



Chaîne fonctionnelle

1 Introduction

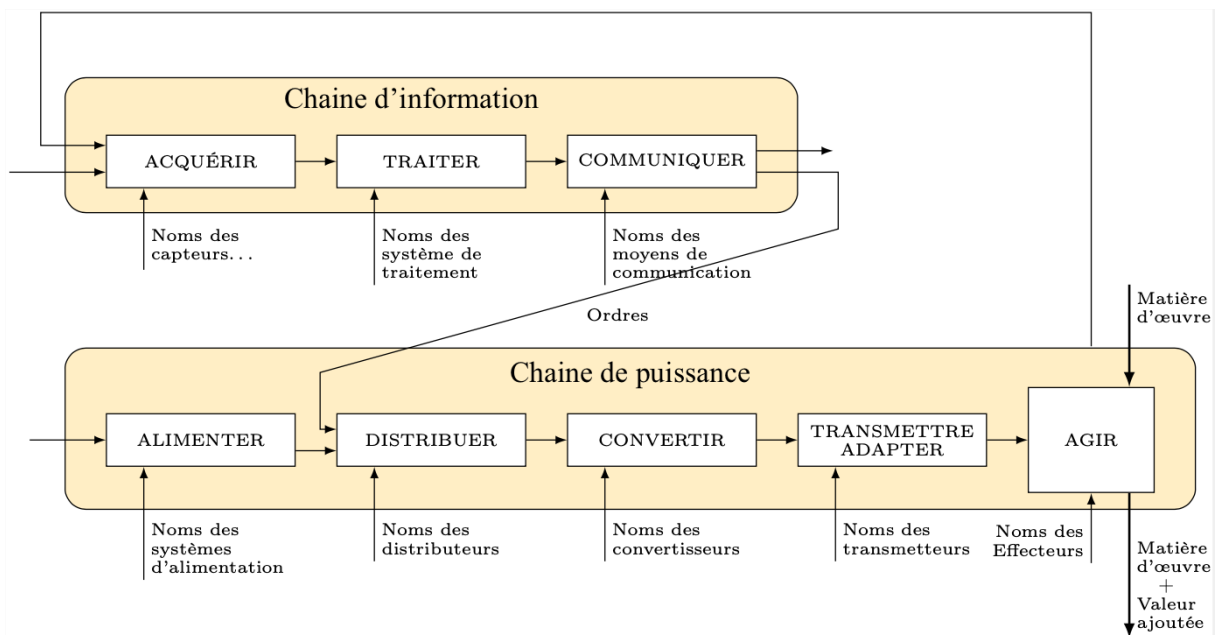
Sur un **système complexe**, il est souvent nécessaire de **décomposer l'étude** en plusieurs parties. Parmi les différentes possibilités de **modélisation**, on peut utiliser les **chaînes fonctionnelles**.

Définition

Chaîne fonctionnelle

Une chaîne fonctionnelle est l'adjonction d'un sous-ensemble de la **partie commande** (chaîne d'information) et d'un sous-ensemble de la **partie opérative** (chaîne de puissance ou d'énergie) qui interagissent pour réaliser une ou des fonction(s) du système.

1.1 Anatomie des chaînes fonctionnelles



Chaîne de puissance : gère la circulation et la transformation de l'énergie (de la puissance) afin d'effectuer une action.

Chaîne d'information : gère l'acquisition, le traitement et la transmission des données afin de piloter la chaîne de puissance.

Les chaînes sont composées de blocs et de flux :

- chaque **bloc** porte une **fonction**, écrite avec un verbe à l'infinitif : acquérir, distribuer, etc. ;
- sous le bloc figure le **nom du constituant**, c'est-à-dire la **solution technique** (hacheur, moteur, etc.) et non sa famille générique (préactionneur, actionneur, etc.) ;
- les blocs sont reliés par des **flux d'information** (position, vitesse, commandes, etc.) ou **d'énergie** (électrique, mécanique de translation, etc.).

Remarques :

- **Chaque constituant est associé à une fonction** et à une famille de constituants. Un actionneur est, par exemple, un constituant qui convertit un flux d'énergie.
- **Toutes les fonctions ne sont pas nécessairement présentes** et certaines **peuvent apparaître plusieurs fois** : la structure générique doit donc être adaptée au système étudié.

2 Puissance et énergie

Il ne faut absolument pas confondre la puissance et l'énergie.

