

## Systemes - généralités

« Le polytechnicien construit un pont, qui s'effondre, et il sait pourquoi. Le gad'zart construit un pont, qui tient, et il ne sait pas pourquoi »

dicton

### 1 - La description fonctionnelle des systèmes

#### 1.1 - Qu'est-ce qu'un système ?

D'après Joël de Rosnay, **un système est un ensemble d'éléments, en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but.**

Les exemples de systèmes abondent : le système solaire, le système nerveux, le système scolaire, un système automatisé,...

Le dernier exemple est un système physique créé par les hommes dans un but précis : c'est un **système technologique**.

Les systèmes technologiques sont en relation avec leur environnement.

#### 1.2 - L'analyse fonctionnelle descendante

L'analyse fonctionnelle descendante est un outil de description graphique et de modélisation d'un système technologique. Il propose une démarche d'analyse systématique.

Cette méthode part du général pour aller au particulier. La description est constituée d'une suite cohérente de diagrammes dont l'organisation est expliquée par la suite.

Un système technologique :

- ▶ exerce une **activité** sur une matière d'œuvre pour satisfaire un **besoin** ;
- ▶ remplit une **fonction d'usage** en produisant une **valeur ajoutée**.

La lecture d'un système technologique fait appel à trois notions :

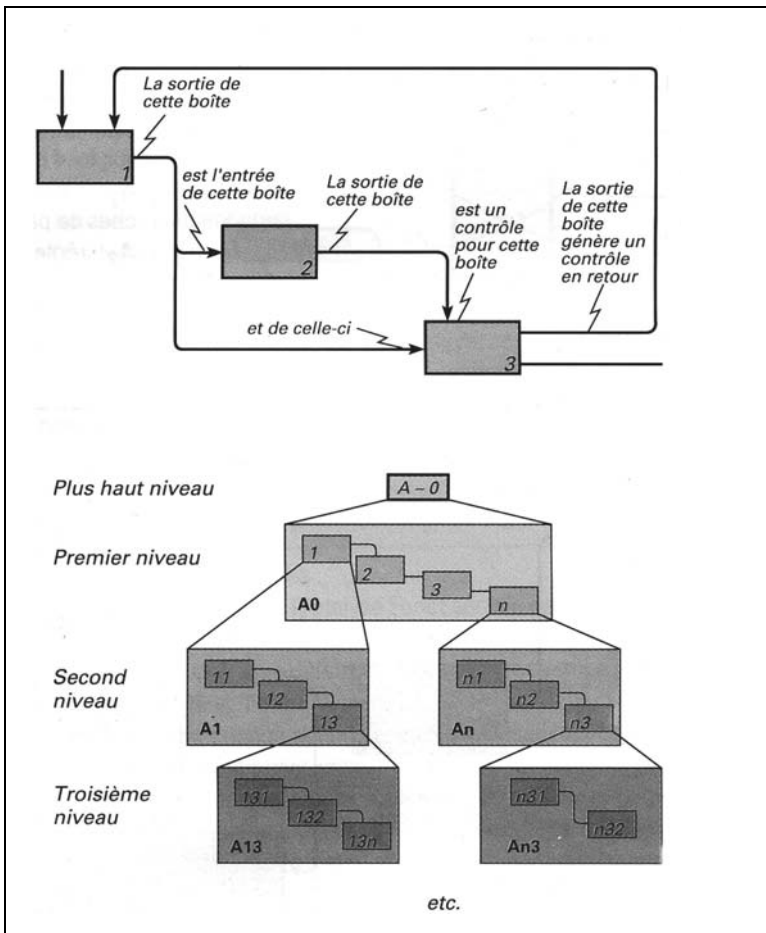
- ▶ **le contexte** qui délimite le système par rapport au milieu qui l'environne (frontières du système) ;
- ▶ **le point de vue** adopté pour observer le système (concepteur, utilisateur, personnel de maintenance) ;
- ▶ **l'objectif de l'analyse** (compréhension des flux de matière d'œuvre et d'énergie, des données de contrôle et des informations).

La représentation des activités est modélisée par des boîtes ou modules fonctionnels reliés entre eux par des flèches. Ces boîtes (ou actigrammes) sont régies par des règles définies par la Structured Analysis and Design Technic (SADT).

*Les principales règles de la modélisation :*

- ▶ **les flèches** indiquent les contraintes d'action, les contrôles,... agissant sur la production de valeur ajoutée ;
- ▶ **les données d'entrée** sont transformées en données de sortie par la fonction (verbe) indiquée dans la boîte ;
- ▶ **la sortie d'une boîte** peut constituer l'entrée ou le contrôle d'une ou plusieurs autres boîtes ;
- ▶ **les diagrammes** sont constitués d'une ou plusieurs boîtes (6 au maximum) et sont hiérarchisés en niveaux de décomposition de diagramme.

<sup>1</sup> Machine à vapeur de 200 ch actionnant un treuil, 1850 environ.



Le plus haut niveau est A-0 (A moins zéro) et ne comporte qu'une fonction (contexte). Le diagramme A-0 se décompose au niveau suivant A0 en  $n$  boîtes représentant les fonctions satisfaisant la fonction d'usage définie en A-0 : A1, A2, A3, ..., An. Chacune de ces boîtes peut à son tour se décomposer en différentes boîtes représentant des sous-fonctions : A11, ..., A22, ..., An1. La décomposition s'achève quand le niveau de détail souhaité est atteint.

*Comment déterminer le nombre de boîtes du niveau A0 ?*

Le nombre de boîtes est obtenu à partir de l'identification des fonctions : il y a autant de boîtes que de fonctions principales (diagramme pieuvre).

## 2 - Les systèmes automatisés

Les systèmes automatisés ont pour fonction d'améliorer les conditions de travail et la productivité des entreprises. Suivant le niveau de leur application, ils sont plus ou moins complexes.

Un **système automatisé** comprend toujours :

- **une partie opérative** (PO) qui regroupe l'ensemble des opérateurs technologiques qui assurent et contrôlent la production des effets utiles, pour lesquels le système automatisé a été conçu ;
- **une partie commande** (PC) qui élabore des ordres en fonction des informations reçues de la partie opérative ou à partir des consignes affichées par l'opérateur.

Un système automatisé est constitué d'une ou plusieurs chaînes fonctionnelles.

Une **chaîne fonctionnelle (ou axe)** est l'ensemble des constituants organisés en vue de l'obtention d'une tâche opérative, c'est-à-dire d'une tâche qui agit directement sur la matière d'œuvre.

*Exemples : Prendre un objet, déplacer une charge, chauffer une pièce, réguler une température, ...*

### Les constituants d'une chaîne fonctionnelle :

Un système peut comporter plusieurs chaînes fonctionnelles dont certaines sont regroupées organiquement : on appelle alors ces sous-ensemble, des sous-ensembles fonctionnels.

**Actionneur** : Objet technologique convertissant une grandeur d'entrée (énergie) en une grandeur de sortie (énergie) utilisable pour obtenir une action définie.

*Exemples : vérin hydraulique, moteur électrique à courant continu, ...*

**Capteur** : Objet technologique de prélèvement d'information sur un processus, réalisant la conversion d'une grandeur physique mesurée (grandeur d'entrée) en une autre grandeur physique accessible au sens ou exploitable par un constituant de traitement (grandeur de sortie).

*Exemples : capteur de position inductif, capteur de fin de course d'un vérin pneumatique, code à barres, ...*

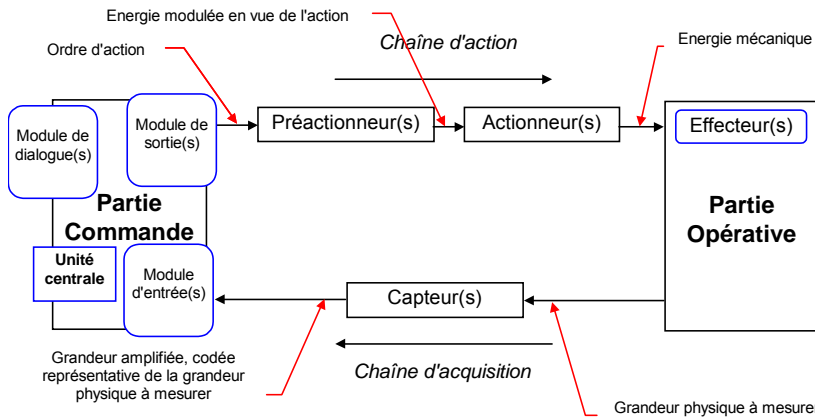
**Effecteur** : Élément terminal de la chaîne d'action, convertissant l'action de l'actionneur en un effet ou une opération sur la partie opérative.

Exemples : pince de robot, préhenseurs, barrière, tambour de lave-linge, ...

**Préactionneur** : Constituant de la gestion de l'énergie de commande de l'actionneur.

Exemples : contacteur, distributeur pneumatique, transistor de commutation, ...

