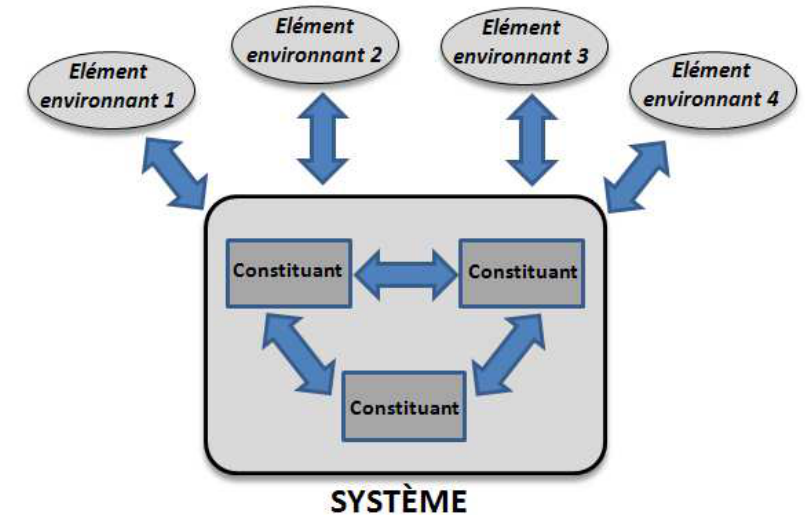


# Analyse fonctionnelle et structurelle des systèmes

## 1. Généralité sur les systèmes

Toujours conçu dans le **but de répondre à un besoin**, un système est une association de constituants ayant des relations entre eux.

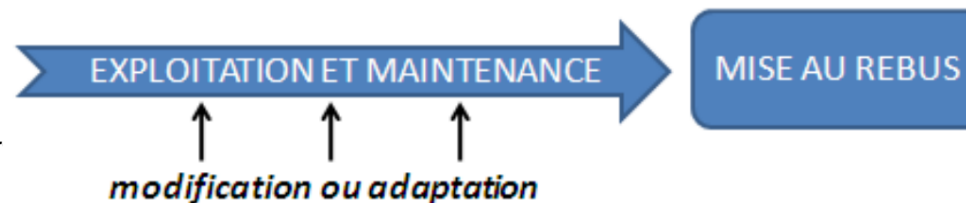
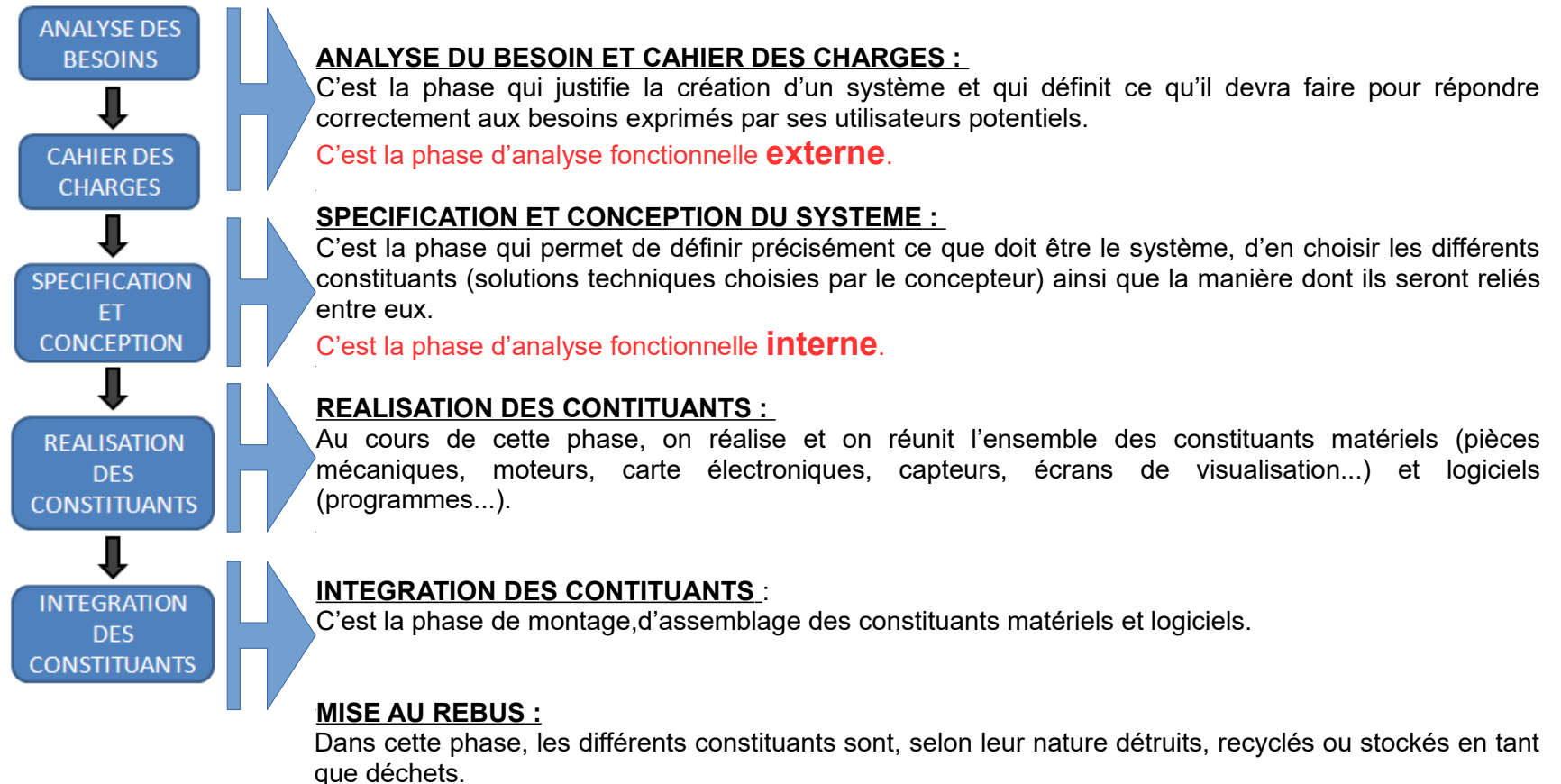
Exemples de systèmes :



Le rôle de « l'ingénieur système » est d'utiliser des démarches permettant d'aborder méthodiquement cette complexité pour pouvoir étudier, prévoir et améliorer le comportement de ces systèmes.

## 2. Différentes étapes du cycle de vie d'un système

La notion de « cycle de vie » est indissociable d'un système. Elle exprime les différentes étapes qui vont de sa conception initiale jusqu'au recyclage de ses constituants.