Définition	Énergie L'énergie, ou travail, représente ce qu'il faut fournir globalement à un système pour l'amener d'un état initial à un état final. Les moyens employés, le temps nécessaire et le chemin parcouru entre ces deux états n'interviennent pas. Son unité dans le Système international est le joule (J).
Définition	Puissance La puissance caractérise le débit d'énergie fourni à chaque instant. Elle ne dépend ni de l'état initial ni de l'état final du système, mais décrit le flux d'énergie entre ces deux états : c'est une grandeur instantanée. Son unité dans le Système international est le watt (W), avec $1\text{ W} = 1\text{ J s}^{-1}$.

La puissance P et l'énergie E sont liées par le temps :

$$E = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt.$$

Exemple	Le lièvre et la tortue partent du même point et arrivent au même point. En supposant leurs masses égales (en négligeant les frottements etc), les deux animaux dépensent la même énergie pour effectuer le parcours. Le lièvre fournit cependant une puissance plus grande pendant un temps plus court quant à la tortue fournit une puissance plus faible pendant un temps plus long. Les aires sous leurs courbes puissance-temps représentant l'énergie dépensée par chaque animal sont identiques.
---------	--

2.1 Puissances mécanique, électrique, hydraulique et pneumatique

La puissance est une grandeur scalaire. Elle est toujours le produit d'une grandeur d'effort $e_f(t)$ par une grandeur de flux $f(t)$; celles-ci peuvent être scalaires ou vectorielles :

$$P(t) = e_f(t) \times f(t) \quad \text{ou} \quad P(t) = \vec{e}_f(t) \cdot \vec{f}(t)$$

Puissance	Grandeur d'effort	Grandeur de flux
Électrique	Tension U en volts (V)	Intensité I en ampères (A)
Mécanique de translation	Force $\vec{F}$ en newtons (N)	Vitesse linéaire $\vec{V}$ en $m.s^{-1}$
Mécanique de rotation	Couple C en $N.m$	Vitesse angulaire ω en $rad.s^{-1}$
Hydraulique ou pneumatique	Pression p en pascals (Pa)	Débit volumique Q en $m^3.s^{-1}$

2.1.1 Notion de couple

Le **couple** est un type de **moment**. On peut considérer une force comme un effort linéaire et un couple comme un **effort en rotation**. Le terme *couple* est notamment employé pour l'effort en rotation fourni par un actionneur tel qu'un moteur.



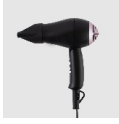
Rappel

Moment d'une force

Le moment exprimé au point A d'une force $\vec{F}$ appliquée au point P s'écrit :

$$\overrightarrow{M_A(F)} = \overrightarrow{AP} \wedge \vec{F}.$$

2.2 Quelques ordres de grandeur

Lampe à économie d'énergie	Sèche-cheveux	Chargeur de téléphone	Radiateur d'appoint	Bouilloire	Réfrigérateur combiné	Télévision
						
5 W à 25 W	1 000 W à 2 500 W	5 W à 20 W	1 000 W à 2 000 W	1 500 W à 2 500 W	100 W à 300 W	50 W à 200 W

Remarques :

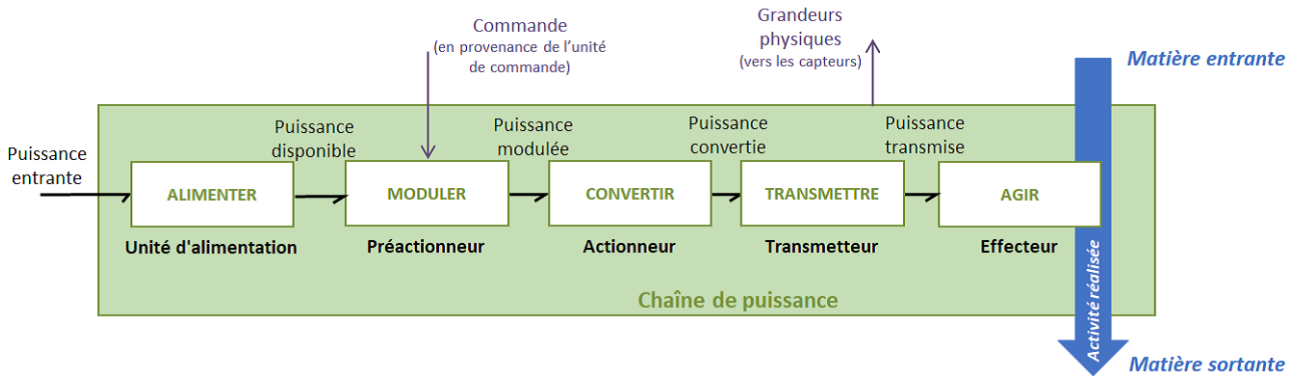
- L'énergie consommée dépend à la fois de la **puissance ET** du **temps d'utilisation**.
- **Agir sur la température** demande une grande puissance, en conséquence les radiateurs, climatisation, chauffe-eau... sont **gourmands en énergie**.