Présentation obsolète

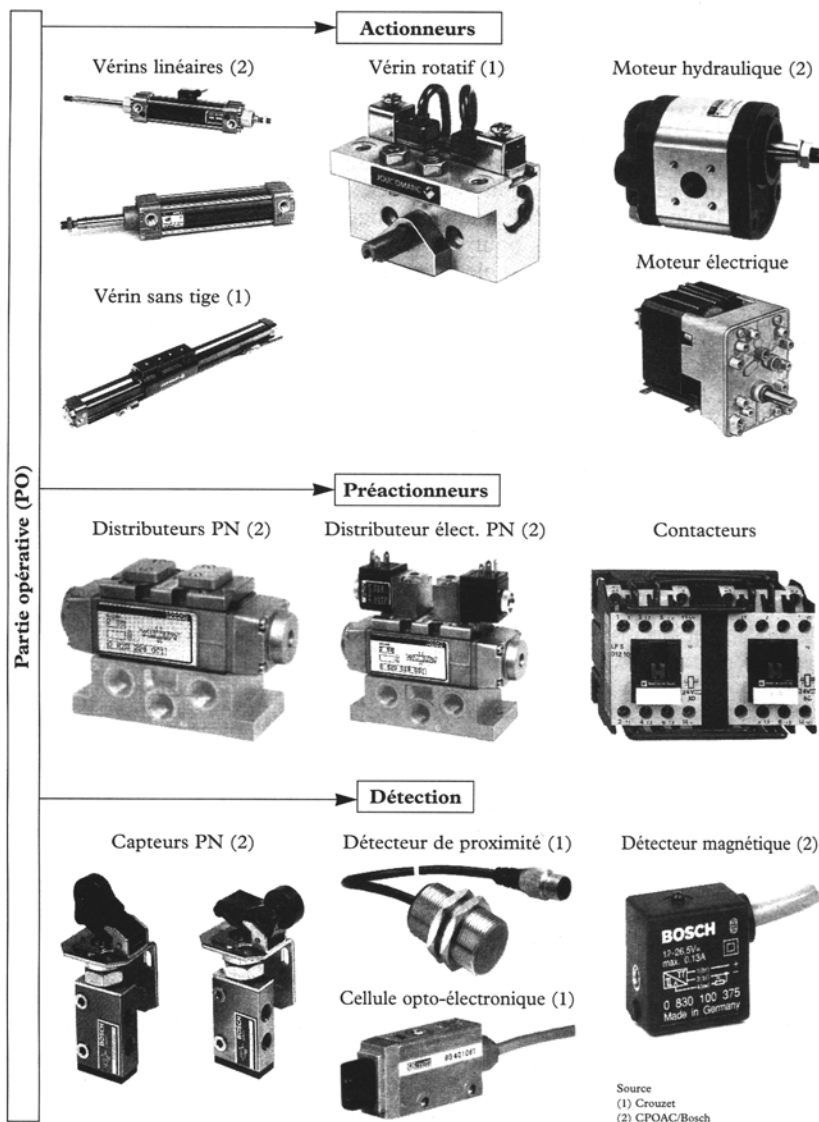


### Architecture type d'une chaîne fonctionnelle

La partie commande d'un système automatisé, est souvent constituée par un automate programmable industriel (API), c'est-à-dire un constituant électronique programmable dédié à la commande de processus industriels où le traitement séquentiel est dominant.

Il est constitué d'une unité centrale (un processeur et des cartes d'entrées/sorties), d'une mémoire, d'interface E/S, d'une alimentation, d'éléments de dialogue avec l'homme.

La programmation d'un API se réalise par console de programmation ou par micro-ordinateur, grâce à des langages spécifiques (langage GRAFCET, langage booléen, langage à contact, langage littéral).



## Description fonctionnelle des systèmes

### Analyse fonctionnelle

Démarche qui consiste à **recenser, caractériser, ordonner, hiérarchiser** et **valoriser** les fonctions du système.

Cette analyse s'applique à la création ou à l'amélioration d'un produit.

### Fonctions

Elle décompose le système pour y faire ressortir :

- ▶ les **fonctions de service** qui répondent au besoin ;
- ▶ les **fonctions techniques** qui réalisent les fonctions de service ;
- ▶ l'**organisation** de l'ensemble de ces fonctions.

Remarque : la notion de fonction permet de définir un système en terme de finalité et non de solution.

normes NF X50-150, X50-151

Une **fonction** est une action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimée en terme de finalité.

Une fonction s'exprime à l'aide d'un verbe à l'infinitif suivi d'un ou plusieurs compléments.

On distingue différentes fonctions :

Les **fonctions de service** sont des actions attendues pour répondre au besoin d'un utilisateur donné.

*Exemple : maintenir constante la température d'un four.*

Les **fonctions techniques** sont les actions entre les constituants du produit définies par le concepteur dans le cadre d'une solution assurant les fonctions de service.

*Exemple : transformer un mouvement de rotation en mouvement de translation.*

Les **contraintes** sont des limitations à la liberté du concepteur jugées nécessaires par le demandeur.

*Exemple : respecter l'interchangeabilité des constituants.*

### Critères d'appréciation des fonctions

On applique aux fonctions des critères de valeur comme par exemple, des limites de coût, des niveaux de performances, des normes de sécurité ...

**Critère d'appréciation** : critère retenu pour apprécier la manière dont une fonction est remplie ou une contrainte imposée.

*Exemples de critères : durée de vie, maintenabilité, vitesse, température d'utilisation ...*

**Niveau d'un critère d'appréciation** : niveau repéré dans l'échelle adoptée pour un critère d'appréciation d'une fonction.

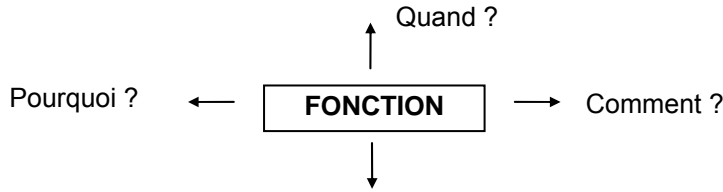
*Exemples :  $T = 20 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ , durée de vie d'un roulement : 10 000 heures ...*

**Flexibilité d'un niveau** : ensemble d'indications exprimées par le demandeur sur les possibilités de moduler un niveau recherché pour un critère d'appréciation.

*Exemples : limite d'acceptation (valeurs minimales et maximales), classe de flexibilité (impératif, négociable ...)*

### Outil d'analyse F.A.S.T.

La **méthode FAST** (Function Analysis System Technique) permet à partir d'une fonction principale à satisfaire une décomposition en fonctions techniques pour aboutir aux solutions technologiques. Il s'agit de relier et d'ordonner toutes les fonctions techniques assurées par les éléments du système pour répondre aux questions :



Pourquoi cette fonction doit-elle être assurée ? Comment cette fonction doit-elle être assurée ? Quand cette fonction doit-elle être assurée ?

L'outil FAST est un outil d'analyse descendante fonctions-solutions agencant un ensemble de blocs-fonctions. La logique d'association des blocs selon l'axe temps est une logique de type ET : la réalisation d'une fonction de niveau n associe une ou plusieurs fonction de niveau n+1.

Comment réaliser un diagramme FAST ?

**1 - Définir le problème**

recherche de la chaîne fonctionnelle relative à la fonction de service ;

**2 - Rechercher toutes les fonctions techniques**

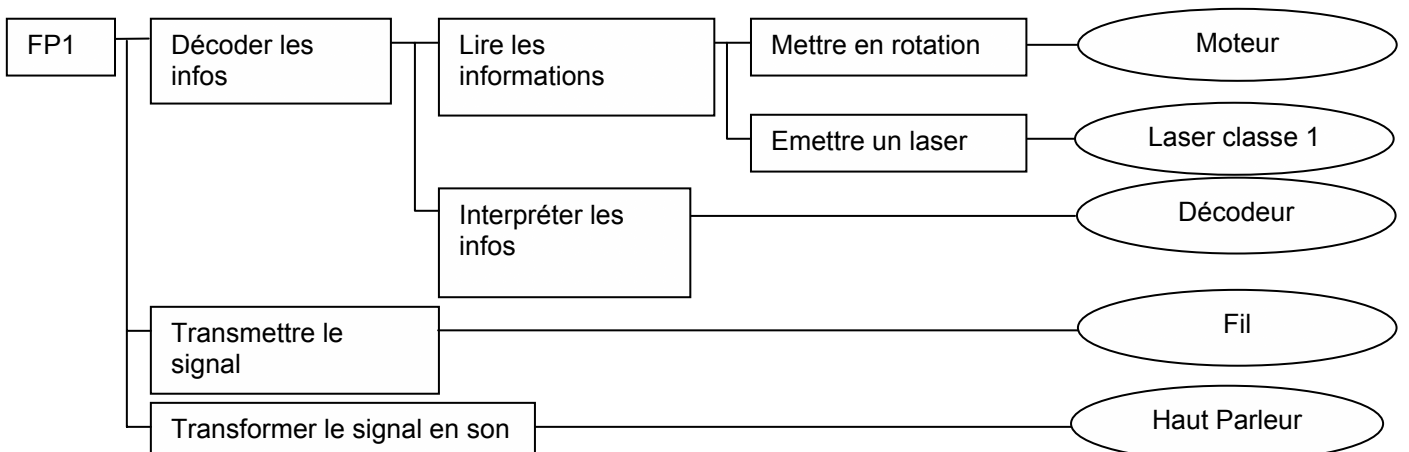
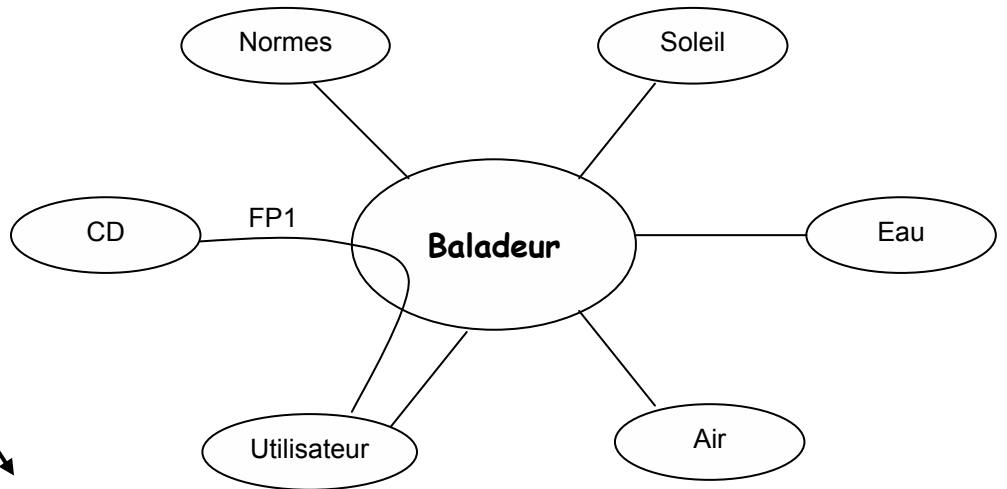
en effectuant une analyse interne du produit ;