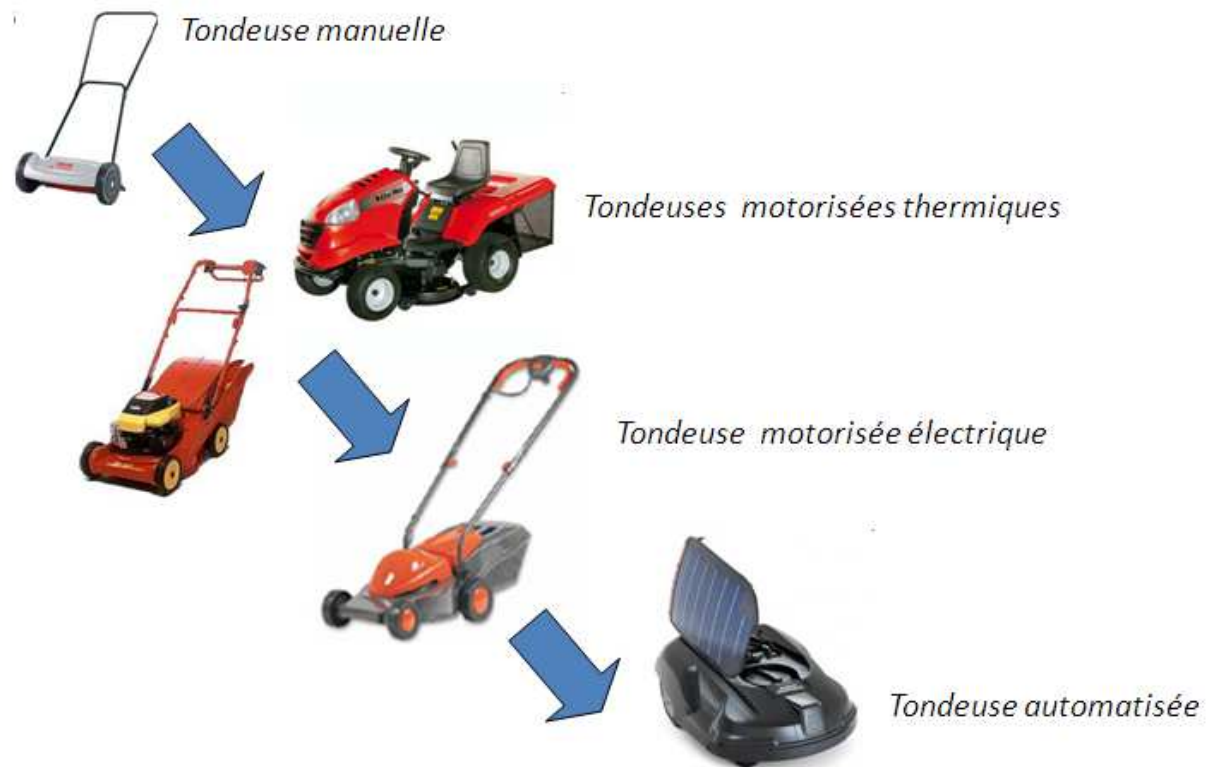


## 3. Analyse fonctionnelle externe

### 3.1. Phase 1 : l'identification du besoin

« Un besoin est une nécessité ou un désir éprouvé par un utilisateur ».

Le client est sensible à l'évolution du contexte économique, social et environnemental ainsi qu'au degré d'innovation, le besoin évolue donc constamment.



**Énoncé du besoin :** Graphe des prestations ou « bête à cornes ».

L'énoncé du besoin est normalisé et il se synthétise par 3 questions permettant de justifier l'existence du système :

A qui rend-il service ?  
Sur quoi agit-il ?  
Dans quel but ?

**Le système agit sur la matière d'œuvre en lui apportant une valeur ajoutée et satisfait ainsi le besoin exprimé par l'utilisateur.**

### 3.1.1. Matière d'œuvre :

On appelle matière d'œuvre la matière, l'énergie et/ou l'information sur le(s)quelle(s) agit le système.

Cette intervention peut se traduire par une ou plusieurs actions :

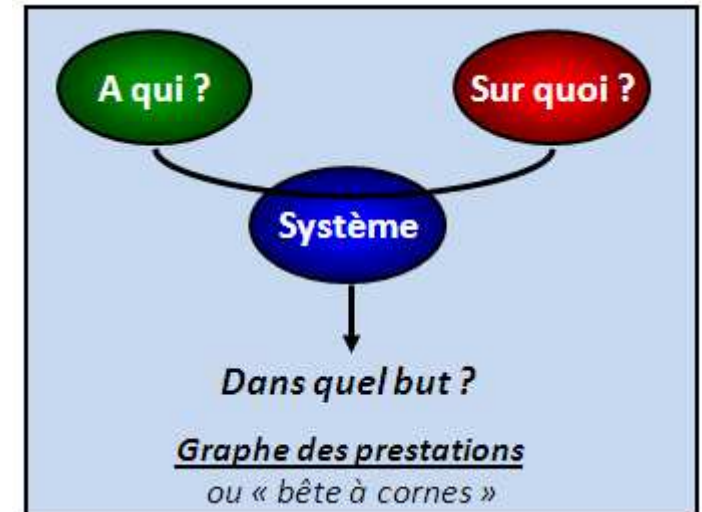
- une modification de forme, de structure, ... ;
- un déplacement ;
- un stockage.

*Exemple :*

Système	Matière d'œuvre
Graveur DVD	Données et support DVD
Mixeur	Aliments



**La matière d'œuvre ne change pas de nature ! Seules ses caractéristiques évoluent.**



A connaître :

- La structure de la bête à corne,
- les 3 questions.

A connaître :

- Définition de la valeur ajoutée.

**3.1.2. Valeur ajoutée :**

La valeur ajoutée est définie comme la modification apportée à la matière d'œuvre entre l'entrée et la sortie du système.

**3.1.3. Fonction globale d'un système**

**C'est la « raison d'être » du système**, ce pourquoi il existe. Elle est réalisée par un ensemble d'opérations qui permet de faire passer la matière d'œuvre de son état initial à son état final.

La fonction globale, qui répond à la question « dans quel but ? (pour quoi faire ?) » est un verbe à l'infinitif suivi d'un complément, c'est une action exprimée en termes de finalité.

Exemple :

*Quelle est la fonction globale d'un aspirateur : aspirer, nettoyer ou dépoussiérer ?*

- Aspirer ne convient pas car la solution technologique est déjà pressentie (créer un flux d'air, créer une dépression...). On pourrait imaginer une autre solution permettant d'obtenir le même résultat.
- Nettoyer ne convient pas car un aspirateur n'a pas pour fonction d'enlever des tâches par exemple.
- Dépoussiérer cette réponse est meilleure car elle cerne bien le besoin utilisateur sans induire de solution technologique particulière.



Une fonction, donc la réponse à un besoin, peut être réalisée par de multiples systèmes différents.



**Penser à sa finalité plutôt qu'à l'objet, permet de s'en détacher et ouvre ainsi le champ de l'innovation !**

### 3.2. Phase 2 : l'analyse fonctionnelle du besoin

L'analyse fonctionnelle du besoin est une méthode qui a pour objectifs :

- L'identification des fonctions de service que doit satisfaire le système afin de répondre au besoin et s'adapter aux contraintes de son environnement.
- L'expression de ces fonctions (verbe d'action + complément).

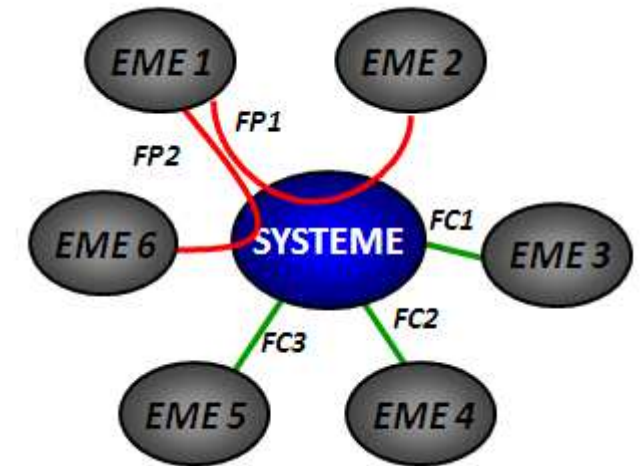
#### 3.2.1. Diagramme des interactions diagramme « pieuvre »

Une Fonction de Service est toujours constituée d'un **verbe d'action** (à l'infinitif) suivi d'un complément.

Pour la formuler, on peut se poser la question suivante :

« Pour bien répondre au besoin et s'adapter aux contraintes de son environnement, le système doit ? ».

Les **éléments du milieu environnant** (EME) doivent se retrouver dans la désignation de cette fonction.



#### 3.2.2. Les 2 niveaux de fonctions de service : fonction principale FP et fonction contrainte FC

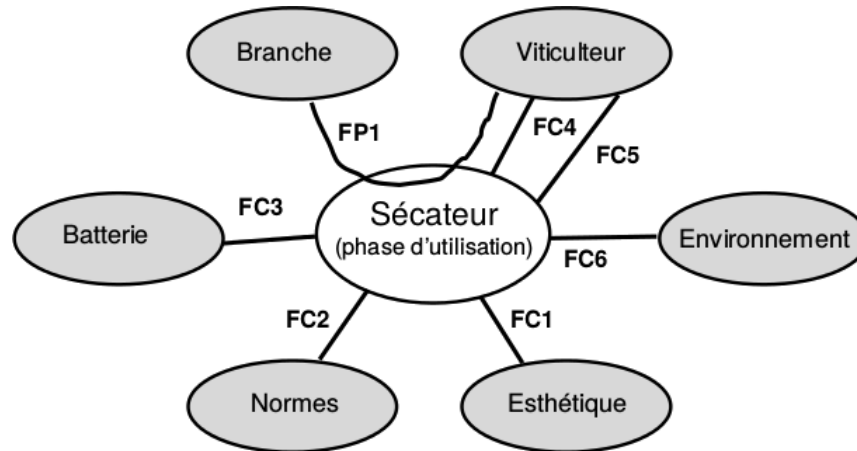
**Fonction Principale (ou d'usage) :** elle met en relation deux éléments du milieu environnant par l'intermédiaire du système.

