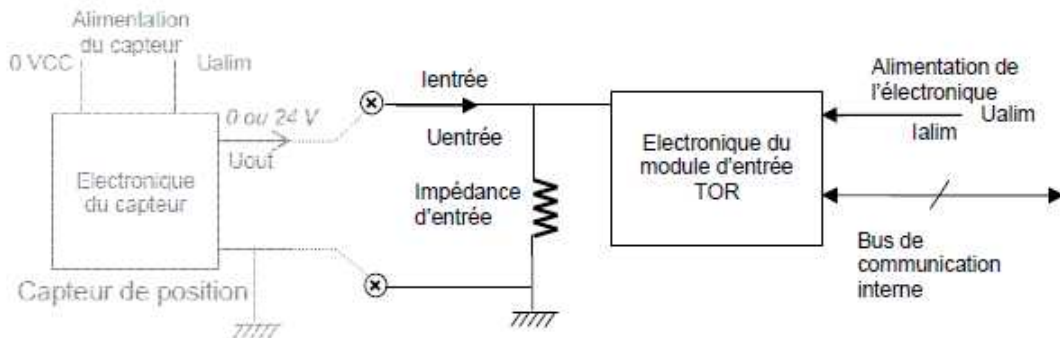
Les interfaces d'entrées sont des dispositifs qui **convertissent** les **grandeurs physiques** générées par les capteurs et les boutons des IHMs (tension, courant, résistance), en **grandeurs numériques** (variables binaires 0 ou 1 exploitables par le calculateur).

Remarque : un calculateur électronique n'est généralement capable que de travailler avec des 0 et des 1.

On trouve deux types d'interfaces d'entrées : les interfaces d'entrées tout ou rien et les interfaces d'entrées analogiques.

a) Interfaces d'entrées tout ou rien

Elles sont utilisés pour les capteurs tout ou rien ou les boutons poussoirs par exemple.

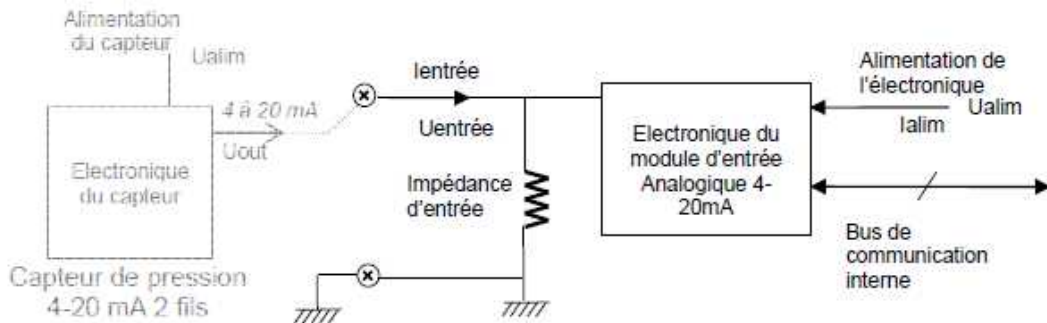


Module d'entrée tout ou rien connecté avec un capteur tout ou rien 3 fils

Sur le bus de communication interne, il ne circule que des informations 0 et 1 qui correspondent aux informations délivrées par les capteurs tout ou rien.

b) Interfaces d'entrées analogiques

Elles sont utilisées avec les capteurs analogiques et les potentiomètres par exemple.