**3 - Trier les fonctions techniques**

et les exprimer d'une manière rigoureuse ;

**4 - Construire le FAST**

Exemple de FAST

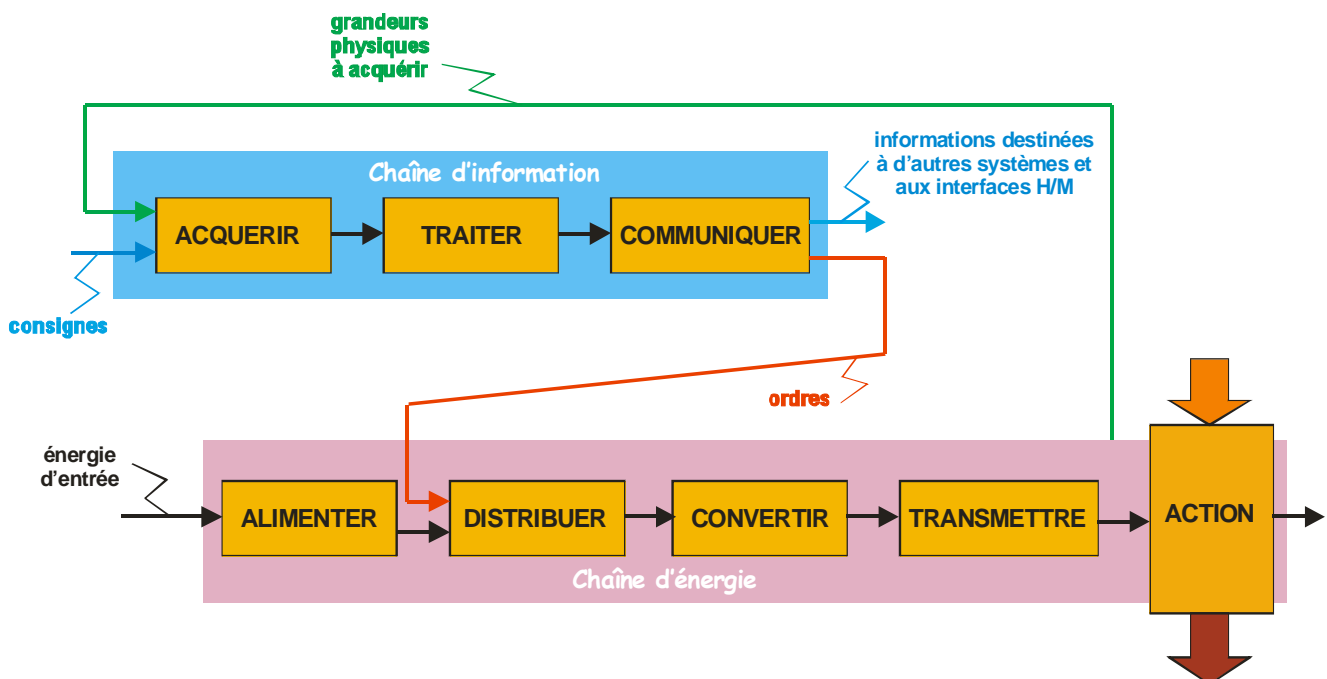


## Chaîne d'énergie et chaîne d'information

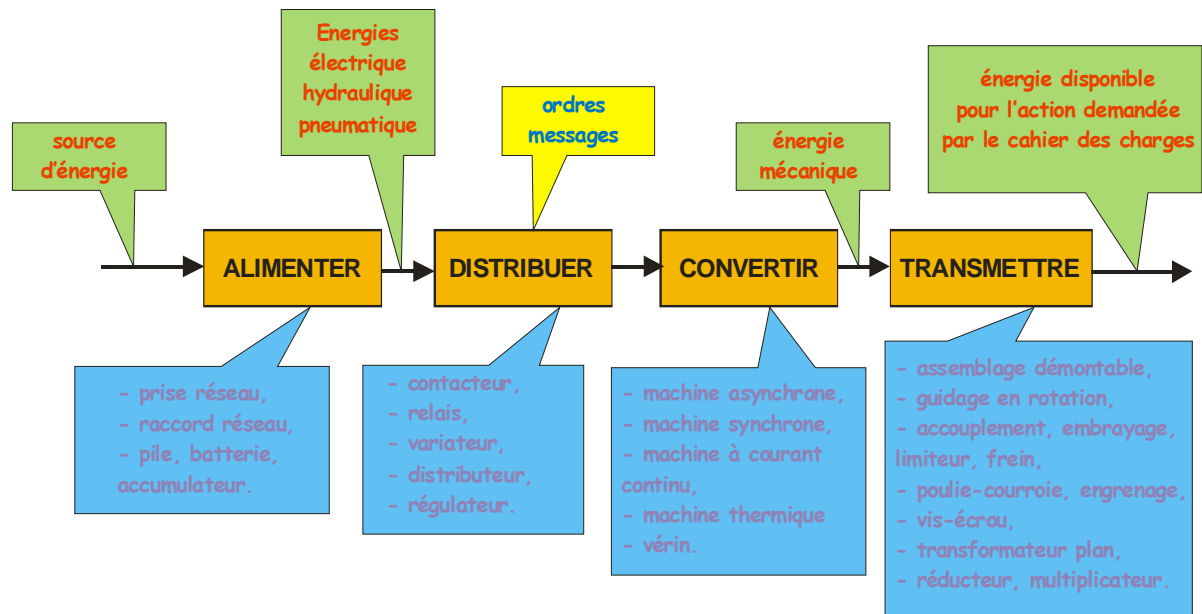
La chaîne d'énergie, associée à sa commande, assure la réalisation d'une fonction de service dont les caractéristiques sont spécifiées dans le cahier des charges. Repérable sur la plupart des produits et systèmes de notre environnement et des milieux industriels, elle est constituée des fonctions génériques : **alimenter**, **distribuer**, **convertir**, **transmettre** qui contribuent à la réalisation d'une action.

Afin d'aborder l'analyse, l'exploitation et la conception de systèmes de traitement de l'information d'une grande diversité, la démarche proposée en SI s'appuie sur la notion générique de chaîne d'information, éventuellement associée à une chaîne d'énergie pour constituer une chaîne d'action. La chaîne d'information permet :

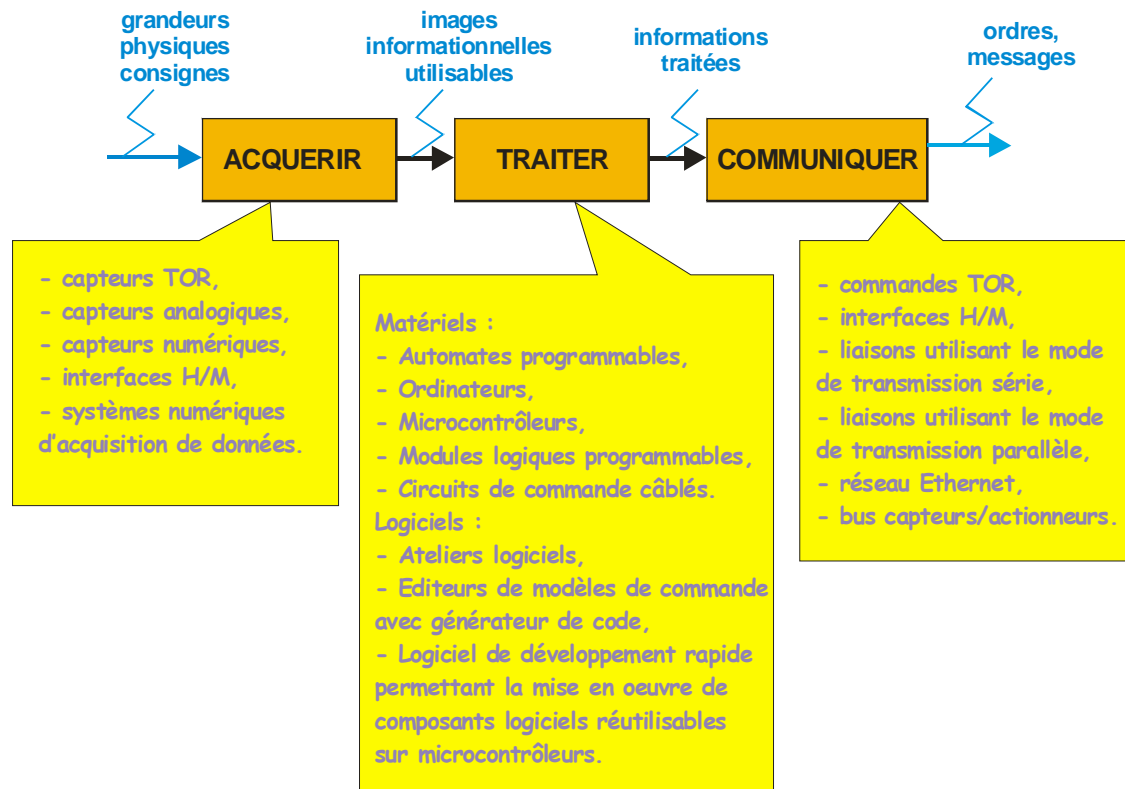
- d'**acquérir** des informations ;
  - sur l'état d'un produit ou de l'un de ses éléments (en particulier de la chaîne d'énergie),
  - issues d'interfaces homme/machine ou élaborées par d'autres chaînes d'information,
  - sur un processus géré par d'autres systèmes (consultation de bases de données, partage de ressources,...),
- de **traiter** ces informations ;
- de **communiquer** les informations générées par le système de traitement pour réaliser l'assignation des ordres destinés à la chaîne d'énergie ou (et) pour élaborer des messages destinés aux interfaces homme/machine (ou à d'autres chaînes d'information).