3 La chaîne de puissance (ou chaîne d'énergie)

La chaîne de puissance **exécute les ordres de la chaîne d'information** et **agit sur la matière d'œuvre** afin de lui apporter la valeur ajoutée. Elle représente la **partie opérative**, ou « musculaire », du système. Les puissances mises en jeu y sont souvent importantes : alimentation électrique en 230 ou 400 V, hydraulique à 250 bar, etc...

Les principales formes de puissance rencontrées sont électrique, hydraulique, pneumatique, thermique et mécanique, en translation ou en rotation.

La chaîne d'énergie comporte les fonctions **alimenter**, **distribuer** ou **moduler**, **convertir**, **adapter** et/ou **transmettre**, puis **agir**. Chaque fonction reçoit une forme d'énergie et en restitue une de même nature ou de nature différente.



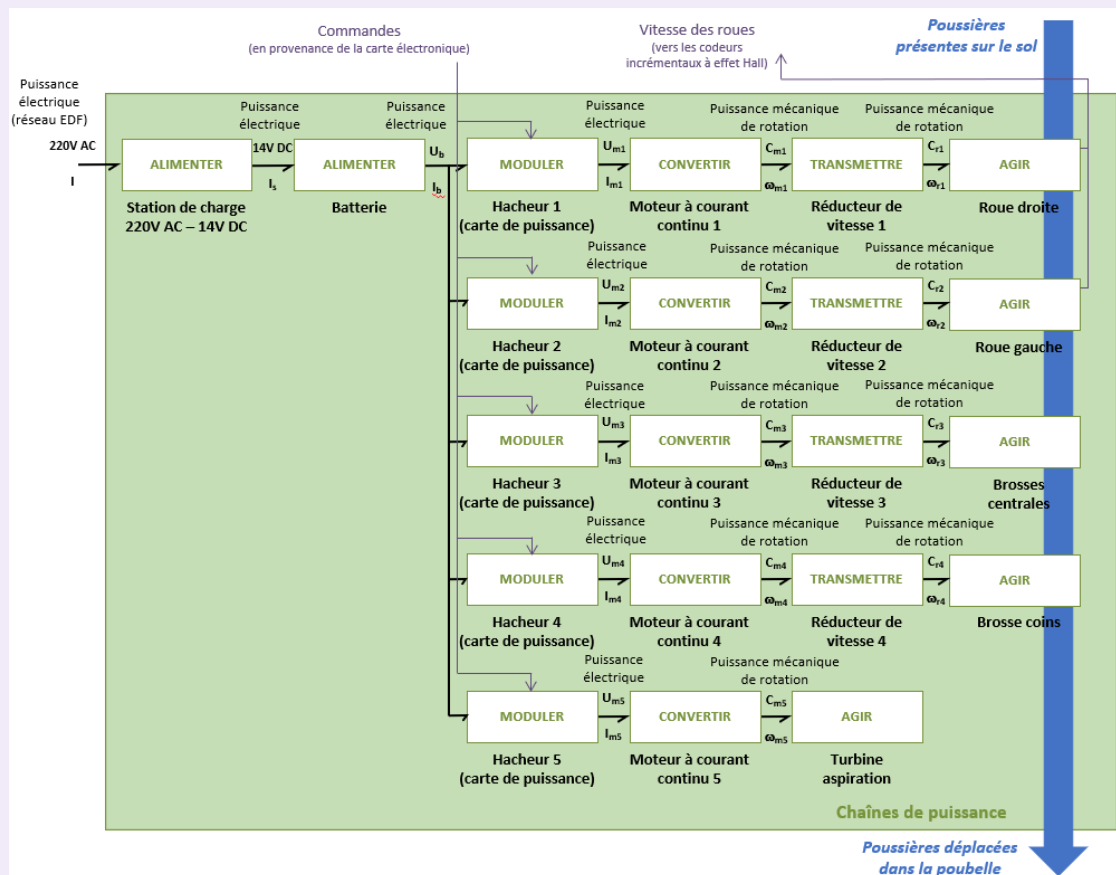
Chaque activité nécessite de l'énergie ; lorsqu'un système réalise plusieurs activités, le flux global d'énergie est décrit par plusieurs chaînes de puissance.