**Fonction Contrainte (ou d'adaptation) :** elle exprime l'adaptation du système à son environnement en mettant en relation un élément du milieu environnant et le système.

### 3.3. Exemple : Sécateur électrique PELLENC

Pour réduire la fatigue de la main et du bras, la société PELLENC commercialise un sécateur électrique à commande électronique destinée aux viticulteurs afin de les assister lors de la taille de la vigne.

Extrait du Cahier des charges fonctionnel:



Fonction	Description	Critère d'appréciation	Niveau d'exigence	Flexibilité
FP1	Couper une branche avec un moindre effort	- Capacité de coupe - Effort de coupe - Cadence	- Ø22 mm - 1000 N - 60 coupes/min	20 mm minimum ±10%
FC1	Être agréable à l'œil de l'utilisateur (esthétique)	- Forme - Couleur		
FC2	Être conforme aux normes de sécurité des travailleurs	- Article R233-100 du Code du Travail	- Respect total sans limitation	aucune
FC3	Assurer une autonomie maximum	- Durée d'autonomie	- 8 h	7h minimum
FC4	Avoir un poids et un encombrement "en mains" correct	- Masse "en mains" - Longueur	- 800 g - < 320 mm	±50g
FC5	Être intégralement portable	- Masse totale	- 3,5 kg	±200g
FC6	Résister à conditions extérieures	- Température d'utilisation - Humidité, poussière - Chocs	- de -15°C à 50°C - Étanche - Chute < 1m	±5°C aucune

## 4. Analyse fonctionnelle interne

### 4.1. Objectif de l'analyse fonctionnelle interne : « choisir les solutions techniques »

L'Analyse Fonctionnelle interne permet de s'intéresser aux constituants du système appelés « solutions techniques » et de prévoir leurs degrés de performance dans la réalisation des fonctions de service et donc dans la satisfaction du besoin.

Elle privilégie le point de vue du concepteur, qui est chargé de concevoir un produit réel à partir d'un cahier des charges donné traduisant le besoin de l'utilisateur.

#### **Elle utilise deux outils de description :**

- **le diagramme F.A.S.T.** (Function Analysis System Technic),
- **le diagramme S.A.D.T.** (Structured Analysis and Design Technic).



*A notre niveau, on se contentera d'observer les solutions techniques d'un système déjà existant !*

A Connaître :  
- L'objectif de l'analyse fonctionnelle Interne  
- Les 2 outils de descriptions de AF Externe.



## 4.2. 1er outil de l'analyse fonctionnelle interne : le F.A.S.T.

Le diagramme F.A.S.T. détaille en plusieurs niveaux, à l'aide de fonctions techniques, la façon dont est réalisée une fonction de service.

Chaque Fonction Technique (Verbe à l'infinitif + complément) est concrétisée par une ou plusieurs solutions techniques.

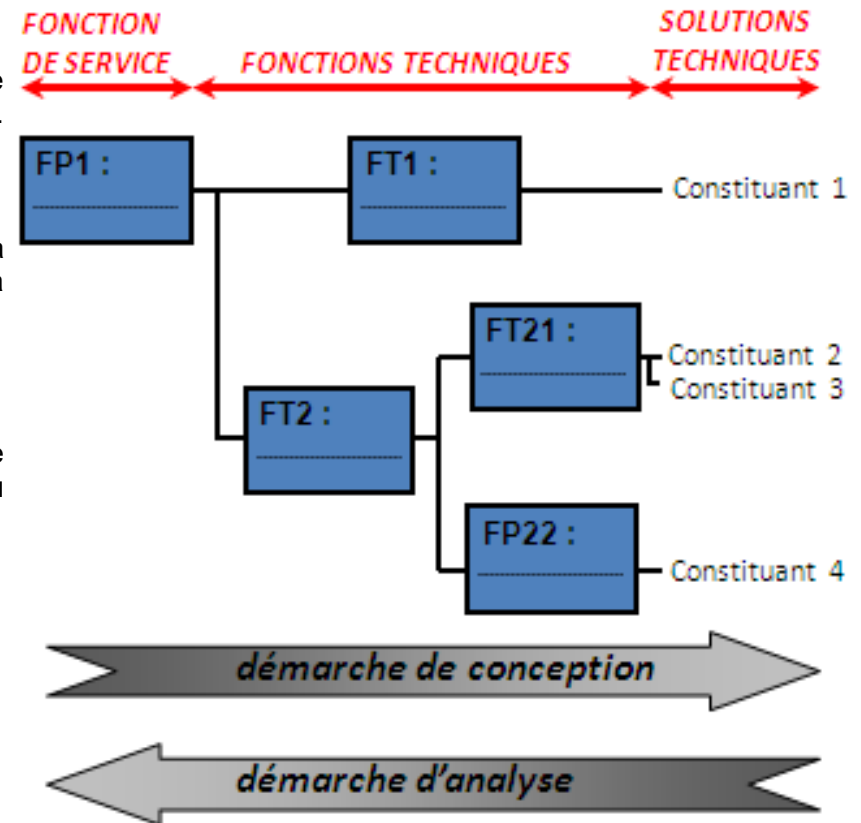
La lecture de ce diagramme peut se faire :

➤ **De gauche à droite** si l'on veut comprendre comment concrètement une fonction a été réalisée. On répond à la question **COMMENT** ?

➤ **De droite à gauche** si l'on veut comprendre à quoi sert un constituant du système. On répond à la question **POURQUOI** ?



Remarque : le nombre de F.A.S.T. d'un système est égal au nombre de fonctions de service du cahier des charges.

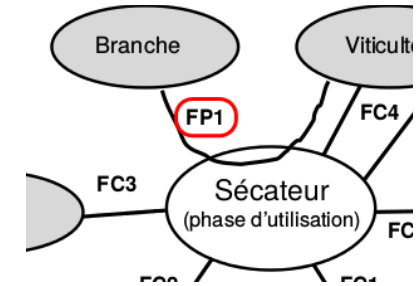
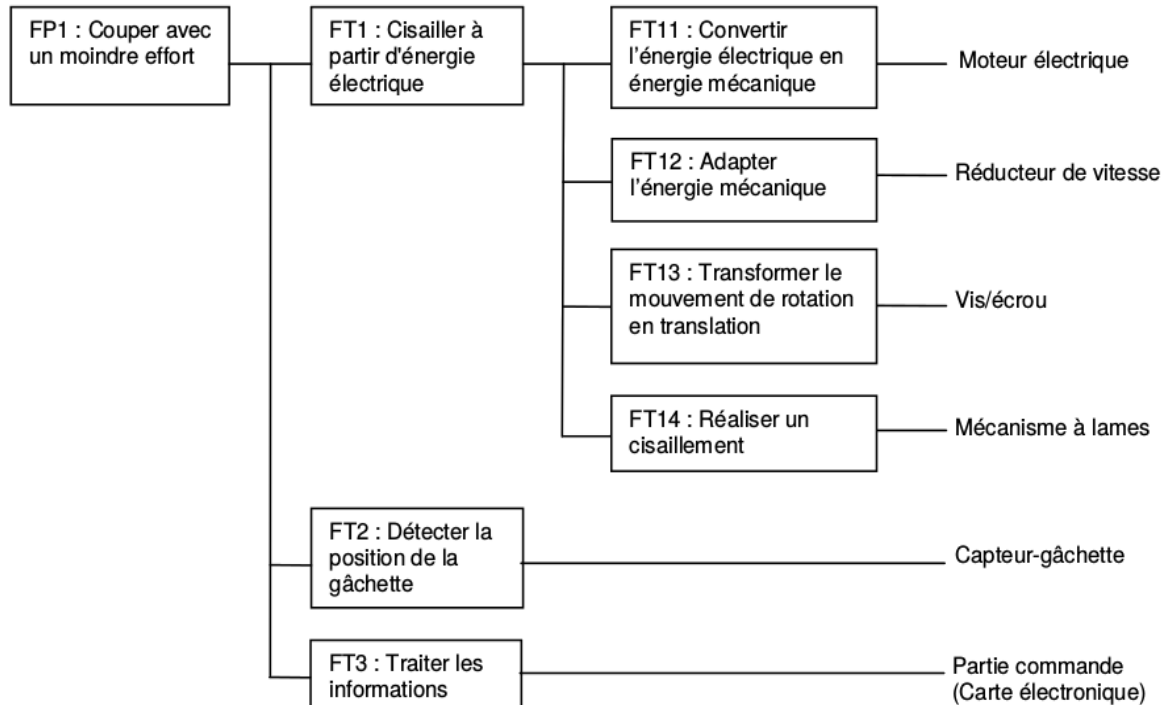
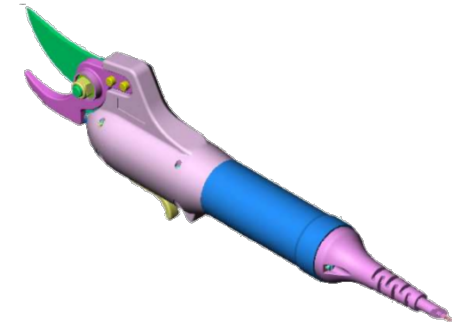
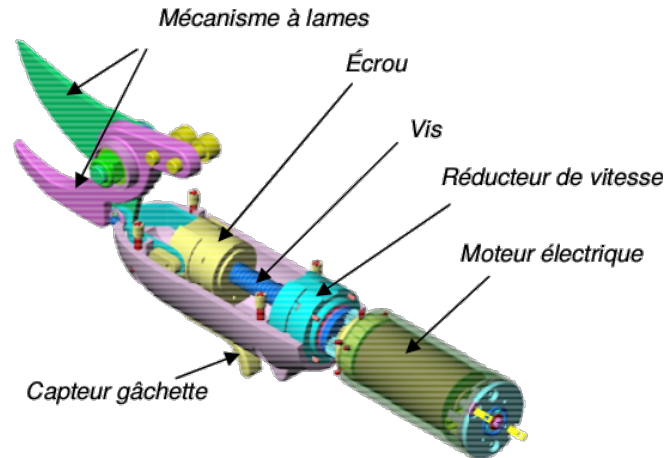