### Approche interne de la chaîne d'énergie



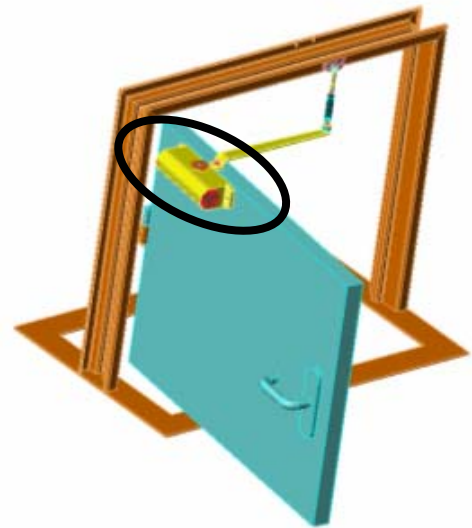
### Approche interne de la chaîne d'information



**Exemples d'application**

**1 – Ferme porte**

**Fonction globale (bête à corne)**



**A qui sert le produit ?** : à un utilisateur (personne physique)

**Sur quoi agit-il ?** : la porte

**Pourquoi ? (dans quel but ?)** : pour la refermer

**Fonction globale : Fermer une porte préalablement ouverte**

**Pourquoi le produit existe-t-il ?**

Pour fermer une porte qu'un utilisateur :

- Oublie de fermer ;
- Ne prend pas le temps de fermer ;
- Claque systématiquement.

**Pourquoi le besoin existe-t-il ?**

Certaines portes, notamment dans les collectivités, ne doivent pas rester ouvertes :

- Pour cause de courants d'air : portes qui claquent ;
- A cause du froid, maintien de la température ;
- Pour des questions de sécurité : pare-feux ;
- Pour des raisons d'esthétisme : porte de WC...
- Pour assurer la confidentialité, l'intimité, la tranquillité des occupants...
- Pour couper des odeurs : cuisines...

**Qu'est-ce qui pourrait le faire évoluer ?**

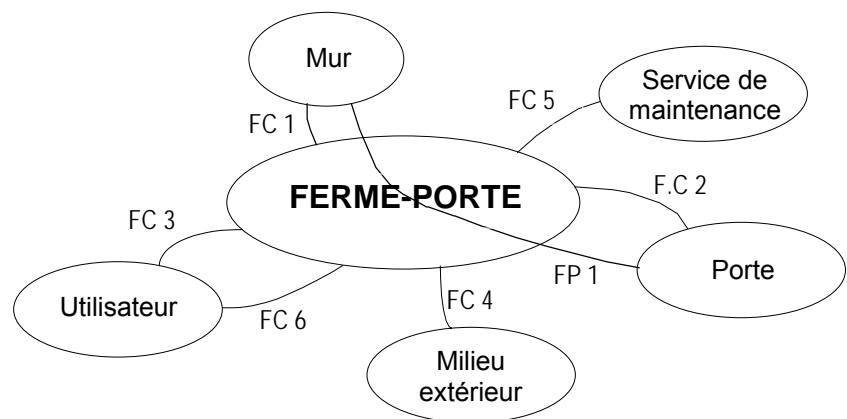
- Économie d'énergie
- Évolution des normes de sécurité dans les locaux publics imposant la fermeture de certains locaux techniques.

**Qu'est-ce qui pourrait le faire disparaître ?**

Rien, à priori

**Quel est le risque d'évolution du besoin ? de disparition ?**

Le risque d'évolution est réel (normes de sécurité en cas d'incendie), reste à savoir quelles portes sont concernées par ces normes.



**Milieu environnant - fonctions principales et contraintes**

(diagramme des interacteurs ou diagramme pieuvre)



FP 1 : Entraîner la porte en rotation dans le sens de la fermeture  
 FC 1 : S'adapter en prenant appui sur le mur (ou sur la porte)  
 FC 2 : Se fixer sur la porte (ou sur le mur)  
 FC 3 : Permettre l'ouverture aisée de la porte  
 FC 4 : Résister au milieu ambiant  
 FC 5 : Permettre l'entretien et les réglages  
 FC 6 : Assurer la sécurité de l'utilisateur

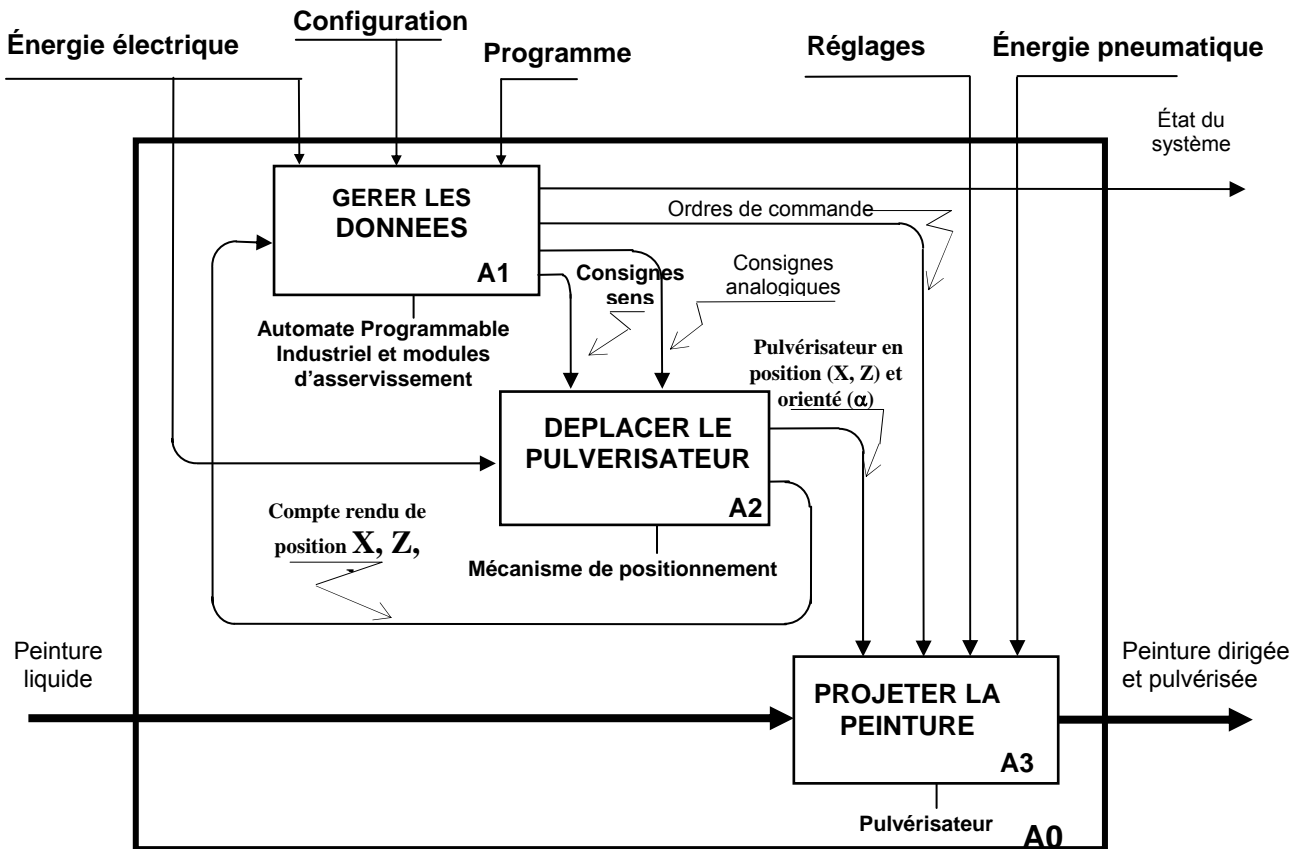
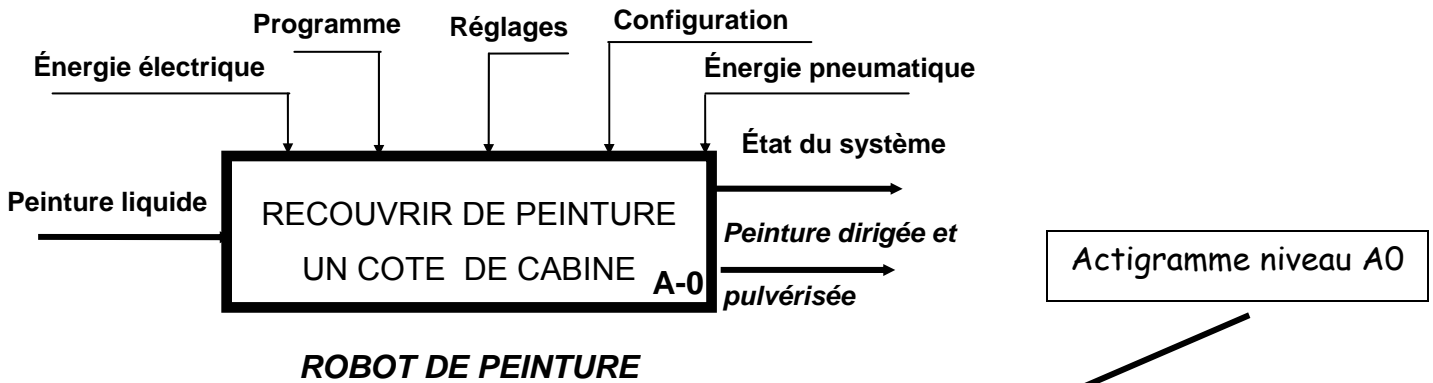
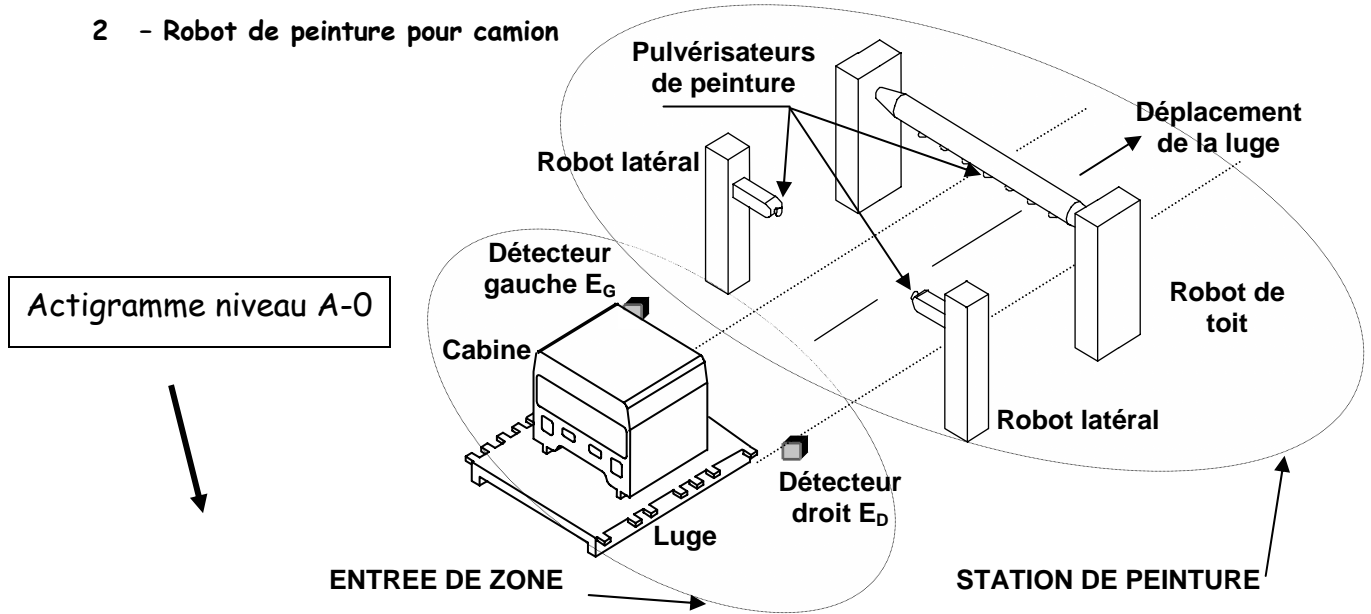
Fonction complémentaire possible : Avertir le service de sécurité de l'état de la porte (ouverte ou fermée)