Exemple

Aspirateur autonome

Celui-ci réaliser plusieurs activités en simultanée ou de manière successive :

- Contrôler la vitesse de rotation de la roue droite ;
- Contrôler la vitesse de rotation de la roue gauche ;
- Contrôler le mouvement des 2 brosses sol ;
- Contrôler le mouvement de la brosse coins ;
- Contrôler l'aspiration.



Comme énoncé plus haut, il faut adapter la structure générique.

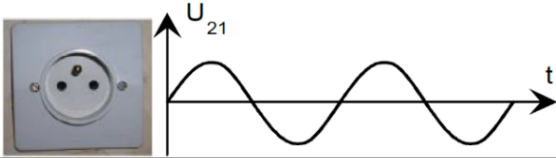
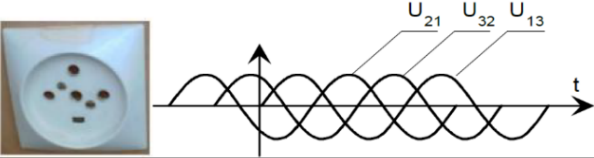
3.1 Les fonctions de la chaîne de puissance

3.1.1 Alimenter

La fonction **alimenter** fournit au système l'énergie nécessaire.

En technologie électrique, cette énergie peut provenir :

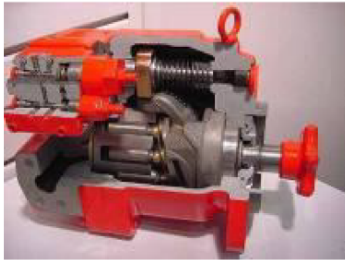
- du réseau, en courant alternatif à 50 Hz, par exemple sous 230 V monophasé ou 400 V triphasé ; le raccordement doit alors être protégé ;
- d'une source locale ou d'un stockage : piles, accumulateurs, panneaux solaires ou éolienne.

	
230V monophasé	400V triphasé

			
Piles	Accumulateurs et batteries	Panneaux solaires	Eolienne

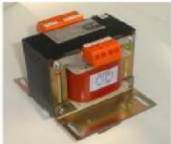
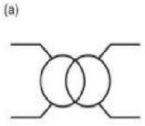
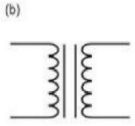
En pneumatique, l'énergie est fournie par un réseau d'air comprimé alimenté par un compresseur.

en hydraulique, elle est fournie par une pompe.

	
Compresseur	Pompe

3.1.2 Distribuer ou moduler

L'énergie fournie doit parfois être adaptée avant son utilisation : un transformateur modifie une tension alternative et un redresseur transforme un courant alternatif en courant continu.

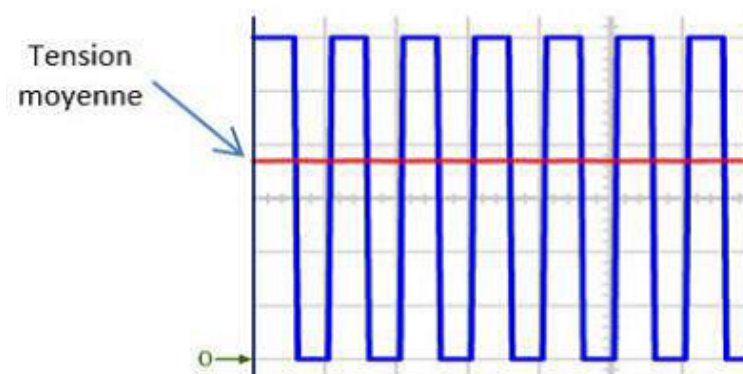
  	
Transformateur	Redresseur

Les constituants chargés de distribuer ou de moduler la puissance sont appelés *préactionneurs*. Pilotés par la chaîne d'information, ils commandent le circuit qui relie la source de puissance à l'actionneur. Ils peuvent agir dans l'idée comme des interrupteurs sur le circuit reliant la source de puissance à l'actionneur. Parmi eux figurent les relais, les variateurs électriques et les distributeurs pneumatiques.