A connaître :

- COMMENT g. à d.
- POURQUOI de d. à g.
- Nombre de F.A.S.T

### 4.2.1. Exemple : Sécateur électrique PELLENC

F.A.S.T. de la fonction de service principale FP1 du sécateur PELLENC.



*Il faudrait réaliser les autres FAST correspondant aux autres fonctions de service du cahier des charges...*

### 4.3. 2ème outil de l'analyse fonctionnelle interne : le S.A.D.T.

L'outil **S.A.D.T.** décrit la constitution du système en utilisant des boîtes et des flèches représentant des **flux M . E . I** ( Matière - Énergie - information) entrants ou sortants de ces boîtes.

Chaque boîte, appelée **actigramme**, contient l'expression d'une action à accomplir, exprimée à l'aide d'un **verbe à l'infinitif**.

L'outil S.A.D.T. permet de réaliser une « **analyse descendante** » des systèmes. On va du plus général au plus détaillé, en s'intéressant aux **activités du système**.

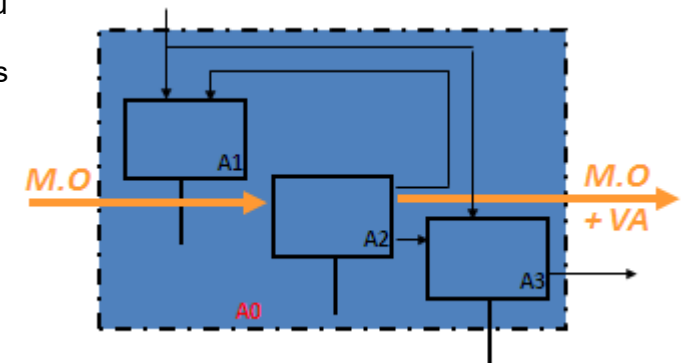
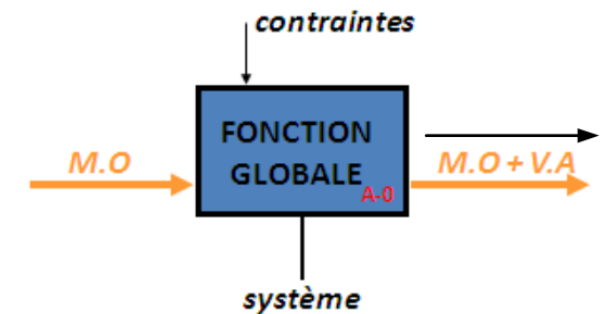
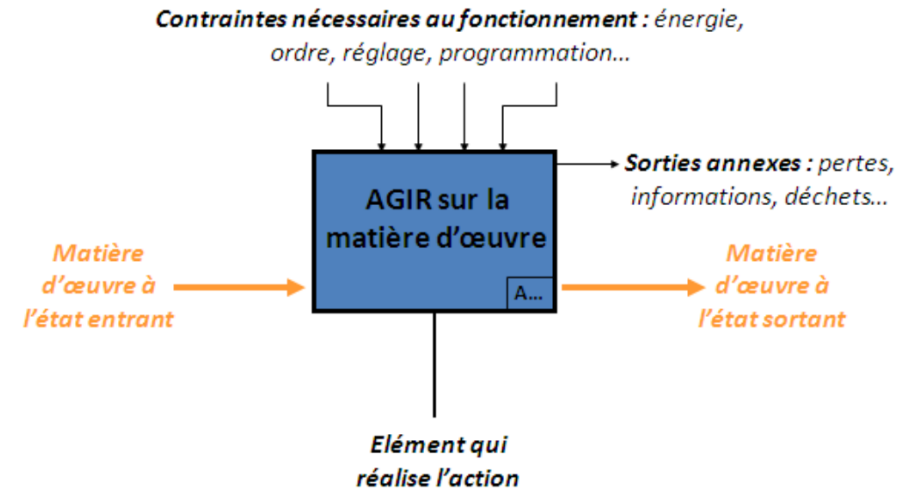
#### 4.3.1. Niveau A-0 (A moins zéro)

Il définit :

- La frontière d'isolement du système
- La fonction globale du système qui permet d'apporter de la valeur ajoutée à la **matière d'œuvre**.

#### 4.3.2. Niveau A0 (A zéro)

Chaque boîte représente une action que doit réaliser un constituant du système pour lui permettre de satisfaire la fonction globale. Ce niveau permet d'observer les flux d'énergie et d'information entre les différentes boîtes nommées A1, A2, A3...



A connaître :

- définition du **flux**.
- le principe de lecture de la S.A.D.T
- La définition de fonction globale.

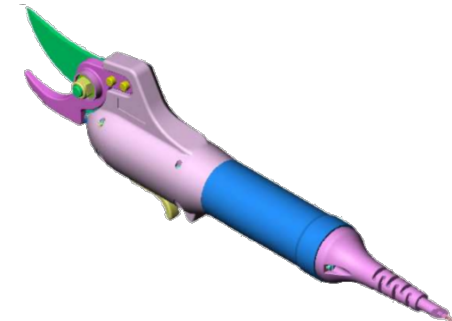
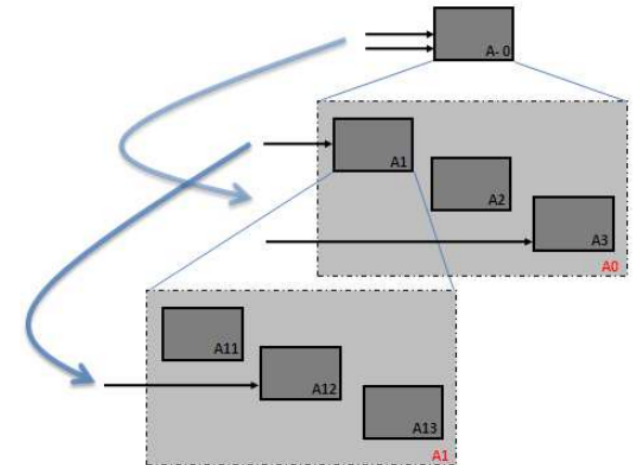
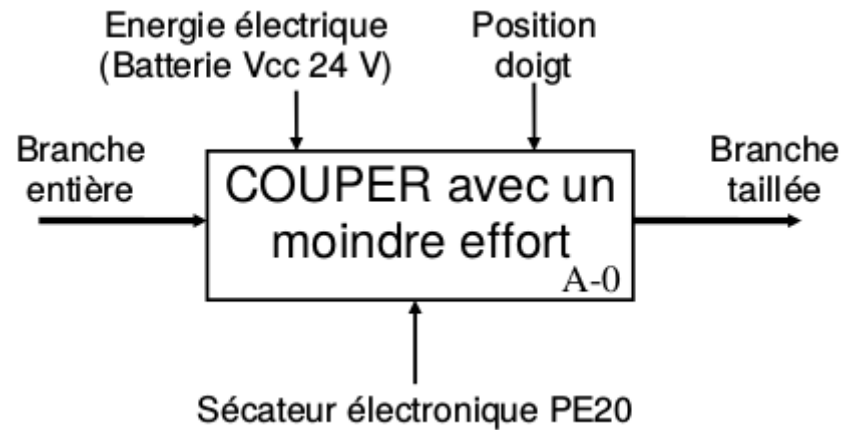
### 4.3.3. Niveaux inférieurs