Module d'entrée analogique connecté avec un capteur analogique 2 fils

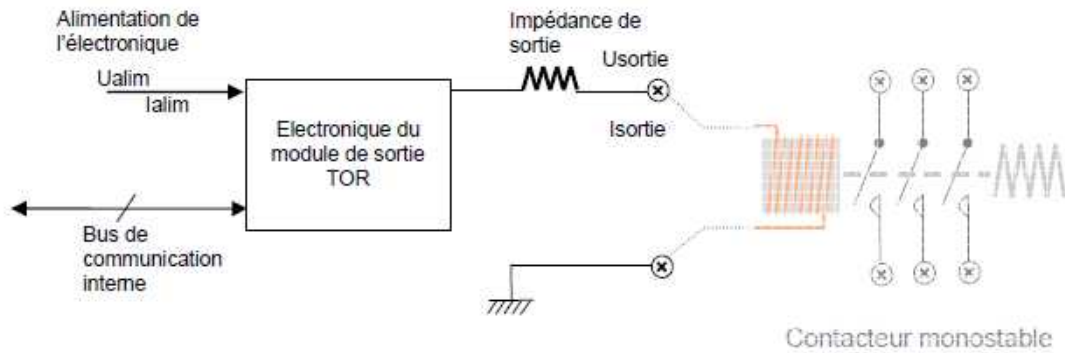
Sur le bus de communication interne, il circule des entiers représentés sous forme binaire (collection de 0 et de 1). Ces entrées correspondent à la valeur du signal délivré par le capteur.

Les interfaces de sorties sont des dispositifs qui **convertissent** les **grandeurs numériques** (collections de 0 et de 1) en **grandeurs physiques** exploitables par les pré-actionneurs (tension électrique).

On trouve deux types d'interfaces de sortie : les interfaces de sortie tout ou rien et les interfaces de sortie analogiques.

a) Interfaces de sorties tout ou rien

Elles sont utilisées pour contacteurs, les distributeurs pneumatiques ou hydrauliques et les voyants lumineux par exemple.

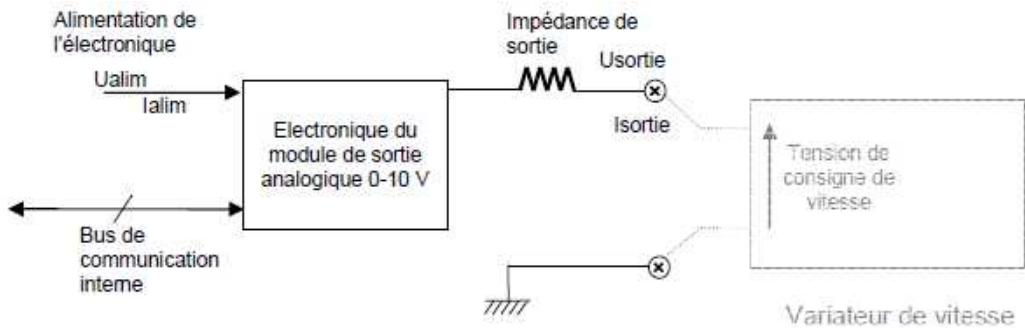


Module de sortie tout ou rien connecté avec un contacteur

Une interface de sortie tout ou rien délivre généralement une tension qui vaut soit 0V, soit 24V. On trouve aussi des interfaces de sorties avec des relais.

b) Interfaces de sortie analogiques

Elles sont utilisées avec des pré-actionneurs analogiques : vannes proportionnelles, variateur de vitesse par exemple.