Energie électrique		Energie pneumatique
Relais électrique	Variateur électrique	Distributeur pneumatique
		

Un **hacheur** délivre à un moteur une tension en créneau dite "hachée" et appelée Pulse Width Modulation (**PWM**) ou Modulation à Largeur d'Impulsion (MLI). Cette tension n'a que deux valeurs possibles, on parle de **Tout-Ou-Rien**.

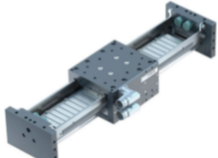
Le **moteur**, qui a un temps de réponse beaucoup plus grand, ne **perçoit** pas cette modulation, pour lui il s'agit d'une **tension continue de valeur moyenne**. Le signal de commande reçu par le hacheur permet de choisir le temps pour lequel la tension modulée vaut la valeur haute et celui pour la valeur basse. Plus exactement il s'agit du **rapport cyclique** : c'est le rapport entre le temps à valeur haute et la période du signal. Il souvent noté α .



3.1.3 Convertir

La conversion de l'énergie est réalisée par l'*actionneur*. Il transforme une énergie d'**entrée** non directement utilisable par l'effecteur, en une énergie de **sortie** utilisable par ces mécanismes pour obtenir une action définie.

⋮ **Remarque** : L'énergie de sortie est généralement mécanique.

Energie électrique			Energie pneumatique
Moteur rotatif	Moteur linéaire	Pompe	Vérin
			

3.1.4 Transmettre ou adapter

La **transmission** de la puissance ne constitue qu'un **transport**, une **adaptation**. Le transmetteur transmet l'énergie adaptée à l'effecteur afin qu'il puisse réaliser l'action demandée.

Remarques :

- Les transmetteurs possèdent un rapport entre l'énergie entrante et l'énergie sortante, appelé rendement η , avec $0 \leq \eta \leq 1$. Quand le rendement est de 1, le **système** est dit **parfait** (pas de perte donc **théorie uniquement** à quelques exceptions près).
- La **nature** de l'**énergie entrante et sortante** pour les transmetteurs est de **même nature** : mécanique. Cependant le type d'énergie mécanique peut être modifiée : translation ou rotation

Son rendement est défini par :

$$\eta = \frac{P_{\text{sortie}}}{P_{\text{entrée}}}, \quad 0 \leq \eta \leq 1.$$

Pour un système parfait, uniquement théorique, $\eta = 1$ et $P_{\text{sortie}} = P_{\text{entrée}}$.

Energie mécanique		
Poulie-courroie	Pignon-crémaillère	Engrenages
		

3.1.5 Effecteur

L'effecteur est le dernier constituant de la chaîne de puissance : c'est lui qui agit sur la matière d'œuvre. Il peut s'agir du doigt d'une pince, d'une roue, d'une brosse, etc.

4 | La chaîne d'information

La chaîne d'information acquiert, traite et communique des informations **entre le système et son environnement**. Ces informations peuvent être des **ordres** ou des **retours** d'information. Elle représente l'*intelligence* et les *sens* du système ; les puissances mises en jeu y sont généralement faibles (entre 3V et 24V en électrique, 15 bars en hydraulique, etc...).

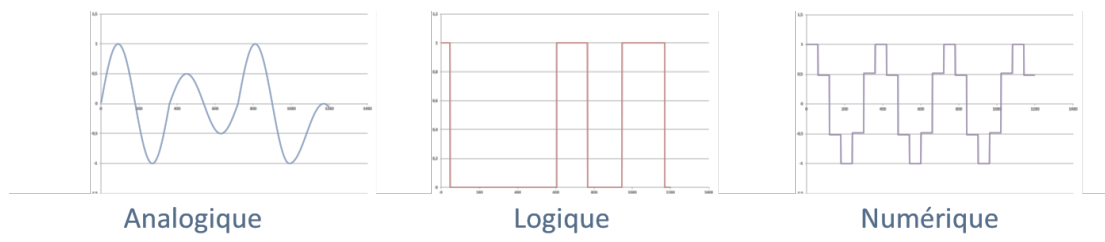


Ses fonctions génériques sont **acquérir**, **traiter** et **communiquer**. Comme la chaîne de puissance, elle peut être adaptée ou dupliquée selon le système.