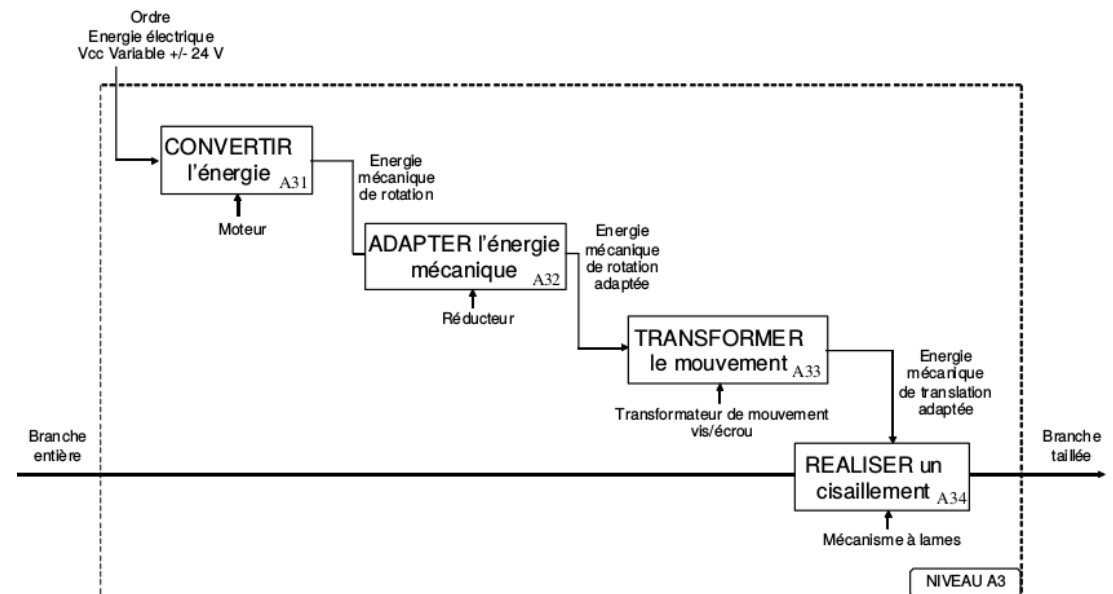
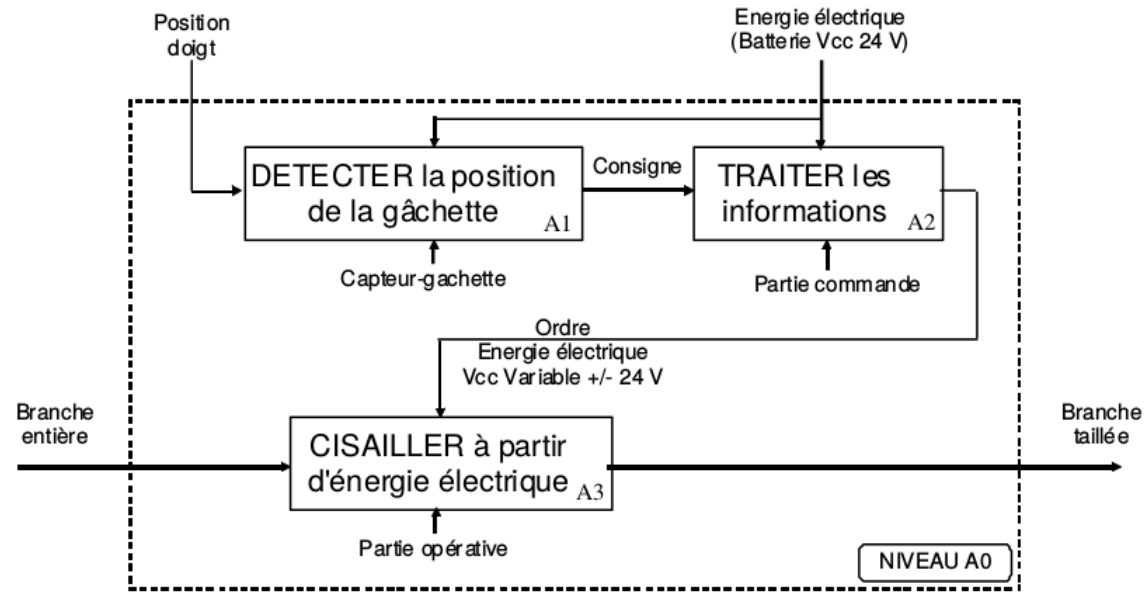
La méthode est valide à condition de veiller à la cohérence des informations aux changements de niveaux.



**Tout ce qui franchit les frontières d'une boîte doit se retrouver à l'identique au niveau suivant.**

### 4.3.4. Exemple : Sécateur électrique PELLENC





## 5. Analyse structurelle des systèmes

Même lorsqu'ils répondent au même besoin, les systèmes sont en général conçus de manière très différente les uns des autres.

On peut cependant décrire leur structure d'une manière relativement générale et retrouver chez chacun d'entre eux des familles de constituants qui réalisent des fonctions similaires.

A bien y réfléchir, le diagramme S.A.D.T fait apparaître également l'organisation structurelle....

Cette approche permet à l'ingénieur d'aborder méthodiquement la complexité des systèmes industriels.