Module de sortie analogique connecté avec un variateur de vitesse

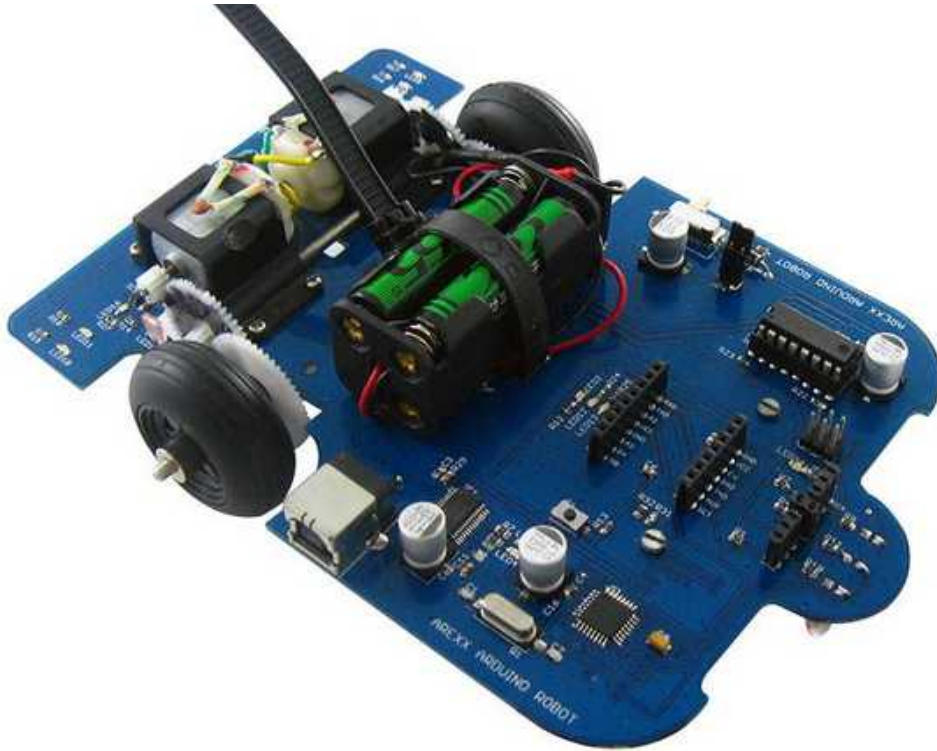
Une interface de sortie analogique délivre généralement une tension qui peut varier entre 0V et 10V ou un courant qui peut varier entre 0mA et 20mA.

Activité 1 :

- 1°) Citer 4 exemples de systèmes automatisés
- 2°) Qu'est-ce qu'un actionneur ? Citer 3 exemples.
- 3°) Qu'est-ce qu'un pré-actionneur ? Citer 3 exemples.
- 4°) Qu'est-ce qu'un capteur ? Citer 3 exemples
- 5°) Qu'est-ce qu'un potentiomètre ? A quoi ceci peut-il servir ?
- 6°) Qu'est-ce qu'une colonne lumineuse ? A quoi peut-elle servir ?
- 7°) Pourquoi utiliser un écran graphique tactile plutôt qu'un écran alphanumérique ?
- 8°) Citer les 3 moyen vus en cours de faire des calculs.
- 9°) A quoi sert une interface d'entrée ?
- 10°) A quoi sert une interface de sortie ?
- 11°) Quelles sont les données manipulées par des calculateurs électroniques avec microprocesseurs ?
- 12°) Citer deux types de modules de communication.
- 13°) A quoi sert une alimentation 24VDC ?
- 14°) Quel est le symbole d'un convertisseur d'énergie ?
- 15°) En combien de partie est divisé un système automatisé ?
- 16°) Citer ces 2 parties
- 17°) Dans quelle partie se situent les actionneurs ?
- 18°) Dans quelle partie se situent les capteurs ?
- 19°) Dans quelle partie se situent les calculateurs ?
- 20°) Dans quelle partie se situent les interfaces d'entrées et de sorties ?