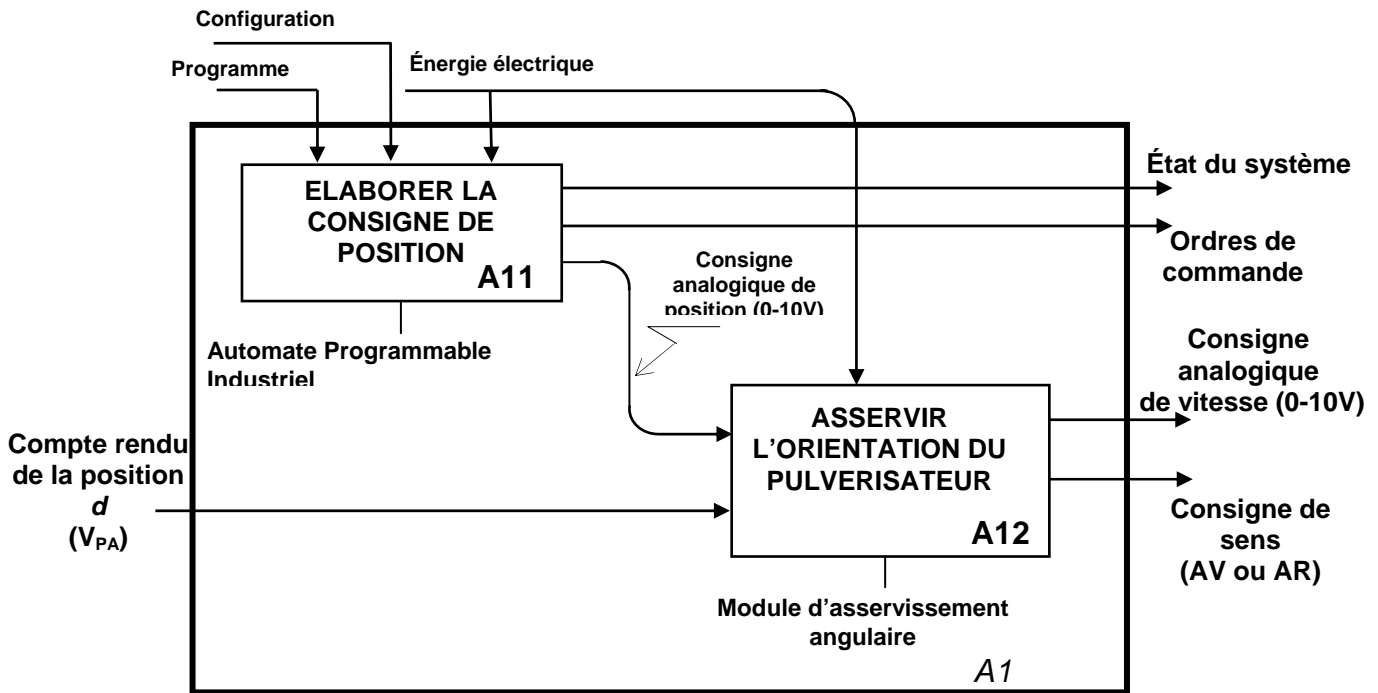
L'appareil pourra se décliner en plusieurs versions, fonctions du type de porte à équiper ; il convient de recenser les types de portes à vantail et d'étudier : leurs dimensions, leur masse, leur mode de guidage.