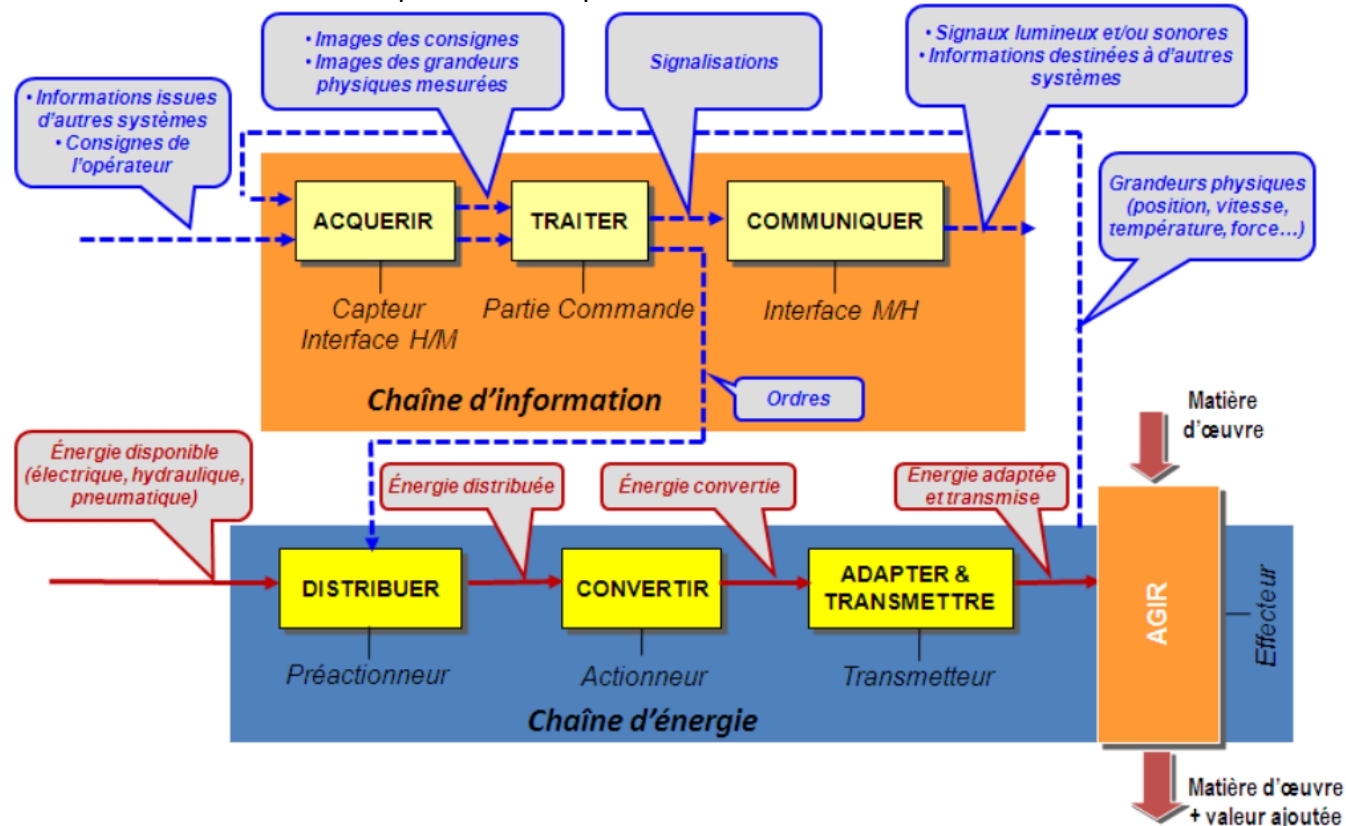
## 5.1. Approche typique

### 5.1.1. Chaîne d'énergie et chaîne d'information

Le processus de transformation de la matière d'œuvre par un système industriel complexe comporte plusieurs activités successives ou simultanées.

Chacune de ces activités peut être décrite sous la forme d'une chaîne fonctionnelle constituée :




- d'une **chaîne d'énergie** qui réalise une action à partir d'énergies disponibles ;
- d'une **chaîne d'information** qui réalise l'acquisition, le traitement et la communication des informations.



#### A connaître parfaitement :

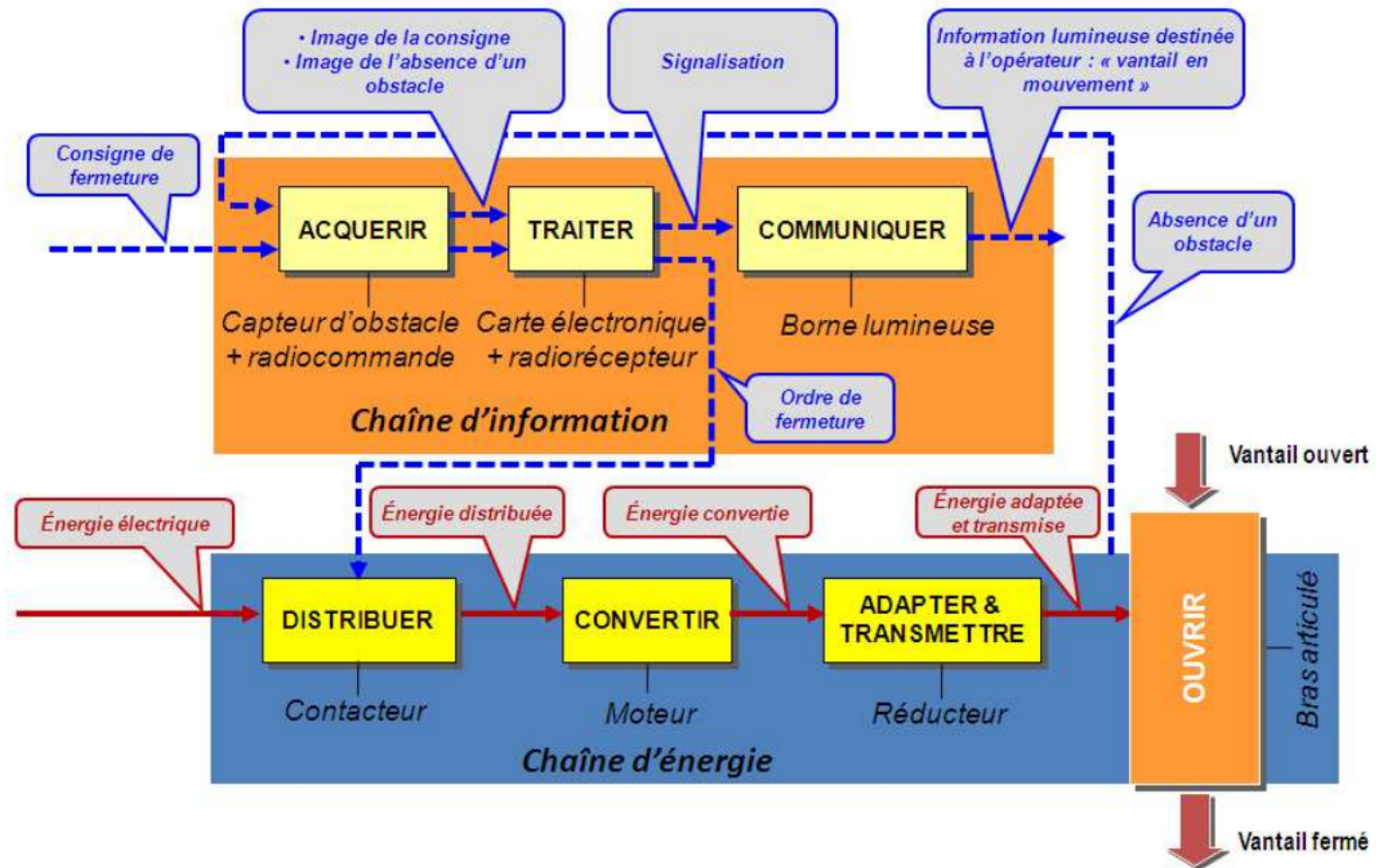
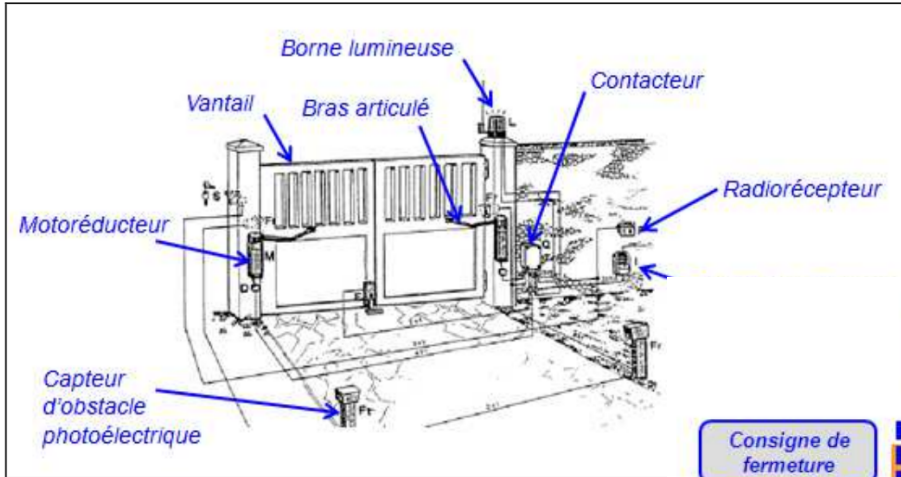
La chaîne fonctionnelle ci-contre ainsi que l'ensemble des bulles.

### 5.1.2. Flux d'énergie, flux d'information et flux de matière.

Flux utilisé dans une chaîne fonctionnelle	Symbole <sup>1</sup>	Niveau de l'énergie utilisée		
		Électrique	Pneumatique (air)	Hydraulique (huile)
Dans la <b>chaîne d'énergie</b> où l'énergie utilisée doit être importante pour donner aux matières d'œuvre la valeur ajoutée attendue, nous parlerons de <b>FLUX D'ENERGIE</b> .		220 V	7 bar	250 bar
Dans la <b>chaîne d'information</b> où l'énergie utilisée doit être faible pour véhiculer des signaux, nous parlerons de <b>FLUX D'INFORMATION</b> .		24 V	3 bar	10 bar
Au niveau de l' <b>effecteur</b> , nous parlerons de <b>FLUX DE MATIERE</b> (pièce, matériau...).		X	X	X



5.1.3. Exemple : Portail automatisé



## 5.2. Constituants de la chaîne d'énergie

### 5.2.1. Préactionneur

Son rôle est de distribuer, sur ordre de la partie commande, l'énergie utile aux actionneurs.