4.1 Nature de l'information

L'information à acquérir peut être de trois natures différentes :

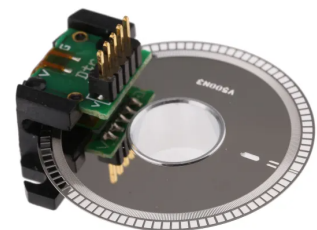
- **Analogique** : Une information de nature analogique est une information dont l'état peut varier de manière **continue** entre une valeur maximale et une valeur minimale. Cette information sera transmise par un signal analogique. Les grandeurs physiques issue de la Nature sont analogiques (la température, la pression...);
- **Logique** : Une information de nature logique est une information qui ne peut prendre que 2 états (vrai ou faux, 0 ou 1, état haut ou état bas), on parle également d'information **Tout-Ou-Rien**. Cette information sera transmise par un signal logique.;
- **Numérique** : Une information de nature numérique est une information qui peut prendre un **nombre défini - discret - de valeurs** entre une valeur maximale et une valeur minimale. Cette information sera transmise par plusieurs signaux logiques (**binaire**).



Potentiomètre : analogique



Bouton marche-arrêt :
logique



Codeur incrémental :
numérique

4.2 Les fonctions de la chaîne d'information

4.2.1 Acquérir

L'**acquisition** peut se faire sur une **mesure** réalisée **par le système** ou sur une commande de l'**utilisateur**. Dans le premier cas, la famille de constituant réalisant la mesure est un **capteur**, dans le second cas il s'agit d'une **Interface Homme/Machine (IHM)**.

Définition

Capteur

Un capteur prélève une information sur le comportement de la **partie opérative** (une grandeur physique mesurable) et la transforme en une information exploitable par la **partie commande** (le plus souvent une tension).

Pour être traitée, l'information est portée par un support physique, on parlera alors de **signal**, le plus souvent électrique et parfois pneumatique. Lorsque les signaux sont électriques, la mesure se fait généralement sur une **résistance variable** (en fonction de la taille, de la température...). Il faut alors connaître le lien entre résistance et grandeur physique mesurée, on parle de **caractéristique capteur**.

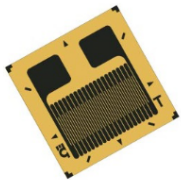
Un capteur est notamment caractérisé par :

- son **étendue de mesure**, entre la plus petite grandeur détectable et la plus grande mesurable sans destruction ;
- sa **sensibilité**, plus petite variation détectable ;
- sa **rapidité**, durée entre la variation de la grandeur et la prise en compte de l'information ;
- sa **précision** et sa **répétabilité**, c'est-à-dire sa capacité à fournir le même résultat pour plusieurs mesures réalisées dans les mêmes conditions.

Remarque : Les capteurs peuvent être logiques, analogiques ou numériques.

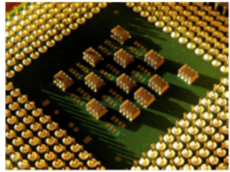
La culture technologique sur les capteurs est assez centrale en SI. Voici quelques capteurs courant bien que cette culture se développera majoritairement lors des TP.

Capteurs à seuil de pression pneumatique	Ce sont des capteurs fin de course qui se montent directement sur les vérins.	
Capteur capacitif	Les capteurs capacitifs sont des capteurs de proximité qui permettent de détecter des objets métalliques ou isolants.	
Capteur inductif	Les capteurs inductifs produisent à l'extrémité de leur tête de détection un champ magnétique oscillant perturbé en présence d'un objet.	