### Eléments du cahier des charges fonctionnelles

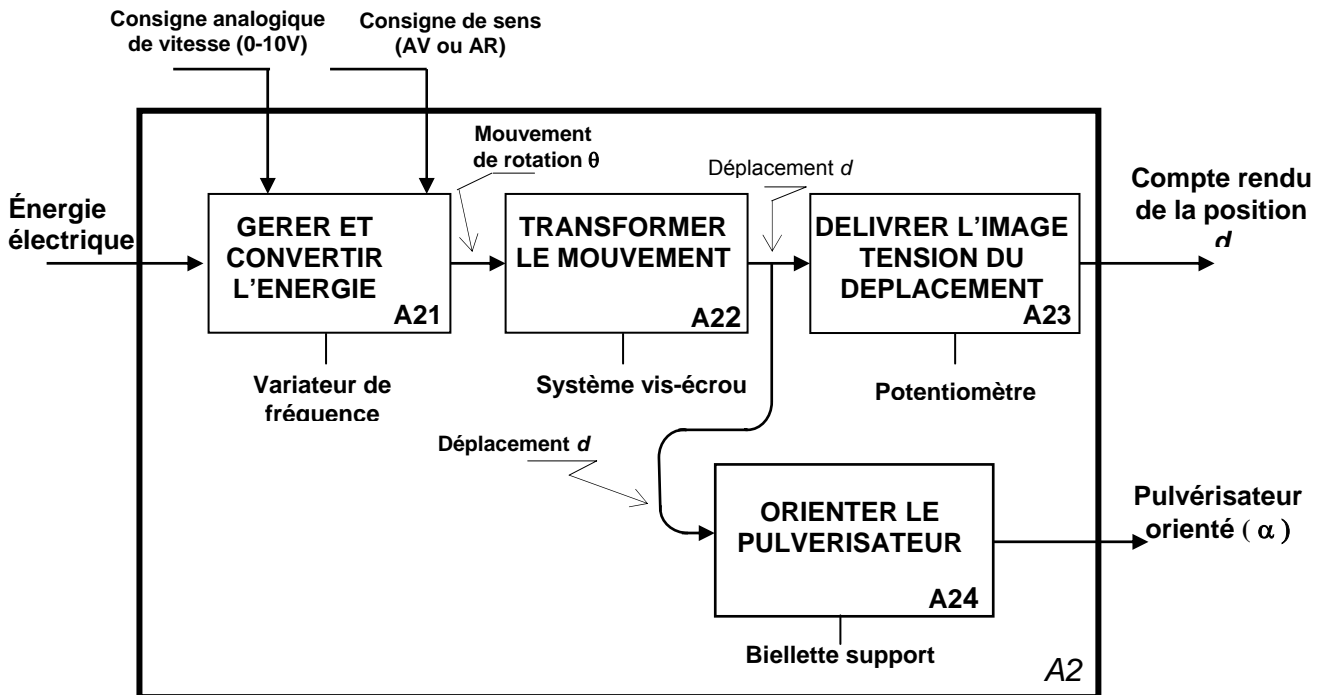
Fonction	Critères d'appréciation	Niveau d'exigence	Flexibilité
<b>FP1</b>	-Masse de la porte -Largeur de la porte -Couple de fermeture -Temps de fermeture -Angle d'amortissement -Retard à la fermeture -Angle d'accélération finale	20 à 160 Kg 750 à 1600 selon EN 1154 réglable de 3 à 20 s sur 70° 70° mini réglable (en option) 15° Maxi (réglable)	F0 F0 F0 F1 F0 F1
<b>FC 1</b>	-Appui -Fixation	Plan Lx l mini 2 vis	F1
<b>FC 2</b>	-Fixation -Encombrement -Esthétisme :couleur -Esthétisme : formes -Adaptation	Appui plan + 4 Vis L x l x h Neutres, en rapport avec les portes Discrètes, passant inaperçues Sur porte à vantail sans modification ni de la porte ni du mur.	F1 F1 F2 F2 F0
<b>FC 3</b>	-Ouverture -Effort -Angle -freinage à l'ouverture	Manipulation identique à une porte classique < ? N 120° mini sur option, réglable	F0 F1 F0
<b>FC 4</b>	-corrosion -température -fuite -étanchéité, chocs	Absence pendant 20ans 0 à 30° Absence IP 444	F1 F0
<b>FC 5</b>	-Réglages : effort et vitesse de fermeture  -Maintenance préventive et corrective -Remplacement	Utilisation d'outillages classiques en nombre réduit (tournevis) Notice ou marque sur l'appareil pour repérer l'emplacement et le mode de réglage. Réglages, graissages Démontage des vis sur la porte et sur le mur.	F0 F0 F1
<b>FC 6</b>	-Force de fermeture -Vitesse de fermeture	< ? N < ? m/s	F0 F0

2 - Robot de peinture pour camion

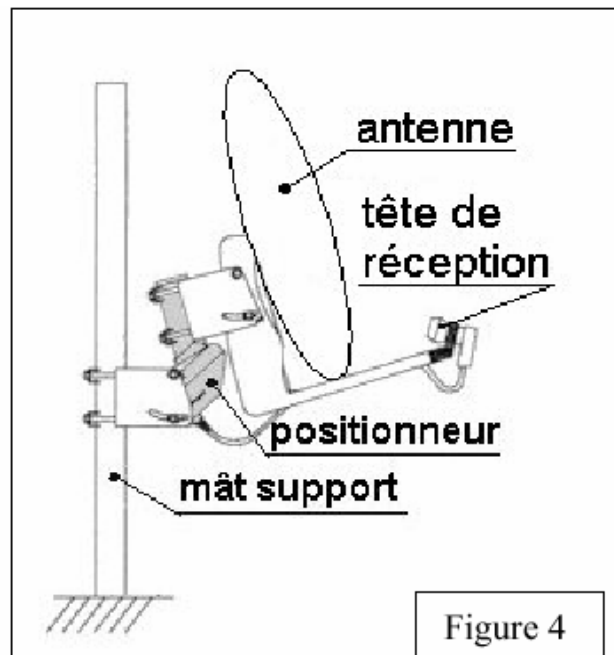
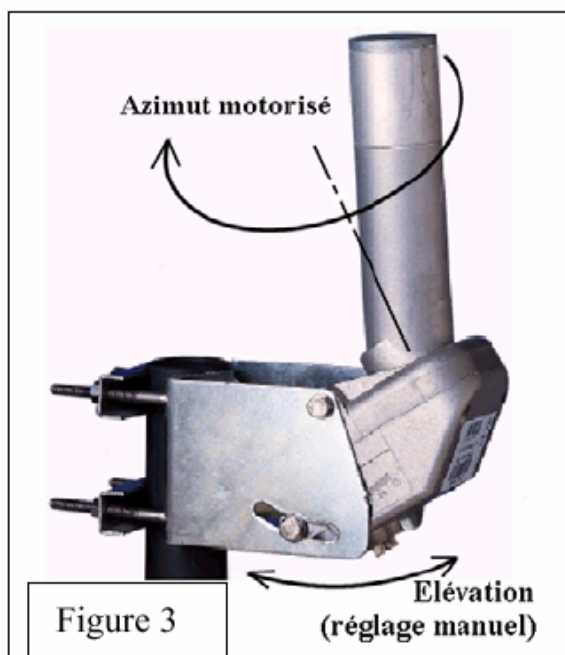
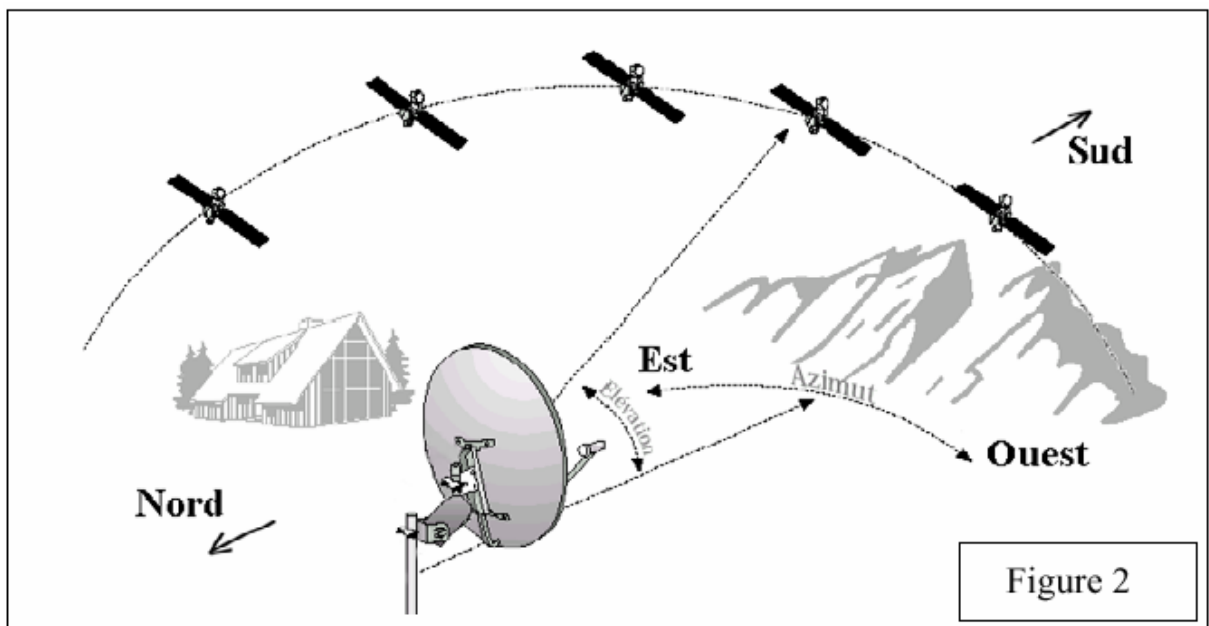
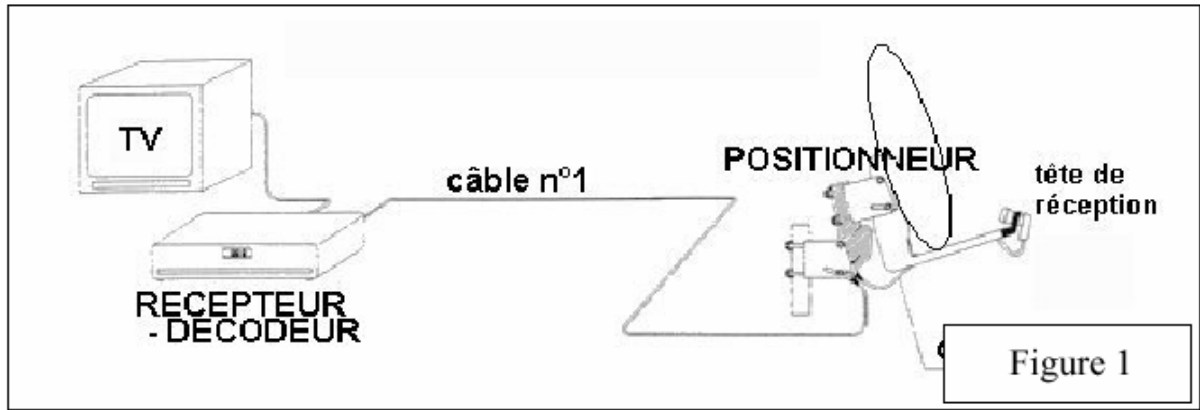