Connaitre :  
- la fonction globale d'un Préactionneur

Savoir :  
- Donner 2 exemples de de préactionneur.



*Si l'actionneur qui suit dans la chaîne fonctionnelle est électrique, le préactionneur sera aussi électrique (relais, contacteur, variateur, hacheur, carte de puissance).*

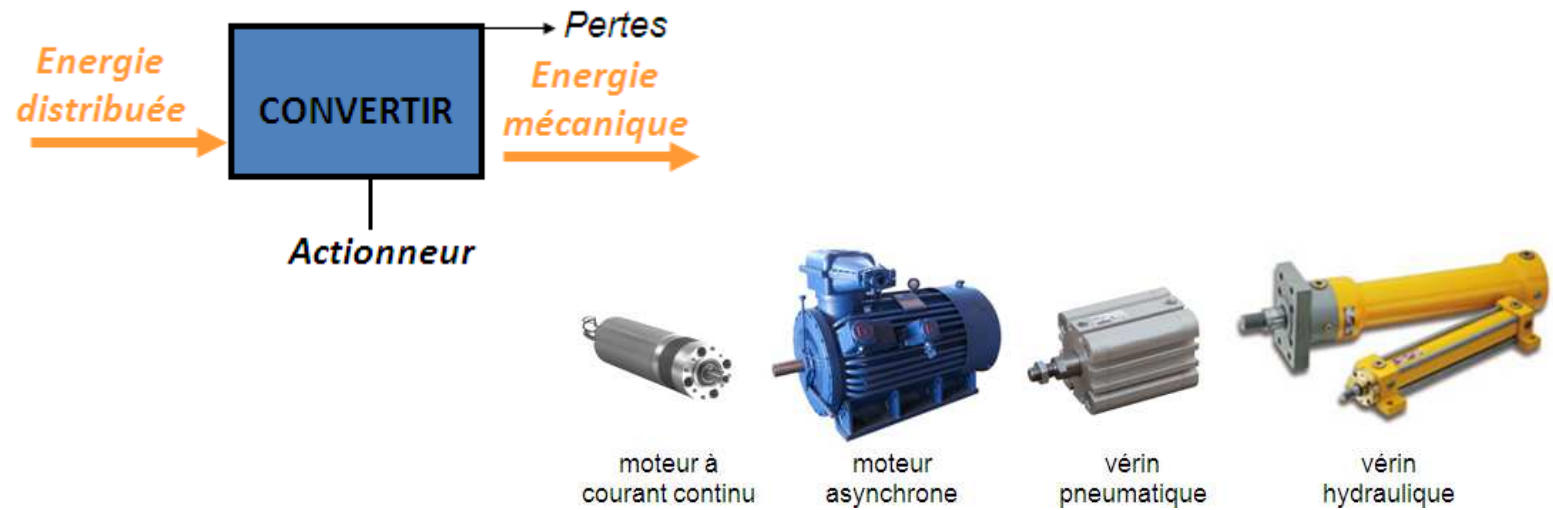
*Si l'actionneur est pneumatique, le préactionneur sera pneumatique (distributeur).*

*Certains préactionneurs (relais, contacteur, distributeur) sont dits « tout ou rien », c'est-à-dire qu'ils jouent le rôle d'interrupteur de la chaîne d'énergie.*

*Les autres préactionneurs (variateur, hacheur, carte de puissance) laissent passer seulement une partie de l'énergie source, c'est-à-dire qu'ils régulent le débit d'énergie, on parle alors de « préactionneur proportionnel ».*

### 5.2.2. Actionneur

Son rôle est de transformer l'énergie distribuée en énergie mécanique (de translation ou de rotation)



Connaitre :

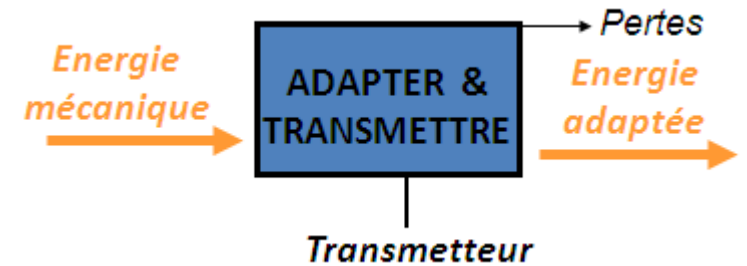
- la fonction globale d'un Actionneur.

Savoir :

- Donner 2 exemples d'actionneurs.

### 5.2.3. Transmetteur

Son rôle est d'adapter et de transmettre l'énergie mécanique délivrée par l'actionneur pour la rendre utilisable par l'effecteur.





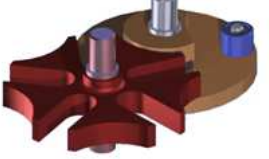


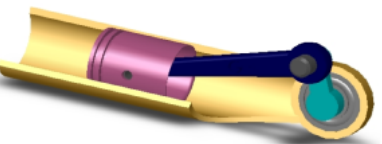
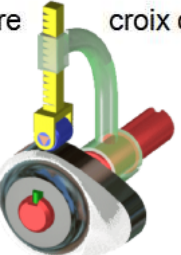


#### Connaitre :

- la fonction globale d'un transmetteur.

#### Savoir :

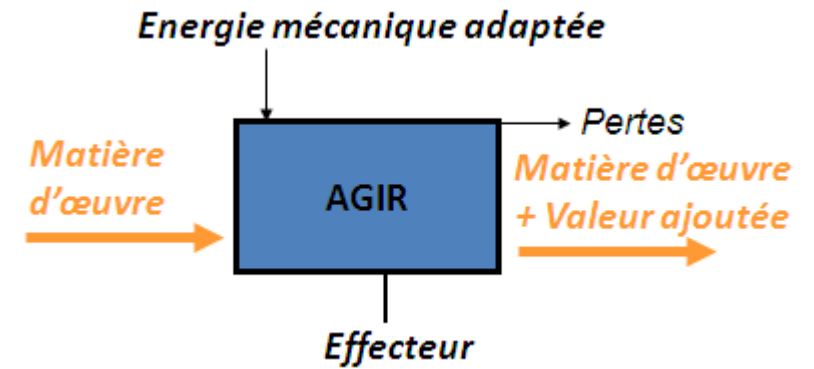
- Donner 2 exemples de transmetteurs avec et sans transformation.

Sans transformation de mouvement	Avec transformation du mouvement
 <p>engrenage</p>  <p>poulie courroie</p>	 <p>vis-écrou</p>  <p>pignon-crémaillère</p>  <p>croix de malte</p>
 <p>Roue et vis sans fin</p>  <p>Pignon chaine</p>	 <p>Bielle manivelle</p>  <p>Came</p>

### 5.2.4. Effecteur

Son rôle est d'effectuer la transformation de la matière d'œuvre afin de lui apporter sa valeur ajoutée.

Exemples: doigts d'une pince, tapis roulant, outil d'un centre d'usinage, ventouse ou électro-aimant d'un système de préhension...



#### Connaitre :

- la fonction globale d'un effecteur.

#### Savoir :

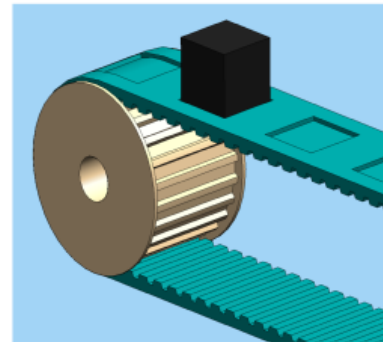
- Donner 2 exemples de d'effecteurs



Ventouse  
pneumatique



Doigt de pince



Tapis roulant

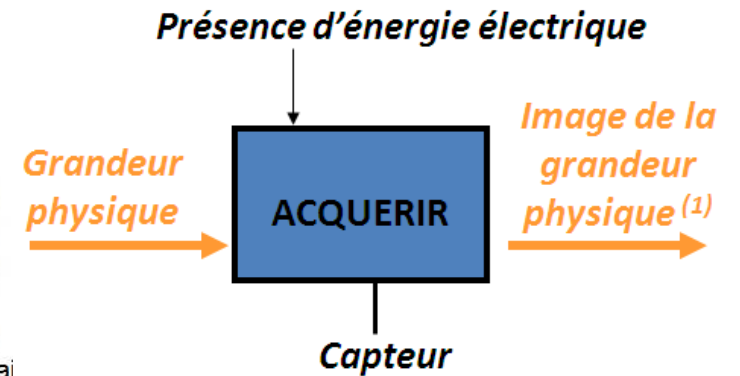


Electroaimant

### 5.3. Constituants de la chaîne d'information

#### 5.3.1. Capteur

Son rôle est de prélever une grandeur physique et d'en produire une image exploitable par la partie commande.