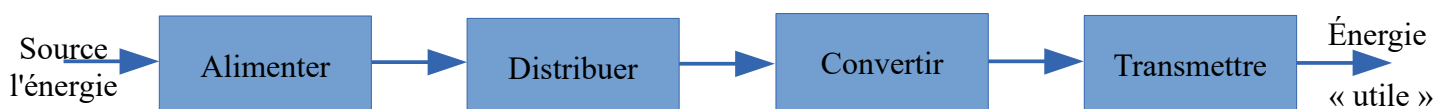
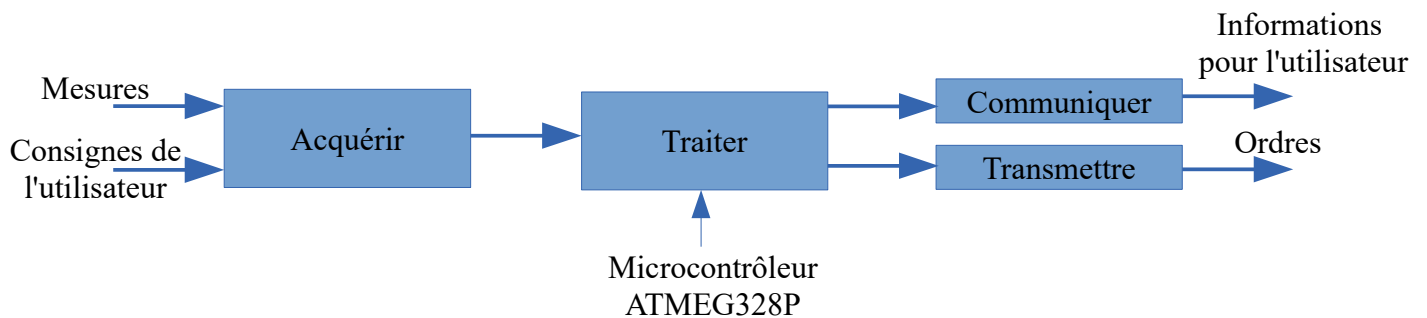
Activité 2 :

A la découverte du robot AREXX



1°) Ci-dessus, identifier les différents sous-ensembles du robot : Alimentation, préactionneur, actionneur, transmission, capteurs, traitement (microcontrôleur ATMEGA328P ; quartz ; bouton reset), interfaces d'entrées sorties (ports d'extensions), communication

2°) Compléter les blocs fonction ci-dessous correspondant au robot AREXX



Programmation du robot AREXX

Récupérer le dossier **robotAREXX** et le copier dans le dossier **Arduino/librairies**

La bibliothèque **robotAREXX** permet d'utiliser les fonctions suivantes :

void initialiseRobot(void); // Initialise le robot : configure les leds et les moteurs : tout est initialisé à l'arrêt
void commandeTOR_LED1(bool etatLed); // permet de piloter la led n°1 : led rouge sous le robot
void commandeTOR_LED2(bool etatLed); // permet de piloter la led n°2 : led bleue sur le robot
void commandeTOR_LED14(bool etatLed); // permet de piloter la led n°14 : led bleue sur le robot
void commandeTOR_PD6(bool etatLed); // permet de piloter le port D6 : voir connecteur sur le robot
void commandeANALOG_PD6(bool etatLed); // permet de piloter le port D6 : voir connecteur sur le robot
void commandeMoteurGauche(int vitesse); // permet de piloter le moteur gauche de -255 à 255 ; 0 : arrêt
void commandeMoteurDroit(int vitesse); // permet de piloter le moteur droit de -255 à 255 ; 0 : arrêt
void delai_ms(unsigned int valeur); // introduit dans le programme une temporisation exprimée en millisecondes
void calibrerCapteurOptique(void); // permet de calibrer le capteurs de détection de ligne blanche
void lireCapteurOptique(void); // met à jour les deux variables globales : intensiteCapteurD et intensiteCapteurG

Pour inclure la bibliothèque robotAREXX, il faut taper au début du programme :

#include <robotAREXX.h>

Ensuite, il faut compléter les fonctions **void setup()** et **void loop()**

void setup() est une fonction qui est exécutée lors de la mise sous tension du robot