Actigramme niveau A1



3 - Positionneur pour réception satellite



Expression du besoin

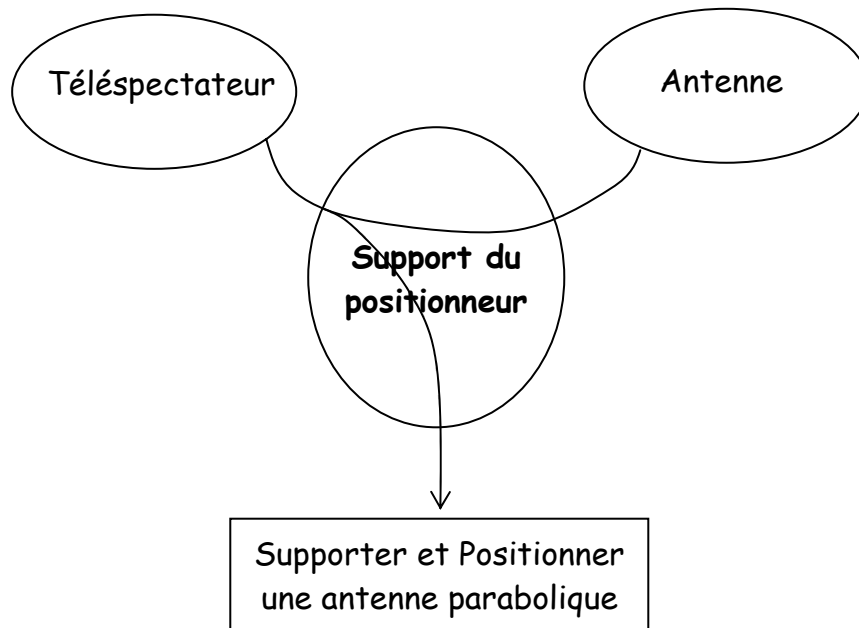
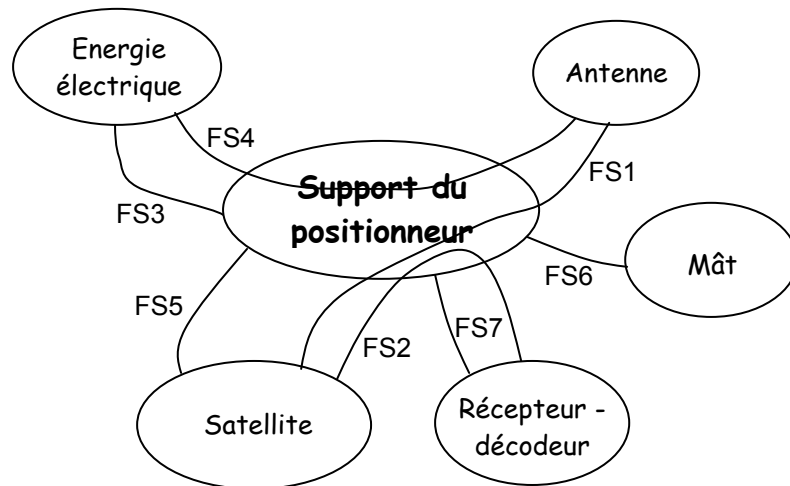
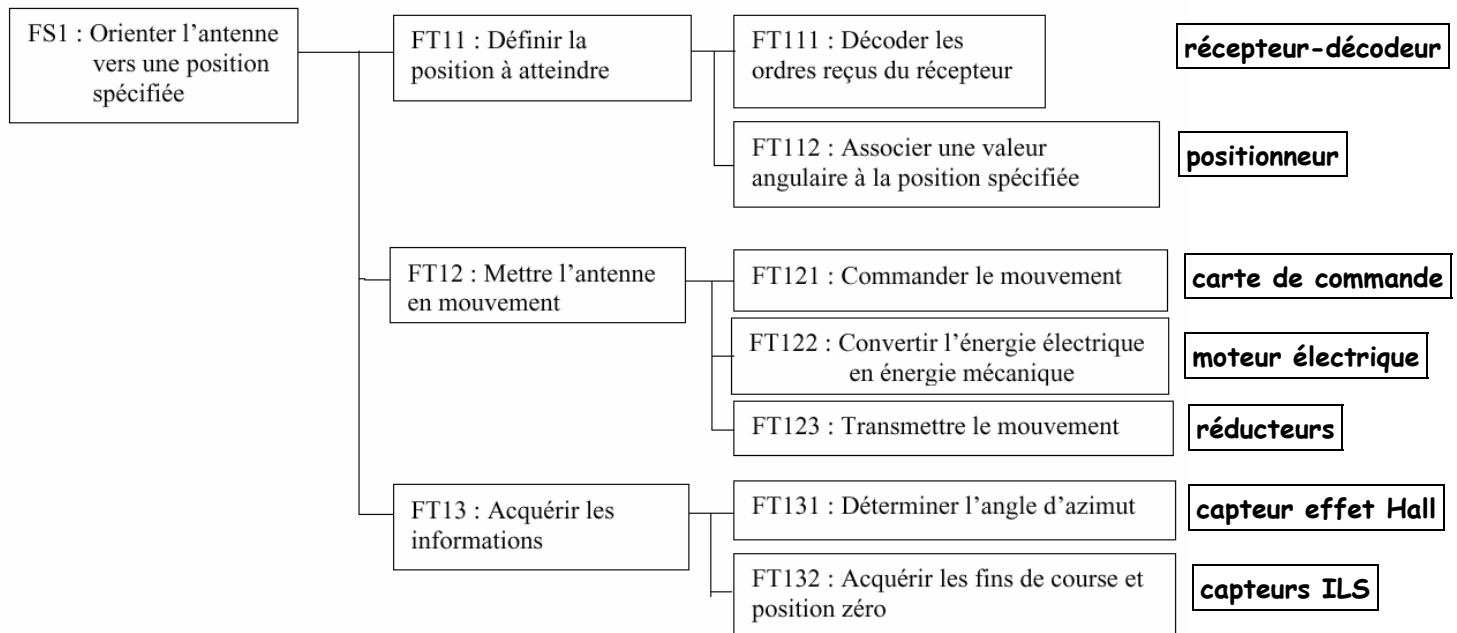


Diagramme des interacteurs



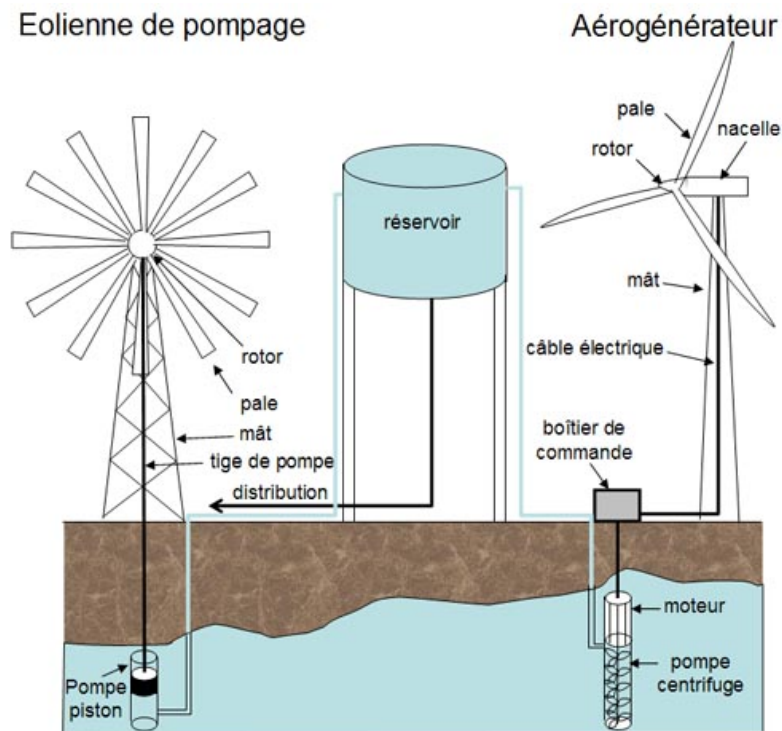
Fonction	Critères	Niveau
FS1 : ORIENTER l'antenne	Angle de rotation Vitesse de rotation Inclinaison (élévation) Ecart de positionnement	De +50 à - 50 degrés Entre 1,1 et 2 °/s De 0 à 55 degrés 0,1 degré
FS3 : RECEVOIR l'énergie électrique	Tension continue en entrée Courant débité	13V ou 18V 350 mA max
FS4 : TRANSFORMER ET DISTRIBUER l'énergie	Couple à fournir en sortie  Protection sur-intensité moteur	Permet de contrer le vent qui agit sur une parabole standard de diamètre 80 cm, pour : - 80 km/h en mouvement ; - 130 km/h à l'arrêt. 300 mA