Et aussi : capteur d'accélération, capteur de température...

#### Connaitre :

- la fonction globale d'un capteur.

#### Savoir :

- Donner 2 exemples de chacun des constituants de la chaîne d'information.

### 5.3.2. Interface Homme / Machine (IHM)

Son rôle est de traduire la consigne d'un utilisateur en une image exploitable par la partie commande.



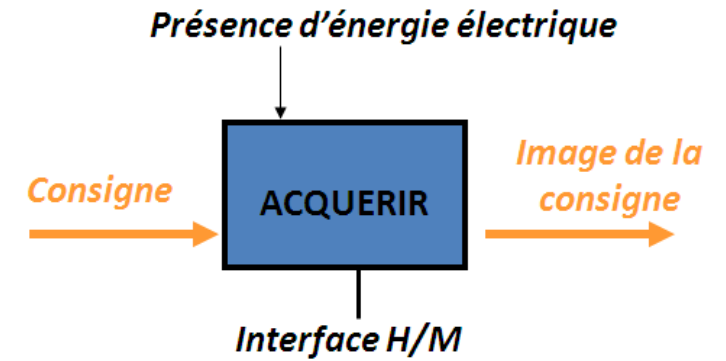
bouton poussoir



potentiomètre



clavier  
joystick



Et aussi : bouton coup de poing, interrupteur de position, écran tactile...



L'information envoyée par le capteur ou l'IH/M peut être :

- logique (0 ou 1), c'est le cas de détecteurs ou boutons poussoirs ;
- analogique (elle peut prendre une infinité de valeur), c'est le cas de capteurs d'effort ou potentiomètres ;
- numérique (elle ne peut prendre qu'un nombre limité de valeurs distinctes), c'est le cas de codeurs.

Connaitre :

- la fonction globale d'une IHM.

Savoir :

- Donner 2 exemples d'IHM

### 5.3.3. Partie Commande

Son rôle est, à l'aide du programme implanté, de traiter les informations en provenance des capteurs et de l'interface H/M afin d'émettre les ordres destinés aux préactionneurs des différentes chaînes d'énergie.

Elle envoie aussi des signalisations à l'interface M/H qui seront traduits en signaux lumineux et/ou sonores à destination de l'opérateur.

#### Connaitre :

- la fonction globale d'une partie commande et d'une IMH.

#### Savoir :

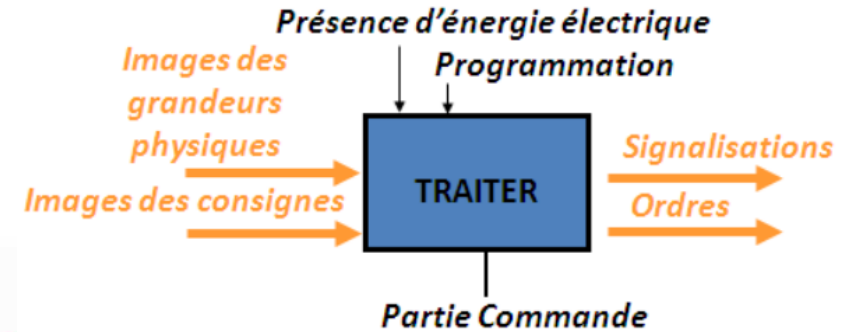
- Donner 2 exemples de partie commande et d'une IMH



automate programmable



micro-contrôleur



### 5.3.4. Interface Machine/Homme (IMH)

Son rôle est de permettre à l'opérateur d'être informé sur l'état du système.



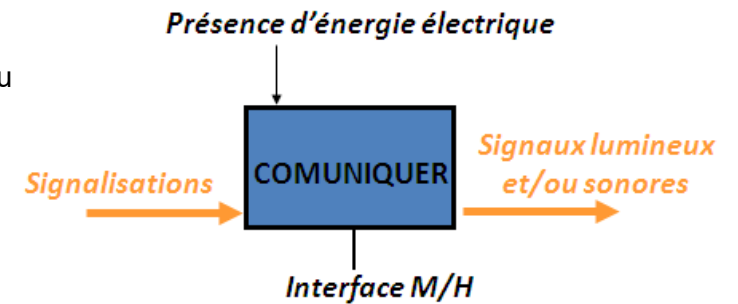
voyant



alarme sonore

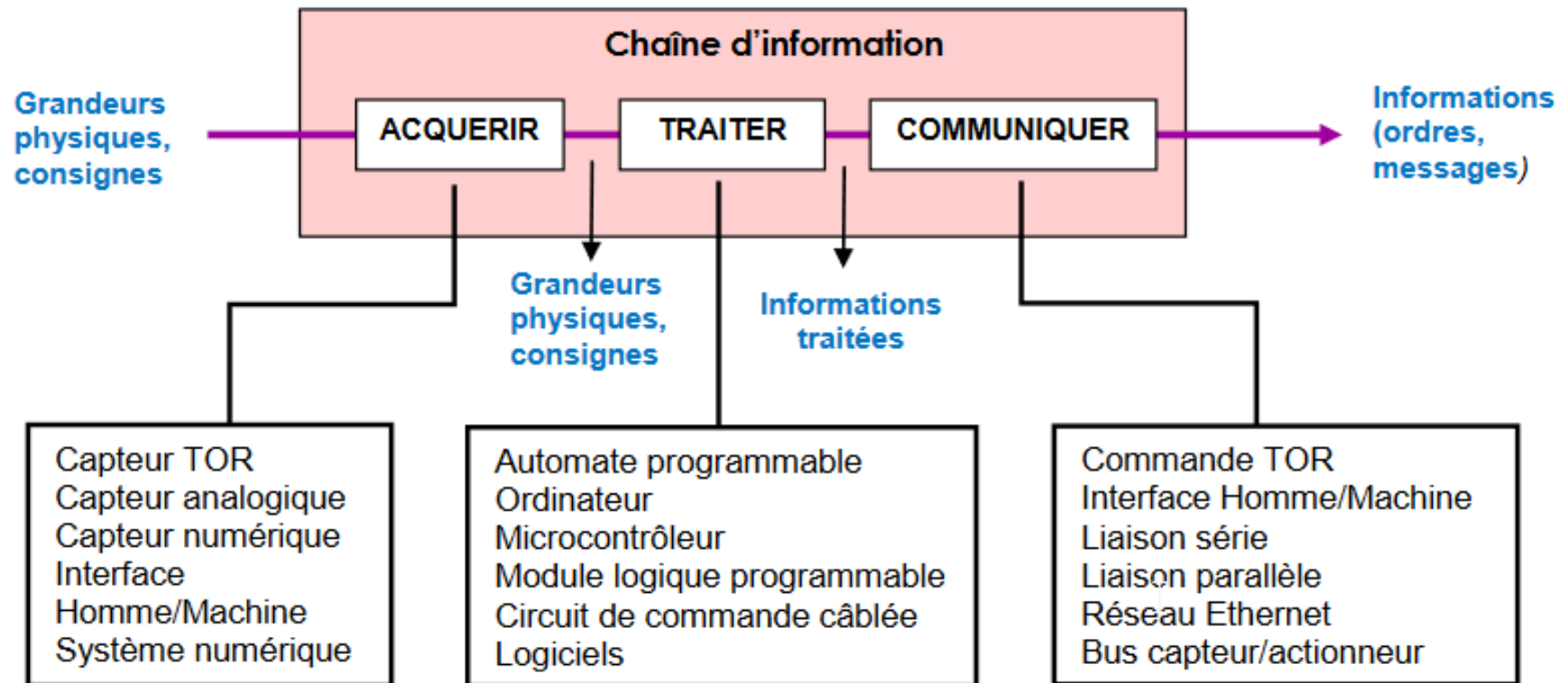


écran





## Résumé de la chaîne d'information :



## Résumé de la chaîne d'énergie :