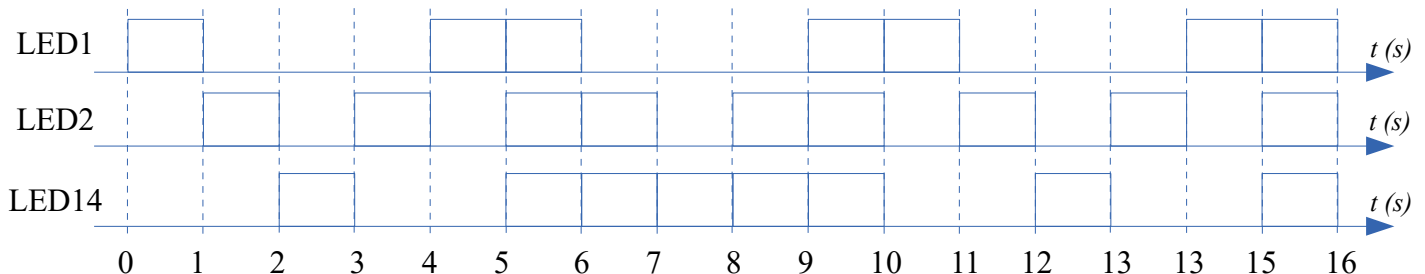
void loop() est une fonction qui est exécutée une fois que la fonction **setup()** est terminée. Cette fonction est exécutée en boucle de manière infinie : une fois qu'on l'a exécutée, on repart du début de **loop()** et on recommence.

1°) Faire un programme qui permette de faire clignoter la led n°1 : led rouge sous le robot à une fréquence de 2Hz (1s ON et 1s OFF)

2°) Faire un programme qui permette de faire clignoter la led n°1 à une fréquence de 2Hz et la led n°2 à une fréquence de 1Hz

3°) Faire un programme réponde aux spécifications décrite dans le chronogramme ci-dessous

Remarque : les signaux ci-dessous sont périodiques de période 10s



4°) Placer une led sur le port D6 (connecter entre PD6 et GND)

Faire un programme qui allume la led progressivement entre 0 et 255, puis diminue l'éclairement de 255 à 0
Faire en sorte que le temps de montée et le temps de descente soient de 2,56 s (soit une période de 5,12 s)

5°) Faire tourner le moteur droit à 100 % pendant 1s, puis le moteur gauche à 100% pendant 1s, puis le moteur droit à 100 % pendant 1s, ainsi de suite... Observer le comportement du robot.

6°) Faire tourner le moteur droit à 100% et en même temps le moteur gauche à -100% pendant 5s. Arrêter ensuite le robot pendant 5s, puis repartir en sens contraire pendant 5s et ainsi de suite ...

7°) Faire avancer le robot en ligne droite (initialement, commander le moteur gauche et le moteur droit tous les deux à 60%). Observer le comportement du robot et corriger ensuite les valeurs des moteurs de manière à aller en ligne droite.

8°) Faire faire un quart de tour au robot sur lui même : appliquer **commandeMoteurDroit(255)** et **commandeMoteurGauche(-255)** pendant un délai que vous déterminerez expérimentalement.

9°) Programmer le robot pour qu'il suive une trajectoire carrée

10°) Programmer le robot pour qu'il suive une ligne blanche. On pourra s'inspirer du code ci-dessous.

```
LireCapteurOptique(); // on met à jour les variables intensiteCapteurD et intensiteCapteurG
intensiteTotale = intensiteCapteurD+intensiteCapteurG; // On calcule la somme des intensités
if(intensiteTotale > 100) // On calcule la différence si l'intensité est suffisante
{
    intensiteDifferentielle = intensiteCapteurD-intensiteCapteurG; // On calcule la différence
}
cD = 150+intensiteDifferentielle; // On calcule la commande du moteur droit
cG = 150-intensiteDifferentielle; // On calcule la commande du moteur gauche
if(cD > 255) {cD = 255;} else {if(cD<100) {cD = 100;}} // On limite les commandes des moteurs
if(cG > 255) {cG = 255;} else {if(cG<100) {cG = 100;}} // pour ne pas caler ou aller trop vite
commandeMoteurDroit(cD); // On applique la commande du moteur droit
commandeMoteurGauche(cG); // On applique la commande du moteur gauche
```