Capteurs de contact	Les capteurs de contact peuvent être équipés d'un galet, d'une tige souple, d'une bille. Capteurs tout ou rien (électrique ou pneumatique).	
Capteur ILS	Un capteur ILS (Interrupteur à Lame Souple) est composé d'une lame souple sensible à la présence d'un champ magnétique mobile.	
Capteur optique	Un capteur photoélectrique est un capteur de proximité. Il se compose d'un émetteur de lumière associé à un récepteur.	
Codeur rotatif incrémental	Il donne une position angulaire relative à la position initiale du codeur en incrémentant un compteur qui se réinitialise à l'allumage.	
Codeur rotatif absolu	Dans le cas de ce capteur, la piste est codée afin de déterminer la position angulaire du codeur de façon absolue.	
Jauge de déformation	La résistance ohmique de la jauge varie en fonction des déformations générées par la contrainte.	
Thermocouple	La différence de température entre les deux jonctions du capteur fait varier sa résistance ohmique.	
Génératrice tachymétrique	Un capteur tachymétrique agit comme un générateur analogique, la tension à sa sortie est proportionnelle à la vitesse de rotation.	

4.2.2 Traiter

La fonction **traiter** exécute l'**algorithme** qui gère le comportement du système à partir des informations acquises. Cet algorithme peut être **numérique**, **logique** ou **analogique**. Il est mis en œuvre, par exemple, par un automate, un microcontrôleur, un ordinateur monocarte ou une carte Arduino.

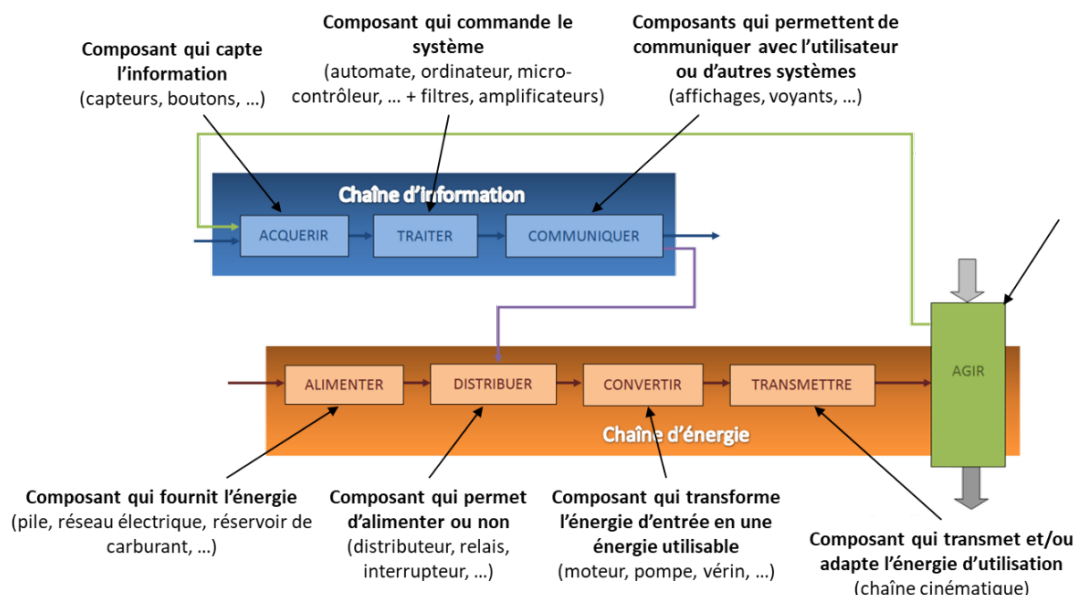
Automate Programmable Industriel (API)	Dispositif électronique programmable pour la commande de processus industriels par un traitement séquentiel.	
Micro-contrôleur	Circuit qui rassemble des éléments d'un ordinateur : processeur, mémoires, interfaces d'entrées-sorties, ...	
Micro-processeur	Processeur dont les composants ont été miniaturisés pour être regroupés dans un unique circuit intégré.	

4.2.3 Communiquer

La fonction **communiquer** transmet les informations et les ordres aux parties concernées : chaîne de puissance et/ou utilisateur. La transmission peut employer une liaison série, parallèle, réseau ou un bus plus complexe. Vers l'utilisateur, elle peut prendre la forme d'un affichage ou d'un signal sonore.

5 Bilan

La représentation en chaînes fonctionnelles associe à chaque fonction une solution technique et matérialise les échanges par des flux d'information, d'énergie et de matière.



Une représentation plus détaillée peut expliciter les informations extérieures, les retours des capteurs, les ordres envoyés aux préactionneurs et les différentes formes d'énergie.



Exemple

Aspirateur autonome

L'exemple de l'aspirateur autonome montre qu'il faut adapter le schéma générique et

employer plusieurs chaînes de puissance pour décrire les différentes actions du système.