### FAST de la fonction principale (de service) 1



## 4 - Pompage de l'eau

### 4.1 – par énergie éolienne



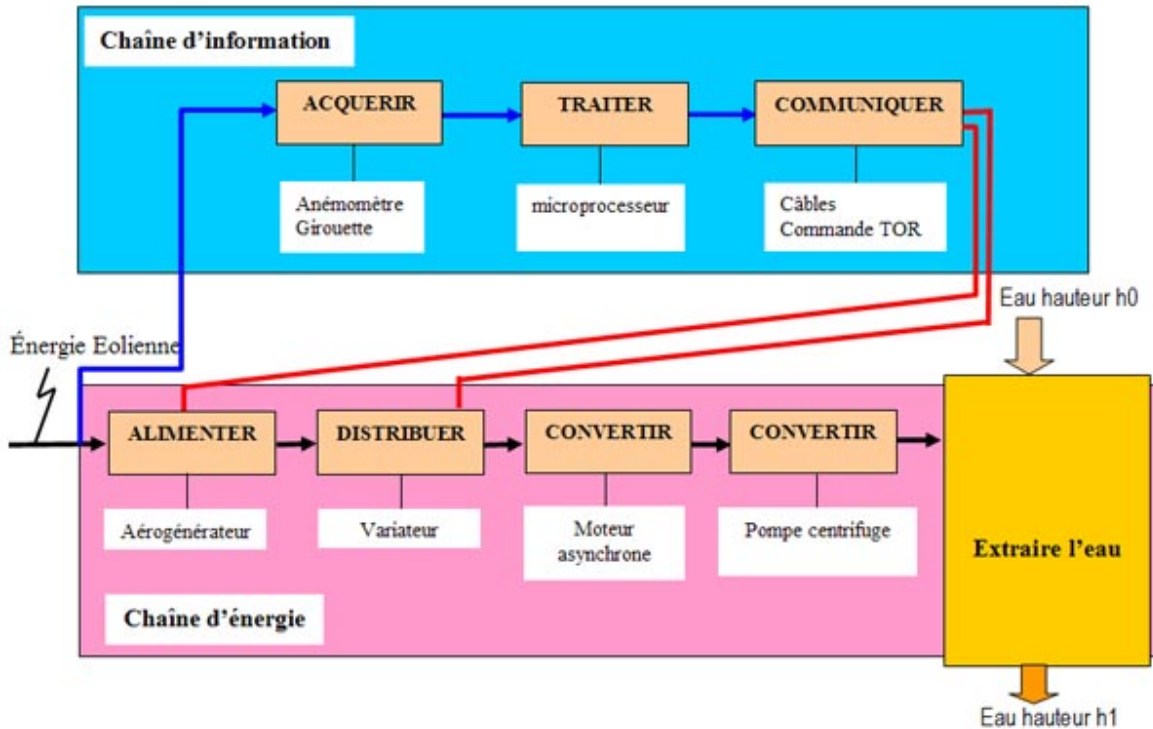
La chaîne énergie est composée de :

- ▶ un aérogénérateur : il fournit de l'énergie électrique alternative en fonction de la vitesse du vent. Le rendement est de l'ordre de 85% (voir exemple ci dessous) ;
- ▶ un variateur : Il permet de commander la vitesse du moteur. Le rendement de l'onduleur est de l'ordre de 90% ;

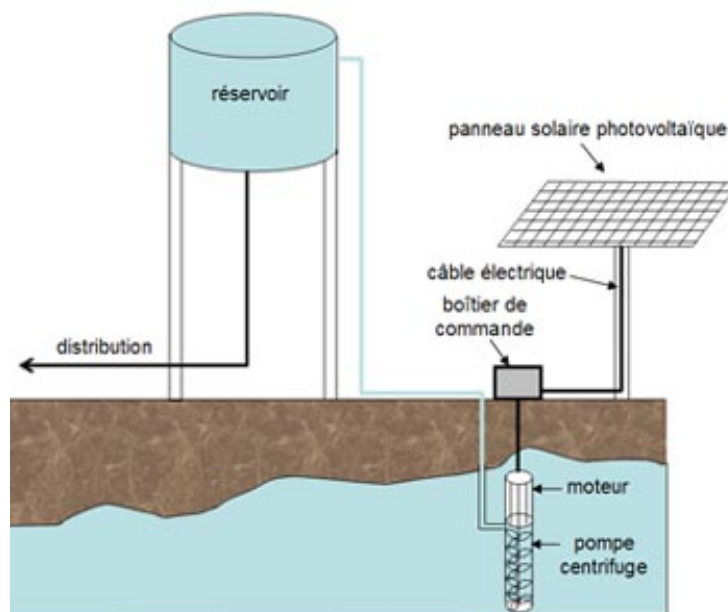
- ▶ un moteur asynchrone: Il convertit l'énergie électrique en une énergie mécanique nécessaire à l'entraînement de la pompe. Son rendement est de l'ordre de 90% ;
  - ▶ une pompe centrifuge: Elle transforme de l'énergie mécanique en énergie potentielle hydraulique. Son rendement est de l'ordre de 60% ;
- L'eau relevée peut être stockée dans des réservoirs.

La chaîne d'information est composée :

- ▶ des capteurs de force et direction du vent (anémomètre et girouette) ;
- ▶ d'un boîtier de commande généralement muni d'un microprocesseur qui permet de gérer l'orientation des pales et de la nacelle de l'aérogénérateur ainsi que de maintenir une tension constante aux bornes des panneaux solaires ;
- ▶ de câbles et de commandes TOR.



#### 4.2 – par énergie solaire

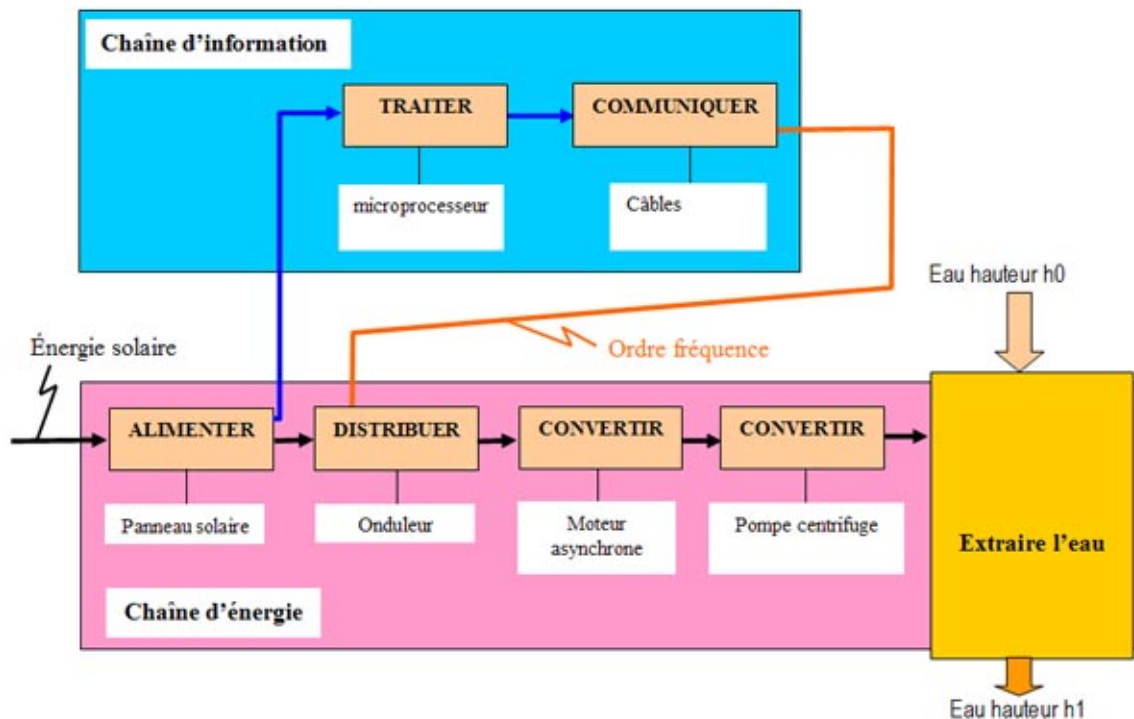


La chaîne d'énergie est composée de :

- ▶ panneaux solaires : ils fournissent de l'énergie électrique continue en fonction de l'ensoleillement. Leur rendement est de 15%
  - ▶ un onduleur: Il transforme la tension électrique d'entrée en une tension de sortie de 230V et 50 Hz. Le rendement de l'onduleur est de l'ordre de 90%.
  - ▶ un moteur asynchrone: Il convertit l'énergie électrique en une énergie mécanique nécessaire à l'entraînement de la pompe. Son rendement est de l'ordre de 90%
  - ▶ une pompe centrifuge: Elle transforme de l'énergie mécanique en énergie potentielle hydraulique. Son rendement est de l'ordre de 60%
- L'eau relevée peut être stockée dans des réservoirs.

La chaîne d'information est composée:

- ▶ d'un boîtier de commande généralement muni d'un microprocesseur permettant de gérer la commande de l'onduleur afin de maintenir une tension constante aux bornes des panneaux solaires. Des boîtiers de commande permettent de gérer la distribution de l'énergie vers plusieurs appareils. Il est également possible de raccorder des boîtiers à des ordinateurs via une connexion RS232.
- ▶ de câbles



Fils d'un artisan forain, Monge fera de brillantes études secondaires à Beaune, sa ville natale et entrera à l'Académie militaire de Mézières. Il y enseigna, à titre suppléant, à 19 ans ! Il fut nommé ensuite professeur de physique mais appelé à Paris par Turgot, il commence une carrière politique. Sénateur, ministre de la Marine sous la révolution, il poursuit ses recherches en mathématiques. Ami de Bonaparte, il l'accompagna en tant que scientifique lors de sa campagne d'Égypte. Monge sera anobli par Napoléon (comte de Péluse).

Monge créa (1794), avec Carnot, l'École centrale des travaux publics, rebaptisée École Polytechnique en 1795 (sise aujourd'hui à Palaiseau) où il enseigna sa toute nouvelle théorie des surfaces et de leurs courbures. Il fut la même année, avec Joseph Lakanal, membre fondateur de l'École Normale Supérieure. Il s'inscrit avec Poncelet (son élève), Chasles et Carnot comme l'un des grands rénovateurs de la géométrie. Très nombreux travaux en analyse (équations aux dérivées partielles). Contribution en physique sur l'étude de la liquéfaction des gaz. Depuis 1989, les cendres de ce grand savant sont au Panthéon.



**Gaspard Monge 1746 - 1818**